

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra

Faculté des Sciences exactes, des sciences

de la nature et de vie

Département : Sciences de la matière

Réf :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة

جامعة محمد خيضر بسكرة

كلية العلوم الدقيقة و علوم

الطبيعة و الحياة

قسم: علوم المادة

المرجع:

Thèse présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de
Doctorat en sciences

Spécialité : Chimie

**Etude de l'activité antioxydante des
polyphénols extraits de *Solanum melongena*
par des techniques électrochimiques**

Présentée par :

Chérifa BOUBEKRI

Soutenue publiquement le : 20 Mai 2014

Devant le jury composé de :

S. Belaidi	Professeur	Président	Université de Biskra
T. Lanez	Professeur	Directeur de thèse	Université d'El-Oued
M. R. Ouahrani	Professeur	Examineur	Université d'El-Oued
B. Terki	M. C. A.	Examineur	Université d'Ouargla
M. Omari	Professeur	Examineur	Université de Biskra
D. Barkat	Professeur	Examineur	Université de Biskra

Dédicace

Avec mes sentiments de gratitude les plus profonds, Je dédie ce modeste travail :

A mon très cher mari Chaouki, en signe d'amour et de gratitude pour m'avoir supporté, soutenu et surtout compris en permanence, pour ces sacrifices, ces encouragements, sa fidélité et sa gentillesse. Sans lui, je ne saurais pu progresser et en arriver à l'achèvement de ce travail.

A mes très chères petits enfants, Malak et Mohamed Amine qui m'ont porté bonheur.

A mes très chers parents, sans eux je n'est pas pu être ce que je suis, en reconnaissance de leurs efforts, leurs amours et leurs encouragements durant toutes mes études et mes recherches, et surtout leur disponibilité de garder mes enfants.

A mes chers frères et sœurs, Farid, Karim, Bachir, Soumia et Kaouther ainsi qu'à leurs petites familles.

A mes beaux parents Abdelhamid et Saida, ma belle grand-mère Zohra et mes belles tantes pour leurs gentilleses et leurs soutiens.

A mes beaux frères et mes belles sœurs, Jalal, Hakim, Akram, Marwa et Sabrina, ainsi qu'à leurs petites familles.

A tous ceux qui m'aiment,

Chérifa

REMERCIEMENTS



Remerciements

Ce travail de thèse a été réalisé au sein du Laboratoire de Valorisation et Technologie des Ressources Sahariennes de l'université d'El-Oued dans le cadre d'une thèse de Doctorat, sous la direction de Monsieur Touhami LANEZ, Professeur à l'université d'El-Oued et directeur du laboratoire.

Je remercie très chaleureusement Monsieur le Professeur Touhami LANEZ, mon directeur de thèse durant ces six années. Merci pour votre encadrement, votre disponibilité et votre encadrement efficace. Merci pour votre compréhension, votre grande gentillesse et pour la confiance que vous m'avez témoignée tout au long de cette étude. Malgré vos importantes obligations, vous avez toujours été présent pour recadrer mes recherches dans la bonne direction et ceci a été fondamental dans la bonne réalisation de cette thèse. Soyez assurées de ma profonde gratitude.

Je tiens particulièrement à remercier les membres du jury d'avoir accepté de juger ce travail et en être les examinateurs de cette thèse :

Monsieur Salah BELAIDI, d'avoir accepté de juger ce travail et de me faire l'honneur de présider ce jury de thèse. Veuillez trouver ici le témoignage de mon profond respect.

Monsieur Med Ridha OUAHRANI, Monsieur Belgacem TERKI, Monsieur Mahmoud OUMARI et Monsieur Jamel BARKET d'avoir accepté de juger ce travail et de participer aux jurys de cette thèse. Soyez assurée de ma profonde gratitude.

Mes sincères remerciements s'adressent plus spécialement à monsieur Rebiai Abdelkarim, pour son aide précieuse, sa compétence scientifique et ces conseils techniques. Merci pour ton soutien, ta disponibilité et ta gentillesse.

Je remercie également monsieur Belfar Mohamed Lakhdar et monsieur Laouini Salah pour leurs précieux conseils et leurs aides.

Je remercie très sincèrement mademoiselle Jouadi Assia, pour sa contribution à la réalisation de ce travail de thèse. Merci pour ta gentillesse et ton bon humour.

Je tiens à remercier monsieur Tliba Ali et mademoiselle Razoug Wahiba, pour leurs aides techniques et leur disponibilité.

Je remercie également mon oncle Boubékri Ahmed pour son soutien, ces encouragements et son agréable humour.

J'associe à ces remerciements à mon amie Houmri Nawel et à sa petite famille, ainsi à tous mes collègues du laboratoire VTRS, en particulier Zouari Ahmed Rachida, Ghanabziya Imène, Khalef Abdelhamid, Ahmadi Ridha, et mes collègues du laboratoire de pédagogie très spécialement ma chère Karoui Radja. Un grand merci à Mohamed Kaab et Ismail Kaab et à tous ceux qui, grâce à leur disponibilité et à leur bonne humeur, m'ont soutenu en rendant agréable les moments passés ensemble, à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail de thèse.

RÉSUMÉ

ملخص

ABSTRACT



Résumé

Ce travail est une contribution à l'étude de la teneur en polyphénols totaux et de l'activité antioxydante de dix variétés d'aubergines violettes pourpres cultivées dans dix régions différentes de l'est algériens. Les méthodes utilisées sont : le test de Folin-Ciocalteu pour quantifier les polyphénols totaux, la méthode du test DPPH et la méthode électrochimique en utilisant la technique de la voltampérométrie pour la mesure de l'activité antioxydante, les résultats obtenus ont été très significatifs. La corrélation entre l'activité antioxydante et la teneur en composés phénoliques totaux a été également investiguée. Cette combinaison nous a permis de faire une évaluation quantitative et qualitative des composés phénoliques extraits des échantillons des aubergines étudiées. Les résultats montrent que les extraits des cortex présentent une propriété antioxydante très élevée par rapport au fruit entier et la pulpe.

L'effet de la congélation et du séchage a été étudié et réalisé sur deux variétés des aubergines de la région d'El-Oued, qui sont la variété violette pourpre et la variété blanche. Les extraits de l'aubergine violette-pourpre ont été les extraits les plus actifs et montrent une activité antioxydante intéressante par rapport à l'aubergine blanche.

Les résultats de ces travaux nous ont permis d'affirmer que l'activité antioxydante des aubergines revient essentiellement aux composés phénoliques.

Mots clés : aubergine, polyphénols totaux, activité antioxydante, DPPH, voltampérométrie cyclique.

ملخص

هذا العمل هو عبارة عن مساهمة في دراسة كمية البوليفينولات الإجمالية و الفعالية المضادة للأكسدة لعشرة أصناف من الباذنجان البنفسجي الداكن المنتجة بعشر مناطق مختلفة من الشرق الجزائري . وقد تم استخدام الأساليب التالية : اختبار فولين – سيوكالتو لتكميم محتوى البوليفينول الإجمالي ، اختبار DPPH و الطريقة الكهروكيميائية باستخدام تقنية الفولت امبيرومترية الحلقي لقياس الفعالية المضادة للأكسدة ، التي أفرزت نتائج هامة للغاية . وقد تم أيضا دراسة الارتباط بين الفعالية المضادة للأكسدة وكمية المركبات الفينولية الإجمالية. والذي مكنا من تقييم كمي و كيفي للمركبات الفينولية المستخلصة من عينات الباذنجان محل الدراسة. تبين النتائج بأن مستخلصات القشور تحتوي على فعالية مضادة للأكسدة عالية جدا مقارنة بحبة الفاكهة بأكملها و اللب.

و من جهة أخرى تمت دراسة مدى تأثير التجميد و التجفيف لصنفين من الباذنجان البنفسجي الداكن و الأبيض بمنطقة الوادي ، اين اتضح بأن مستخلصات الباذنجان البنفسجي الداكن هي الأكثر فعالية و تملك فعالية مضادة للأكسدة مهمة مقارنة بالباذنجان الأبيض .

وقد مكنتنا نتائج هذا العمل من التأكد بأن الفعالية المضادة للأكسدة للباذنجان تعود أساسا للمركبات الفينولية.

الكلمات الدالة : الباذنجان، البوليفينولات الكلية، الفعالية المضادة للأكسدة، DPPH، الفولت امبيرومترية الحلقي،.

Abstract

This work is a contribution to the study of the content of the total phenolic content and antioxidant activity of ten varieties of dark-purple eggplant's grown in ten different regions of eastern Algeria. The methods used are the Folin-Ciocalteu assay to quantify total phenolic content, the DPPH test and the electrochemical method using the voltammetry technique were used for measuring the antioxidant activity, the results were very significant. The correlation between the antioxidant activity and the content of total phenolic compounds was also investigated. This combination allowed us to make a quantitative and qualitative assessment of phenolic compounds extracted from samples of eggplant studied. The results assert that the extracts of peel have a very high antioxidant capacity relatively to the whole fruit and pulp.

The effect of freezing and drying was studied and developed two varieties of eggplant in the El-Oued, which are the dark-purple and the white variety. Extracts of dark-purple variety were the most active extracts and show an interesting contribution to antioxidant activity.

The results of this work allowed us to confirm that the antioxidant capacity of eggplant is essentially caused by the phenolic compounds.

Keywords: Eggplant, total phenolic content, antioxidant capacity, DPPH, cyclic voltammetry.

Liste des abréviations

DAHP : 3-deoxy-D-*arabino*-heptulosonate 7-phosphate.

DAHP synthase : 2-dehydro-3-deoxyarabinoheptulosonate-7-phosphate synthase.

EPSP : 5-*enol*pyruvylshikimate 3-phosphate.

PAL : Phénylalanine Ammoniac Lyase.

C4H : cinnamate-4-hydroxylase.

4CL : CoA-ligase.

ArO[•] : aryloxy.

ArOH : phénol.

PI : potentiel d'ionisation.

RO[•] : Radical oxy.

ROO[•] : Radical peroxy.

BDE : *bond dissociation energy*.

ERO : espèces réactives de l'oxygène.

NOS : NO synthase.

SOD : superoxyde dismutase.

MPO : méthylperoxydase.

GP : glutathion peroxydase.

GSS : glutathion réduit.

GSSH : glutathion oxydé.

ONOO[•] : peroxydinitrite.

H₂O₂ : peroxyde d'hydrogène.

O₂^{•-} : anion superoxyde.

OH[•] : radical hydroxyl.

HOCl : acide hypochloride.

PO : phénoxy.

LDL : lipoprotéines de faible densité.

EGCG : l'épigallocatechine-3-gallate.

Rdt : Rendement d'extraction.

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle.

Abs : Absorbance.

EC₅₀ : Concentration équivalente à 50% de DPPH perdu.

Ox : Oxydant.

Red : Réducteur.

Eeq : Potentiel d'équilibre.

EAG : Equivalent d'acide gallique.

ET : l'électrode de travail.

ER : l'électrode de référence.

EA : l'électrode auxiliaire.

CV : voltampérométrie cyclique.

AAT : Activité antioxydante totale.

EVF : fraction éthanolique de la variété d'aubergine violette pourpre fraîche.

EBF : fraction éthanolique de la variété d'aubergine blanche fraîche.

EVC : fraction éthanolique de la variété d'aubergine violette pourpre congelée.

EBC : fraction éthanolique de la variété d'aubergine blanche congelée.

EVS : fraction éthanolique de la variété d'aubergine violette pourpre séchée.

EBS : fraction éthanolique de la variété d'aubergine blanche séchée.

QVF : fraction aqueuse de la variété d'aubergine violette pourpre fraîche.

QBF : fraction aqueuse de la variété d'aubergine blanche fraîche.

QVC : fraction aqueuse de la variété d'aubergine violette pourpre congelée.

QBC : fraction aqueuse de la variété d'aubergine blanche congelée.

QVS : fraction aqueuse de la variété d'aubergine violette pourpre séchée.

QBS : fraction aqueuse de la variété d'aubergine blanche séchée.

Liste des symboles

- M : effet mésomère attracteur d'électrons.

+ M : effet mésomère donneur.

M_{extrait} : masse de l'extrait en gramme.

$M_{\text{échantillon}}$: masse de l'échantillon en gramme.

I_o : Intensité d'une lumière.

I : Intensité de la lumière transmise.

A : Absorbance de la solution.

T : Transmittance.

UV : Ultra Violet.

R^2 : Coefficient de corrélation.

E : Potentiel.

E° : potentiel standard apparent.

F : constante de Faraday.

n : nombre d'électron.

R : constante des gaz parfaits.

T : Température absolue.

C : Concentration.

C_{OX}^{sol} : Concentrations de l'oxydant en solution.

C_{Red}^{sol} : Concentrations du réducteur en solution.

E_{pa} : potentiels d'oxydations.

E_{pc} : potentiels de réductions.

I_{pa} : Densité du courant d'oxydations.

I_{pc} : Densité du courant de réductions.

mM : millimolaire.

mV/s : millivolt par seconde.

$\mu A/cm^2$: microampère par centimètre carré.

g/l : gramme par litre.

y : valeur de la densité anodique du courant.

x : valeur de la concentration standard.

C_{eq} : concentration équivalente en acide ascorbique.

C_I : concentration d'extrait sec.

\bar{e} : électron.

$^{\circ}C$: Degré Celsius.

Liste des figures

Figure I.1 : <i>Plante de l'aubergine (Solanum melongena L.)</i>	6
Figure I.2 : <i>Centres de la diversification d'aubergine et les zones de culture les plus importantes</i>	7
Figure I.3 : <i>(A) Jeune fruit d'aubergine. (B) Fleur d'aubergine à cinq pétales</i>	9
Figure I.4 : <i>Diversité des formes, tailles et couleurs des fruits d'aubergine. (A) Aubergines allongées. (B) Aubergines rondes. (C) Aubergines miniatures. (D) Aubergines blanches. (E) Aubergines graffitis. (F) Aubergines chinoises. (G) Aubergines japonaises. (H) Aubergines thaïlandaises. (I) Aubergines indiennes</i>	10
Figure I.5 : <i>(A) Plant d'aubergine jalonnés pour améliorer le rendement et la qualité du fruit. (B) plant d'aubergine cultivées sous serre. (C) plant d'aubergines dans un pot de fleurs</i>	12
Figure I.6: <i>Structure chimique. (A) Acide caféique. (B) Acide chlorogénique</i>	14
Figure I.7: <i>Structures des trois flavonols glycosidiques. (A) Quercétine-3-glucoside. (B) Quercétine-3-rhamnoside. (C) Myricétine-3-galactoside, identifiées sous forme de trace dans la pulpe d'aubergine</i>	15
Figure I.8: <i>Nasunine (Delphinidine-3-(p-coumaroylrutinoside)-5-glucoside)</i>	16
Figure I.9 : <i>Structure chimique. (A) Solasonine (B) Solamargine</i>	16
Figure I.10: <i>Photographie des aubergines coupées. (A) Réduction de l'effet de brunissement des échantillons coupés avec une lame et déposés sous l'eau. (B) augmentation de l'effet de brunissement des échantillons coupés avec un couteau et exposés à l'air</i>	17
Figure I.11 : <i>Principales étapes du brunissement depuis l'oxydation enzymatique initiales des composés phénoliques jusqu'à la formation des pigments bruns. PPO : polyphénol oxydase ; POD : peroxydase ; aa-NH₂ : acides aminés ; Pr-SH : protéines ; R'-SH : thiols</i>	18
Figure I.12 : <i>Apparence du fruit de l'aubergine violet pourpre stocké aux températures : 0 °C et 10 °C pendant 14 jours</i>	19
Figure I.13 : <i>Apparence du fruit de l'aubergine violet pourpre stocké aux températures : 0 °C et 10 °C pendant 14 jours</i>	19
Figure I.14: <i>Principaux pays producteurs d'aubergine selon les statistiques FAO, 2010</i>	20
Figure II.1 : <i>Voie de l'acide shikimique</i>	27
Figure II.2 : <i>Métabolisme des phénylpropanoïdes conduisant aux principaux groupes de composés phénoliques</i>	28
Figure II.3 : <i>Quelques exemples des acides hydroxybenzoïques</i>	29

Figure II.4 : <i>Quelques exemples des acides hydroxycinnamiques</i>	30
Figure II.5 : <i>Quelques exemples des structures chimiques des silènes</i>	31
Figure II.6 : <i>principaux constituants de la lignine</i>	32
Figure II.7 : <i>Structure d'une lignine</i>	32
Figure II.8 : <i>Exemples des structures chimiques des lignanes. (A) unité de phénylpropane C6-C3. (B)Sauriol A (lien β-β'). (C) rufescidride</i>	33
Figure II.9 : <i>Quelques exemples des structures chimiques des coumarines</i>	34
Figure II.10 : <i>Structure de base des flavonoïdes</i>	34
Figure II.11 : <i>Des exemples des structures chimiques des flavonols</i>	35
Figure II.12 : <i>Des exemples des structures chimiques des flavones</i>	36
Figure II.13 : <i>Des exemples des structures chimiques des flavanones</i>	36
Figure II.14 : <i>Deux exemples des structures chimiques des flavan-3-ols</i>	37
Figure II.15: <i>Deux exemples des structures chimiques des isoflavones</i>	38
Figure II.16: <i>Deux exemples des structures chimiques des anthocyanes</i>	38
Figure II.17: <i>Exemple des tanins hydrolysables</i>	39
Figure II.18: <i>Exemple des tanins condensés</i>	40
Figure II.19 : <i>Formes mésomères du phénol</i>	41
Figure II.20 : <i>Oxydation mono-électronique d'un phénol et formes mésomères du radical aryloxyl formé</i>	42
Figure II.21: <i>Déséquilibre de la balance entre antioxydants et pro-oxydants</i>	44
Figure II.22: <i>Principales voies de formation des espèces réactives de l'oxygène. NOS=NO synthase ; SOD=superoxyde dismutase ; MPO=méthylperoxydase ; GP=glutathion peroxydase ; GSS=glutathion réduit ; GSSH= glutathion oxydé ; ONOO[•]=peroxynitrite ; H₂O₂=peroxyde d'hydrogène ; O₂^{•-}= anion superoxyde ; OH[•]= radical hydroxyl ; HOCl=acide hypochloride</i>	45
Figure II.23 : <i>Représentation schématique de la chaîne respiratoire mitochondriale</i>	47
Figure II.24 : <i>Domages causée par les ERO au niveau de l'ADN</i>	48

Figure II.25 : Action des antioxydants au cours du métabolisme des dérivés réactifs de l'oxygène.....	49
Figure II.26 : Acide ascorbique.....	50
Figure II.27 : Structures des tocophérols.....	51
Figure II.28 : Deux exemples des structures des caroténoïdes.....	52
Figure II.29 : Structure chimique d'un polyphénol de synthèse (3,3',5,5'-Tetra- <i>t</i> -butyl-biphenyl-4,4'-diol).....	52
Figure II.30 : Structure chimique d'un polyphénol de synthèse (dendrimère de syringaldehyde).....	53
Figure II.31 : Illustration d'un mécanisme d'action des polyphénols : la donation d'hydrogène. Le radical formé devient moins dangereux.....	53
Figure II.32 : Les structures du : (A) catéchol. (B) gallol.....	55
Figure II.33 : La géométrie octaédrique de coordination prévue du complexe général du fer-polyphénol. Gallols, R=OH ; catéchols, R=H. La Coordination exige le déprotonation des ligands de polyphénol.....	56
Figure II.34 : Coordination de Fe^{+2} par des polyphénols suivant la réaction de transfert d'électron en présence de l'oxygène conduisant à la génération du Complexe Fe^{+3} -polyphénol.....	56
Figure II.35: Coordination de Fe^{3+} par des polyphénols conduisant à la réduction du fer et à la formation d'une semiquinone, et la réduction de Fe^{3+} forme une espèce de quinone et Fe^{+2} . R= H, OH.....	57
Figure II.36: Mécanisme d'action des antioxydants phénoliques.....	57
Figure II.37 : Les caractéristiques structurales des flavonoïdes avec une activité de piégeage des radicaux libres élevée.....	58
Figure III.1 : Photos des échantillons des aubergines à étudier collectés des dix différentes régions du territoire algérien.....	65
Figure III.2 : Carte géographique montrant les zones de collecte des aubergines.....	66
Figure III.3 : Trois types d'échantillonnages des aubergines.....	67
Figure III.4 : Rendement d'extraction des composés phénoliques dans les fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres.....	69
Figure III.5 : Rendement d'extraction des composés phénoliques dans les fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres.....	71

- Figure III.6:** Droite d'étalonnage de l'acide gallique.....73
- Figure III.7:** Teneur en polyphénols totaux dans les différents extraits des fruits entiers, des pulpes et des cortex des aubergines violettes pourpres dans les fractions éthanoliques.....75
- Figure III.8:** Teneur en polyphénols totaux dans les différents extraits des fruits entiers, des pulpes et des cortex des aubergines violettes pourpres dans les fractions aqueuses.....77
- Figure III.9 :** Structure chimique du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)..78
- Figure III.10 :** Réduction du radical DPPH.....79
- Figure III.11 :** Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Skikda....80
- Figure III.12 :** Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Biskra....80
- Figure III.13 :** Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'El-OUED.81
- Figure III.14 :** Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'ANNABA.81
- Figure III.15 :** Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de GHARDAÏA.....82
- Figure III.16 :** Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'ALGER...82
- Figure III.17 :** Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de JIJEL.....83
- Figure III.18 :** Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de GUELMA.....83
- Figure III.19 :** Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de BATNA.84
- Figure III.20 :** Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'OUARGLA.....84
- Figure III.21:** Activité antioxydante des différentes fractions éthanoliques des fruits entiers, des pulpes et des cortex vis-à-vis du radical DPPH.....86
- Figure III.22 :** Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Skikda.....87

Figure III.23 : <i>Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Biskra.....</i>	87
Figure III.24 : <i>Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'El-OUED.....</i>	88
Figure III.25 : <i>Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'ANNABA.....</i>	88
Figure III.26 : <i>Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de GHARDAÏA.....</i>	89
Figure III.27 : <i>Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'ALGER.....</i>	89
Figure III.28 : <i>Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de JIJEL.....</i>	90
Figure III.29 : <i>Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de GUELMA.....</i>	90
Figure III.30 : <i>Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de BATNA.....</i>	91
Figure III.31 : <i>Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'OUARGLA.....</i>	91
Figure III.32: <i>Activité antioxydante des différentes fractions aqueuses des fruits entiers, des pulpes et des cortex vis-à-vis du radical DPPH.....</i>	93
Figure III.33: <i>Réaction d'oxydoréduction et transport du courant dans une chaîne électrochimique.....</i>	94
Figure III.34: <i>Schéma du dispositif expérimental pour les mesures à potentiel contrôlé.....</i>	95
Figure III. 35 : <i>Allure du voltampérogramme cyclique d'un couple rédox D'où E_{pa} et E_{pc} sont les potentiels d'oxydations et de réductions.....</i>	96
Figure III.36: <i>Comportement de l'électrolyte (KH_2PO_4 / K_2HPO_4).....</i>	97
Figure III.37 : <i>Voltampérogramme cyclique de l'acide ascorbique pour la concentration 1,1Mm.....</i>	97
Figure III.38: <i>Voltampérogrammes cycliques pour les différentes concentrations de l'acide ascorbique.....</i>	98
Figure III.39 : <i>Droite d'étalonnage de l'acide ascorbique</i>	99
Figure III.40 : <i>Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Skikda.....</i>	101

Figure III.41 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Biskra	101
Figure III.42 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'El-Oued.....	102
Figure III.43 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Annaba.....	102
Figure III.44 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Ghardaïa.....	103
Figure III.45 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Alger.....	103
Figure III.46 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Guelma.....	104
Figure III.47 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Guelma.....	104
Figure III.48 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Batna.....	105
Figure III.49 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Ouargla.....	105
Figure III.50 : Oxydation électrochimique des composés phénoliques.....	109
Figure III.51 : Activité antioxydante totale des fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres.....	111
Figure III.52 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Skikda.....	112
Figure III.53 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Biskra	112
Figure III.54 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'El-Oued.....	113
Figure III.55 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Annaba.....	113
Figure III.56 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Ghardaïa.....	114
Figure III.57 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Alger.....	114

Figure III.58 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Jijel.....	115
Figure III.59 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Guelma.....	115
Figure III.60: Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Batna.....	116
Figure III.61: Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Ouargla.....	116
Figure III.62 : Activité antioxydante totale des fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres.....	121
Figure IV.1 : Deux variétés d'aubergines : (A) aubergines violettes pourpres et (B) aubergines blanches.....	124
Figure. IV.2 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres et blanches fraîches.....	126
Figure. IV.3 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres et blanches congelées.....	126
Figure. IV.4 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions éthanoliques des aubergines séchées violettes et blanches.....	126
Figure. IV.5 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres et blanches fraîches.....	128
Figure. IV.6 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres et blanches congelées.....	128
Figure. IV.7 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres et blanches séchées.....	128
Figure IV.8: Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres fraîches du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....	129
Figure IV.9: Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines blanches fraîches du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....	129
Figure IV.10: Activité antioxydante totale des différentes fractions éthanoliques des deux variétés des aubergines fraîches	131
Figure IV.11: Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres congelées du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....	132
Figure IV.12: Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines blanches congelées du : fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....	132

Figure IV.13: <i>Activité antioxydante totale des différentes fractions éthanoliques des deux variétés des aubergines congelées.....</i>	134
Figure IV.14: <i>Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres séchées du :(A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....</i>	135
Figure IV.15: <i>Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines blanches séchées du :(A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....</i>	135
Figure IV.16: <i>Activité antioxydante totale des différentes fractions éthanoliques des deux variétés des aubergines séchées.....</i>	137
Figure IV.17: <i>Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres fraîches du :(A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....</i>	138
Figure IV.18: <i>Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines blanches fraîches du :(A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....</i>	138
Figure IV.19: <i>Activité antioxydante totale des différentes fractions aqueuses des deux variétés des aubergines fraîches.....</i>	140
Figure IV.20: <i>Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres congelées du :(A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....</i>	141
Figure IV.21: <i>Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines blanches congelées du :(A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....</i>	141
Figure IV.22: <i>Activité antioxydante totale des différentes fractions aqueuses des deux variétés des aubergines congelées.....</i>	143
Figure IV.23: <i>Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres séchées du : fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....</i>	144
Figure IV.24: <i>Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines blanches séchées du : fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....</i>	144
Figure IV.25: <i>Activité antioxydante totale des différentes fractions aqueuses des deux variétés des aubergines séchées.....</i>	146
Figure V.1: <i>Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par le test DPPH des fractions éthanoliques du (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....</i>	149
Figure V.2: <i>Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par le test DPPH des fractions aqueuses du (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....</i>	150
Figure V.3: <i>Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par la méthode électrochimique des fractions éthanoliques du (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....</i>	151

Figure V.4: *Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par la méthode électrochimique des fractions aqueuses du (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....152*

Figure V.5: *Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par la méthode électrochimique des fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres et blanches. (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....153*

Figure V.6: *Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par la méthode électrochimique des fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres et blanches.(A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.....154*

Liste des tableaux

Tableau I.1 : <i>Composition chimique de l'aubergine pour 100g de produit cru.....</i>	13
Tableau II.1 : <i>Les principales classes des composés phénoliques.....</i>	25
Tableau III.1 : <i>Régions de récolte des aubergines.....</i>	64
Tableau III.2 : <i>Rendement d'extraction des composés phénoliques dans les fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres.....</i>	68
Tableau III.3 : <i>Rendement d'extraction des composés phénoliques dans les fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres.....</i>	70
Tableau III.4 : <i>Absorbances de la gamme de concentration d'acide gallique.....</i>	73
Tableau III.5 : <i>Teneur en polyphénols totaux dans les différentes fractions éthanoliques des fruits entiers, des pulpes et des cortex.....</i>	74
Tableau III.6 : <i>Teneur en polyphénols totaux dans les différentes fractions aqueuses des fruits entiers, des pulpes et des cortex.....</i>	76
Tableau III.7 : <i>Activité antioxydante des différentes fractions éthanoliques des fruits entiers, des pulpes et des cortex vis-à-vis du radical DPPH.....</i>	85
Tableau III.8 : <i>Activité antioxydante des différentes fractions aqueuses des fruits entiers, des pulpes et des cortex vis-à-vis du radical DPPH.....</i>	92
Tableau III.9 : <i>Valeurs des densités du courant en fonction de la concentration d'acide ascorbique.....</i>	98
Tableau III.10 : <i>Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Skikda.....</i>	106
Tableau III.11 : <i>Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Biskra.....</i>	106
Tableau III.12 : <i>Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine d'El-Oued.....</i>	106
Tableau III.13 : <i>Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine d'Annaba.....</i>	107
Tableau III.14 : <i>Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Ghardaïa.....</i>	107
Tableau III.15 : <i>Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine d'Alger.....</i>	107

Tableau III.16 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Jijel.....	108
Tableau III.17 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Guelma.....	108
Tableau III.18 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Batna.....	108
Tableau III.19 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine d'Ouargla.....	109
Tableau III.20 : Activités antioxydantes totales des fractions éthanoliques des fruits entiers, pulpes et cortex des aubergines violettes pourpres.....	110
Tableau III.21 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Skikda.....	117
Tableau III.22 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Biskra.....	117
Tableau III.23 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine d'El-Oued.....	117
Tableau III.24 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine d'Annaba.....	118
Tableau III.25 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Ghardaïa.....	118
Tableau III.26 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine d'Alger.....	118
Tableau III.27 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Jijel.....	119
Tableau III.28 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Guelma.....	119
Tableau III.29 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Batna.....	119
Tableau III.30 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine d'Ouargla.....	120
Tableau III.31 : Activités antioxydantes totales des fractions aqueuses des fruits entiers, pulpes et cortex des aubergines violettes pourpres.....	120
Tableau IV.1: Teneur en polyphénols totaux dans les différentes fractions éthanoliques des fruits entiers, des pulpes et des cortex des deux variétés d'aubergines.....	125

Tableau IV.2: Teneur en polyphénols totaux dans les différentes fractions aqueuses des fruits entiers, des pulpes et des cortex des deux variétés d'aubergines.....	127
Tableau IV.3 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines violettes pourpres fraîches.....	130
Tableau IV.4 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines blanches fraîches.....	130
Tableau IV.5: Activités antioxydantes des fractions éthanoliques fraîches (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.....	131
Tableau IV.6 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines violettes pourpres congelées.....	133
Tableau IV.7 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines blanches congelées.....	133
Tableau IV.8 : Activités antioxydantes des fractions éthanoliques congelées (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.....	134
Tableau IV.9 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines violettes pourpres séchées.....	136
Tableau IV.10 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines blanches séchées.....	136
Tableau IV.11 : Activités antioxydantes des fractions éthanoliques séchées (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.....	137
Tableau IV.12 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines violettes pourpres fraîches.....	139
Tableau IV.13 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines blanches fraîches.....	139
Tableau IV.14 : Activités antioxydantes des fractions aqueuses fraîches (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.....	140
Tableau IV.15 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines violettes pourpres congelées.....	142
Tableau IV.16 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines blanches congelées.....	142
Tableau IV.17 : Activités antioxydantes des fractions aqueuses congelées (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.....	143
Tableau IV.18 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines violettes pourpres séchées.....	145

Tableau IV.19 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines blanches séchées.....145

Tableau IV.20 : Activités antioxydantes des fractions aqueuses séchées (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.....146

TABLE DES MATIÈRES



Table des matières

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------------	----------

BIBLIOGRAPHIE

I. Généralités sur l'aubergine (*Solanum melongena* L.)

I.1. Généralités	6
I.2. Origine et historique	7
I.3. Place dans la systématique.....	7
I.4. Ressources génétiques	8
I.5. Description botanique	9
I.6. Variétés d'aubergine	10
I.7. Usage alimentaire du fruit.....	11
I.8. Mode de culture, récolte et conservation	12
I.9. Composition du fruit.....	13
I.10. Brunissement enzymatique de l'aubergine	17
I.11. Effet de la température de stockage sur les caractéristiques physiques et physiologiques des fruits de l'aubergine.....	19
I.12. Importance économique et production mondiale.....	20
I.13. Propriétés pharmacologiques	21

II. Polyphénols

II.1. Généralités	24
II.2. Biosynthèse des polyphénols.....	25
II.2.1. Voie de l'acide shikimique	26
II.2.2. Voie de l'acétate / malonate:	27
II.3. Classification des polyphénols	29
II.3.1. Les non flavonoïdes	29
II.3.1.1. Acides phénoliques (C6-C1 ou C6-C3)	29
II.3.1.2. Stilbènes C6-C2-C6.....	31
II.3.1.3. Lignines (C6-C3) _n	32
II.3.1.4. Lignanes (C6-C3) ₂	33
II.3.1.5. Coumarines C6-C3	33
II.3.2. Les flavonoïdes C6-C3-C6	34

II.3.2.1. Flavonols	35
II.3.2.2. Flavones	35
II.3.2.3. Flavanones.....	36
II.3.2.4. Flavan-3-ols ou flavanols	37
II.3.2.5. Isoflavones	37
II.3.2.6. Anthocyanes	38
II.3.3. Tanins	39
II.3.3.1. Tanins hydrolysables.....	39
II.3.3.2. Tanins condensés.....	40
II.4. Polyphénols dans les plantes : Localisation et intérêt.	40
II.5. Propriétés chimiques des polyphénols.....	41
II.5.1. Nucléophilie	42
II.5.2. Propriétés réductrices	42
II.5.3. Polarisabilité	43
II.5.4. Liaison hydrogène	43
II.5.5. Acidité	43
II.6. Stress oxydatif	44
II.6.1. Qu'es ce qu'un radical libre ?	44
II.6.2. Oxygène, espèces réactives de l'oxygène (ERO)	45
II.6.2.1. Radical superoxyde ($O_2^{\cdot-}$)	45
II.6.2.2. Peroxyde d'hydrogène H_2O_2	45
II.6.2.3. Radical hydroxyl	46
II.6.2.4. D'autres espèces réactives de l'oxygène	46
II.6.3. Origines cellulaire des espèces réactives de l'oxygène	47
II.6.4. Conséquence du stress oxydatif	47
II.7. Antioxydants et systèmes de défense.....	48
II.7.1. Antioxydants enzymatiques	48
II.7.2. Antioxydants non enzymatiques	49
II.7.2.1. Acide ascorbique (vitamine C).....	50
II.7.2.2. Tocophérols (dont la vitamine E).....	51
II.7.2.3. Caroténoïdes.....	51
II.7.3. Antioxydants de synthèse	52
II.7.4. Polyphénols naturels comme antioxydants	53
II.7.4.1. Inhibition enzymatique.....	54
II.7.4.2. Chélation des ions métalliques	54
II.7.4.3. Piégeage des radicaux libres	57
II.8. Intérêts thérapeutiques des polyphénols	58

II.8.1. Polyphénols et cancer	59
II.8.2. Polyphénols et maladies cardiovasculaires	60
II.8.3. Polyphénols et inflammation	60
II.8.4. Polyphénols et maladies neurodégénératives	61

PARTIE EXPERIMENTALE

III. Matériels et méthodes

III.1. Réactifs chimiques et appareillage	64
III.1.1. Réactifs chimiques	64
III.1.2. Appareillage	64
III.2. Matériel végétal	64
III.3. Méthodologie	66
III.3.1. Préparation des échantillons	66
III.3.2. Extraction des composés phénoliques	67
III.4. Résultats et discussion	68
III.4.1. Rendements des extractions	68
III.4.1.1. Fractions éthanoliques	68
III.4.1.2. Fractions aqueuse	70
III.4.2. Analyses colorimétriques par spectrophotométrie (UV-visible)	71
III.4.2.1. Spectrophotométrie	71
III.4.2.2. Dosage des polyphénols en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu :	72
III.4.2.3. Droite d'étalonnage de l'acide gallique	72
III.4.2.4. Teneur en polyphénols totaux	74
III.4.2.4.1. Fractions éthanoliques	74
III.4.2.4.2. Fractions aqueuses	76
III.4.3. Evaluation de l'activité antioxydante en utilisant le test DPPH	77
III.4.3.1. Le radical stable DPPH	77
III.4.3.2. Principe de la méthode : réaction entre le radical libre DPPH et l'antioxydant	78
III.4.3.3. Dosage des polyphénols en utilisant une solution de DPPH	79
III.4.3.3.1. fractions éthanoliques	79
A. Droites d'étalonnage des échantillons	80
B. Résultats	85
III.4.3.3.2. Fractions aqueuses	87
A. Droites d'étalonnage des échantillons	87
B. Résultats	92

III.4.4. Mesure de l'activité antioxydante en utilisant la méthode électrochimique: Technique de la voltampérométrie cyclique	94
III.4.4.1. Interface de l'électrolyte solide.....	94
III.4.4.2. Instruments utilisés pour une manipulation d'électrochimie	95
III.4.4.3. Allure d'un voltampérogramme cyclique	96
III.4.4.4. Etude électrochimique du comportement de l'électrolyte	97
III.4.4.5. Etude électrochimique du comportement de l'acide ascorbique	98
III.4.4.6. Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique	99
III.4.4.7. Evaluation de l'activité antioxydante totale (AAT).....	100
III.4.4.8. Voltampérogrammes cycliques des échantillons	101
III.4.4.8.1. Fractions éthanoliques	101
A. Paramètres électrochimiques	107
B. Interprétation des résultats.....	110
III.4.4.8.2. Fractions aqueuses	113
A. Paramètres électrochimiques	118
B. Interprétation des résultats.....	121
III.5. Conclusion	123

IV. Effet du séchage et de la congélation sur l'activité antioxydante et le contenu en polyphénols

IV.1. Echantillonnage.....	124
IV.2. Préparation du matériel végétal.....	124
IV.3. Extraction du matériel végétal	125
IV.4. Dosage des polyphénols totaux.....	125
IV.4.1. Fractions éthanoliques	125
IV.4.2. Fractions aqueuses	127
IV.5. Evaluation de l'activité antioxydante totale.....	129
IV.5.1. Fractions éthanoliques	129
IV.5.1.1. Fractions éthanoliques des aubergines fraîches.....	129
IV.5.1.2. Fractions éthanoliques des aubergines congelées.....	132
IV.4.5.3. Fractions éthanoliques des aubergines séchées	135
IV.5.2. Fractions aqueuses	138
IV.5.2.1. Fractions aqueuses des aubergines fraîches.....	138
IV.5.2.2. Fractions aqueuses des aubergines congelées.....	141
IV.5.2.3. Fractions aqueuses des aubergines séchées	144
IV.6. Conclusion	147

V. Corrélation

V.1. Corrélation entre la teneur en polyphénols et l'activité antioxydante mesurée par le test DPPH.....	149
V.1.1. Fractions éthanoliques	149
V.1.2. Fractions aqueuses	150
V.2. Corrélation entre la teneur en polyphénols et l'activité antioxydante mesurée par la méthode électrochimique : voltampérométrie cyclique	151
V.2.1. Fractions éthanoliques	151
V.2.2. Fractions aqueuses	152
V.3. Corrélation entre la teneur en polyphénols et l'activité antioxydante des aubergines violettes pourpres et aubergines blanche.....	153
V.3.1. Fractions éthanoliques.....	153
V.3.2. Fractions aqueuses.....	154
V.4. Conclusion.....	155
<i>Conclusion générale et perspectives</i>	157
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	160

INTRODUCTION GÉNÉRALE



Introduction générale

Au cours de la dernière décennie, une réelle prise de conscience de l'importance d'une alimentation riche en fruits et légumes est apparue, en particulier dans le cadre de la prévention de maladies métaboliques telles que les pathologies cardiovasculaires, l'obésité, le diabète, les maladies neurodégénératives, le cancer, ... Une consommation élevée de fruits et légumes a pu être associée à la diminution du risque de ces maladies dans de nombreuses études épidémiologiques. De multiples constituants et micronutriments de ces aliments tels que les fibres, les vitamines, les minéraux et les polyphénols jouent potentiellement un rôle dans cet effet protecteur.

Les polyphénols sont des micronutriments particulièrement abondants dans les fruits, les céréales et les légumes ainsi que dans des boissons comme le thé, le café ou les jus de fruits. Ces métabolites secondaires, sont impliqués dans de nombreuses facettes des systèmes biologiques des plantes : pigmentation, mécanismes de croissance et de reproduction, protection contre les prédateurs... Ces composés d'intérêt biologique sont caractérisés par la présence d'au moins un motif phénolique (cycle aromatique sur lequel viennent se greffer un ou plusieurs groupements –OH). Une des particularités des polyphénols réside dans leur incroyable diversité, puisque l'on dénombre à l'heure actuelle plus de 8000 composés phénoliques, dont 5000 pour la sous classe des flavonoïdes. Leurs effets positifs qu'ils exercent sur l'organisme humain en leur qualité d'antioxydants ont commencé à être reconnus, notamment dans le domaine de la médecine préventive. En effet, les polyphénols possèdent non seulement des propriétés anticancéreuses et antiscélératiques mais aussi la faculté de combattre les caries et les diarrhées, Ils peuvent également participer à la bonne conservation de certains aliments transformés, comme l'huile d'olive, en limitant l'oxydation des lipides qu'ils contiennent.

L'aubergine, *Solanum melongena L.*, est un légume-fruit qui appartient à la famille des *Solanaceae* et qui possède une teneur élevée en composés phénoliques. Elle est d'une importance économique et traditionnelle dans les pays méditerranéens et en Asie. On la rencontre aussi en Amérique et en Afrique. Sa culture est possible dans des climats très variés (tempérés, tropical sec ou humide). Ainsi, elle renferme de nombreux types de cultivar qui sont variés entre eux selon la couleur, la taille et la forme.

Le fruit de l'aubergine abaisse le taux de cholestérol ; il convient dans un régime alimentaire destiné à régulariser la tension artérielle. Frais, on l'applique en cataplasme sur les hémorroïdes, mais on l'utilise plus couramment sous forme d'huile ou d'onguent. Le fruit et son JUS sont des diurétiques efficaces. En cataplasme, les feuilles apaisent brûlures, abcès, herpès et autres affections du même type. Le fruit mâché peut être appliqué sur les brûlures. Des études menées en Allemagne en 1975 ont montrées que l'aubergine empêche les graisses de s'accumuler dans les artères.

Dans ce contexte, l'objectif global de ce travail est d'étudier *in vivo* les activités biologiques des fractions aqueuses et éthanoliques extraites des échantillons des aubergines violettes pourpres collectées de différentes régions du territoire algérien en utilisant une nouvelle méthode qui est la méthode électrochimique, ainsi d'étudier l'effet de la congélation et du séchage sur deux variétés locales ; la variété violette pourpre et la variété blanche.

Dans la première partie de ce manuscrit, nous nous sommes intéressés à cités quelques connaissances bibliographiques concernant l'espèce *Solanum melongena L.*

La deuxième partie, a été consacrée à une étude bibliographique sur les polyphénols, leur biosynthèse, leur classification, leur propriétés chimiques, ainsi qu'une mise au point sur le stress oxydatif, les radicaux libres, les antioxydants dans la nature et leur mécanisme d'actions.

Dans la troisième partie, on a cité la méthode d'extraction des échantillons des aubergines étudiées, leurs rendements d'extraction, leurs teneurs en polyphénols totaux, ainsi que l'évaluation des activités antioxydantes totales en utilisant une méthode classique, qui est la méthode du test DPPH et une nouvelle méthode qui est la méthode électrochimique en utilisant la technique de la voltampérométrie cyclique.

La quatrième partie, a été consacrée à l'étude de l'effet de congélation et du séchage sur deux variétés d'aubergines locales, ainsi d'estimer les teneurs en polyphénols totaux et les activités antioxydantes.

La dernière partie, a été consacrée à la recherche d'une corrélation entre les polyphénols totaux contenus dans les différents cultivars des aubergines étudiées et l'activité antioxydante.

BIBLIOGRAPHIE



I. GÉNÉRALITÉS SUR L'AUBERGINE (*Solanum melongena L.*)



I. Généralités sur l'aubergine (*Solanum melongena* L.)

I.1. Généralités

L'aubergine représentée par la **figure I.1** est originaire de l'Asie du sud, son nom indien *Brinjal* a été progressivement altéré d'une langue latine à l'autre : **beringela** (portugais), **berengena** (espagnol), **merinjano** (provençal), **melanzana** (italien), **alberginya** (catalan), **aubergine** (français) et **baadanjaan** (arabe) [1]. C'est le septième légume le plus consommé au monde [2]. C'est un produit tropical qui occupe une place économique importante dans les régions tropicales et tempérées. Comme les pommes de terre, les tomates, et les poivrons, les aubergines appartiennent à la famille des Solanacées [3]. Cette famille qui comporte 98 genres et environ 2.700 espèces. Environ la moitié des espèces de Solanacées appartiennent au genre *Solanum* [4].

Sur la base des statistiques de production, l'aubergine est le troisième produit le plus important dans la famille des Solanacées, après la pomme de terre et la tomate. Bien qu'il est considéré comme un ingrédient exotique aux États-Unis, l'aubergine est un composant important et essentiel qui entre dans l'alimentation quotidienne en particulier en Chine et en Inde où il est considéré comme le "roi des légumes" [5]. Contrairement aux autres cultures, qui ont été domestiquées dans le Nouveau Monde, *S. melongena* est une espèce de l'Ancien Monde qui a été domestiquée dans la région de l'Asie. Les formes sauvages de l'aubergine sont épineux à petit fruit amer, mais la sélection lors de la domestication abouti à des types cultivés avec de gros fruits savoureux et moins piquants. Aujourd'hui, l'aubergine continue d'être une importante espèce économiquement et nutritionnellement dans les pays d'Asie et de la Méditerranée [6].



Figure I.1 : Plante de l'aubergine (*Solanum melongena* L.)

I.2. Origine et historique

L'aubergine a deux centres d'origine. L'Inde et l'Indochine sont le centre de diversification primaire et la Chine est probablement le centre de diversification secondaire (**figure I.2**) [7-9]. L'aubergine se connaît en Inde depuis le III^e siècle avant J.-C. et elle a été cultivée pour plus de 1500 ans en Asie. L'Inde est la source des cultivars à gros fruits (exploitées maintenant partout dans le monde), tandis que la culture des cultivars à petits fruits a débuté en IV^e siècle en Chine et en 9^{ème} siècle en Afrique. De son centre d'origine et de domestication indo-chinois, l'aubergine a été transportée à l'Afrique du Nord et la péninsule Ibérique par les Arabes avant le X^e siècle. « melongena » était un nom arabe donné à l'un des cultivars des aubergines [9].

Les Arabes ont ensuite transportée l'aubergine de la Perse et peut-être de la péninsule arabique à la Méditerranée. Des manuscrits de cuisine arabe du moyen âge comprennent beaucoup de recettes. L'aubergine a été traitée avec suspicion au premier mais bientôt il est devenu un légume favorable. La Sicile a été l'une des premiers endroits en Europe où l'aubergine était cultivée après avoir été introduit par les paysans arabes. Elle a été cultivée en Espagne en Xe siècle [10].

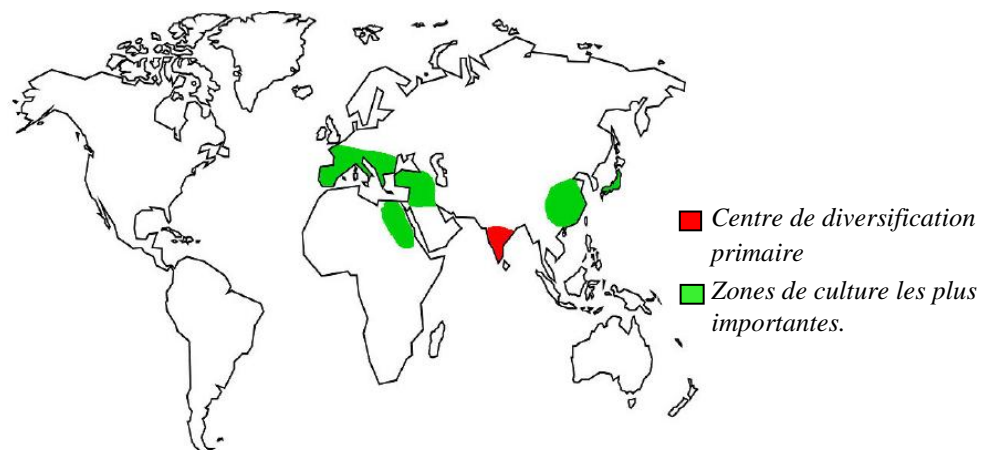


Figure I.2 : Centres de la diversification d'aubergine et les zones de culture les plus importantes.

I.3. Place dans la systématique

Suivant la classification de Cronquist (1988), nous avons la systématique suivante :

Règne	: <i>Plantae</i>
Sous-règne	: <i>Tracheobionta</i>
Embranchement Division	: <i>Magnoliophyta</i>

Classe	: Magnoliopsida
Sous-classe	: Asteridae
Ordre	: <u>Solanales</u>
Famille	: <u>Solanaceae</u>
Genre	: <u>Solanum</u>
Espèce	: <u>Solanum melongena</u> L.

I.4. Ressources génétiques

L'aubergine appartient au sous-genre *Leptostemonum*, le plus important des sept sous-genres du genre *Solanum*. Ce sous-genre est subdivisé en 27 sections dont ***Melongena*** (Miller) Dunal, ***Oliganthes*** (Dunal) Bitter et ***Torva*** Nees sont celles regroupant le plus grand nombre d'espèces. Les trois principales espèces d'aubergines cultivées sont *Solanum melongena*, *S.aethiopicum*, et *S.macrocarpon*. L'amertume des fruits dépend de leur teneur en saponosides azotés et non-azotés :

✓ ***S.aethiopicum* L.**, également appelé « *scarlet eggplant* », a été domestiqué en Afrique à partir de l'espèce sauvage *S. anguivi* et est cultivée dans toute l'Afrique intertropicale. *S.aethiopicum* est une grande espèce semi-ligneuse qui produit des fruits rouges à orangés à maturité.

✓ ***S.macrocarpon* L.** ou « *gboma eggplant* » ou encore « grosse anghive » dans l'île Maurice, a été domestiqué en Afrique tropicale humide à partir de l'espèce sauvage *S. dasyphyllum* Schum. et Thonn., utilisé en médecine. *S.macrocarpon* est également cultivée occasionnellement en Asie et Amérique du Sud. Elle produit des fruits verts ou jaunâtres à maturité [11].

Un grand nombre de cultivars d'aubergine sont connus et caractérisés par leur variabilité morphologique (type de croissance ...), physiologique (précocité des floraisons, le besoin en eau et d'absorption) et biochimiques [12]. Les variétés sont encore très marquées par leur origine géographique, du fait d'une sélection et commercialisation encore locales jusqu'à récemment : par exemple les variétés extrême orientales sont très précoces et ont une végétation souvent très anthocyanées, les variétés tropicales sont généralement tardives, et les variétés méditerranéennes traditionnelles ont en général une végétation vigoureuse. L'hybridation naturelle entre les variétés cultivées et les formes sauvages de *S. melongena* est commune en Asie et de nombreux types de plantes intermédiaires entre les formes cultivées et sauvages existent [13].

Des variétés primitives d'aubergines sont encore présentes en Asie, mais une érosion génétique importante, due à l'utilisation préférentielle de cultivars à haut rendement, a eu lieu en Indonésie, aux Philippines, en Thaïlande et en Malaisie. Ses niveaux de résistance aux maladies sont eux-aussi très variés. L'analyse biochimique et moléculaire de la diversité génétique chez l'aubergine a fait l'objet de quelques études et les relations phylogénétiques entre l'aubergine et ses espèces ont été menées [2].

I.5. Description botanique

L'aubergine (**figure I.3**) présente une racine annuelle d'où s'élève une tige herbacée, rameuse, haute d'un pied et plus, cylindrique, un peu pulvérulente, offrant les aiguillons simples, courts, assez éloignés les uns des autres. **Les feuilles** sont alternes, pétiolées, ovales, aiguës, sinueuses sur les bords, pubescentes ; pétiole cylindrique, pulvérulent, épineux inférieurement.

Les fleurs sont très grandes, violacées, solitaires, pédonculées, opposées aux feuilles, ayant souvent un certain nombre de parties surajoutées ; pédoncule d'environ un pouce, pulvérulent et épineux. Calice campaniforme pulvérulent et épineux offrant six ou huit divisions linéaires, aiguës, Corolle rotacée, un peu plissée, divisions presque triangulaires, aiguës, en nombre égale à celui des divisions calicinales. Etamines au nombre de six à huit dans les individus cultivés [14].

Les fruits sont de forme variable, subglobuleuse à ovoïde ou allongée, ou piriforme, lustrée, généralement pourpre noir, parfois blanche, pourpre ou jaunâtre, atteignant 30 cm de longueur. Graines nombreuses, petites, brun pâle, comprimées, sub-réniformes, longues de \pm 3 mm, finement rugueuses [15].

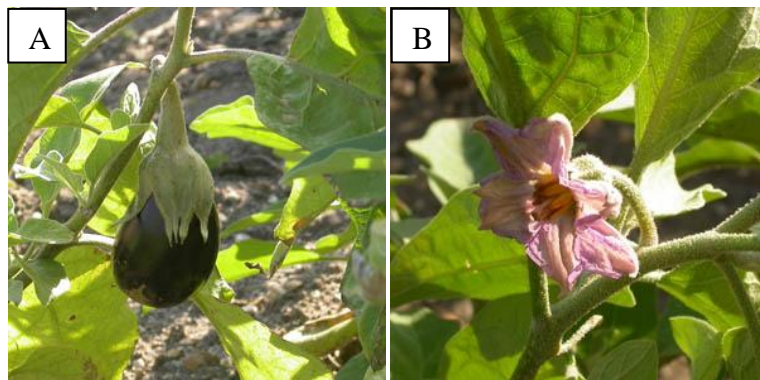


Figure I.3 : (A) Jeune fruit d'aubergine. (B) Fleur d'aubergine à cinq pétales.

I.6. Variétés d'aubergine

Les variétés d'aubergines représentées par la **figure I.4** sont de formes et de couleurs différentes [16].

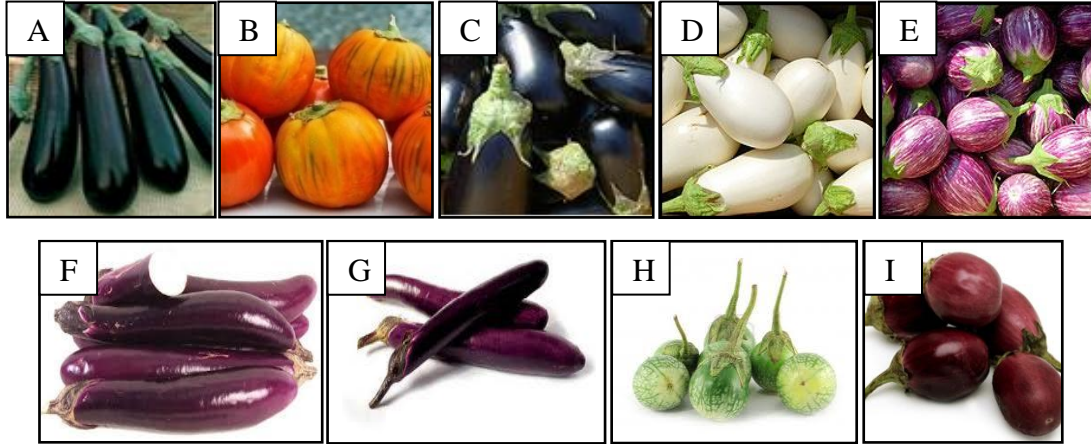


Figure I.4 : Diversité des formes, tailles et couleurs des fruits d'aubergine.

(A) Aubergines allongées. (B) Aubergines rondes. (C) Aubergines miniatures. (D) Aubergines blanches. (E) Aubergines graffiti. (F) Aubergines chinoises. (G) Aubergines japonaises. (H) Aubergines thaïlandaises. (I) Aubergines indiennes.

✓ **Aubergines violettes pourpres** (aubergines occidentaux) : elles sont typiques de l'Amérique et de l'Europe mais elles ont été introduite en Asie. Les plantes sont moins vigoureuses mais très productives. Cette espèce a deux formes de base ; la forme ovale et la forme allongée. Elles sont généralement de grande taille (200-600 g).

✓ **Aubergines miniatures** (italiennes) : Elles sont de quelques centimètres de longs, violettes ou blanches, étroites ou arrondies. Elles sont généralement plus douces et plus tendres que les variétés les plus grandes et elles possèdent une peau plus mince et contiennent moins de graines.

✓ **Aubergines orientales** : Elles sont originaires d'Asie tropicale. Elles sont très populaires au Japon, en Chine, en Inde, en Thaïlande et en Philippines. Les plantes sont précoces et énergiques. Les fruits pourrait être de couleurs pourpres, verts violets, lavandes, blanches, avec ou sans rayures, de formes rondes ou minces. On peut citer :

- Aubergines chinoises, généralement longues, violettes pourpres, contiennent moins de graines.
- Aubergines japonaises, elles sont plus fermes et plus lourde, violettes pourpres, en forme ovoïde ou en forme allongée.
- Aubergines thaïlandaises, elles sont rondes et petites comme les tomates (40-80 g) ou très allongée (10 pouces, environ 100-200 g) de couleurs vertes ou blanches avec des rayures vertes.
- Aubergines indiennes, elles sont ovales, petites (30-100 g), de couleurs rouges pourpres, ou moyennes (200-300 g) violet foncé.

Dans le bassin méditerranéen, à l'exception de quelques zones de culture très intensives, les variétés cultivées sont encore souvent des populations locales ou des variétés fixées. Les typologies principales sont les fruits longs cylindriques pourpres plus ou moins foncés et les variétés à fruits globuleux, plus ou moins gros et foncés. Mais on trouve aussi dans certaines régions très localisées, des fruits blancs, mauves ou striés et de différentes formes [17].

Actuellement, seuls quelques variétés populaires sont présentes dans le commerce mondial cela est dû à la baisse de la diversité variétale d'aubergine dans le monde, mais plusieurs régions d'Asie sont riches en certain nombre de variétés. On trouve plusieurs variétés locales et patrimoniales dans les Philippines, en Chine méridionale, en Asie du Sud et en Inde [18].

I.7. Usage alimentaire du fruit

Le fruit immature de l'aubergine est consommée lorsqu'il a une couleur agréable, qu'il est brillant et que les graines sont encore immatures. A maturité, la pulpe du fruit est fibreuse et amère et les graines sont dures, elle a une texture fine et un goût proche de celui des champignons, mais le goût peut parfois être un peu plus fort ou même assez amer [19]. L'immense inconvénient des aubergines, c'est qu'elles se comportent exactement comme des éponges si elles baignent dans du gras [20]. Les cellules d'une aubergine fraîche ont une teneur très élevée en air qui s'échappe lorsque l'aubergine est chauffée. Quand vous faites cuire l'aubergine dans l'huile, l'air s'échappe et les cellules absorbent une grande quantité d'huile [21].

L'aubergine est délicieuse chaude ou froide. Elle peut être farcie, grillée, gratinée, en casserole, en brochettes ou réduite en purée. On l'accompagne de tomates, d'ail et d'huile d'olive. Certaines variétés orientales se mangent crues, en salade [22]. Elle se consomme volontiers avec la peau : il suffit de la laver sous l'eau courante et de lui couper ces deux extrémités. Pour éviter que sa chair noircisse, asperger-la de jus de citron. Elle se garde pendant une semaine dans le bas du réfrigérateur [23].

I.8. Mode de culture, récolte et conservation

L'aubergine se multiplie par des graines qui sont semées d'abord en pépinières pour produire des plantules transplantées en champ 6 à 10 semaines après le semis aux écartements de 50 x 50 cm. Elle préfère un sol profond, fertile et riche en humus, un sol frais et humide. Elle a besoin de beaucoup de soleil et de température élevée [24]. Une fois repiqué, sa culture consiste en arrosages fréquents. Quand les fruits sont noués, on taille la plante pour ne lui en laisser que le nombre qu'elle peut facilement nourrir [25]. Comme la tomate ou le poivron, la culture d'aubergine se fait traditionnellement en plein champ (**figure I.5**). Mais depuis une dizaine d'année, on trouve des cultures d'aubergine sous abri avec des techniques de palissage et de pincement spécifique [26].

Les aubergines se récoltent une fois complètement formées et avant que leurs graines aient commencé à changer de couleur. Les récoltes sont successives et à la main au fur et à mesure de la maturation des fruits. Les fruits parvenus à maturité sont fermes, lourds et chatoyants, ils sont réfrigérés et entreposés à une température de 10 à 12°C et à 95% d'humidité relative [27].

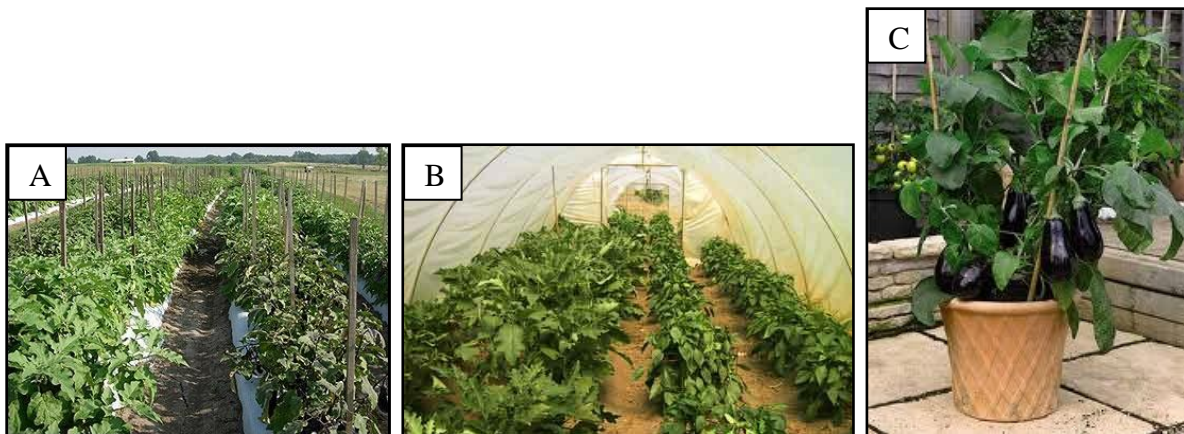


Figure I.5 : (A) Plant d'aubergine jalonnés pour améliorer le rendement et la qualité du fruit. (B) plant d'aubergine cultivées sous serre. (C) plant d'aubergines dans un pot de fleurs.

Lors de l'inspection visuelle de l'aubergine, la couleur de la peau doit être vive, brillante, sans décoloration et sans cicatrices qui indiquent habituellement que la chair est endommagée et peut-être pourrie. La tige et le bouchon à l'extrémité de l'aubergine doivent aussi être sans décoloration. Pour tester la maturité d'une aubergine, appuyez doucement sur la peau avec le tampon de votre pouce, si elle revient l'aubergine est mûre. Les fruits des aubergines sont en fait très périssables, étant sensible à la chaleur et le froid. Conservez le fruit entier dans un sac en plastique et le ranger dans le réfrigérateur. Si vous coupez l'aubergine avant de la ranger, elle se désintègre rapidement. Une fois cuites, les aubergines peuvent être stockées dans le réfrigérateur jusqu'à trois jours [28]. Vous pouvez aussi envelopper le fruit de l'aubergine non lavé dans une serviette (pas en plastique) pour absorber l'humidité et la conserver dans le bac à légumes de votre réfrigérateur pendant une semaine, il devrait encore être frais et doux [29].

I.9. Composition du fruit

L'aubergine est caractérisée par une teneur très élevée en eau et riche en fibres, son contenu en vitamines et en minéraux est très faibles. Le **tableau I.1** illustre les différents constituants de l'aubergine selon la littérature.

Tableau I.1: Composition chimique de l'aubergine pour 100g de produit cru.

Composant	Valeur Certifiée ^(a)	Composant	Valeur Certifiée ^(a)
Energie	82 Kcalorie	vitamines	
Eau	92g – 94g	Vitamines E	30 µg
Protéines totales	0,8g – 1,3g	Vitamines B1, thiamines	50 µg
Glucides totaux	2g – 2,8g	Vitamines B2, riboflavine	30 µg
Fructose	1g – 1,4g	Niacine	8 mg
Glucose	1g – 1,4g	Tryptophane	6 mg
Fibres	2,4 – 4,2g	Vitamines B6	0,08 mg
Lipides totaux	0,1g	Acide Pantothénique	0,22 mg
AG saturés	44mg	Vitamines C	0,5 mg
AG mono-insaturés	16mg	Cendres	0,5g – 0,6g
AG poly-insaturés	89mg		
		Minéraux	
Sodium, Na	3 – 7mg	Fer, Fe	0,4mg
Potassium, K	240mg	Cuivre, Cu	0,08mg
Calcium, Ca	8 – 10mg	Zinc, Zn	0,15mg
Magnésium, Mg	10 – 13mg	Iode, I	0,15mg
Chlore, Cl	50 – 55mg	Manganèse, Mn	0,14mg
Carbonate	-	Chrome, Cr	0,7µg
Phosphore, P	21mg	Sélénium, Se	0,2µg
Nickel, Ni	1µg		

^a (Selon Danish food composition database: technical university of Denmark, 2004)

✓ Les aubergines contiennent aussi les **acides phénoliques** [30], tels que l'acide caféique et l'acide chlorogénique (l'acide 5-O-caféoyl quinique) qui sont représentés par la **figure I.6**.

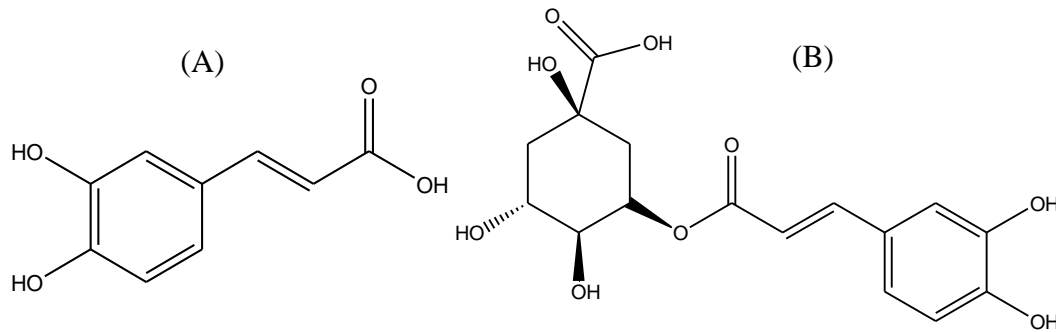


Figure I.6: Structure chimique. (A) Acide caféique. (B) Acide chlorogénique.

