

République Algérienne Démocratique et Populaire

Université Abdelhamid Ibn
Badis – Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة والحياة

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN BIOLOGIE

Spécialité: Nutrition et Pathologie

THÈME

Evaluation de l'activité antioxydante des extraits de la betterave rouge

Soutenue publiquement le 10/09/2023

Présenté par

M. BENAINANA KARIM & M. KADDOUR EI-HADJ

DEVANT LE JURY

Président	M. CHAALAL Abdelmalek	M.C.A	U. Mostaganem
Encadreur	M. KHODJA. Habib	M.C.B	U. Mostaganem
Examineur	M. BOUZIANE Nabil	M.A.A	U. Mostaganem

2022 – 2023

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

- ✓ A mes très chères ppare, sources de tendresse et de générosité, que dieu tout puissant puisse leur accorder santé, bonheur et longue vie.
- ✓ A mes très chers frères et adorables sœurs, pour leurs encouragements et leurs supports.
- ✓ A mes chers amis et collègues d'études, en témoignage de l'amitié et des souvenirs qui nous ont unis.
- ✓ A toutes les personnes qui se sont intervenues dans ma vie de près ou de loin, et à tous ceux qui par un mot m'ont donné la force de continuer et m'ont permis de réussir mes études, je leur témoigne ici amour sincère et fidélité.

Karim Benainana

Dédicace

A mes très chers parents, sources d'espoir, d'encouragement et de soutien.

A mes chers frères et sœurs, sources de joie et de bonheur.

A mes chers amis et mes collègues, en souvenir des bons moments passés ensemble.

A tous ceux qui m'aiment et que j'aime.

KADDOUR HADJ

Remerciements

Nos remerciements vont tout d'abord :

- A **Dieu**, tout puissant, source de toute connaissance.
- A notre directeur de mémoire, **M. KHODJA. H**, Professeur à l'université de Mostaganem, pour son aide judicieuse, sa patience et ses conseils avisés tout au long de ce travail.
- Aux membres du jury, pour l'intérêt qu'ils ont porté à cette étude en acceptant d'examiner et d'évaluer ce travail, plus particulièrement **Mr CHAALAL Malik**, Président du jury et Maître de conférence à l'université de Mostaganem, ainsi que **Mr BOUZIANE Nabil**, Examineur et enseignant à l'université de Mostaganem.
- A l'équipe pédagogique de l'établissement, pour la richesse et la qualité des enseignements fournis tout au long de notre cursus universitaire.
- Aux responsables du laboratoire d'accueil, pour leur aide inestimable dans la réalisation de ce mémoire, notamment **Mme DJAHIRA**, pour son soutien technique et sa bonne humeur.
- Nos remerciements vont aussi aux amis de longue date et collègues d'études.
- Un autre immense remerciement sera adressé à nos parents, sans oublier nos frères et sœurs.

Karim Benainana et Kaddour Hadj

Liste des tableaux

N° du tableau	Titre du tableau	N° de page
Tableau 01	Classification de la betterave rouge	4
Tableau 02	Valeurs nutritionnelles pour 100g de betterave potagère (partie comestible)	6
Tableau 03	Teneur en polyphénols des extraits de la betterave rouge	24
Tableau 04	Teneur en flavonoïdes des extraits de la betterave rouge	25
Tableau 05	IC ₅₀ de DPPH des différents extraits de la betterave rouge	28
Tableau 06	IC ₅₀ de FRAP des différents extraits de la betterave rouge	31

Liste des figures

N° de la figure	Titre du tableau	N° de page
Figure 01	Les variétés de <i>Beta vulgaris spp. vulgaris</i> : (A) Betterave rouge ou potagère, (B) Betterave fourragère, (C) Betterave sucrière	5
Figure 02	Les différentes parties de la plante de betterave.	5
Figure 03	L'échantillon de la betterave rouge préparé.	16
Figure 04	Etapes de préparation des extraits.	17
Figure 05	Mécanisme de réduction du radical libre DPPH par un antioxydant.	19
Figure 06	Rendement d'extraction de la betterave rouge.	22
Figure 07	Courbe étalon de l'acide gallique.	23
Figure 08	Teneur en polyphénols des différents extraits de betterave rouge.	24
Figure 09	Courbe d'étalonnage de la quercétine.	25
Figure 10	Teneur en flavonoïdes des extraits de la betterave rouge.	26
Figure 11	Activité antioxydante de l'acide ascorbique sur la réduction du DPPH.	27
Figure 12	Activité antioxydante de l'extrait acétonique sur la réduction du DPPH.	27
Figure 13	Activité antioxydante de l'extrait aqueux sur la réduction du DPPH.	28
Figure 14	Activité antioxydante de l'extrait éthanolique sur la réduction du DPPH.	28
Figure 15	Activité antioxydante de l'acide ascorbique sur la réduction du Fer.	30
Figure 16	Activité antioxydante de l'extrait aqueux sur la réduction du Fer.	30
Figure 17	Activité antioxydante de l'extrait éthanolique sur la réduction du Fer.	30
Figure 18	Activité antioxydante de l'extrait acétonique sur la réduction du Fer.	31

Liste des abréviations

ADN	: Acide désoxyribonucléique
°C	: Degré Celsius
DO	: Densité optique
DPPH	: Diphénylpicrylhydrazyle
Eq	: Equivalent
ERO	: Espèces réactives de l'oxygène
FRAP	: Ferric ion Reducing Antioxidant Power
g	: gramme
IC₅₀	: Concentration inhibitrice à 50%
mg	: milligramme
µg	: microgramme
µl	: microlitre
min	: minute
ml	: millilitre
NADPH	: Nicotinamide adénine dinucléotide phosphate
nm	: nanomètre
pH	: potentiel hydrogène
%	: Pourcentage
Rdt	: Rendement

Table des matières

Remerciements
Liste des tableaux
Liste des figures
Liste des abréviations

Introduction 1

Chapitre I : Généralités sur la betterave

I. Généralités sur la betterave	3
I.1. Histoire de la betterave.....	3
I.2. Classification.....	3
I.3. Principales variétés.....	4
I.4. Description botanique	5
I.5. Culture.....	6
I.6. Valeurs nutritionnelles	6
I.7. Utilisations	7
I.8. Bienfaits.....	7
1.8.1. Réduction du risque de cancers	7
1.8.2. Pouvoir antioxydant.....	7
1.8.3. Santé oculaire.....	8
1.8.4. Santé cardiaque et tension artérielle	8
1.8.5. Performance sportive	8

Chapitre II : Stress oxydatif & Activité antioxydante

II. Stress oxydatif et activité antioxydante	10
II.1. Notions de radicaux libres	10
II.2. Le stress oxydatif	10
II.3. Les espèces réactives de l'oxygène (ERO).....	10
II.3.1. Origine et sites de production.....	11
II.3.2. Principales actions des ERO	11
II.3.2.1. Actions bénéfiques	11
II.3.3.2. Actions délétères	11
II.4. Les antioxydants	11
II.4.1. Définition	11
II.4.2. Systèmes de défense antioxydant.....	12
II.4.2.1. Antioxydants enzymatiques endogènes.....	12
II.4.2.2. Antioxydants non enzymatiques exogènes.....	13
II.5. Méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante	13

Chapitre III : Matériel & Méthodes

III. Matériel et Méthodes.....	16
III.1. Objectif de l'expérimentation.....	16
III.2. Préparation de l'échantillon.....	16
III.3. Préparation des extraits.....	16
III.3.1. Le rendement obtenu.....	17
III.4. Dosage des polyphénols totaux	17
III.4.1. Méthode	17
III.4.2. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique.....	18
III.5. Dosage des flavonoïdes totaux	18
III.5.1. Méthode	18
III.5.2. Courbe d'étalonnage de la quercétine.....	18
III.6. Mesure du pouvoir antioxydant.....	18
III.6.1. Évaluation de l'activité antiradicalaire du radical libre DPPH.....	19
III.6.1.1. Mode opératoire	19
III.6.2. Évaluation de l'activité antiradicalaire par la méthode FRAP (Ferric ion Reducing Antioxidant Power).....	20
III.6.2.1. Mode opératoire	20

Chapitre IV : Résultats & Discussion

IV. Résultats et discussion	22
IV.1. Rendement d'extraction de la betterave rouge	22
IV.2. Dosage des polyphénols	23
IV.3. Dosage des flavonoïdes	25
IV.4. Evaluation du pouvoir antioxydant	26
IV.4.1. Test de réduction du radical libre DPPH	26
IV.4.2. Test de la réduction du fer FRAP	29

Conclusion.....	35
-----------------	----

Références bibliographiques	37
-----------------------------------	----

Résumé

Introduction

Introduction

De nos jours, un grand nombre de consommateurs ont une forte préférence pour les aliments fonctionnels pour l'amélioration de leur régime alimentaire et le maintien de leur santé. En conséquence, les fruits et légumes, sont des éléments importants dans une alimentation saine, avec pour la plupart une capacité de prévenir plusieurs maladies (**Shashirekha et al., 2015**).

Ces dernières années, la betterave (*Beta vulgaris L.*), devenue populaire en tant qu'aliment fonctionnel potentiel, s'est également avérée posséder la capacité de traiter et de prévenir de multiples maladies. Une grande variété de recherches ont mis en évidence la bioactivité de la betterave en antioxydant, en anti- inflammatoire, en antitumoraux, comme hépato- protecteur, dans l'amélioration cognitive ou dans la régulation de la pression artérielle (**Liping et al., 2021**)

A partir de cette idée de bioactivité de la betterave, nous nous sommes visés comme objectif principal dans cette étude, l'évaluation de l'une des activités biologiques associées à ce légume, à savoir l'activité antioxydante des principaux ingrédients bioactifs entrant dans la composition de ce dernier.

Le deuxième objectif, concomitant avec le premier, consiste à prouver cette grande capacité antioxydante de la betterave qui fait mention dans plusieurs articles scientifiques et qui outre son pouvoir protecteur contre le stress oxydatif et sa capacité de piégeage des radicaux libres trouve son potentiel d'application dans la fabrication d'aliments et dans les soins médicaux.

Pour répondre aux objectifs assignés dans cette étude, nous avons commencé par :

- Caractériser la composition chimique de l'échantillon de betterave récolté ;
- Doser les composés phénoliques du produit échantillonné (en polyphénols et flavonoïdes)
- Et évaluer l'activité antioxydante des composés phénoliques par deux méthodes différentes FRAP et DPPH.

Le manuscrit établit s'articule autour de quatre chapitres scindés en deux parties : une partie théorique ayant pour objet de donner quelques idées bibliographiques sur la plante étudiée, le stress oxydant et l'activité antioxydante et une partie expérimentale comportant deux chapitres, matériel et méthodes et résultats et discussion.