Les bienfaits attribués à l'acide chlorogénique qui est l'acide phénolique majoritaire trouvé dans les fruits des aubergines [31], incluent les propriétés anticancéreuses, antimicrobiennes, antivirales et l'inhibition du LDL (mauvais) cholestérol [32]. L'acide caféique, comme tous les polyphénols, possède des groupes hydroxyles phénoliques -OH, capables de prévenir ou ralentir l'oxydation des lipides. Dans une étude comparative avec l'acide chlorogénique, l'effet de ces deux acides sur l'auto-oxydation du triacylglycérol a été étudié. Il a été trouvé qu'à la concentration de $2,8 \cdot 10^{-4}$ M, ces deux acides avaient pratiquement la même activité mais seulement à des concentrations plus élevées, l'acide caféique était plus efficace [33].

✓ Des recherches récentes ont montrées que les fruits des aubergines frais contiennent après la récolte entre 0,02 et 0,05 mg d'acide ascorbique (vitamine C), c'est une faible concentration comparée avec ceux dans plusieurs d'autres fruits et légumes. Le pouvoir antioxydant des aubergines est probablement dû à la présence des autres polyphénols [34].

✓ Trois flavonols glycosidiques ont été identifiées sous forme de trace dans la pulpe d'aubergine : la quercétine-3-glucoside, la quercétine-3-rhamnoside et la myricétine-3-galactoside [35]. Leurs structures sont représentées par la **figure I.7**.

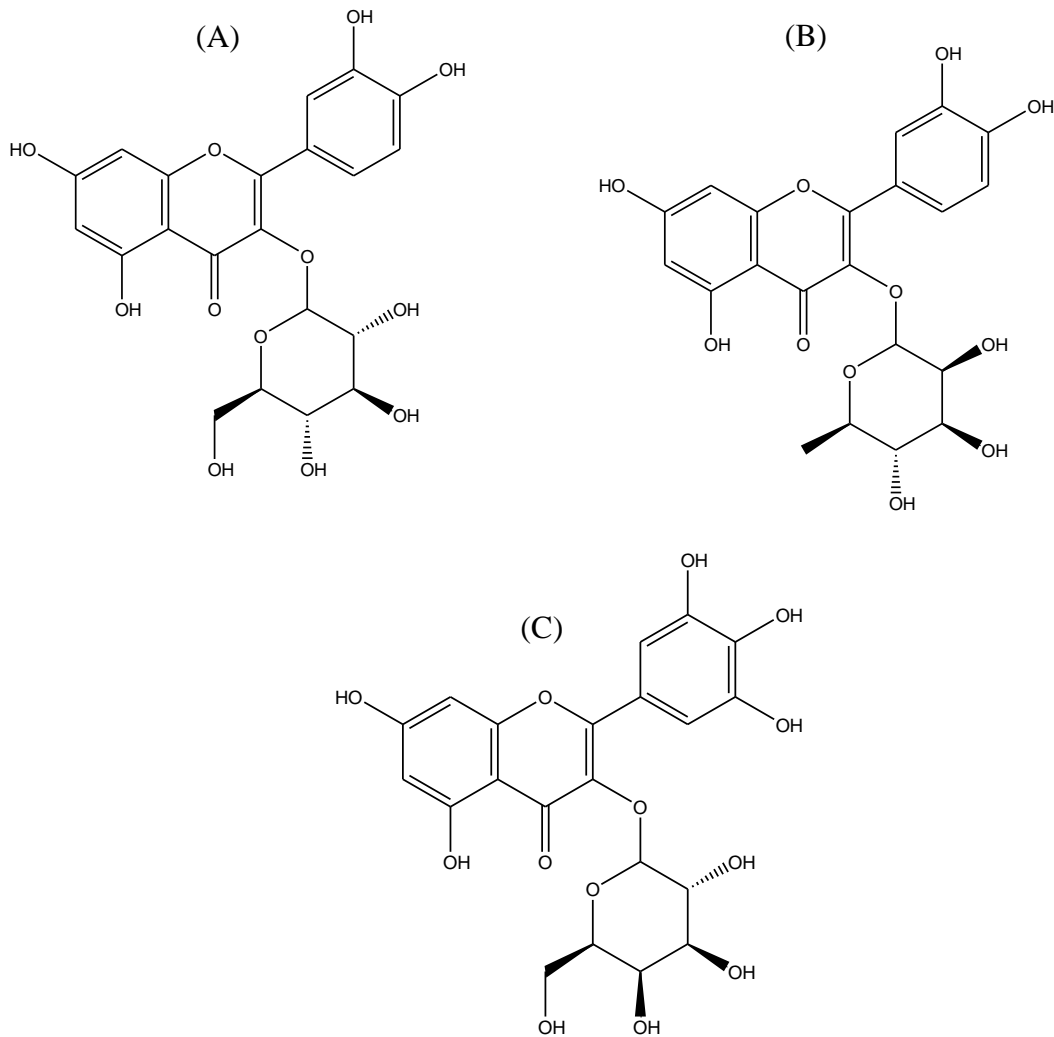


Figure I.7: Structures des trois flavonols glycosidiques. (A) Quercétine-3-glucoside. (B) Quercétine-3-rhamnoside. (C) Myricétine-3-galactoside, identifiées sous forme de trace dans la pulpe d'aubergine.

✓ Les **anthocyanes** sont responsables de la coloration des plantes, ils possèdent des propriétés antivirales, antiallergiques [36], anti-inflammatoires, antibactériennes [37], antitumorales, un pouvoir protecteur contre les maladies cardiovasculaires, un effet inhibiteur de la peroxydation lipidique, ainsi que la capacité de piéger les radicaux libres [38]. La **nasunine** (Delphinidine-3-(p-coumaroylrutinoside)-5-glucoside), une anthocyanine isolée des cortex des aubergines violettes pourpres, elle est considérée comme un puissant antioxydant (**figure I.8**) [39-41].

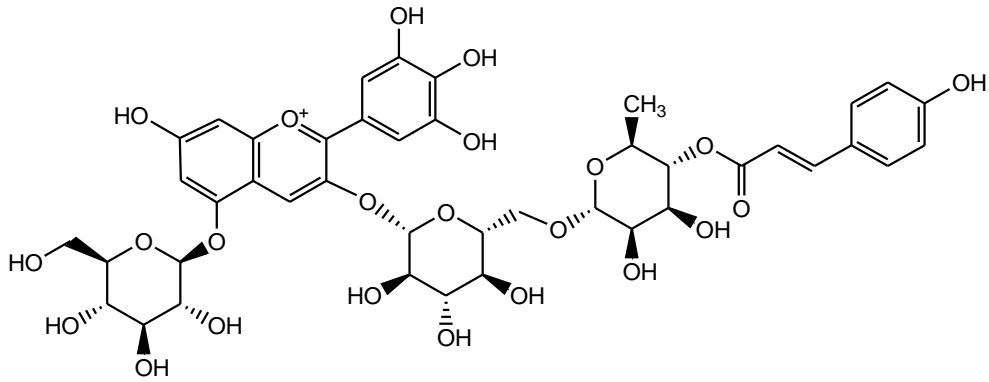


Figure I.8: *Nasunine (Delphinidine-3-(p-coumaroylrutinoside)-5-glucoside).*

✓ Les fruits des aubergines contiennent des **saponosides stéroïdiques**, azotés (glycoalcaloïdes) et non azotés. Du fait de leurs structures moléculaires voisines, ils ont des caractéristiques communes : propriétés tensioactives, effets physiologiques sur les êtres vivants. Par exemple notons sur le plan médical certains effets intéressants : abaissement du taux du cholestérol plasmatique et élimination des acides biliaires dans le transit intestinal. L'amertume de l'aubergine est due à ces substances [42]. Les principaux glycoalcaloïdes de l'aubergine (**figure I.9**) sont la **solasonine** et la **solamargine** [43].

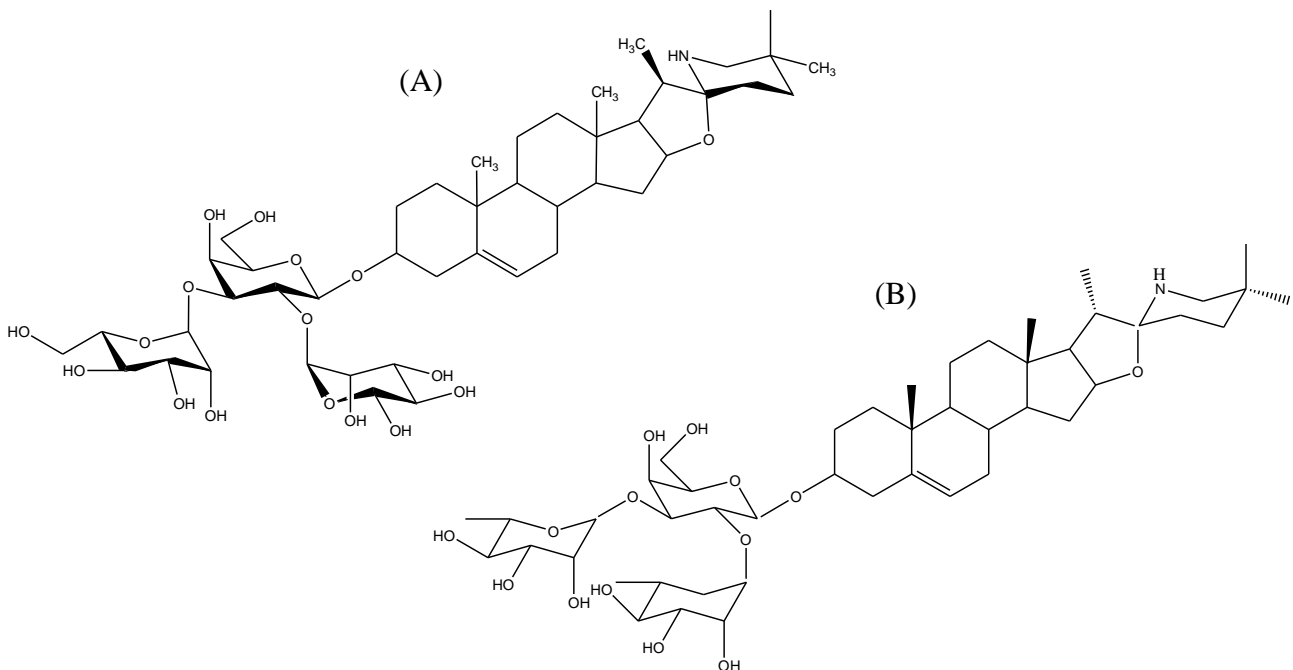


Figure I.9 : *Structure chimique. (A) Solasonine (B) Solamargine.*

Les glycoalcaloïdes sont principalement accumulés dans les fruits non mûrs. La plus grande quantité des glycoalcaloïdes de type solasonine dans les fruits mûrs des aubergines a été localisées dans la zone placentaire des pulpes. Les graines des variétés violettes pourpres contiennent une plus grande quantité en glycoalcaloïdes par rapport aux autres variétés [44].

I.10. Brunissement enzymatique de l'aubergine

Tout comme de nombreux fruits et légumes tels que les abricot, les pommes, les pommes de terre ; l'aubergine brunit quand elle est coupée au couteau [45] (**figure I.10**).

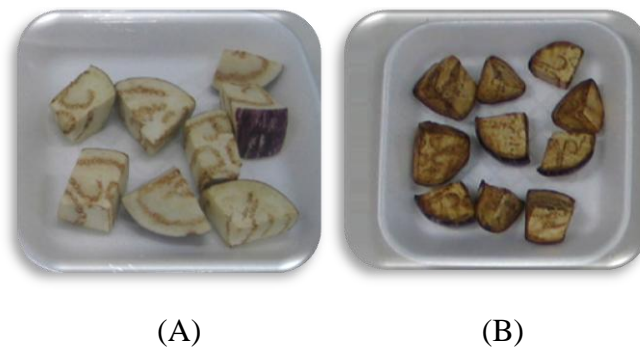


Figure I.10: Photographie des aubergines coupées. (A) Réduction de l'effet de brunissement des échantillons coupés avec une lame et déposés sous l'eau. (B) augmentation de l'effet de brunissement des échantillons coupés avec un couteau et exposés à l'air.

Cependant, les caractéristiques biochimiques et nutritionnelles du fruit changent puisque l'intégrité cellulaire est touchée. En général, le brunissement est provoqué par oxydation enzymatique des composés phénoliques naturels. La polyphénol oxydase (PPO) est l'enzyme clé de cette dégradation [46].

Par ailleurs, les qualités nutritionnelles des végétaux sont modifiées dans la mesure où l'apparition des pigments bruns est liée à la diminution de la teneur en antioxydants phénoliques et a pour conséquence la disparition de l'acide ascorbique. La **figure I.11** montre les principales étapes du brunissement depuis l'oxydation enzymatique initiales des composés phénoliques jusqu'à la formation des pigments bruns [47].

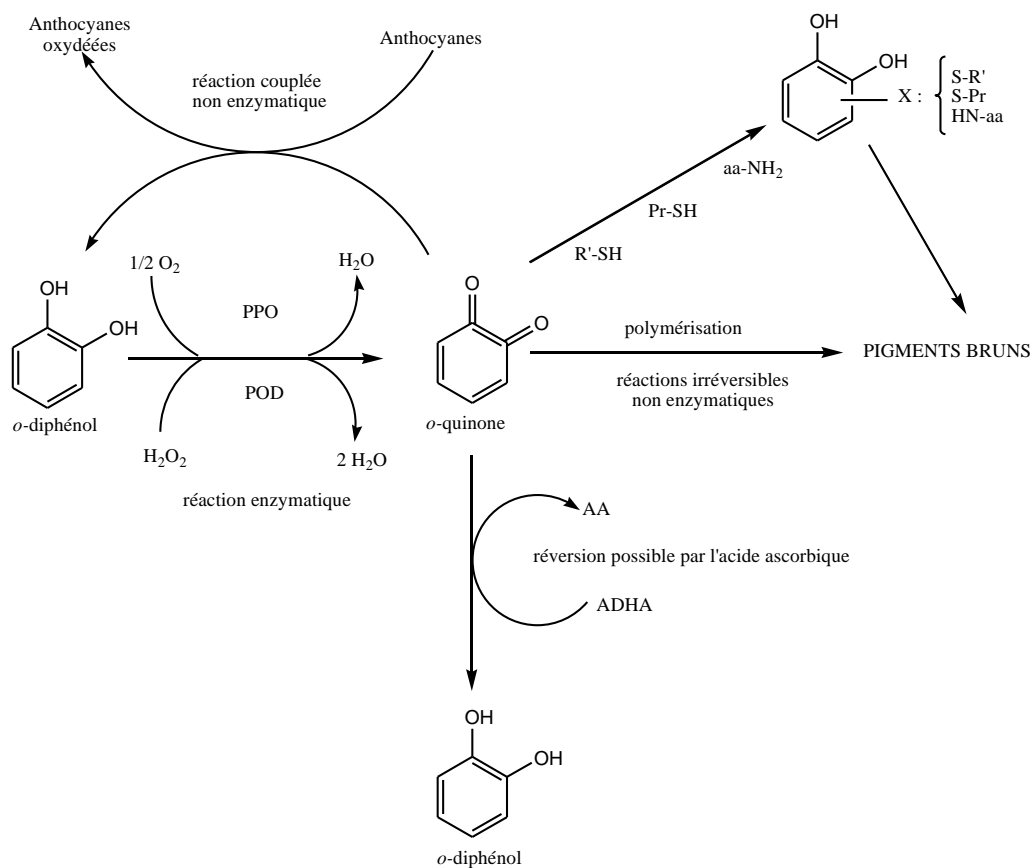


Figure I.11 : Principales étapes du brunissement depuis l'oxydation enzymatique initiales des composés phénoliques jusqu'à la formation des pigments bruns. PPO : polyphénol oxydase ; POD : peroxydase; aa-NH₂ : acides aminés; Pr-SH : protéines; R'-SH : thiols.

Des recherches récentes effectuées sur les fruits des aubergines, ont permis la purification et la caractérisation de l'enzyme polyphénol oxydase et elles ont montré que les aubergines sont une source très riche en cette enzyme, ce qui affecte négativement sur sa qualité après le découpage, les blessures pendant la récolte ou le stockage pendant une longue période [48-49]. Dans les fruits des aubergines, la polyphénol oxydase et les composés phénoliques sont présent dans le chloroplaste et les vacuoles respectivement. Pendant le découpage physique, les cellules sont endommagées sur toute la longueur de la ligne du découpage et les cellules adjacentes deviennent mécaniquement blessées, conduisant à la rupture de la structure cellulaire, cela conduit éventuellement à la libération de l'enzyme PPO et ses substrats phénoliques permettant le contact physique entre ces derniers. En présence de l'oxygène, cette réaction enzymatique prend place, ce qui provoque l'apparition des pigments de coloration brune sur la surface découpée [50].

L'effet de brunissement des aubergines fraîches coupées avec une lame (**figure I.10**) est remarquablement ralenti lorsque ces dernières sont mises sous l'eau pendant 10 minutes

[50]. L'acide chlorogénique est le principal substrat pour l'activation de ces réactions biochimiques [51].

I.11. Effet de la température de stockage sur les caractéristiques physiques et physiologiques des fruits de l'aubergine.

Il est bien connu que le stockage des fruits et des légumes à basse température, après la récolte jusqu'à la consommation est un moyen efficace pour préserver la qualité et la valeur nutritionnelle. Cependant, la plupart des fruits et des légumes tropicaux, comme l'aubergine, sont sensibles au froid. En dessous de 10 °C (température recommandée de stockage des fruits), les aubergines subissent des troubles physiologiques qui se manifestent notamment par l'apparition de lésions sur la peau, changement de couleur, noircissement des graines et brunissement de la chair et perte de poids [52].

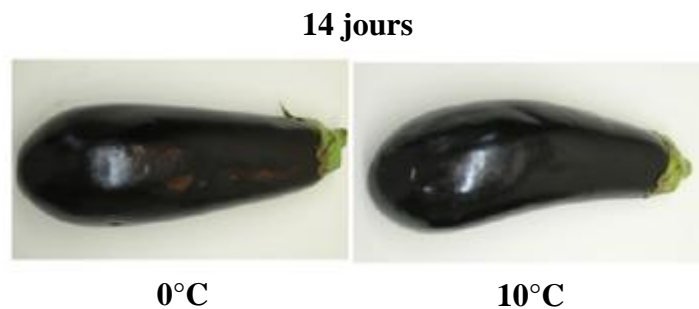


Figure I.12 : Apparence du fruit de l'aubergine violet pourpre stocké aux températures : 0 °C et 10 °C pendant 14 jours.

Des travaux récents ont montré que le stockage des fruits d'aubergines à la température de 0°C provoque des dégâts dus au froid, L'aspect visuel change. Alors qu'aucun symptôme n'a été observé pour les fruits stockés à 10 °C (**figure I.12**) [53].

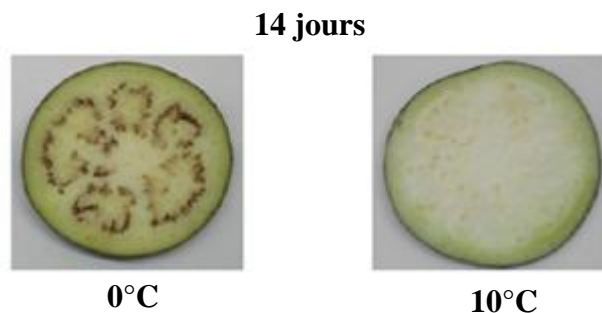


Figure I.13 : Apparence du fruit de l'aubergine violet pourpre stocké aux températures : 0 °C et 10 °C pendant 14 jours.

Le brunissement est l'un des causes principales de la perte des qualités des fruits des aubergines après la récolte. Il représente le symptôme principal des dommages internes. Les travaux de Concellón et al. montrent l'apparition de l'effet du brunissement dans les secteurs entourant les graines (**figure I.13**) pour les échantillons gardés à 0°C. Pendant le stockage, les changements des teneurs en polyphénols ont été plus marqués à basse température et au deux températures : 0°C et 10°C, le contenu final après le stockage était inférieur au contenu initial après la récolte [53].

I.12. Importance économique et production mondiale

L'aubergine occupe une place économique importante dans les régions tropicales et tempérées. Les premiers pays producteurs d'aubergine au niveau mondial sont la Chine et l'Inde [54] (**figure I.14**).

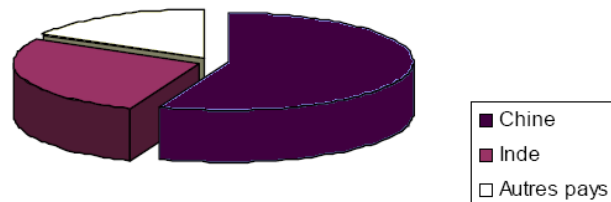


Figure I.14: Principaux pays producteurs d'aubergine selon les statistiques
FAO, 2010.

Selon la FAO en 2010, la Chine représentait 58,55% de la production mondiale totale, qui s'élève à plus de 4 millions de tonnes, devant l'Inde, l'Egypte, l'Iran et la Turquie avec une production de 24.501.936 tonnes, l'Inde est le deuxième (25,24%) avec une production de 10.563.000 tonnes, suivie par l'Egypte (2,94%) avec une production de 1.229.790 tonnes, l'Iran (2,12%) avec une production de 888.500 tonnes, la Turquie (2,03%) avec une production de 849.998 tonnes, l'Indonésie (1,15%) avec une production de 482.305 tonnes, l'Iraq (0,93%) avec une production de 387.435 tonnes, le Japon (0,79%) avec une production de 330.100 tonnes, l'Italie (0,72%) avec une production de 302.551 tonnes et Philippines (0,50%) avec une production de 208.252 tonnes. Plus de 4.000.000 acres (1.600.000 ha) sont consacrés à la culture de l'aubergine dans le monde [54].

I.13. Propriétés pharmacologiques

Le fruit d'aubergine contient les composés phénoliques, qui sont des antioxydants puissants. Les études ont prouvé que les extraits d'aubergine suppriment le développement de

la tumeur dans le sang et empêchent l'inflammation qui peut mener à l'athérosclérose. Il a été démontré que les extraits des cortex des fruits d'aubergine possèdent une capacité élevée de piégeage des radicaux superoxydes et inhibent la génération du radical hydroxyle par la chélation des ions ferreux. Les radicaux superoxydes générés *in vivo* sont habituellement convertis en peroxyde d'hydrogène, et comme d'autres radicaux libres, il peut endommager les lipides, les protéines, et l'ADN. Parmi 120 espèces de légumes évalués pour leur activité antioxydante en utilisant quatre analyses différentes, l'aubergine s'est rangée parmi les 10 premières espèces ayant une activité du piégeage des radicaux superoxydes [55]. La nasunine, une anthocyanine isolée des peaux des fruits des aubergines violettes pourpres [56], est un composé phénolique impliqué dans l'inhibition de la génération du radical hydroxyle et le piégeage des radicaux superoxydes, elle a un effet efficace *in vitro* contre la peroxydation lipidique [57].

L'aubergine a été employée pour le traitement médicinal à la maison au Japon. En outre l'aubergine possède une activité antimicrobienne, antitumorale, anticarcinogène. Il a été montré que les polyphénols des aubergines empêchent la mutagénicité des amines hétérocycliques. Précédemment, il a été rapporté que divers composés du jus d'aubergine présentent des propriétés antimutagéniques comparées à d'autres légumes [58].

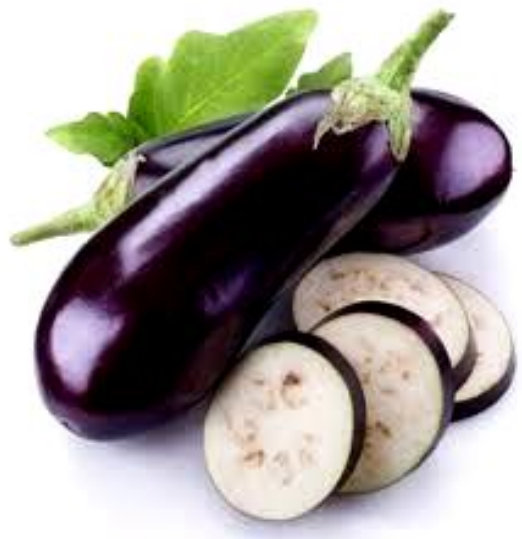
Le fruit d'aubergine est très peu calorique et riche en fibres, c'est une alliée pour mincir et éviter le cholestérol [59]. Car, outre son faible apport calorique, la richesse en fibres de l'aubergine facilite l'amincissement tout en rendant service à de nombreux égards. En effet, **sa pectine** gonfle dans l'estomac, formant un gel qui capture une partie des sucres et des graisses absorbés au cours du repas, tout en régulant le transit intestinal. Ce légume est donc tout indiqué en cas d'excès de cholestérol, de diabète (car les sucres rejoignent moins rapidement le flot sanguin) et de constipation. Les feuilles, employées en cataplasme, servent à soigner les abcès, les brûlures, les dartres ou encore les hémorroïdes. En Orient, on utilise de la poudre d'aubergine mélangée à du sel de mer pour blanchir les dents [60].

L'aubergine a des propriétés antiseptiques, diurétiques et hémostatiques. Il permet de dissiper la chaleur toxique de l'organisme et améliore la circulation sanguine. Il est utilisé pour soulager la colite, la douleur, l'hypertension et les ulcères d'estomac [61]. Il améliore la digestion et aide à prévenir le risque des maladies dégénératives, les maladies cardiovasculaires [62]. L'aubergine produit des neurotoxines naturelles appelées solanines.

Sur le plan sanitaire, la consommation de l'aubergine crue risque de provoquer intoxications d'où leur consommation sous forme cuite est fortement recommandée. Sur le plan agroalimentaire, elle entre dans la préparation de nombreux plats cuisinés, soupes et sous différentes formes [63].

✓ **Les pectines** sont des polysaccharides des parois cellulaires végétales. Elles participent à la cohésion de la cellule et au maintien des parois par le biais d'interactions mécaniques et chimiques avec les autres constituants de la paroi. La quantité des substances pectiques dans le végétal varie fortement en fonction de son origine botanique et de son histoire (mode de culture, période de croissance...). Elles sont des fibres alimentaires solubles qui diminueraient les risques du cancer du colon. Plusieurs autres effets bénéfiques pour la santé ont été rapportés concernant l'élimination des métaux lourds et la diminution du taux de cholestérol plasmatique [63].

II. POLYPHÉNOLS



II. Polyphénols

II.1. Généralités

Les composés phénoliques ou les polyphénols sont des métabolites secondaires largement répandues dans le règne végétal étant trouvé dans tous les fruits et les légumes. Ces composés sont présents dans toutes les parties des plantes mais avec une répartition quantitative qui varient entre les différents tissus. Plus de 8000 structures ont été identifiées [64], allant de simples molécules comme les acides phénoliques à des substances hautement polymérisées comme les tanins [65]. Ils sont synthétisés par l'ensemble des végétaux et ils participent aux réactions de défense face à différents stress biotiques (agents pathogènes, blessures, symbiose) ou abiotiques (lumière, rayonnements UV, faible température, carences). Les polyphénols contribuent à la qualité organoleptique des aliments issus des végétaux (couleur, astringence, arôme, amertume) [66].

La nature et la fonction des composés phénoliques s'accumulant dans les plantes sont variables. Ils présentent des propriétés anti-microbiennes; ce sont des phytoalexines. Ces composés de défense regroupent différentes classes de composés tels que les isoflavonoïdes prénylés, les stilbènes, les coumarines, les flavonols ou encore les auronés. D'autres composés ont des fonctions dans la signalisation comme l'acide salicylique, molécule signal dans les mécanismes de résistance. La blessure et l'attaque par des herbivores induisent la synthèse de l'acide chlorogénique ou d'esters phénoliques liés aux parois cellulaires, ces composés pouvant agir directement en tant que molécules de défense ou servir de précurseurs à la synthèse de la lignine, de la subérine et autres barrières polyphénoliques. Par ailleurs, la quantité d'anthocyanines augmente fortement après un stress au froid ou un stress nutritionnel [67].

Les polyphénols sont caractérisés par la présence d'au moins un noyau benzénique auquel est directement lié au moins un groupe hydroxyle, libre ou engagé dans une autre fonction : ether, ester, hétéroside [68]. Ils sont communément subdivisés en acides phénoliques (dérivés de l'acide benzoïque ou dérivés de l'acide cinnamique), coumarines, stilbènes, flavonoïdes, lignanes, lignines, tanins [69].

D'un point de vue appliqué, ces molécules constituent la base des principes actifs que l'on trouve chez les plantes médicinales, alliées à leur difficulté de production. Chez l'homme,

ces molécules traces jouent un rôle important en agissant directement sur la qualité nutritionnelle des fruits et légumes et leur impact sur la santé des consommateurs (effet antioxydant, effet protecteur contre l'apparition de certains cancers...). Le **tableau II.1** qui s'inspire du Macheix et al. regroupent les principales classes des composés phénoliques.

Tableau II.1 : Les principales classes des composés phénoliques.

Squelette carboné	Classe	Exemple	Origine (exemple)
C6	Phénols simple	Catéchol	
C6-C3	Acides hydroxybenzoïques	p-Hydroxybenzoïques	Epices, fraise
C6-C3	Acides hydroxycinnamique	Acide caféique, acide férulique	Pomme de terre, pomme
	Coumarines	Scopolétine, esculétine	Citrus
C6-C2-C6	Silènes	Resvératrol	Vigne
C6-C3-C6	Flavonoïdes		
	<ul style="list-style-type: none"> • Flavonols 	Kamphérol, quercétine	Fruits, légumes, fleurs
	<ul style="list-style-type: none"> • Anthocyanes 	Cyanidine, pélargonidine	Fleurs, fruits rouges
	<ul style="list-style-type: none"> • Flavanols 	Catéchine, épicatechine	Pomme, raisin
	<ul style="list-style-type: none"> • Flavanones 	Naringénine	Citrus
	<ul style="list-style-type: none"> • Isoflavonols 	Daidzéine	Soja
(C6-C3) ₂	Lignanés	Pinorésinol	Pin
(C6-C3) _n	Lignines		Bois, noyau de fruits
(C15) _n	Tanins		Raisin rouge, kaki

II.2. Biosynthèse des polyphénols

Les composés phénoliques sont issus par deux grandes voies métaboliques : **la voie de l'acide shikimique** et **la voie de l'acétate/malonate**.

II.2.1. Voie de l'acide shikimique

La voie de l'acide shikimique (**figure II.1**) est la voie la plus importante pour la biosynthèse des composés aromatiques dans les plantes et les micro-organismes, y compris les acides aminés aromatiques : la phénylalanine, la tyrosine et le tryptophane. Ce sont des métabolites

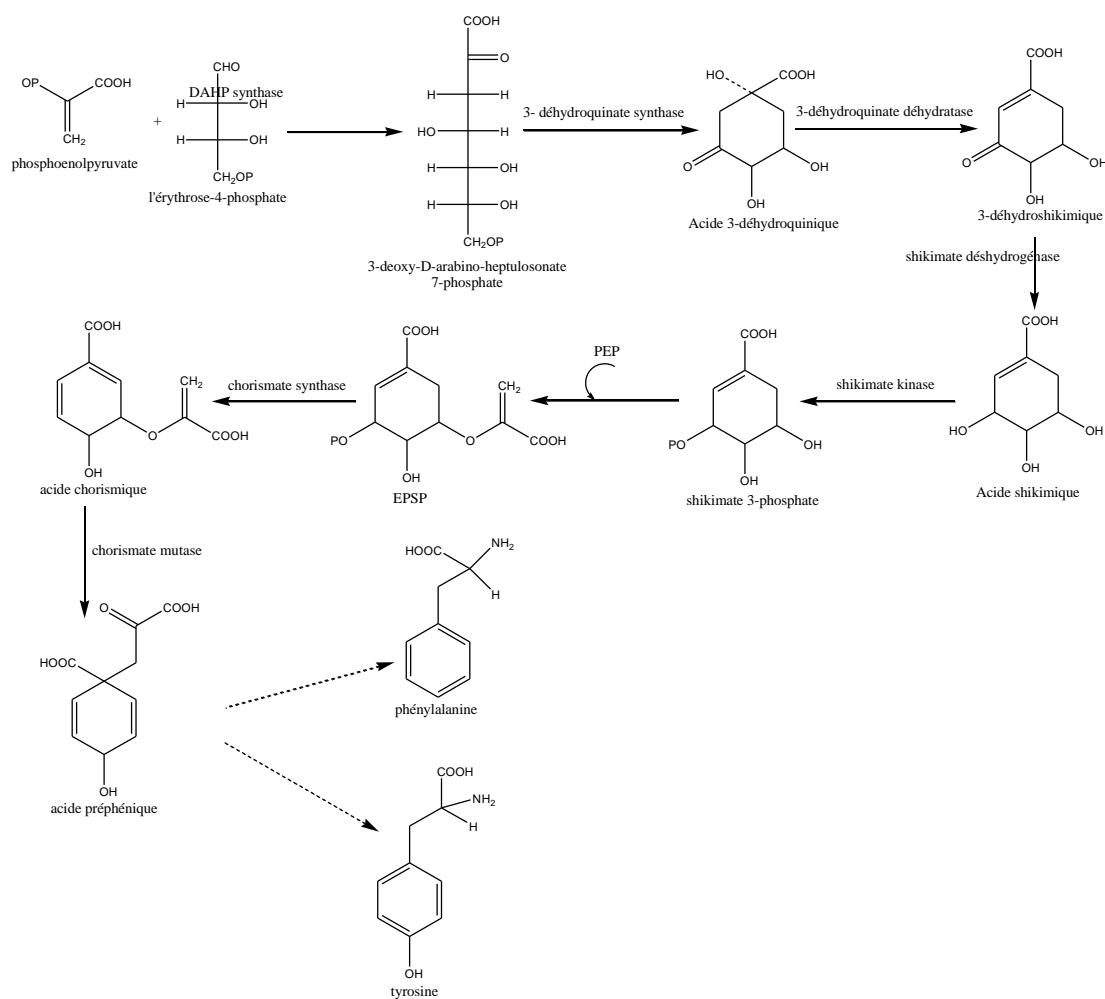


Figure II.1 : Voie de l'acide shikimique.

primaires qui servent de précurseurs pour de nombreux de produits naturels (secondaire) tels que les flavonoïdes, les acides phénoliques, les coumarines, les alcaloïdes... [70]. Les deux substrats phosphoenolpyruvate et l'érythrose-4-phosphate sont des précurseurs qui dérivent respectivement de la glycolyse et de la voie des pentoses phosphate. Ils sont condensés pour former le 3-deoxy-D-arabino-heptulosonate 7-phosphate (DAHP). Cette réaction est catalysée par l'enzyme DAHP synthase (2-dehydro-3-deoxyarabinoheptulosonate-7-phosphate synthase). La série des réactions enzymatiques conduit respectivement à la formation de : l'acide 3-déhydroquinique par l'enzyme 3- déhydroquinase ; l'acide 3-déhydroshikimique par l'enzyme 3-déhydroquinase déhydratase et finalement l'acide shikimique par l'enzyme shikimate déshydrogénase. L'acide shikimique est encore converti en shikimate 3-phosphate par l'enzyme shikimate kinase, et plus tard en 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate (EPSP) par l'enzyme 5-enolpyruvylshikimate 3-phosphate synthase, EPSP est alors converti en acide chorismique par la chorismate synthase. L'acide chorismique est à un point de branchement pour la biosynthèse des acides aminés aromatiques

: le tryptophane, la phénylalanine et la tyrosine. La phénylalanine et la tyrosine sont des précurseurs d'une importante classe des composés phénoliques ; les phénylpropanoïdes, aussi bien que plusieurs d'autres classes des composés phénoliques. Ceci exige la conversion de l'acide chorismique en acide préphénique, catalysée par la chorismate mutase et en acide aroginique catalysé par le préphénate aminotransférase. L'enzyme aroginate déhydratase convertit l'acide aroginique en phénylalanine, tandis que l'enzyme aroginate déshydrogénase génère la tyrosine (**figure II.1**) [71].

La désamination de la phénylalanine grâce à l'action de la Phénylalanine Ammoniac Lyase (PAL) conduit à l'acide *t*-cinnamique, le premier phénylpropane formé. La PAL est l'enzyme constituant le point de branchement entre le métabolisme primaire du shikimate et le métabolisme secondaire des phénylpropanoïdes. L'acide *t*-cinnamique est ensuite transformé en acide coumarique puis en 4-coumaroyl-coenzyme A, respectivement par l'action des enzymes cinnamate-4-hydroxylase (C4H) et CoA-ligase (4CL). Cette étape conduit directement à la voie du phénylpropanoïde conduisant à la synthèse des différents composés phénoliques (**figure II.2**) [72]. Une grande diversité caractérise ces phénylpropanoïdes spécifiques du règne végétal. Le squelette carboné subit, de manière régio-spécifique, des réactions d'hydroxylation, de méthylation, de glycosylation, d'acylation, de prénylation ou encore de sulfatation. Ces réactions biochimiques sont catalysées par des enzymes spécialisées appartenant à des familles multigéniques telles que les mono-oxygénases, les méthyltransférases, les glucosyltransférases ou encore les acyltransférases. Cette variabilité structurale reflète la multitude des activités et des fonctions biologiques de ces composés. Ceci implique une régulation fine des étapes enzymatiques intervenant dans cette voie métabolique, que ce soit au cours du développement de la plante ou en réponse à divers stimulus environnementaux. La régulation du métabolisme des phénylpropanoïdes et de la voie de l'acide shikimique est coordonnée, afin de mieux contrôler le flux de carbone injecté dans la voie des phénylpropanoïdes, par l'intermédiaire de la PAL [67].

II.2.2. Voie de l'acétate / malonate:

La glycolyse et la β -oxydation aboutissent à la formation de l'acétyl CoA donnant le malonate. C'est à travers cette voie que s'effectue la cyclisation des chaînes polycétoniques, obtenues par condensation répétée d'unités « Acétate » qui se fait par carboxylation de l'acétyl-CoA. Cette réaction est catalysée par l'enzyme acétyl-CoA carboxylase [73].

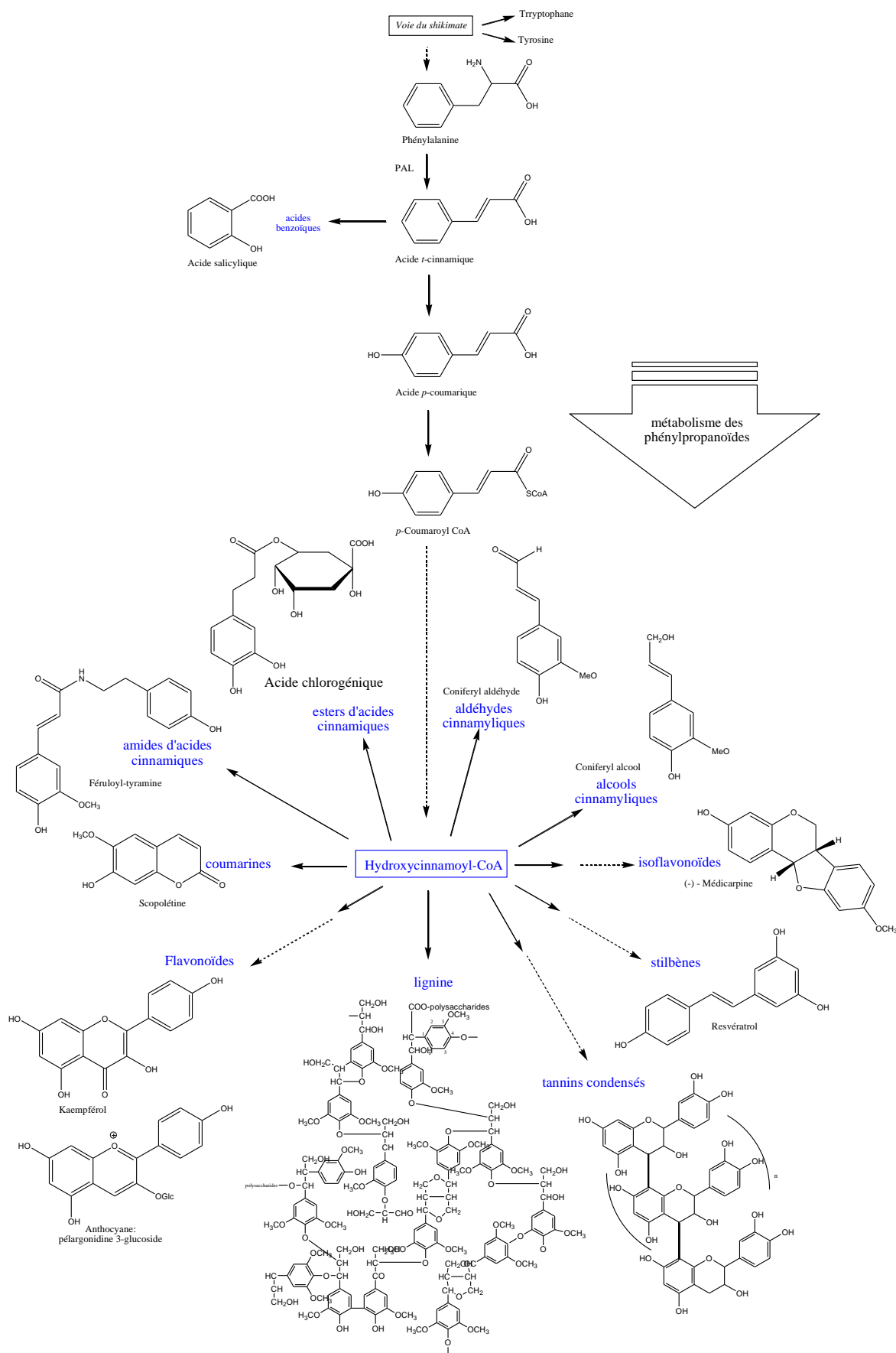


Figure II.2 : Métabolisme des phénylpropanoïdes conduisant aux principaux groupes de composés phénoliques.

II.3. Classification des polyphénols

Les polyphénols peuvent se regrouper en deux grands groupes : **Les non flavonoïdes** dont les principaux composés sont : les acides phénoliques, les stilbènes, les lignanes, les lignines et les coumarines [74] et **les flavonoïdes**, dont on caractérise principalement : les flavones, flavanones, flavonols, isoflavonones, anthocyanines, proanthocyanidines et flavanols [75].

II.3.1. Les non flavonoïdes

II.3.1.1. Acides phénoliques (C6-C1 ou C6-C3)

Les acides phénoliques font partie des formes les plus simples des composés phénoliques et se séparent en deux grands groupes distincts qui sont les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques.

✓ Acides hydroxybenzoïques C6-C1

Les acides hydroxybenzoïques sont dérivés de l'acide benzoïque et ont une formule de base de type C6-C1 (**figure II.3**). Ils sont particulièrement représentés chez les Gymnospermes et les Angiospermes d'où ils sont souvent libérés après hydrolyse alcaline du matériel végétal. Les acides hydroxybenzoïques existent fréquemment sous formes d'esters ou de glycosides, [47]. Les principaux acides hydroxybenzoïques retrouvés dans les végétaux sont les acides *p*-hydroxybenzoïque, protocatéchique, vanillique, gallique et syringique [76].

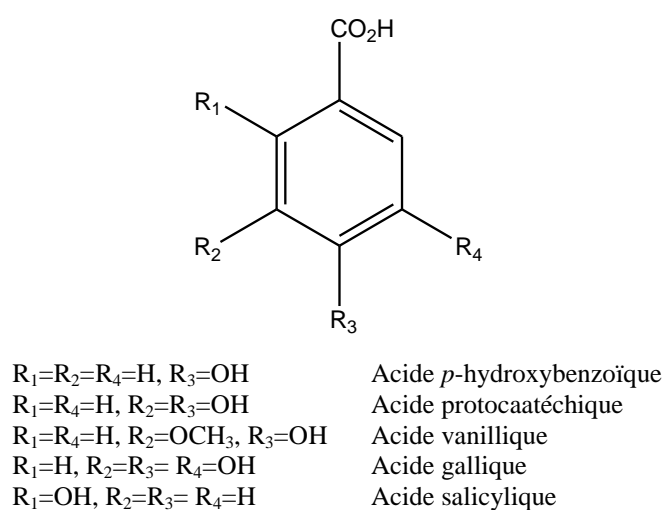
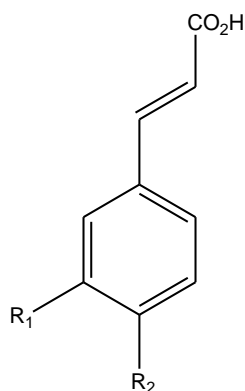


Figure II.3 : Quelques exemples des acides hydroxybenzoïques.

Le thé, certains fruits, les pommes de terre sont des sources importantes des acides hydroxybenzoïques. Les baies, ainsi que les fraises, peuvent en contenir plusieurs dizaines de milligrammes par kilogramme de fruit frais, principalement sous formes d'acides gallique et *p*-hydroxybenzoïque. Par ailleurs, les céréales comme le blé et l'avoine contiennent de l'acide vanillique, de l'acide salicylique et de l'acide *p*-hydroxybenzoïque. Certains condiments (herbes et épices) peuvent également contenir des acides hydroxybenzoïques [76].

✓ Acides hydroxycinnamiques C6-C3

Les acides hydroxycinnamiques représentent une classe très importante dont la structure de base C6-C3 dérive de celle de l'acide cinnamique (**figure II.4**). Le degré d'hydroxylation du cycle benzénique et son éventuelle modification par des réactions secondaires sont un des éléments importants de la réactivité chimique de ces molécules. De plus, l'existence d'une double liaison dans la chaîne latérale conduit à deux séries isomères (*cis* ou *Z* et *trans* ou *E*) dont les propriétés biologiques peuvent être différentes. Les formes *trans* sont cependant naturellement prépondérantes et il est possible que les formes *cis* ne correspondent qu'à des artefactes d'extraction [47].



$R_1=R_2=H$	Acide cinnamique (non phénolique)
$R_1=H, R_2=OH$	Acide <i>p</i> -coumarique
$R_1=R_2=OH$	Acide caféique
$R_1=OCH_3, R_2=OH$	Acide férulique

Figure II.4 : Quelques exemples des acides hydroxycinnamiques.

Les acides hydroxycinnamiques sont retrouvés dans toutes les parties des fruits et des légumes, quoique les concentrations les plus élevées soient observées dans la partie externe du fruit mûr. Les laitues, les carottes, les myrtilles, les patates douces (entières, cuites, et crues), les pommes de terre, les pêches, le jus d'orange, les pommes, les tomates et le raisin

sont les sources les plus riches en acides hydroxycinnamiques [77]. L'acide chlorogénique (ou acide 5-Ocaféoylquinique) est la forme combiné de l'acide caféique, il est retrouvé en forte concentration dans le café [78].

II.3.1.2. Stilbènes C6-C2-C6

Les stilbènes présentent une structure en C₆-C₂-C₆, avec un cycle A portant deux fonctions hydroxyles en position méta et un cycle B portant des fonctions hydroxyles ou méthoxyles en méta, ortho et para (**figure II.5**). Les deux noyaux aromatiques sont reliés par une double liaison, formant un système conjugué. Cette particularité leur confère une grande réactivité due à la délocalisation des électrons π sur la totalité de la molécule. Les stilbènes se trouvent en petites quantités dans l'alimentation humaine [79]. Ils sont généralement isolés des plantes sous formes hydroxylés, méthylés, esterifiés, glycosylés ou même prenylés. Leur solubilité est négligeable dans l'eau et accrue dans la plupart des solvants organiques [80].

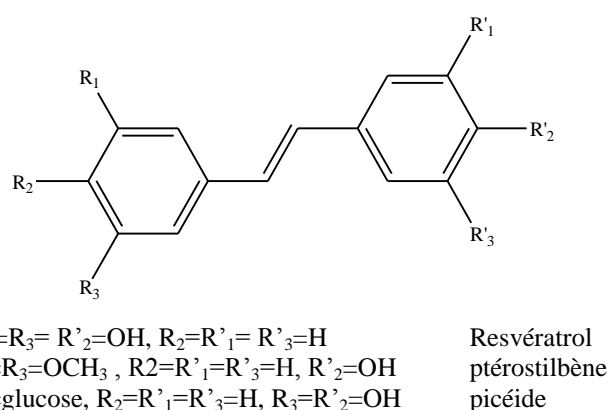


Figure II.5 : Quelques exemples des structures chimiques des stilbènes.

Ces composés sont présents dans de nombreuses familles de plantes supérieures mais les principales sources alimentaires sont le raisin (les graines, la peau, et les tiges) et le vin [81]. Le resvératrol ou le 3,5,4'-trihydroxystilbène est un polyphénol non flavonoïde et appartenant à la classe des stilbènes. Il est surtout présent dans la pellicule du grain de raisin, Seul son isomère *trans* est actif. Le resvératrol possède de nombreuses propriétés biologiques ; cependant, son pouvoir anticancéreux a suscité un grand intérêt [82].

II.3.1.3. lignines (C6-C3)_n

La lignine est un polymère fortement ramifié, formés par trois alcools phénoliques simples (**figure II.6**). Les alcools sont oxydés en radicaux libres par une enzyme ubiquiste

chez les plantes ; la peroxydase. Les radicaux libres réagissent ensuite spontanément et au hasard pour former la lignine [83].

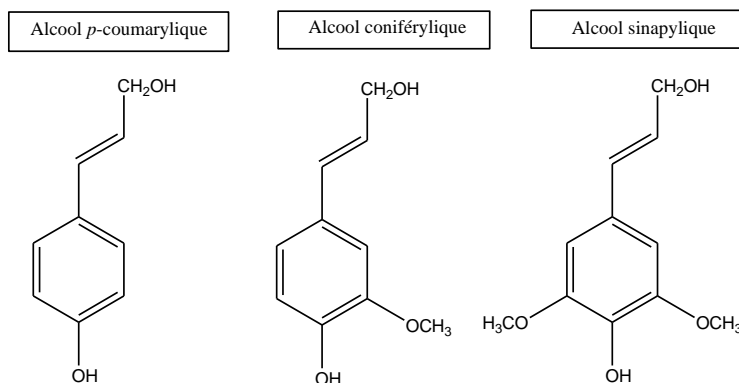


Figure II.6 : *principaux constituants de la lignine*

La lignine est localisée dans les parois cellulaires et plus spécialement dans les parois secondaires des éléments conducteurs, contribuant à la résistance mécanique et à la rigidité des tiges lignifiées. Malgré son abondance (elle n'est dépassée que par celle de la cellulose), sa structure n'est pas bien comprise. La lignine est un très grand polymère, insoluble dans l'eau et dans la plupart des solvants organiques, il est donc impossible de l'extraire sans lui faire subir d'importantes dégradations. De plus les trois monomères de bases peuvent s'assembler de multiples façon formant une structure tridimensionnelle très ramifiée [83], la **figure II.7** montre la structure d'une lignine.

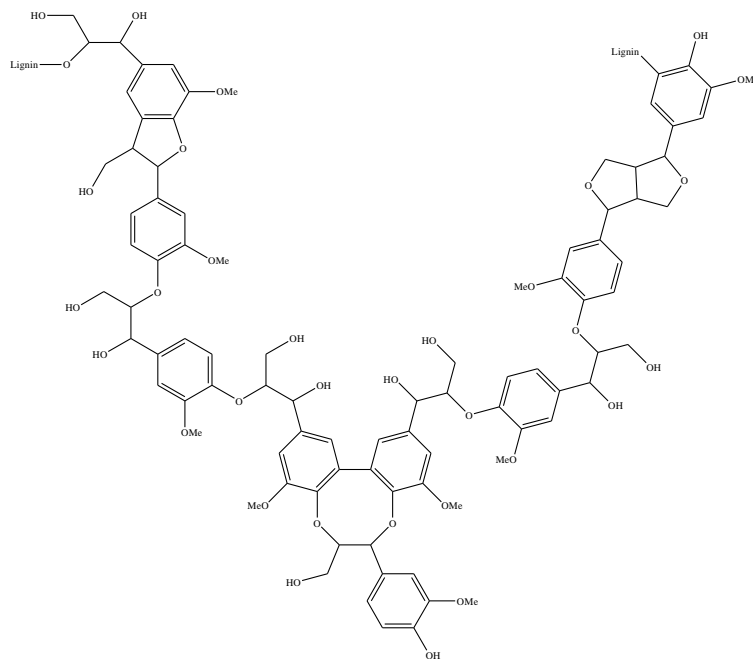


Figure II.7 : *Structure d'une lignine.*

II.3.1.4. Lignanes (C6-C3)₂

Les lignanes (**figure II.8**) répondent à une représentation structurale de type (C6-C3)₂ l'unité (C6 - C3) est considérée comme un propylbenzène. Ce sont des composés phénoliques bioactifs, non-nutritifs, non caloriques. On les trouve en plus forte concentration dans le lin et les graines de sésame et en faibles concentrations dans les fruits et les légumes [84]. Ils ont été définis comme étant les dimères des phénylpropanoïdes où deux unités de phénylpropane C6-C3 sont liés par leur carbone 8 [85]. Ils proviennent de la condensation initiale de deux molécules phénoliques de type monolignol comme l'alcool coniférylique [86]. Ce sont des substances phénoliques apparentées aux lignines, ils n'ont guère de valeur alimentaire humaine. Ils sont présents dans la plante sous forme de glucosides [87].

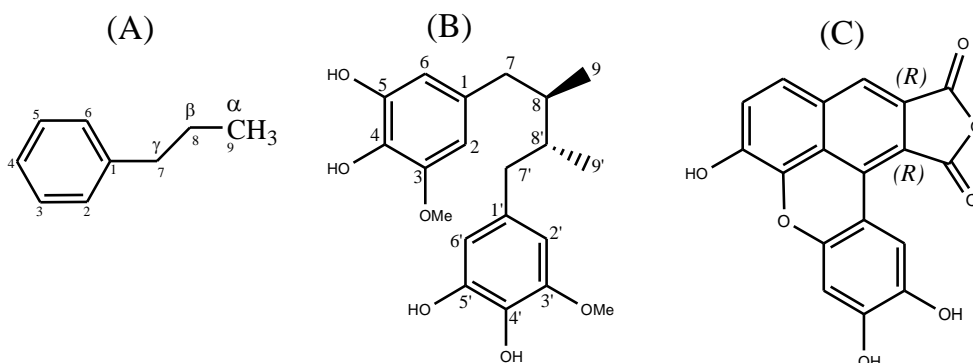


Figure II.8 : Exemples des structures chimiques des lignanes. (A) unité de phénylpropane C6-C3. (B) Sauriol A (lien β - β'). (C) rufescidride.

II.3.1.5. Coumarines C6-C3

Les coumarines sont des hétérocycles oxygénés ayant comme structure de base le benzo-2-pyrone. Ils ont été isolés pour la première fois par Vogel en 1820 dans le *Coumarouna odorata* [88]. Ce sont des composés phénoliques cyclisés (**figure II.9**) qui dérivent des acides *t*-cinnamique et *p*-coumarique pour la majorité d'entre eux. Cependant, leur voie de biosynthèse peut varier d'une espèce à l'autre. En effet, la scopolétine de tabac dérive de l'acide férulique, tandis que des expériences d'apport de précurseurs marqués semblent montrer que ce n'est pas le cas chez le tournesol.

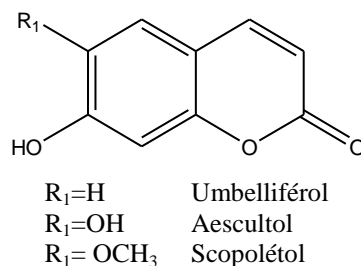


Figure II.9 : Quelques exemples des structures chimiques des coumarines.

Les coumarines ont des effets différents sur le développement des plantes suivant leur concentration mais aussi suivant l'espèce. Dans la cellule, les coumarines sont principalement présentes sous forme glycosylée. Cette glycosylation serait une forme de stockage permettant d'éviter les effets toxiques des coumarines sur la cellule et la croissance. Elles sont considérées comme des phytoalexines. Celles-ci sont des molécules de faible masse moléculaire provenant de voies métaboliques variées comme celle des phénylpropanoïdes ou des sesquiterpènes [67].

II.3.2. Les flavonoïdes C6-C3-C6

Les flavonoïdes constituent un groupe de plus de 6000 composés naturels qui sont quasiment universels chez les plantes vasculaires. Ils constituent des pigments responsables des colorations jaune, orange, et rouge de différents organes végétaux [89]. Tous les flavonoïdes possèdent la même structure de base (C6-C3-C6), ils contiennent quinze atomes de carbone dans leur structure de base: deux cycles aromatiques A et B à six atomes de carbones (**figure II.10**) liés avec une unité de trois atomes de carbone qui peut ou non être une partie d'un troisième cycle C [90].

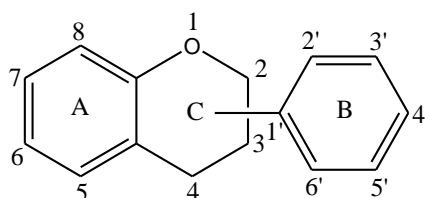


Figure II.10 : Structure de base des flavonoïdes

Plus de 4000 flavonoïdes ont été identifiés dans les plantes, et la liste ne cesse de croître. C'est à cause de l'apparition de nombreux modèles de substitution ; les substituants primaires (groupe hydroxyle) peuvent eux-mêmes être substitués (glycosylés ou acylés) donnant parfois des structures très complexes [91]. Les principales classes des flavonoïdes sont : les flavonols

les flavones, les flavanones, les flavan-3-ols, les isoflavones et les anthocyanes [92], ils varient dans leurs caractéristiques structurales par la diversité fonctionnelle autour de l'oxygénation de l'hétérocycle.

II.3.2.1. Flavonols

Les flavonols sont caractérisés par la présence d'une double liaison en position 2-3 et d'un groupement hydroxyle en C3 (**figure II.11**). Elles sont les flavonoïdes les plus répandus dans le règne végétal, leur couleur varie du blanc au jaune, elles sont essentiellement représentées par la quercétine, le kaempférol et la myricétine. Les flavonols qui s'accumulent dans les tissus végétaux sont presque toujours sous la forme conjugués glycosylés [93].

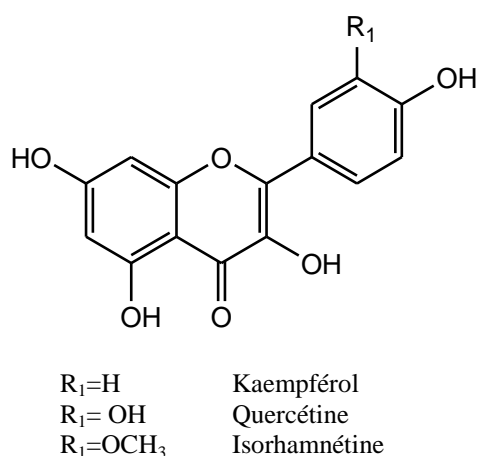


Figure II.11 : Des exemples des structures chimiques des flavonols.

II.3.2.2. Flavones

Les flavones sont structurellement très similaires aux flavonols et ne diffèrent que par l'absence d'hydroxylation en position 3 sur le cycle C (**figure II.12**). Elles sont principalement représentées dans l'alimentation par l'apigénine et la lutéoline. Contrairement aux flavonols, elles sont moins répandues dans les fruits et les légumes. Par conséquent, leur apport alimentaire est très faible [93].

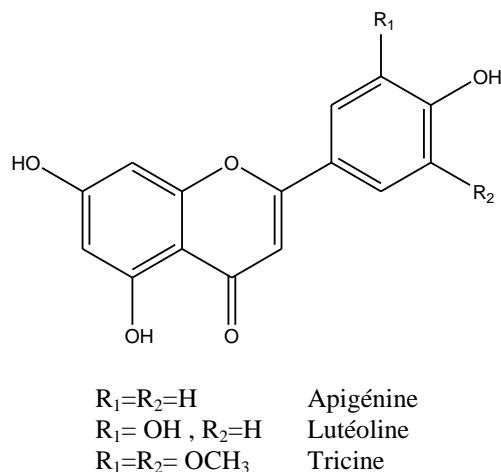


Figure II.12 : Des exemples des structures chimiques des flavones.

II.3.2.3. Flavanones

Ces molécules sont caractérisées par l'absence de double liaison en 2, 3 et par la présence d'un centre d'asymétrie en position 2 (**figure II.13**). Chez les flavanones naturelles, le carbone 2 est normalement de configuration S. Elles existent sous forme libre ou sous forme glycosylée [94].

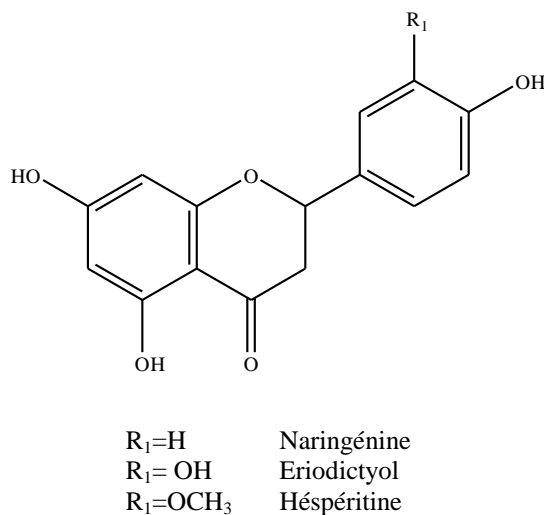


Figure II.13 : Des exemples des structures chimiques des flavanones.

La principale source des flavanones reste les agrumes qui sont caractérisés par l'accumulation des montants élevés en ces composés. Les agrumes incluent les oranges amères, les citrons, les pamplemousses, les mandarines, les clémentines et les oranges douces. Parmi les formes libres des flavanones, on cite la naringénine qui est retrouvée dans le pamplemousse et

l'orange amère. Le plus souvent, les flavanones existent sous forme glycosylée en position 7, comme L'hésperidine, qui est retrouvée dans le citron, l'orange douce et la mandarine, et les néohesperidosides responsables du goût amer du pamplemousse et de l'orange [95].

II.3.2.4. Flavan-3-ols ou flavanols

Ces molécules sont toujours hydroxylées en C3 et se caractérisent par l'absence du groupe carboxyle en C4 (**figure II.14**). Elles sont souvent à l'origine des polymères flavoniques appelés proanthocyanidols ou tannins condensés. Les flavan-3-ols sont très abondants dans les fruits comme les abricots, les cerises, les raisins,... etc [93].

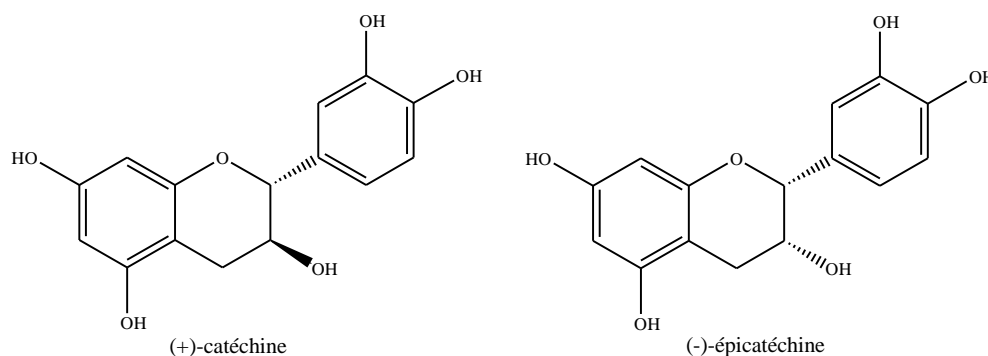


Figure II.14 : Deux exemples des structures chimiques des flavan-3-ols.

Les flavanols sont largement répandus dans les fruits et légumes, mais la source la plus riche de flavanols au sein de l'alimentation humaine est certainement le thé. Ce dernier contient principalement de la (-)-épicatechine, de la (-)-épigallocatechin-3-O-gallate et de la (-)-épigallocatechine [96].

II.3.2.5. Isoflavones

Les isoflavones sont considérées comme des dérivés des flavones, elles représentent une sous-classe importante et très distinctive des flavonoïdes [97]. Contrairement à la plupart des autres flavonoïdes, les isoflavones sont caractérisées par la présence d'un cycle B fixé à C3 plutôt que la position C2 (**figure II.15**). Ils ont une distribution très limitée dans le règne végétal [93].

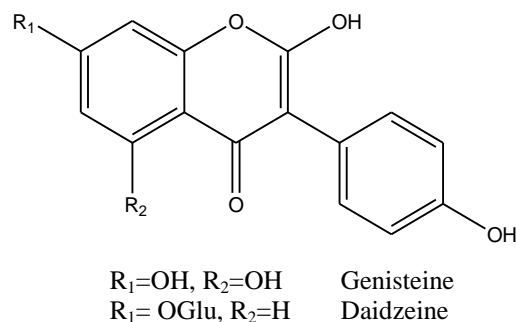


Figure II.15: Deux exemples des structures chimiques des isoflavones.

II.3.2.6. Anthocyanes

Les anthocyanes (en grec Anthos signifie fleur, et kyanos signifie bleu) sont des pigments hydrosolubles présents dans la plupart des espèces [38]. Ces pigments sont des dérivés du cation 2-phénylbenzopyrylium plus communément appelé cation flavylum (**figure II.16**). Ils sont accumulés dans les vacuoles cellulaires [98] et ils sont responsable des couleurs rouges, violettes et bleues dans les fruits, les légumes, les fleurs et les graines, mais aussi jouent un rôle important dans la physiologie végétale comme attracteurs des insectes et dans la dispersion des graines [99].

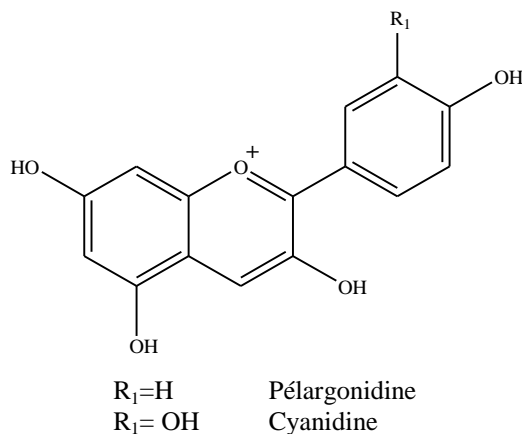


Figure II.16: Deux exemples des structures chimiques des anthocyanes.

Les anthocyanes sont stabilisés dans les plantes par des interactions avec des acides aminés, des tanins, des 4-oxo-flavonoïdes [100].

II.3.3. Tanins

Les tanins sont des substances polyphénoliques de structures variées, ayant en commun la propriété de tanner la peau, c'est-à-dire de rendre imputrescible. Ces substances ont en effet la propriété de se combiner aux protéines, ce qui explique leur pouvoir tannant. Très répandu dans le règne végétal ils peuvent exister dans divers organes, mais on note une accumulation plus particulièrement dans les tissus âgés ou d'origine pathologique. Ils sont localisés dans les vacuoles, quelques fois combinés aux protéines et aux alcaloïdes. On distingue: les tanins hydrolysables et les tanins condensés [101].

Les tanins sont largement répandus dans les organismes végétaux et plus particulièrement dans les fruits, les graines de céréales et diverses boissons. Dans l'alimentation humaine, les sources les plus importantes de tannins sont le vin et le thé [102].

II.3.3.1. Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables (**figure II.17**) ou acides tanniques sont des polymères de l'acide gallique ou de son produit de condensation ; l'acide éllagique. Ils ont un poids moléculaire plus faible et précipitent beaucoup moins les protéines que les tanins condensés. Ils peuvent diminuer la dégradation des parois dans le rumen et être hydrolysés dans l'intestin en libérant des produits toxiques pour le foie et le rein [103]. Ils sont divisés en éllagitannins et gallotannins, Les gallotannins libèrent par hydrolyse acide, hydrolyse basique, à l'eau chaude ou par action enzymatique de l'acide gallique [104].

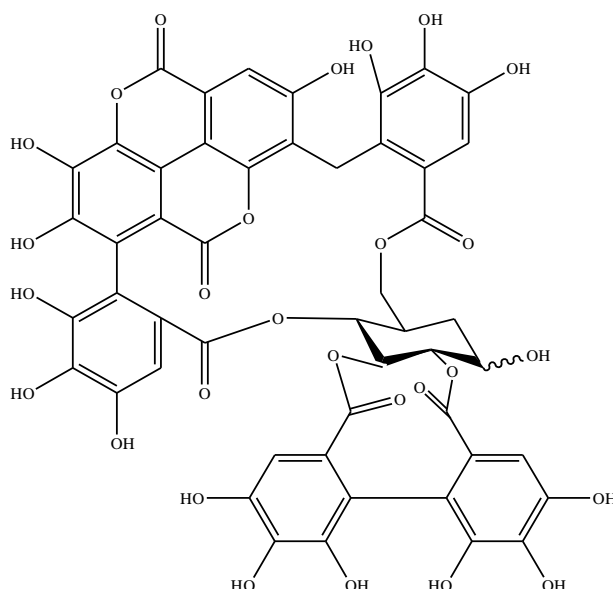


Figure II.17: Exemple des tanins hydrolysables.

II.3.3.2. Tanins condensés

Appelés aussi proanthocyanidines ou procyanidines. Les tanins condensés (**figure II.18**) sont des polyphénols de masse molaire élevée. Ils résultent de la polymérisation auto-oxydative ou enzymatique des unités de flavan-3,4-diol liées majoritairement par les liaisons C4-C8 (parfois C4-C6) des unités adjacentes, et se nomment ainsi proanthocyanidines de type B. Lorsque la condensation se produit entre les unités adjacentes par la liaison C4-C8 et par une liaison d'éther additionnelle entre C2 et C7, les proanthocyanidines sont dits de types A [105, 106].

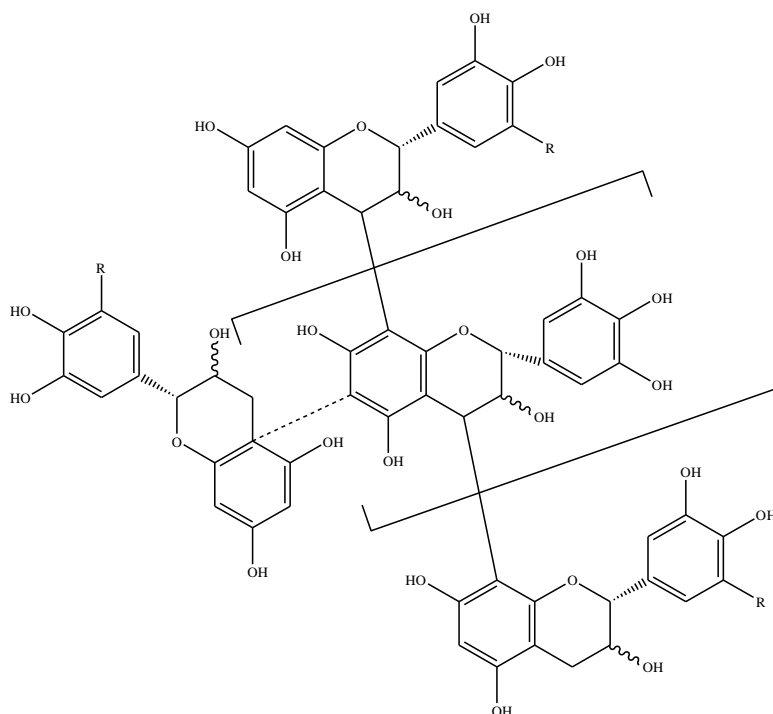


Figure II.18: Exemple des tanins condensés.

II.4. Polyphénols dans les plantes : Localisation et intérêt.

A l'échelle de la cellule, les composés phénoliques sont principalement répartis dans deux compartiments : les vacuoles et la paroi. Dans les vacuoles, les polyphénols sont conjugués, avec des sucres ou des acides organiques, ce qui permet d'augmenter leur solubilité et de limiter leur toxicité pour la cellule. Au niveau de la paroi, on trouve surtout de la lignine et des flavonoïdes liés aux structures pariétales. Les composés phénoliques sont synthétisés dans le cytosol. Une partie des enzymes impliquées dans la biosynthèse des phénylpropanoïdes est liée aux membranes du réticulum endoplasmique, où elles sont organisées en métabolons [107].

Au niveau tissulaire, la localisation des polyphénols est liée à leur rôle dans la plante et peut être très caractéristique. Au sein même des feuilles la répartition des composés est variable, par exemple les anthocyanes et les flavonoïdes sont majoritairement présents dans l'épiderme. Au niveau de la plante entière, il faut noter que certains composés ne sont accumulés que dans des organes bien définis. Chez la pomme par exemple, les composés phénoliques interviennent au niveau de la coloration de la peau via les anthocyanes, et dans la qualité organoleptique de la chair, notamment pour l'amertume ou l'astringence [107].

Les composés phénoliques jouent un rôle important dans le métabolisme de la plante mais aussi peuvent réagir dans les interactions des plantes avec leur environnement biologique et physique (relations avec les bactéries, les champignons, les insectes, résistance aux UV). Toutes les catégories de composés phénoliques sont impliquées dans les mécanismes de résistance [108]. Ils assurent la communication entre cellules, entre végétaux, entre végétaux et animaux [109].

II.5. Propriétés chimiques des polyphénols

Les propriétés chimiques des polyphénols sont essentiellement liées à celles des noyaux phénoliques, particulièrement des substituants à effet mésomère attracteur d'électrons (-M) et substituants à effet mésomère donneur (+M). La conjugaison d'une des deux paires libres de l'atome oxygène avec le cycle traduit l'effet (+M) du groupe OH. Ce phénomène augmente la délocalisation électronique et produit une charge négative partielle sur les atomes C2, C4, C6 (**figure II.19**) [110].

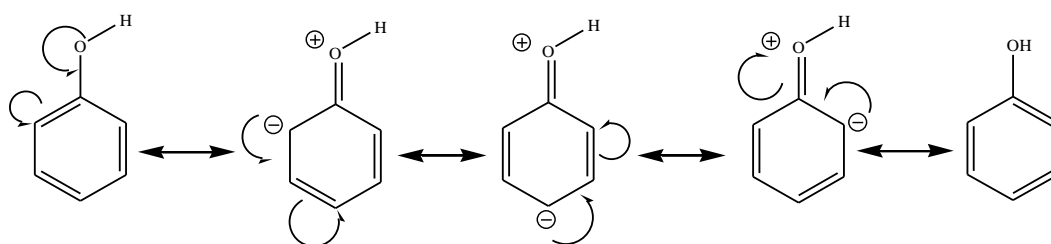


Figure II.19 : Formes mésomères du phénol.

On constate qu'une charge négative apparaît en position *ortho* et *para* du phénol (**figure II.19**), ce sont donc les positions susceptibles de recevoir un électrophile [111]. De ces caractères de base découlent les différentes propriétés physico-chimiques suivantes :

II.5.1. Nucléophilie

La nucléophilie des composés phénoliques est portée par l'atome d'oxygène et les atomes de carbone en ortho et para du groupement OH (suite à l'effet (+M)). Cette propriété est à l'origine des réactions de substituants électrophiles aromatique (alkylation, acylation,... etc.) régiosélectives des positions ortho et para. Les substituants de type 1,3-dihydroxy (résorcinol) et 1,3,5-trihydroxy (phloroglucinol) permettent une accumulation de densité électronique sur les sommets C2, C4 et C6 (tous *ortho* ou *para* des groupements OH), accentuant ainsi le caractère nucléophile.

Le cycle A des flavanols possède deux centres C6 et C8 fortement nucléophiles car en *ortho* et en *para* de trois groupements OH ou OR à effet (+M). Le noyau A est également activé par le groupement carboné saturé en C4. Cette nucléophilie permet des réactions de substitutions électrophiles aromatiques [110].

II.5.2. Propriétés réductrices

Le potentiel d'ionisation (PI) d'une molécule est l'énergie minimale qu'il faut lui fournir pour lui arracher un électron. Plus un composé aromatique est substitué par des groupements donneurs d'électrons, plus son PI est faible et plus son caractère réducteur est grand. Il peut alors subir une oxydation mono-électronique qui conduit au radical correspondant. Dans le cas d'un phénol ArOH, le radical-cation formé est un acide fort qui se déprotone aussitôt pour conduire à un radical phénoxy ou aryloxy ArO^\bullet [110].

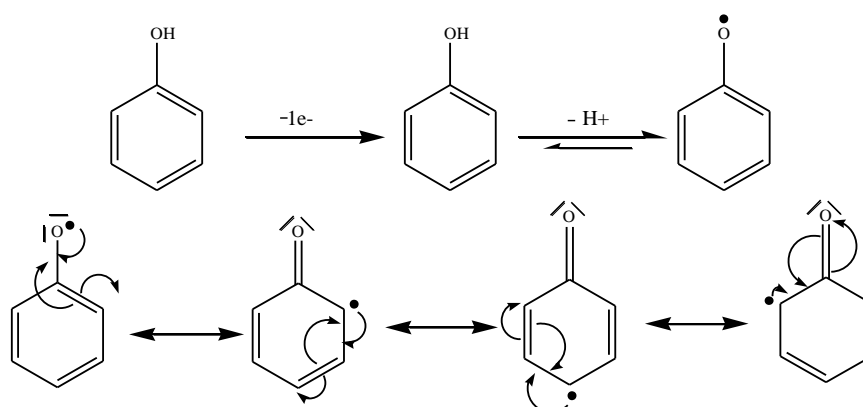


Figure II.20 : Oxydation mono-électronique d'un phénol et formes mésomères du radical aryloxy formé.

Le radical aryloxy (ArO^\bullet) peut être formé directement par transfert d'hydrogène phénolique (**figure II.20**) vers un radical de haute énergie tel que les radicaux oxyl (RO^\bullet) et peroxy

(ROO \cdot) formés par exemple au cours de l'autoxydation des lipides. Ces réactions de transfert d'atome H et/ou d'électrons avec conversion d'un radical très réactif en radical aryloxy stabilisé par résonance sont l'un des principaux mécanismes d'actions antioxydantes des phénols. La capacité du phénol à céder un atome H peut être quantifiée par l'énergie de dissociation homolytique de la liaison OH (*bond dissociation energy, BDE*). Plus la BDE d'un phénol est faible, plus fort est son caractère donneur d'hydrogène [110].

II.5.3. Polarisabilité

La polarisabilité des phénols leur permet de développer de fortes interactions moléculaires de dispersion (composante attractive des interactions de Vander Waals) avec autres composés polarisables. Ce phénomène résulte du couplage entre les fluctuations électroniques de deux molécules voisines. Ainsi, en solution aqueuse, l'interaction du noyau benzénique apolaire du phénol avec une autre entité polarisable telle qu'un second cycle aromatique est favorisée par l'effet hydrophobe [110].

II.5.4. Liaison hydrogène

Les phénols sont des donneurs de liaison hydrogène (liaison H) en raison du caractère acide du proton du groupe OH. Ce sont aussi des accepteurs de liaison H. En fait, seule la paire libre de l'atome O qui n'est pas conjuguée avec le cycle est capable d'accepter une liaison H en provenance d'un donneur. Ainsi, un phénol est capable de donner une liaison H et d'en recevoir une seulement. Notons que ces liaisons H se renforcent mutuellement (coopérativité). Par exemple, en donnant une liaison H, le phénol allonge sa liaison OH. Cet état de prédissociation accentue la densité électronique sur le centre O et donc son caractère accepteur de liaison H [110].

II.5.5. Acidité

La coupure hétérolytique de la liaison OH (déprotonation) entraîne la formation d'un ion phénate dans lequel la délocalisation électronique de l'atome O vers le cycle (effet +M) est fortement augmentée (**figure II.19**). Ce phénomène et la forte solvatation de l'anion phénate par formation de liaison H avec l'eau permettent d'expliquer les propriétés acides faibles des phénols dans l'eau. Les propriétés caractéristiques des phénols (nucléophilie, caractère réducteur, polarisabilité) sont amplifiées lors de la formation des anions phénates correspondants. Les groupements OH en position para et ortho des noyaux phénoliques de polyphénols présentent un caractère acide renforcé, ce qui permet une dissociation au moins

partielle à pH neutre. Cette exaltation de l'acidité est due à la stabilisation de l'ion phénate correspondant par délocalisation de la densité électronique vers le groupement à effet (-M). Elle peut être traduite en termes de formes mésomères [110].

II.6. Stress oxydatif

Des molécules prooxydantes appelées radicaux libres ou espèces réactives de l'oxygène (ERO) sont produites quotidiennement dans l'organisme. Ces dernières sont cependant contrôlées par les antioxydants. Un stress oxydatif survient lorsque l'équilibre est rompu en faveur des radicaux libres (**figure II.21**). Toute fois, une production excessive de ces molécules réactives ou une insuffisance des mécanismes antioxydants peut déséquilibrer la balance oxydant/antioxydant [112,113].

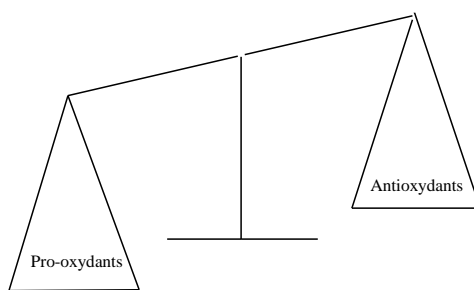


Figure II.21: Déséquilibre de la balance entre antioxydants et pro-oxydants.

Ce déséquilibre peut avoir diverses origines, telle que l'exposition aux radiations ionisantes (exposition importante au soleil, radioactivité artificielle ou naturelle), la pollution, le contact avec certains pesticides et solvants, la consommation de tabac et d'alcool, la prise de certains médicaments, la pratique du sport intensif et tout processus susceptible de surcharger les réactions de détoxification hépatique, notamment une perte de poids importante [114-117].

II.6.1. Qu'es ce qu'un radical libre ?

Un radical libre est une espèce chimique, molécule, morceau de molécule ou simple atome, capable d'avoir une existence indépendante (« libre») en contenant un ou plusieurs électrons célibataires (électron non apparié sur une orbitale). Cela lui confère une grande réactivité donc une demi-vie très courte. En effet, ce radical libre aura toujours tendance à remplir son orbitale en captant un électron pour devenir plus stable : il va donc se réduire en oxydant un autre composé [118].

II.6.2. Oxygène, espèces réactives de l'oxygène (ERO)

Notre organisme a besoin d'énergie pour fonctionner correctement. Les cellules transforment les nutriments apportés par l'alimentation en énergie et en eau. Cette transformation génère environ 2% de molécules d'oxygène [119]. L'oxygène (**figure II.22**) peut s'avérer délétère en raison de son caractère oxydant, il est à l'origine de la formation de dérivés plus réactifs appelés espèces réactives de l'oxygène [120].

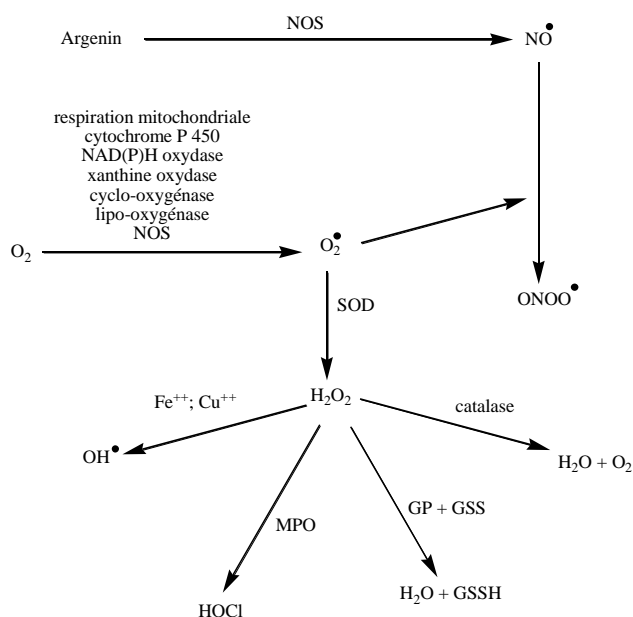


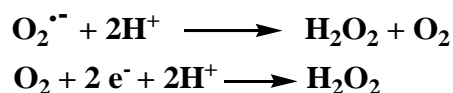
Figure II.22: Principales voies de formation des espèces réactives de l'oxygène. NOS=NO synthase ; SOD=superoxyde dismutase ; MPO=méthylperoxydase ; GP=glutathion peroxydase ; GSS=glutathion réduit ; GSSH= glutathion oxydé ; $ONOO^{\bullet}$ = peroxydite ; H_2O_2 =peroxyde d'hydrogène ; $O_2^{\bullet-}$ = anion superoxyde ; OH^{\bullet} = radical hydroxyl ; HOCl= acide hypochloride.

II.6.2.1. Radical superoxyde ($O_2^{\bullet-}$)

Dans l'organisme une partie de l'oxygène moléculaire peut capter de manière univalente et séquentielle un électron conduisant alors la formation du chef de file des espèces oxygénées réactives : l'anion superoxyde ($O_2 + e^- \rightarrow O_2^{\bullet-}$) [121,122].

II.6.2.2. Peroxyde d'hydrogène H_2O_2

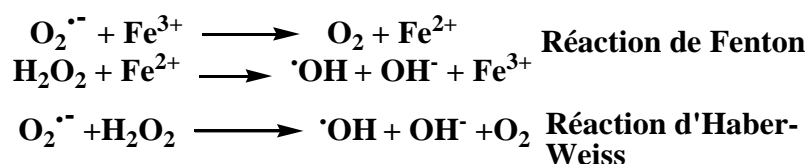
Le Peroxyde d'hydrogène H_2O_2 qui n'est pas un radical libre peut être formé secondairement à la dismutation de ($O_2^{\bullet-}$) par la superoxyde-dismutase ou produit par réduction bivalente de l'oxygène grâce à un grand nombre de déshydrogénases, notamment l'acyl CoA déshydrogénase, la NADH déshydrogénase, la xanthine oxydase, l'uricase, la mono-amine-oxydase...etc [123].



Le peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) est également un agent oxydant très réactif ; c'est pour cela qu'on l'utilise souvent comme désinfectant et comme agent de blanchiment. S'il n'est pas rapidement détruit, il peut se décomposer et produire des radicaux hydroxyles qui s'attaquent aux macromolécules de la cellule [124].

II.6.2.3. Radical hydroxyl

Il produit principalement à partir de l'anion superoxyde et du peroxyde d'hydrogène en présence d'ions ferriques, au cours de la réaction d'Haber-Weiss :



Le radical hydroxyle possède une très grande réactivité dans les milieux biologiques, pouvant se « combiner » avec de nombreuses molécules avec une constante de vitesse de l'ordre de 10^9 à $10^{10} \text{ M}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Il est capable de réagir avec presque tous les composants cellulaires par échange d'électron, addition sur les doubles liaisons ou arrachement d'un atome d'hydrogène, c'est un oxydant très puissant, constituant certainement le radical libre le plus toxique en biologie. Le radical hydroxyle est donc un oxydant très puissant, constituant certainement le radical libre le plus toxique en biologie et serait à l'origine de la production des radicaux libres « secondaires », suite à sa réaction avec différents composés cellulaires [125].

II.6.2.4. D'autres espèces réactives de l'oxygène

Les espèces réactives de l'oxygène comprennent non seulement les radicaux libres oxygénés mais aussi les radicaux libres dérivant d'autres espèces que l'oxygène par exemple : l'acide hypochloreux (HClO), le monoxyde d'azote NO^\bullet qui se combine aisément avec le $\text{O}_2^{\bullet -}$ pour former le peroxyne (ONOO⁻) [126], agent non radicalaire à la fois oxydant et nitrosant [127,128].

II.6.3. Origines cellulaire des espèces réactives de l'oxygène

Les mitochondries (**figure II.23**) sont des organites présents dans le cytoplasme de toutes les cellules eucaryotes. Elles constituent un système de transport énergétique au cours duquel l'énergie chimique contenue dans les aliments est transformée, par phosphorylation oxydative, en liaisons phosphate à haute énergie (ATP) [129].

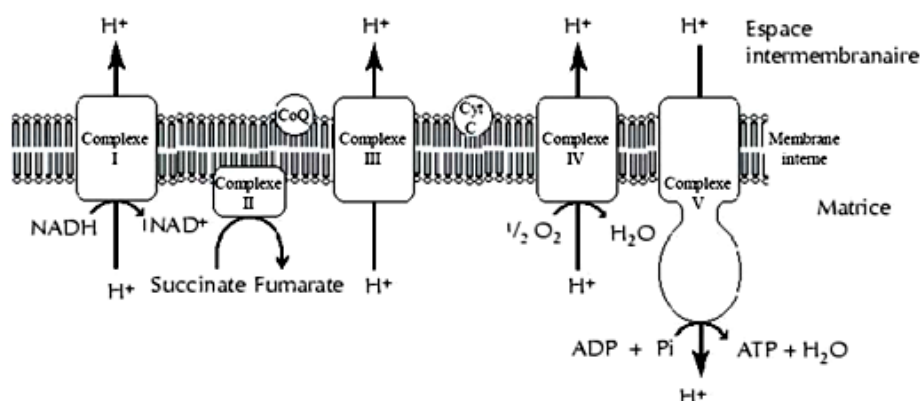


Figure II.23 : Représentation schématique de la chaîne respiratoire mitochondriale.

La mitochondrie est le siège majoritaire de la synthèse des radicaux superoxydes [130,131]. Durant la respiration, quatre électrons sont ajoutés à l'oxygène par le complexe IV de la chaîne respiratoire, cependant l'oxygène peut être réduit en formant des espèces réactives de l'oxygène telles que O₂[•] et HO[•]. La production de ces espèces réactives est nettement accélérée lors de la réduction du flux respiratoires notamment au cours de maladies génétiques [125].

II.6.4. Conséquence du stress oxydatif

Le principal danger des radicaux libres vient des dommages qu'ils peuvent provoquer lorsqu'ils réagissent avec des composants cellulaires importants, tels que l'ADN [132], les lipides (peroxydation), les protéines [133]...etc. Cette oxydation provoque des dommages sur tout l'organisme, accélérant le vieillissement (maladies cardiovasculaires et neuro-dégénératives, cancer, diabète...) [134] et la dégradation des cellules et des tissus [135]. La **figure II.24** représente un exemple des dommages causée par les espèces réactives de l'oxygène au niveau de l'ADN.

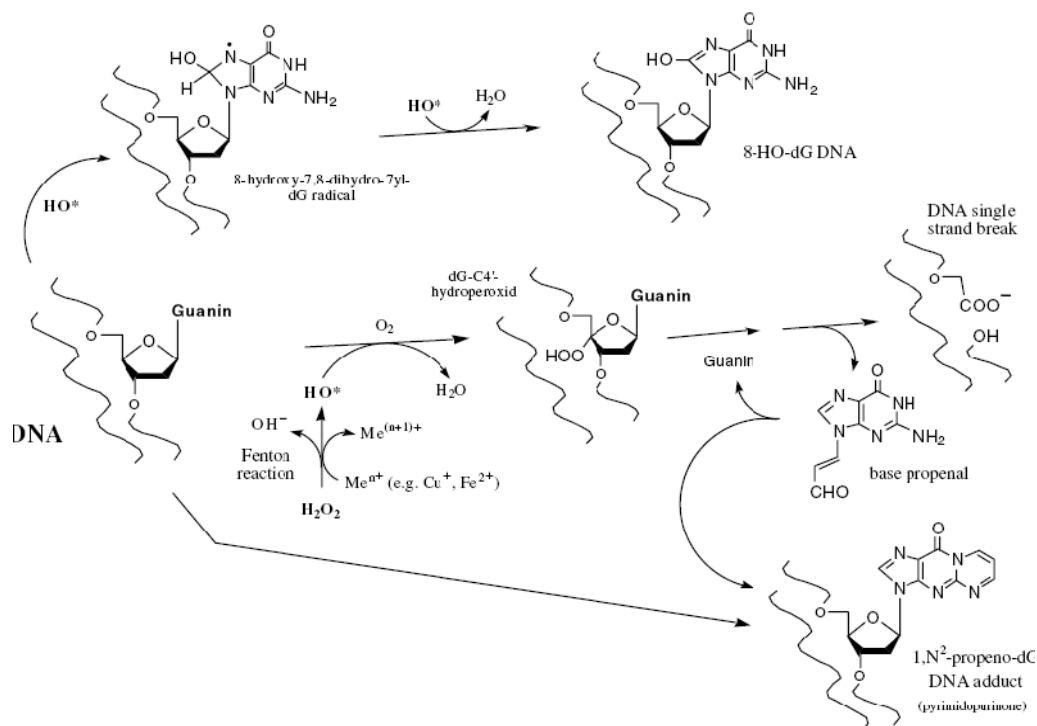


Figure II.24 : Dommages causée par les ERO au niveau de l'ADN.

II.7. Antioxydants et systèmes de défense

Les antioxydants peuvent être définis comme toute substance qui, présente à faible concentration par rapport au substrat oxydable, est capable de ralentir ou d'inhiber l'oxydation de ce substrat. Cette définition fonctionnelle s'applique à un grand nombre de substances, comprenant des enzymes aux propriétés catalytiques spécifiques, mais aussi de petites molécules hydro- ou liposolubles. Cette grande variété physico-chimique autorise la présence d'antioxydants dans tous les compartiments de l'organisme, qu'ils soient intracellulaires, membranaires ou extracellulaires [136].

II.7.1. Antioxydants enzymatiques

Pour faire face à ces attaques, les organismes ont développé des systèmes d'action antioxydante qui visent :

1. A éliminer les espèces réactives de l'oxygène et les catalyseurs de leur formation.
2. A induire la synthèse des antioxydants.
3. A augmenter l'activité des systèmes de réparation et d'élimination des molécules endommagées.

Trois types d'enzymes antioxydantes sont mis en œuvre pour la destruction des espèces réactives de l'oxygène [137] comme illustre la **figure II.25**.

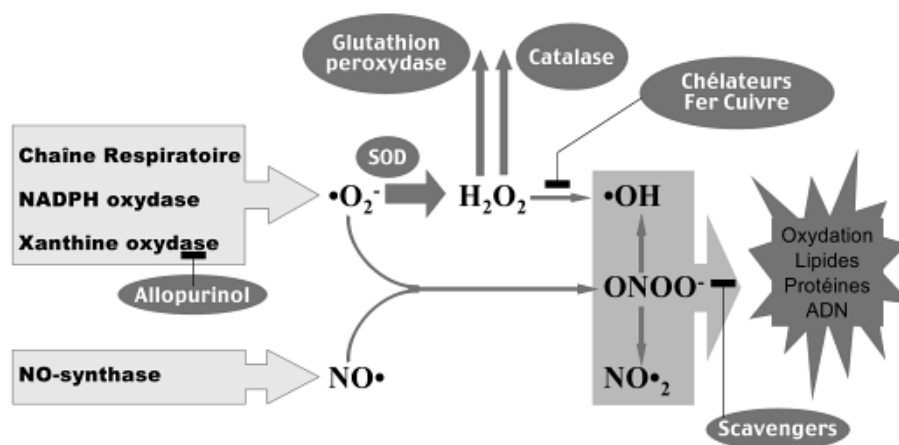


Figure II.25 : Action des antioxydants au cours du métabolisme des dérivés réactifs de l'oxygène.

- Les superoxyde dismutases (SOD) qui catalysent la dismutation de l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène [138,139].
- La catalase qui catalyse la dismutation du peroxyde d'hydrogène en eau permettant l'élimination de celui-ci [140-142].
- La glutathion peroxydase (GPX) qui décompose aussi le peroxyde d'hydrogène en utilisant le glutathion comme donneur d'hydrogène [143].

II.7.2. Antioxydants non enzymatiques

Ce sont des antioxydants naturels capables de prévenir les dommages oxydatifs. Ils peuvent se comporter comme des piègeurs des radicaux libres par les interventions directes sur les molécules prooxydantes ou indirectement, en chélatant les métaux de transition, empêchant ainsi la réaction de Fenton. Ce type d'antioxydants possède un avantage considérable par rapport aux antioxydants enzymatiques. Du fait de leur petite taille, ils peuvent en effet pénétrer facilement au cœur des cellules et se localiser à proximité des cibles biologiques. Ce type d'antioxydants regroupe un grand nombre de substances hydrophiles ou lipophiles et ils sont en partie produits par l'organisme au cours de processus biosynthétiques. Néanmoins le nombre d'antioxydants produits *in vivo* est très limité ; on peut citer parmi les

plus actifs : le glutathion [144], le NADPH, les dipeptides [145], l'acide urique [146], l'acide lipoïque [147] ou la bilirubine [148].

Le taux de ce système de défense dans l'organisme est essentiellement assuré par un apport alimentaire. Parmi les antioxydants naturels de faible poids moléculaire, on peut citer les plus connus et les plus importants ci-dessous :

II.7.2.1. Acide ascorbique (vitamine C)

La vitamine C ou acide ascorbique représentée par la **figure II.26** est une vitamine hydrosoluble, sensible à la chaleur, aux ultraviolets et à l'oxygène. Après ingestion, elle passe rapidement dans le sang puis diffuse de façon variable dans tous les tissus. Un apport quotidien minimal d'origine alimentaire est donc nécessaire, celui-ci provient essentiellement des fruits et légumes frais [149].

La vitamine C est nécessaire pour de nombreuses fonctions physiologiques de la biologie humaine. La plupart des plantes et des animaux peuvent synthétiser l'acide ascorbique sauf les singes et les humains en raison du manque de l'enzyme gulonolactone oxydase [150].

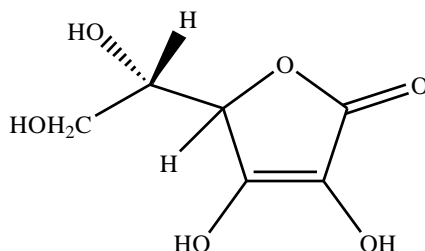


Figure II.26 : *Acide ascorbique.*

Elle est un antioxydant puissant hydrosoluble, capable de piéger / neutraliser à des concentrations très faibles les espèces réactives de l'oxygène [151-152]. Elle est un réducteur susceptible de limiter la peroxydation lipidique et intervient dans la régénération des autres antioxydants tels que les α -tocophérol [153-154].

II.7.2.2. Tocophérols (dont la vitamine E)

Les tocophérols (**figure II.27**) sont des composés liposoluble, ils regroupent quatre substance dont l'alpha-tocophérol aussi appelé Vitamine E est l'antioxydant majeur, la plus active biologiquement [155].

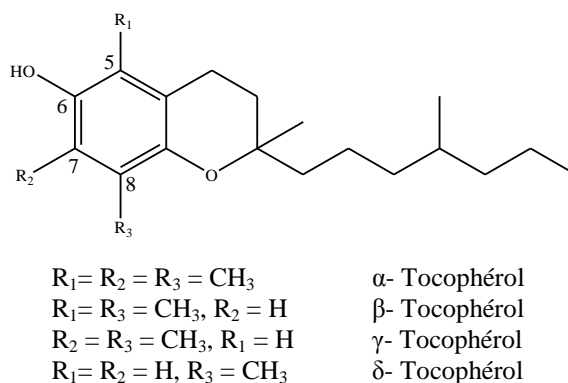


Figure II.27 : Structures des tocophérols.

L' α -tocophérol a été largement étudiée comme complément alimentaire potentiellement préventive dans les maladies cardiovasculaires. Il joue un rôle dans l'atténuation du stress oxydatif, dans les symptômes des maladies neurodégénératives, et en particulier dans la maladie d'Alzheimer qui a récemment reçu un grand intérêt. En conséquence, il entrave l'adhérence des leucocytes aux cellules endothéliales, l'agrégation des plaquettes et la formation consécutive des plaques d'athérome [156].

Il est présent dans les membranes des cellules et les organites cellulaires, où il joue un rôle important dans la suppression de la peroxydation des lipides et il s'accumule sur ces sites au sein des cellules dans lesquelles la production des radicaux d'oxygène est plus grande [157]. Il neutralise les radicaux peroxyde [158], alkyle et alcoxyde [159].

II.7.2.3. Caroténoïdes

Les caroténoïdes (**figure II.28**), sont des pigments fabriqués par les végétaux. Les plus importants sont le bêta-carotène, l' α -carotène, la lutéine, la zéaxanthine et le lycopène. Ce sont eux qui donnent aux fruits et légumes des couleurs orange, rouge et jaune. Leur fonction essentielle est de protéger les plantes. La plupart des caroténoïdes ont une propriété antioxydante [160].

Comme ils le font pour les plantes, ils ont des effets bénéfiques sur notre santé [161]. Ce sont d'excellents piègeurs d'espèces radicalaires particulièrement vis-à-vis de la lipoperoxydation des phospholipides membranaires grâce à leurs structures [162].

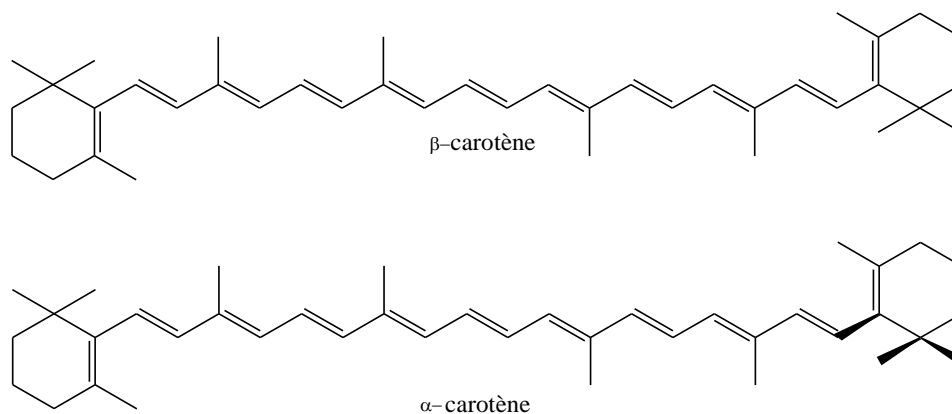


Figure II.28 : Deux exemples des structures des caroténoïdes.

Les caroténoïdes sont des substances polyéniques caractérisées par un système de doubles liaisons conjuguées. Le nombre de doubles liaisons conjuguées varie de 7 à 15 [163].

II.7.3. Antioxydants de synthèse

Il existe de nombreux antioxydants synthétiques dont les squelettes sont souvent dérivés des antioxydants naturels [164]. Pour une utilisation pratique, les antioxydants doivent remplir les conditions suivantes : Ils ne doivent pas être toxiques, ils doivent être hautement actifs à des faibles concentrations (0.01-0.02%) et doivent être présents à la surface ou dans la phase grasse de l'aliment [165]. Cependant, il reste à les considérer comme des corps étrangers au système biologique. Parmi les polyphénols de synthèse, on peut citer à titre d'exemple : la 3,3',5,5'-Tetra-*t*-butyl-biphenyl-4,4'-diol (**figure II.29**) qui a montré un effet protecteur des cellules neuronales [166].

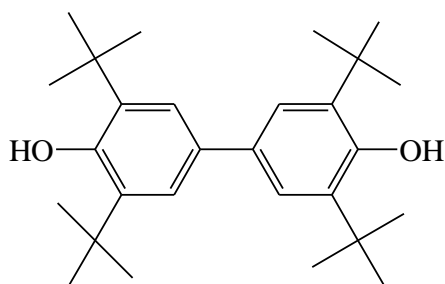


Figure II.29 : Structure chimique d'un polyphénol de synthèse.
(3,3',5,5'-Tetra-*t*-butyl-biphenyl-4,4'-diol).

Et le polyphénol dendrimère de synthèse syringaldehyde (**figure II.30**) qui a montré une activité antioxydante puissante selon le test du DPPH qui a été respectivement deux fois et 10

fois plus fort que la quercétine et trolox. Ce polyphénol de synthèse a montré aussi un effet protecteur des LDL humain contre les attaques des radicaux libres [167].

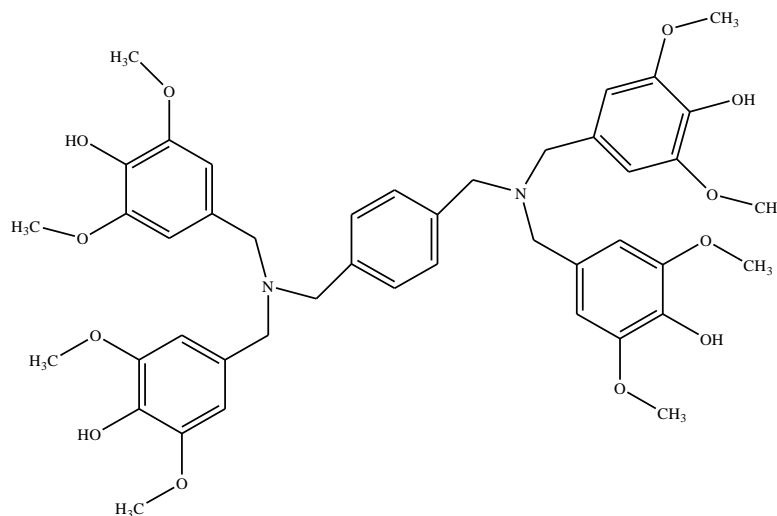


Figure II.30 : Structure chimique d'un polyphénol de synthèse (dendrimère de syringaldehyde).

II.7.4. Polyphénols naturels comme antioxydants

Les composés phénoliques sont capables d'agir comme des antioxydants [168-171] qui peuvent neutraliser les radicaux libres en donnant un électron ou un atome d'hydrogène (**figure II.31**). Leurs structures leur confèrent une activité antioxydante aussi importante. Les groupes hydroxyle des polyphénols sont bien des donateurs d'atomes d'hydrogènes ; ils peuvent réagir avec les espèces réactives de l'oxygène et les espèces réactifs de l'azote, enfin de réaction, le cycle de génération de nouveaux radicaux est interrompu.

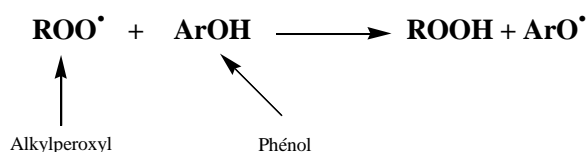


Figure II.31 : Illustration d'un mécanisme d'action des polyphénols : la donation d'hydrogène. Le radical formé devient moins dangereux.

Suite à l'interaction avec les espèces réactives initiales, la forme radicalaire de l'antioxydant est produite, ayant une plus grande stabilité chimique que le radical initial. L'interaction des groupes hydroxyle de composés phénoliques avec les électrons π du noyau benzénique donne aux molécules des propriétés particulières, le plus notamment la capacité à générer des

radicaux libres, où le radical est stabilisé par la délocalisation. Le pouvoir antioxydant des composés phénoliques est également attribué à leur capacité à chélater les métaux ioniques impliqués dans la production de radicaux libres. Cependant, les composés phénoliques peuvent agir comme des prooxydants [172,173].

Les polyphénols peuvent agir selon divers mécanismes :

- ✓ **Inhibition enzymatique ;**
- ✓ **Chélation des ions métalliques;**
- ✓ **Piégeage des radicaux libres.**

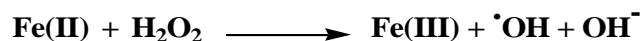
II.7.4.1. Inhibition enzymatique

En raison de la présence de multiples fonctionnalités phénol, ils interagissent avec les protéines si fortement, que la précipitation des complexes protéines-polyphénols se produit fréquemment, ce qui est la base de leur utilisation dans le processus de tannage du cuir [174]. Les phénomènes d'interaction polyphénols-protéines ont été largement étudiés *in vitro*, particulièrement dans le cas des flavonoïdes [175-177]. Afin de préciser le mécanisme d'action de l'activité inhibitrice des flavonoïdes, des études ont été réalisées sur l'effet de la quercétine sur l'oxydation de l'acide linoléique par une lipoxygénase. Ces auteurs ont constaté que le mécanisme d'inhibition des lipoxygénases par la quercétine ne serait pas dû à une complexation ou à une oxydation du Fe^{2+} , mais plutôt à une inhibition irréversible résultant de liaisons covalentes entre l'enzyme et les dérivés oxydés de la quercétine (quinone ou radical phénoxy) [178].

II.7.4.2. Chélation des ions métalliques

- ✓ **Le rôle du fer ou de cuivre dans la génération des espèces réactives de l'oxygène**

Le cuivre et le fer libre (existant lors de surcharges générales ou localisées) génèrent des radicaux hydroxyles, très réactifs, à partir de l'espèce peu réactive H_2O_2 , par une réaction appelée réaction de Fenton [179]. Prenons à titre d'exemple le Fer qui existe dans deux états d'oxydation distincts : les ions ferreux et les ions ferriques. L'ion ferrique (Fe^{3+}) est biologiquement la forme inactive du fer. Cependant, il peut être réduit à la forme active Fe^{2+} selon les conditions, en particulier le pH. Il peut être oxydé à travers la réaction de Fenton mentionnée ci-dessous, produisant à la production de radicaux hydroxyles [180].

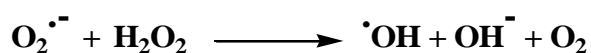


Ou à partir des réactions du cycle de Haber-Weiss avec les anions superoxydes. La production de ces radicaux peut entraîner des la peroxydation lipidique, une modification des protéines et des dommages de l'ADN [180].

La formation de radicaux hydroxyls est également liée à la production des anions superoxydes dans les cellules, qui se dismutent en H_2O_2 et en O_2 en présence de l'enzyme superoxyde dismutase (SOD) selon l'équation suivante :



Le soi-disant réaction de Haber-Weiss de l'anion superoxyde $\text{O}_2^{\bullet-}$ et du peroxyde d'hydrogène conduit alors à génération des radicaux hydroxyles HO^\bullet selon la réaction :



Lorsque l'anion $\text{O}_2^{\bullet-}$ n'est pas capable de traverser les membranes cellulaires et possède une courte demi-vie, H_2O_2 est plus stable et sert de deuxième messager qui peut traverser les membranes et joue un rôle dans la signalisation à longue distance à l'intérieur des plantes [181]. En outre, La chélation des métaux de transition tels que le fer ou le cuivre sert à empêcher la réaction de Fenton dans les milieux biologiques. C'est un mécanisme d'action antioxydante [182]. Les flavonoïdes abondants dans les plantes et dans l'alimentation sont considérés comme de bons chélateurs des ions métalliques [183-184].

✓ Attachement du fer par les ligands catecholates, gallates et semiquinone

Il est bien connu que le catéchol et le gallol (**figure II.32**) et plusieurs dérivés fonctionnalisés (incluant la plupart des composés polyphénoliques) sont des chélateurs efficaces des métaux.

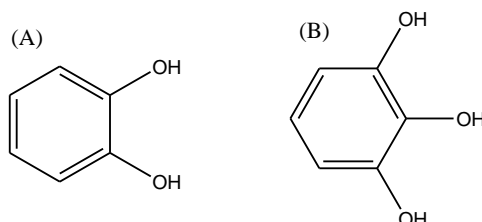


Figure II.32 : Les structures du : (A) catéchol. (B) gallol.

Lorsqu'ils sont déprotonés pour former un attachement avec le métal, les fonctions catéchols et gallols sont référés en groupes de catécholates et de gallates, respectivement. Les ions métalliques qui préfèrent la géométrie octaédrique telle que les ions Fe^{2+} et Fe^{3+} peuvent coordonner jusqu'à trois groupes de catecholates ou de gallates (**figure II.33**) [185].

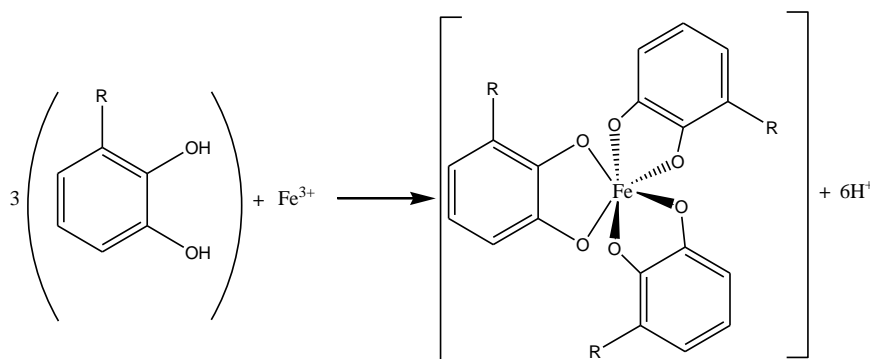


Figure II.33 : La géométrie octaédrique de coordination prévue du complexe général du fer-polyphénol. Gallols, $R=OH$; catéchols, $R=H$. La Coordination exige le déprotonation des ligands de polyphénol.

Pour cette raison, on pourrait prévoir que les polyphénols avec les groupes catéchols ou les groupes gallols se lieraient toujours avec le fer selon le mode de 3:1 (**figure II.33**). Cependant, puisque les polyphénols possèdent une grande variabilité structurale, donc ils peuvent exposer différents modes de coordination. La valeur de la constante pK_a est l'intervalle de 7 à 9 pour la plupart des hydrogènes acides des polyphénols, les polyphénols sont facilement déprotonés en présence du fer et forment des complexes très stables. Puisque les ligands de polyphénol stabilisent fortement les ions Fe^{+3} plus que les ions Fe^{+2} , les complexes catécholates et gallates des ions Fe^{+2} sont rapidement oxydés en présence de l'oxygène O_2 pour former le complexe Fe^{+3} -polyphénol, le processus généralement désigné sous le nom de l'autooxydation (**figure II.34**) [185].

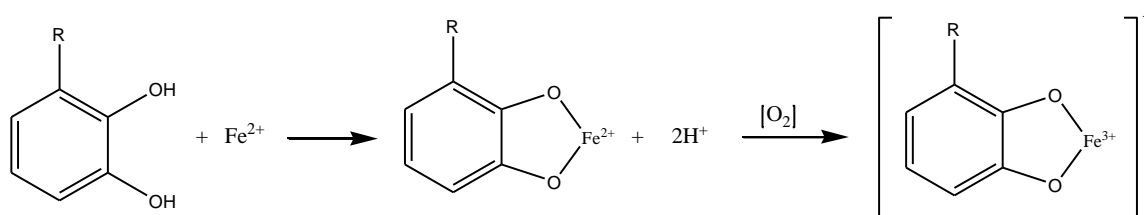


Figure II.34 : Coordination de Fe^{+2} par des polyphénols suivant la réaction de transfert d'électron en présence de l'oxygène conduisant à la génération du Complexe Fe^{+3} -polyphénol.

Typiquement, l'oxydation de Fe^{+2} se produit lentement en présence de l' O_2 , mais l'attachement des ligands des polyphénols au Fe^{+2} , abaisse le potentiel de réduction du fer et augmente son taux d'oxydation.

✓ Réduction du Fe^{+3} par les ligands des polyphénols

Lors de l'attachement d'un ligand de catécholate ou de gallate au Fe^{+3} , le polyphénol peut réduire le fer en Fe^{+2} . Pendant ce processus, le polyphénol est oxydé à une semiquinone (**figure II.35**).

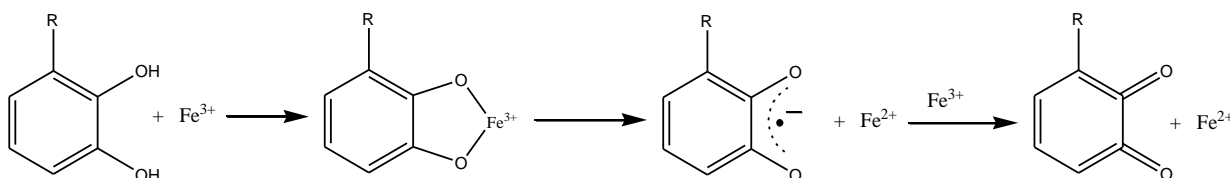


Figure II.35: Coordination de Fe^{3+} par des polyphénols conduisant à la réduction du fer et à la formation d'une semiquinone, et la réduction de Fe^{3+} forme une espèce de quinone et Fe^{+2} . $R = H, OH$.

Au bas pH, le ligand de semiquinone est protoné pour donner un ligand neutre. Une fois la forme de semiquinone du polyphénol est produite, elle est capable de réduire un autre équivalent de Fe^{+3} , simultanément la semiquinone s'oxyde en quinone. Néanmoins, ce processus de réduction de fer est souvent attribué à l'activité antioxydante et prooxydante des composés phénoliques [185].

II.7.4.3. Piégeage des radicaux libres

Les composés phénoliques ont des propriétés antioxydantes en raison de leur capacité à piéger les radicaux libres et les espèces réactives de l'oxygène, le processus est radicalaire [186]. Ils interfèrent avec l'oxydation des lipides et d'autres molécules par la donation rapide d'un atome d'hydrogène aux radicaux libres selon un mécanisme proposé dès 1976 par Sherwin : l'antioxydant cède formellement un radical hydrogène, qui peut être un transfert d'électrons suivi, plus ou moins rapidement, par un transfert de proton, pour donner un radical intermédiaire (**figure II.36**). Il est stabilisé par ses structures mésomères conjuguées [187].

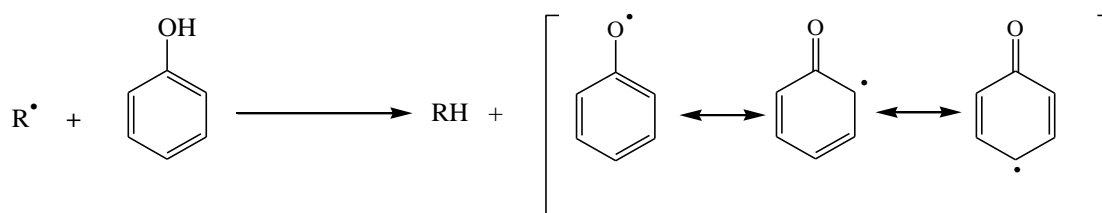
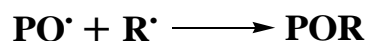


Figure II.36: Mécanisme d'action des antioxydants phénoliques.

Les radicaux intermédiaires phénoxy (PO^\bullet) sont relativement stables en raison de la résonance et donc une nouvelle réaction en chaîne n'est pas facile à initié [65]. Par ailleurs, ils peuvent agir avec d'autres radicaux libres selon la réaction:



Les composés phénoliques possèdent une structure chimique idéale pour le piégeage des radicaux libres, parce qu'ils possèdent:

- Des groupes phénoliques hydroxyles qui sont susceptibles de donner un atome d'hydrogène ou un électron au radical libre.
- Un système aromatique stabilisé par la résonance [65].

Les flavonoïdes en général et les flavan-3-ols en particulier sont de bons piègeurs des radicaux libres [188]. A cause la présence de 3',4'-dihydroxy et la présence du groupe *o*-dihydroxy (structure des catéchol) sur le noyau aromatique B; ils possèdent la propriété de donneur d'électrons. En outre, la présence du 3-OH du cycle C est également bénéfique pour l'activité antioxydante des flavonoïdes. La présence de la double liaison C2-C3 conjuguée avec le groupe 4-céto est responsable de la délocalisation des électrons du noyau B, ce qui améliore encore l'activité antiradicalaire (**figure II.37**) [189-191].

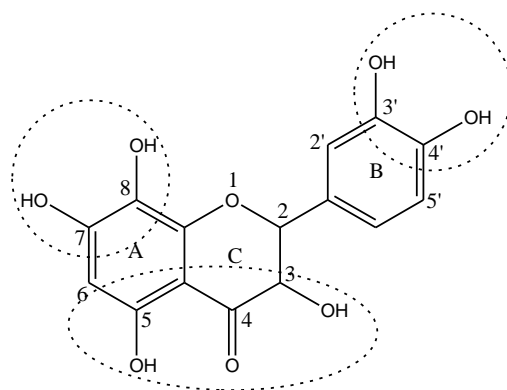


Figure II.37 : Les caractéristiques structurales des flavonoïdes avec une activité de piégeage des radicaux libres élevée.

II.8. Intérêts thérapeutiques des polyphénols

La principale caractéristique des polyphénols c'est qu'ils sont des agents antioxydants très puissants. En effet, ils sont capables de piéger les radicaux libres et d'activer les autres antioxydants présents dans le corps. Cette même activité antioxydante permet aux polyphénols de réguler les radicaux libres bon-mauvais, comme l'oxyde nitrique qui favorise

une bonne circulation sanguine, coordonne l'activité du système immunitaire avec celle du cerveau et module la communication entre les cellules de ce dernier [73]. L'activité antioxydante des polyphénols peut s'exercer sur les transporteurs des lipides du sang et tout particulièrement sur le « mauvais » transporteur du cholestérol (les LDL ou les lipoprotéines de faible densité). Les polyphénols empêchent ainsi la formation des LDL oxydés, formation qui rend place lors d'états pathologiques variés caractérisés par un stress oxydatif [87]. Ils aident à combattre l'inflammation et réduisent la fragilité des capillaires, ils réduisent les effets du diabète et protègent la peau contre les rayons ultraviolets en diminuant les dommages causés par les rayons solaires [192]. De nombreuses études épidémiologiques montrent qu'une alimentation riche en polyphénols diminue le risque des maladies chroniques [193], dont les plus importantes sont citées ci-dessous.

II.8.1. Polyphénols et cancer

Parmi les propriétés biologiques intéressantes des polyphénols, la prévention du cancer. En effet, un certain nombre de recherches menées *in vitro* et *in vivo* ont montré que les polyphénols pourraient être utilisés comme des agents de prévention des différentes maladies cancéreuses [194]. De nombreuses études ont montré que trois types de cancers (sein, prostate et digestif) peuvent être fortement influencés par l'alimentation notamment l'apport en lipides et en antioxydants et que l'huile d'olive pourrait grâce à sa teneur en polyphénols, contribuer à la prévention de certains cancers tels que le cancer de la prostate [195]. Des recherches plus récentes ont décrit les activités anti-cancérogènes de la curcumine, le resvératrol et l'épigallocatechine-3-gallate (EGCG) pour le traitement du cancer du col [196].

Les effets inhibiteurs du thé vert et noir dans le traitement du cancer ont largement été étudiés. Les polyphénols du thé de type flavan-3-ol sont des composés bioactifs puissants qui interfèrent avec l'initiation, le développement et la progression du cancer par des processus critiques [197-201]. Ils ont la capacité d'interrompre ou inverser le processus de cancérogenèse en agissant sur les molécules de réseau de signalisation intracellulaires impliquées dans l'initiation et / ou la promotion d'un cancer pour arrêter ou inverser la phase de progression du cancer. Les polyphénols peuvent également déclencher l'apoptose dans les cellules cancéreuses à travers la modulation d'un certain nombre d'éléments principaux en signal cellulaire [202].

II.8.2. Polyphénols et maladies cardiovasculaires

Diverses études épidémiologiques ont montré qu'il existe une corrélation inverse entre la consommation d'aliments riches en polyphénols et le risque de développement des maladies cardiovasculaires [66, 203]. Au niveau des artères, ces molécules préviennent l'oxydation des lipoprotéines de faible densité (LDL) évitant ainsi l'athérosclérose (épaississement des artères qui contribue à réduire le flux sanguins et peut conduire à l'asphyxie des tissus irrigués). Les polyphénols inhibent aussi l'agrégation plaquettaire impliquée dans le phénomène de thrombose, qui induit l'occlusion des artères. Ainsi en prévenant l'athérosclérose et les risques de thrombose, ces composés limitent les risques d'infarctus du myocarde [73].

Selon des études épidémiologiques, un plus grand apport de flavonoïdes tirés des fruits et des légumes s'associe à une diminution du risque d'apparition de maladie cardiovasculaire. Les mécanismes expliquant cette observation ne sont pas clairs, mais d'après les données probantes, les flavonoïdes exerceraient leurs effets par la diminution des facteurs de risque cardiovasculaire. D'après de récentes données probantes, certains polyphénols sous forme purifiée, y compris le resvératrol, la berbérine et la naringénine, ont des effets bénéfiques sur la dyslipidémie chez les modèles humains ou animaux. Un traitement à la naringénine atténuait l'athérosclérose en corrigeant la dyslipidémie [204].

II.8.3. Polyphénols et inflammation

L'inflammation est la réponse principale de l'organisme à une agression et est précisément régulée afin de limiter les atteintes possibles des structures de l'organisme. Cependant, une régulation inappropriée de ce phénomène peut conduire à un état inflammatoire chronique. La plupart des pathologies chroniques possèdent une composante inflammatoire. C'est le cas de l'obésité, du diabète de type II, des maladies cardiovasculaires et du cancer. Les différentes études menées sur les effets protecteurs des polyphénols dans ces contextes pathologiques ont montré que ceux-ci diminuaient les marqueurs de l'inflammation et agissaient sur de nombreuses cibles moléculaires au centre des voies de signalisation de l'inflammation. De nombreuses études ont pu montrer que les polyphénols et leurs métabolites agissaient également comme des modulateurs des voies de signalisation de l'inflammation. Les études menées chez l'homme sain ont montré que le suivi d'un régime riche en fruits et légumes était inversement corrélé aux marqueurs de l'inflammation dans le plasma, et que la consommation d'anthocyanes était associée à la diminution du taux de cytokines circulantes [205].

Des recherches récentes ont démontré que les flavonoïdes, notamment les flavonols, peuvent prévenir de la douleur musculaire en accélérant la réparation des tissus au niveau moléculaire. De manière spécifique, ils inhibent l'enzyme NOS responsable de la synthèse de l'oxyde nitrique, qui est déclencheur chimique de l'inflammation. D'autres études, affirment l'action inhibitrice de ces flavonoïdes, plus particulièrement la lutéoline, l'apigénine, catéchine sur la cyclo-oxygénase enzyme synthétiques des molécules impliquées fortement dans le processus inflammatoire [206].

II.8.4. Polyphénols et maladies neurodégénératives

Les maladies neurodégénératives telles que la maladie de Parkinson et la maladie d'Alzheimer représentent un problème croissant lié aux pathologies du vieillissement cérébral, principalement car il ya une augmentation de la prévalence de la maladie d'Alzheimer à la fois et la maladie de Parkinson avec l'âge. Ceux-ci et d'autres maladies neurodégénératives semblent être déclenchées par des événements multi-factoriels dont la neuro-inflammation, une augmentation du stress oxydatif, de fer et / ou une déplétion des antioxydants endogènes. Par ailleurs, l'apport alimentaire régulière d'aliments riches en flavonoïdes et / ou de boissons a été associée à une réduction de 50% du risque de démence, une préservation des performances cognitives avec l'âge, un retard dans l'apparition de la maladie d'Alzheimer et une réduction du risque de développer la maladie de Parkinson. Les flavonoïdes peuvent agir pour protéger le cerveau dans un certain nombre de façons, y compris par la protection des neurones vulnérables, le renforcement de la fonction neuronale existantes ou en stimulant la régénération neuronale [207]. De nombreuses études d'intervention alimentaire menées chez l'homme ou chez l'animal avec des aliments ou boissons issus du raisin, du thé ou de baies comme les myrtilles ont montré une amélioration de la mémoire et de la cognition. Il semblerait cependant que les seules propriétés antioxydantes des flavonoïdes contenus dans ces aliments ne soient pas suffisantes pour expliquer leurs effets bénéfiques au niveau cérébral, d'autant que la concentration de composés retrouvés à ce niveau est relativement faible (Spencer 2008a). Il a ainsi été suggéré que les polyphénols puissent agir en protégeant les neurones vulnérables, en stimulant le fonctionnement neuronal et le flux sanguin ainsi qu'en favorisant la neurogenèse [205].

PARTIE EXPÉRIMENTALE



III. MATÉRIELS ET MÉTHODES



III. Matériels et méthodes

III.1. Réactifs chimiques et appareillage

III.1.1. Réactifs chimiques

Tous les produits chimiques utilisés dans cette étude sont de qualités analytiques et ils sont les suivants : éthanol absolue 99,9% produit par (Sigma-Aldrich Co), acide ascorbique 99,7 %, solution tampon $\text{KH}_2\text{PO}_4 / \text{K}_2\text{HPO}_4$ (pH =7,2), réactif de Folin-Ciocalteu produit par (Biochem chemopharma Co (Canada)), solution de carbonate de sodium Na_2CO_3 99% produit par Merck Co, eau distillée ultra pure et acide gallique.

III.1.2. Appareillage

Les différents appareils utilisés pour nos analyses sont: Potentiostat/Galvanostat PGZ 301 type voltalab fabriqué par (Radiometer Analytical SAS) avec un logiciel VoltaMaster 4, accompagné d'une cellule électrochimique type d'un système à trois électrodes fabriquée en verre de capacité 50 mL, évaporateur rotatif type (Rotavapor BUCHI Heating bath B-490), extracteur type soxhlet, Spectrophotomètre UV (SHIMADZU), balance de précision (ADVENTURER 310g, précision 0.001g), étuve (Mommert, Beschickung-Loading Modell 100-800).

III.2. Matériel végétal

Les variétés des aubergines à étudier ont été collectées en période de octobre-novembre 2011 des différentes régions du territoire algérien, elles sont mentionnées dans le **tableau III.1** ci-dessous, et représentés par la **figure III.1**:

Tableau III.1 : Régions de récolte des aubergines.

N°	Région de récolte	N°	Région de récolte
(1)	Skikda	(6)	Alger
(2)	Biskra	(7)	Jijel
(3)	El-Oued	(8)	Batna
(4)	Annaba	(9)	Guelma
(5)	Ghardaïa	(10)	Ouargla

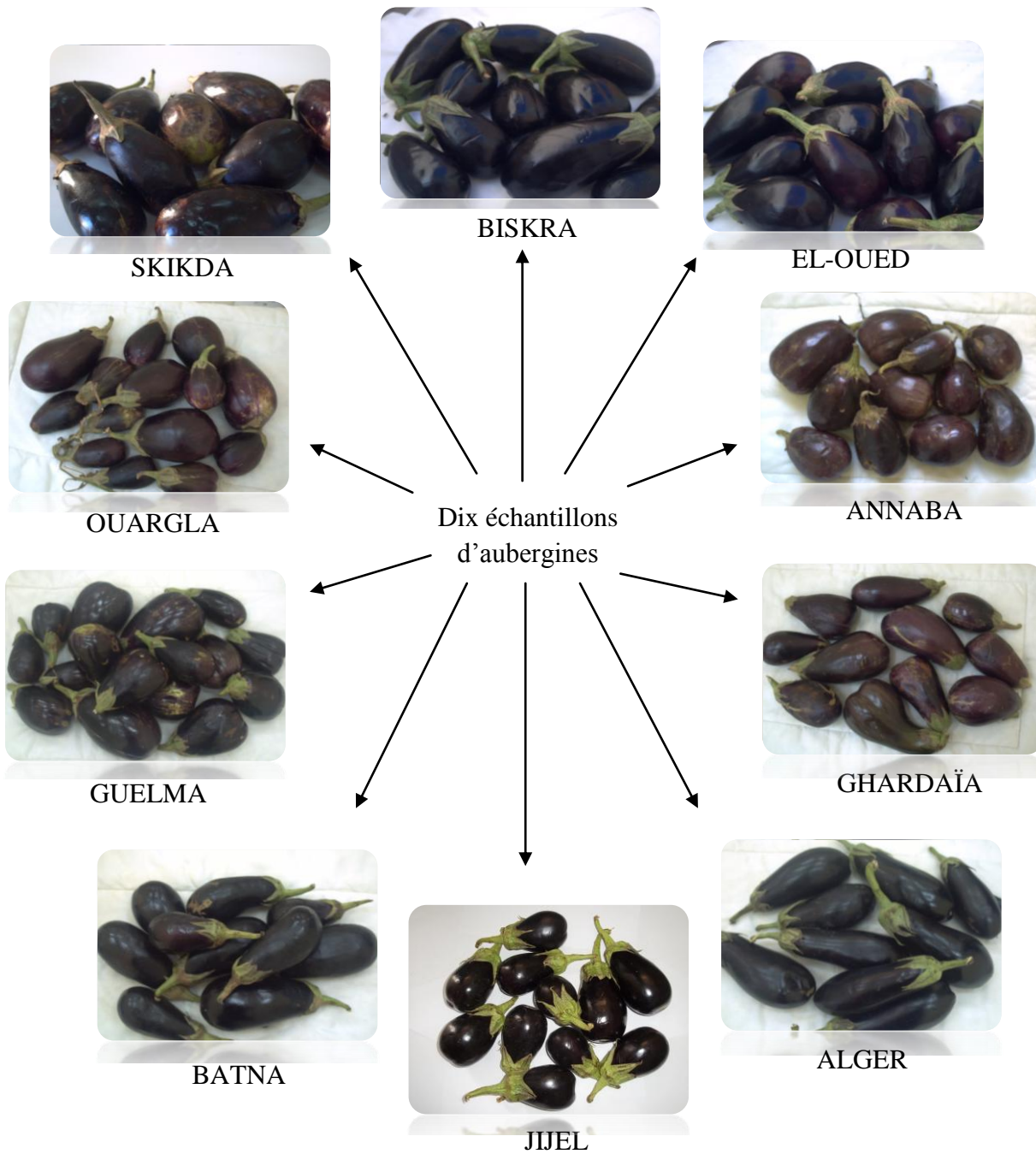


Figure III.1 : Photos des échantillons des aubergines à étudier collectés de dix différentes régions du territoire algérien.