Pour terminer, une conclusion générale suivie de plusieurs perspectives sur l'ensemble de cette étude a été suggérée.

Chapitre I

Généralités sur la betterave

I. Généralités sur la betterave

I.1. Histoire de la betterave

La betterave est une plante connue depuis l'antiquité. Originaires du Proche-Orient, elles ont commencé à être récoltées lorsque l'homme s'est sédentarisé.

Les premières traces écrites d'utilisation comme plante médicinale nous viennent des Grecs au V^e siècle avant J.C ; puis c'est au Moyen Âge sur les territoires entre l'Allemagne et la Russie, que les racines de betterave auraient été consommées pour la première fois.

Peu à peu, les différentes variétés de betteraves se distinguent et c'est à partir du XVII^e siècle que le sucre de betterave commence à être extrait.

Au XX^e siècle, la betterave fourragère est cultivée pour servir d'alimentation animale, quant à la betterave potagère ou betterave rouge, originaire des bords de la Méditerranée que nous consommons, est devenue presque l'emblème des pays de l'Europe de l'Est dans leur culture gastronomique (Levinson, 2020).

I.2. Classification

La betterave, connue sous le nom de *Beta vulgaris*, est une plante dicotylédone qui appartient à la classe des *Equisetopsida*, à l'ordre des *Caryophyllales*, à la famille des *Amaranthaceae* et au genre *Beta* (Tableau 01) (Didier, 2013).

On reconnaît généralement trois sous-espèces :

- *Beta vulgaris subsp.vulgaris* qui regroupe toutes les variétés cultivées (Betteraves et bettes) ;
- *Beta vulgaris subsp.maritima*, considérée comme l'ancêtre sauvage des variétés cultivées, qui se rencontre sur les côtes atlantiques et méditerranéennes de l'Europe, ainsi qu'au Proche-Orient et en Inde.
- *Beta vulgaris subsp.adanensis*, autre sous-espèce sauvage, présente de la Grèce à la Syrie.

Aujourd'hui, les formes sauvages et cultivées, qui peuvent être hybridées et avoir une descendance fertile, sont toutes considérées comme des sous-espèces d'une nature commune.

Il est désormais admis que les cultivars doivent être tous regroupés au sein de la sous-espèce *Beta vulgaris subsp. vulgaris* (Letschert et al., 1994).

Tableau 01. Classification de la betterave rouge (Hequet, 2019)

Règne	<i>Plantae</i>
Classe	<i>Equisetopsida</i>
Ordre	<i>Caryophyllales</i>
Famille	<i>Amaranthaceae</i>
Genre	<i>Beta</i>
Espèce	<i>Beta vulgaris</i>
Sous-espèce	<i>Beta vulgaris subsp.vulgaris</i> <i>Beta vulgaris subsp.maritima</i> <i>Beta vulgaris subsp.adanensis</i>

I.3. Principales variétés

Les betteraves actuelles peuvent se grouper en quatre classes bien distinctes, répondant à des usages et à des besoins spéciaux qui sont l'alimentation humaine, l'alimentation des bestiaux, la fabrication de l'alcool et l'extraction de sucre. Nous décrivons dans ce contexte, les betteraves potagères (à chair rouge et à chair jaune), les betteraves fourragères et les betteraves sucrières.

- Les betteraves potagères se distinguent par une forme régulière, une chair tendre et une coloration agréable à l'œil avec un goût très sucré (**Figure 1.A**). Elles se mangent cuites, soit telles qu'elles, ou confites dans le vinaigre. Il en existe de rouges et de jaunes (**Geubben, 2004**).

Parmi ses variétés, on peut citer :

- La crapaudine, variété très ancienne, rustique et tardive ;
- La longue rouge noire, à racine volumineuse, très productive ;
- La noire plate d'Egypte, très précoce, dont les racines ne sont presque pas enterrées ;
- Les betteraves fourragères (**Figure 1 B**), très productives, sont de différentes couleurs, de différentes formes et plus ou moins enterrées. On les classe principalement selon leur teneur en matière sèche (**Claire et Fabrice, 2006**).
- Les betteraves sucrières (**Figure 1.C**), plus riche en sucre, sont caractérisées par une forme bien plus variable. Elles sont courtes ou longues, plus ou moins coniques, ou encore ovoïdes, piriformes, cylindriques, élancées ou trapues, à collet plus ou moins large. Leur chair est dure, serrée et compacte et ont tendance assez marquée à donner des racines fourchues si la préparation du sol n'est pas convenable ; On les classe selon leur rendement en sucre, leur résistance aux maladies et leur tolérance aux nématodes (**Gurel et al., 2008**).



Figure 01. Les variétés de *Beta vulgaris spp. vulgaris* :
(A) Betterave rouge ou potagère, (B) Betterave fourragère, (C) Betterave sucrière
(Gruyer, 2022)

I.4. Description botanique

La betterave se compose de trois parties principales : la racine pivotante, les tiges et les feuilles (**Figure 02**). La racine pivotante est le principal aliment portion de la plante de betterave et pousse sous terre. Elle est généralement sphérique ou cylindrique, et selon la variété, elle peut prendre plusieurs couleurs allant du violet-rouge au violet-rose, du jaune doré à l'orange, et parfois du rouge-blanc à blanc uni. La peau des racines pivotantes est mince avec une texture lisse (**Chhikara et al., 2019**).

Les tiges de betterave poussent sur la partie supérieure de la racine, appelée hypocotyle. Ces tiges sont normalement allongées, effilées et robustes, et elles peuvent atteindre des hauteurs allant de 1 à 2 m au-dessus du sol ; Au sommet des tiges, les feuilles se développent. Ceux-ci ont généralement une couleur verte à jaune avec des tons rouges, mais leur taille, leur forme et leur couleur dépendent de la variété. La graine de betterave contient normalement deux à cinq germes, et est donc classée comme plante multigerme (**Chhikara et al., 2019**).

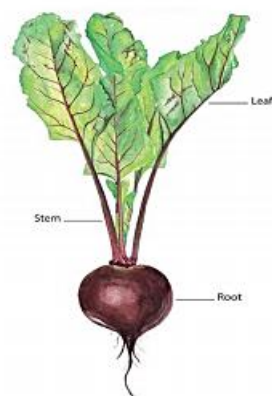


Figure 02. Les différentes parties de la plante de betterave (Gruyer, 2022).

I.5. Culture

La betterave est une plante principalement bisannuelle et rarement vivace; les tiges se développent au cours de la deuxième année de culture. La plante peut pousser toute l'année; ses périodes de récolte sont comprises entre 75 et 90 jours en été et entre 100 à 120 jours en hiver. Les températures de croissance optimales se situent entre 15 et 19°C (Yasamin shirazi, 2022). Bien que la betterave tolère des températures plus élevées (jusqu'à 35°C), les températures plus basses favorisent le développement d'une pigmentation rouge foncé plus intense dans la racine (Chhikara et al., 2019).

I.6. Valeurs nutritionnelles

La betterave est un légume qui possède une grande valeur nutritionnelle (Tableau 02), en raison de sa forte teneur en glucides. Ces derniers sont constitués à 90% de saccharose ainsi que de petites quantités de pentosanes, d'hexosanes, de glucose et de fructose (Yasamin shirazi, 2022).

Considérée comme une excellente source de fibres, de minéraux (potassium, sodium, fer, cuivre, magnésium, manganèse, calcium, phosphore et zinc), et de vitamines (A, B, K, C et E), la betterave est aussi riche en composés phénoliques solubles et en bétanine qui est un pigment donnant à la betterave sa couleur caractéristique) (Levinson, 2020).

Tableau 02. Valeurs nutritionnelles pour 100g de betterave potagère (partie comestible) (Oyen, 2004).

Eau	87,6 g
Protéines	1,6 g
Glucides	9,6 g
Fibres	2,8 g
Ca	16 mg
P	40 mg
Fe	0,8 mg
Thiamine	0,03 mg
Riboflavine	0,04 mg
Niacine	0,33 mg
Folate	109 µg
Acide ascorbique	5 mg
Valeur énergétique pour 100g de betterave	180 kJ (43kcal)

I.7. Utilisations

La betterave sucrière est une plante de grandes cultures qui permet de produire du sucre, de l'alcool (utile pour la fabrication de parfums ou de gels hydroalcooliques), et du carburant. Ses pulpes pressés ou déshydratées constituent un bon aliment pour le bétail et peuvent être destinées à la fabrication de pectines industrielles ou de fibres alimentaires (**Yasamin shirazi, 2022**).

L'autre variété de betteraves fourragères, joue également un rôle important dans la nutrition des animaux domestiques. Dans ce cas de figure, la plante entière est utilisée (à la fois les sommets et les racines). Il acquiert une importance particulière dans l'alimentation des bovins laitiers (vaches et chèvres). En raison de sa teneur élevée en fibres, les betteraves fourragères augmentent la production de lait (**Better, 2011**). La betterave rouge quand elle est consommée par l'homme pour les nombreux bienfaits qu'elle apporte.

1.8. Bienfaits

Grâce à sa teneur élevée en vitamines et minéraux, la betterave est une véritable alliée pour notre santé. Comme la globalité des fruits et légumes, et lorsqu'elle est consommée dans le cadre d'une alimentation variée et équilibrée, elle a un effet préventif sur de nombreuses pathologies chroniques (**Zubiria, 2021**).

1.8.1. Réduction du risque de cancers

Une étude a démontré que la consommation de bétanine, diminuait l'apparition de cancers de la peau, du foie et du poumon chez l'animal. De plus, des recherches indiquent que les caroténoïdes des feuilles de betterave pourraient contribuer à prévenir certains cancers, notamment le cancer du sein et le cancer du poumon (**Nyirády et al., 2010**).

1.8.2. Pouvoir antioxydant

La betterave est l'un des légumes ayant le meilleur pouvoir antioxydant. Les antioxydants sont des composés qui protègent les cellules du corps des dommages causés par les radicaux libres. Ces derniers sont des molécules très réactives qui seraient impliquées dans l'apparition des maladies cardiovasculaires, de certains cancers et d'autres maladies chroniques (**Winkler et al., 2005**).

1.8.3. Santé oculaire

Les feuilles de betterave (cruës ou cuites) contiennent de la lutéine et de la zéaxanthine, deux composés antioxydants de la famille des caroténoïdes. Ces composés auraient des effets bénéfiques sur certains cancers et sur la santé oculaire. En effet, ils se concentrent particulièrement dans la macula et la rétine, protégeant ainsi l'œil d'un stress oxydatif qui pourrait lui causer des dommages (**Ndunge, 2019**).