La **figure III.2** montre une carte géographique sur les zones d'échantillonnages des aubergines.

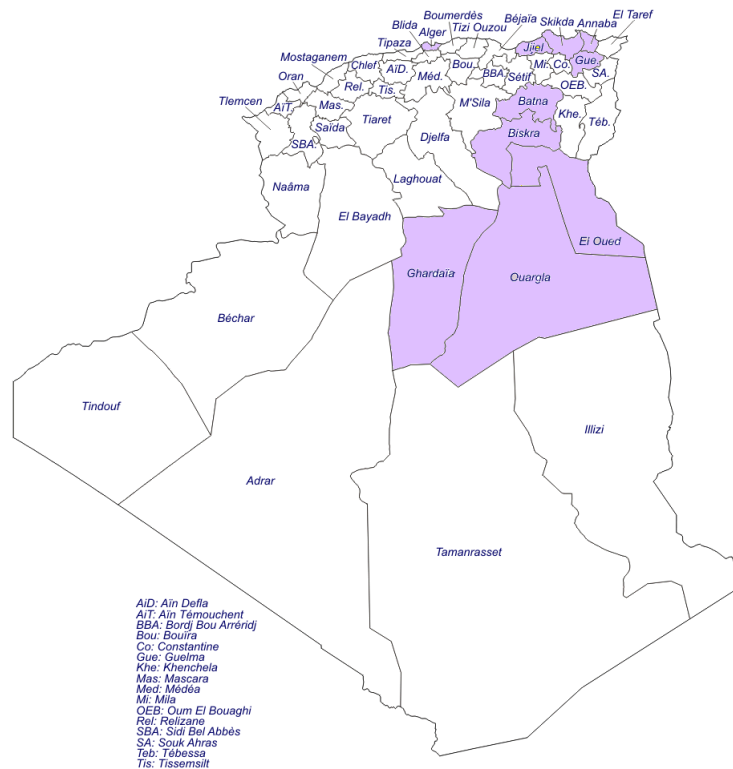


Figure III.2 : Carte géographique montrant les zones de collecte des aubergines.

III.3. Méthodologie

III.3.1. Préparation des échantillons

La préparation des échantillons est d'une importance capitale pour toute analyse fiable. On a préparé trois types d'échantillonnages (**figure III.3**) pour chaque type d'aubergine : fruit entier, pulpe de l'aubergine et cortex de l'aubergine. Chaque matière à extraire est ensuite séchée à l'ombre, broyée en poudre et gardée dans des boîtes jusqu'à utilisation.

Le séchage à l'ombre demande une bonne circulation de l'air. Ce type de séchage ne doit pas s'effectuer dans un bâtiment ordinaire, mais sous un abri spécialement conçu à cet effet, c'est-à-dire ouvert sur un côté. La plupart des aliments à sécher sont coupés en tranches parce que les tranches sèchent généralement plus vite que l'aliment entier. Les tranches ne doivent pas avoir plus de 1 cm d'épaisseur, de façon à sécher entièrement et rapidement. Il faut placer les aliments sur des nattes ou des plateaux, bien au-dessus du sol, afin d'éviter qu'ils soient contaminés par la poussière ou par le sol. Il faut les retourner tous les jours pour les faire sécher plus rapidement [208].

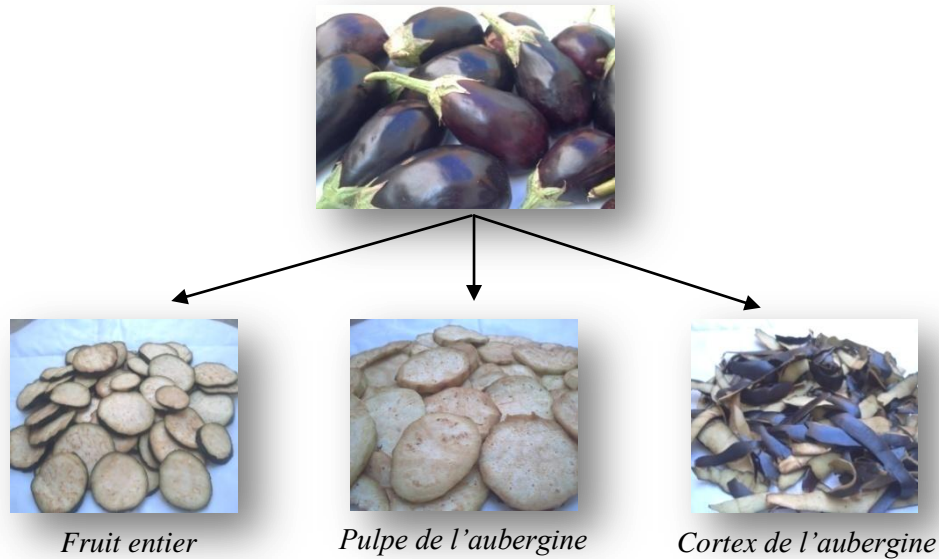


Figure III.3 : Trois types d'échantillonnages des aubergines.

III.3.2. Extraction des composés phénoliques

Il existe plusieurs méthodes d'extraction des polyphénols. La méthode la plus efficace qui a été choisie dans cette étude c'est l'extraction solide-liquide en utilisant un appareil Soxhlet. Cinq grammes de chaque matière à extraire sont pesés et ensuite mis dans la cartouche du Soxhlet. L'éthanol est introduit dans le ballon puis chauffé pour démarrer l'extraction. L'extraction est arrêtée après l'épuisement de cinq cycles, lorsque le liquide entourant la cartouche devient clair, cette couleur indiquant que le solvant n'extrait plus rien du solide. Le temps de traitement est deux heures. Le contenu du ballon (solvant plus matières solubilisées) est évaporé à sec à l'aide d'un évaporateur rotatif muni d'une pompe à vide à une température de 55 °C pour éliminer tout le solvant (éthanol). On a obtenu deux fractions à analyser qu'on a pesées avec soin afin de quantifier leurs masses d'extraction : une fraction qui a été dissoute dans 5 ml d'éthanol et une autre fraction qui a été dissoute dans 5 ml d'eau distillée. Les deux fractions sont gardées dans le réfrigérateur à une température de 4 °C jusqu'à analyse.

Le dosage des polyphénols totaux est effectué par la méthode de Folin-Ciocalteu afin de quantifier les teneurs en polyphénols totaux, et la mesure de l'activité antioxydante des polyphénols est effectuée par deux méthodes ; la méthode du test DPPH et la méthode électrochimique (en utilisant la technique de la voltampérométrie).

III.4. Résultats et discussion

III.4.1. Rendements des extractions

Les rendements des extractions sont calculés suivant la formule ci-dessous:

$$Rdt(\%) = \frac{M_{\text{extrait}}}{M_{\text{échantillon}}} * 100$$

Avec : M_{extrait} = masse de l'extrait en gramme.

$M_{\text{échantillon}}$ = masse de l'échantillon en gramme ($M_{\text{échantillon}} = 5\text{g}$).

III.4.1.1. Fractions éthanoliques

Les rendements d'extraction de différentes fractions éthanoliques des dix échantillons d'aubergines sont reportés dans le **tableau III.2** et représentés par la **figure III.4**.

Tableau III.2 : Rendement d'extraction des composés phénoliques dans les fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres.

Région	Parties	$M_{\text{extrait}}(\text{g})$	$Rdt(\%)$	Région	Parties	$M_{\text{extrait}}(\text{g})$	$Rdt(\%)$
Skikda	Fruit entier	0,4859	9,718	Alger	Fruit entier	0,2325	4,65
	Pulpe	0,2604	5,208		Pulpe	0,3105	6,21
	Cortex	0,2838	5,676		Cortex	0,1193	2,386
Biskra	Fruit entier	0,1033	2,066	Jijel	Fruit entier	0,239	4,78
	Pulpe	0,3222	6,444		Pulpe	0,1133	2,266
	Cortex	0,1786	3,572		Cortex	0,1109	2,218
El-Oued	Fruit entier	0,3463	6,926	Batna	Fruit entier	0,3022	6,044
	Pulpe	0,4648	9,296		Pulpe	0,1902	3,804
	Cortex	0,3203	6,406		Cortex	0,122	2,44
Annaba	Fruit entier	0,8365	16,73	Guelma	Fruit entier	0,6421	12,842
	Pulpe	0,9791	19,582		Pulpe	0,3396	6,792
	Cortex	0,3419	6,838		Cortex	0,0951	1,902
Ghardaïa	Fruit entier	0,0638	1,276	Ouargla	Fruit entier	0,0849	1,698
	Pulpe	0,156	3,12		Pulpe	0,3338	6,676
	Cortex	0,2306	4,612		Cortex	0,0811	1,622

Nous constatons, comme le montre très clairement la **figure III.4** que les fruits entiers des aubergines de la région d'Annaba (16,73%) ont donné les meilleurs rendements d'extraction suivis de la région de Guelma (12,842%). Les plus faibles rendements d'extractions reviennent à la région d'Ouargla (1,698%) et de Ghardaïa (1,276%). Les meilleurs rendements des extractions des polyphénols dans les pulpes reviennent aux aubergines de la région d'Annaba (19,582%) et ceux les plus faibles reviennent aux aubergines de la région de Jijel (2,266%). Les cortex des aubergines de la région d'Annaba (6,838%) et d'El-Oued (6,406%) ont donnée les rendements les plus élevés par rapport aux autres régions.

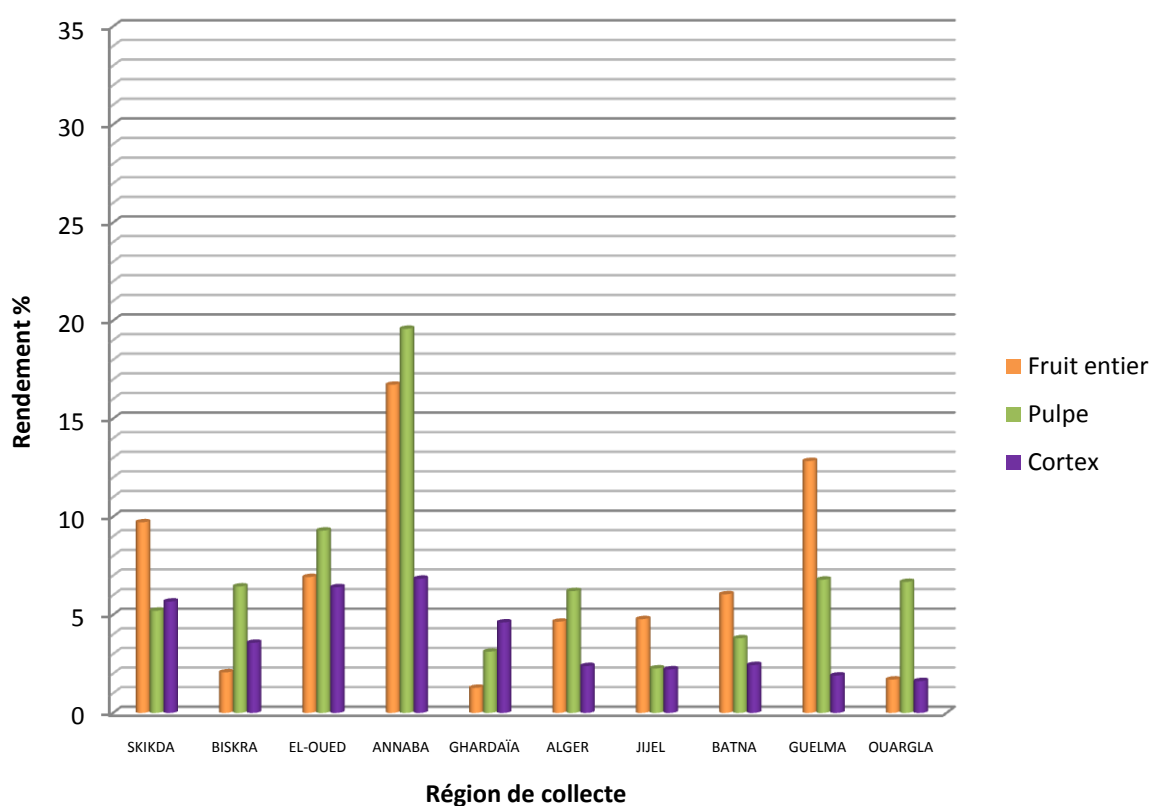


Figure III.4 : Rendement d'extraction des composés phénoliques dans les fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres.

III.4.1.2. Fractions aqueuse

Les rendements d'extraction de différentes fractions aqueuses des échantillons d'aubergines étudiés sont reportés dans le **tableau III.3** et représentés par la **figure III.5**.

Tableau III.3 : Rendement d'extraction des composés phénoliques dans les fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres.

Région	Parties	M _{extrait} (g)	Rdt(%)	Région	Parties	M _{extrait} (g)	Rdt(%)
Skikda	Fruit entier	0,9572	19,144	Alger	Fruit entier	0,754	15,08
	Pulpe	0,4812	9,624		Pulpe	0,9758	19,516
	Cortex	0,1795	3,59		Cortex	0,1785	3,57
Biskra	Fruit entier	0,641	12,82	Jijel	Fruit entier	0,3674	7,348
	Pulpe	1,1254	22,508		Pulpe	0,551	11,02
	Cortex	0,1812	3,624		Cortex	0,1855	3,71
El-Oued	Fruit entier	0,4492	8,984	Batna	Fruit entier	0,3324	6,648
	Pulpe	0,8952	17,904		Pulpe	0,9045	18,09
	Cortex	0,251	5,02		Cortex	0,1693	3,386
Annaba	Fruit entier	1,4029	28,058	Guelma	Fruit entier	0,523	10,46
	Pulpe	1,6893	33,786		Pulpe	1,0032	20,064
	Cortex	0,1909	3,818		Cortex	0,2458	4,916
Ghardaïa	Fruit entier	0,57	11,4	Ouargla	Fruit entier	0,51	10,2
	Pulpe	0,6422	12,844		Pulpe	0,7108	14,216
	Cortex	0,3167	6,334		Cortex	0,1104	2,208

Les résultats montrent que les fruits entiers des aubergines de la région d'Annaba (28,058%) ont donné les meilleurs rendements d'extraction suivis de la région de Skikda (19,144%). Les plus faibles rendements d'extractions reviennent à la région de Batna (6,648%) et Jijel (7,348%). Les meilleurs rendements des extractions des polyphénols dans les pulpes reviennent aux aubergines de la région d'Annaba (33,786%) et ceux les plus faibles reviennent aux aubergines de la région de Skikda (3,59%). Les cortex des aubergines de la région de Ghardaïa (6,334%) et d'El-Oued (6,406%) ont donnée un rendement relativement élevé par rapport aux autres échantillons.

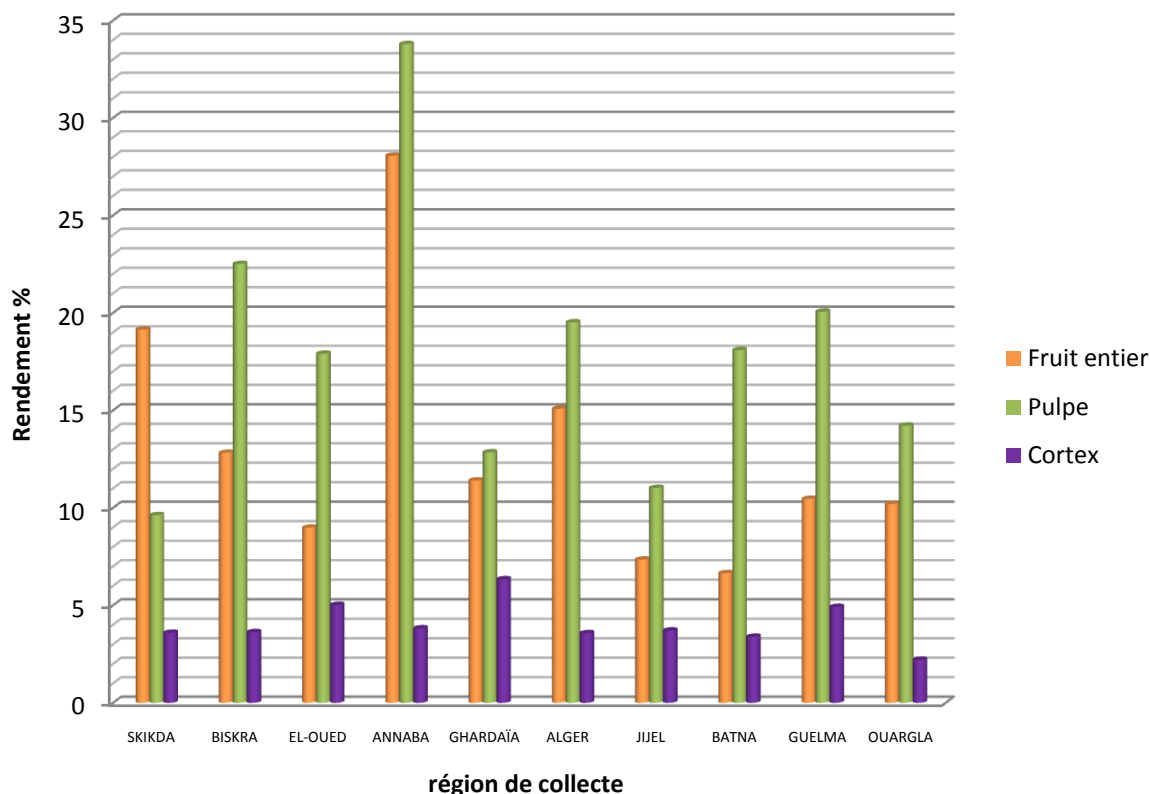


Figure III.5 : Rendement d'extraction des composés phénoliques dans les fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres.

III.4.2. Analyses colorimétriques par spectrophotométrie (UV-visible)

III.4.2.1. Spectrophotométrie

La spectrophotométrie est une méthode analytique quantitative qui consiste à mesurer l'absorbance ou la densité optique d'une substance chimique donnée en solution. Plus cette espèce est concentrée plus elle absorbe la lumière dans les limites de proportionnalités énoncées par la loi de Beer-Lambert.

La densité optique des solutions est déterminée par un spectrophotomètre préalablement étalonné sur la longueur d'onde d'absorption de l'espèce chimique à étudier. Lorsqu'une lumière d'intensité I_0 passe à travers une solution, une partie de celle-ci est absorbée par le(s) soluté(s). L'intensité I de la lumière transmise est donc inférieure à I_0 . L'absorbance de la solution est définie comme suit :

$$A = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I} \right)$$

$$A = -\log T$$

Avec T : la transmittance, elle est égale à

$$T = \frac{I}{I_0}$$

L'absorbance est une valeur positive, sans unité. Elle est d'autant plus grande que l'intensité transmise est faible. Les méthodes colorimétriques basées sur l'utilisation du spectrophotomètre UV-visible, ont été utilisées pour évaluer la quantité des composés phénoliques dans la matière végétale [86].

III.4.2.2. Dosage des polyphénols en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu :

Le réactif est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$) de coloration jaune. Il est réduit, lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (Ribéreau-Gayon, 1968). La coloration bleue produite possède une absorption maximale aux environs de 760 nm. Elle est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits.

On réalise une gamme étalon en milieu aqueux (10 points de concentrations à partir de 0,03 jusqu'à 0,3 mg par ml) avec un polyphénol témoin, en général de l'acide gallique. Pour réaliser le dosage, 500 μ L de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois dans de l'eau ultra pure) sont ajoutés à 100 μ L d'extrait dilué. On ajoute ensuite 2mL de Na_2CO_3 . Le blanc de la réaction ne contenant pas de polyphénols est réalisé comme le point 0 en mg. ml⁻¹. Les mélanges réactionnels, correspondant aux échantillons, sont agités et portés à l'obscurité à température ambiante pendant 30 minutes. La lecture de l'absorbance à 760 nm se fait grâce à un spectrophotomètre UV [209].

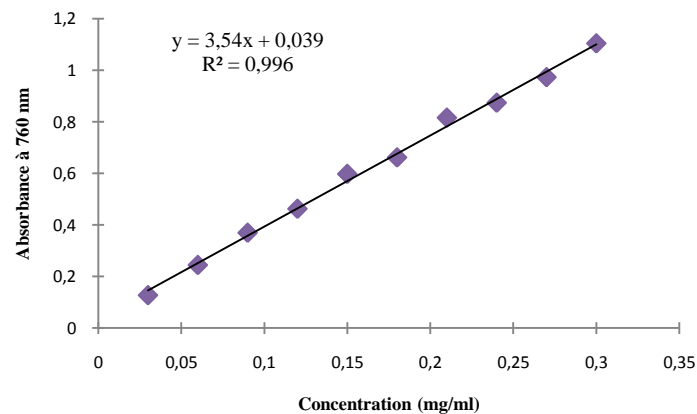
III.4.2.3. Droite d'étalonnage de l'acide gallique

Les absorbances de l'acide gallique correspondantes aux solutions de concentrations cité ci-dessus sont enregistrées dans le **tableau III.4** suivant :

Tableau III.4 : Absorbances de la gamme de concentration d'acide gallique.

Concentration (mg/ml)	Absorbance
0,03	0,128
0,06	0,245
0,09	0,370
0,12	0,463
0,15	0,598
0,18	0,662
0,21	0,816
0,24	0,874
0,27	0,973
0,30	1,104

On peut représenter la courbe d'étalonnage de l'acide gallique (**figure III.6**) en prenant la concentration (mg/ml) en fonction de l'absorbance, le coefficient de corrélation $R^2 = 0,996$.

**Figure III.6:** Droite d'étalonnage de l'acide gallique.

Les concentrations des polyphénols totaux sont calculées à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage établie avec l'acide gallique ($y = 3,54x + 0,039$). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent d'acide gallique par un gramme de l'extrait (mg EAG/g d'extrait). Ces résultats ont permis de donner des estimations sur les quantités des polyphénols totaux contenus dans les échantillons d'aubergine (fractions éthanoliques et fractions aqueuses). Chaque essai a été répété trois fois ainsi que, chaque valeur reportée dans ces tableaux est une moyenne.

III.4.2.4. Teneur en polyphénols totaux

III.4.2.4.1. Fractions éthanoliques

D'après les résultats, on peut constater que toutes les fractions éthanoliques des échantillons des aubergines étudiés, contiennent des polyphénols mais avec des quantités différentes (**tableau III.5**).

Tableau III.5 : Teneur en polyphénols totaux dans les différentes fractions éthanoliques des fruits entiers, des pulpes et des cortex.

N°	Région	Teneur en polyphénols (mg/g)		
		fruit entier	Pulpe	Cortex
1	SKIKDA	61,02 ± 3,91	31,24 ± 2,81	75,14 ± 1,55
2	BISKRA	36,91 ± 3,35	43,87 ± 5,76	82,16 ± 39,39
3	EL-OUED	52,51 ± 7,88	34,88 ± 13,34	84,50 ± 4,47
4	ANNABA	60,01 ± 40,54	13,88 ± 3,73	135,62 ± 4,97
5	GHARDAÏA	21,71 ± 4,41	22,02 ± 2,27	33,07 ± 1,15
6	ALGER	37,61 ± 1,30	29,16 ± 3,26	81,00 ± 7,85
7	JIJEL	91,42 ± 15,48	77,13 ± 13,24	159,37 ± 68,19
8	GUELMA	50,98 ± 5,93	34,79 ± 2,76	100,56 ± 6,64
9	BATNA	59,53 ± 18,54	27,66 ± 0,52	79,86 ± 5,50
10	OUARGLA	26,15 ± 3,21	26,35 ± 6,65	39,18 ± 4,48

La qualité et la quantité des polyphénols qui existent dans les fruits et les végétaux sont influencée par le type de variété, l'environnement, le type de sol, les conditions de végétation et de stockage [35,210]. Ils existent une grande diversité des variétés d'aubergines, de différentes formes et de différentes couleurs, plusieurs publications ont décrit leurs effets bénéfiques sur la santé et cela est dû à leurs richesses en polyphénols, elles contiennent des acides phénoliques, des flavonoïdes, des anthocyanines et des tanins [35,211-213].

La **figure III.7** montre que la fraction éthanolique du fruit entier de l'aubergine de Jijel possède la plus haute teneur en polyphénols (91,42 ± 15,48 mg/g), suivi par les variétés de Skikda, Annaba et Batna avec les valeurs respectives de (61,02 ± 3,91 mg/g), (60,01 ± 40,54 mg/g) et (59,53 ± 18,54 mg/g). La variété de Ghardaïa a montré la plus faible teneur en polyphénols (21,71 ± 4,41 mg/g). Toutes ces variétés étudiées sont de zones différentes. Ces résultats confirment les conséquences des travaux antérieurs qui mentionnent que la teneur en

polyphénols des variétés des aubergines peut changer selon le type de sol et les conditions environnementales [210,214].

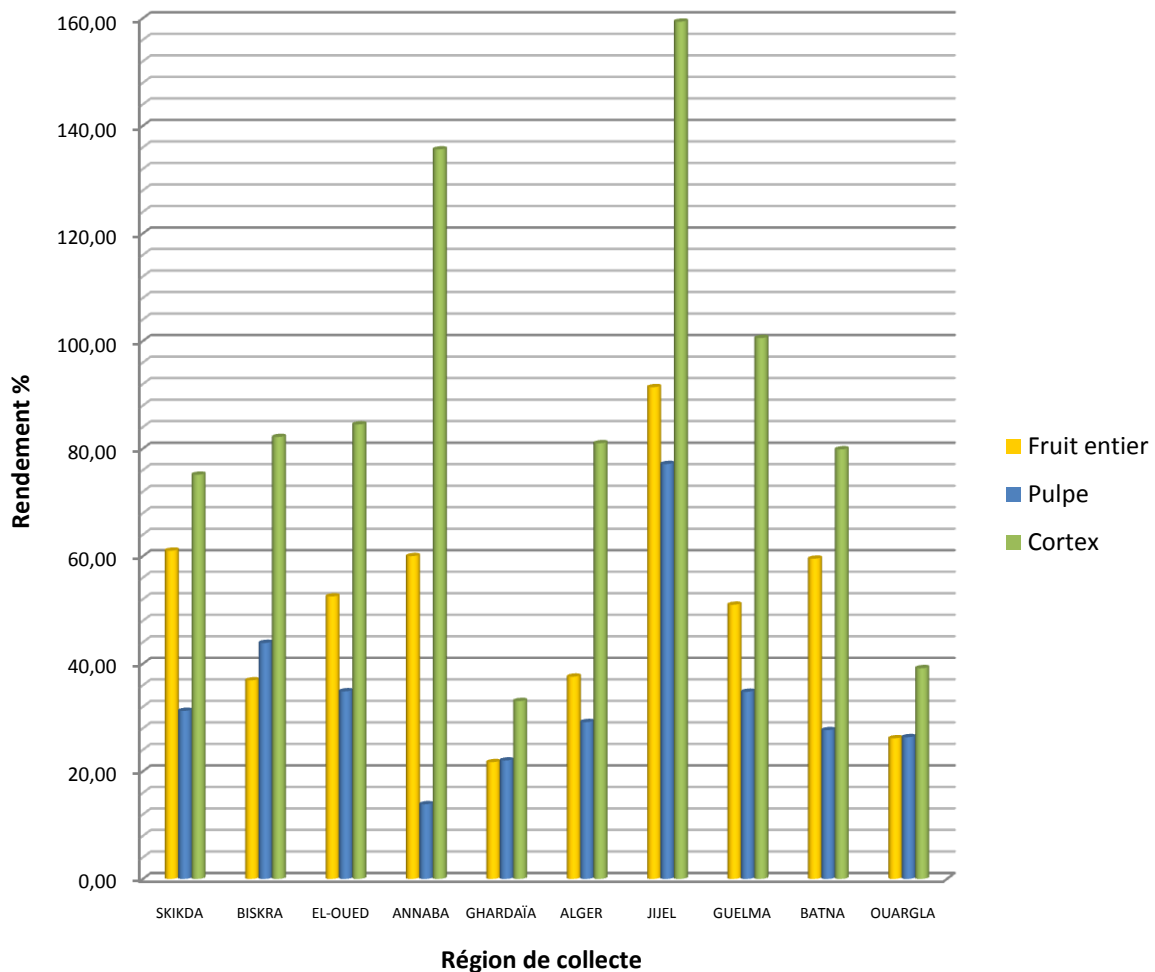


Figure III.7: Teneur en polyphénols totaux dans les différents extraits des fruits entiers, des pulpes et des cortex des aubergines violettes pourpres dans les fractions éthanoliques.

D'après les valeurs des teneurs en polyphénols des fractions éthanoliques des pulpes des échantillons des aubergines étudiés, qui sont rassemblés dans le **tableau III.5** et représentées par la **figure III.7**, on s'aperçoit clairement que la plus forte teneur en polyphénols revient à la variété de Jijel ($77,13 \pm 13,24$ mg/g) suivi par la variété de Biskra ($43,87 \pm 5,76$ mg/g). La variété d'Alger possède la plus faible teneur en polyphénols ($13,88 \pm 3,73$ mg/g). Pour les cortex, la plus forte teneur en polyphénols revient à la variété de Jijel ($159,37 \pm 68,19$ mg/g) suivi d'Annaba ($135,62 \pm 4,97$ mg/g) et Guelma ($100,56 \pm 6,64$ mg/g). La plus faible teneur en polyphénols dans les cortex revient à la variété de Ouargla ($39,18 \pm 4,48$ mg/g) et Gharadaïa ($33,07 \pm 1,15$ mg/g).

Les pulpes des aubergines possèdent parfois des teneurs en polyphénols plus élevées que les fruits entiers et d'autre fois des teneurs moins élevées, alors que tous les cortex des variétés étudiées ont montés des teneurs en polyphénols très élevés par rapport aux fruits entiers et par rapport aux pulpes. Selon la littérature, la majorité des polyphénols des aubergines se concentrent dans les cortex [215], c'est-à-dire que les cortex des fruits d'aubergines contiennent plus de composés phénoliques (acides phénoliques, anthocyanines et des flavonols) que les pulpes des fruits [216]. Les cortex des aubergines de couleur foncé (violette pourpre) sont très riches en différents type d'anthocyanines [41,56]. Le nasunin, un anthocyanine isolé des cortex des variétés des aubergines violettes pourpres et possède des propriétés biologiques très importantes [55].

III.4.2.4.2. Fractions aqueuses

D'après les résultats, on peut constater que toutes les fractions aqueuses des échantillons des aubergines étudiés, contiennent des polyphénols mais avec des quantités différentes (**tableau III.6**).

Tableau III.6 : Teneur en polyphénols totaux dans les différentes fractions aqueuses des fruits entiers, des pulpes et des cortex.

N°	La région	Teneur en polyphénols (mg/g)		
		fruit entier	Pulpe	Cortex
1	SKIKDA	23,66 ± 1,58	23,38 ± 9,60	10,23 ± 3,61
2	BISKRA	16,89 ± 10,15	11,17± 0,70	13,51 ± 7,57
3	EL-OUED	32,18±7,59	36,97± 3,02	73,34 ± 22,92
4	ANNABA	42,22± 1,64	27,23± 2,39	72,51± 14,78
5	GHARDAÏA	14,37± 4,34	22,87± 4,76	16,65± 1,86
6	ALGER	23,35± 1,59	18,19± 0,68	28,22± 6,64
7	JIJEL	72,79± 12,31	48,70± 6,30	123,35± 44,87
8	GUELMA	25,21±3,30	22,71±5,62	17,24±9,56
9	BATNA	6,52±1,30	10,98±2,01	44,22±34,68
10	OUARGLA	6,28 ± 1,60	6,23 ± 2,32	20,90 ± 40,14

La **figure III.8** représente les résultats mentionnés dans le **tableau III.6**, on remarque que la fraction aqueuse du fruit entier de l'aubergine de Jijel possède la plus haute teneur en polyphénols (72,79± 12,31 mg/g), suivi par les variétés d'Annaba et El-Oued avec les valeurs

respectives de $(42,22 \pm 1,64 \text{ mg/g})$, $(32,18 \pm 7,59 \text{ mg/g})$. La variété d'Ouargla a montré la plus faible teneur en polyphénols $(6,28 \pm 1,60 \text{ mg/g})$.

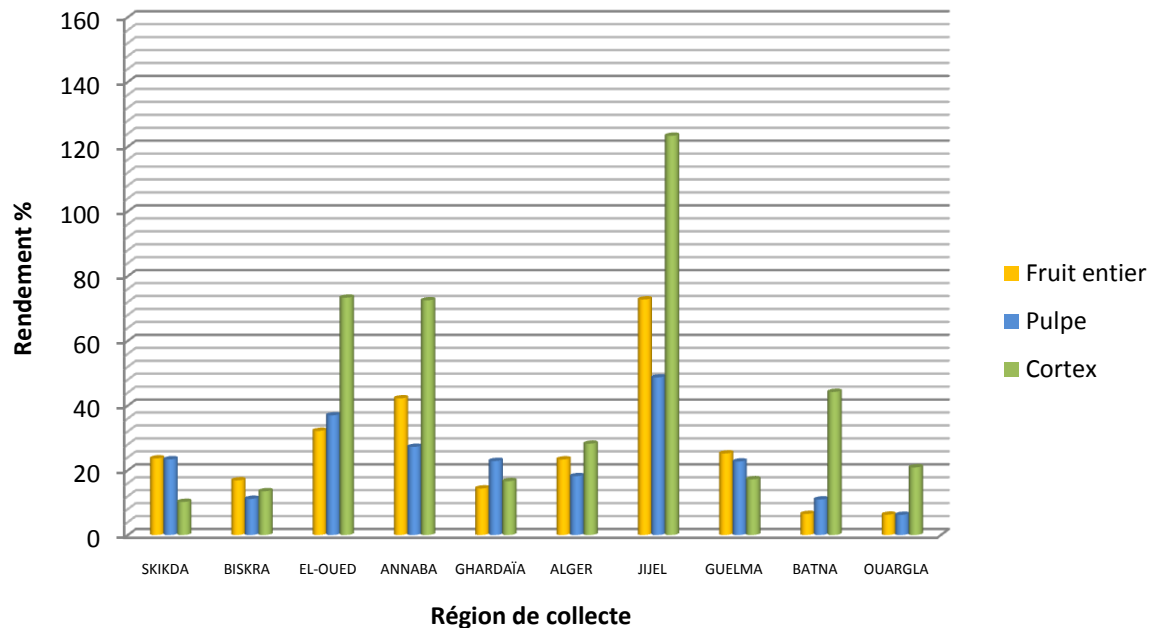


Figure III.8: Teneur en polyphénols totaux dans les différents extraits des fruits entiers, des pulpes et des cortex des aubergines violettes pourpres dans les fractions aqueuses.

D'après les valeurs des teneurs en polyphénols des fractions éthanoliques des pulpes des aubergines, on s'aperçoit clairement que la plus forte teneur en polyphénols revient à la variété de Jijel $(48,70 \pm 6,30 \text{ mg/g})$ et que la plus faible teneur en polyphénols revient à la région d'Ouargla $(6,23 \pm 2,32 \text{ mg/g})$. Pour les cortex, la plus forte teneur en polyphénols revient à la variété de Jijel $(123,35 \pm 44,87 \text{ mg/g})$ suivi d'El-Oued $(73,34 \pm 22,92 \text{ mg/g})$ et Annaba $(72,51 \pm 14,78 \text{ mg/g})$ et. La plus faible teneur en polyphénols dans les cortex revient à la variété de Skikda $(10,23 \pm 3,61 \text{ mg/g})$ et Biskra $(13,51 \pm 7,57 \text{ mg/g})$.

III.4.3. Evaluation de l'activité antioxydante en utilisant le test DPPH

L'activité antioxydante est évaluée en utilisant deux méthodes différentes : la méthode du test DPPH et la méthode électrochimique.

III.4.3.1. Le radical stable DPPH

Le composé chimique 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle est un radical libre de couleur violacée qui absorbe dans l'UV-visible à la longueur d'onde de 517nm [217]. Il fut l'un des

premiers radicaux libres utilisé pour étudier la relation structure-activité antioxydante des composés phénoliques [218-220]. Il possède un électron non apparié sur un atome du pont d'azote (**figure III.9**). Du fait de cette délocalisation, les molécules du radical ne forment pas des dimères. Le radical DPPH reste dans sa forme monomère relativement stable à température ordinaire [221].

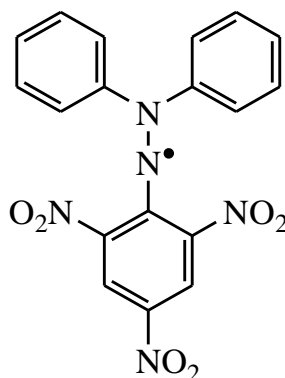


Figure III.9 : Structure chimique du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle).

III.4.3.2. Principe de la méthode : réaction entre le radical libre DPPH et l'antioxydant

La réduction du radical libre DPPH par un antioxydant peut être suivie par spectrophotométrie UV-visible, en mesurant la diminution de l'absorbance à 517 nm provoquée par la présence des extraits [222]. Le DPPH est initialement violé, se décolore lorsque l'électron célibataire s'apparie. Cette décoloration est représentative de la capacité des extraits à piéger ces radicaux libres indépendamment de toutes activités enzymatiques [223].

Dans ce test, le substrat est un radical stable qui, en réagissant avec une molécule antioxydante, se transforme en DPPH-H (2,2-diphényl-1-picrylhydrazine) avec perte de son absorbance caractéristique à 517 nm. Les réactions ont lieu à température ambiante et en milieu éthanolique, qui permet une bonne solubilisation de la plupart des antioxydants. Ce test est très utilisé, car il est rapide, facile et non coûteux (**figure III.10**) [223].

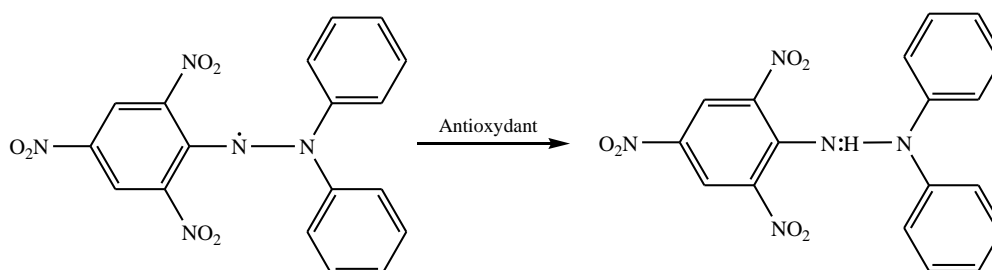


Figure III.10 : Réduction du radical DPPH

III.4.3.3. Dosage des polyphénols en utilisant une solution de DPPH

C'est la méthode décrite par Şenay Akkuş Çetinus qui a été utilisée. Une solution de DPPH a été préparée par solubilisation de 9,8 mg de DPPH dans 100 ml de méthanol (éthanol pour les huiles), différentes concentrations de solutions échantillons et témoin sont ajoutées à 1ml de la solution de DPPH, après incubation de 30 min à l'obscurité et à température ambiante, les absorbances sont mesurés à 517 nm contre le blanc correspondant [224]. Les résultats ont été exprimés par la moyenne de trois mesures séparés \pm écart type. Le paramètre EC_{50} (concentration équivalente à 50% de DPPH perdu) est défini comme étant la concentration du substrat qui cause la perte de 50% de l'activité de DPPH. Le pouvoir antioxydant est déterminé de façon à ce qu'une quantité de l'extrait d'une concentration bien déterminée neutralise 50% du radical.

Les résultats exprimés en EC_{50} qui sont calculés à partir des courbes de la variation du pourcentage d'inhibition I% en fonction de la concentration de chaque extrait. Il faut rappeler que plus la valeur de EC_{50} est petite, plus l'activité antioxydante des extraits est grande [221]. Le pouvoir d'inhibition est exprimé en % et déterminé en appliquant la formule suivante :

$$\% \text{ d'activité antioxydante} = [\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon} / \text{Abs contrôle}] \times 100.$$

Pour chaque composé, les résultats sont la moyenne de 3 expériences menées en parallèle.

III.4.3.3.1. fractions éthanoliques

La méthode du DPPH est indépendante de la polarité de substrat. Cette méthode est basée sur la réduction d'une solution alcoolique de DPPH en présence d'un antioxydant qui donne un hydrogène ou un électron. La forme non radicalaire DPPH-H est formée. Les graphes ci-dessous représentent la variation du pourcentage du pouvoir inhibiteur en fonction de la concentration de chaque fraction éthanolique.

A. Droites d'étalonnage des échantillons

✓ **Région de SKIKDA**

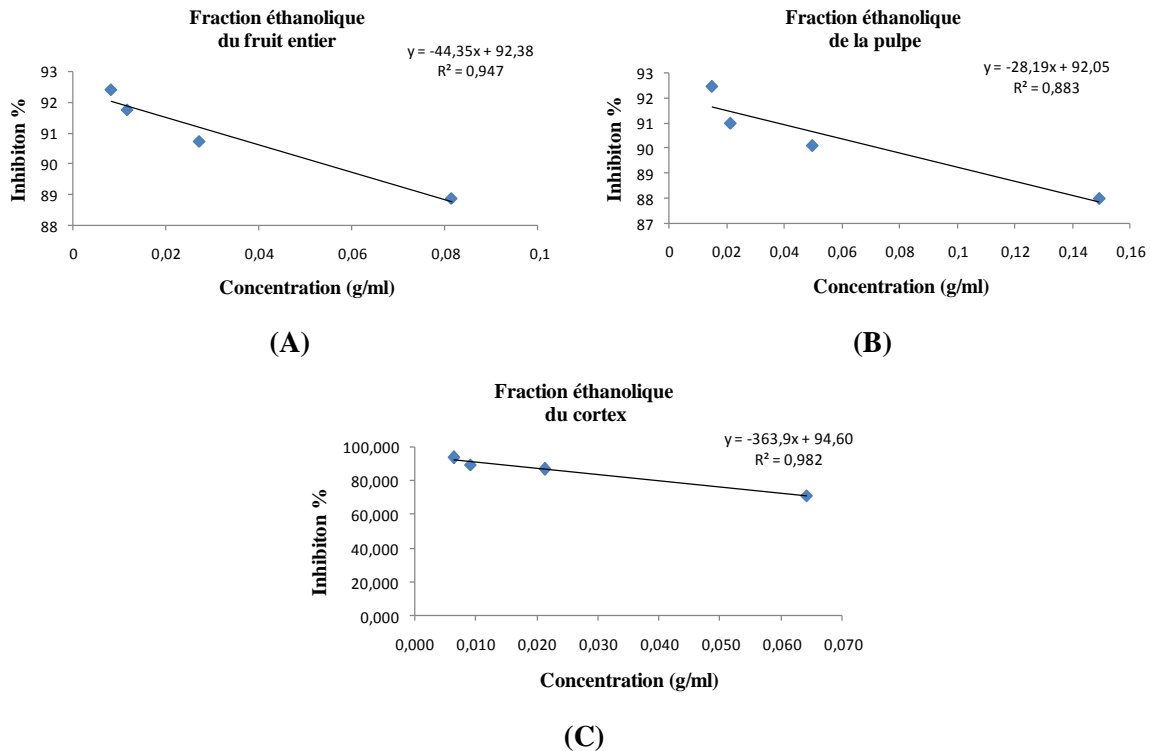


Figure III.11 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Skikda.

✓ **Région de BISKRA**

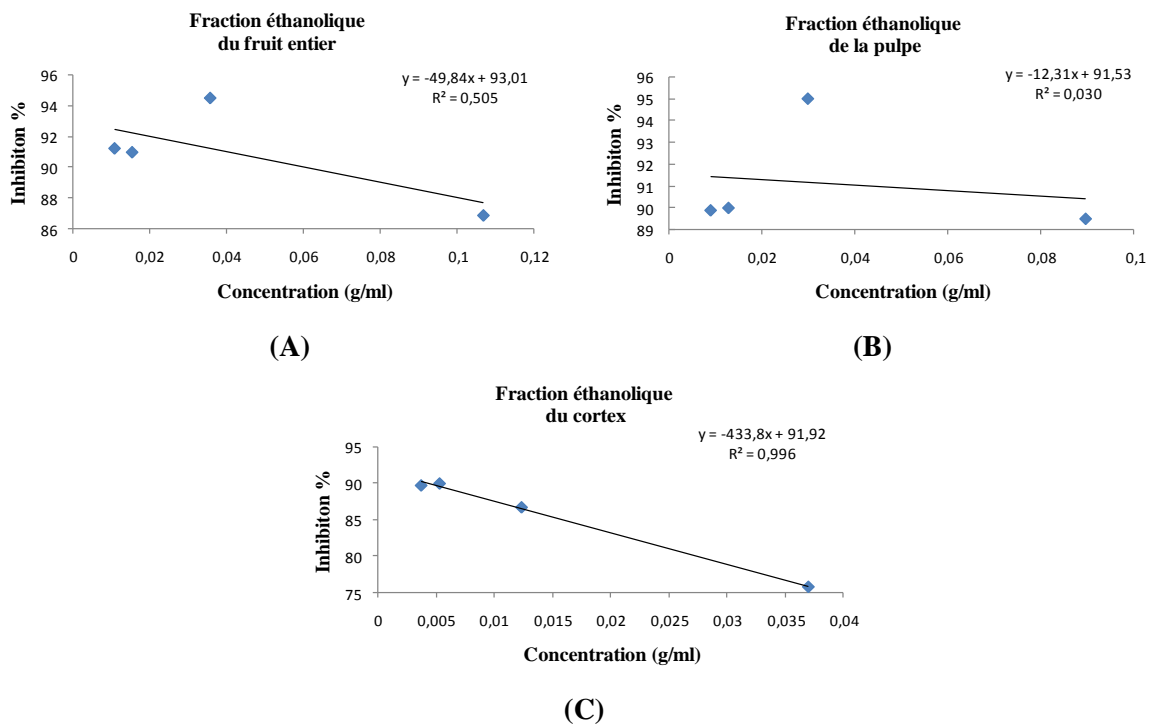


Figure III.12 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Biskra.

✓ Région d'EL-OUED

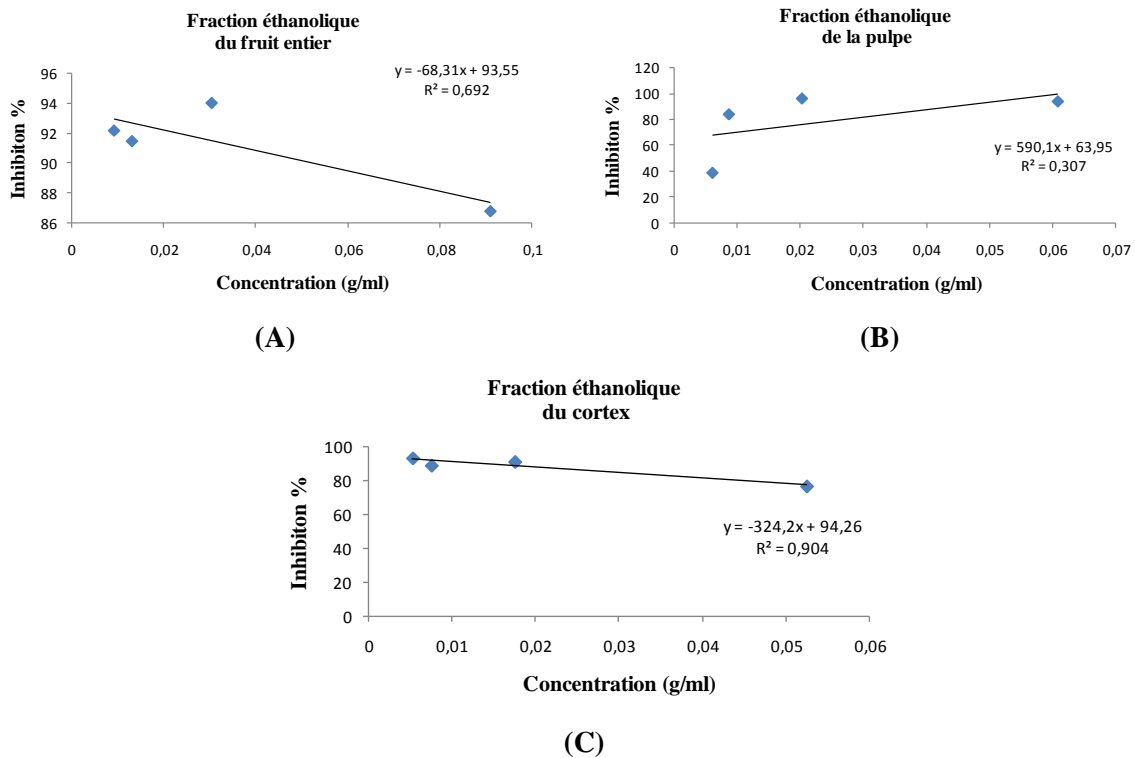


Figure III.13 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'EL-OUED.

✓ Région d'ANNABA

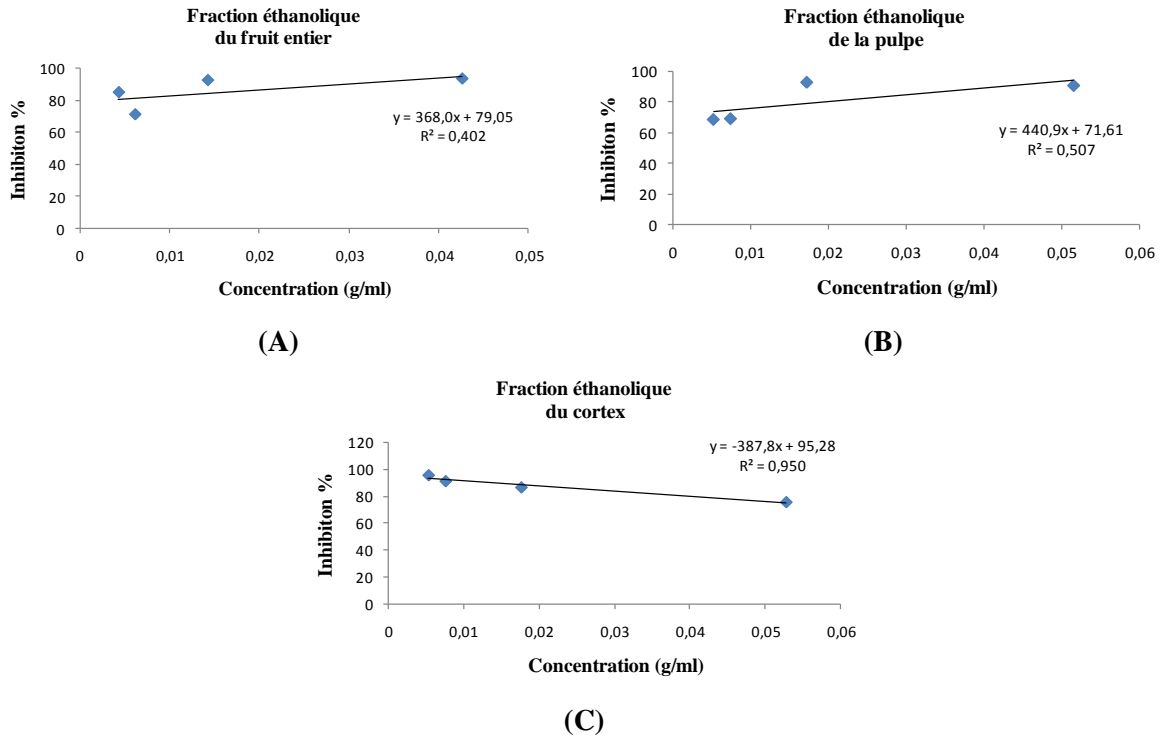


Figure III.14 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'ANNABA.

✓ Région de GHARDAÏA

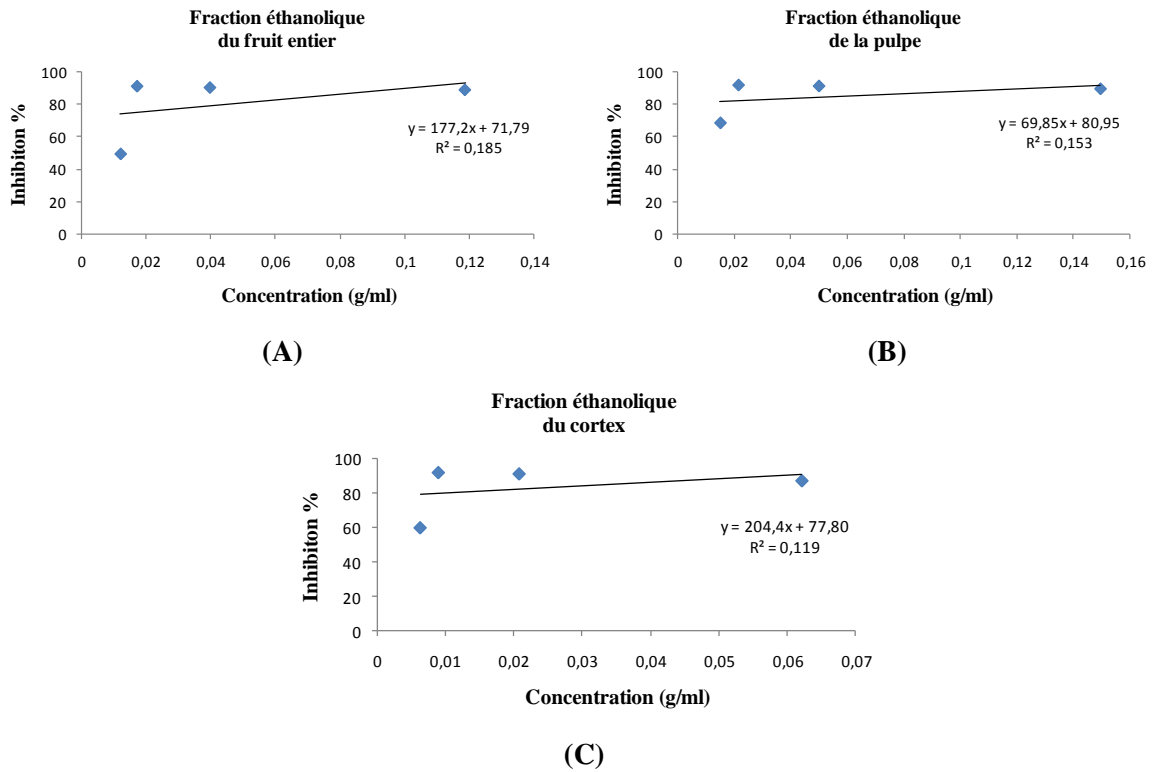


Figure III.15 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de GHARDAÏA.

✓ Région d'ALGER

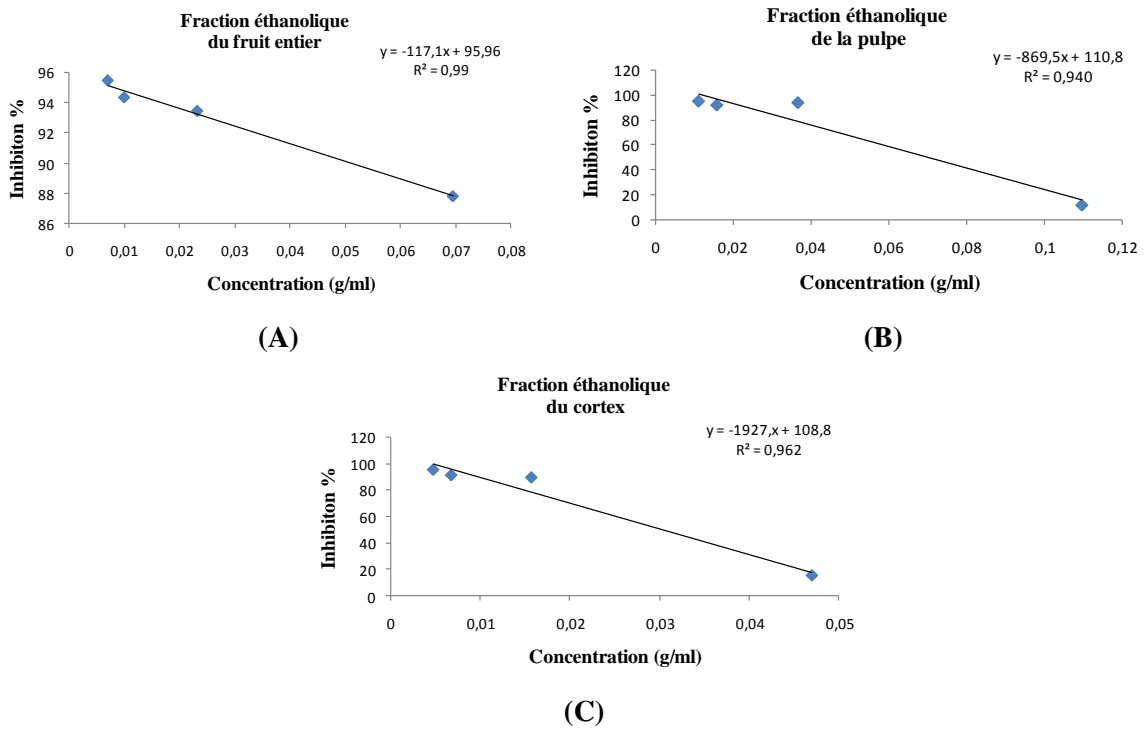


Figure III.16 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'ALGER.

✓ Région de JIJEL

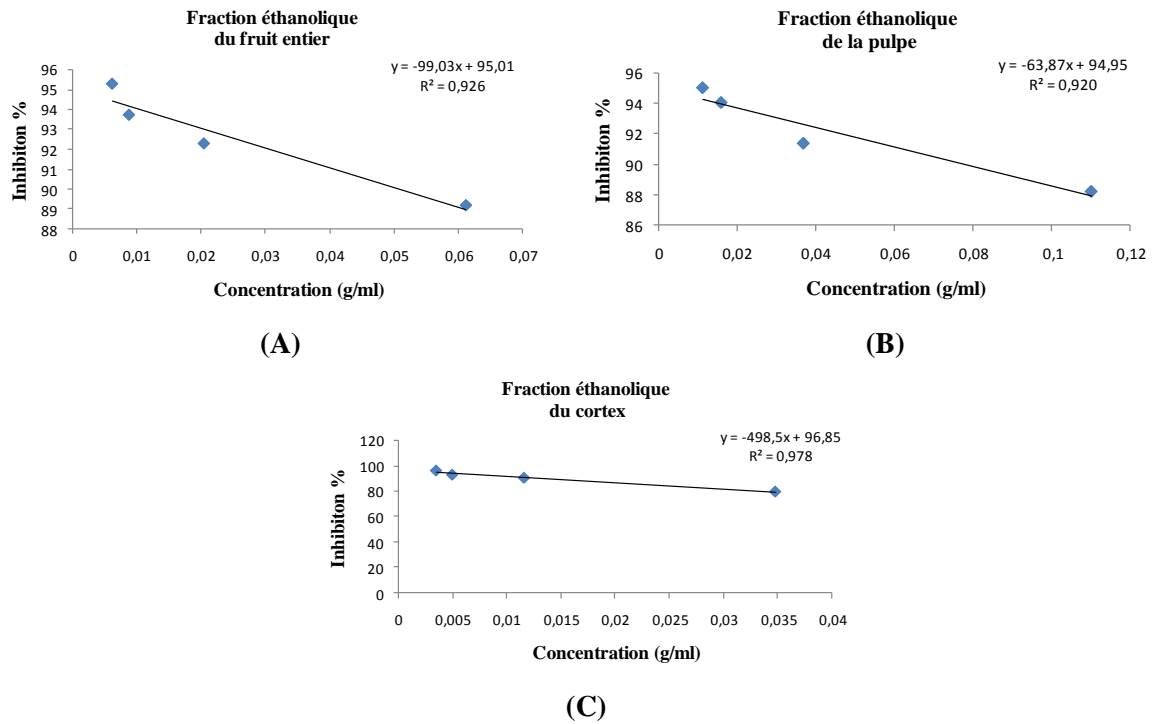


Figure III.17 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanologiques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de JIJEL.

✓ Région de GUELMA

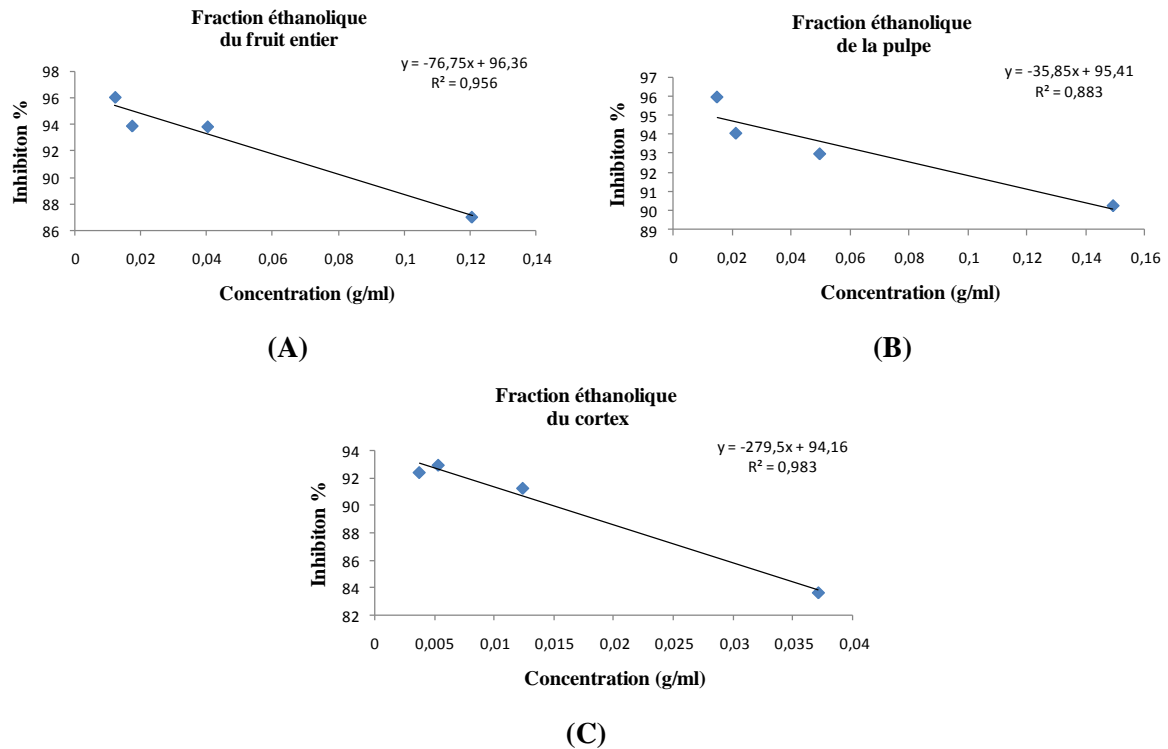


Figure III.18 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanologiques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de GUELMA.

✓ Région de BATNA

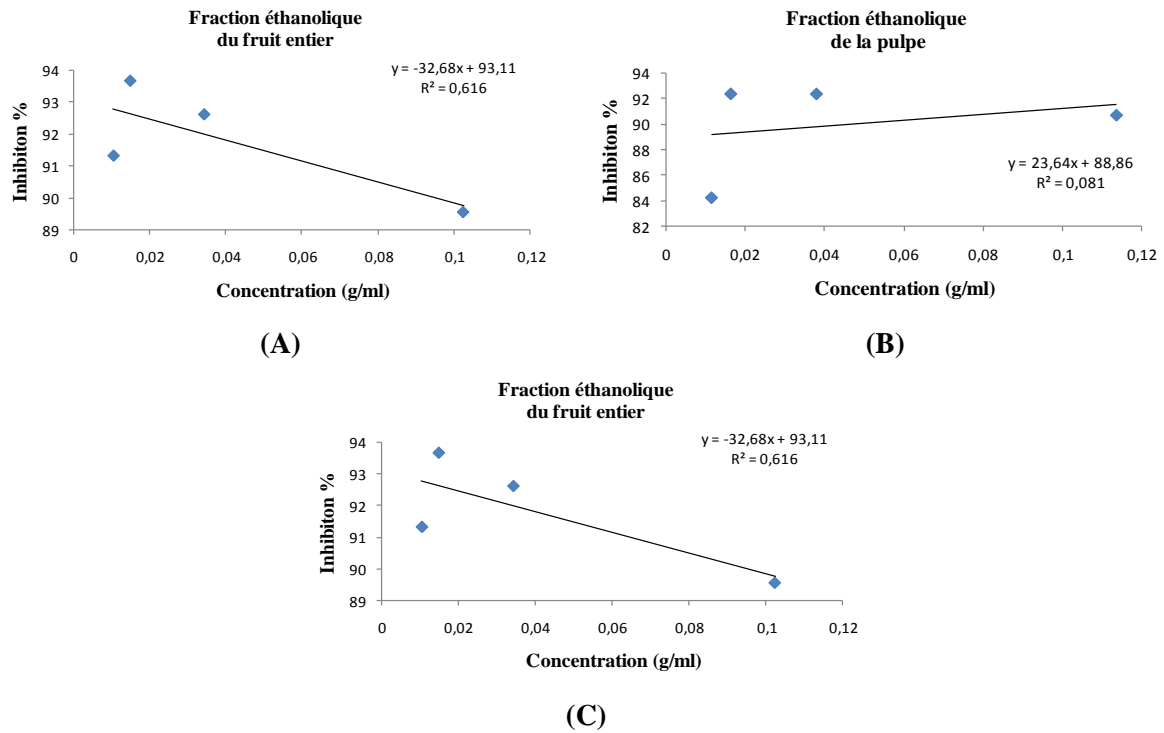


Figure III.19 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanologiques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de BATNA

✓ Région d'OUARGLA

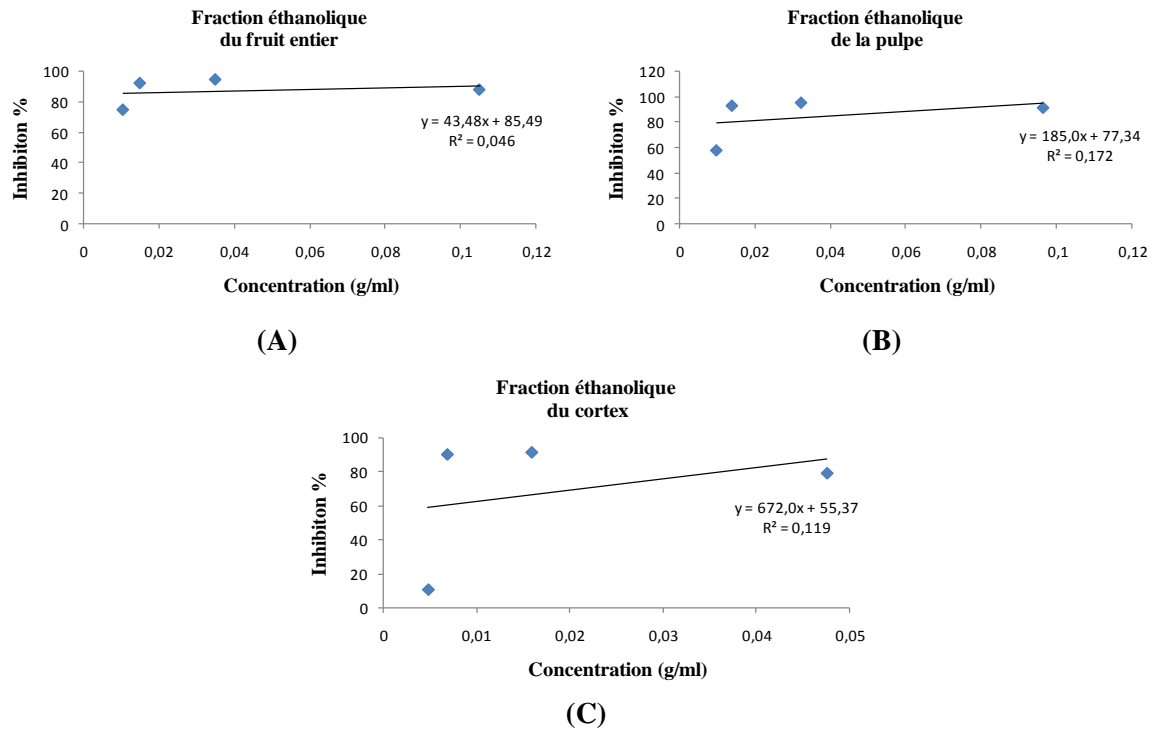


Figure III.20 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions éthanologiques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'OUARGLA.

B. Résultats

Les résultats obtenus à partir de ce test sont regroupés dans le **tableau III.7** ci-dessous. Les valeurs des EC₅₀ sont exprimées en (g/ml).

Tableau III.7 : *Activité antioxydante des différentes fractions éthanoliques des fruits entiers, des pulpes et des cortex vis-à-vis du radical DPPH*

N°	La région	Activité antioxydante (test DPPH) EC ₅₀		
		fruit entier	Pulpe	Cortex
1	SKIKDA	1,1492 ± 0,5794	1,8699 ± 0,2331	0,1662 ± 0,0386
2	BISKRA	0,6431 ± 0,2463	2,7448 ± 3,8321	0,1089 ± 0,0213
3	EL-OUED	0,5151 ± 0,1318	0,0015 ± 0,0026	0,1361 ± 0,0004
4	ANNABA	/	0,0041 ± 0,0041	0,1348 ± 0,0200
5	GHARDAÏA	0,6644 ± 1,1508	0,7947 ± 1,3765	0,5424 ± 0,0866
6	ALGER	0,7163 ± 0,2954	0,6691 ± 1,1033	0,1142 ± 0,0755
7	JIJEL	0,4334 ± 0,0783	0,6596 ± 0,0443	0,1444 ± 0,0438
8	GUELMA	0,9321 ± 0,3429	2,1536 ± 1,7247	0,1100 ± 0,0349
9	BATNA	0,6708 ± 0,2458	0,7683 ± 1,3307	0,3238 ± 0,2012
10	OUARGLA	0,6264 ± 0,1016	1,0083 ± 0,3933	0,1793 ± 0,0301

On remarque que presque toutes les fractions éthanoliques des échantillons étudiées possèdent une activité antioxydante et ils sont capables de piéger le radical DPPH. La valeur d'EC₅₀ est inversement liée à la capacité antioxydante d'un composé, comme elle exprime la quantité de l'antioxydant nécessaire pour diminuer 50% de la concentration du radical. Plus EC₅₀ est faible plus l'activité antioxydante d'un composé est élevée [219]. Comme le montre le **tableau III.7**, qui est représenté par la **figure III.21**, les valeurs de EC₅₀ sont extrêmement diverses, étant les fractions éthanoliques des fruits entiers des régions de Jijel (0,4334 ± 0,0783g/ml) et El-Oued (0,5151 ± 0,1318g/ml) étant les plus efficaces. Les extraits éthanoliques les moins efficaces sont celles de valeurs d'EC₅₀ plus élevées revenant aux régions de Guelma (0,9321 ± 0,3429g/ml) et Skikda (1,1492 ± 0,5794g/ml). Par contre la variété D'Annaba n'a présentée aucune activité antioxydante vis-à-vis du radical libre DPPH malgré qu'elle contient des polyphénols. Les fractions éthanoliques des pulpes des aubergines des régions de Biskra

($2,7448 \pm 3,8321$ g/ml), Guelma ($2,1536 \pm 1,7247$ g/ml) et Skikda ($1,8699 \pm 0,2331$ g/ml) ont montré des valeurs d' EC_{50} très élevés par rapport aux autres fractions éthanoliques. Ces dernières possèdent une activité antioxydante plus faible. Les valeurs les plus faibles d' EC_{50} reviennent aux régions d'Annaba ($0,0041 \pm 0,0041$ g/ml) et El-Oued ($0,0015 \pm 0,0026$ g/ml). Ils démontrent une activité antioxydante très élevée. Concernant les fractions éthanoliques des cortex, la fraction éthanolique de la région de Biskra ($0,1089 \pm 0,0213$ g/ml) a montrée une activité antioxydante relativement élevée par rapport aux autres fractions, cela s'explique par la valeur la plus faible d' EC_{50} suivi par les fractions éthanoliques des régions de Guelma ($0,1100 \pm 0,0349$ g/ml), Alger ($0,1142 \pm 0,0755$ g/ml), Annaba ($0,1348 \pm 0,0200$ g/ml), El-Oued ($0,1361 \pm 0,0004$ g/ml), Jijel ($0,1444 \pm 0,0438$ g/ml), Skikda ($0,1662 \pm 0,0386$ g/ml), Ouargla ($0,1793 \pm 0,0301$ g/ml), Batna ($0,3238 \pm 0,2012$ g/ml) et enfin Ghardaïa ($0,5424 \pm 0,0866$ g/ml).

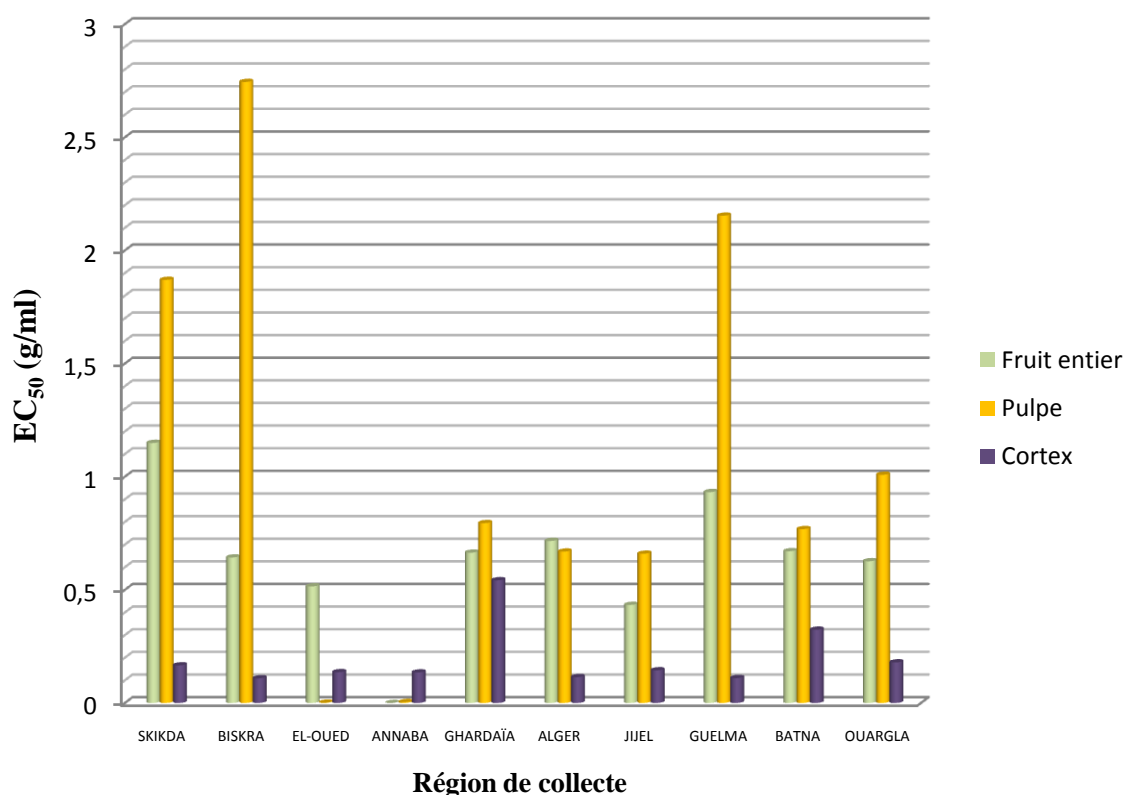


Figure III.21: *Activité antioxydante des différentes fractions éthanoliques des fruits entiers, des pulpes et des cortex vis-à-vis du radical DPPH.*

Il a été rapporté que les polyphénols sont des donateurs efficaces d'atome d'hydrogène au radical DPPH en raison de leurs structures chimiques idéales [225].

III.4.3.3.2. Fractions aqueuses

A. Droites d'étalonnage des échantillons

✓ Région de SKIKDA

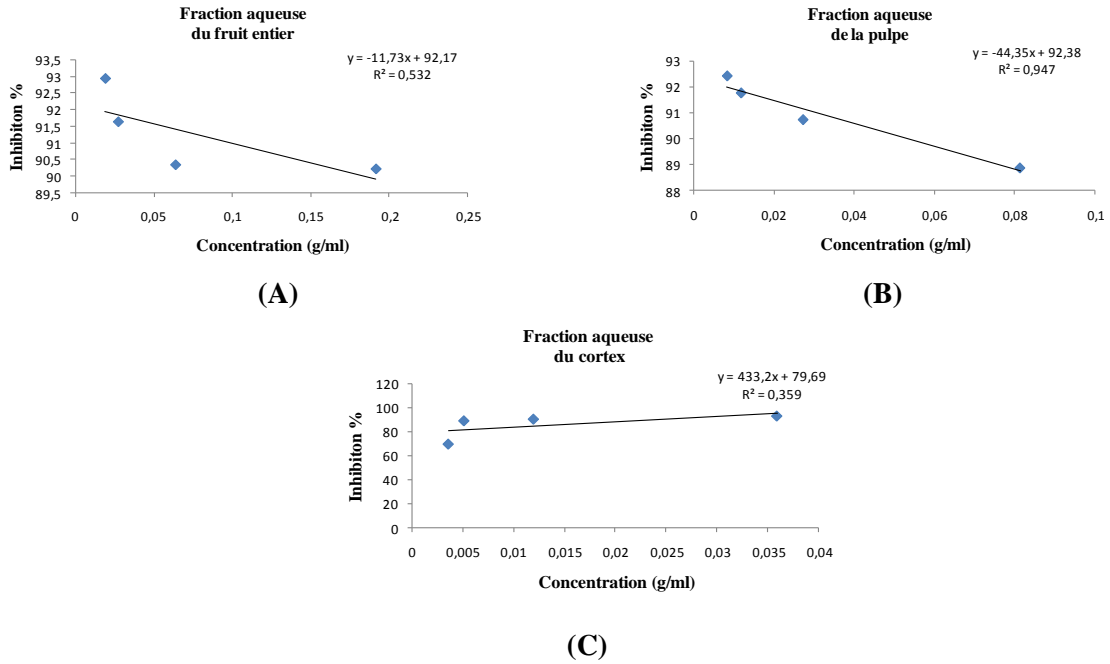


Figure III.22 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Skikda.

✓ Région de BISKRA

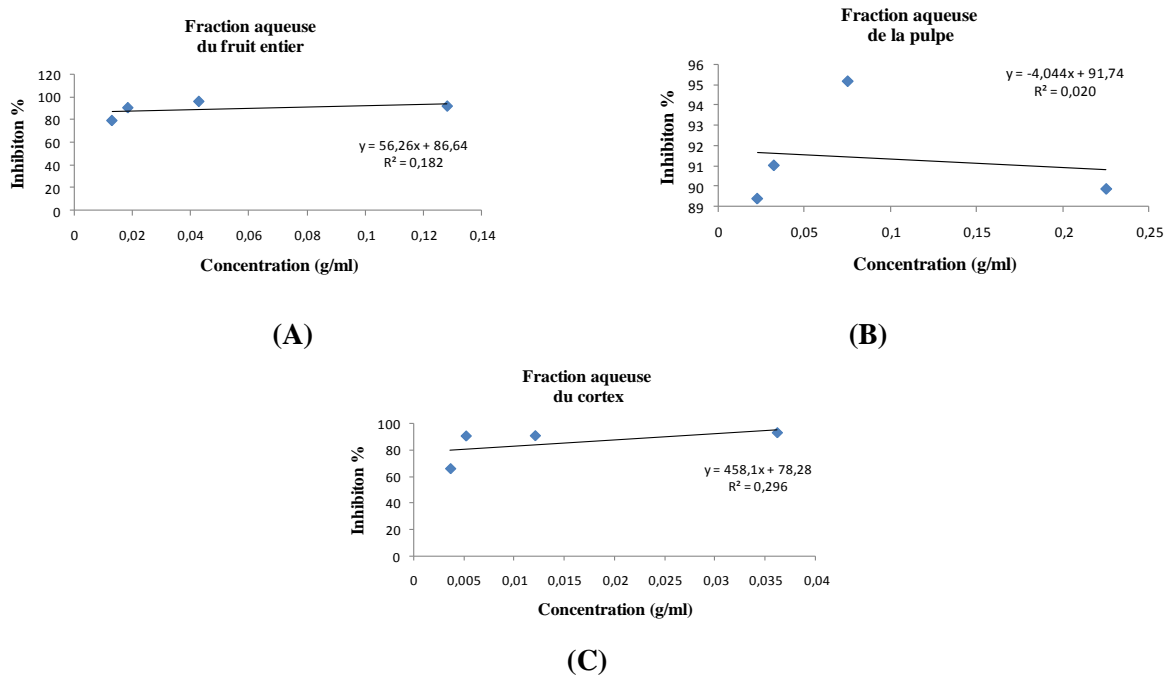


Figure III.23 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Biskra.

✓ Région d'EL-OUED

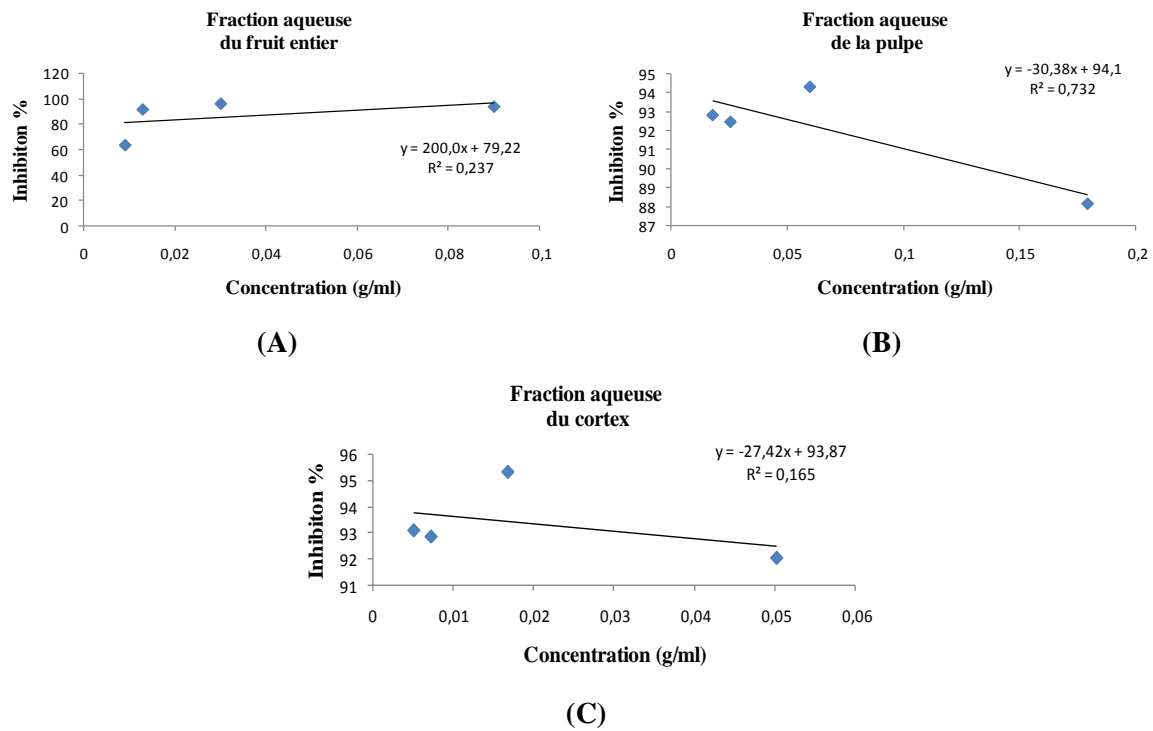


Figure III.24 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'El-OUED.

✓ Région d'ANNABA

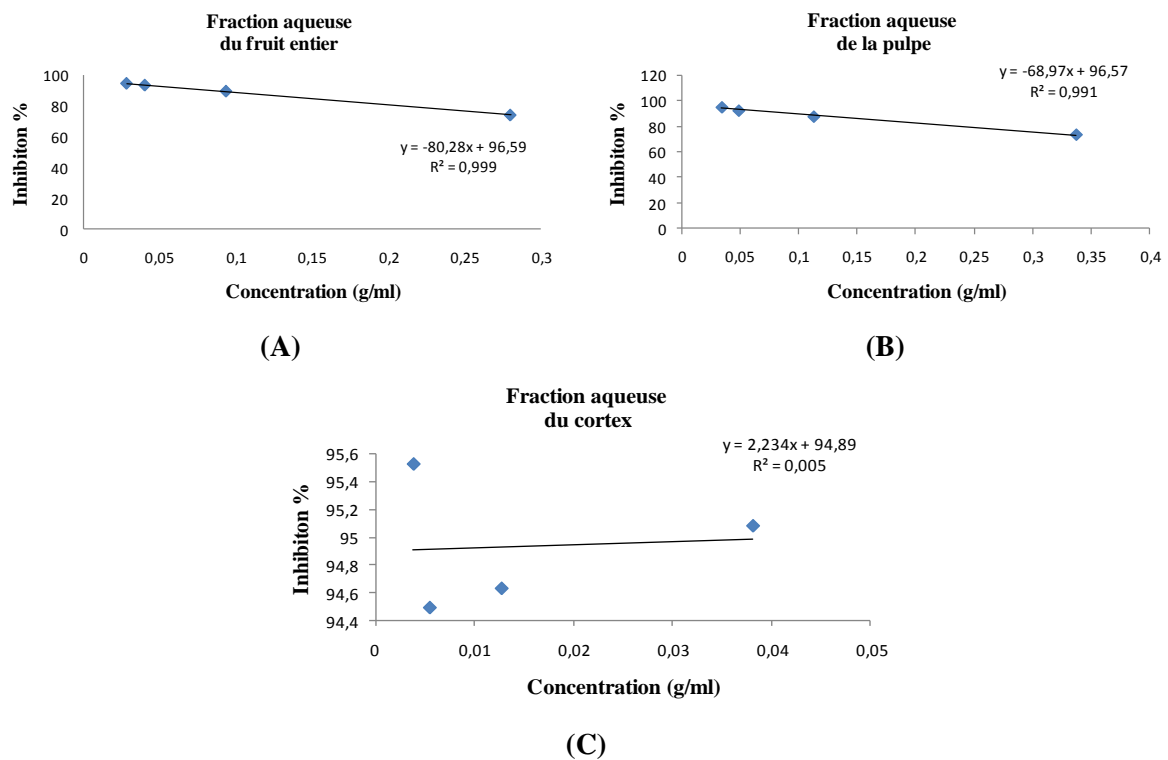


Figure III.25 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'ANNABA.

✓ Région de GHARDAÏA

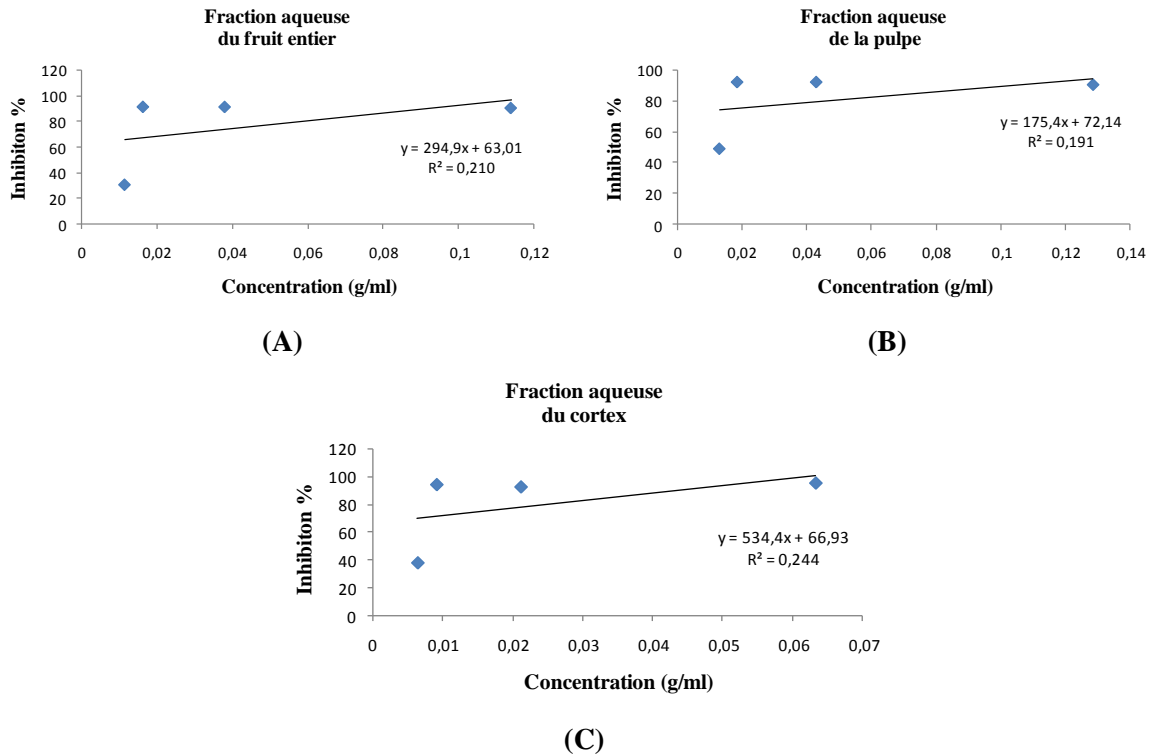


Figure III.26 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de GHARDAÏA.

✓ Région d'ALGER

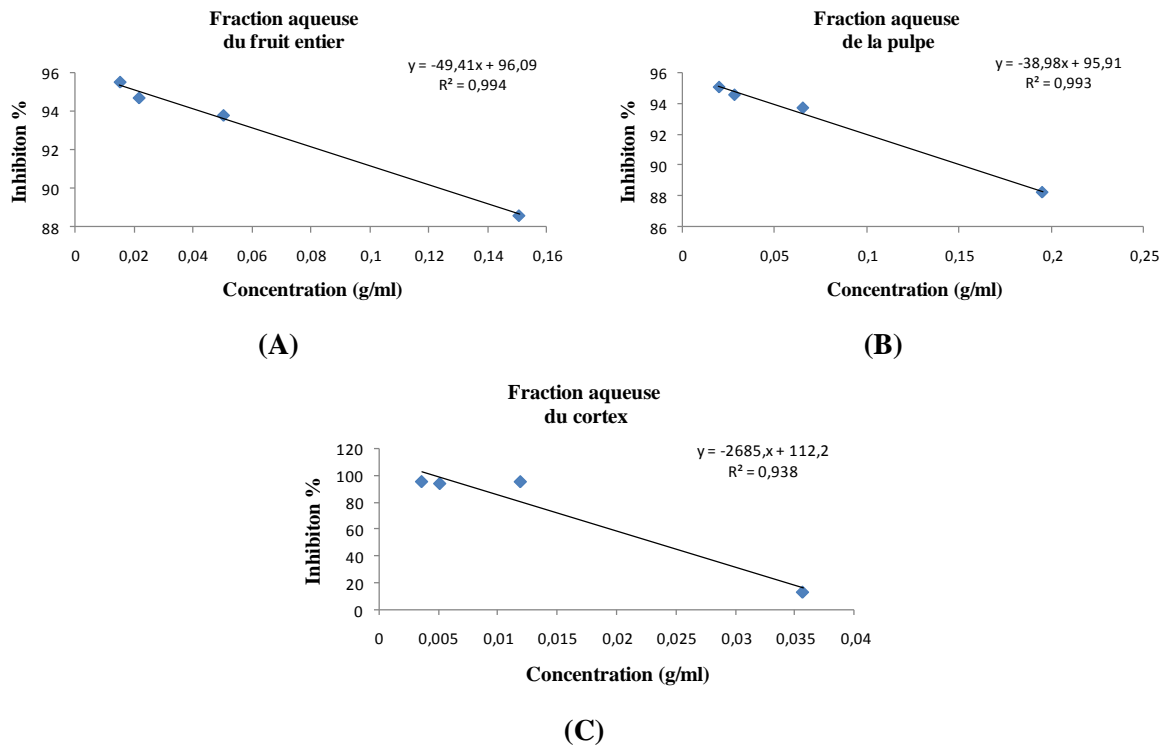


Figure III.27 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'ALGER.

✓ Région de JIJEL

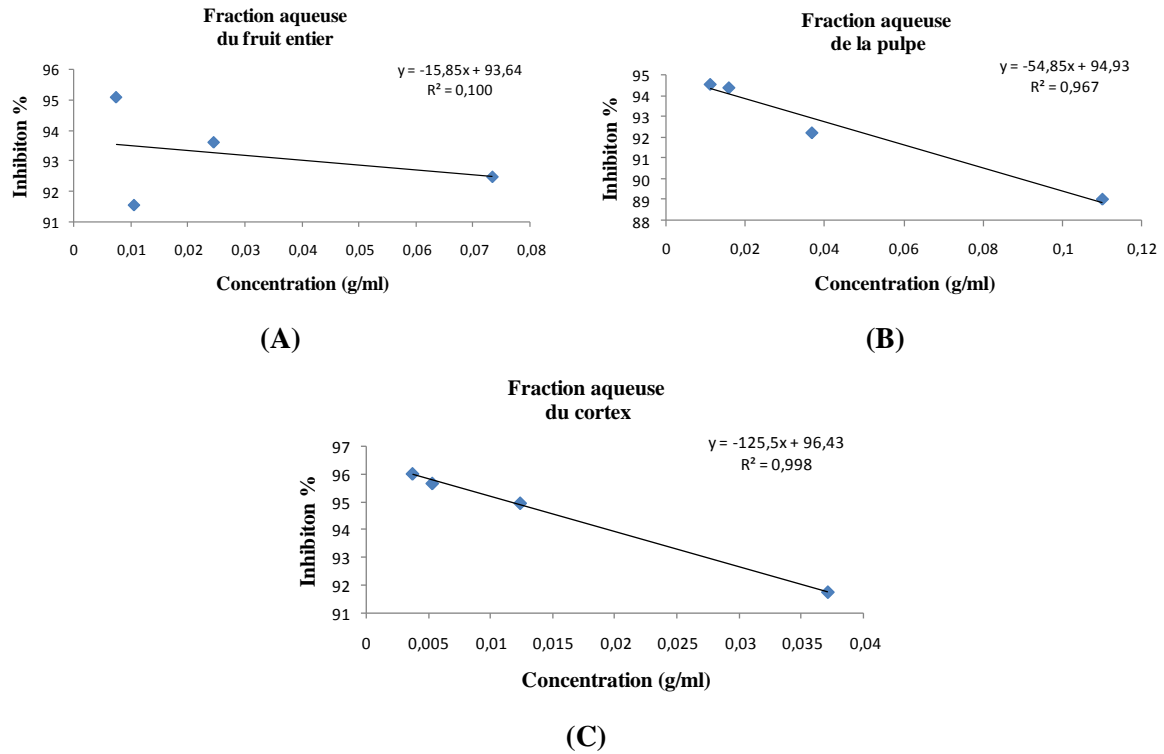


Figure III.28 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de JIJEL.

✓ Région de GUELMA

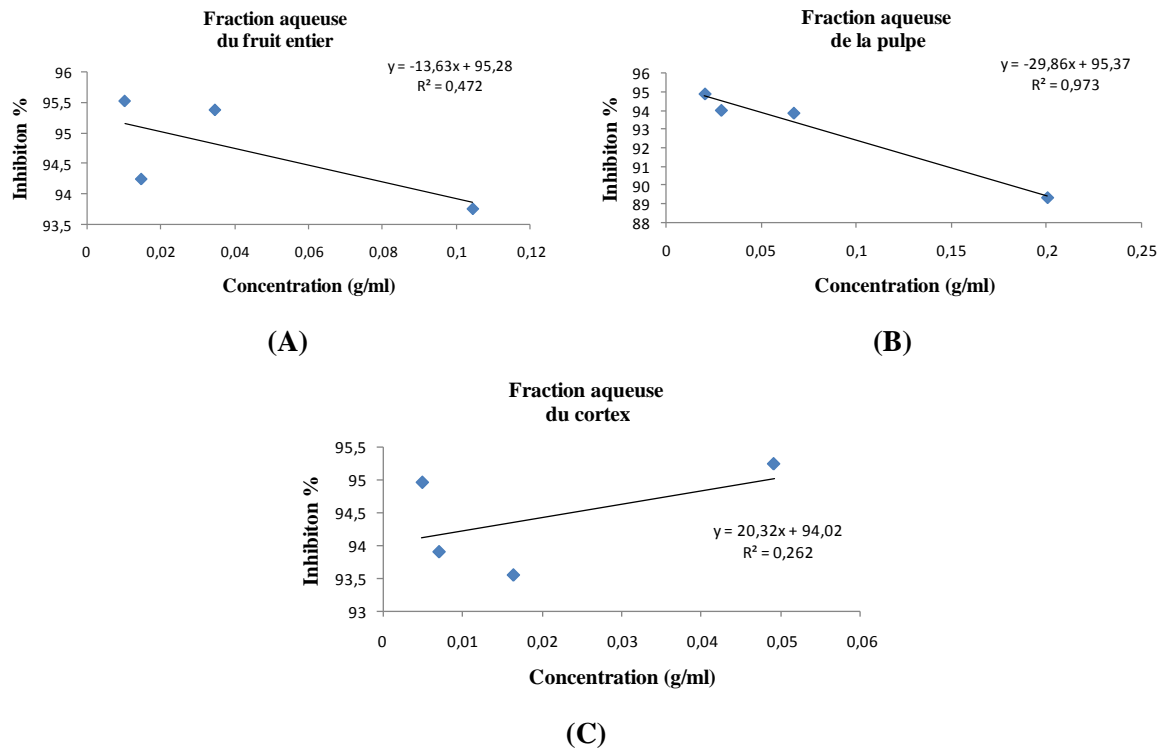


Figure III.29 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de GUELMA.

✓ Région de BATNA

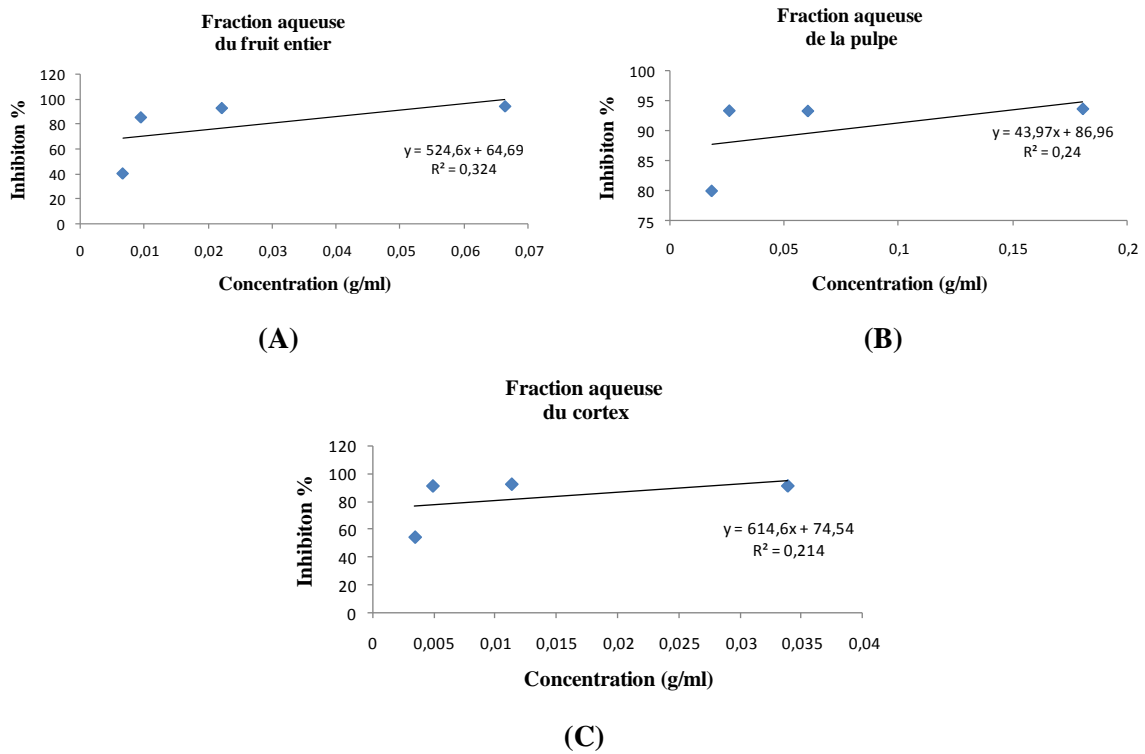


Figure III.30 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de BATNA

✓ Région d'OUARGLA

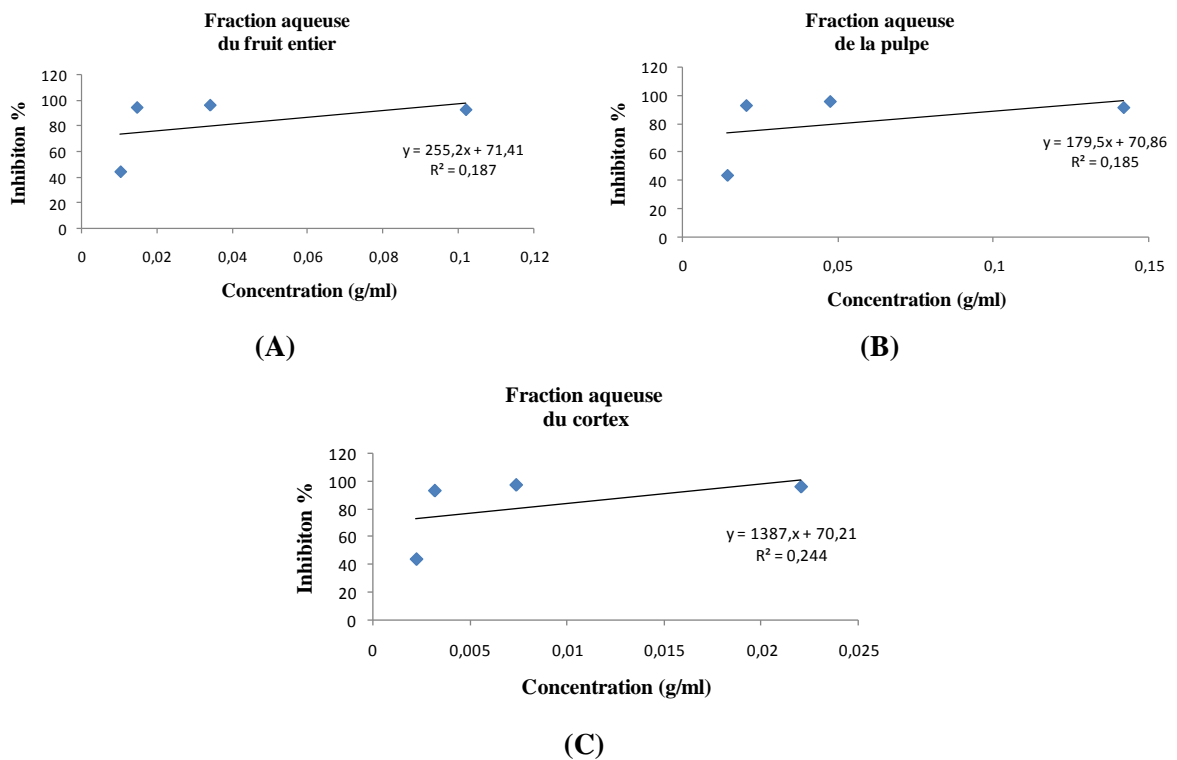


Figure III.31 : Variation du pouvoir d'inhibition en fonction de la concentration des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'OUARGLA.

B. Résultats

Les résultats obtenus à partir de ce test sont regroupés dans le **tableau III.8** ci-dessous. Les valeurs des EC₅₀ sont exprimées en (g/ml).

Tableau III.8 : *Activité antioxydante des différentes fractions aqueuses des fruits entiers, des pulpes et des cortex vis-à-vis du radical DPPH*

N°	La région	Activité antioxydante (test DPPH) EC ₅₀		
		fruit entier	Pulpe	Cortex
1	SKIKDA	2,9919 ± 4,1325	0,1749 ± 0,3029	/
2	BISKRA	0,6162 ± 0,5336	0,8705 ± 0,7542	0,0899 ± 0,1557
3	EL-OUED	0,6670 ± 0,5795	0,1308 ± 0,3322	0,9036 ± 0,9614
4	ANNABA	0,7572 ± 0,1635	0,9936 ± 0,2822	0,3096 ± 0,2682
5	GHARDAÏA	1,1452 ± 2,5031	0,8596 ± 1,4888	/
6	ALGER	0,8258 ± 0,7968	0,6060 ± 0,2578	0,0071 ± 0,0124
7	JIJEL	0,9137 ± 0,2931	0,8041 ± 0,0098	0,3714 ± 0,0120
8	GUELMA	0,7722 ± 1,3375	2,8695 ± 1,2404	0,1553 ± 0,2689
9	BATNA	/	/	/
10	OUARGLA	1,7681 ± 0,5051	1,6713 ± 0,4434	0,1526 ± 0,2638

La **figure III.32** représente les résultats mentionnés dans le **tableau III.8**. On remarque que les fractions aqueuses des fruits entiers des aubergines les plus actives sont celles des régions de Biskra (0,6162 ± 0,5336g/ml), El-Oued (0,6670 ± 0,5795g/ml), Guelma (0,7722 ± 1,3375g/ml) et Annaba (0,7572 ± 0,1635g/ml). Les fractions aqueuses des régions d’Ouargla (1,7681 ± 0,5051g/ml) et Skikda (2,9919 ± 4,1325g/ml) ont présentées les plus faibles activités antioxydantes. Par contre la variété D’Annaba n’a présentée aucune activité antioxydante vis-à-vis du radical DPPH.

Les fractions aqueuses des pulpes des aubergines des régions d’El-Oued (0,1308 ± 0,3322 g/ml) et Skikda (0,1749 ± 0,3029g/ml) ont montré des activités antioxydantes très importantes par rapport aux autres fractions éthanoliques, les activités les plus faibles

reviennent aux régions d'Ouargla ($1,6713 \pm 0,4434\text{g/ml}$) et Guelma ($2,8695 \pm 1,2404\text{g/ml}$). La fraction aqueuse de la région de Batna n'a montrée aucune activité antioxydante.

Concernant les fractions aqueuses des cortex, la région d'Alger ($0,0071 \pm 0,0124\text{g/ml}$) a montrée une activité antioxydante très élevée par rapport aux autres régions. La plus faible activité antioxydante revient à la région d'El-Oued ($0,9036 \pm 0,9614\text{g/ml}$). Les fractions aqueuses des cortex des régions de Skikda, Ghardaïa et Batna n'ont montrées aucune activité antioxydante vis-à-vis du radical libre DPPH.

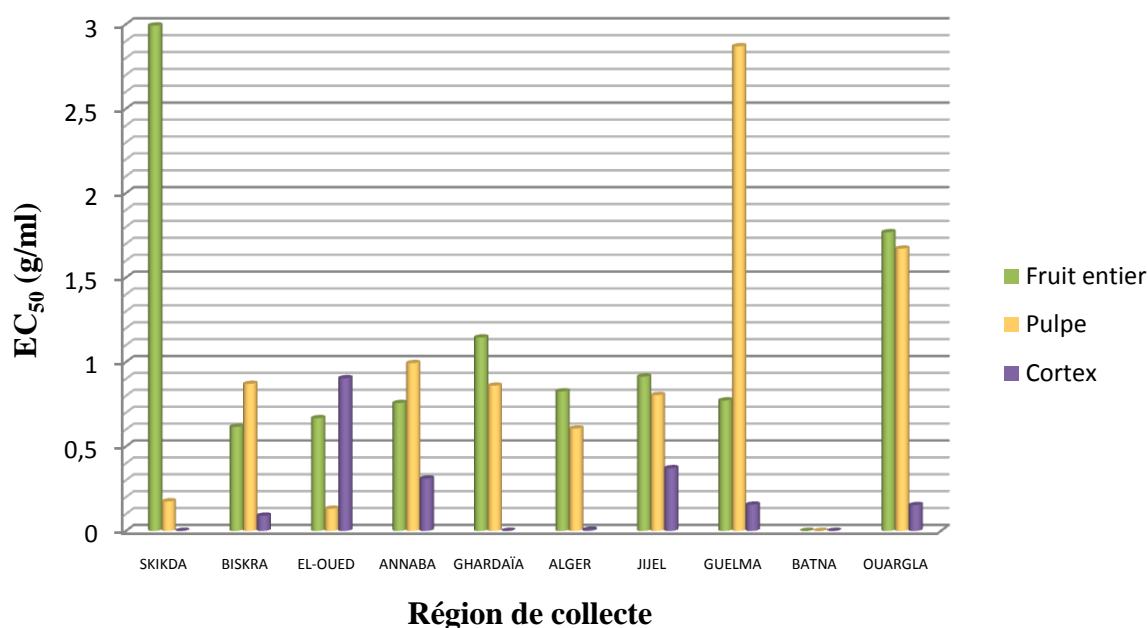


Figure III.32: *Activité antioxydante des différentes fractions aqueuses des fruits entiers, des pulpes et des cortex vis-à-vis du radical DPPH.*

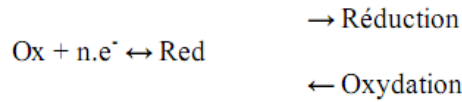
III.4.4. Mesure de l'activité antioxydante en utilisant la méthode électrochimique: Technique de la voltampérométrie cyclique

La mesure de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de *Solanum melongena* L. a été effectuée en utilisant la méthode électrochimique basée sur la technique de la voltampérométrie cyclique. Cette dernière a été utilisée avec succès pour la détection des composés phénoliques [226].

III.4.4.1. Interface de l'électrolyte solide

Dans tous processus électrochimiques, on relève plusieurs types de phénomènes associés à un transfert de charge électrique aux interfaces formées par la mise en contact d'électrodes

(conduction électronique) et d'un électrolyte (conduction ionique). Lors de ce transfert de charge, on assiste à une transformation chimique : l'oxydoréduction. Ces réactions d'oxydation et de réduction obéissent au schéma réactionnel suivant :



Comme illustré par la **figure III.33**. Le potentiel d'équilibre de la solution est défini par la loi de Nernst :

$$E_{eq} = E^0 + \frac{RT}{nF} \cdot \ln \frac{C_{Ox}^{sol}}{C_{Red}^{sol}} = E^0 + \frac{kT}{nq} \cdot \ln \frac{C_{Ox}^{sol}}{C_{Red}^{sol}}$$

Avec E^0 constante appelée potentiel standard apparent (thermodynamique) caractéristique du système considéré, F constante de Faraday ($9,65 \cdot 10^4 \text{ C/mol}$), n nombre d'électron, R constante des gaz parfaits ($8,31 \text{ J/K/mol}$), T température absolue, C_{Ox}^{sol} et C_{Red}^{sol} les concentrations des espèces **Ox** et **Red** en solution.

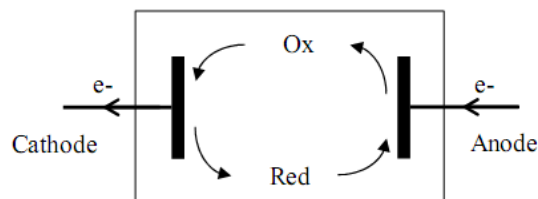


Figure III.33: Réaction d'oxydoréduction et transport du courant dans une chaîne électrochimique.

Le potentiel d'équilibre n'est mesurable que lorsque le courant I dans la solution est nul. Dès lors qu'il existe un courant dans la solution, le potentiel $E \neq E_{eq}$ et le système Ox/Red devient complet [227].

III.4.4.2. Instruments utilisés pour une manipulation d'électrochimie

✓ potentiostat

Un Potentiostat est un appareil dont le rôle est d'imposer une différence de potentiel constante entre l'électrode de travail (ET) et l'électrode de référence (ER) tout en fournissant la puissance nécessaire à la cellule. Il mesure le courant traversant l'électrode auxiliaire (EA) et l'électrode de travail [228].

✓ **Cellule électrochimique type**

Une cellule électrochimique est composée de plusieurs types d'électrodes selon le type de montage utilisé. On utilise une cellule type d'un système à trois électrodes immergées dans la solution à analyser [228].

✓ **Types d'électrodes**

On distingue, plusieurs types d'électrodes en fonction de l'application envisagée ; on utilise dans cette étude trois types d'électrodes [227] :

- *une électrode de travail sur laquelle on examine les différents processus électrochimiques à explorer.*
- *une électrode de référence dont le potentiel est constant et connu, ce qui permet ainsi de contrôler le potentiel à l'électrode de travail.*
- *une électrode auxiliaire appelée aussi contre-électrode qui permet de mesurer le courant circulant dans la cellule électrochimique.*

✓ **Electrolyte**

En général, on utilise des solutions contenant outre les espèces électroactives, un sel d'électrolyte support totalement dissocié permettant de saturer la solution. Dans ces conditions le tracé d'un voltampérogramme est de quelques millisecondes à quelques minutes. Afin d'éliminer, quand il est nécessaire, l'oxygène dissous, le mode opératoire généralement utilisé est de faire barboter un gaz inerte pendant quelques minutes [227].

La **figure III.34** montre le schéma de base d'un montage expérimentale couramment utilisé dans toutes expériences électrochimiques.

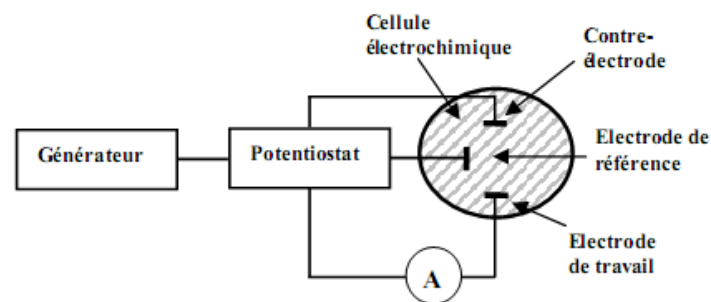


Figure III.34: Schéma du dispositif expérimental pour les mesures à potentiel contrôlé.

III.4.4.3. Allure d'un voltampérogramme cyclique

Récemment, Beaucoup de chercheurs ont adapté cette nouvelle technique pour la mesure de l'activité antioxydante des produits naturels et pour d'autres études [229-234]. La voltampérométrie cyclique (CV) est une des méthodes électrochimiques les plus efficaces pour caractériser les réactions de transfert de charges. Elle consiste à effectuer un balayage aller-retour complet du potentiel appliqué. Dans le cas qui nous intéresse, la caractéristique de $I(E)$ aller est différente de la caractéristique retour car entre l'aller et le retour, la couche de diffusion a été modifiée dans sa composition [227]. L'allure du voltampérogramme cyclique est donnée par la **figure III.35**.

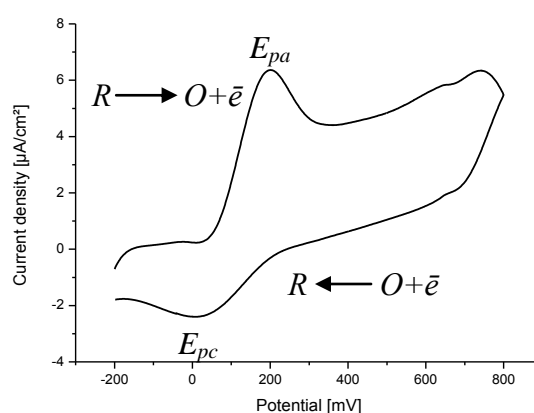


Figure III. 35 : Allure du voltampérogramme cyclique d'un couple rédox.

D'où E_{pa} et E_{pc} sont les potentiels d'oxydations et de réductions.

III.4.4.4. Etude électrochimique du comportement de l'électrolyte

Avant de commencer notre étude électrochimique, on commence par l'étude du comportement de la solution électrolytique pour être sur que cette solution transporte uniquement le courant et n'exerce aucun effet sur les solutions des échantillons (**figure III.36**) La solution électrolytique est constituée du mélange de dedihydrogénophosphate de potassium et du hydrogénophosphate de dipotassium (solution tampon), de concentration de $0,2 \text{ mol.l}^{-1}$ et à $\text{pH}=7,2$.

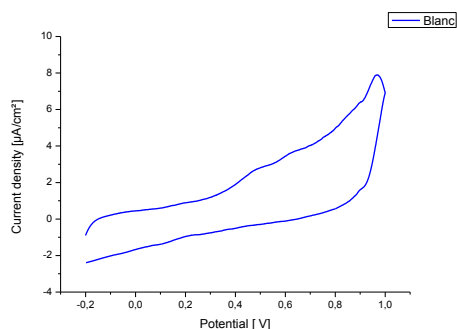


Figure III.36: Comportement de l'électrolyte (KH_2PO_4 / K_2HPO_4).

III.4.4.5. Etude électrochimique du comportement de l'acide ascorbique

Les mesures électrochimiques sont réalisées dans une cellule en verre contenant trois électrodes : l'électrode de travail, contre-électrode en platine et l'électrode de référence saturée avec KCl. Avant chaque mesure, les solutions sont désaérées par barbotage d'azote pendant quelques minutes. L'électrode de travail est nettoyée après chaque mesure électrochimique en frottant sa surface sur un papier d'oxyde d'aluminium et ensuite rincer par l'eau distillée et enfin l'acétone.

L'étude **électrochimique du comportement** du standard utilisé qui est l'**acide ascorbique** est effectuée dans l'intervalle de concentration allant de **0.1mM** à **1.1 mM**, Le potentiel E : **-200 jusqu'à 800 mV** et la vitesse de balayage est constante : **100 mV/s**. On obtient le voltampéromégramme représenté dans la **figure III.37** pour la concentration 1,1mM de l'acide ascorbique.

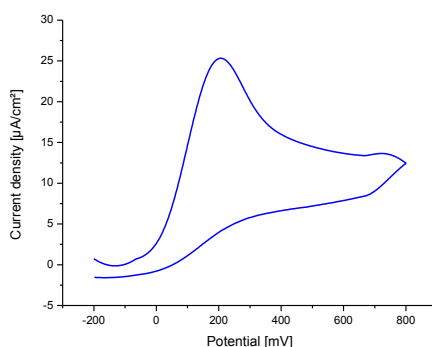


Figure III.37 : Voltampéromégramme cyclique de l'acide ascorbique pour la concentration 1,1Mm.

La **figure III.37** montre que l'acide ascorbique a un seul pic anodique et qu'il n'a pas de pic cathodique, donc l'oxydation de l'acide ascorbique dans ces conditions est une réaction non

réversible. La **figure III.38** montre que pour une graduation croissante et de façon régulière pour la concentration de l'acide ascorbique (à partir de 0,1 mM jusqu'à 1,1 mM) dans la cellule, on obtient des voltampérogrammes cycliques avec des surfaces et des densités de courants croissantes régulièrement aussi.

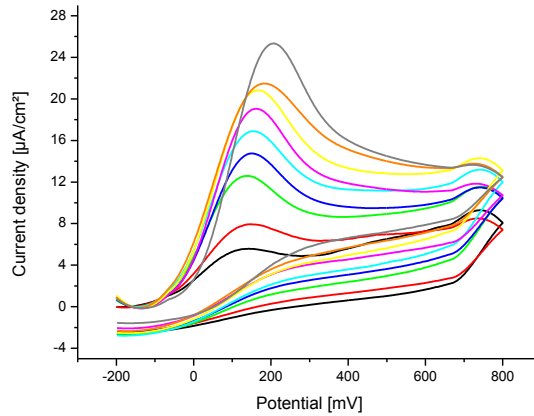


Figure III.38: Voltampérogrammes cycliques pour les différentes concentrations de l'acide ascorbique.

III.4.4.6. Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique

Après avoir représenté les différents voltampérogrammes cycliques pour un gradient de concentrations différentes, on peut représenter la courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique (**figure III.39**) en prenant la densité du courant anodique en $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ en fonction de la concentration **g/l** (**tableau III.9**).

Tableau III.9 : Valeurs des densités du courant en fonction de la concentration d'acide ascorbique.

C (g/l)	I ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
0,017613	3,023
0,035226	5,875
0,052839	8,407
0,07045	10,56
0,08806	13,2
0,105678	15,33
0,12329	17,48
0,1409	19,91
0,158517	21,69
0,17613	22,04
0,19374	26,32

D'après la courbe d'étalonnage, la valeur du coefficient de corrélation $R^2 = 0,997$ qui est une valeur très exacte, ce qui traduit l'exactitude de cette technique à travers les résultats obtenues.

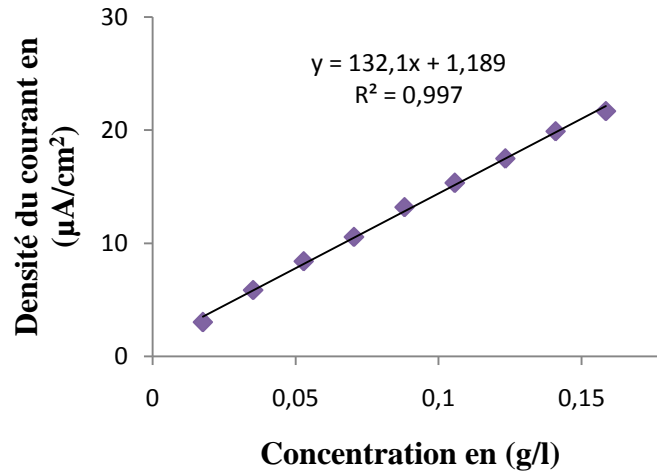


Figure III.39 : Droite d'étalonnage de l'acide ascorbique.

III.4.4.7. Evaluation de l'activité antioxydante totale (AAT)

L'équation obtenue d'après la courbe linéaire de l'acide ascorbique est : $y = 132,1x + 1,189$, d'où y représente la valeur de la **densité anodique du courant** et x représente la valeur de la **concentration standard** en $g.l^{-1}$.

En remplaçant à chaque fois la valeur de la densité du courant dans l'équation précédente, on trouve la valeur de la concentration équivalente en **acide ascorbique** $C_{eq}(g/l)$. Pour calculer la concentration de chaque extrait sec $C_1(g/ml)$ obtenue après séchage par le rotavapeur, on divise donc sa masse par le volume d'éthanol dans lequel on l'a dissout :

$$C_1 \left(\frac{g}{ml} \right) = \frac{m_{extrait}}{V_{extrait}}$$

Pour un volume de l'extrait V_{inj} injecté dans la cellule électrochimique, donc la masse ($m_{extrait}'$) correspondante est :

$$m'_{extrait} = V_{inj} * C_1$$

Volume total dans la cellule (ml) :

$$V_T = V_{\text{électrolyte}} + V_{\text{inj}}$$

Donc la concentration de l'extrait (C_1') dans la cellule :

$$C_1' \left(\frac{g}{ml} \right) = \frac{m'_{\text{extrait}}}{V_T}$$

D'où l'activité antioxydante totale (**AAT**) est calculée à partir de la relation

$$AAT \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{C_{\text{éq}} \left(\frac{g}{l} \right)}{C_1' \left(\frac{g}{ml} \right)} \dots \dots \dots (*)$$

III.4.4.8. Voltampérogrammes cycliques des échantillons

De la même façon et sous les mêmes conditions précédentes appliquées sur l'acide ascorbique, on traite les différentes fractions de tous les échantillons des aubergines. On obtient les voltampérogrammes cycliques ci-dessous selon les variétés étudiées.

III.4.4.8.1. Fractions éthanoliques

✓ Région de SKIKDA

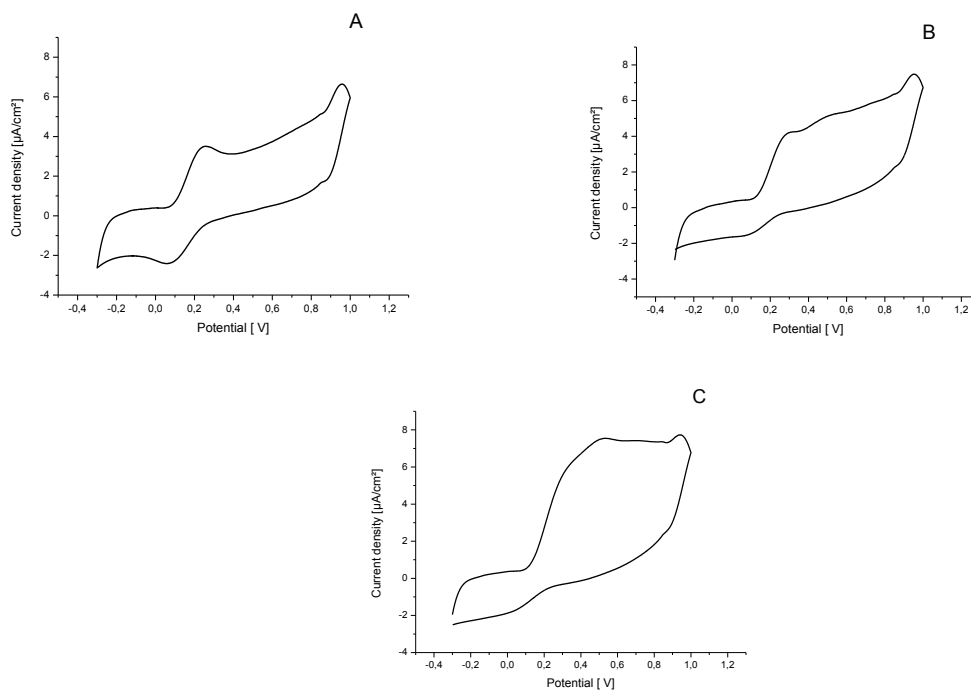


Figure III.40 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Skikda.

✓ Région de BISKRA

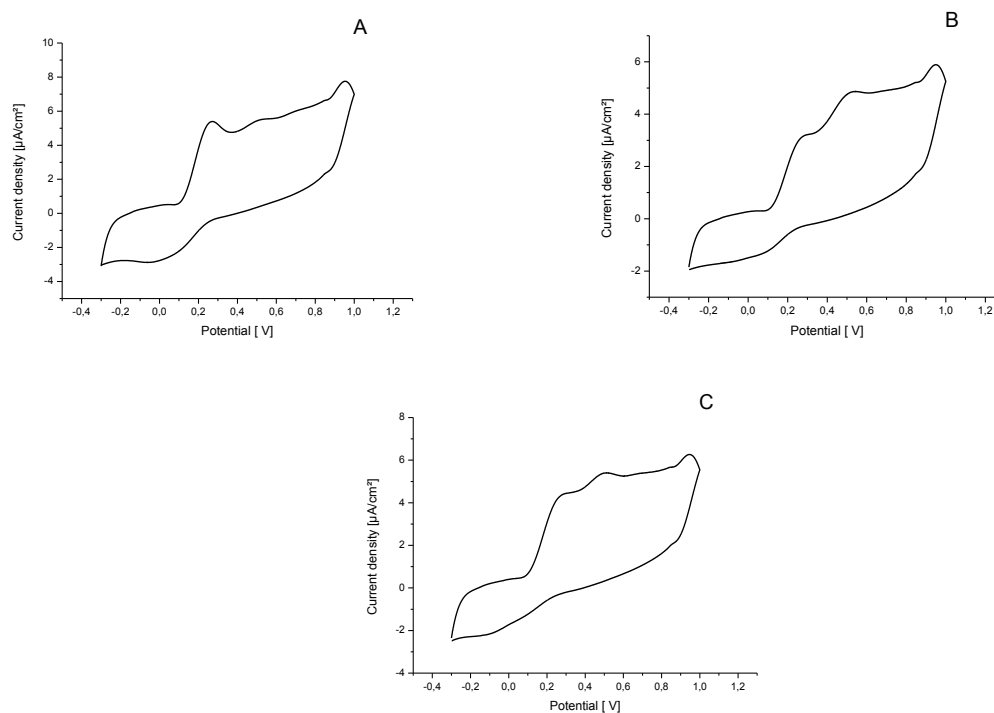


Figure III.41 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Biskra.

✓ Région d'EL-OUED

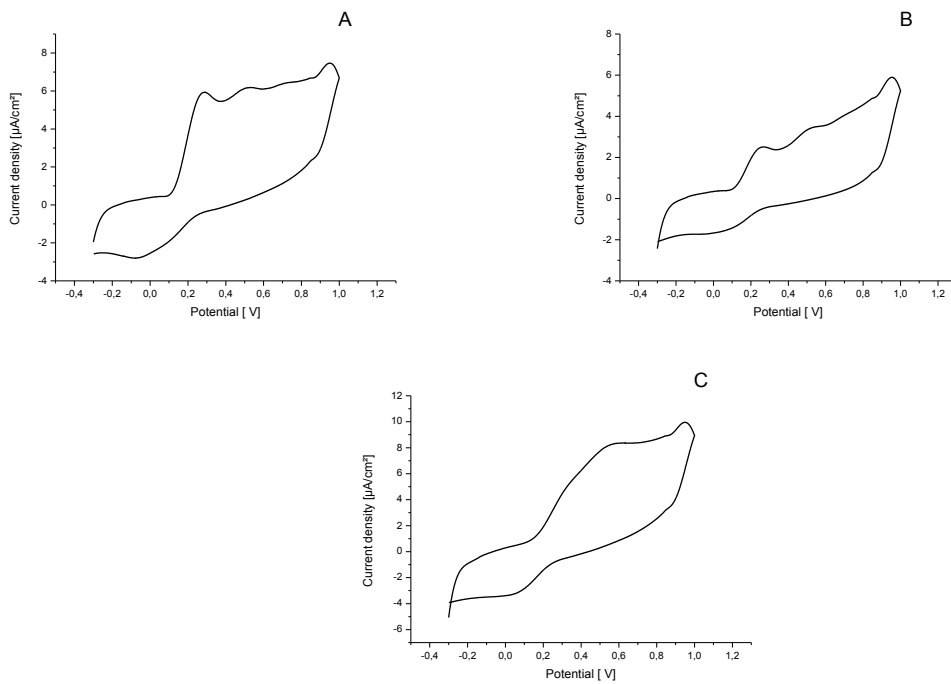


Figure III.42 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'El-Oued.