1.8.4. Santé cardiaque et tension artérielle

Un effet prouvé de la consommation de ce légume est visible dans sa réduction de la tension artérielle. Dans une étude réalisée en 2008, l'ingestion de 500 millilitres de jus de betterave chez des volontaires de la santé a abaissé la tension artérielle. Les scientifiques ont attribué cette réduction aux niveaux élevés de nitrates dans les betteraves. Les nitrates étaient susceptibles d'être à l'origine de la réduction de la tension artérielle et du traitement des affections cardiovasculaires. Une recherche similaire menée en 2010 a confirmé cette hypothèse (**Cacciapuoti, 2012**).

1.8.5. Performance sportive

Certaines études ont démontré que le jus de betterave, riche en nitrates, aurait des effets bénéfiques sur les performances sportives en diminuant le coût en oxygène lors d'efforts continus. La consommation d'une dose de jus de betterave aurait également des effets bénéfiques sur la performance cardiovasculaire en altitude. D'autres études n'ont démontré aucun effet mais il semblerait que certains sujets répondent de manière plus marquée à la supplémentation en jus de betterave que d'autres (**Ndunge, 2019**).

Chapitre II

Stress oxydatif & Activité antioxydante

II. Stress oxydatif et activité antioxydante

II.1. Notions de radicaux libres

Par définition, un radical libre est tout atome, groupe d'atomes ou molécules possédant un électron (ou plus) non apparié « célibataire », sur la couche périphérique du squelette moléculaire. Cet électron naît suite à un apport d'énergie susceptible et suffisant pour se réappairier, et qui a tendance à attirer les électrons d'autres atomes et molécules pour gagner en stabilité, déstabilisant ainsi d'autres molécules et initient ainsi une réaction en chaîne, c'est typiquement ce qui se passe lors de la peroxydation lipidique (**Boucelha et Djebbar, 2014**).

II.2. Le stress oxydatif

Le stress oxydatif se définit par l'incapacité de l'organisme à se défendre contre les radicaux libres, en raison de la perturbation de l'équilibre endogène entre ces derniers et les agents oxydants. Ce déséquilibre conduit potentiellement à des dégâts structuraux et fonctionnels (**Bensakhria, 2018**).

Plusieurs espèces radicalaires existent dans la nature. Celles dérivant de l'oxygène sont appelées espèces réactives de l'oxygène (ERO) ou radicaux libres oxygénés (ROS de l'acronyme anglais Reactive Oxygen Species) (**Boudjellal et Zerzaihi, 2019**).

II.3. Les espèces réactives de l'oxygène (ERO)

Les ERO sont définies comme des molécules contenant de l'oxygène et dont l'existence est relativement courte avec un temps de demi-vie de quelques nanosecondes à quelques heures. Ils sont produits sous forme de molécules, ions et radicaux dans de nombreux processus chimiques et biologiques. Leurs rôles diffèrent de manière significative en fonction de leurs types, des réactions auxquelles ils participent et de la cible.

Dans les processus biologiques, les ERO sont des sous-produits naturels du métabolisme de l'oxygène qui jouent un rôle important dans la transduction des signaux cellulaires et dans le métabolisme de l'oxygène et l'homéostasie. Cependant, sous la pression de l'environnement (tel que les rayonnements ionisants), les niveaux des ERO peuvent augmenter considérablement ce qui cause le stress oxydatif, entraînant des dommages cellulaires et diverses maladies (**Su et al., 2018**).

II.3.1. Origine et sites de production

Les radicaux libres nocifs sont produits dans l'organisme au cours du métabolisme normal. Cette production augmente en rapport avec l'élévation de la consommation d'oxygène. Plusieurs mécanismes et systèmes responsables de la production de radicaux libres ont été identifiés jusqu'à présent, parmi eux nous citons :

- ✓ Des fuites d'électrons au niveau de la chaîne respiratoire de la mitochondrie ;
- ✓ Des processus inflammatoires produits par les cellules phagocytaires activées ;
- ✓ Du système xanthine déshydrogénase/oxydase activé lors d'ischémie-reperfusion **(Belyagoubi, 2011)**.

II.3.2. Principales actions des ERO

II.3.2.1. Actions bénéfiques

Les espèces réactives de l'oxygène, à condition que leur niveau d'accumulation soit finement régulé par un équilibre entre production et élimination, sont indispensables pour que l'organisme puisse assurer certaines fonctions physiologiques fondamentales. En effet, ils jouent un rôle important dans de nombreuses voies de signalisation cellulaire, en particulier durant le processus d'apoptose, de prolifération ou d'activation cellulaire.

A doses physiologiques bien contrôlés, ils stimulent également l'activité et la biogénèse mitochondriale. Les ERO régulent aussi l'adaptation au stress oxydant soit par l'induction des gènes « antioxydants » ou par leur répression « pro-oxydant » **(Belmehel, 2019)**.

II.3.3.2. Actions délétères

Lorsqu'elles se trouvent en surproduction, leurs effets deviennent délétères pour les cellules, les tissus et les diverses fonctions biologiques. Les conséquences néfastes des ERO sont associées aux perturbations du statut Redox, à la modulation de la signalisation cellulaire et de l'expression des gènes, mais aussi à leur interaction avec les biomolécules de grande importance telles que l'ADN, les lipides, les protéines et les polysaccharides **(Belmehel, 2019)**.

II.4. Les antioxydants

II.4.1. Définition

Un antioxydant est défini comme une substance chimique, capable une fois ajoutée à faible dose à un produit naturellement oxydable de ralentir ou d'inhiber le phénomène d'oxydation pour former un composé stable **(Shimizu, 2004)**.

Sans aucun effet sur les propriétés sensorielle et nutritionnelle du produit alimentaire, ils permettent aussi le maintien de la qualité et d'augmenter la durée de conservation du produit.

Un antioxydant idéal, doit être soluble dans les graisses, efficace à faible dose, et non toxique, n'entraînant ni coloration, ni odeur, ni saveur indésirable, résistant aux processus technologiques, et stable dans le produit fini (**Halvorsen et al., 2006**).

II.4.2. Systèmes de défense antioxydant

Afin de combattre et de neutraliser les effets délétères des ERO, diverses stratégies antioxydantes existent, soit en augmentant les défenses enzymatiques antioxydantes endogènes, soit en renforçant les défenses non enzymatiques par des moyens diététiques ou pharmacologiques (**Saidi, 2019**).

II.4.2.1. Antioxydants enzymatiques endogènes

La cellule est pourvue d'enzymes antioxydantes qui sont des systèmes de défense très efficaces pour l'élimination des radicaux libres primaires de façon permanente (**Chaouch, 2014**).

Les principales enzymes antioxydantes sont : la superoxyde dismutase, la catalase, la glutathion peroxydase, la glutathion réductase et la glutathion S-transférase. Ce sont des enzymes dont les séquences sont très conservées au cours de l'évolution et qui agissent de manière coordonnée.

- Les superoxydes dismutases : catalysent la dismutation de l'anion superoxyde en peroxyde d'hydrogène, laquelle sera décomposée par la catalase (**Bouchouka, 2016**).
- La catalase : catalyse la dismutation du peroxyde d'hydrogène en eau permettant l'élimination de celui-ci (**Nicholls, 2012**).
- Les glutathion peroxydases : réduisent aussi le peroxyde d'hydrogène en utilisant le glutathion comme substrat le GSH, qui ressort oxydé de ces réactions et pourra être réactivé par la glutathion réductase (**Valko et al., 2006**).

Il existe également d'autres défenses antioxydantes telles que les transferrines, les ferritines, les métallothionéines. Ces dernières sont des enzymes qui en se complexant aux métaux, limitent leur disponibilité dans le processus de génération des radicaux libres. Enfin, les enzymes de réparation des molécules endommagées par les ERO peuvent également être considérées comme des défenses antioxydantes (méthionine sulfoxyde réductases, endonucléases, ADN glycosylases) (**Béguel., 2012**).

II.4.2.2. Antioxydants non enzymatiques exogènes

Ce sont des antioxydants naturels capables de prévenir les dommages oxydatifs. Ils peuvent se comporter comme des piègeurs de 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, le NADPH, les dipeptides, l'acide urique, l'acide lipoïque ou la bilirubine.

Parmi les antioxydants naturels de faible poids moléculaire, on peut citer : l'acide ascorbique (Vitamine C), les Tocophérols (dont la Vitamine E) et les Caroténoïdes **(Boubekri, 2014)**.

II.5. Méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante

Plusieurs méthodes sont disponibles pour mesurer l'activité antioxydante des aliments et des systèmes biologiques. Elles peuvent être classées en deux groupes selon deux mécanismes : soit par le transfert d'atome d'hydrogène, soit par le transfert d'un simple électron **(Huang *et al.*, 2005)**.

Les techniques du premier groupe sont employées pour évaluer la peroxydation lipidique en utilisant un substrat lipidique ou lipoprotéique (la quantification de cette propriété est exprimée par la mesure du degré d'inhibition de l'oxydation), alors que les méthodes du deuxième groupe sont celles qui interviennent dans la mesure de l'habileté du piégeage des radicaux libres. Elles comportent le balayage du peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), de l'acide hypochloreux (HOCl), de l'hydroxyle, des anions superoxyde, du peroxyde et de l'oxyde nitrique **(Sanchez-Moreno, 2002)**.

Parmi ces techniques, nous citons :

- La méthode d'ORAC (Capacité d'absorbance du radical de l'oxygène) ;
- La méthode d'ABTS (2,2-azinobis (3-éthyle-benzothiazoline-6-sulphonate) ou TEAC (Capacité antioxydante équivalente de Trolox) ;
- La méthode FRAP (Capacités réductrices ferriques d'antioxydants) ;
- La méthode du radical DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) ;

- La méthode de DMPD (Balayage du radical cation N, N-dimethyl-phenylenediamine);
- La méthode TOSC (Capacité du piégeage des oxy-radicaux totaux) ;
- La méthode TRAP (Paramètre du piégeage du radical total) ;
- La méthode photo-chimi-luminescence (PCL) ;
- La méthode d'hémolyse (**Belyagoubi, 2011**).

Chapitre III

Matériel & Méthodes

III. Matériel et Méthodes

III.1. Objectif de l'expérimentation

L'objectif général de ce travail est de déterminer le contenu de la betterave rouge en polyphénols et en flavonoïdes totaux et mesurer le pouvoir antioxydant des composés phénoliques contenu dans l'extrait de la betterave rouge étudiée.