✓ Région d'ANNABA

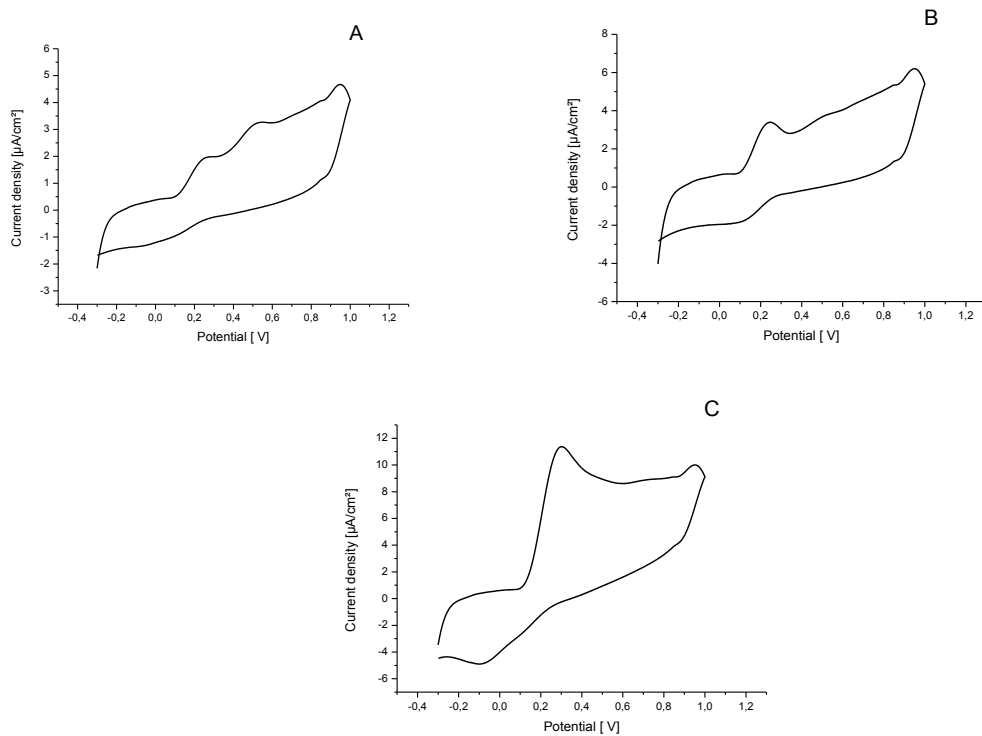


Figure III.43 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Annaba.

✓ Région de GHARDAÏA

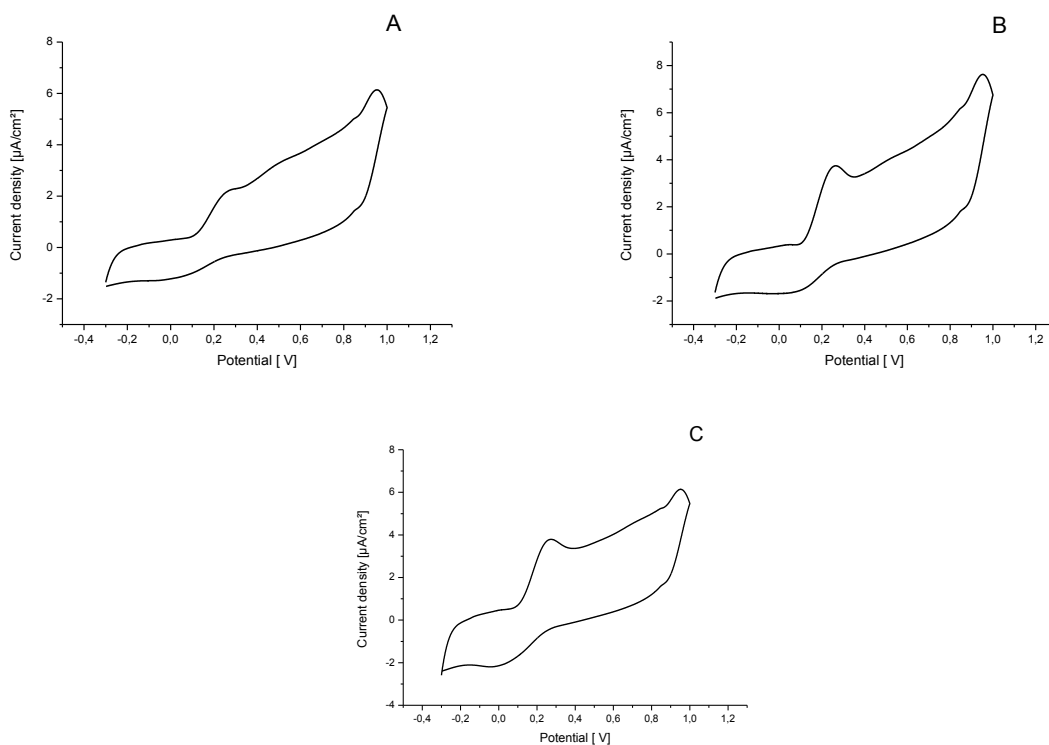


Figure III.44 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Ghardaïa.

✓ Région d'ALGER

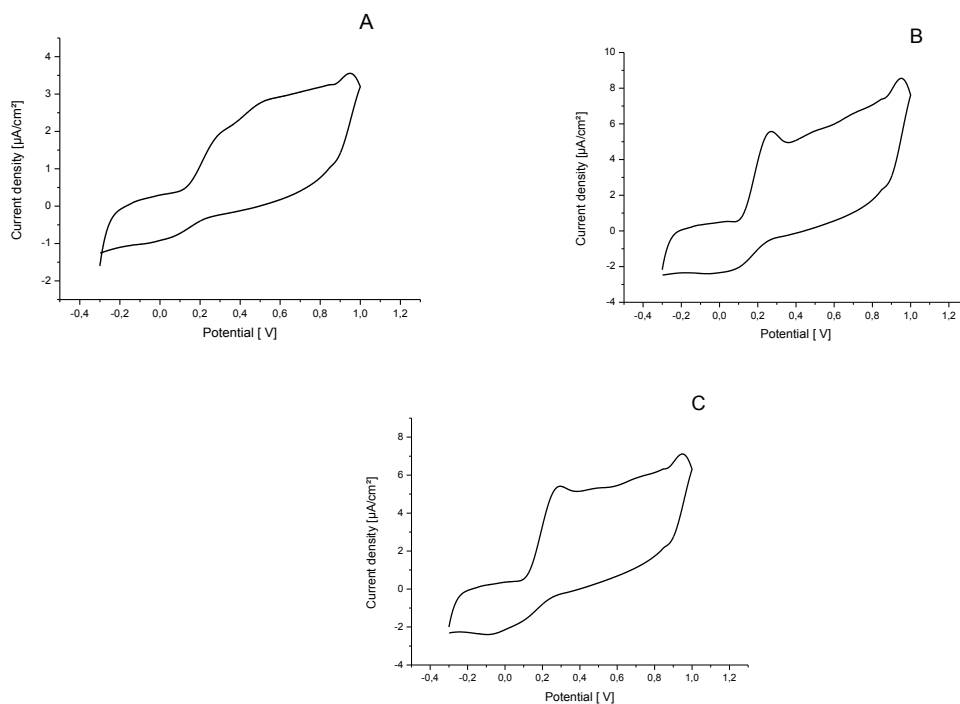


Figure III.45 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Alger.

✓ Région de JIJEL

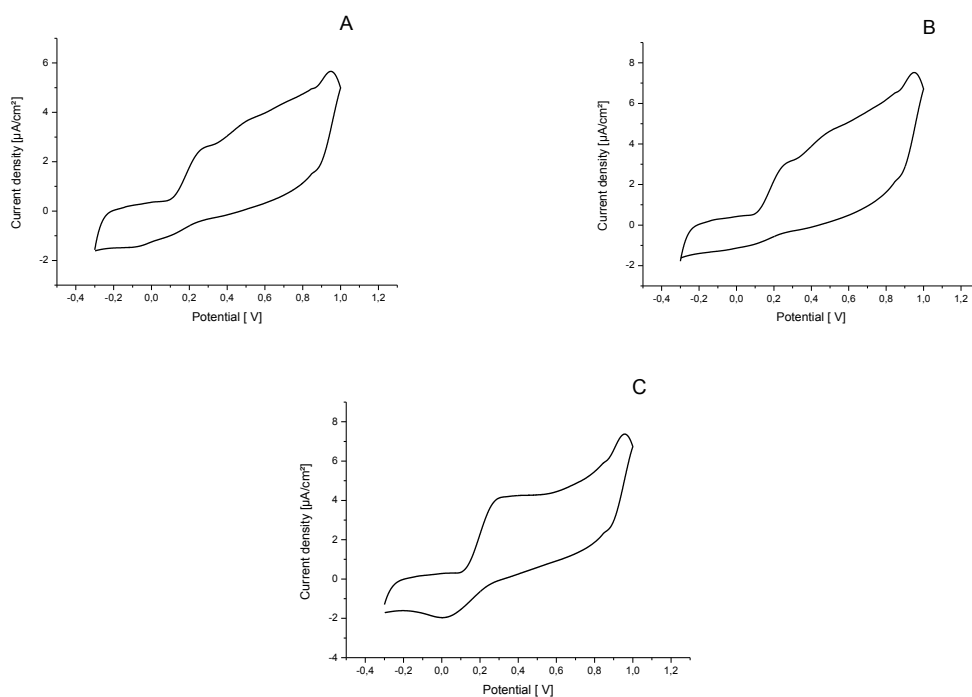


Figure III.46 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Jijel.

✓ Région de GUELMA

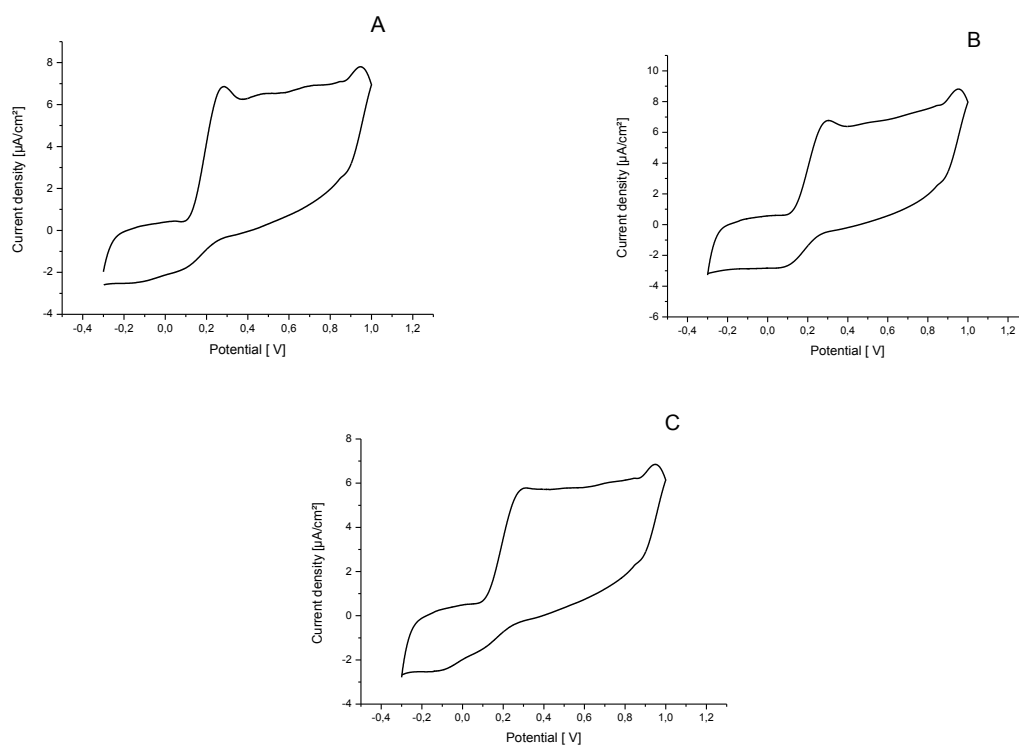


Figure III.47 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Guelma.

✓ Région de BATNA

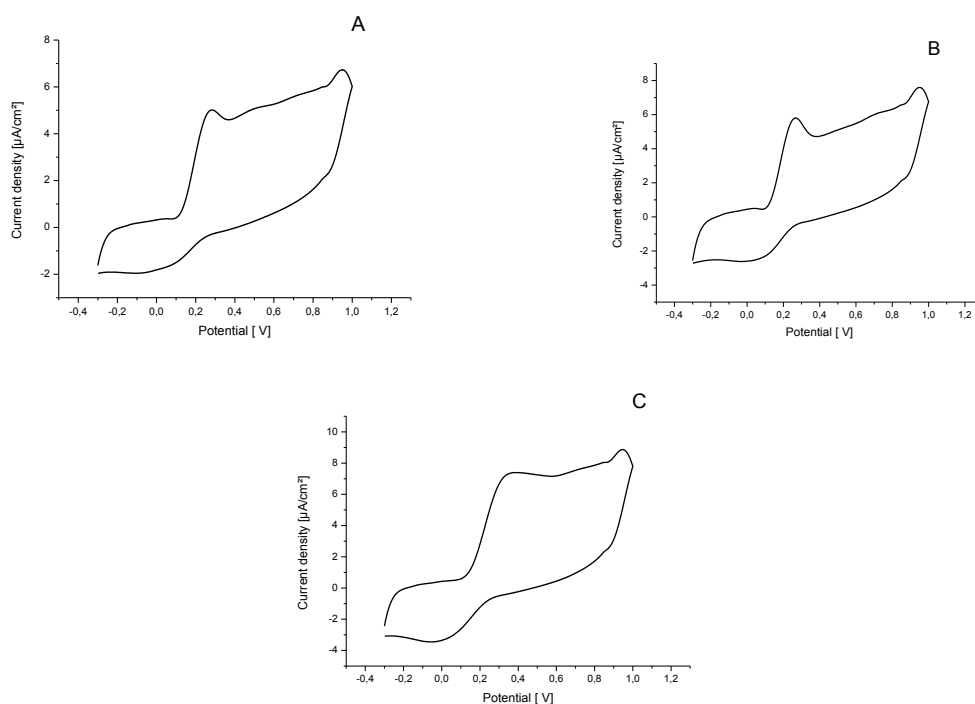


Figure III.48 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Batna.

✓ Région d'OUARGLA

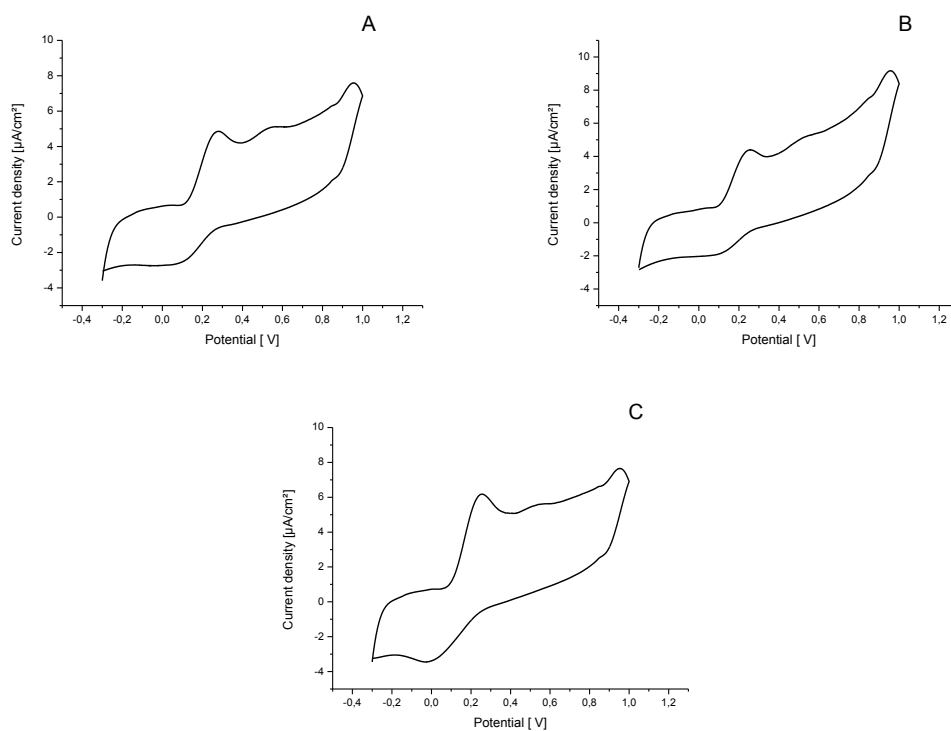


Figure III.49 : Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Ouargla.

A. Paramètres électrochimiques

Les paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergines étudiés sont rassemblés dans les tableaux ci-dessous:

Tableau III.10 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Skikda.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$15,97 \cdot 10^{-4}$	3,716	0,2412	-2,693	0,075	0,25655	0,5131
Pulpe	$29,31 \cdot 10^{-4}$	4,128	0,2718	-1,1048	0,1048	0,1883	0,167
Cortex	$12,58 \cdot 10^{-4}$	7,658	0,5131	/	/	0,1206	0,2412

Tableau III.11 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Biskra.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$20,96 \cdot 10^{-4}$	5,576	0,2489	-2,955	-0,01637	0,116265	0,26527
Pulpe	$17,55 \cdot 10^{-4}$	3,039	0,2456	/	/	0,1228	0,2456
Cortex	$7,26 \cdot 10^{-4}$	4,29	0,2576	/	/	0,1288	0,2576

Tableau III.12 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine d'El-Oued.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$17,82 \cdot 10^{-4}$	6,039	0,2664	-3,019	-0,0546	0,1059	0,321
Pulpe	$11,91 \cdot 10^{-4}$	2,538	0,2347	-1,757	0,003275	0,1189875	0,231425
Cortex	$10,31 \cdot 10^{-4}$	8,254	0,5502	-3,423	0,06659	0,308395	0,48361

Tableau III.13 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine d'Annaba.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$8,37 \cdot 10^{-4}$	1,97	0,2402	/	/	0,1201	0,2402
Pulpe	$10,11 \cdot 10^{-04}$	3,67	0,2314	-1,877	0,1135	0,17245	0,1179
Cortex	$10,36 \cdot 10^{-04}$	11,37	0,2947	-5,017	-0,08187	0,106415	0,37657

Tableau III.14 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Ghardaïa.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$23,31 \cdot 10^{-4}$	2,25	0,2511	-1,222	0,03056	0,14083	0,22054
Pulpe	$29,34 \cdot 10^{-04}$	4,067	0,2358	-1,757	0,0786	0,1572	0,1572
Cortex	$12,17 \cdot 10^{-04}$	3,892	0,2565	-2,257	-0,02074	0,11788	0,27724

Tableau III.15 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine d'Alger.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$13,65 \cdot 10^{-4}$	1,882	0,2805	-0,96	0,02292	0,15171	0,25758
Pulpe	$21,53 \cdot 10^{-04}$	5,73	0,2489	-2,303	0,06659	0,157745	0,18231
Cortex	$9,23 \cdot 10^{-04}$	5,442	0,274	-2,495	-0,06986	0,10207	0,34386

Tableau III.16 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Jijel.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$11,98.10^{-4}$	2,504	0,2489	-1,518	-0,07423	0,087335	0,32313
Pulpe	$21,59.10^{-04}$	2,889	0,2325	/	/	0,11625	0,2325
Cortex	$6,82.10^{-04}$	4,235	0,3122	-2,082	0,0262	0,1692	0,286

Tableau III.17 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Guelma.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$23,65.10^{-4}$	6,898	0,2587	-2,044	0,06986	0,16428	0,18884
Pulpe	$29,24.10^{-04}$	6,843	0,2849	-2,637	0,1168	0,20085	0,1681
Cortex	$7,27.10^{-04}$	5,665	0,274	-2,772	-0,1015	0,08625	0,3755

Tableau III.18 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine de Batna.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$20,10.10^{-4}$	5,04	0,2642	-1,96	-0,0655	0,09935	0,3297
Pulpe	$22,29.10^{-04}$	5,991	0,2478	-2,507	0,06768	0,15774	0,18012
Cortex	$10,61.10^{-04}$	7,447	0,358	-3,344	0,02074	0,18937	0,33726

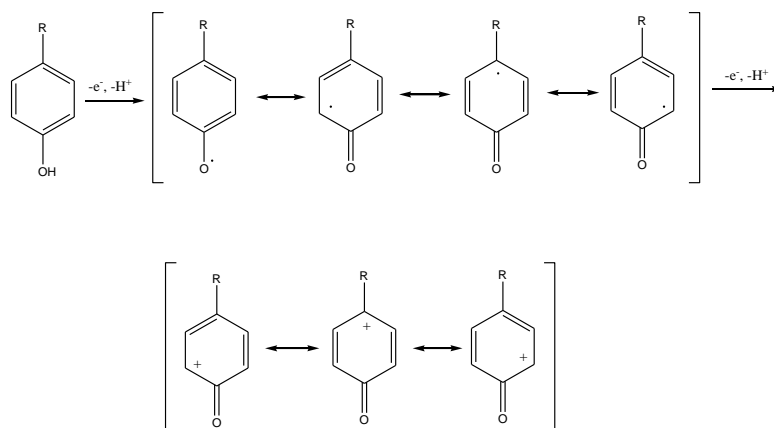
Tableau III.19 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons d'aubergine d'Ouargla.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$20,62 \cdot 10^{-4}$	4,921	0,2543	-2,841	0,1059	0,1801	0,1484
Pulpe	$18,92 \cdot 10^{-04}$	6,534	0,2347	-3,53	-0,009824	0,112438	0,244524
Cortex	$9,33 \cdot 10^{-04}$	4,55	0,2314	-1,954	0,1212	0,1763	0,1102

Les valeurs des densités des courants anodiques et cathodiques représentent l'oxydation et la réduction des composés phénoliques contenus dans les différentes fractions éthanoliques des échantillons d'aubergines étudiés.

B. Interprétation des résultats

La principale caractéristique de tous les composés phénoliques est qu'ils contiennent un ou plusieurs groupes hydroxyles fixés sur un cycle benzénique. Il est généralement admis que la première étape d'oxydation des composés phénoliques conduit à la formation d'un ion phenoxonium ou principalement à un radical phénoxy (**figure III.50**). Ces produits peuvent réagir dans d'autres réactions chimiques. Les composés phénoliques peuvent agir comme des antioxydants par leur capacité de piégeage des radicaux libres, ils brisent la chaîne de ces derniers grâce à leur effet donneur d'atome d'hydrogène [235].

**Figure III.50** : Oxydation électrochimique des composés phénoliques.

Le **tableau III.20** rassemble les valeurs des activités antioxydantes totales calculées par la formule (*) des différentes fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres. Pour chaque composé, les résultats sont la moyenne de 3 expériences menées en parallèle.

Tableau III.20 : Activités antioxydantes totales des fractions éthanoliques des fruits entiers, pulpes et cortex des aubergines violettes pourpres.

N°	La région	Activité antioxydante totale (mg/g)		
		fruit entier	Pulpe	Cortex
1	SKIKDA	10,90 ± 3,28	6,58 ± 0,89	35,72 ± 6,07
2	BISKRA	13,60 ± 3,95	11,21 ± 2,75	27,78 ± 3,44
3	EL-OUED	18,64 ± 2,97	9,11 ± 1,97	43,43 ± 13,66
4	ANNABA	8,68 ± 1,13	13,72 ± 4,34	73,90 ± 7,76
5	GHARDAÏA	3,33 ± 0,84	8,15 ± 0,67	15,92 ± 3,22
6	ALGER	6,61 ± 2,54	12,35 ± 3,32	34,54 ± 7,11
7	JIJEL	8,84 ± 1,54	7,15 ± 1,21	36,85 ± 4,92
8	GUELMA	18,63 ± 1,40	10,50 ± 3,77	44,32 ± 3,30
9	BATNA	17,90 ± 3,03	14,59 ± 2,42	34,21 ± 8,63
10	OUARGLA	15,79 ± 1,90	11,94 ± 1,40	33,43 ± 9,59

Ces résultats sont représentés par la **figure III.51**. On remarque clairement, que toutes les fractions éthanoliques des échantillons des aubergines violettes pourpres possèdent des activités antioxydantes. Comme on remarque que toutes les fractions éthanoliques des cortex des échantillons ont présenté des activités antioxydantes plus élevée que celles des fruits entiers et des pulpes, malgré que le cortex représente une partie du fruit entier lui-même, cela peut être dû à des interactions possibles entre les composés contenus dans la fraction éthanolique. Des études antérieures ont prouvés que les anthocyanines peuvent s'auto-associé à des composés flavonoïdes de structures similaires et également peuvent réagir avec de nombreuses d'autres substances à la suite de leurs charge positive dans leur structure de noyau central. Cette réactivité chimique pourrait masquer leurs potentiels possibles ou faire leur absorption plus difficile, ce qui influence le résultat final [236]. Ces résultats sont en accord avec des études effectuées antérieurement, ils ont démontré que les extraits des cortex des aubergines violettes pourpres possédaient une activité antioxydante très élevée par comparaison à d'autres végétaux. La nasunine ; un anthocyanine isolé des cortex des aubergines violettes pourpres est un puissant antioxydant [237]. Il est très remarquable que la fraction éthanolique du cortex des aubergines d'Annaba ($73,90 \pm 7,76$ mg/g) a monté le

pouvoir antioxydant le plus élevé par rapport à toutes les autres fractions éthanoliques. La plus faible activité antioxydante revient à la variété de Ghardaïa ($15,92 \pm 3,22$ mg/g), cela est peut être du à la plus faible concentration des antioxydants contenus dans l'extrait du cortex.

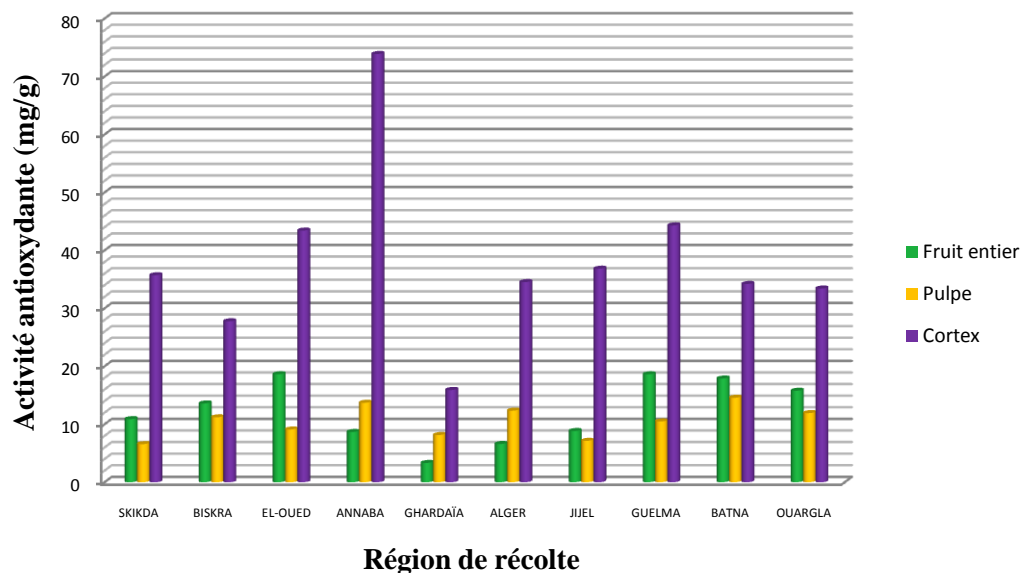


Figure III.51 : *Activité antioxydante totale des fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres.*

L'activité antioxydante la plus élevée du fruit entier revient à la variété d'El-Oued ($18,64 \pm 2,97$ mg/g) suivi de la variété de Guelma ($18,63 \pm 1,40$ mg/g), Batna ($17,90 \pm 3,03$ mg/g), Ouargla ($15,79 \pm 1,90$ mg/g) et Biskra ($13,60 \pm 3,95$ mg/g). Les plus faibles valeurs reviennent aux variétés d'Alger ($6,61 \pm 2,54$ mg/g) et Ghardaïa ($3,33 \pm 0,84$ mg/g).

Les résultats montrent que l'activité antioxydante la plus élevée des fractions éthanoliques des pulpes des aubergines revient à la variété de Batna ($14,59 \pm 2,42$ mg/g) et Annaba ($13,72 \pm 4,34$ mg/g) et celle la plus faible revient à la variété de Skikda ($6,58 \pm 0,89$ mg/g) et Jijel ($7,15 \pm 1,21$ mg/g), cela montre que le type des antioxydants présent dans les cortex est différent des antioxydants présent dans les pulpes, et que la quantité des antioxydants est variables d'une variété à une autre [237]. Des études récentes ont montraient que le constituant majoritaire des pulpes de sept variétés d'aubergines était l'acide : 5-O-caffeoylquinique et que sa quantité n'était pas la même dans les extraits des pulpes. Ces variétés ont montraient des activités antioxydantes différentes, ce qui prouve l'influence des conditions de végétation, l'environnement et le type de sol sur le contenu en polyphénols et sur le potentiel antioxydant des différentes variétés [238].

III.4.4.8.2. Fractions aqueuses

✓ Région de SKIKDA

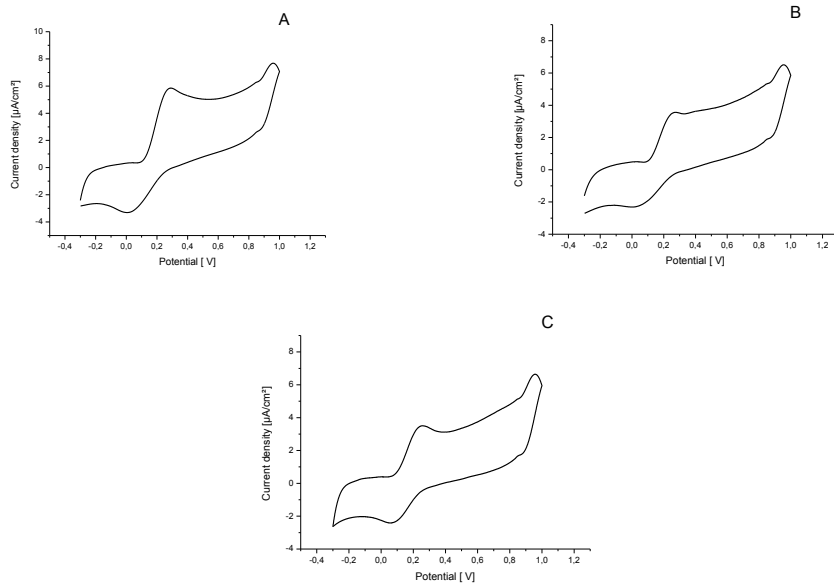


Figure III.52 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Skikda.

✓ Région de BISKRA

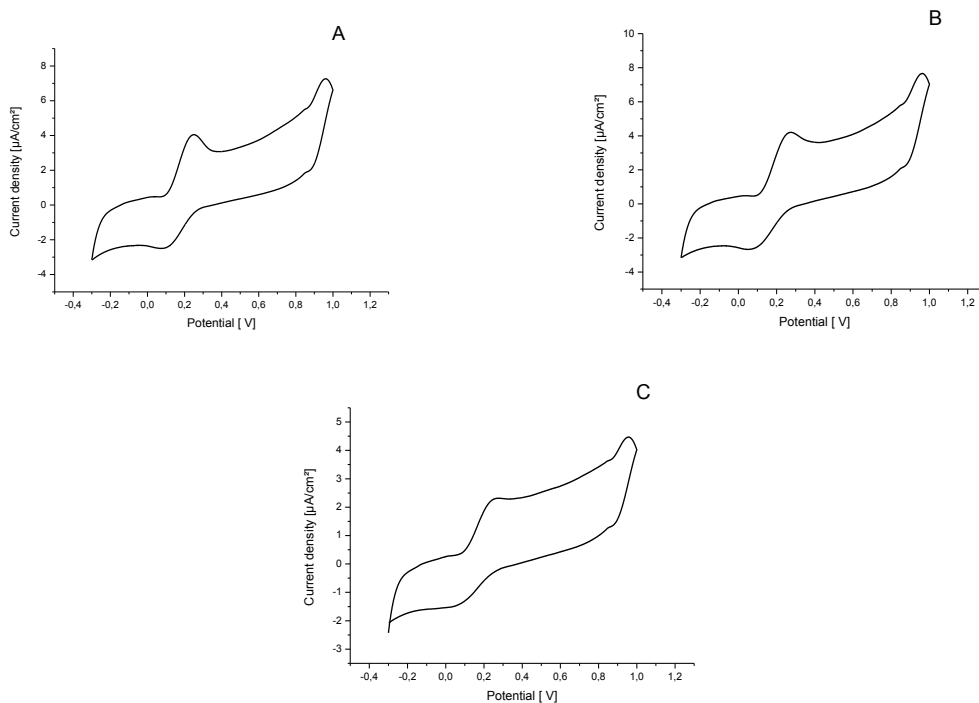


Figure III.53 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Biskra

✓ Région d'EL-OUED

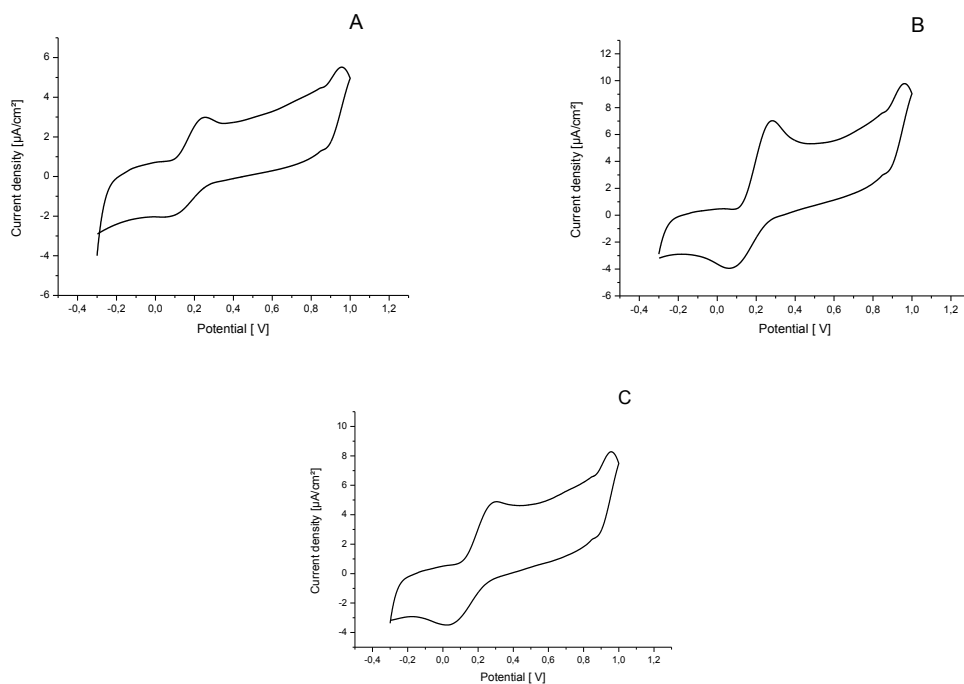


Figure III.54 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'El-Oued.

✓ Région d'ANNABA

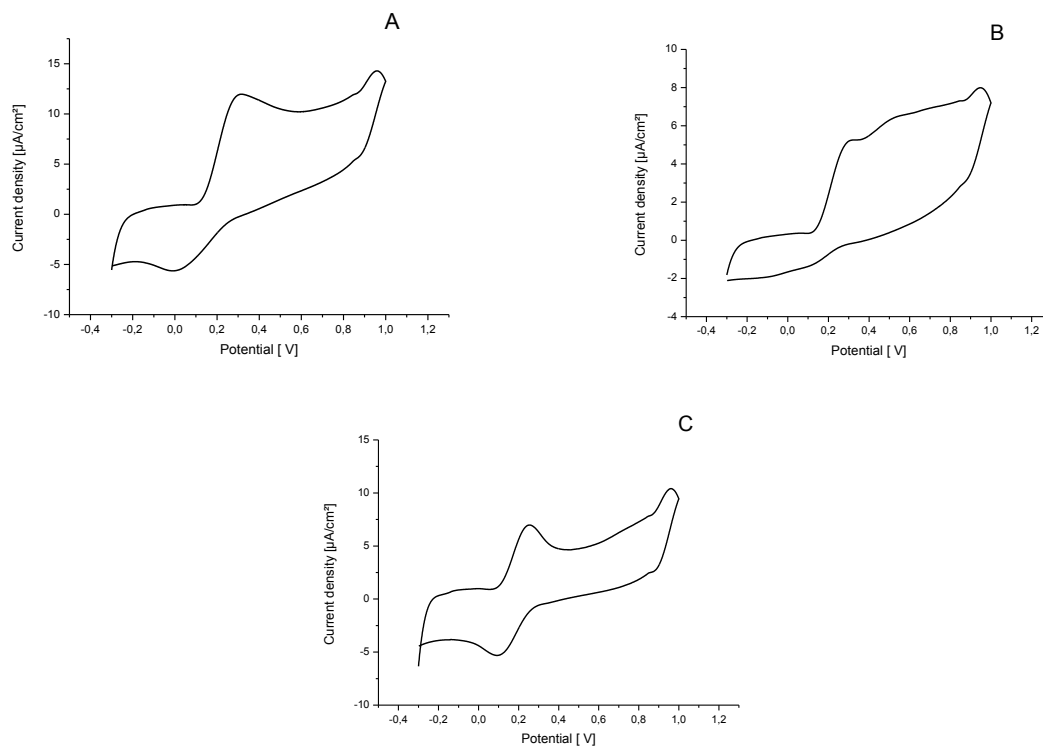


Figure III.55 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Annaba

✓ Région de GHARDAÏA

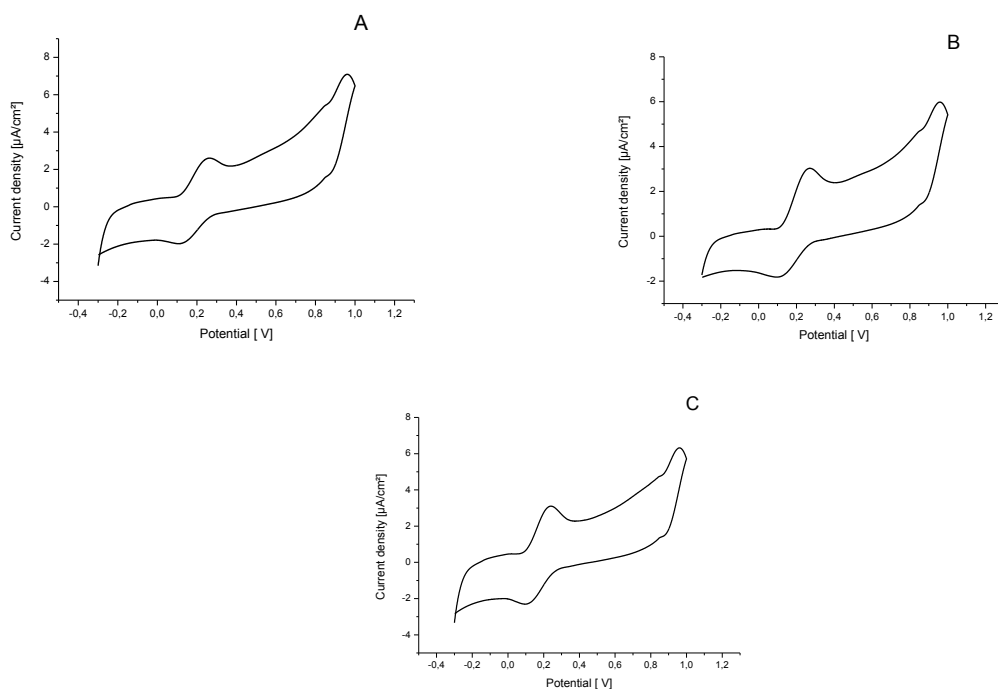


Figure III.56 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Ghardaïa

✓ Région d'ALGER

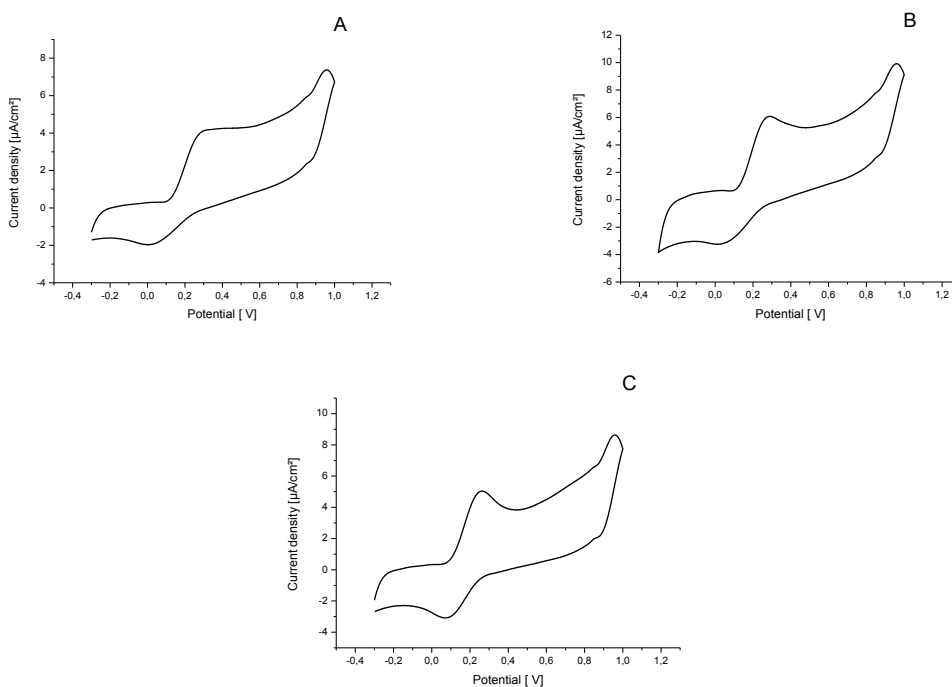


Figure III.57 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Alger.

✓ Région de JIJEL

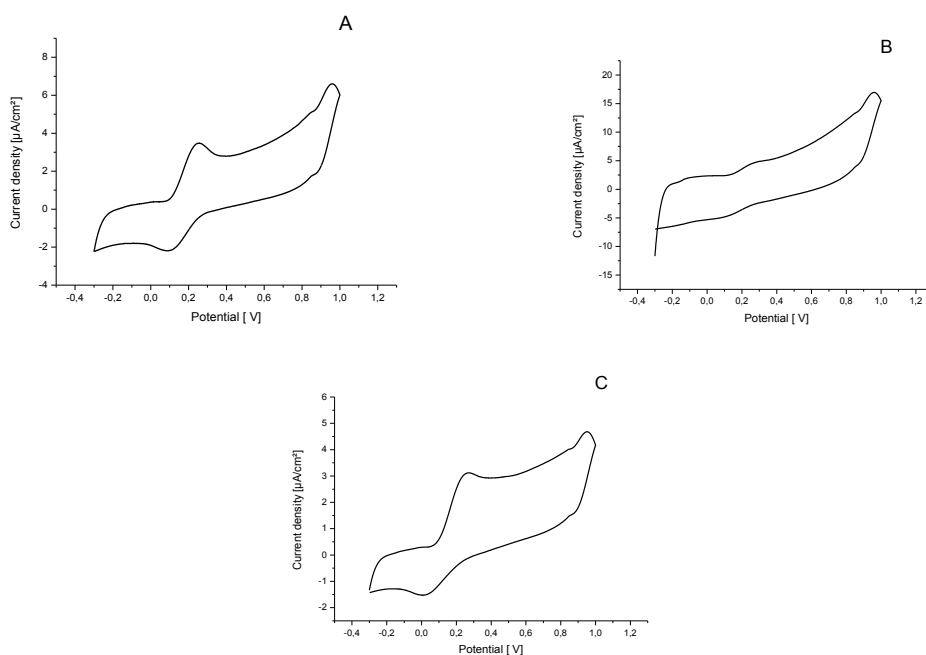


Figure III.58 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Jijel.

✓ Région de GUELMA

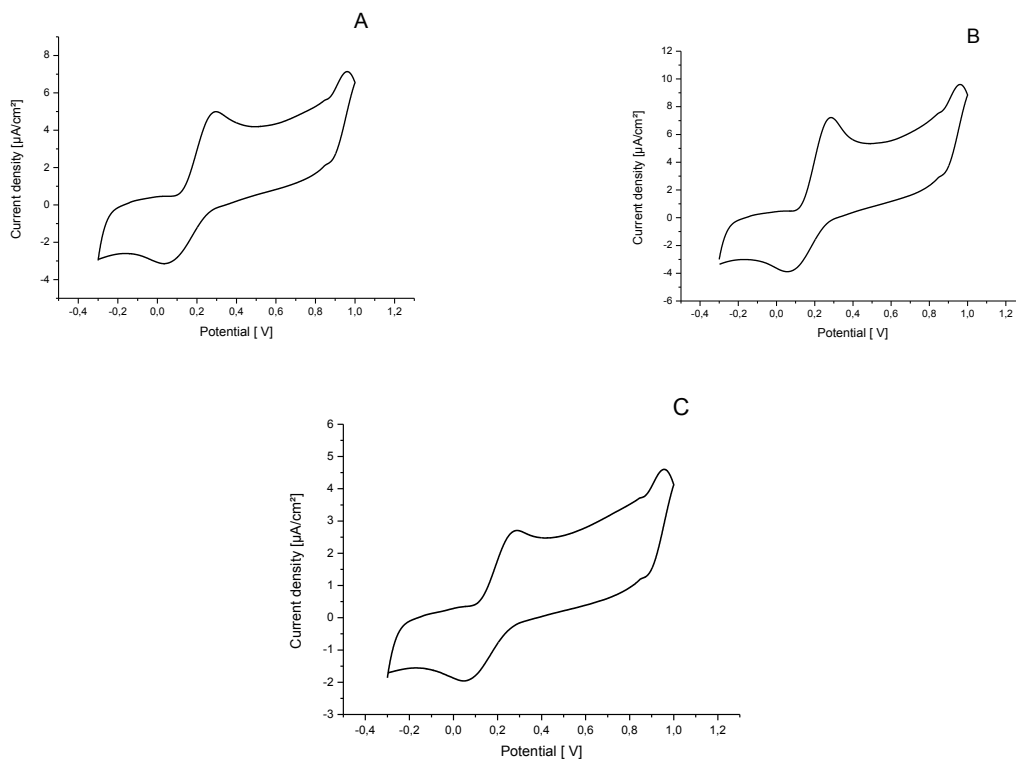


Figure III.59 : Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Guelma.

✓ Région de BATNA

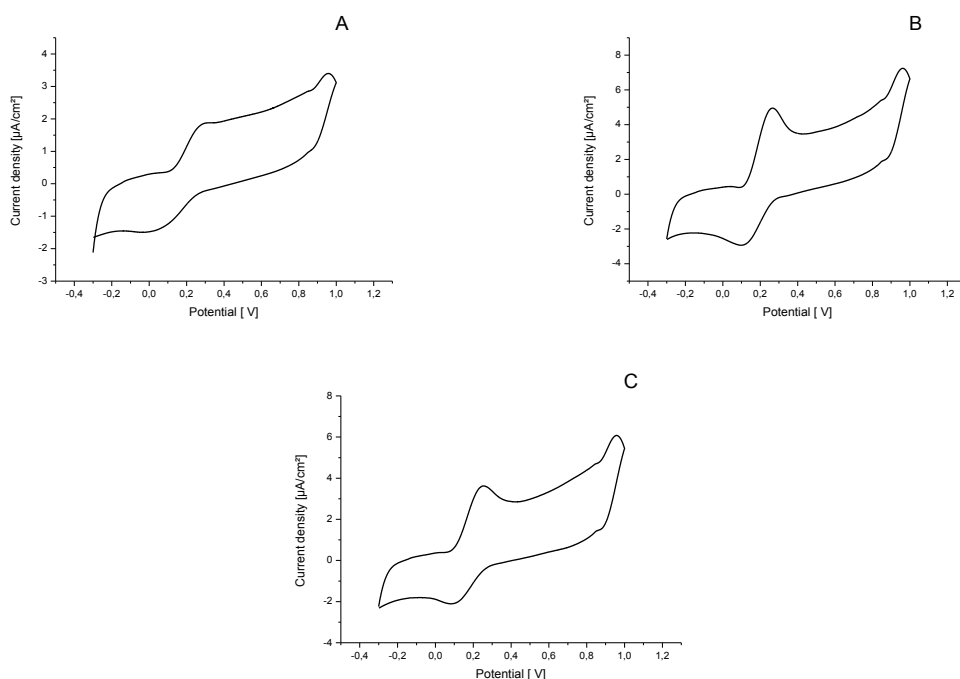


Figure III.60: Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région de Batna.

✓ Région d'OUARGLA

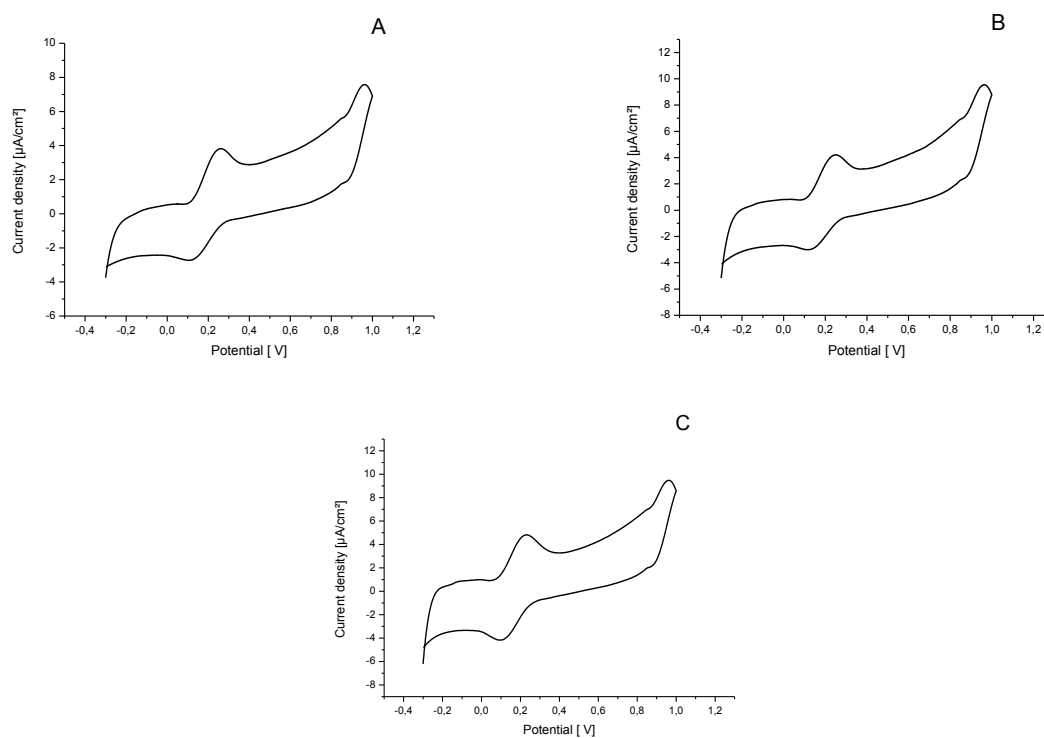


Figure III.61: Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex de la région d'Ouargla.

A. Paramètres électrochimiques

Les paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergines étudiés sont rassemblés dans les tableaux ci-dessous:

Tableau III.21 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Skikda.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$37,54 \cdot 10^{-4}$	5,991	0,2653	-3,483	0,00655	0,135925	0,25875
Pulpe	$18,87 \cdot 10^{-04}$	3,824	0,2391	-2,342	0,05567	0,147385	0,18343
Cortex	$7,039 \cdot 10^{-04}$	3,716	0,2336	-2,793	0,06768	0,15064	0,16592

Tableau III.22 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Biskra.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$25,14 \cdot 10^{-4}$	4,426	0,2292	-2,797	0,09606	0,16263	0,13314
Pulpe	$44,13 \cdot 10^{-04}$	4,236	0,2511	-2,891	0,08296	0,16703	0,16814
Cortex	$9,33 \cdot 10^{-04}$	2,287	0,2281	-1,476	0,08296	0,15553	0,14514

Tableau III.23 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine d'El-Oued.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$17,62 \cdot 10^{-4}$	3,254	0,2271	-2,087	0,08624	0,15667	0,14086
Pulpe	$35,11 \cdot 10^{-04}$	7,061	0,2653	-4,143	0,06331	0,164305	0,20199
Cortex	$9,8 \cdot 10^{-04}$	4,916	0,286	-3,625	0,0393	0,16265	0,2467

Tableau III.24 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine d'Annaba.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu A/cm^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu A/cm^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$55,02 \cdot 10^{-4}$	11,83	0,3067	-5,786	0,00655	0,156625	0,30015
Pulpe	$66,25 \cdot 10^{-04}$	5,031	0,2762	/	/	0,1381	0,2762
Cortex	$7,49 \cdot 10^{-04}$	7,444	0,2402	-5,571	0,1015	0,17085	0,1387

Tableau III.25 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Ghardaïa.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu A/cm^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu A/cm^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$22,35 \cdot 10^{-4}$	2,736	0,2391	-2,045	0,1299	0,1845	0,1092
Pulpe	$25,18 \cdot 10^{-04}$	3,34	0,2511	-2,049	0,1201	0,1856	0,131
Cortex	$12,42 \cdot 10^{-04}$	3,29	0,226	-2,622	0,1157	0,17085	0,1103

Tableau III.26 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine d'Alger.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu A/cm^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu A/cm^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$29,57 \cdot 10^{-4}$	4,188	0,3122	-2,13	0,02183	0,167015	0,29037
Pulpe	$38,27 \cdot 10^{-04}$	6,213	0,2653	-3,354	0,03711	0,151205	0,22819
Cortex	$7 \cdot 10^{-04}$	5,134	0,2522	-3,382	0,07641	0,164305	0,17579

Tableau III.27 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Jijel.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$14,41 \cdot 10^{-4}$	3,632	0,2336	-2,502	0,1081	0,17085	0,1255
Pulpe	$21,61 \cdot 10^{-04}$	4,765	0,2849	-4,843	0,1052	0,19505	0,1797
Cortex	$7,27 \cdot 10^{-04}$	3,099	0,2445	-1,811	0,01419	0,129345	0,23031

Tableau III.28 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Guelma.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$20,51 \cdot 10^{-4}$	5,05	0,2784	-3,447	0,05676	0,16758	0,22164
Pulpe	$39,34 \cdot 10^{-04}$	7,248	0,2664	-4,004	0,0655	0,16595	0,2009
Cortex	$9,64 \cdot 10^{-04}$	2,796	0,2773	-2,054	0,05895	0,168125	0,21835

Tableau III.29 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine de Batna.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$13,04 \cdot 10^{-4}$	1,921	0,2729	-1,598	0,002183	0,1375415	0,270717
Pulpe	$35,47 \cdot 10^{-04}$	5,406	0,2445	-2,994	0,1015	0,173	0,143
Cortex	$6,64 \cdot 10^{-04}$	3,787	0,2412	-2,209	0,09715	0,169175	0,14405

Tableau III.30 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons d'aubergine d'Ouargla.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$2 \cdot 10^{-3}$	4,023	0,2445	-2,834	0,1234	0,18395	0,1211
Pulpe	$27,87 \cdot 10^{-04}$	4,583	0,2325	-2,963	0,1561	0,1943	0,0764
Cortex	$4,33 \cdot 10^{-04}$	5,079	0,2227	-4,396	0,1113	0,167	0,1114

Les valeurs des densités des courants anodiques et cathodiques représentent l'oxydation et la réduction des composés phénoliques contenus dans les différentes fractions aqueuses des échantillons d'aubergines étudiés.

B. Interprétation des résultats

Le **tableau III.31** rassemble les valeurs des activités antioxydantes totales calculées par la formule (*) des différentes fractions *aqueuses* des aubergines violettes pourpres.

Tableau III.31 : Activités antioxydantes totales des fractions aqueuses des fruits entiers, pulpes et cortex des aubergines violettes pourpres.

N°	La région	Activité antioxydante totale (mg/g)		
		fruit entier	Pulpe	Cortex
1	SKIKDA	$10,68 \pm 1,54$	$7,93 \pm 2,17$	$18,81 \pm 8,33$
2	BISKRA	$9,55 \pm 2,30$	$5,00 \pm 1,08$	$11,91 \pm 5,98$
3	EL-OUED	$14,11 \pm 5,12$	$14,16 \pm 1,54$	$43,30 \pm 14,86$
4	ANNABA	$14,23 \pm 1,25$	$6,41 \pm 2,02$	$58,91 \pm 3,92$
5	GHARDAÏA	$8,12 \pm 2,93$	$7,74 \pm 1,50$	$9,95 \pm 4,00$
6	ALGER	$8,43 \pm 1,19$	$9,22 \pm 0,72$	$53,22 \pm 15,56$
7	JIJEL	$16,61 \pm 3,27$	$8,95 \pm 2,13$	$19,70 \pm 1,30$
8	GUELMA	$14,40 \pm 0,51$	$9,72 \pm 1,75$	$17,96 \pm 5,21$
9	BATNA	$10,85 \pm 6,07$	$9,20 \pm 0,53$	$42,32 \pm 13,09$
10	OUARGLA	$12,00 \pm 2,32$	$9,22 \pm 2,49$	$48,27 \pm 20,76$

Ces résultats sont représentés par la **figure III.62**. On remarque clairement, que toutes les fractions aqueuses des échantillons des aubergines violettes pourpres possèdent des activités antioxydantes. Comme on remarque que toutes les fractions aqueuses des cortex des échantillons ont des activités antioxydantes plus élevée que celles des fruits entiers et des pulpes.

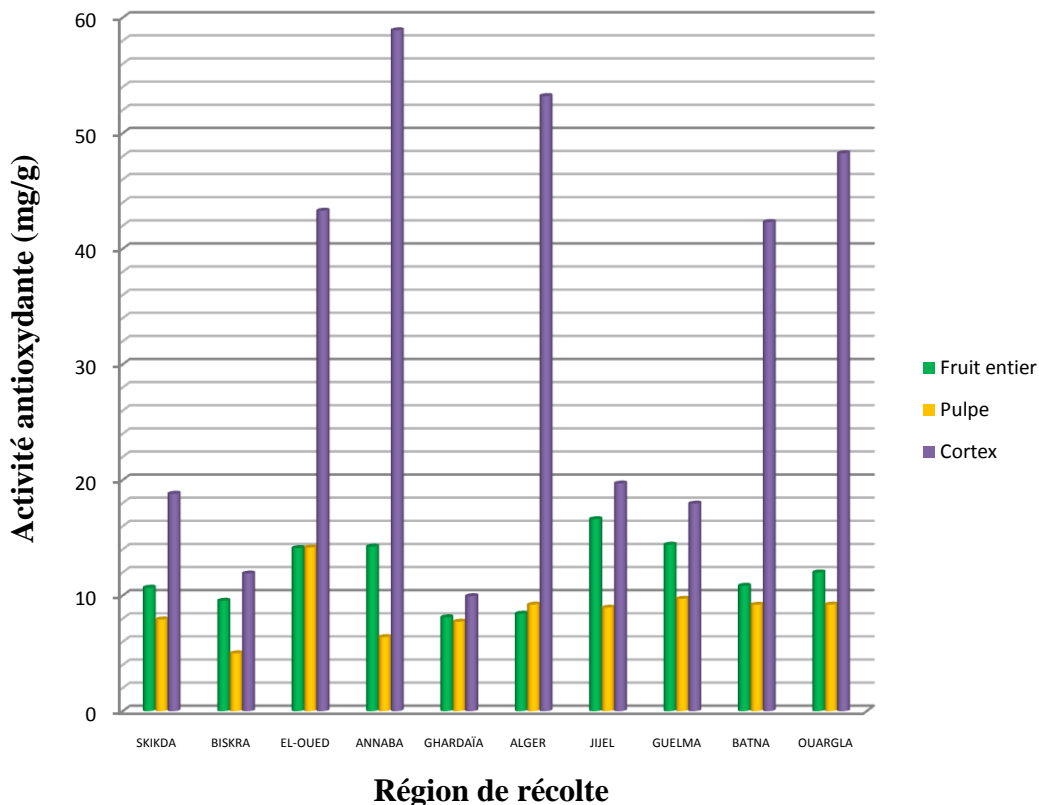


Figure III.62 : *Activité antioxydante totale des fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres.*

Il est très remarquable que la fraction aqueuse du cortex des aubergines d'Annaba ($58,91 \pm 3,92$ mg/g) a montré le pouvoir antioxydant le plus élevé par rapport à toutes les autres fractions aqueuses, suivi par la région d'Alger ($53,22 \pm 15,56$ mg/g), Ouargla ($48,27 \pm 20,76$ mg/g), El-Oued ($43,30 \pm 14,86$ mg/g) et Batna ($42,32 \pm 13,09$ mg/g). Les plus faibles valeurs reviennent aux régions Biskra ($11,91 \pm 5,98$ mg/g) et Ghardaïa ($9,95 \pm 4,00$ mg/g). L'activité antioxydante la plus élevée du fruit entier revient à la variété de Jijel ($16,61 \pm 3,27$ mg/g) et les plus faibles valeurs reviennent aux variétés d'Alger ($8,43 \pm 1,19$ mg/g) et Ghardaïa ($8,12 \pm 2,93$ mg/g). La fraction aqueuse de la pulpe de la variété d'El-Oued ($14,16 \pm 1,54$ mg/g) a

montré l'activité antioxydante la plus élevée alors que la fraction aqueuse de la pulpe de la variété de Biskra ($5,00 \pm 1,08$ mg/g) a montré la plus faible activité antioxydante.

III.4.5. Conclusion

Cette partie expérimentale a été effectuée sur dix échantillons d'aubergines violettes pourpres, collectés de dix régions différentes, de conditions de sol et de climat différents. D'après les résultats obtenus, il est très clair que les conditions environnementales affectent la composition en polyphénols des fruits des aubergines et cela influe par la suite sur l'activité antioxydante, bien que la composition des cortex des fruits et différentes de la composition des pulpes. La plus forte teneur en polyphénols est concentrée principalement dans les cortex des fruits suivis généralement par le fruit entier et enfin la pulpe avec quelque exception ; les cortex des aubergines violettes pourpres contiennent de très puissant polyphénols, leurs effets diminuent dans les fruits entiers (cortex+pulpe) à cause de l'inter-réaction des composés phénoliques entre eux.

La mesure de l'activité antioxydante par deux méthodes différentes (la méthode du test DPPH et la méthode électrochimique à donné des résultats différentes.

IV. EFFET DU SÉCHAGE ET DE LA CONGÉLATION

sur l'activité antioxydante et le contenu en polyphénols



IV. Effet du séchage et de la congélation sur l'activité antioxydante et le contenu en polyphénols

IV.1. Echantillonnage

Etant donné que la composition chimique de l'aubergine diffère selon la variété et selon les conditions extérieures (température, type de sol). Cette partie expérimentale, s'est portée sur l'étude de l'effet de la congélation et du séchage sur l'activité antioxydante et le contenu en polyphénols de deux variétés d'aubergines différentes, représentée par la **figure IV.1** : l'aubergine violette pourpre et l'aubergine blanche, appartenant à la même région d'El-Oued (Guemar). Ces fruits ont été collectés en novembre 2011 sous les mêmes conditions de mûrissement.

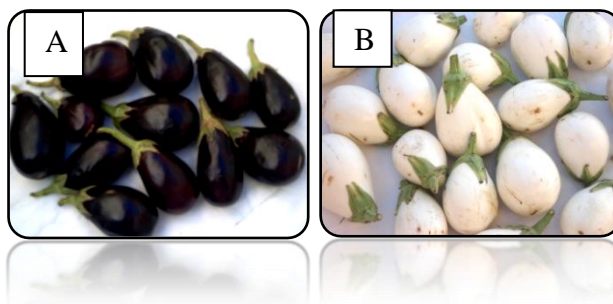


Figure IV.1 : Deux variétés d'aubergines : (A) aubergines violettes pourpres et (B) aubergines blanches.

IV.2. Préparation du matériel végétal

Les fruits frais des aubergines violettes pourpres et blanches ont été achetés du marché d'El-Oued (Guemar) en novembre 2011. Ils ont été lavés soigneusement avec de l'eau courante et ensuite séchés à la serviette. On a préparé trois types d'échantillonnages pour chaque variété : le fruit entier (cortex+ pulpe), les pulpes et enfin les cortex des fruits. Chaque échantillon frais est coupé en petits morceaux à l'aide d'un couteau de cuisine et broyé à l'aide d'un robot. Les échantillons à congeler (fruit entier, pulpe et cortex) sont gardés dans un congélateur à une basse température (-5°C) jusqu'à utilisation. Les échantillons à sécher sont gardés à l'abri des rayons solaires dans un endroit sec et aéré, après broyage en poudre fine, ils ont été gardés dans des boîtes jusqu'à utilisation.

IV.3. Extraction du matériel végétal

On pèse immédiatement 5g de chaque échantillon frais (fruit entier, pulpe et cortex) et on les traite avec la même procédure citée précédemment. On effectue l'extraction avec 100 ml d'éthanol à l'aide d'un extracteur de type soxhlet pendant deux heures. La solution obtenue de chaque extrait est filtrée en utilisant un papier Whatman N. 4, le filtrat récupéré et concentré à sec dans un évaporateur rotatif muni d'une pompe à vide. Une partie du résidu sec obtenu est dissoute dans l'éthanol et l'autre partie est dissoute dans de l'eau distillée. Les échantillons congelés et les échantillons secs ont été traités de la même façon que les échantillons frais. Les fractions éthanoliques et aqueuses obtenues, ont été scellées dans des flacons en verre et stockées à une basse température jusqu'à utilisation.

IV.4. Dosage des polyphénols totaux

IV.4.1. Fractions éthanoliques

On a suivi le même protocole expérimental qui a été décrit dans le chapitre III pour le dosage des polyphénols totaux, les résultats obtenus ont permis de donner des estimations sur les quantités des polyphénols contenus dans les échantillons des aubergines frais, congelés et secs. Le **tableau IV.1** rassemble les résultats des différentes valeurs des teneurs en polyphénols totaux des fractions éthanoliques. On note la fraction éthanolique de la variété d'aubergine violette pourpre fraîche par **EVF**, la fraction éthanolique de la variété d'aubergine blanche fraîche par **EBF**, la fraction éthanolique de la variété d'aubergine violette pourpre congelée par **EVC**, la fraction éthanolique de la variété d'aubergine blanche congelée par **EBC**, la fraction éthanolique de la variété d'aubergine violette pourpre séchée par **EVS** et la fraction éthanolique de la variété d'aubergine blanche séchée par **EBS**.

Tableau IV.1: Teneur en polyphénols totaux dans les différentes fractions éthanoliques des fruits entiers, des pulpes et des cortex des deux variétés d'aubergines.