III.2. Préparation de l'échantillon

L'échantillon de la betterave rouge a été acheté au niveau du marché de Mostaganem et transporté immédiatement au laboratoire pour les étapes de préparation. La récupération des morceaux de betterave rouge a été effectuée en plusieurs étapes. Les fruits mûrs de la betterave rouge ont été lavés avec de l'eau du robinet pour enlever les saletés lourdes, suivi par un rinçage à l'eau distillée. La peau recouvrant le fruit a été enlevé, la chair rouge récupérée et coupée en petits morceaux (**Figure 03**).



Figure 03. L'échantillon de la betterave rouge préparé.

III.3. Préparation des extraits

Pour la préparation des différents extraits, 50g de betterave rouge ont été broyé dans 300ml de solvant (eau distillée, éthanol ou acétone). L'ensemble est laissé en macération pendant trois jours à température de 4°C (**Djenidi et al, 2020**). Les extraits sont ensuite filtrés sur papier filtre, les solvants sont évaporés puis les extraits sont solubilisés dans le méthanol (**Figure 04**).



Figure 04. Etapes de préparation des extraits.

III.3.1. Le rendement obtenu

Le rendement de l'extraction est déterminé par le rapport entre la masse des extraits et la masse de la matière première végétale traitée.

Le rendement exprimé en pourcentage est calculé par la formule suivante :

$$\text{Rdt (\%)} = \frac{P1 - P2}{P3} \times 100$$

P1 : Poids de l'erenmeyer après évaporation.

P2 : Poids de l'erenmeyer vide.

P3 : Poids de la matière végétale de départ.

III.4. Dosage des Polyphénols Totaux

Ce dosage repose sur la méthode colorimétrique utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu. Ce dernier est constitué d'un mélange d'acide phospho-tungstique ($H_3PW_{12}O_4$) et d'acide phospho-molybdique ($H_3PMO_{12}O_{40}$). L'oxydation des phénols réduit ce réactif en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène. L'intensité de la couleur est proportionnelle au taux des composés phénoliques oxydés dont l'absorbance est comprise entre 725 et 760nm (Lit et al., 2007).

III.4.1. Méthode

Un volume de 100 μ l d'extrait a été mélangé avec 900 μ l du réactif de Folin-Ciocalteu (Dilué 10 fois). Après 5 minutes, on rajoute 0.75ml d'une solution de carbonate de sodium (7%). Le mélange est soumis à une agitation puis incubé à température ambiante à l'obscurité

pendant 90 min et l'absorbance est lue à 725nm sur un Spectrophotomètre (**Osorio-Esquivel et al, 2011**).

L'acide gallique est utilisé ici comme standard de référence. Les résultats sont exprimés en milligramme équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait sec (mg GAE/g d'extrait).

III.4.2. Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

La courbe d'étalonnage est effectuée par l'acide gallique à différentes concentrations allant de 0,025 à 0,25mg/ml dans les mêmes conditions et les mêmes étapes de dosage. Les résultats sont ainsi exprimés en milligramme équivalents d'acide gallique par gramme de matière végétale sèche.

III.5. Dosage des Flavonoïdes totaux

Les flavonoïdes sont quantifiés par une méthode colorimétrique au trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) à 2%. Le trichlorure d'aluminium forme un complexe jaune avec les flavonoïdes qui absorbe dans le visible à 510nm (**Ardestani et Yazdanparast, 2007**).

III.5.1. Méthode

Un volume de 1.5ml d'extrait a été additionné à 1.5ml de trichlorure d'aluminium ($AlCl_3$) à 2%. Le mélange a été placé à température ambiante et à l'obscurité pendant 30min puis l'absorbance a été mesurée à 430nm en utilisant un spectrophotomètre (**Chougui et Louailech, 2013**).

La quercétine est utilisée ici comme standard de référence. Les résultats sont exprimés en milligramme équivalents de quercétine par gramme d'extrait sec (mgQE/g d'extrait).

III.5.2. Courbe d'étalonnage de la quercétine

La courbe d'étalonnage est effectuée par la quercétine à différentes concentrations allant de 0.005 à 0.03mg/ml dans les mêmes conditions et les mêmes étapes de dosage. Les résultats sont ainsi exprimés en milligramme équivalents de quercétine par gramme de matière végétale sèche.

III.6. Mesure du pouvoir antioxydant

De nombreuses méthodes sont utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante, *in vitro* et *in vivo* des composés phénoliques purs ou d'extrait. Dans cette étude, nous avons

utilisé des tests chimiques qui mesurent la réduction du radical stable le DPPH (2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl) (Sharma et Bhat, 2009 ; Bourkhiss et al., 2010).

III.6.1. Évaluation de l'activité Antiradicalaire du radical libre DPPH

Le test DPPH permet de mesurer le pouvoir antiradicalaire des molécules pures ou d'extraits végétaux dans un système modèle (solvant organique, température ambiante). Il mesure la capacité d'un antioxydant à réduire le radical chimique DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl) par transfert d'un hydrogène. La réduction du DPPH s'accompagne par le passage de la solution d'une couleur violette à une couleur jaune (Figure 05). L'absorbance est mesurée par spectrophotomètre à 517nm (Majhenic et al., 2007). Une faible absorbance indique une meilleure activité antiradicalaire qui est calculée par la formule suivante :

$$I\% = [(A_C - A_T) / A_C] \times 100$$

Avec :

Ac : Absorbance du contrôle négatif

At : Absorbance de l'extrait.

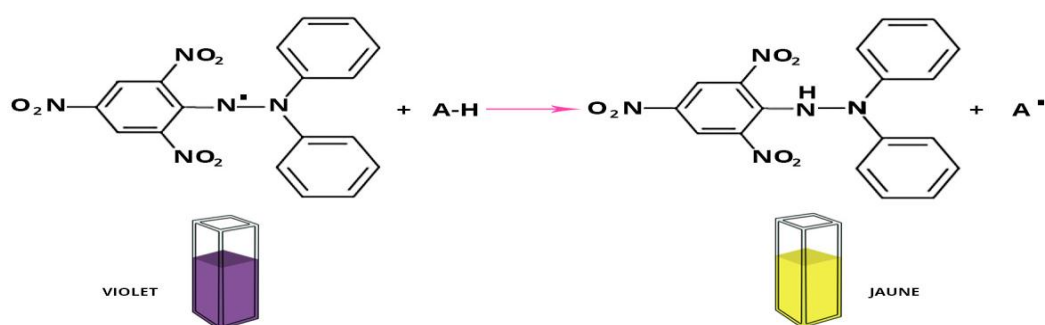


Figure 05. Mécanisme de réduction du radical libre DPPH par un antioxydant (Cillard et Cillard, 2006).

III.6.1.1. Mode opératoire

700µl des différentes concentrations des solutions d'extraits ou du standard (acide ascorbique) sont ajoutés à 700µl de solution de DPPH (4mg dans 100ml de méthanol), Le mélange obtenu est ensuite agité, puis gardé à l'abri de la lumière à température ambiante pendant 30min. La lecture se fera à l'aide d'un spectrophotomètre à la densité optique de 517nm (Locatelli et al, 2009).

Les IC_{50} sont calculées graphiquement par les régressions linéaires des graphes de pourcentages d'inhibition en fonction des différentes concentrations des échantillons testés.

III.6.2. Évaluation de l'activité antiradicalaire par la méthode FRAP (Ferric ion Reducing Antioxidant Power)

La méthode FRAP est basée sur la réaction chimique de réduction du Fe^{3+} présent dans le complexe $K_3Fe(CN)_6$ en Fe^{2+} . L'absorbance du milieu réactionnel est déterminée à 700nm (Hubert, 2006).

III.6.2.1. Mode opératoire

L'évaluation de l'activité antioxydante par la réduction du fer a été réalisé selon le protocole de Yildirim et al (2001). Un millilitre de l'extrait à différentes concentrations est mélangé avec un volume de 0.5ml de solution Tampon phosphate (0.2M, pH.6.6). On additionne par la suite 0.5ml d'une solution de K_3Fe (1%). L'incubation du mélange est effectuée au bain marie à 50°C pendant 20minutes. On ajoute par la suite, 0.5ml d'une solution de Trichloro-acide acétique TCA (10%). Les tubes sont centrifugés à 3000tr/min pendant 10min. Un volume de 0.5ml d'un surnageant est combiné avec 0.5ml d'eau distillée pour chaque tube. On additionne 0.1ml d'une solution aqueuse de $FeCl_3$ à 0.1%. Après agitation de l'échantillon, la lecture est effectuée par spectrophotométrie à la densité optique de 700nm contre un blanc semblablement préparé, en remplaçant l'extrait par l'eau distillée qui permet de calibrer l'appareil (Spectrophotomètre UV-VIS).

Chapitre IV

Résultats & Discussion

IV. Résultats et discussion

IV.1. Rendement d'extraction de la betterave rouge

L'extraction a été effectuée par macération en utilisant trois solvants de polarité croissante (éthanol, acétone et eau distillée). D'après les résultats obtenus, l'eau distillée présente le rendement d'extraction le plus élevé, avec 13%, suivi de l'éthanol avec 11,6% et de l'acétone avec 4,6% (**Figure 06**).

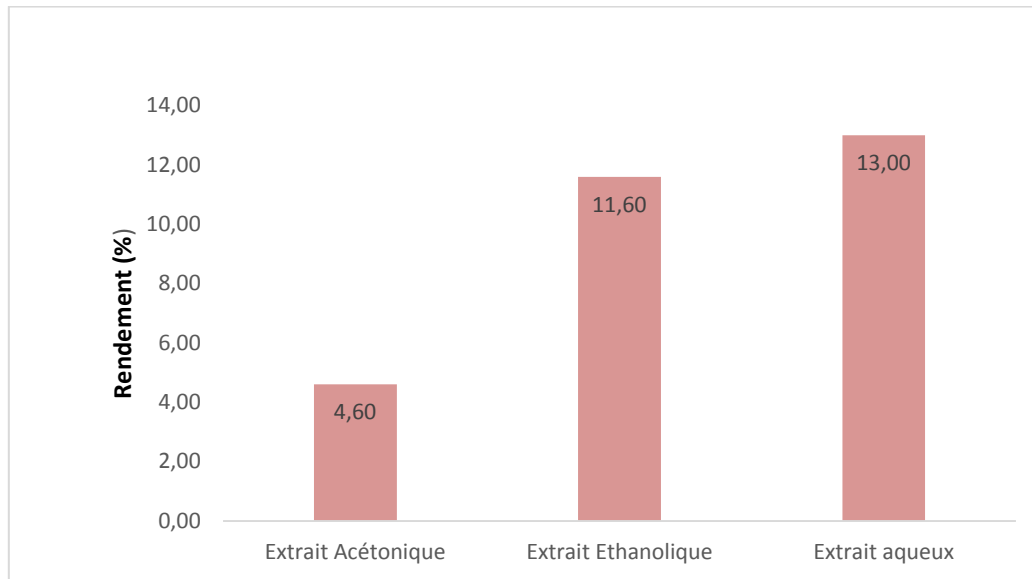


Figure 06. Rendement d'extraction de la betterave rouge.

Le calcul du rendement d'extraction repose sur plusieurs facteurs, à savoir, la température d'extraction, la matière végétale initiale et l'humidité. Selon Bessedik et Benikhlef, (2017), le rendement d'extraction dépend de la nature du solvant utilisé et des propriétés chimiques des molécules à extraire. De même, la méthode d'extraction (macération, décoction, infusion) joue également un rôle important dans la détermination du rendement ainsi que la composition chimique de l'extrait préparé (**Tefiani, 2015**).

Selon les résultats de rendements, il semble que l'eau distillée ait donné le rendement d'extraction le plus élevé parmi les trois solvants testés, suivi de près par l'éthanol, puis par l'acétone avec le rendement d'extraction le plus faible.

Ces résultats peuvent être dus à plusieurs facteurs. Tout d'abord, la nature polaire de l'eau distillée peut faciliter l'extraction des composés polaires présents dans la substance. De plus, certains composés spécifiques peuvent avoir une meilleure solubilité ou d'affinité pour l'eau, ce qui pourrait expliquer un rendement d'extraction plus élevé.

L'éthanol, bien qu'étant également un solvant polaire, peut avoir des propriétés différentes par rapport à l'eau et donc une capacité d'extraction légèrement différente. L'acétone, étant moins polaire que l'eau et l'éthanol, peut avoir une solubilité plus limitée pour les composés polaires, ce qui pourrait expliquer son rendement d'extraction plus faible.

IV.2. Dosage des polyphénols

Dans les extraits acétonique, éthanolique et aqueux de la betterave rouge, la teneur en polyphénols totaux est déterminée par l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage exprimée en milligramme Eq d'acide gallique par gramme d'extrait (**Figure 07**).

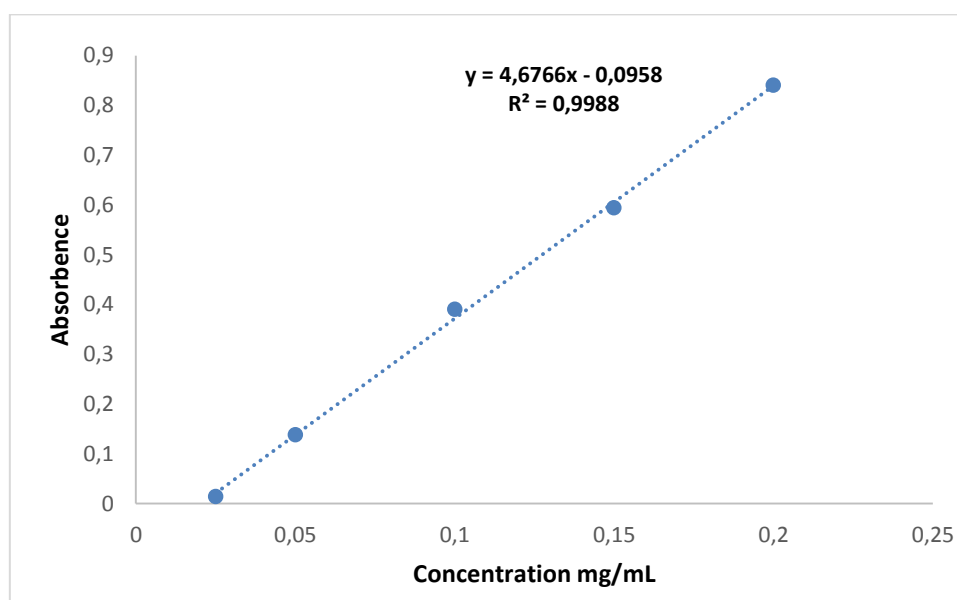


Figure 07. Courbe étalon de l'acide gallique.

Le dosage des polyphénols a été réalisé en utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu dilué dix fois. Malgré la sensibilité et la simplicité de cette méthode qui est largement utilisée, elle n'est pas spécifique aux polyphénols. En effet, le réactif peut réagir avec des protéines, des sucres et l'acide ascorbique ce qui peut influencer les résultats obtenus. Les résultats d'analyse de la teneur en polyphénols sont mentionnés dans le tableau ci-dessous (**Tableau 03**).

Tableau 03. Teneur en polyphénols des extraits de la betterave rouge

Extraits acétonique	Extraits éthanolique	Extraits aqueux
3,63 ± 0,021mg/g de matière sèche	5,07 ± 0,207mg/g de matière sèche	1,25 ± 0,045mg/g de matière sèche

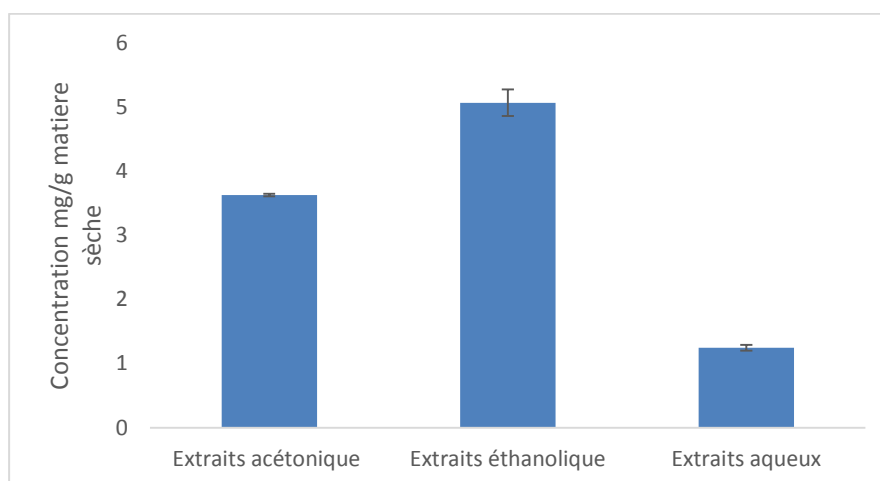


Figure 08. Teneur en polyphénols des différents extraits de betterave rouge.

Des études récentes ont montré que les teneurs en composés phénoliques et surtout les polyphénols, changent de façon considérable d'une espèce à une autre et à l'intérieur de la même espèce, à cause des facteurs extrinsèques (température, climat...), génétiques (la variété et l'origine d'espèces), physiologiques (le degré de maturation et les organes utilisés) et de la durée de stockage (Maisuthisakul et Da-Silva, 2007 ; Ksouri et al., 2009).

La détermination de la teneur en polyphénols totaux dans les extraits de la betterave rouge a été faite en utilisant séparément les méthodes colorimétriques (réactif de Folin-Ciocalteu). La teneur en phénols totaux estimée par la méthode de Folin-Ciocalteu pour chaque extrait a été rapportée en mg/g de matière sèche. Les résultats montrent que l'extrait éthanolique a une forte teneur en polyphénols totaux ($5.07 \pm 0,207$ mg/g de matière sèche) par rapport aux autres extraits qui présentent (3.63 ± 0.021 mg/g de matière sèche) pour l'extrait acétonique suivi par l'extrait aqueux ($1,25 \pm 0,045$ mg/g de matière sèche). (Tableau 03)

IV.3. Dosage des flavonoïdes

Dans les extraits acétonique, éthanolique et aqueux de la betterave rouge, la teneur en flavonoïdes totaux est déterminée par l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage exprimées en milligramme Eq de quercétine par gramme d'extrait (**Figure 09**).

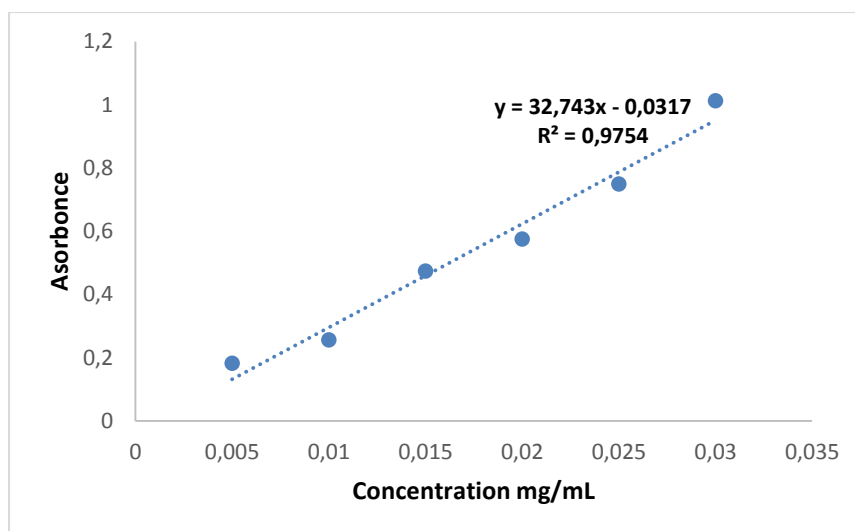


Figure 09. Courbe d'étalonnage de la quercétine.

La teneur en flavonoïdes est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage à la quercétine. La teneur en flavonoïdes est enregistrée dans le **tableau 04**.

Tableau 04. Teneur en flavonoïdes des extraits de la betterave rouge

Extraits acétonique	Extraits éthanolique	Extraits aqueux
0,27 ± 0,004mgQE/g	1,00 ± 0,037mgQE/g	0,060 ± 0,012mgQE/g

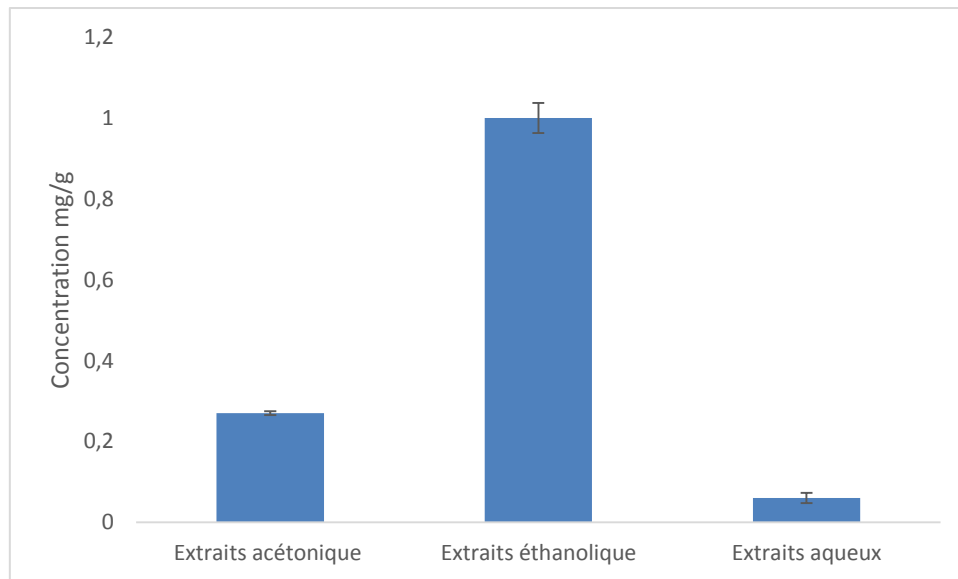


Figure 10. Teneur en flavonoïdes des extraits de la betterave rouge.