Variété	Teneur en polyphénols (mg/g) des fractions éthanoliques		
	fruit entier	Pulpe	Cortex
EVF	20.14	24.13	548.77
EBF	30.51	25.29	87.82
EVC	317.36	23.87	106.11
EBC	58.88	7.30	27.33
EVS	30.88	26.80	66.29
EBS	22.96	35.06	93.48

Toutes les valeurs des teneurs en polyphénols des différentes fractions éthanoliques sont dans l'intervalle de 7.30 (mg/g) jusqu'à 548.77 (mg/g). Ces résultats montrent et confirment la variabilité du contenu phénolique selon la variété d'aubergine et selon les parties (fruits entier, pulpe, cortex), sous les mêmes conditions environnementales de climat et de sol comme le montre les **figures IV.2, IV.3 et IV.4**. L'état physique (la congélation ou le séchage) influence aussi sur la composition phénolique des fractions éthanoliques.

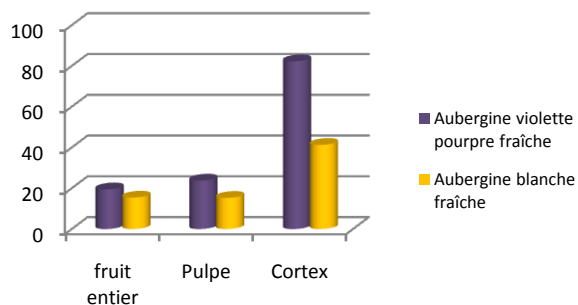


Figure. IV.2 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres et blanches fraîches.

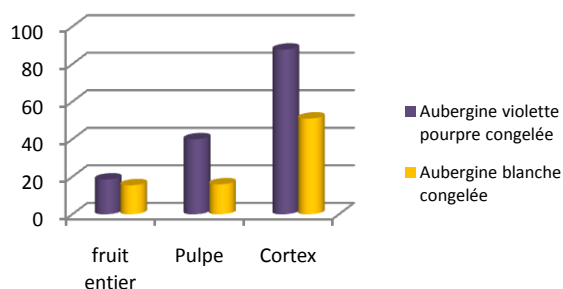


Figure. IV.3 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres et blanches congelées.

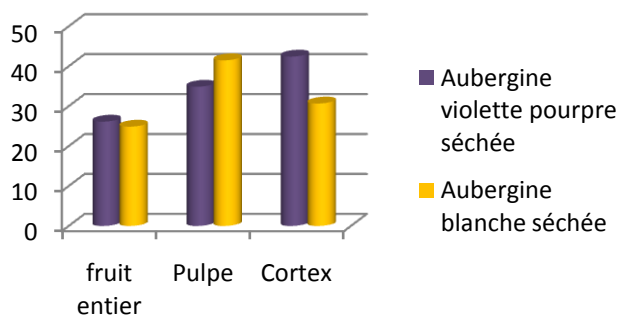


Figure. IV.4 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions éthanoliques des aubergines séchées violettes et blanches.

IV.4.2. Fractions aqueuses

On a suivi le même protocole expérimental qui a été décrit précédemment, Le **tableau IV.2** rassemble les résultats des différentes valeurs des teneurs en polyphénols totaux des fractions aqueuses. On note la fraction aqueuse de la variété d'aubergine violette pourpre fraîche par **QVF**, la fraction aqueuse de la variété d'aubergine blanche fraîche par **QBF**, la fraction aqueuse de la variété d'aubergine violette pourpre congelée par **QVC**, la fraction aqueuse de la variété d'aubergine blanche congelée par **QBC**, la fraction aqueuse de la variété d'aubergine violette pourpre séchée par **QVS** et la fraction aqueuse de la variété d'aubergine blanche séchée par **QBS**.

Tableau IV.2: Teneur en polyphénols totaux dans les différentes *fractions aqueuses* des fruits entiers, des pulpes et des cortex des deux variétés d'aubergines.

Variété	Teneur en polyphénols (mg/g) des fractions aqueuses		
	fruit entier	Pulpe	Cortex
QVF	19,47	23,78	82,31
QBF	15,43	15,29	41,30
QVC	18,53	39,95	87,716
QBC	15,46	15,95	51,01
QVS	26,13	34,88	42,43
QBS	24,88	41,50	30,68

Ces résultats montrent et confirment la variabilité du contenu phénolique selon la variété d'aubergine et selon les parties (fruits entier, pulpe, cortex), sous les mêmes conditions environnementales de climat et de sol comme le montre les **figures IV.5, IV.6 et IV.7**. L'état physique (la congélation ou le séchage) influence aussi sur la composition phénolique des fractions aqueuses.

IV. Effet du séchage et de la congélation sur l'activité antioxydante et le contenu en polyphénols

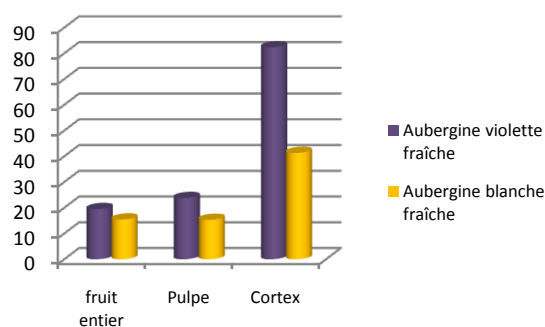


Figure. IV.5 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres et blanches fraîches.

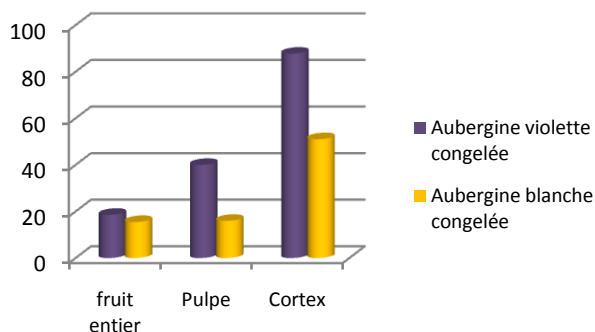


Figure. IV.6 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres et blanches congelées.

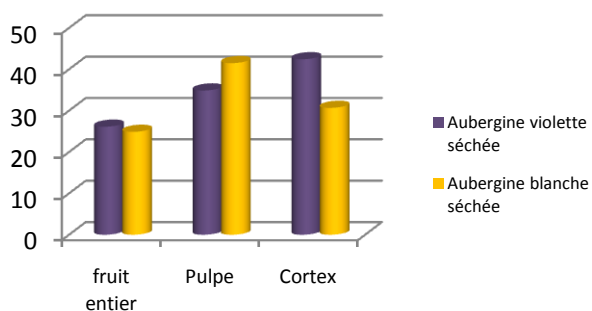


Figure. IV.7 : Variabilité de la composition phénolique dans les différentes fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres et blanches séchées.

IV.5. Evaluation de l'activité antioxydante totale

IV.5.1. Fractions éthanoliques

De la même façon et sous les mêmes conditions précédentes appliquées sur l'acide ascorbique dans le chapitre III, on traite les différentes fractions éthanoliques de tous les échantillons des aubergines.

IV.5.1.1. Fractions éthanoliques des aubergines fraîches

Les **figure IV.8** et **IV.9** représentent les différents voltampérogrammes des différentes parties des aubergines violettes pourpres et blanches fraîches.

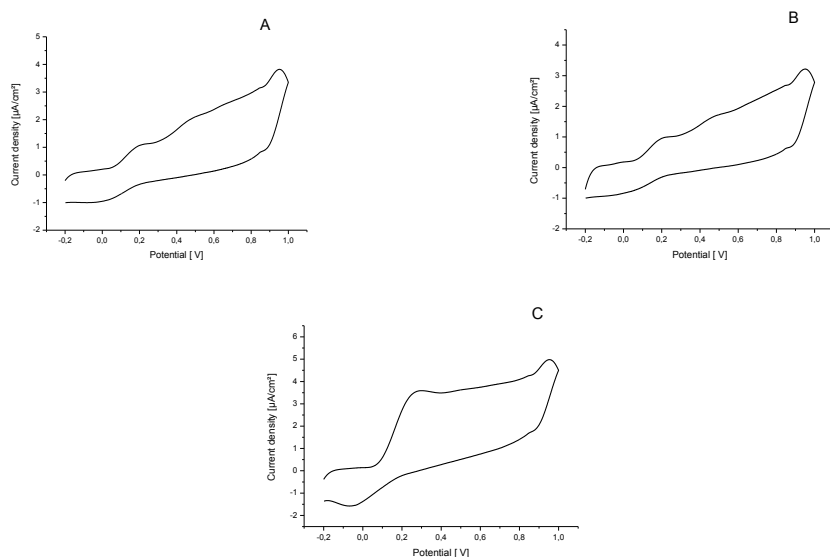


Figure IV.8: Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres fraîches du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

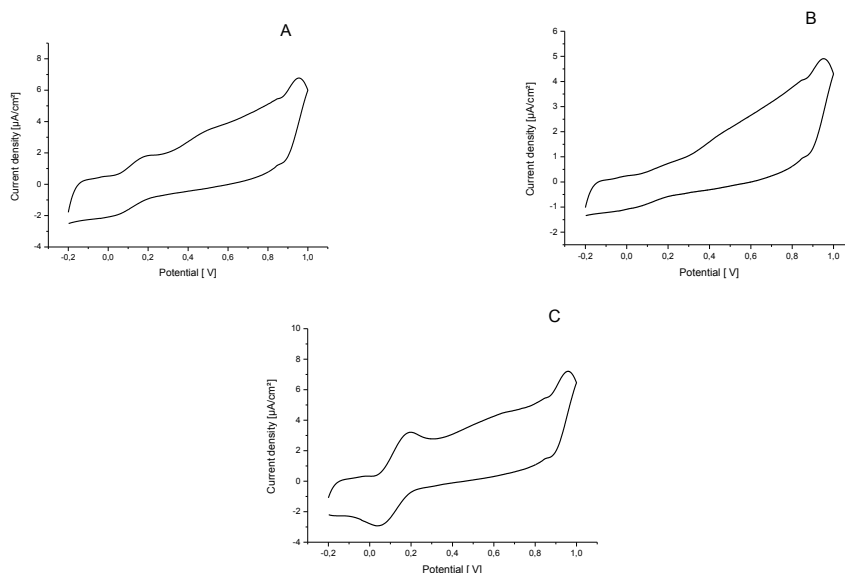


Figure IV.9: Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines blanches fraîches du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

IV. Effet du séchage et de la congélation sur l'activité antioxydante et le contenu en polyphénols

Chaque voltampérogramme montre un pic d'oxydation et un pic de réduction. Ce qui traduit un comportement électrochimique réversible. Cela peut indiquer que, sous les conditions électrochimiques, que les fractions éthanoliques des aubergines contiennent une teneur polyphénolique variée qui diffèrent d'une partie à l'autre. Les paramètres électrochimiques des différentes fractions éthanoliques des échantillons des aubergines fraîches sont rapportés dans les **tableaux IV.3 et IV.4**.

Tableau IV.3 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines violettes pourpres fraîches.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$6,42 \cdot 10^{-4}$	1,01	172,7	-0,97	-4,6	84,5	177,3
Pulpe	$5,71 \cdot 10^{-04}$	0,98	219,3	-0,74	57,5	138,4	161,8
Cortex	$0,83 \cdot 10^{-04}$	3,58	293,1	-1,60	-48,3	122,4	341,4

Tableau IV.4 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines blanches fraîches.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$24,32 \cdot 10^{-4}$	1,79	181,4	-1,98	37,5	109,45	143,9
Pulpe	$7,60 \cdot 10^{-04}$	/	/	/	/	/	/
Cortex	$2,67 \cdot 10^{-04}$	3,17	190,8	-2,94	56,6	123,7	134,2

On remarque dans les deux tableaux précédents, que malgré la concentration élevée des fractions éthanoliques des fruits entiers, c'est les fractions des cortex qui ont donné les densités des courants les plus élevées.

Le **tableau IV.5** rassemble les valeurs des activités antioxydantes totales calculées par la formule (*).

Tableau IV.5: Activités antioxydantes des fractions éthanoliques fraîches (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.

Variété	Partie	Activités antioxydantes (mg AA/g)
EVF	Fruit entier	10.91
	Pulpe	11.83
	Cortex	324.34
EBF	Fruit entier	5.40
	Pulpe	/
	Cortex	89.52

Les valeurs des activités antioxydantes totales des fractions éthanoliques des aubergines étudiées indiquent que les cortex des deux variétés des aubergines fraîches (violette pourpre et blanche) possèdent les activités les plus élevées de valeurs successives (324.34 mg/g) et (89.52 mg/g), alors que la pulpe fraîche de la variété blanche n'a présenté aucune activité par cette méthode (**figure IV.10**).

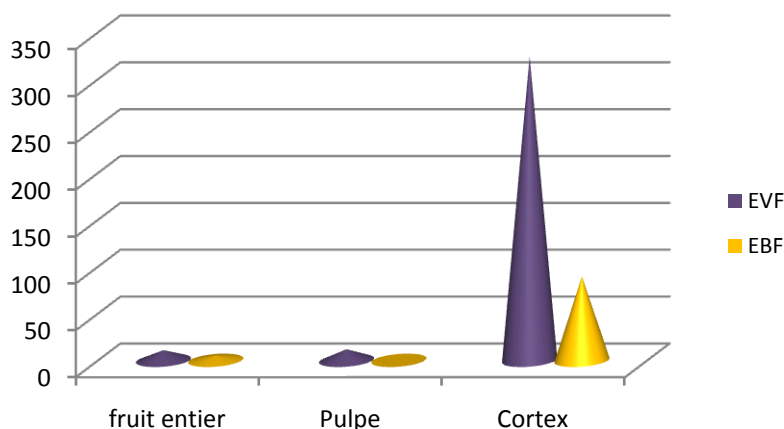


Figure IV.10: Activité antioxydante totale des différentes fractions éthanoliques des deux variétés des aubergines fraîches.

IV.5.1.2. Fractions éthanoliques des aubergines congelées

Les figures IV.11 et IV.12 représentent les différents voltampérogrammes des différentes parties des aubergines violettes pourpres et blanches congelées.

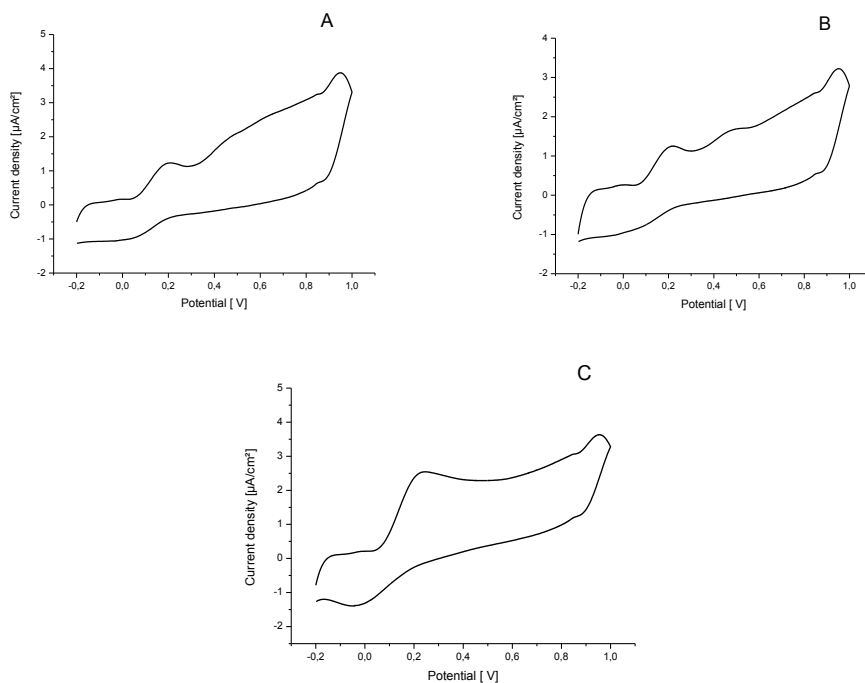


Figure IV.11: Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres congelées du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

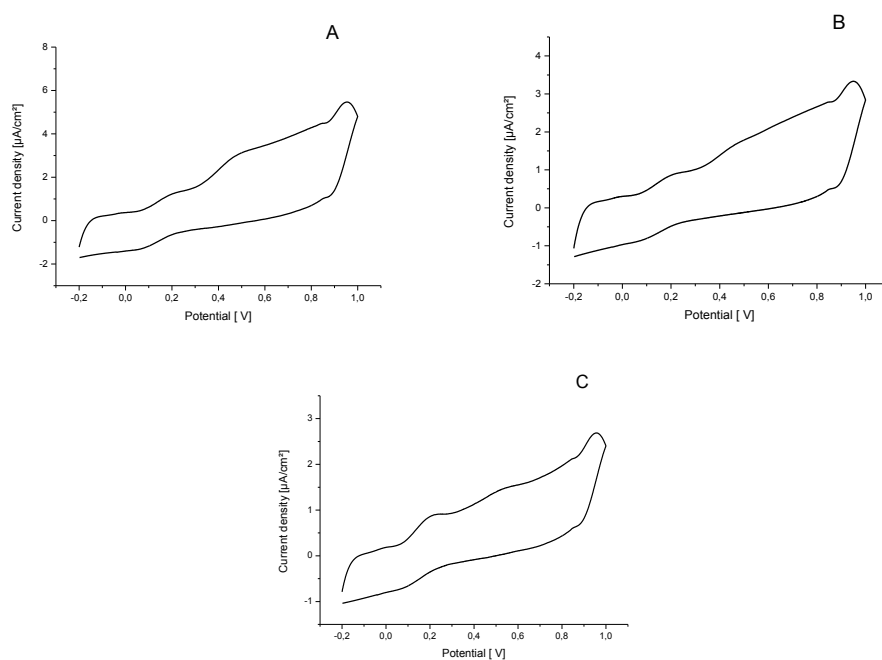


Figure IV.12: Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines blanches congelées du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

Chaque voltampérogramme montre un pic d'oxydation et un pic de réduction. Ce qui traduit un comportement électrochimique réversible. Les paramètres électrochimiques des différentes fractions éthanoliques des échantillons des aubergines congelées sont rapportés dans les **tableaux IV.6 et IV.7**.

Tableau IV.6 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines violettes pourpres congelées.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$0,45 \cdot 10^{-4}$	1,19	163,6	-0,97	56,5	110,05	107,1
Pulpe	$4,40 \cdot 10^{-04}$	1,27	194,4	-1,09	-111,1	41,65	305,5
Cortex	$4,14 \cdot 10^{-04}$	3,45	232,7	-1,81	-107,7	62,5	340,4

Tableau IV.7 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines blanches congelées.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$4,66 \cdot 10^{-4}$	0,97	168,7	-0,87	44,5	106,6	124,2
Pulpe	$6,54 \cdot 10^{-04}$	0,63	196,4	-0,66	111	153,7	85,4
Cortex	$3,66 \cdot 10^{-04}$	0,89	200,3	-0,70	89,7	145	110,6

On remarque dans les deux tableaux précédents, que les densités des courant anodiques des parties des aubergines violettes pourpres sont plus élenées que celles des parties des aubergines blanches, ce qui indique que le contenu en polyphénols des aubergines violette pourpres dans ce cas est plus intéressant que celui des aubergines blanches, malgré que les concentration des fractions éthanoliques du fruit entier et de la pulpe de la variété blanche sont plus élevées par rapport à la variété violette pourpre.

Le **tableau IV.8** rassemble les valeurs des activités antioxydantes totales calculées par la formule (*).

Tableau IV.8 : Activités antioxydantes des fractions éthanoliques congelées (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.

Variété	Partie	Activités antioxydantes (mg AA/g)
EVC	Fruit entier	182.69
	Pulpe	20.46
	Cortex	62.96
EBC	Fruit entier	14.31
	Pulpe	6.17
	Cortex	16.43

Dans l'état congelé, c'est le fruit entier de la variété violette pourpre qui a montré le pouvoir antioxydant le plus élevé par rapport aux autres parties (182.69 mg/g), suivi successivement du cortex (62.96 mg/g) et de la pulpe (20.46 mg/g) de la même variété. La pulpe de la variété blanche a montré le plus faible pouvoir antioxydant (6.17 mg/g). Ces résultats sont représentés par la **figure IV.13**.

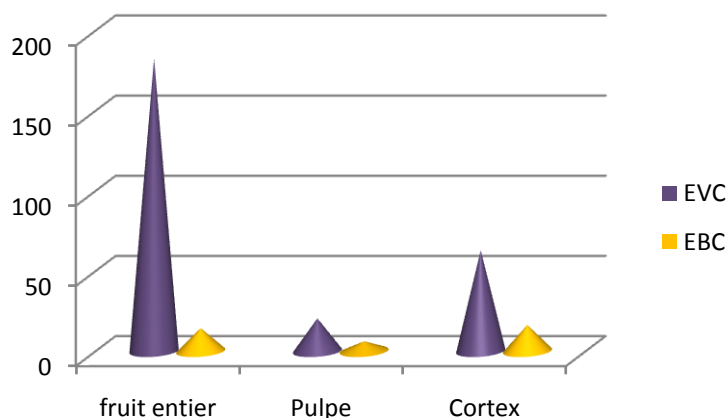


Figure IV.13: Activité antioxydante totale des différentes fractions éthanoliques des deux variétés des aubergines congelées.

IV.4.5.3. Fractions éthanoliques des aubergines séchées

Les figures IV.14 et IV.15 représentent les différents voltampérogrammes des différentes parties des aubergines violettes pourpres et blanches séchées.

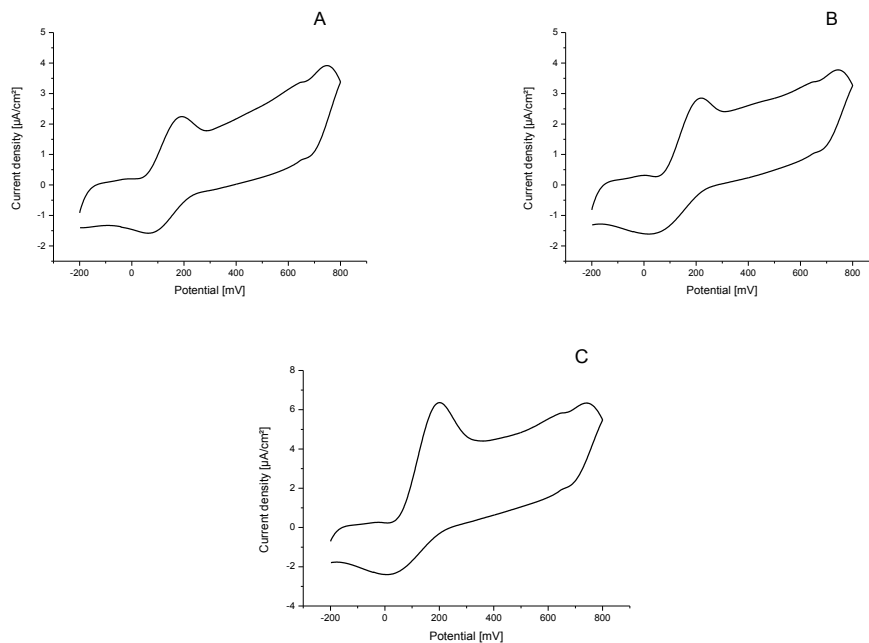


Figure IV.14: Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres séchées du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

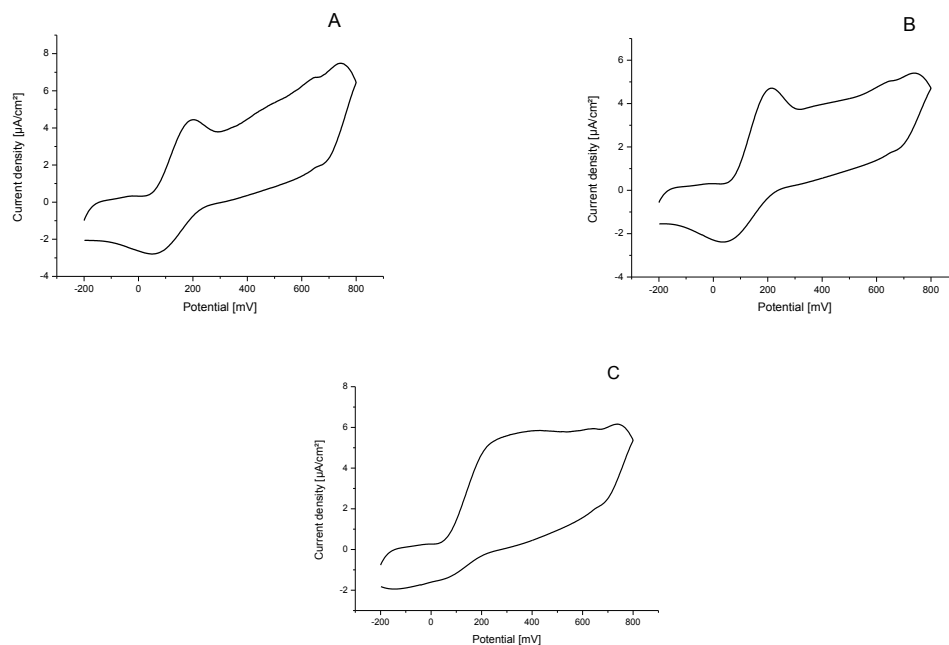


Figure IV.15: Voltampérogrammes cycliques des fractions éthanoliques des aubergines blanches séchées du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

IV. Effet du séchage et de la congélation sur l'activité antioxydante et le contenu en polyphénols

Chaque voltampérogramme montre un pic d'oxydation et un pic de réduction. Ce qui traduit un comportement électrochimique réversible. Les paramètres électrochimiques des différentes fractions éthanoliques des échantillons des aubergines séchées sont rapportés dans les **tableaux IV.9 et IV.10**.

Tableau IV.9 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines violettes pourpres séchées.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$6,72 \cdot 10^{-4}$	2,505	173,9	-1,693	77,25	125,575	96,65
Pulpe	$9,03 \cdot 10^{-4}$	3,161	192	-1,649	25,19	108,595	166,81
Cortex	$6,28 \cdot 10^{-4}$	6,729	188,6	-2,54	15,95	102,275	172,65

Tableau IV.10 : Paramètres électrochimiques des fractions éthanoliques des échantillons des aubergines blanches séchées.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$11,6 \cdot 10^{-4}$	4,456	210,9	-2,828	64,22	137,56	146,68
Pulpe	$10,4 \cdot 10^{-4}$	5,368	197,9	-3,009	35,47	116,685	162,43
Cortex	$4,59 \cdot 10^{-4}$	5,778	284,2	-2,142	-76,09	104,055	360,29

On remarque dans les deux tableaux précédents, que la concentration de la fraction éthanoliques du cortex est inférieure à celle du fruit entier et de la pulpe, dans les deux variétés des aubergines étudiées. La densité du courant du pic d'oxydation de cette dernière était la plus élevée dans les deux variétés.

Le **tableau IV.11** rassemble les valeurs des activités antioxydantes totales calculées par la formule (*).

Tableau IV.11 : Activités antioxydantes des fractions éthanoliques séchées (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.

Variété	Partie	Activités antioxydantes (mg AA/g)
EVS	Fruit entier	14,82
	Pulpe	16,54
	Cortex	66,78
EBS	Fruit entier	21,27
	Pulpe	30,56
	Cortex	75,62

Dans l'état séché, c'est le cortex qui a montré l'activité antioxydante la plus élevée, suivi de la pulpe et enfin le fruit entier. L'activité antioxydante du cortex de la variété blanche (75,62 mg/g) est plus élevée de celle de la variété violette pourpre (66,78 mg/g), l'activité antioxydante de pulpe de la variété blanche (30,56mg/g) est plus élevée de celle de la variété violette pourpre (16,54 mg/g) et l'activité antioxydante du fruit entier de la variété blanche (21,27 mg/g) est plus élevée de celui de la variété violette pourpre (14,82mg/g). Ces résultats sont représentés par la **figure IV.16**.

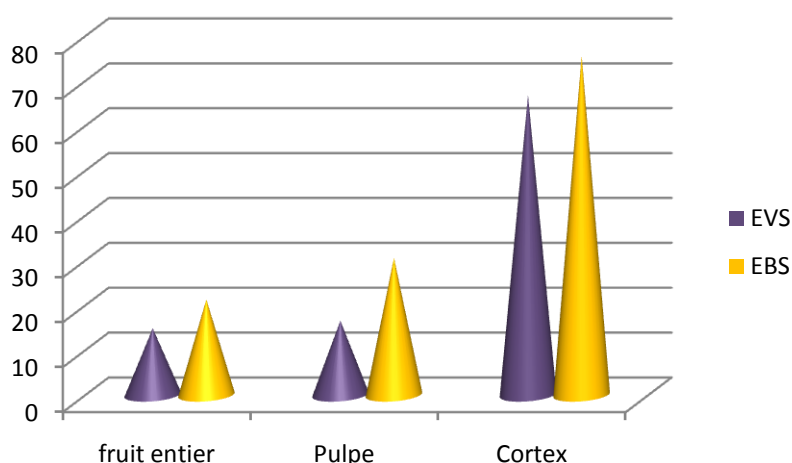


Figure IV.16: Activité antioxydante totale des différentes fractions éthanoliques des deux variétés des aubergines séchées.

IV.5.2. Fractions aqueuses

IV.5.2.1. Fractions aqueuses des aubergines fraîches

Les figures IV.17 et IV.18 représentent les différents voltampérogrammes des différentes parties des aubergines violettes pourpres et blanches séchées.

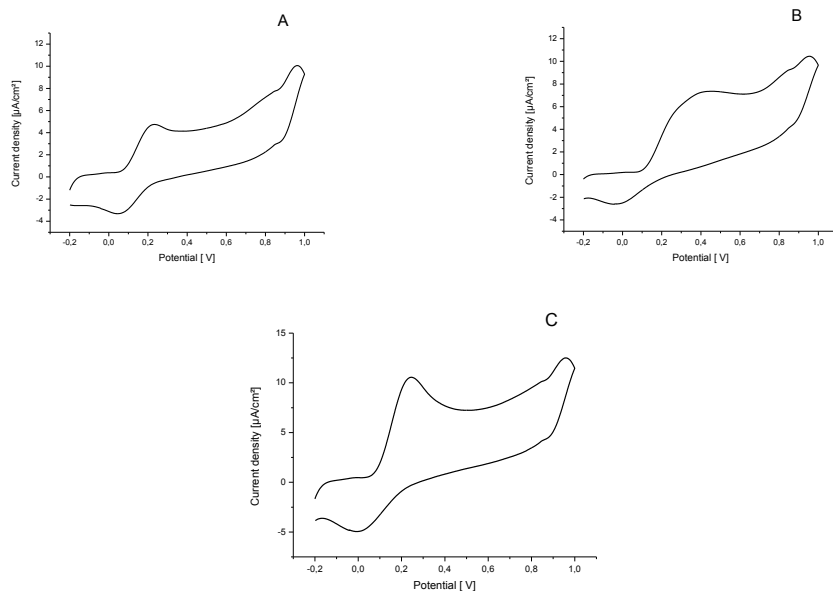


Figure IV.17: Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres fraîches du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

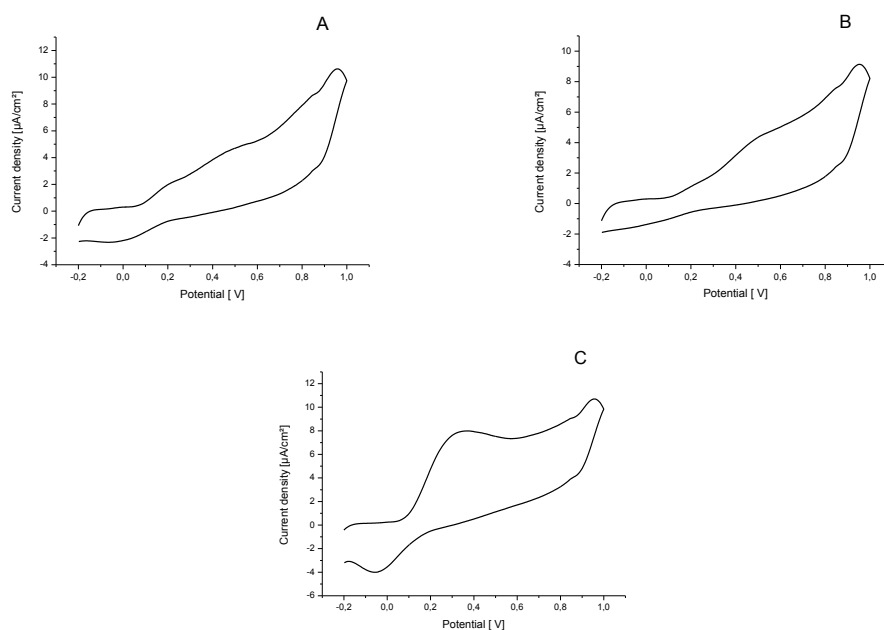


Figure IV.18: Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines blanches fraîches du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

IV. Effet du séchage et de la congélation sur l'activité antioxydante et le contenu en polyphénols

Chaque voltampérogramme montre un pic d'oxydation et un pic de réduction. Ce qui traduit un comportement électrochimique réversible, sauf le voltampérogramme de la pulpe de l'aubergine blanche qui n'est pas réversible. Les paramètres électrochimiques des différentes fractions aqueuses des échantillons des aubergines séchées sont rapportés dans les **tableaux IV.12 et IV.13**.

Tableau IV.12 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines violettes pourpres fraîches.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$42,93 \cdot 10^{-04}$	4,77	215,5	-3,35	49,2	132,35	166,3
Pulpe	$92,73 \cdot 10^{-04}$	7,37	461,2	-2,60	-19,0	221,1	480,2
Cortex	$13,84 \cdot 10^{-04}$	10,59	234,3	-5,06	-7,5	113,4	241,8

Tableau IV.13 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines blanches fraîches.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$98,60 \cdot 10^{-4}$	2,17	218,0	-2,24	-7,6	105,2	225,6
Pulpe	$218,13 \cdot 10^{-04}$	4,30	499,6	/	/	249,8	499,6
Cortex	$35,31 \cdot 10^{-04}$	8,00	377,1	-4,03	-50,1	163,5	427,2

On remarque dans les deux tableaux précédents, que les densités des courants des pics d'oxydation du fruit entier, de la pulpe et du cortex de la variété violette pourpre sont plus élevés de ceux de la variété blanche, malgré que leurs concentrations sont moins élevées.

Le **tableau IV.14** rassemble les valeurs des activités antioxydantes totales calculées par la formule (*).

Tableau IV.14 : Activités antioxydantes des fractions aqueuses fraîches (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.

Variété	Partie	Activités antioxydantes (mg AA/g)
QVF	Fruit entier	8,50
	Pulpe	6,13
	Cortex	59,33
QBF	Fruit entier	1,63
	Pulpe	1,50
	Cortex	17,50

Dans l'état frais, c'est la fraction aqueuse du cortex frais qui a montré l'activité antioxydante la plus élevée, suivie du fruit entier frais et enfin la pulpe fraîche. L'activité antioxydante du cortex de la variété violette pourpre (59,33 mg/g) est plus élevée de celle de la variété blanche (17,50 mg/g), l'activité antioxydante du fruit entier de la variété violette pourpre (8,50 mg/g) est plus élevée de celle de la variété blanche (1,63 mg/g) et l'activité antioxydante de pulpe de la variété violette pourpre (6,13 mg/g) est plus élevée de celle de la variété blanche (1,50 mg/g). Ces résultats sont représentés par la **figure IV.19**.

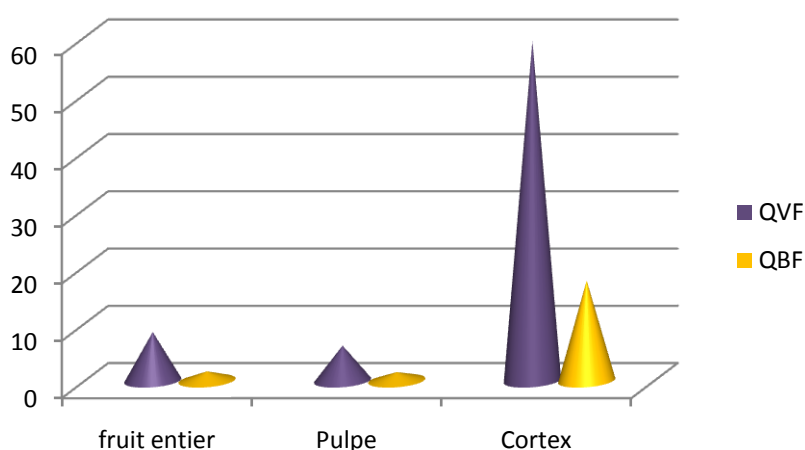


Figure IV.19: Activité antioxydante totale des différentes fractions aqueuses des deux variétés des aubergines fraîches.

IV.5.2.2. Fractions aqueuses des aubergines congelées

Les figures IV.20 et IV.21 représentent les différents voltampérogrammes des différentes parties des aubergines violettes pourpres et blanches congelées.

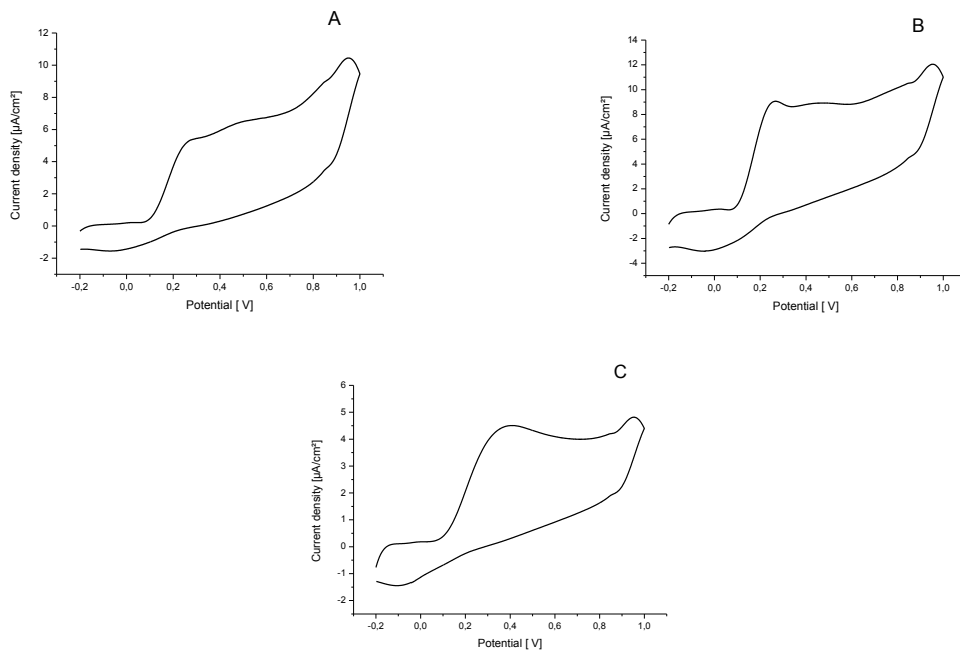


Figure IV.20: Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres congelées du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

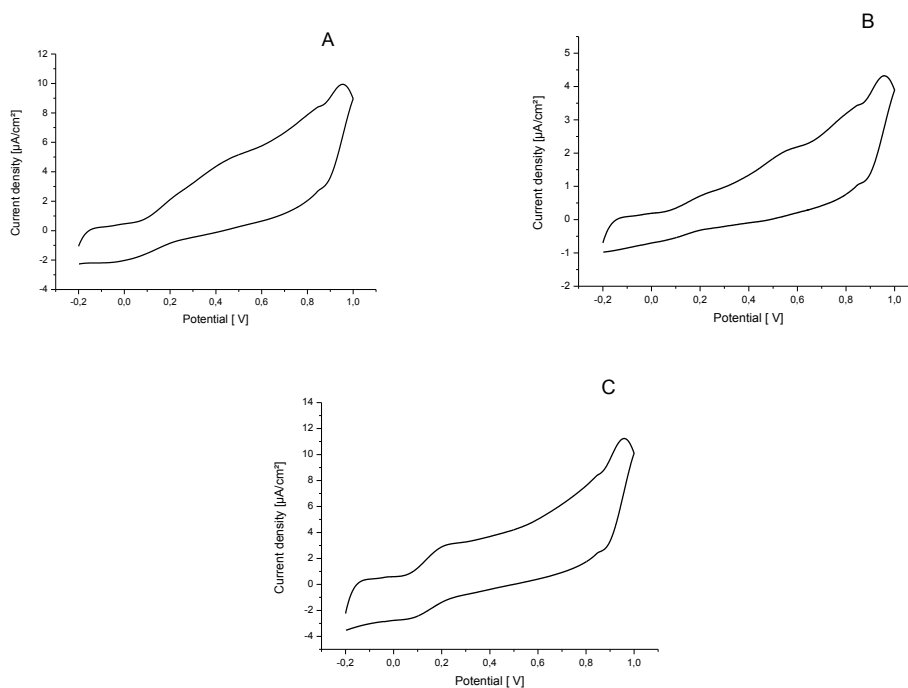


Figure IV.21: Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines blanches congelées du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

IV. Effet du séchage et de la congélation sur l'activité antioxydante et le contenu en polyphénols

Chaque voltampérogramme montre un pic d'oxydation et un pic de réduction. Ce qui traduit un comportement électrochimique réversible, sauf le voltampérogramme de la pulpe de l'aubergine blanche qui n'est pas réversible. Les paramètres électrochimiques des différentes fractions aqueuses des échantillons des aubergines séchées sont rapportés dans les **tableaux IV.15 et IV.16**.

Tableau IV.15 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines violettes pourpres congelées.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$51,09 \cdot 10^{-04}$	5,11	252,2	-1,55	-46,6	102,8	298,8
Pulpe	$46,79 \cdot 10^{-04}$	8,92	247,5	-3,01	-30,2	108,65	277,7
Cortex	$8,53 \cdot 10^{-04}$	4,50	399,6	-1,48	-94,8	152,4	494,4

Tableau IV.16 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines blanches congelées.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$8,72 \cdot 10^{-04}$	6,40	487,0	-1,72	-17,5	234,75	504,5
Pulpe	$52,05 \cdot 10^{-04}$	1,05	208,9	/	/	104,45	208,9
Cortex	$7,46 \cdot 10^{-04}$	2,88	194,5	-2,41	110,1	152,3	84,4

On remarque dans les deux tableaux précédents, que dans le cas de la variété violette pourpre, c'est la fraction aqueuse de la pulpe congelée qui a donnée un pic d'oxydation plus élevée que celui du fruit entier et du cortex congelé, malgré que sa concentration est inférieur à celle du fruit entier. Dans le cas de la variété blanche, c'est le fruit entier congelé qui a donné le pic d'oxydation le plus élevé, malgré que sa concentration est très inférieur à celle de la pulpe congelée.

Le **tableau IV.17** rassemble les valeurs des activités antioxydantes totales calculées par la formule (*).

Tableau IV.17 : Activités antioxydantes des fractions aqueuses congelées (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.

Variété	Partie	Activités antioxydantes (mg AA/g)
QVC	Fruit entier	7,66
	Pulpe	14,76
	Cortex	40,25
QBC	Fruit entier	4,53
	Pulpe	1,40
	Cortex	28,99

Dans l'état congelé, c'est les fractions aqueuses des cortex qui ont montré les activités antioxydantes les plus élevées dans les deux variétés étudiées. Dans la variété violette pourpre, l'activité antioxydante du cortex (40,25 mg/g) est plus élevée de celle de la pulpe (14,76 mg/g), qui est plus élevée que celle du fruit entier (7,66 mg/g). Dans la variété blanche, l'activité antioxydante du cortex (28,99 mg/g) est plus élevée de celle du fruit entier (4,53 mg/g) qui est plus élevée de celle de la pulpe (1,40 mg/g). Ces résultats sont représentés par la **figure IV.22**.

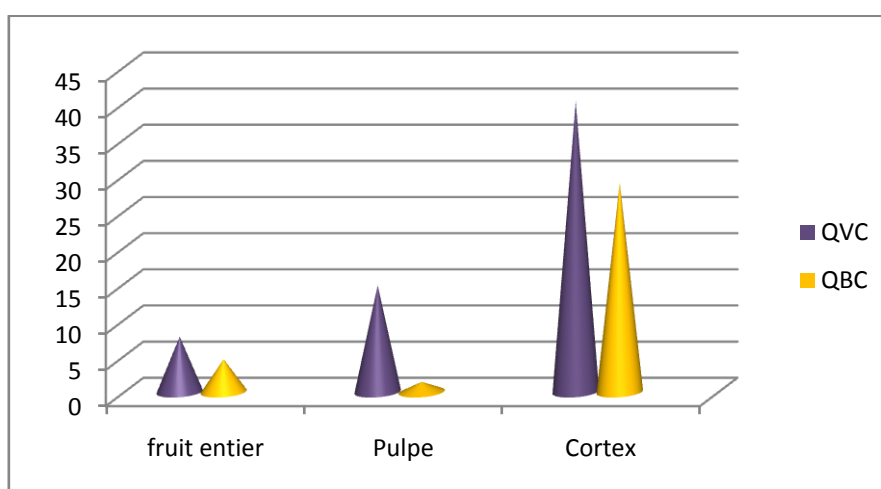


Figure IV.22: Activité antioxydante totale des différentes fractions aqueuses des deux variétés des aubergines congelées.

IV.5.2.3. Fractions aqueuses des aubergines séchées

Les figures IV.23 et IV.24 représentent les différents voltampérogrammes des différentes parties des aubergines violettes pourpres et blanches séchées.

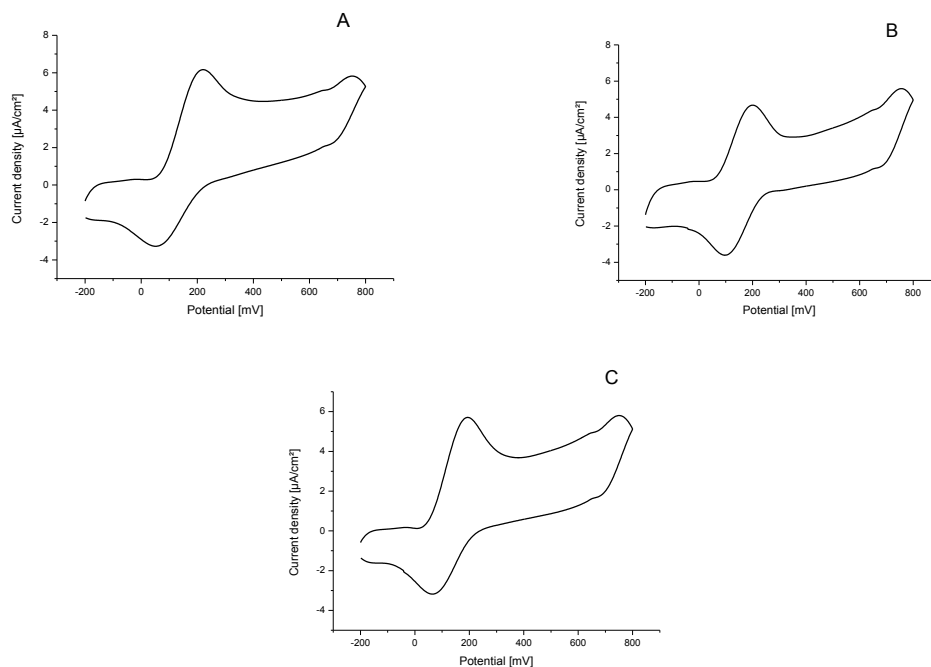


Figure IV.23: Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres séchées du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

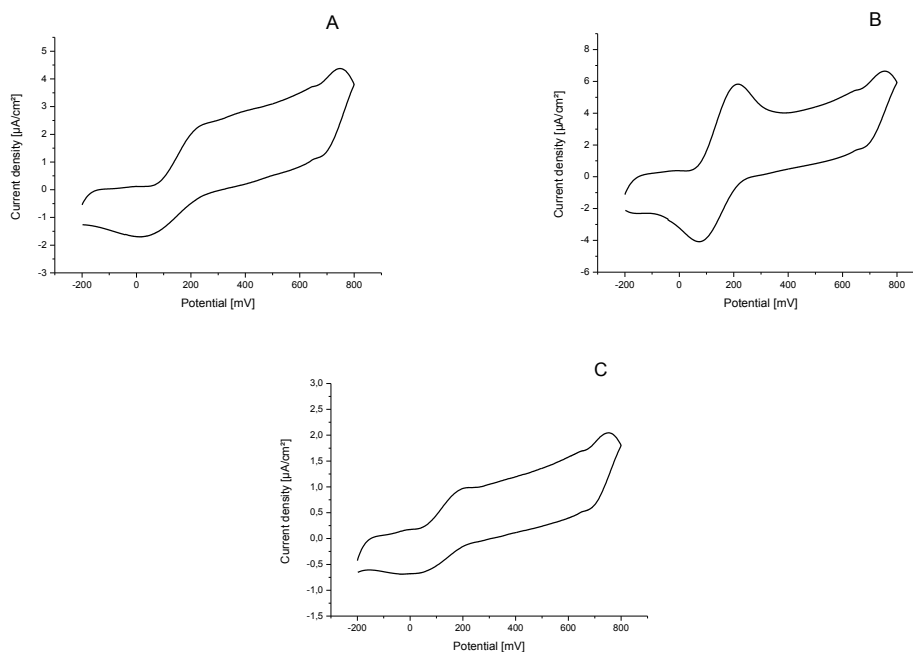


Figure IV.24: Voltampérogrammes cycliques des fractions aqueuses des aubergines blanches séchées du : (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

IV. Effet du séchage et de la congélation sur l'activité antioxydante et le contenu en polyphénols

Chaque voltampérogramme montre un pic d'oxydation et un pic de réduction. Ce qui traduit un comportement électrochimique réversible. Les paramètres électrochimiques des différentes fractions aqueuses des échantillons des aubergines séchées sont rapportés dans les **tableaux IV.18 et IV.19**.

Tableau IV.18 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines violettes pourpres séchées.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$26,6 \cdot 10^{-04}$	6,278	207,4	-3,372	51,30	129,35	156,1
Pulpe	$29,6 \cdot 10^{-04}$	5,0496	191,6	-3,734	108,8	150,2	82,8
Cortex	$7,88 \cdot 10^{-04}$	5,8710	185,3	-3,372	73,71	129,505	111,59

Tableau IV.19 : Paramètres électrochimiques des fractions aqueuses des échantillons des aubergines blanches séchées.

Echantillon	C (g/ml)	$I_{p,a}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,a}$ (mV)	$I_{p,c}$ ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	$E_{p,c}$ (mV)	$\frac{E_{pa} + E_{pc}}{2}$	$ E_{p,c} - E_{p,a} $
Fruit entier	$23,5 \cdot 10^{-04}$	2,283	223,5	-1,738	22,55	123,025	200,95
Pulpe	$16,0 \cdot 10^{-04}$	5,96	210,8	-0,659	32,31	121,555	178,49
Cortex	$2,45 \cdot 10^{-04}$	0,69	172,3	-4,136	80,04	126,17	92,26

Le **tableau IV.20** rassemble les valeurs des activités antioxydantes totales calculées par la formule (*).

Tableau IV.20 : Activités antioxydantes des fractions aqueuses séchées (mg d'acide ascorbique / g d'extrait sec) des parties des deux variétés d'aubergines.

Variété	Partie	Activités antioxydantes (mg AA/g)
QVS	Fruit entier	14,46
	Pulpe	9,87
	Cortex	44,96
QBS	Fruit entier	3,53
	Pulpe	22,62
	Cortex	/

Dans l'état séché, c'est la fraction aqueuse du cortex qui a montré le pouvoir antioxydant le plus élevé. Dans la variété violette pourpre, l'activité antioxydante du cortex (44,96 mg/g) est plus élevée que celle du fruit entier (14,46mg/g), qui est plus élevée que celle de la pulpe (9,87mg/g). Dans la variété blanche, l'activité antioxydante de la pulpe (22,62 mg/g) est plus élevée que celle du fruit entier (3,53 mg/g). La fraction aqueuse du cortex de la variété blanche séchée n'a pas montré un pouvoir antioxydant par cette méthode. Ces résultats sont représentés par la **figure IV.25**.

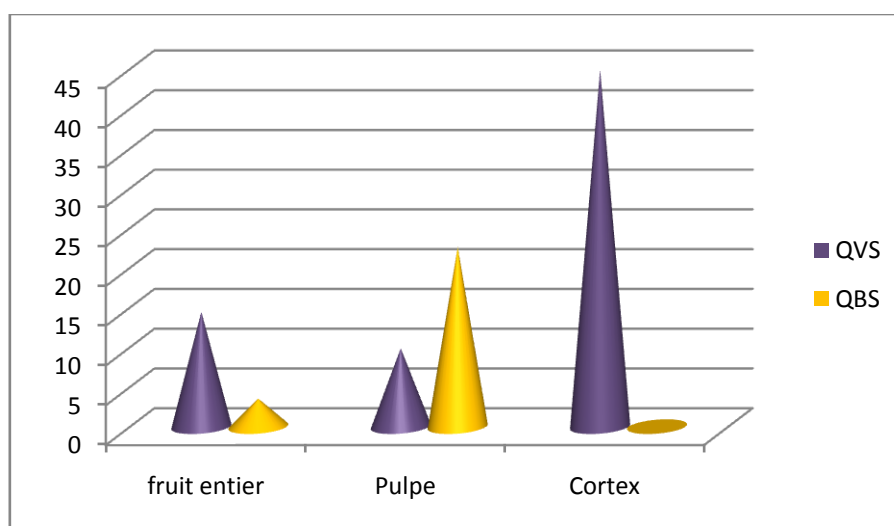


Figure IV.25: Activité antioxydante totale des différentes fractions aqueuses des deux variétés des aubergines séchées

IV.6. Conclusion

Cette partie expérimentale a démontré l'effet in vitro du séchage et de la congélation sur la capacité antioxydante et les teneurs polyphénoliques de deux variétés d'aubergine ; la variété violette pourpre et la variété blanches. D'après les résultats obtenus, il est très clair que la congélation ou le séchage affectent la composition en polyphénols des fruits des aubergines et cela influe par la suite sur l'activité antioxydante.

V. CORRÉLATION



V. Corrélation

Afin de confirmer que l'activité antioxydante des extraits des aubergines revient à leur richesse en composés phénolique, nous avons essayé de trouver une corrélation linéaire entre les valeurs de capacités antioxydantes calculées par les deux méthodes (la méthode du test DPPH et la méthode électrochimique) avec leur contenu en polyphénol totaux.

V.1. Corrélation entre la teneur en polyphénols et l'activité antioxydante mesurée par le test DPPH

V.1.1. Fractions éthanoliques

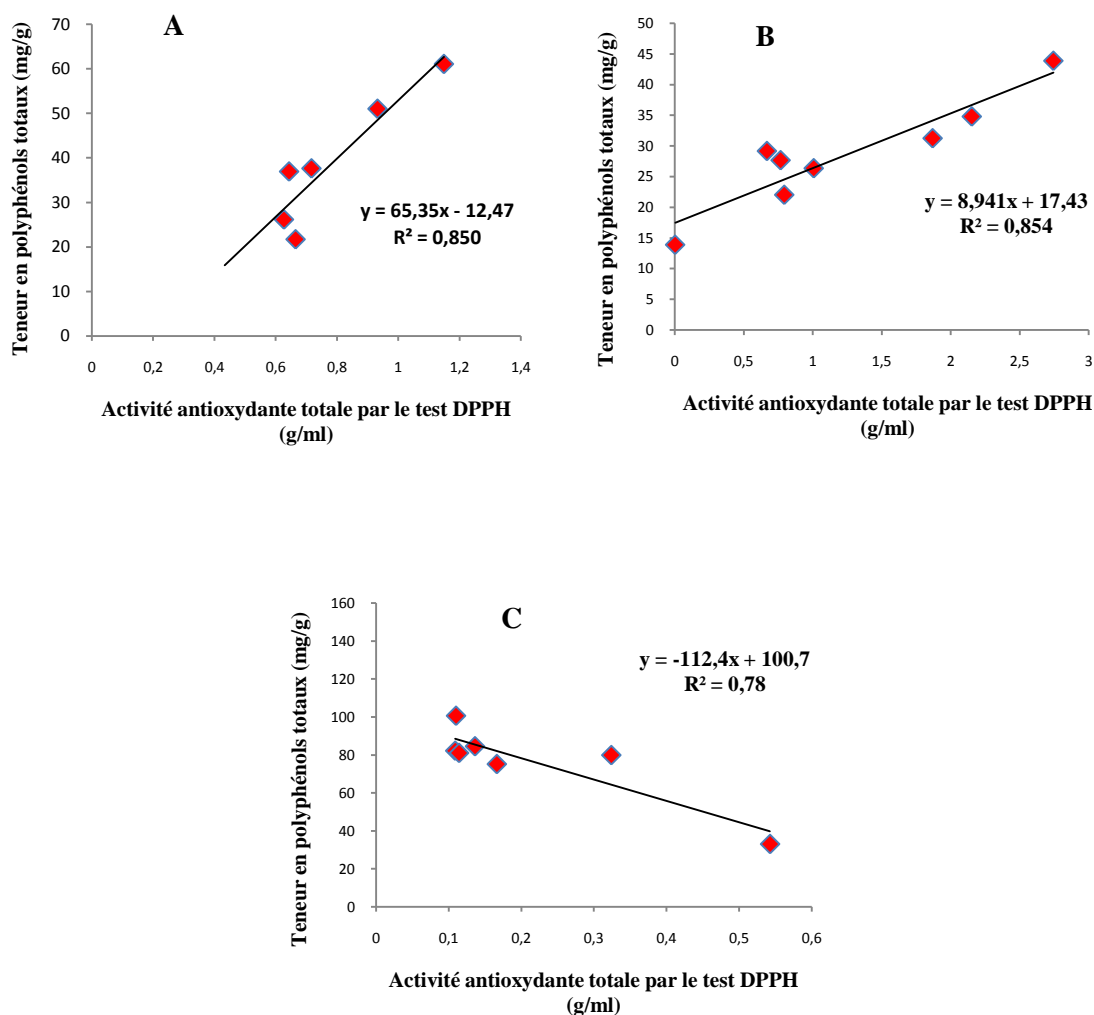


Figure V.1: Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par le test DPPH des fractions éthanoliques du (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

D'après ces tracés, une corrélation significative est observée entre la teneur en polyphénols totaux contenu dans les fractions éthanoliques des différentes partie des aubergines violettes pourpres étudiées (fruit entier, pulpe et cortex) et l'activité antioxydante, mesurée par la méthode du test DPPH, avec les indices de corrélation $R^2=0.850$, $R^2=0.854$ et $R^2=0.78$.

V.1.2. Fractions aqueuses

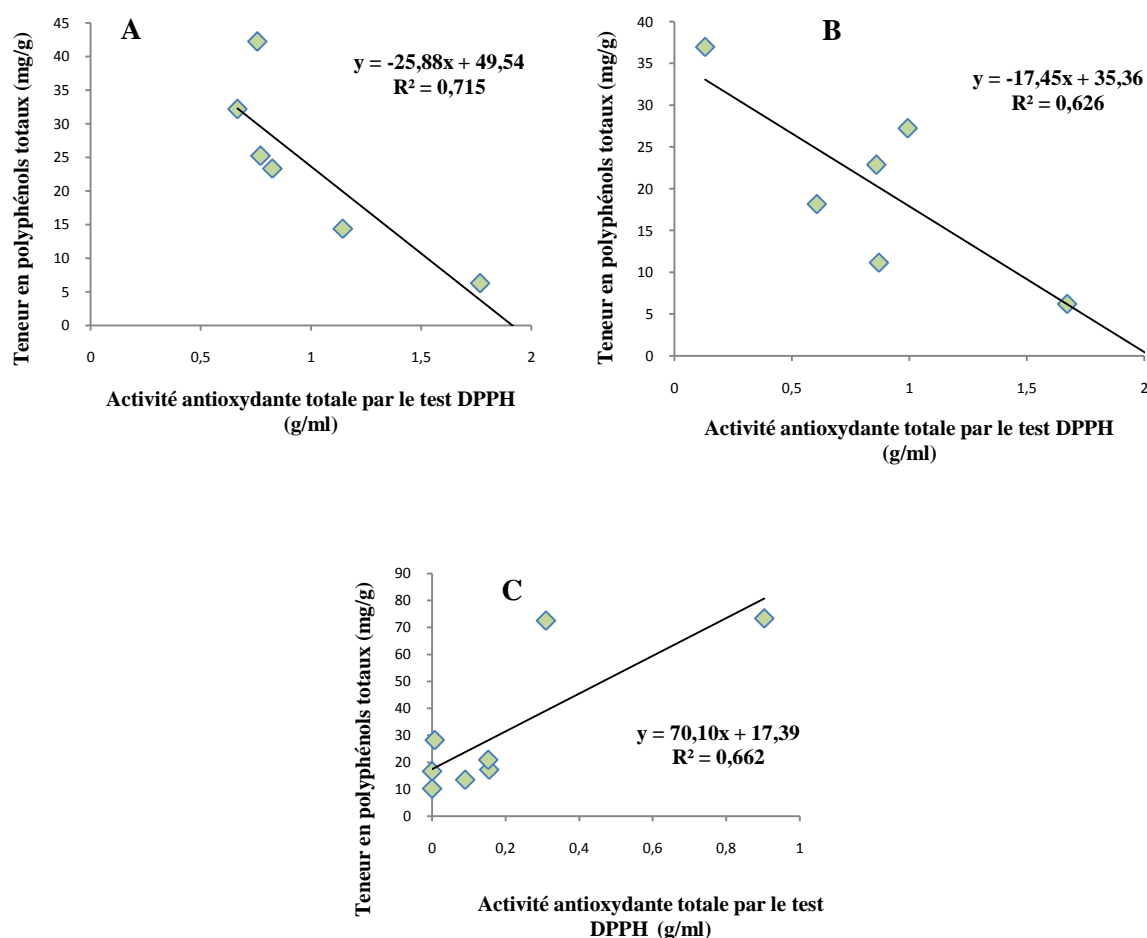


Figure V.2: Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par le test DPPH des fractions aqueuses du (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

D'après ces tracés, une corrélation significative est observée entre la teneur en polyphénols totaux contenu dans les fractions aqueuses des différentes partie des aubergines violettes pourpres étudiées (fruit entier, pulpe et cortex) et l'activité antioxydante, mesurée par la méthode du test DPPH avec les indices de corrélation $R^2=0.715$, $R^2=0.626$ et $R^2=0.662$.

V.2. Corrélation entre la teneur en polyphénols et l'activité antioxydante mesurée par la méthode électrochimique : voltampérométrie cyclique

V.2.1. Fractions éthanoliques

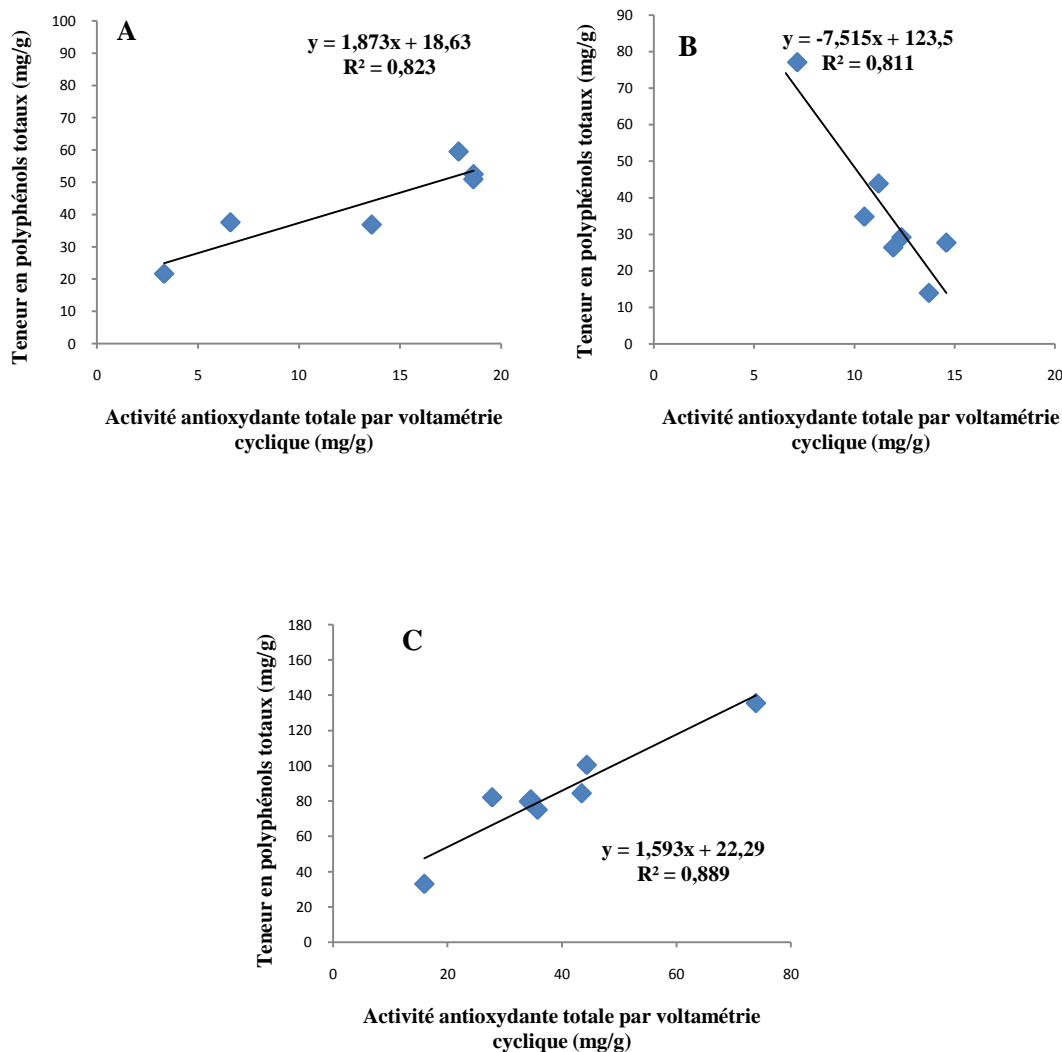


Figure V.3: Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par la méthode électrochimique des fractions éthanoliques du (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

D'après ces tracés, une corrélation significative est observée entre la teneur en polyphénols totaux contenu dans les fractions éthanoliques des différentes parties des aubergines violettes pourpres étudiées (fruit entier, pulpe et cortex) et l'activité antioxydante, mesurée par la méthode électrochimique (technique de la voltampérométrie cyclique), avec les indices de corrélation $R^2 = 0,823$, $R^2 = 0,811$ et $R^2 = 0,889$.