La détermination de la teneur en flavonoïdes dans les extraits de la betterave rouge a été estimée en utilisant séparément les méthodes colorimétriques au trichlorure d'aluminium (AlCl_3) à 2%. Pour chaque Extrait, la teneur en flavonoïdes a été rapportée en mgQE/g d'extrait sec. Les résultats montrent que L'extrait éthanolique a une forte teneur en flavonoïdes ($1,00 \pm 0,037\text{mgQE/g}$) par rapport aux autres extraits qui présentent ($0,27 \pm 0,004\text{mgQE/g}$) pour l'extrait acétonique suivi par l'extrait aqueux ($0,060 \pm 0,012\text{mgQE/g}$). **(Tableau 04)**

Les résultats du dosage des polyphénols et flavonoïdes, sont en accord avec ceux obtenus par **Nahla et al, 2018** qui ont utilisé l'éthanol et l'eau distillé pour la préparation des extraits de la betterave rouge, et il s'est avéré que l'extrait éthanolique était plus riche en polyphénols et flavonoïdes que l'extrait aqueux.

IV.4. Evaluation du pouvoir antioxydant

L'activité antioxydante des différents extraits de la betterave rouge a été évaluée par deux méthodes différentes : le test de réduction du radicale libre DPPH et le test de réduction du fer FRAP.

IV.4.1. Test de réduction du radical libre DPPH

L'activité antioxydante est évaluée en utilisant le test DPPH. Le composé chimique 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle est un radical de couleur violacée qui absorbe dans l'UV-visible à la longueur d'onde de 517nm, suivie par spectrophotométrie. Il fut l'un des premiers radicaux libres utilisés pour étudier l'activité antioxydante des composés phénoliques.

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

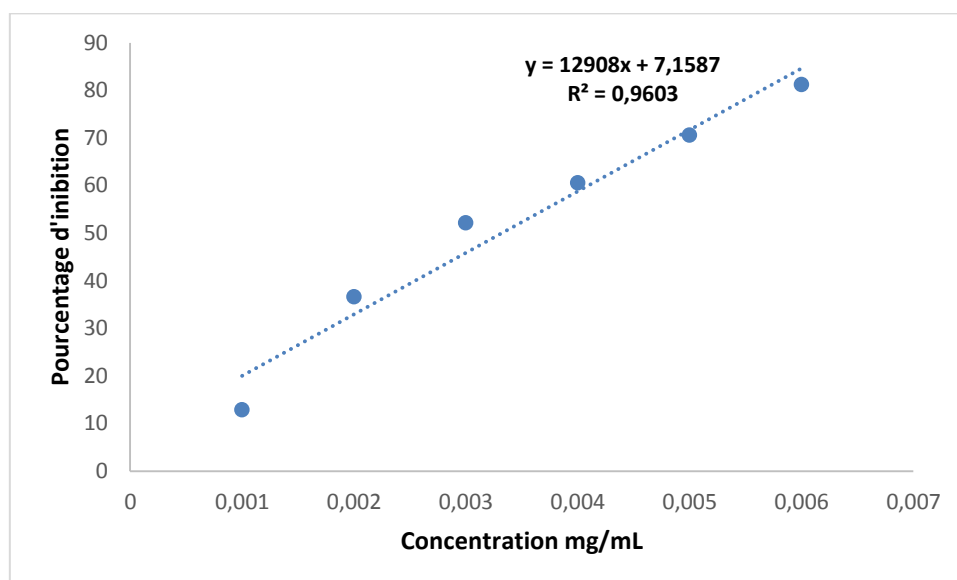


Figure 11. Activité antioxydante de l'acide ascorbique sur la réduction du DPPH.

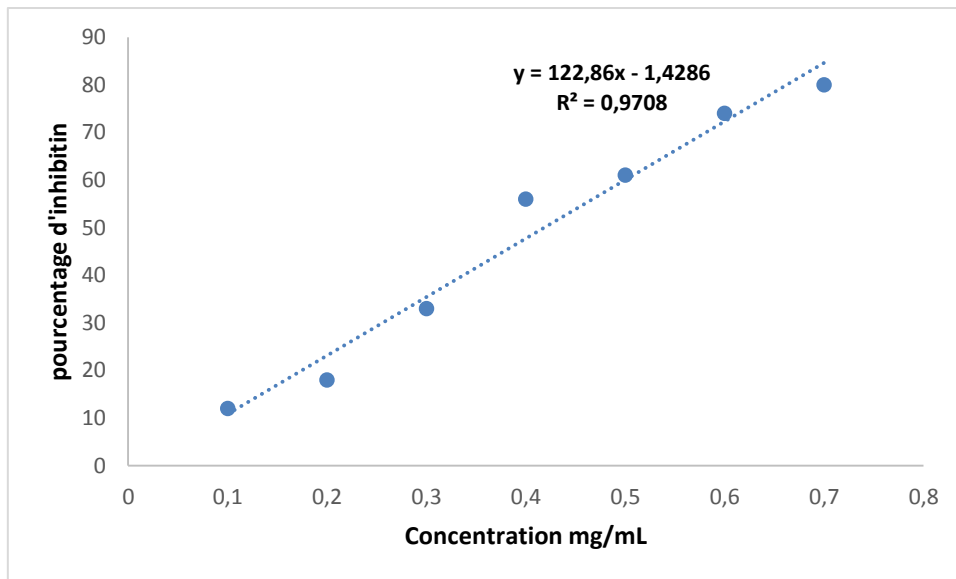


Figure 12. Activité antioxydante de l'extrait acétonique sur la réduction du DPPH.

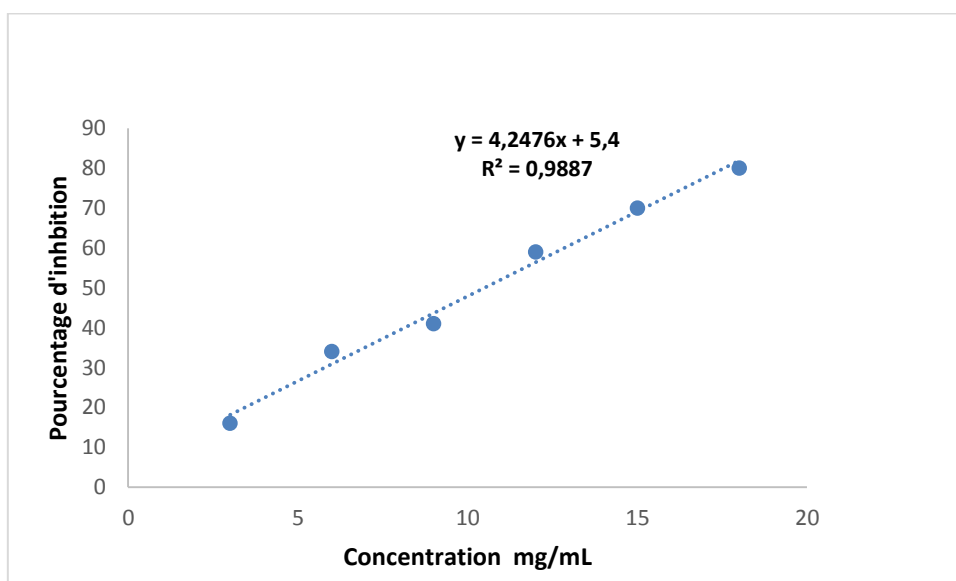


Figure 13. Activité antioxydante de l'extrait aqueux sur la réduction du DPPH.

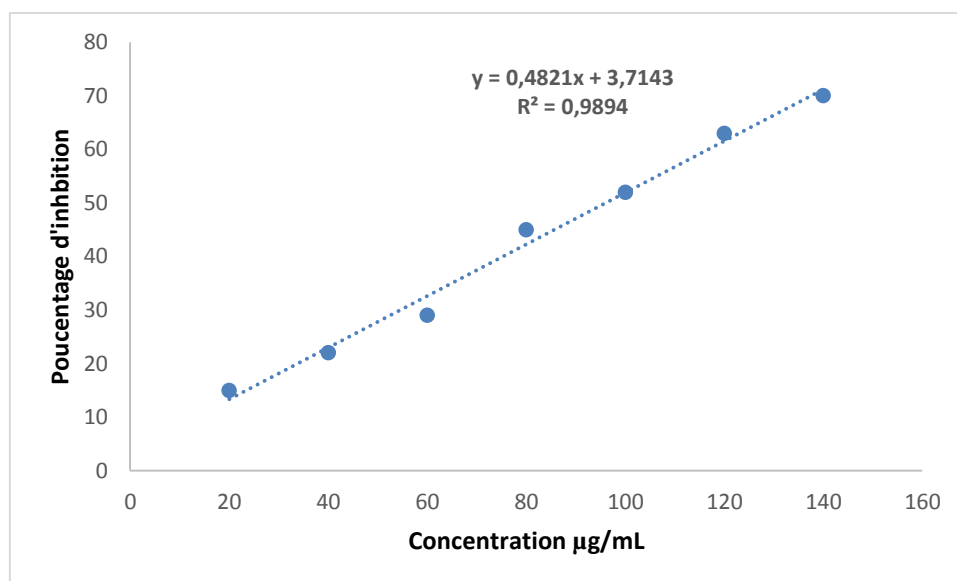


Figure 14. Activité antioxydante de l'extrait éthanolique sur la réduction du DPPH.

D'après les résultats obtenus (Figure 11 à 14) on remarque que le pourcentage d'inhibition augmente en augmentant la concentration des extraits, ceci peut être expliqué par l'augmentation de la concentration en molécules biologiques ayant une activité antioxydante.

Tableau 05. IC₅₀ de DPPH des différents extraits de la betterave rouge

DPPH (IC ₅₀)			
Acide ascorbique	Extraits acétonique	Extraits éthanolique	Extraits aqueux
0,0033mg/ml	0,4185mg/ml	0,096mg/ml	10,50mg/ml

L'IC₅₀ exprime la quantité d'antioxydant requise pour réduire de 50% la concentration du radical libre. Elle est inversement proportionnelle à la capacité antioxydante d'un composé. En effet, plus la valeur de l'IC₅₀ est basse, plus l'activité antioxydante est grande (**Dung et al., 2008**). Sa détermination permet d'évaluer et de comparer l'efficacité de nos extraits. D'après les résultats obtenus (tableau 5), nous constatons que pour l'extrait, la plus faible valeur de l'IC₅₀ est celle de l'extrait éthanolique (0,096mg/ml), suivi de près par celle de l'extrait acétonique (0,4185mg/ml). Par ailleurs, la plus grande valeur a été obtenue par l'extrait aqueux (10,50mg/ml) alors que celle de l'acide ascorbique reste la plus importante puisque son IC₅₀ était la plus basse avec (0,0033mg/l).

IV.4.2. Test de la réduction du fer FRAP

Le pouvoir réducteur a été déterminé selon la méthode d'Oyaizu (1986). Sur la base des données qui représentent l'absorbance en fonction des différentes concentrations du standard d'acide ascorbique, nous avons construit la courbe de régression ci-dessous.

La présence des réductants dans l'extrait provoque la réduction du fer Fe^{3+} complexe ferricyanide à la forme ferreuse. Par conséquent, le Fe^{2+} peut être évalué en mesurant et en surveillant l'augmentation de la densité de la couleur bleu verte dans le milieu réactionnel à 700nm. Cette dernière est un essai simple, rapide et reproductible. Il est universel et peut être appliqué aussi bien chez les plantes que les plasmas et dans les extraits organiques et aqueux (Li et al., 2008).

Le contrôle positif utilisé pour cette activité est l'acide ascorbique testé à différentes concentrations. Les résultats obtenus sont représentés dans la **Figure 15**. Les valeurs de l' IC_{50} correspondant à la concentration qui assure une absorbance de 0,5 et déterminé par des graphes de concentration d'extraits en fonction de la DO, nous ont permis de calculer, d'évaluer et de comparer l'efficacité des différents extraits. Plus la valeur est petite, plus l'effet réducteur du fer est élevé.

L' IC_{50} est déterminée à partir d'une courbe de pourcentage d'inhibition de FRAP enregistrée dans le **tableau 06**.

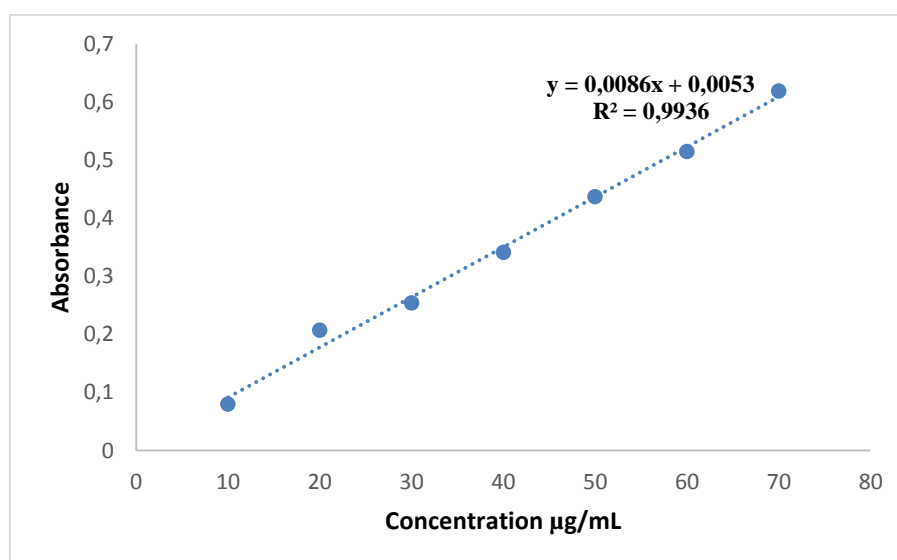


Figure 15. Activité antioxydante de l'acide ascorbique sur la réduction du Fer.

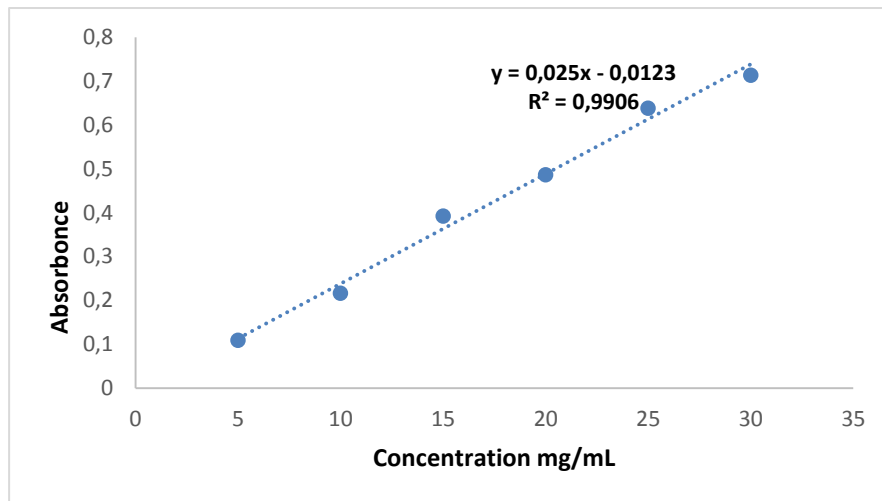


Figure 16. Activité antioxydante de l'extrait aqueux sur la réduction du Fer.

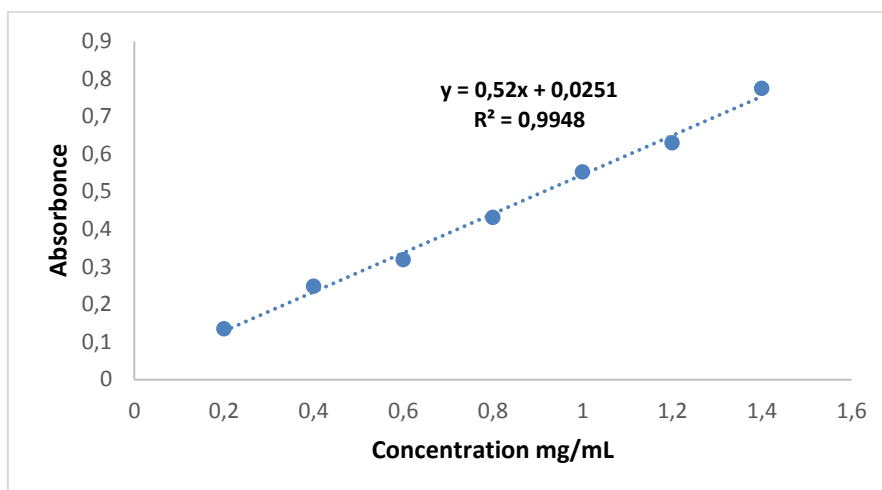


Figure 17. Activité antioxydante de l'extrait éthanolique sur la réduction du Fer.

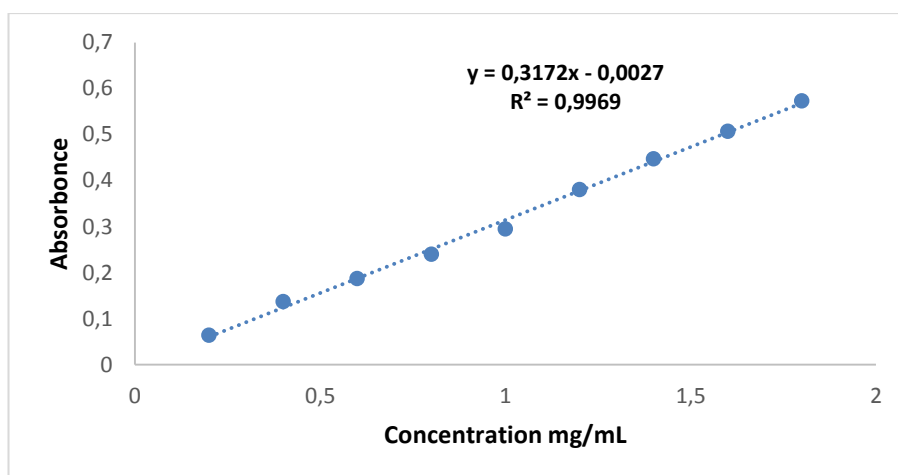


Figure 18. Activité antioxydante de l'extrait acétonique sur la réduction du Fer.

Tableau 06. IC₅₀ de FRAP des différents extraits de la betterave rouge.

FRAP (IC ₅₀)			
Acide ascorbique	Extraits acétonique	Extraits éthanolique	Extraits aqueux
0,057mg/ml	1,58mg/ml	0,91mg/ml	20,49mg/ml

L'évaluation des extraits de la betterave rouge à réduire le fer ferrique (Fe³⁺) en fer ferreux (Fe²⁺), a permis d'obtenir les différents résultats présentés dans les **Figures n°15, 16, 17, 18** et le **Tableau n°06**. selon les résultats, on remarque que le pourcentage d'inhibition augmente en augmentant la concentration des extraits, ceci peut être expliquer par l'augmentation de la concentration en molécules biologiques ayant une activité antioxydante.

La détermination de l'IC₅₀ permet d'évaluer l'efficacité des extraits et d'apprécier encore mieux les résultats. Selon le **tableau n°06**, l'extrait éthanolique présente la valeur la plus faible en IC₅₀ (0,91mg/ml) suivi de près par celle de l'extrait acétonique (1,58 mg/ml), Par ailleurs, la plus grande valeur a été obtenu par l'extrait aqueux. (20,49 mg/ml). Ces valeurs reflètent la capacité des extraits de betterave rouge à réduire le fer ferrique en fer ferreux correspondant, à une absorbance de 0,5. Cependant, ces concentrations restent très élevées par rapport à celle de l'acide ascorbique (0,057mg/ml). Les résultats du test de FRAP confirment les résultats obtenus par le test de DPPH.

D'après les résultats obtenus par le test du DPPH et du FRAP, il semble évident que l'activité antioxydante des trois extraits est proportionnelle à la quantité des polyphénols et flavonoïdes présentent dans les solutions.