V.2.2. Fractions aqueuses

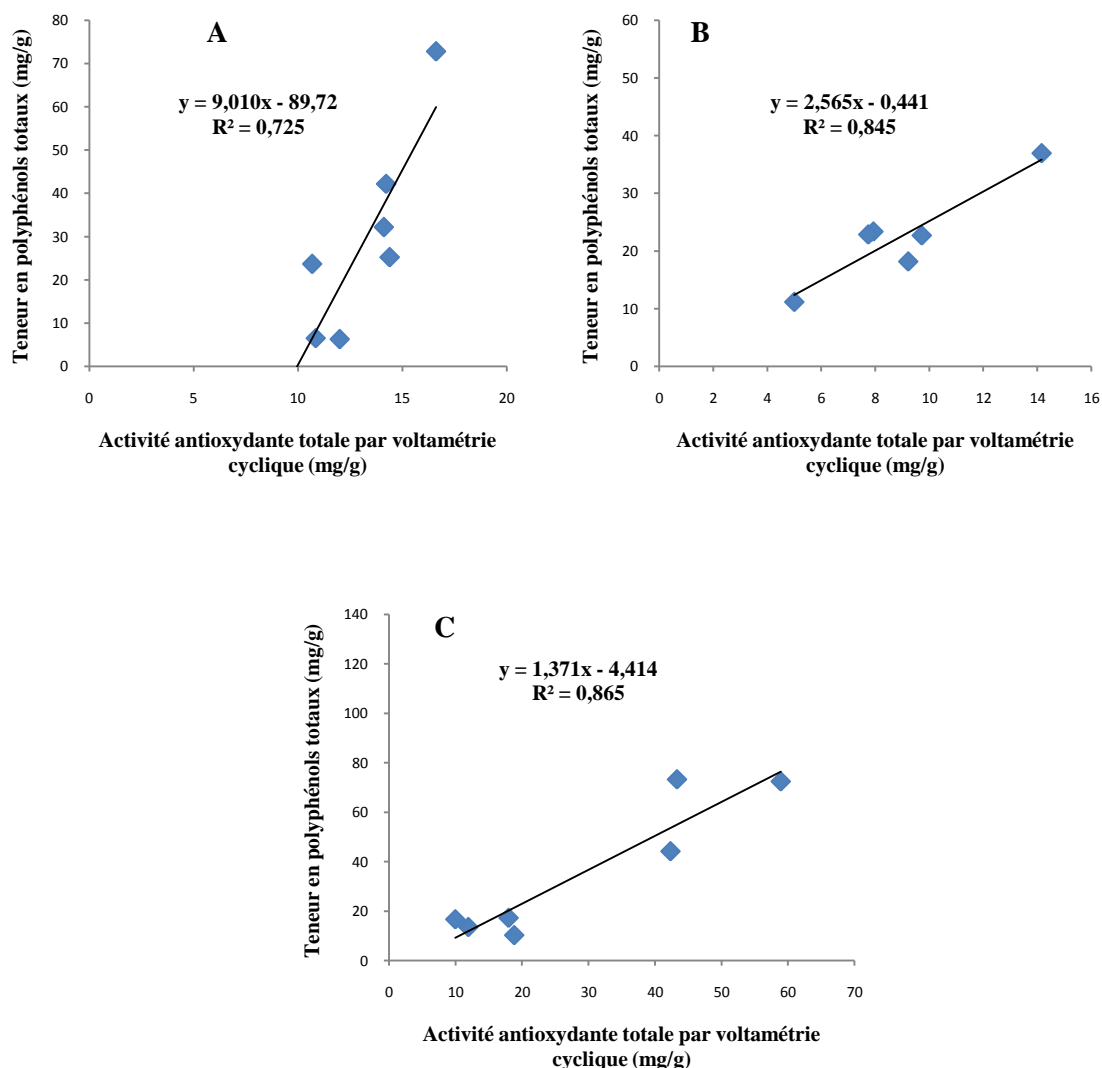


Figure V.4: Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par la méthode électrochimique des fractions aqueuses du (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

D'après ces tracés, une corrélation significative est observée entre la teneur en polyphénols totaux contenu dans les fractions aqueuses des différentes parties des aubergines violettes pourpres étudiées (fruit entier, pulpe et cortex) et l'activité antioxydante, mesurée par la méthode électrochimique (technique de la voltampérométrie cyclique), avec les indices de corrélation $R^2 = 0,725$, $R^2 = 0,845$ et $R^2 = 0,865$.

V.3. Corrélation entre la teneur en polyphénols et l'activité antioxydante des aubergines violettes pourpres et aubergines blanche

V.3.1. Fractions éthanoliques

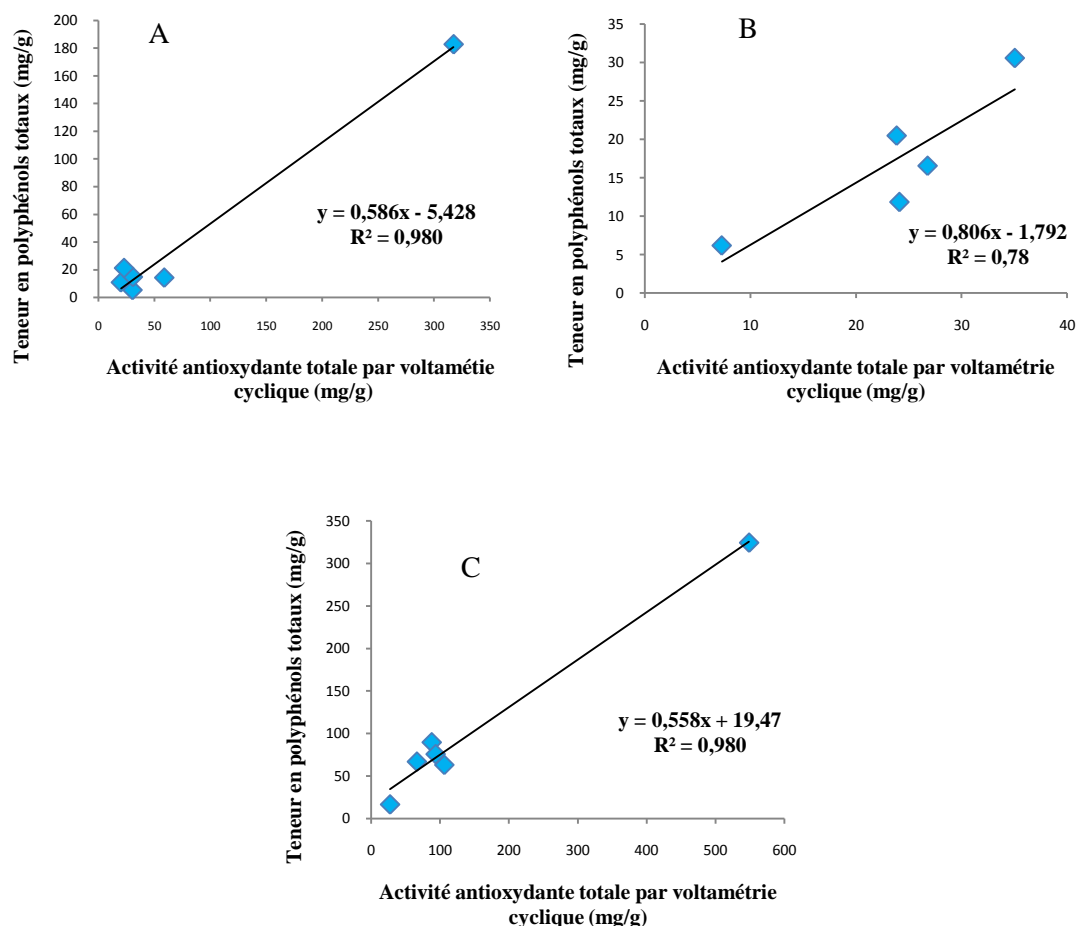


Figure V.5: Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par la méthode électrochimique des fractions éthanoliques des aubergines violettes pourpres et blanches. (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

D'après ces tracés, une corrélation très significative est observée entre la teneur en polyphénols totaux contenu dans les fractions éthanoliques des différentes parties (fruit entier, pulpe et cortex) des aubergines violettes pourpres et blanches étudiées, dans leur état frais, congelé et séché et l'activité antioxydante, mesurée par la méthode électrochimique (technique de la voltampérométrie cyclique), avec les indices de corrélation $R^2 = 0,980$, $R^2 = 0,78$ et $R^2 = 0,980$.

V.3.2. Fractions aqueuses

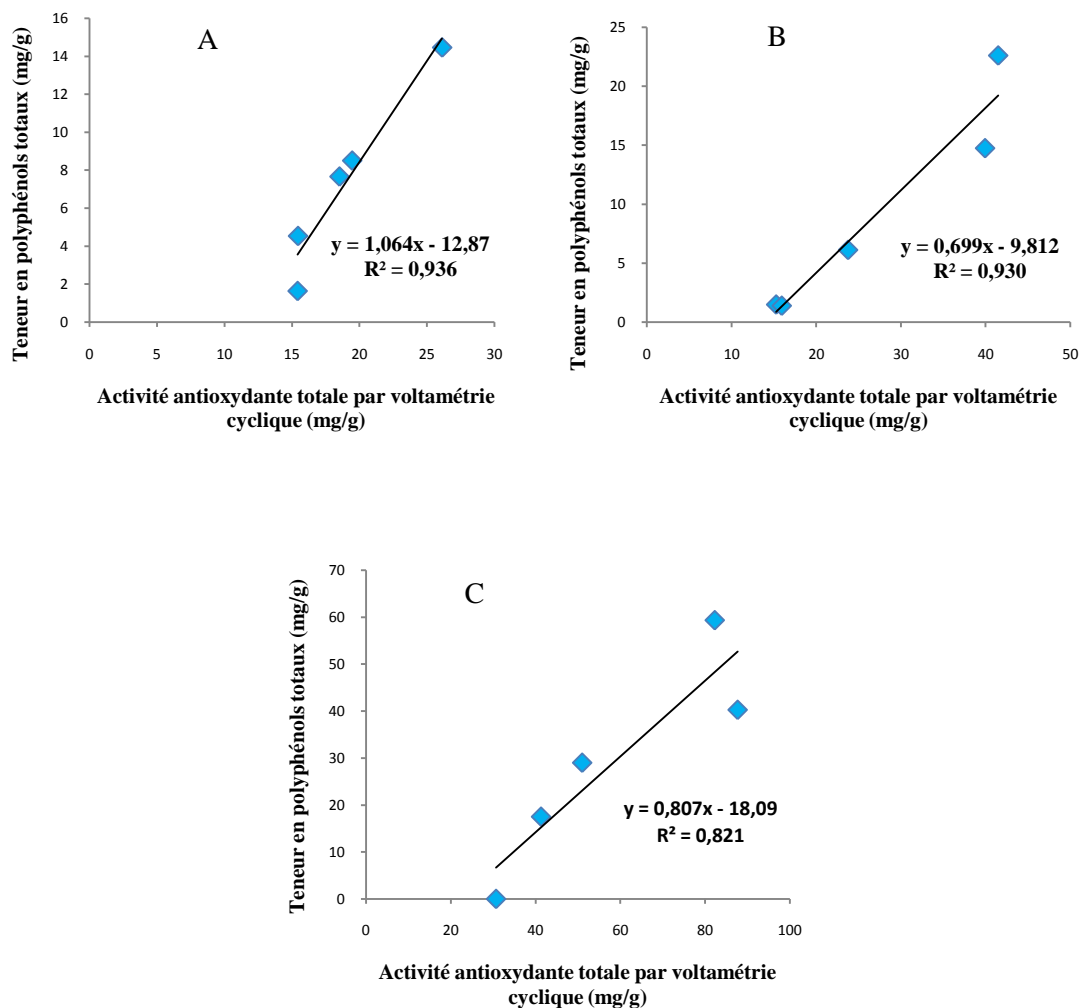


Figure V.6: Corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante mesurée par la méthode électrochimique des fractions aqueuses des aubergines violettes pourpres et blanches. (A) fruit entier, (B) pulpe et (C) cortex.

D'après ces tracés, une corrélation très significative est observée entre la teneur en polyphénols totaux contenu dans les fractions aqueuses des différentes partie (fruit entier, pulpe et cortex) des aubergines violettes pourpres et blanches étudiées, dans leur état frais, congelé et séché et l'activité antioxydante, mesurée par la méthode électrochimique (technique de la voltampérométrie cyclique), avec les indices de corrélation $R^2 = 0.936$, $R^2 = 0.930$ et $R^2 = 0.821$.

V.4. Conclusion

D'après tous les tracés obtenus des différentes fractions éthanoliques et aqueuses des aubergines étudiées, on conclut qu'il y a une forte corrélation entre la teneur en polyphénols totaux et l'activité antioxydante, calculée par deux méthodes différentes. Alors cette corrélation confirme que l'activité antioxydante des aubergines étudiées est due principalement à leur composition phénolique, ce qui est confirmé par les recherches bibliographiques qui ont démontré que les composés phénoliques sont des donneurs puissants de proton dans les légumes et les fruits.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES



Conclusion générale et perspectives

Ce travail de thèse avait pour objectif d'évaluer *in vivo* l'activité antioxydante de dix échantillons d'aubergine violette pourpre, par la méthode électrochimique en utilisant la technique de la voltampérométrie cyclique, ainsi d'étudier l'effet de la congélation et du séchage sur les deux variétés locales, blanche et violette pourpre. Les différentes parties des aubergines ont été étudiées séparément.

Les résultats obtenus pour l'analyse quantitative de la composition phénolique des différentes parties (fruit entier, pulpe et cortex) des dix échantillons, en utilisant le test colorimétrique de Folin Ciocalteu, confirment que ces espèces sont riches en polyphénols et montrent que les cortex des fruits sont les parties les plus riches en polyphénols. Les cortex des fractions éthanoliques et aqueuses de Jijel ($159,37 \pm 68,19$ mg/g) et ($123,35 \pm 44,87$ mg/g) respectivement ont présentés les valeurs les plus élevées. Les conditions environnementales (type de sol, climat) influent sur la composition en polyphénols.

Deux méthodes comparatives sont utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante, la méthode chimique et la méthode électrochimique :

La méthode chimique consiste à l'utilisation du test DPPH, qui est basée sur la réduction du radical libre 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle, cette méthode est indépendante de la polarité du substrat. Les résultats obtenus montrent que les fractions éthanoliques et aqueuses renferment de puissants composés actifs capables de réduire ce radical libre, puisqu'ils agissent à des faibles concentrations. Les valeurs les plus basses des EC50 ont été enregistrées pour les fractions éthanoliques des pulpes des échantillons d'Annaba ($0,0041 \pm 0,0041$ mg/g) et El-Oued ($0,0015 \pm 0,0026$ mg/g) et la fraction aqueuse du cortex d'Alger ($0,0071 \pm 0,0124$ mg/g).

Les résultats obtenus pour la mesure de l'activité antioxydante, en utilisant la technique de la voltampérométrie cyclique, montrent que les fractions éthanoliques et aqueuses des cortex des échantillons étudiés ont présenté les plus grandes valeurs par rapport aux autres parties, les plus grandes valeurs reviennent aux fractions éthanolique et aqueuse d'Annaba avec les valeurs successives ($73,90 \pm 7,76$ mg/g) et ($58,91 \pm 3,92$ mg/g).

L'effet de la congélation et du séchage a été étudié sur les deux variétés locales, la variété violette pourpre et la variété blanche. D'après les résultats obtenus, il est très clair que la congélation ou le séchage affectent la composition en polyphénols des fruits des aubergines et cela influe par la suite sur l'activité antioxydante.

Cette étude a confirmé qu'il y a une concordance entre le contenu phénolique des fractions éthanoliques et aqueuses et leur activité, mesurée par deux méthodes différentes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Messiaen, C.-M., Messiaen-Pagotto, F. (2009).** Le potager familial méditerranéen. *Editions Quæ*, p75.
- [2] **Hamon, S. (2001).** Des modèles biologiques à l'amélioration des plantes. *Editions IRD*, p 189.
- [3] **Loison, M. (2006).** Légumes anciens, Saveurs nouvelles. *Editions France agricole*, p129.
- [4] **Lou, Q., Iovene, M., Spooner, D.M., Buell, C.R. & Jiang, J. (2010).** Evolution of chromosome 6 of *Solanum* species revealed by comparative fluorescence in situ hybridization mapping. *Chromosoma* **119**,435–442.
- [5] **Doganlar, S., Frary, A., Daunay, M.-C., Lester, R.N. & Tanksley, S.D. (2002).** A comparative genetic linkage map of eggplant (*Solanum melongena*) and its implications for genome evolution in the Solanaceae. *Genetics Society of America* **161**, 1697–1711.
- [6] **Doganlar, S., Frary, A., Daunay, M.-C., Lester, R.N. & Tanksley, S.D. (2002).** Conservation of gene function in the Solanaceae as revealed by comparative mapping of domestication traits in eggplant. *Genetics Society of America* **161**, 1713–1726.
- [7] **Nonnecke, L. (1988).** Vegetable Production. *Edition Springer*, p 240.
- [8] **Roychowdhury, R., Roy, S. & Tah, J. (2011).** Estimation of heritable components of variation and character selection in eggplant (*Solanum melongena* L.) for mutation breeding programme. *Continental J. Biological Sciences* **4** (2), 31 - 36.
- [9] **Naujeer, H. B. (2009).** Morphological diversity in eggplant (*Solanum melongena* L.), their related species and wild type conserved at the National gene bank in Mauritius. *Master's thesis. CBM Swedish Biodiversity Center*.
- [10] **Clifford, A. (2001).** Wright, Mediterranean vegetables : A Cook's ABC's of vegetables and their preparation in Spain, France, Italy, Greece, Turkey, the Middle East and North Africa with more than 200 Anth. *Harvard Common Press*, p 131.
- [11] **Marchoux, G., Gognalons, P. & Gébré Sélassié, K. (2008).** Virus des Solanacées. Du génome viral à la protection des cultures. *Editions Quæ*, p 36.
- [12] **Furini, A. & Wunder, J. (2004).** Analysis of eggplant (*Solanum melongena*)-related germplasm: morphological and AFLP data contribute to phylogenetic interpretations and germplasm utilization. *Theor. Appl. Genet.* **108**,197–208.
- [13] **LEBEAU, A. (2010).** Résistance de la tomate, l'aubergine et le piment à *Ralstonia solanacearum* : interactions entre les gènes de résistance et la diversité bactérienne, caractérisation et cartographie des facteurs génétiques impliqués chez l'aubergine. Thèse de DOCTORAT : Université de LA RÉUNION.

- [14] **Richard, A. (1823)**. Botanique médicale, ou histoire naturelle et médicale : des médicaments, des poisons et des aliments, tirés du règne végétal. *Edition Béchet jeune*, volume 1, p 291.
- [15] **Bosser, J. (2000)**. Flore des Mascareignes: 127 Convolvulacées à 135 Acanthacées. *IRD Edition*, p 27-28.
- [16] **Sękara, A., Cebula, S., & Kunicki, E. (2007)**. Cultivated eggplants – origin, breeding objectives and genetic resources. A review. *Folia Horticulturae Ann.* **19** (1), 97-114.
- [17] **Pitrat, M. & Foury, C. (2003)**. Histoires de légumes : Des origines à l’orée du XXI^e siècle, *Editions Quæ*, p 260.
- [18] **Meyer, R. S., Karol, K. G., Little, D. P., Nee, M. H. & Litt, A. (2012)**. Phylogeographic relationships among asian eggplants and new perspectives on eggplant domestication. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **63**, 685–701.
- [19] **Publishers, B. (2004)**. Ressources végétales de l’Afrique tropicale, volume2, *Édition PROTA*, p 548-549.
- [20] **Dufour, A. & Delaleu, I. (2012)**. Le régime Portfolio anticholestérol : Les bonnes combinaisons alimentaires 100% minceur et antifrangales, *Edition Leduc.s*, p 70.
- [21] **Bader, M. H. (2010)**. The wizard of food’s encyclopedia of kitchen and cooking secrets, *Strategic Book Publishing*, p 258.
- [22] **QA International collectif, Québec Amérique. (2008)**. Le Mini Encyclopédie des Aliments : Achat, préparation, utilisation, cuisson, conservation, valeur nutritive, techniques culinaires illustrées. *Québec Amérique*. p 38.
- [23] **Jacques, F. (2007)**. Cuisiner vite et bon : la bonne cuisine minceur. *Edition Odile Jacob*, p 258.
- [24] **Nyabyenda, P. (2005)**. Les plantes cultivées en régions tropicales d’altitude d’Afrique : généralités, légumineuses alimentaires, plantes à tubercules et racines, céréales. *Presses Agronomiques de Gembloux*, volume 1, p 197.
- [25] **Élisabeth, C. & Millet, R. (1884)**. Maison rustique des dames, *Edition Librairie agricole de La Maison rustique*, volume 2, p 301. Numérisé en 2009.
- [26] **Mappa, D. (2010)**. Les productions légumières : Cahiers d’activités, *Edition Educagri*, p 59.
- [27] **Munro, D. B. & Munro Ernest Small, D. B. (1998)**. Les légumes du Canada, *Edition NRC Research Press*, p 348.
- [28] **Murray, M. T. & Pizzorno, J. (2010)**. The condensed encyclopedia of healing foods, *Simon and Schuster Edition*.

- [29] Peterson, F. J., Organics, A., Freeman, L. L., & John, F. (2006). Farmer John's Cookbook: The Real Dirt on Vegetables. *Edition Gibbs Smith*, p 340.
- [30] Mandal, S. (2010). Induction of phenolics, lignin and key defense enzymes in eggplant (*Solanum melongena* L.) roots in response to elicitors, *African Journal of Biotechnology* 9(47), 8038-8047.
- [31] Luthria, D., Singh, A. P., Wilson, T., Vorsa, N., Banuelos, G. S. & Vinyard, B. T. (2010). Influence of conventional and organic agricultural practices on the phenolic content in eggplant pulp: Plant-to-plant variation. *Food Chemistry* 121, 406–411.
- [32] Fenster, M. S. (2012). Eating well, Living better : The grassroots gourmet guide to good health and great food, *Rowman and Littlefield Publishers*, p 132.
- [33] Marinova, E. M., Toneva, A. & Yanishlieva, N. (2009). Comparison of the antioxidative properties of caffeic and chlorogenic acids. *Food Chemistry* 114, 1498-1502.
- [34] Terry, A. L. (2011). Health-Promoting Properties of Fruits and Vegetables, *Edition CABI*, p 336.
- [35] Singh, A. P., Luthria, D., Wilson, T., Vorsa, N., Singh, V., Banuelos, G. S. & Pasakdee, S. (2009). Polyphenols content and antioxidant capacity of eggplant pulp. *Food Chemistry* 114, 955–961.
- [36] Chatterjee, D., Jadhav, N. T. & Bhattacharjee, P. (2013). Solvent and supercritical carbon dioxide extraction of color from eggplants : Characterization and food applications. *LWT. Food Science and Technology* 51, 319-324.
- [37] Li, H., Deng, Z., Zhu, H., Hu, C., Liu, R., Young, J. C. & Tsao, R. (2012). Highly pigmented vegetables: Anthocyanin compositions and their role in antioxidant activities. *Food Research International* 46, 250–259.
- [38] Kong, J.-M., Chia, L.-S., Goh, N.-K., Chia, T.-F. & Brouillard, R. (2003). Analysis and biological activities of anthocyanins. *Phytochemistry* 64, 923–933.
- [39] Noda, Y., Kaneyuki, T., Igarashi, K., Mori, A., & Packer, L. (1998). Antioxidant activity of nasunin, an anthocyanin in eggplant. *Res. Commun Mol. Pathol. Pharmacol.* 102(2), 175-87.
- [40] Binkley-Childress, P. (2011). Eden's Way: The Garden's Path to Wellness. *Edition Strategic Book Publishing*, p 44.
- [41] Sadilova, E., Stintzing, F.C. & Carle, R. (2006). Anthocyanins, colour and Antioxydant Properties of Eggplaant (*Solanum melongena* L.) and violet Pepper (*Capsicum annuum* L.) Peel Extracts, *Z. Naturforsch.* 61c, 527-535.
- [42] Aubert, S., Daunay, M.C. & Pochard, E. (1989). Saponosides stéroïdiques de l'aubergine (*Solanum melongena* L.) I. Intéret alimentaire, méthodologie d'analyse, localisation dans le fruit. *Agronomie* 9 (7), 641-651.

- [43] Pażkowski, C., Kalinowska, M. & Wojciechowski, Z. A. (2001). Phospholipids modulate the substrate specificity of soluble UDP-glucose:steroid glucosyltransferase from eggplant leaves. *Phytochemistry* **58** (5), 663-669.
- [44] Christer A., Nordisk M. & Nordisk R. (1999). Glycoalkaloids in tomatoes, eggplants, pepper and two Solanum species growing wild in the Nordic countries, *Nordic Council of Ministers*, p 65.
- [45] Mahmood, W. A., Sultan, S. H. & Hamza, S. R. (2009). Extraction and characterization of polyphenol oxidase from apricot, apple, eggplant and potato, Mesopotamia. *J. of Agric.* **37** (4). ISSN 1815-316X.
- [46] Concellon, A., Anon, M.C. & Chaves, A. R. (2004). Characterization and changes in polyphenol oxidase from eggplant fruit (*Solanum melongena* L.) during storage at low temperature. *Food Chemistry* **88**, 17-24.
- [47] Macheix, J.-J., Fleuriot, F. & Jay-Allemand, C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux : Un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. *PPUR presses polytechniques*, p 134.
- [48] Mishra, B. B., Gautam, S. & Sharma, A. (2012). Purification and characterization of polyphenol oxidase (PPO) from eggplant (*Solanum melongena*). *Food Chemistry* **134**, 1855-1861.
- [49] Ali, H. S., Ramadan, M. T., Ragab, G. H., Kamil, M. M. & Eissa, H. A. (2011). Optimizing browning capacity of eggplant rings during storage before frying. *Journal of American Science* **7** (6), 579-592.
- [50] Mishra, B. B., Gautam, S. & Sharma, A. (2012). Browning of fresh-cut eggplant: Impact of cutting and storage. *Postharvest Biology and Technology* **67**, 44-51.
- [51] Barbagallo, R. N., Chisarib, M. & Patane, C. (2012). Use *In Vivo* of Natural anti-browning agents against polyphenol oxidase activity in minimally processed eggplant, *Chemical Engineering Transactions* **27**, 49-54.
- [52] Concellon, A., Anon, M.C. & Chaves, A. R. (2007). Effect of low temperature storage on physical and physiological characteristics of eggplant fruit (*Solanum melongena* L.). *L.W.T.* **40**, 389-396.
- [53] Concellon, A., Zaroa, M.J., Chaves, A. R. & Vicente, A. R. (2012). Changes in quality and phenolic antioxidants in dark purple American eggplant (*Solanum melongena* L. cv. Lucia) as affected by storage at 0 °C and 10 °C. *Postharvest Biology and Technology* **66**, 35-41.
- [54] Food and Agriculture Organization. (2010).
- [55] Nisha, P., Abdul Nazar, P. & Jayamurthy. P. (2009). A comparative study on antioxidant activities of different varieties of *Solanum melongena*. *Food and Chemical Toxicology* **47**, 2640-2644.

- [56] **Todaro, A., Cimino, F., Rapisarda, P., Catalano, A.E., Barbagallo, R. N. & Spagna G. (2009).** Recovery of anthocyanins from eggplant peel. *Food Chemistry* **114**, 434–439.
- [57] **Noda, Y., Kneyuki, T., Igarashi, K., Mori, A. & Packer, L. (2000).** Antioxidant activity of nasunin, an anthocyanin in eggplant Peels. *Toxicology* **148**, 119–123.
- [58] **Yoshikawa, K., Inagaki, K., Terashita, T., Shishiyama, J., Kuo, S. & Shankel, D. M. (1996).** Antimutagenic activity of extracts from Japanese eggplant. *Mutation Research* **371**, 65-71.
- [59] **Selena, C. (2008).** Mes petites soupes magiques : Fraîches, désaltérantes, ces soupes « nouvelle génération » sauront égayer déjeuners ou dîner d'une touche originale et colorée. *Leduc.s Éditions*, p32.
- [60] **Lacoste, S. (2012).** Ma bible des trucs de santé : La bible de tous les trucs qui marchent pour se soigne. *Leduc.s Éditions*, p17.
- [61] **Brigitte, M. (2009).** Rawsome! : Maximizing Health, Energy, and Culinary Delight With the Raw Foods Diet. *ReadHowYouWant Edition*, p 154-155.
- [62] **Kahlon, T. S., Chiu, M.-C. M. & Chapman, M. H. (2007).** Steam cooking significantly improves in vitro bile acid binding of beets, eggplant, asparagus, carrots, green beans, and cauliflower. *Nutrition Research* **27**, 750–755.
- [63] **Mouawad, C. (2007).** Transfert de matière dans un système solide / liquide « ions/eau/pectine » : Intéractions, partage ionique et simulation par dynamique moléculaire. Thèse de Doctorat : Institut national polytechnique de LORRAINE.
- [64] **Waksmundzka-Hajnos, M. & Sherma, J. (2011).** High Performance Liquid Chromatography in Phytochemical ience. *Chromatographic Science Series*, 477-478.
- [65] **Dai, J. & Mumper, R. J. (2010).** Plant Phenolics : Extraction, Analysis and Their Antioxydant and Anticancer Propreties. *Molecules* **15**(10), 7313-52.
- [66] **Visioli, F., Borsani, L. & Galli, C. (2000).** Diet and prevention of coronary heart disease: the potential role of Phytochemicals. *Cardiovascular Research* **47**, 419–425.
- [67] **HOFFMANN, L. (2003).** Etude du métabolisme des phénylpropanoïdes; analyse de l'interaction de la caféoyl-coenzyme A 3-O-méthyltransférase (CCoAOMT) avec son substrat et caractérisation fonctionnelle d'une nouvelle acyltransférase, l'HydroxyCinnamoyl-CoA : shikimate/quinate hydroxycinnamoyl Transférase (HCT). Thèse de Doctorat : Université de LOUIS PASTEUR-STRASBOURG I.
- [68] **BRUNETON, J. (1999).** Pharmacognosie : Phytochimie, Plantes médicinale. *Edition Technique et documentation*, p233.
- [69] **Cheynier, V. (2005).** Polyphenols in foods are more complex than often thought¹⁻³. *Am. J. Clin. Nutr.* **81** (suppl), 223S-229S.

- [70] **Ghasemzadeh, A. & Ghasemzadeh, N. (2011).** Flavonoids and phenolic acids: Role and biochemical activity in plants and human. *Journal of Medicinal Plants Research* **5** (31), 6697-6703.
- [71] **Wilfred, V. & Nicholson, R. L. (2008).** Phenolic Compound Biochemistry. *Springer Edition*, p 82.
- [72] **Atta-ur-Rahman. (2003).** Studies in natural products chemistry, volume 28, Bioactive natural products (Part I). *Edition Elsevier Science B. V.*, p 652.
- [73] **AKROUM S. (2010).** Etude Analytique et Biologique des Flavonoïdes Naturels. Thèse de Doctorat : Université MENTOURI de CONSTANTINE-ALGERIE.
- [74] **Hoffmann, D. (2003).** Medical Herbalism : The Science and Practice of Herbal Medicine. *Edition Inner Traditions / Bear & Co.*, p 90.
- [75] **Pincemail, J., Degruene, F., Voussure, S., Malherbe, C., Paquot, N. & Defraigne, J.-O. (2007).** Effet d'une alimentation riche en fruits et légumes sur les taux plasmatiques en antioxydants et des marqueurs des dommages oxydatifs. *Nutrition clinique et métabolisme* **21**, 66–75.
- [76] **CHANFORAN, C. (2010).** Stabilité de microconstituants de la tomate (composés phénoliques, caroténoïdes, vitamines C et E) au cours des procédés de transformation : études en systèmes modèles, mise au point d'un modèle stoechio-cinétique et validation pour l'étape unitaire de préparation de sauce tomate. Thèse de Doctorat : Université D'AVIGNON et des PAYS de VAUCLUSE.
- [77] **De La Rosa, L. A., Alvarez-Parrilla, E. & Gonzalez-Aguilar, G. A. (2009).** Fruit and vegetable phytochemicals : Chemistry, Nutritional value and stability. *Edition John Wiley and Sons*, p 73.
- [78] **Crozier, A., Clifford, M. N. & Ashihara, H. (2008).** Plant secondary metabolites : Occurrence, structure and role in the human diet. *Edition John Wiley and Sons*, p 321.
- [79] **BELKHEIRI, N. (2010).** Dérivés phénoliques à activités antiathérogènes. Thèse de Doctorat : Université de TOULOUSE.
- [80] **JEAN-DENIS, J. B. (2005).** Caractérisation de polyphénols stilbéniques et de dérivés induits ou constitutifs de la vigne impliqués dans sa défense contre l'agent pathogène du mildiou de la vigne, *Plasmopara viticola* (Berk. and Curt.). Thèse de Doctorat : Université de NEUCHÂTEL.
- [81] **Sun, B., Ribes, A. M., Leandro, M. C., Belchior, A. P. & Spranger, M. I. (2006).** Stilbenes: Quantitative extraction from grape skins, contribution of grape solids to wine and variation during wine maturation. *Analytica Chimica Acta* **563**, 382–390.
- [82] **DEMELIN, E. (2012).** Le raisin et ses applications thérapeutiques. Thèse de Doctorat : Université de LIMOGES.
- [83] **Hopkins, W. G. (2003).** Physiologie végétale. *De Boeck Supérieur*, p 280.

- [84] Peterson, J., Dwyer, J., Adlercreutz, H., Scalbert, A., Jacques, P. & McCullough, M. L. (2010). Dietary lignans: physiology and potential for cardiovascular disease risk reduction. *Nutr. Rev.* **68**(10), 571–603.
- [85] Sainvitu, P., Nott, K., Richard, G., Blecker, C., Jérôme, C., Wathélet, J.-P., Paquot, M. & Deleu, M. (2012). Structure, properties and obtention routes of flaxseed lignan secoisolariciresinol: a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* **16**(1), 115-124.
- [86] MUANDA, F. N. (2010). Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques. Thèse de Doctorat : Université PAUL VERLAINE-METZ.
- [87] Descheemaeker, K. (2003). Nutri-et Phytothérapie : Developpements Recents. *Edition Garant*, page 12, 46.
- [88] Lacy, A. & O’Kennedy, R. (2004). Studies on Coumarins and Coumarin-Related Compounds to Determine their Therapeutic Role in the Treatment of Cancer. *Current Pharmaceutical Design* **10**, 3797-3811.
- [89] Ghedira, K. (2005). Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytotherapie* **3**(4), 162-169.
- [90] Tapas, A. R., Sakarkar, D. M. & Kakde, R. B. (2008). Flavonoids as Nutraceuticals: A Review. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research* **7** (3), 1089-1099.
- [91] D’Archivio, M., Filesi, C., Di Benedetto, R., Gargiulo, R. Giovannini, C. & Masella, R. (2007). Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Ann. Ist. Super Sanità* **43**(4) 348-361.
- [92] Sadasivam, S. & Thayumanavan, B. (2003). Molecular host plant resistance to pests. Volume 96 de Books in soils, plants and the environment. *CRC Press*, p221.
- [93] Fraga, C. G. (2009). Plant phenolics and human health : Biochemistry, Nutrition, and Pharmacology. *John Wiley & Sons Edition*, pp 5-13.
- [94] Portet, B. (2007). Recherche bioguidée de molécules antipaludiques d’une plante guyanaise *Piper hostmannianum* var. *berbicense*. Thèse de Doctorat : Université de TOULOUSE.
- [95] Tomas-Barberan, F. A., Ferreres, F. & Gil, M. L. (2000). Antioxidant phenolic metabolites from fruit and vegetables and changes during postharvest storage and processing. *Atta-ur-Rahman (Ed.) Studies in Natural Products Chemistry*, Vol. 23, p747.
- [96] Del Rio, D., Stalmach, A., Calani, L. & Crozier, A. (2010). Bioavailability of coffee chlorogenic acids and green tea flavan-3-ols. *Nutrients* **2**, 820-833.
- [97] BOUHEROUM, M. (2007). Etude phytochimique des plantes médicinales algériennes : *Rhantherium adpressum* et *Ononis angustissima*. Thèse de Doctorat : Université MENTOURI de CONSTANTINE-ALGERIE.

- [98] Kerio, L. C., Wachira, F. N., Wanyoko, J. K. & Rotich, M. K. (2012). Characterization of anthocyanins in Kenyan teas: Extraction and identification. *Food Chemistry* **131**, 31–38.
- [99] Shipp, J. & Abdel-Aal, El-S. M. (2010). Food Applications and Physiological Effects of Anthocyanins as Functional Food Ingredients. *The Open Food Science Journal* **4**, 7-22.
- [100] Vierling, E. (2008). Aliments et boissons : filières et produits. *Wolters Kluwer France Edition*, p 153.
- [101] Roux, D. & Catier, O. (2007). Botanique, Pharmacognosie et Phytothérapie. *Wolters Kluwer France Edition*, p 74.
- [102] Pénicaud, C. (2009). Etude et modélisation du couplage entre le transfert d'oxygène et les réactions d'oxydation dans les aliments au cours de leur conservation. Thèse de Doctorat : Université de MONTPELLIER II.
- [103] Jarrige, R. & Ruckebusch, Y. (1995). Nutrition des ruminants domestiques : Ingestion et digestion. *Editions Quae*, p 57.
- [104] Collin, S. & Crouzet, J. (2011). Agence universitaire de la francophonie. Polyphénols et procédés : Transformation des polyphénols au travers des procédés appliqués à l'agro-alimentaire. *Edition Lavoisier*, p 13.
- [105] Wollgast, J. & Anklam, E. (2000). Review on polyphenols in *Theobroma cacao*: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International* **33**, 423 - 447.
- [106] Dykes, L. & Rooney, L. W. (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of cereal Sciences* **44**, 236 - 241.
- [107] Bénard, C. (2009). Etude de l'impact de la nutrition azotée et des conditions de culture sur le contenu en polyphénols chez la tomate. Thèse de Doctorat : Université de NANCY.
- [108] Dicko, M. H., Gruppen, H., Traoré, A. S., Voragen, A. G. J. & Van Berkel, W. J. H. (2006). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of sorghum for food use. *Biotechnology and Molecular Biology Review* **1** (1), 21-38.
- [109] Robert, D. & Catesson, A. M. (2000). Biologie végétale : caractéristiques et stratégie évolutives des plantes. Organisation végétative. *Wolters Kluwer France Edition*, Volume2, p 320.
- [110] NKHILI, Ez-Z. (2009). Polyphénols de l'Alimentation : Extraction, Intéractions avec les ions du fer et du cuivre, Oxydation et Pouvoir antioxydant. Thèse de Doctorat : Université de CADI AYYAD – MARRAKECH.
- [111] Rabasso, N. (2006). Chimie organique : Généralités, études des grandes fonctions et méthodes spectroscopiques, *Edition De Boeck Supérieur*, p 79.
- [112] Christophe, P. & Christophe S. (2011). Physiologie, pathologie et thérapie de la reproduction chez l'humain. *Edition Springer*, p 84.

- [113] **Papazian, L. & Roch, A. (2008).** Le syndrome de détresse respiratoire aiguë, *Edition Springer*, p 153.
- [114] **Poirier, J. (2004).** L'indispensable pour vivre en santé, *Edition Merlin*, p 72.
- [115] **Massy, Z. (2006).** Le cholestérol : le suivi du patient à l'officine. *Wolters Kluwer France Edition*, p 66.
- [116] **Chatard, J.-C. (2003).** Biologie et médecine du sport : Lutter contre le dopage en gérant la récupération physique. *Edition Université de Saint-Etienne*, p 157.
- [117] **Médart, J. (2009).** Manuel pratique de nutrition: L'alimentation préventive et curative. *Editions De Boeck Supérieur*, p 49.
- [118] **Goudable, J. & Favier, A. (1997).** Radicaux libres oxygénés et antioxydants. *Nutrition Clinique et Métabolisme* **11**,115-120.
- [119] **Edeas, M. (2005).** Les secrets de santé du thé : c'est naturel, c'est ma santé. *Alpen Editions s.a.m.*, p 18.
- [120] **Ichai, C., Quintard, H. & Orban, J.-C. (2011).** Désordres métaboliques et réanimation : de la physiopathologie au traitement, *Edition Springer*, p 427.
- [121] **Koechlin-Ramonatxo, C. (2006).** Oxygène, stress oxydant et suppléments antioxydants ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires. *Nutrition clinique et métabolisme* **20**, 165–177.
- [122] **Al-Mamun, M., Yamaki, K., Masumizu, T., Nakai, Y., Saito, K., Sano, H. & Tamura, Y. (2007).** Superoxide anion radical scavenging activities of herbs and pastures in northern japan determined using electron spin resonance spectrometry. *Int. J. Biol. Sci.* **3**, 349-355.
- [123] **Jadot, G. (1994).** Antioxydants et vieillissement, *Edition John Libbey Eurotext*, p 35.
- [124] **Karp, G. (2010).** Biologie cellulaire et moléculaire : Concepts and experiments. *Edition De Boeck Supérieur*, p 35.
- [125] **Lacolley, P. (2007).** Biologie et pathologie du cœur et des vaisseaux. *Edition John Libbey Eurotext*, p 312.
- [126] **Moussard, C. (2006).** Biochimie structurale et métabolique, *Edition De Boeck Supérieur*, p 336.
- [127] **Beaudeau, J.-L., Delattre, J., Therond, P., Bonnefont-Rousselot, D., Legrand, A. & Peynet, J. (2006).** Le stress oxydant, composante physiopathologique de l'athérosclérose. *Immuno-analyse & Biologie spécialisée* **21**, 144–150.
- [128] **Kirsh, M. & De Groot, H. (2002).** Formation of peroxynitrite from reaction of nitroxyl anion with molecular oxygen. *Journal of Biological Chemistry* **277**(16), 13379-13388.

- [129] **De Robertis, E. D. P. & De Robertis, E. M. F. (1983).** Biologie cellulaire et moléculaire. *Presses Université Laval*, p 287.
- [130] **Turrens, J. F. (1997).** Superoxide production by the mitochondrial respiratory chain. *Bioscience Reports* **17**(1), 3-8.
- [131] **Guidot, D. M., Repine, J. E., Kitlowski, A. D., Flores, S. C., Nelson, S. K., Wright, R. M. & McCord, J. M. (1995).** Mitochondrial respiration scavenges extramitochondrial superoxide anion via a nonenzymatic mechanism. *The Journal of Clinical Investigation* **96**, 1131-1136.
- [132] **Hadj Salem, J. (2009).** Extraction, Identification, caractérisation des activités biologiques de flavonoïdes de *Nitraria retusa* et synthèse de dérivés acyles de ces molécules par voie enzymatique. Thèse de Doctorat : Université de LORRAINE.
- [133] **Jacob, L. (2007).** L'insuffisance rénale aiguë. *Edition Springer*, p 88.
- [134] **Pincemail, J. & Defraigne, J.-O. (2003).** Le CoEnzyme Q₁₀ ou ubiquinone : un antioxydant particulier. *Vaisseaux, Coeur, Poumons* **18** (2), 55-60.
- [135] **Bonnet, C., Alamigeon, F. & Micheels, P. (2010).** Guide complet des soins esthétiques : du côté de ma vie. *Edition Eyrolles*, p 14.
- [136] **Cano, N., Barnoud, D., Schneider, S. M., Vasson, M.-P., Hasselmann, M. & Leverve, X. (2006).** Traité de nutrition artificielle de l'adulte. *Edition Springer*, p 255.
- [137] **Pelletier, E., Campbell, P. G. C. & Denizeau, F. (2004).** Écotoxicologie moléculaire : Principes fondamentaux et perspectives de développement. *Edition PUQ*, p 182.
- [138] **Droillard, M.-J. & Paulin, A. (1990).** Isozymes of Superoxide Dismutase in Mitochondria and Peroxisomes Isolated from Petals of Carnation (*Dianthus caryophyllus*) during Senescence. *Plant Physiology* **94** (3), 1187-1192.
- [139] **Arisi, A.-C. M., Cornic, G., Jouanin, L. & Foyer, C. H. (1998).** Overexpression of iron superoxide dismutase in transformed poplar modifies the regulation of photosynthesis at low CO₂ partial pressures or following exposure to the prooxidant herbicide methyl viologen. *Plant Physiology* **117** (2), 565-574.
- [140] **Yoshimoto, M., Sakamoto, H., Yoshimoto, N., Kuboi, R. & Nakao, K. (2007).** Stabilization of quaternary structure and activity of bovine liver : Catalase through encapsulation in liposomes. *Enzyme and Microbial Technology* **41**, 849-858.
- [141] **Garci', N. A. T., Iribarne, C., Palma, F. & Lluch, C. (2007).** Inhibition of the catalase activity from *Phaseolus vulgaris* and *Medicago sativa* by sodium chloride. *Plant Physiology and Biochemistry* **45**, 535-541.
- [142] **Nicholls, P. (2012).** Classical catalase: Ancient and modern. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **525**, 95-101.
- [143] **Bédane, C. (2008).** Photodermatologie : Photobiologie cutanée, photoprotection et photothérapie. *Edition Wolters Kluwer France*, p 20.

- [144] **Piquet, M.-A. & Hébuterne, X. (2007).** Nutrition en pathologie digestive. *Edition Wolters Kluwer France*, p 93.
- [145] **Boldyrev, A. A. (1993).** Does carnosine possess direct antioxidant activity? *Int. J. Biochem.* **25**(8), 1101-1107.
- [146] **Ames, B. N., Shigenaga, K. & Hagen, T. M. (1993).** Oxidants, antioxidants and the degenerative diseases of aging. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **90**, 7915-7922.
- [147] **Packer, L., Kraemer, K. & Rimbach, G. (2001).** Molecular aspects of lipoic acid in the prevention of diabetes complications. *Nutrition* **17**(10), 888-895.
- [148] **Stocker, R., Yamamoto, Y., McDonagh, A. F., Glazer, A. N. & Ames, B. N. (1987).** Bilirubin is an antioxidant of possible physiological importance. *Science* **235** (4792), 1043-1046.
- [149] **Fain, O. (2004).** Mise au point : Carences en vitamine C. *La revue de médecine interne* **25**, 872–880.
- [150] **Naidu, K. A. (2003).** Vitamin C in human health and disease is still a mystery? An Overview. *Nutrition Journal* **2** (7), 1-10.
- [151] **Carr, A. Frei, B. (1999).** Does vitamin C act as pro-oxidant under physiological conditions? *FASEB J.* **13**(9), 1007-1024.
- [152] **Césarini, J.-P. (2004).** Le sélénium : actualités. *John Libbey Eurotext Edition*, p 14.
- [153] **Greff, M. (2011).** Post'U FMC-HGE: Paris, du 24 au 27 mars 2011. *Springer Edition*, p 39.
- [154] **Halliwell, B. & Gutteridge, J. M. C. (1986).** Oxygen free radicals and iron in relation to biology and medicine: some problem and concepts. *Arch. Biochem. Biophys.* **246**, 501-514.
- [155] **Wang, X. & Quinn, P. J. (2006).** The structure and phase behaviour of α -tocopherol-rich domains in 1-palmitoyl-2-oleoyl-phosphatidylethanolamine. *Biochimie* **88**, 1883-1888.
- [156] **Annaházi, A., Mracskó, E., Süle, Z., Karg, E., Penke, B., Bari, F. & Farkas, E. (2007).** Pre-treatment and post-treatment with α -tocopherol attenuates hippocampal neuronal damage in experimental cerebral hypoperfusion. *European Journal of Pharmacology* **571**, 120–128.
- [157] **DUTTA-ROY, A. K. (1999).** Molecular Mechanism of Cellular Uptake and Intracellular Translocation of α -Tocopherol: Role of Tocopherol-binding Proteins. *Food and Chemical Toxicology* **37**, 967-971.
- [158] **Lecerf, J. M., Luc, G. & Fruchart, J. C. (1994).** Vitamine E, antioxydants et athérosclérose, *Rev. Med. Interne* **15**, 641-649.
- [159] **Herrera, E. & Barbas, C. (2001).** Vitamin E: action, metabolism and perspectives. *J. Physiol. Biochem.* **57**, 43-56.

- [160] Causse, C. (2005). Les secrets de santé des antioxydants : C'est naturel, c'est ma santé. *Alpen éditions s.a.m.*, p 30.
- [161] Rodriguez-Amaya, D. B. & Kimura, M. (2004). Harvestplus handbook for carotenoid analysis. *Technical Monograph Series*, p 3.
- [162] Packer, J. E., Mahood, J. S., Mora-Arellano, V. O., Slater, T. F., Willson, R. L. & Wolfenden, B. S. (1981). Free radicals and singlet oxygen scavengers: reaction of a peroxy-radical with beta-carotene, diphenyl furan and 1,4-diazobicyclo (2,2,2)-octane. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* **98**, 901-906.
- [163] Guillaume, J. (1999). Nutrition et alimentation des poissons et crustacés : Du labo au terrain. *Edition Quae*, p 229.
- [164] Lee, C. Y., Sharma, A., Cheong, J. E. & Nelson, J. L. (2009). Synthesis and antioxidant properties of dendritic polyphenols. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* **19**, 6326-6330.
- [165] Bauer, W. J., Badoud, R., Löliger, J. & Etournaud, A. (2010). Science et technologie des aliments: Principes de chimie des constituants et de technologie des procédés. *Edition PPUR Presses polytechniques*, p 212.
- [166] Duong, T. T. H., Antao, S., Ellis, N. A., Myers, S. J. & Witting, P. K. (2008). Supplementation with a synthetic polyphenol limits oxidative stress and enhances neuronal cell viability in response to hypoxia-re-oxygenation injury. *Brain Research* **1219**, 8-18.
- [167] Lee, C. Y., Sharma, A., Cheong, J. E. & Nelson, J. L. (2009). Synthesis and antioxidant properties of dendritic polyphenols. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters* **19**, 6326-6330.
- [168] Laughton, M. J., Halliwell, B., Evans, P. J., Robin, J. & Houlst, S. (1989). Antioxidant and pro-oxidant actions of the plant phenoltes quercetin, gossypol and myricetin. *Biochemical Pharmacology* **38** (17), 2859-2865.
- [169] Halliwell, B. (2008). Are polyphenols antioxidants or pro-oxidants? What do we learn from cell culture and in vivo studies? *Archives of Biochemistry and Biophysics* **476**, 107-112.
- [170] Perron, N. R., García, C. R., Pinzón, J. R., Chaur, M. N. & Brumaghim, J. L. (2011). Antioxidant and prooxidant effects of polyphenol compounds on copper-mediated DNA damage. *Journal of Inorganic Biochemistry* **105**, 745-753.
- [171] Apak, R., Güçlü, K., Demirata, B., Özyürek, M., Çelik, S. E., Bektaşoğlu, B., Berker, K. I. & Özyurt, D. (2007). Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules* **12**, 1496-1547.
- [172] Tsao, R. (2010). Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. *Nutrients* **2**, 1231-1246.
- [173] Pereira, D. M., Valentão, P., Pereira, J. A. & Andrade, B. P. (2009). Phenolics: From chemistry to biology. *Molecules* **14**, 2202-2211.

- [174] Handique, J. G. & Baruah, J. B. (2002). Polyphenolic compounds : an overview. *Reactive & Functional Polymers* **52**, 163–188.
- [175] Rolo-Naranjo, A., Rebolledo-Rios, R., Melchor-Rodriguez, K., Codorniu-Hernández, E. (2009). Pseudo-phase portrait applied to pattern recognition in flavonoid–protein interactions. *Applied Mathematics and Computation* **215**, 156–167.
- [176] Arts, M. J. T. J., Haenen, G. R. M. M., Voss, H.-P. & Bast, A. (2001). Masking of antioxidant capacity by the interaction of flavonoids with protein. *Food and Chemical Toxicology* **39**, 787–791.
- [177] S´wieca, M., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., Baraniak, B. & Czyż, J. (2013). The influence of protein–flavonoid interactions on protein digestibility in vitro and the antioxidant quality of breads enriched with onion skin. *Food Chemistry* **141**, 451–458
- [178] CHEBIL, L. (2006). Acylation des flavonoïdes par les lipases de *Candida antarctica* et de *Pseudomonas cepacia* : études cinétique, structurale et conformationnelle. Thèse de Doctorat : Institut national polytechnique de LORRAINE.
- [179] Boudon, C. (2001). Traita(c) de nutrition artificielle de l’adulte. *Edition Springer*, p 238.
- [180] Andjelkovic´, M., Camp, J. V., De Meulenaer, B., Depaemelaere, G., Socaciu, C., Verloo, M. & Verhe, R. (2006). Iron-chelation properties of phenolic acids bearing catechol and galloyl groups. *Food Chemistry* **98**, 23–31.
- [181] Pirker, K. F., Severino, J. F., Reichenauer, T. G. & Goodman, B. A. (2008). Free radical processes in green tea polyphenols (GTP) investigated by electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy. *Biotechnology Annual Review* **14**, 1387-2656.
- [182] Bouguerne, B. (2012). Conception et synthèse des dérivés phénoliques hautement fonctionnalisés et étude de leurs propriétés biologiques vis-à-vis des maladies cardiovasculaires (athérosclérose). Thèse de Doctorat : Université de TOULOUSE.
- [183] Hider, R. C., Liu, Z. D. & Khodr, H. H. (2001). Metal chelation of polyphenols. *Methods in Enzymology* **335**, 190-203.
- [184] Malešev, D. & Kuntić, V. (2007). Investigation of metal-flavonoid chelates and the determination of flavonoids *via* metal flavonoid complexing reactions. *J. Serb. Chem. Soc.* **72** (10), 921-939.
- [185] Perron, N. R. & Brumaghim, J. L. (2009). A Review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding. *Cell. Biochem. Biophys.* **53**, 75–100.
- [186] Sökmen1, B. B., Aydın, S. & Kınaloğlu, K. (2012). Antioxidant and antibacterial properties of a lichen species *Diploschistes scruposus* (Schreb.) Norman. *IUFS Journal of Biology* **71**(1), 43-51.
- [187] PORTES, E. (2008). Synthèse et études de tétrahydrocurcuminoïdes : propriétés photochimiques et antioxydantes, applications à la préservation de matériaux d'origine naturelle. Thèse Doctorat : Université de BORDEAUX I.

- [188] Fraga, C. G. (2007). Plant polyphenols : How to translate their *in vitro* antioxidant actions to *in vivo* conditions. *IUBMB Life* **59**(4-5), 308-315.
- [189] Amić, D., Davidović-Amić, D., Bešlo, D. & Trinajstić, N. (2003). Structure-radical scavenging activity relationships of flavonoids. *Croatica Chemica Acta* **76** (1), 55-61.
- [190] Sritularak, B., Tantituvanont, A., Chanvorachote, P., Meksawan, K., Miyamoto, T., Kohno, Y. & Likhitwitayawuid, K. (2010). Flavonoids with free radical scavenging activity and nitric oxide inhibitory effect from the stem bark of *Artocarpus gomezianus*. *Journal of Medicinal Plants Research* **4**(5), 387-392.
- [191] Khazai, V., Piri, K. H., Nazeri, S., Karamian, R. & Zamani, N. (2011). Free radical scavenging activity and phenolic and flavonoid contents of *Echinophora Platyloba* DC. *Asian J. Med. Pharm. Res.* **1** (1), 09-11.
- [192] Spiller, G. & Spiller, M. (2007). Tout savoir sur les fibres. *Editions le mieux-etre*, p27.
- [193] Nève, J. (2002). Nutrition et stress oxydant : Modulation de l'apport alimentaire en anti-oxydants. Optimisation of dietary intake of anti-oxidants. *Nutrition clinique et métabolisme* **16**, 292–300.
- [194] Stagos, D., Amoutzias, G. D., Matakos, A., Spyrou, A., Tsatsakis, A. M. & Kouretas, D. (2012). Chemoprevention of liver cancer by plant polyphenols. *Food and Chemical Toxicology* **50**, 2155–2170.
- [195] Bennani, H., Fiet, J. & Adlouni, A. (2009). Impact de l'huile d'argan sur le cancer de la prostate : étude de l'effet antiprolifératif des polyphénols. *Revue Francophone des Laboratoires*, 416, 23-26.
- [196] Di Domenico, F., Foppoli, C., Coccia, R. & Perluigi, M. (2012). Antioxidants in cervical cancer: Chemopreventive and chemotherapeutic effects of polyphenols. *Biochimica et Biophysica Acta* **1822**, 737–747.
- [197] Lambert, J. D. & Elias, R. J. (2010). The antioxidant and pro-oxidant activities of green tea polyphenols: A role in cancer prevention. *Archives of Biochemistry and Biophysics* **501**, 65–72.
- [198] Chen, D., Wan, S. B., Yang, H., Yuan, J., Chan, T. H. & Dou, Q. P. (2011). EGCG, Green tea polyphenols and their synthetic analogs and prodrugs for human cancer prevention and treatment. *Advances in Clinical Chemistry* **53**, 155-177.
- [199] Hou, Z., Lambert, J. D., Chin, K.-V. & Yang, C. S. (2004). Effects of tea polyphenols on signal transduction pathways related to cancer chemoprevention. *Mutation Research* **555**, 3–19.
- [200] Khan, N. & Mukhtar, H. (2008). Multitargeted therapy of cancer by green tea polyphenols. *Cancer Letters* **269**, 269–280.
- [201] Yang, C. S., Li, G., Yang, Z., Guan, F., Chen, A. & Ju, J. (2013). Cancer prevention by tocopherols and tea polyphenols. *Cancer Letters* **334**, 79–85.

- [202] Link, A., Balaguer, F. & Goel, A. (2010). Cancer chemoprevention by dietary polyphenols: Promising role for epigenetics. *Biochemical Pharmacology* **80**, 1771-1792.
- [203] Arts, I. C. & Hollman, P. C. (2005). Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies. *Am. J. Clin. Nutr.* **81**(suppl), 317S–325S.
- [204] Mulvihill, E. E. & Huff, M. W. (2010). Antiatherogenic properties of flavonoids : Implications for cardiovascular health. *Can. J. Cardiol.* **26** (Suppl A), 17A-21A
- [205] Lenoir, L. (2011). Effet protecteur des polyphénols de la verveine odorante dans un modèle d'inflammation colique chez le rat. Thèse de Doctorat : Université D'Auvergne.
- [206] Scalbert, A., Canach, C., Morand, C. & Rémésy, C. (2005). Dietary polyphenols and the prevention of diseases. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **45**, 287–306.
- [207] Vauzour, D., Rodriguez-Mateos, A., Corona, G., Oruna-Concha, M. J. & Spencer, J. P. E. (2010). Polyphenols and human health: Prevention of disease and mechanisms of action. *Nutrients* **2**, 1106-1131.
- [208] Fao. (2002). Améliorer la nutrition grâce aux jardins potagers : Module de formation à l'intention des agents de terrain en Afrique. *Food and Agriculture Org.*, p 272.
- [209] Scalbert, A., Monties, B. & Janin, G. (1989). Tannins in wood: comparison of different estimation methods. *J. Agr. Food Chem.* **37**, 1324-1329.
- [210] Raigón, M. D., Prohens, J., Julio E. Muñoz-Falcón & Nuez, F. (2008). Comparison of eggplant landraces and commercial varieties for fruit content of phenolics, minerals, dry matter and protein. *Journal of Food Composition and Analysis* **21**, 370– 376.
- [211] Tiwari, A., Jadon, R. S., Tiwari, P. & Nayak, S. (2009). Phytochemical Investigations of Crown of *Solanum melongena* fruit. *International Journal of Phytomedicine* **1**, 9-11.
- [212] Stommel, J. R. & Whitaker, B. D. (2003). Phenolic acid content and composition of eggplant fruit in germplasm core subset. *J. AMER. Soc. Hort. Sci.* **128** (5), 704-710.
- [213] Kowalski, R. & Kowalska, G. (2005). Phenolic acid contents in fruits of aubergine (*solanum melongena* L.). *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* **14/55** (1), 37–42.
- [214] Passam, H. C. & Khan, E. M. (1992). Flowering, fruit set and fruit and seed development in two cultivars of aubergine (*Solanum melongena* L.) grown under plastic cover. *Scientia Horticulturae* **51**, 179-185.
- [215] Prohens, J., Rodríguez-Burruezo, A., Raigón, M. D. & Nuez, F. (2007). Total phenolic concentration and browning susceptibility in a collection of different varietal types and hybrids of eggplant: Implications for breeding for higher nutritional quality and reduced browning. *J. AMER. SOC. HORT. SCI.* **132** (5), 638–646.
- [216] Jung, E.-J., Bae, M.-S., Jo, E.-K., Jo, Y.-H. & Lee, S.-C. (2011). Antioxidant activity of different parts of eggplant. *Journal of Medicinal Plants Research* **5** (18), 4610-4615.

- [217] **Wootton-Beard, P. C., Moran, A. & Ryan, L. (2011).** Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin–Ciocalteu methods. *Food Research International* **44**, 217–224.
- [218] **Osman, A. M. (2011).** Multiple pathways of the reaction of 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical (DPPH[•]) with (+)-catechin: Evidence for the formation of a covalent adduct between DPPH[•] and the oxidized form of the polyphenol. *Biochemical and Biophysical Research Communications* **412**, 473–478.
- [219] **Villaño, D., Fernández-Pachón, M. S., Moyá, M. L., Troncoso, A. M. & García-Parrilla, M. C. (2007).** Radical scavenging ability of polyphenolic compounds towards DPPH free radical. *Talanta* **71**, 230–235.
- [220] **Floegel, A., Kim, D.-O., Chung, S.-J., Koo, S. I. & Chun, O. K. (2011).** Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. *Journal of Food Composition and Analysis* **24**, 1043–1048.
- [221] **Popovici, C., Saykova, I. & Tylkowski, B. (2009).** Evaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de Génie Industriel* **4**, 25-39.
- [222] **Wu, H. (2007).** Isolation and characterization of natural products from inger and *Allium Ursinum*. *ProQuest Edition*, p 28.
- [223] **Hadbaoui, Z. (2012).** Evaluation de l'activité antioxydante des fractions lipidiques, protéiques et phénoliques de sorgho et de mil locaux. Thèse de Doctorat : Université de Kasdi Merbah OUARGLA-ALGERIE.
- [224] **Çetin, Ş. A., Göze, İ., Saraç, B. & Vural, N. (2007).** Scavenging effect and antispasmodic activity of the essential oil of *cyclotrichium niveum*. *Fitoterapia* **78** (2), 129–133.
- [225] **Erol, N. T., Sari, F. & Velioglu, Y. S. (2010).** Polyphenols, alkaloids and antioxidant activity of different grades turkish black tea. *GIDA* **35** (3), 161-168.
- [226] **Rodríguez-Méndez, M. L., Apetrei, C. & De Saja, J. A. (2008).** Evaluation of the polyphenolic content of extra virgin olive oils using an array of voltammetric sensors. *Electrochimica Acta* **53**, 5867-5872.
- [227] **Torbiero, B. (2006).** Développement de microcapteurs électrochimiques pour l'analyse en phase liquide. Thèse de Doctorat : Institut National des Sciences Appliquées de TOULOUSE.
- [228] **LAMY, C. (2007).** Conséquences de la dégénérescence des corps cellulaires dopaminergiques de la substance noire sur la neurotransmission dopaminergique dans le noyau caudé : Approches méthodologiques en microdialyse et voltamétrie. Mémoire : Ecole pratique des hautes études-LYON.

- [229] Hoyle, C. H. V. & Santos, J. H. (2010). Cyclic voltammetric analysis of antioxidant activity in citrus fruits from Southeast Asia. *International Food Research Journal* **17**, 937-946.
- [230] Alemu, H., Abegaz, B. M. & Bezabih, M. (2007). Electrochemical behaviour and voltammetric determination Of *geshoidin* and its spectrophotometric and antioxidant properties in aqueous buffer solutions. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.* **21** (2), 189-204.
- [231] Petrovic, S. (2000). Cyclic voltammetry of hexachloroiridate (IV): An alternative to the electrochemical study of the ferricyanide ion. *Chem. Educator* **5**, 231-235.
- [232] Martins, R. C., Oliveira, R., Bento, F., Geraldo, D., Lopes, V. V., De Pinho, P. G., Oliveira, C. M. & Ferreira, A. C. S. (2008). Oxidation management of white wines using cyclic voltammetry and multivariate process monitoring. *J. Agric. Food Chem.* **56**, 12092–12098.
- [233] Kilmartin, P. A., Zou, H. & Waterhouse, A. L. (2001). A cyclic voltammetry method suitable for characterizing antioxidant properties of wine and wine phenolics. *J. Agric. Food Chem.* **49**, 1957-1965.
- [234] Yardim, Y. & Sentürk, Z. (2011). Voltammetric behavior of indole-3-acetic acid and kinetin at pencil-lead graphite electrode and their simultaneous determination in the presence of anionic surfactant. *Turk J. Chem.* **35**, 413 – 426.
- [235] Simić, A., Manojlović, D., Šegan, D. & Todorović, M. (2007). Electrochemical behavior and antioxidant and prooxidant activity of natural phenolics. *Molecules* **12**, 2327-2340
- [236] Azevedo, L., De Lima, P. L. A., Gomes, J. C., Stringheta, P. C., Ribeiro, D. A. & Salvadori, D. M. F. (2007). Differential response related to genotoxicity between eggplant (*Solanum melanogena*) skin aqueous extract and its main purified anthocyanin (delphinidin) in vivo. *Food and Chemical Toxicology* **45**, 852–858.
- [237] Hanson, P. M., Yang, R.-Y., Tsou, S. C. S., Ledesma, D., Engle, L. & Lee, T.-C. (2006). Diversity in eggplant (*Solanum melongena*) for superoxide scavenging activity, total phenolics, and ascorbic acid. *Journal of Food Composition and Analysis* **19**, 594–600.
- [238] Luthria, D. L. (2012). A simplified UV spectral scan method for the estimation of phenolic acids and antioxidant capacity in eggplant pulp extracts. *Journal of functional foods* **4**, 238 –242.