Les polyphénols sont omniprésents dans la plupart des plantes et constituent une partie essentielle de l'alimentation humaine en raison de leur activité antioxydante et de nombreuses autres propriétés bénéfiques pour la santé (**Dirar et al, 2019**). En plus, plusieurs études ont indiqué la présence d'une corrélation entre l'activité antioxydante et la teneur en polyphénols et flavonoïdes (**Rabhi et al ,2013 ; Ammar et al,2012**)

La teneur en polyphénols et en flavonoïdes dans un aliment est souvent utilisée comme indicateur de son potentiel antioxydant. Plus la concentration de polyphénols et de flavonoïdes est élevée, plus l'activité antioxydante sera puissante. Cependant, il est important de noter que l'activité antioxydante dépend également d'autres facteurs, tels que la biodisponibilité de ces composés, ainsi que leur interaction avec d'autres molécules bioactives pouvant influencer l'efficacité globale de l'activité antioxydante.

De nombreuses études de recherche publiées récemment, montrent la forte propriété antioxydante de la betterave, attribués à ses composés phénoliques (**Kapur et al., 2012**) Les résultats d'analyse de l'activité antioxydante des différents extraits de la betterave rouge par les deux tests DPPH et FRAP, reflètent dans cette étude le potentiel antioxydant des différents extraits, avec une nette activité de piégeage des radicaux libres pour l'extrait éthanolique par rapport aux deux autres extraits acétonique et aqueux respectivement. Un résultat qui corrobore avec les travaux de **El Gamal et al., (2014)**, qui dans une étude *in vitro*, d'un extrait éthanolique de *B. vulgaris* L, testé pour sa capacité antioxydante en utilisant la méthode de piégeage des radicaux libres DPPH a révélé sa plus haute capacité antioxydante à différentes concentrations.

Les résultats probants obtenus avec les extraits éthanoliques de betterave rouge par rapport aux extraits acétonique et aqueux peuvent être dus à plusieurs facteurs spécifiques liés aux propriétés du solvant et aux composés extraits.

- Pour ce qui est de la solubilité des composés antioxydants, les polyphénols et les flavonoïdes, sont souvent mieux solubles dans des solvants à polarité moyenne à élevée, comme l'éthanol. Ce dernier, peut extraire efficacement ces composés liposolubles, ce qui augmente l'activité antioxydante de l'extrait (**Adajailia et Drid, 2020**).
- Aussi, L'éthanol a une capacité de solubilisation supérieure à celle de l'eau ou de l'acétone pour de nombreux composés organiques, y compris les antioxydants. Par conséquent, il peut extraire une plus grande quantité de ces composés de la matrice végétale, ce qui se traduit par des résultats antioxydants plus élevés dans l'extrait éthanolique.
- Certains composés peuvent être mieux extraits par l'éthanol (Sélectivité), tandis que d'autres peuvent être mieux extraits par l'eau ou l'acétone. Si les composés antioxydants spécifiques présents dans la betterave rouge sont plus facilement solubles

dans l'éthanol, cela peut expliquer les résultats probants obtenus avec l'extrait éthanolique (**Kapur et al., 2012**).

Cependant, les différents extraits de la betterave rouge présentent une activité antioxydante moins importante par rapport à l'acide ascorbique en tant que témoin standard de référence pour plusieurs raisons :

- Nature des composés antioxydants : L'acide ascorbique est une molécule pure, et sa nature chimique lui confère une activité antioxydante spécifique et bien définie. Les extraits de betterave rouge, en revanche, contiennent une variété de composés antioxydants, tels que les polyphénols, les flavonoïdes et la vitamine C elle-même. Ces composés peuvent interagir les uns avec les autres ou avec d'autres molécules présentes dans l'extrait, ce qui peut influencer leur activité antioxydante globale.
- Sensibilité à l'oxydation : L'acide ascorbique est relativement stable en tant qu'antioxydant, ce qui signifie qu'il peut neutraliser les radicaux libres sans se dégrader rapidement lui-même. En revanche, certains des composés antioxydants présents dans les extraits de betterave rouge peuvent être plus sensibles à l'oxydation, ce qui peut réduire leur activité antioxydante en présence d'espèces réactives de l'oxygène.

Conclusion

Conclusion

Dans ce travail nous avons évalué *in vitro* l'activité antioxydante, par différentes méthodes des extraits de la betterave rouge (*Beta vulgaris* L.) de la région de Mostaganem

La caractérisation chimique des extraits obtenus par trempage ou macération pendant 72h à 4°C dans différents solvants a montré que l'eau distillée avait le rendement d'extraction le plus élevé, avec 13% par rapport à l'éthanol (11,6%) et l'acétone (4,6%).

Le contenu de la betterave rouge en polyphénols totaux et en flavonoïdes, a montré que l'extrait éthanolique présentait la meilleure teneur en polyphénols avec une concentration de 5,07mg/g de matière sèche par rapport à l'extrait acétonique (3,63mg/g MS) et l'extrait aqueux (1,25mg/g MS). Des résultats similaires ont été observés avec le dosage colorimétrique des flavonoïdes avec une concentration de 1,00 mgEQ/g dans l'éthanol, suivi de 0,27mgEQ/g dans l'acétone et de 0,060 mgEQ/g dans l'extrait aqueux.

L'activité antioxydante déterminée par le test du DPPH et du FRAP montre que les différents extraits possèdent une activité antioxydante qui augmente en fonction de la concentration. L'activité antioxydante la plus élevée est enregistré dans l'extrait éthanolique suivit par l'extrait acétonique et finalement l'extrait aqueux. Cette activité reste néanmoins nettement inférieure à celle de l'acide ascorbique, mais il s'agit d'extraits bruts contenant un grand nombre de composés différents. Il est donc très probable qu'ils contiennent des composés que, une fois purifiés, peuvent présenter une activité comparable à celle de l'acide ascorbique ou plus.

Bien que certaines études aient montré des résultats prometteurs, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour bien comprendre les effets des extraits de la betterave rouge en tant qu'antioxydants. Alors que la demande d'antioxydants naturels continue de croître, les betteraves rouges peuvent s'avérer être une source précieuse en ces composés.

En perspective, il serait intéressant d'évaluer l'activité antioxydante par d'autres méthodes et de faire des tests *in vivo* ainsi que déterminer la teneur de la betterave rouge en d'autres composés bioactives et étudier leurs contribution à l'activité antioxydantes

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- ✓ **Adjailia A, Drid I, (2020).** Comparaison des rendements d'extraction et des polyphénols chez *Thymelaea hirsuta* L. Mémoire de Master, Spécialité: Biochimie appliquée, Université Larbi tebessi, Tebessa. 70p.
- ✓ **Ammar I, Ennouri M, Khemakhem B, Yangui T, Attia H. (2012).** Variation in chemical composition and biological activities of two species of *Opuntia* flowers at four stages of flowering. *Industrial Crops and Products* 37: 34-40
- ✓ **Ardestani A, Yazdanparast R., (2007).** Antioxidant and Free Radical Scavenging Potential of *Achillea santolina* Extracts. *Food Chemistry*, 104, 21-29.
- ✓ **Béguel J P., (2012).** Étude de la capacité antioxydante en lien avec la reproduction chez l'huître creuse *Crassostrea gigas* (Thèse de doctorat). Université de Bretagne occidentale – Brest.
- ✓ **Belmehel N., (2019).** Effet des traitements pesticides sur les composés phénoliques de la pomme de terre cultivée (*Solanum tuberosum* Var *sylvana*), Mémoire de Master, Spécialité : Biochimie appliquée, Université de Mostaganem, 60p.
- ✓ **Belyagoubi N., (2011).** Activité antioxydante des extraits des composés phénoliques de dix plantes médicinales de l'Ouest et du Sud-Ouest Algérien, Thèse de doctorat en Biologie, Option : Substances naturelles, Activités biologiques et Synthèse, Université d'Abou Bakr Belgaid, Tlemcen, 174p.
- ✓ **Bensakhria A., (2018).** Toxicologie Générale, Le Stress Oxydatif, RechercheGate, 70-86.
- ✓ **Bessedik M, Benikhlef M T., (2017).** Etude de l'activité antioxydante et antimicrobienne des extraits phénoliques d'*Opuntia ficus indica* de Tunisie, Mémoire de Master, Spécialité : Biotechnologie microbienne, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, p54.
- ✓ **Better M., (2011).** La betterave sucrière, Syndicat des betteraviers de France CGB.
- ✓ **Boubekri C., (2014).** Etude de l'activité antioxydante des polyphénols extraits de *Solanum melongena* par des techniques électrochimiques, Thèse de doctorat, Spécialité : Chimie, Université Mohamed Khider, Biskra. 210p.
- ✓ **Boucelha L, Djebbar R., (2014).** Les espèces réactives d'oxygène (ROS), Comment l'oxygène peut-il devenir toxique ? Conférence : 40^{ème} anniversaire de l'USTHB, Alger.
- ✓ **Bouchouka E., (2016).** Extraction des polyphénols et étude des activités antioxydante et antibactérienne de quelques plantes Sahariennes (Thèse de doctorat). Université Badji Mokhtar-Annaba.

- ✓ **Boudjellal K, Zerzaihi O A., (2019).** Etude de l'activité antioxydante de l'espèce *Artimisia campestris* de la région désertique méridional (Tassili /Hoggar), mémoire de Master en Biochimie Appliquée, Université des frères Mantouri, Constantine, 88p.
- ✓ **Bourkhiss, M. B., Hnach, M., Paolini, J., Costa, J., Farah, A., & Satrani, B. (2010).** Propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires des huiles essentielles des différentes parties de *Tetraclinis articulata* (VAHL) Masters du Maroc. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. 79, 2010, p. 141 – 154.*
- ✓ **Cacciapuoti F., (2012).** Lowering Homocysteine levels May Prevent Cardiovascular Impairments ? Possible Therapeutic Behaviors. *Blood Coagulation & Fibrinolysis* 23(8), 677.
- ✓ **Chaouch T M., (2014).** Contribution à l'étude des activités antioxydante et antimicrobienne des extraits de quelques plantes médicinales (Thèse de doctorat). Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen.
- ✓ **Chhikara N, Kushwaha K, Sharma P, Gat Y, Panghal A., (2019).** Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review, *Foodchem Agric Food Chem.* 2020 Oct 21;68(42):11595-11611. doi: 10.1021/acs.jafc.0c04241. Epub 2020 Oct 11. PMID: 33040529 Review.
- ✓ **Chougui N H, Louaileche S M., (2013).** Physico-chemical characterisation and antioxidant activity of some *Opuntia ficus-indica* varieties grown in North Algeria. *African Journal of Biotechnology*, 2013, vol. 12, no 3.
- ✓ **Cillard J, Cillard P., (2006).** Mécanismes de la peroxydation lipidique et des anti-oxydations. *OCL*, 13(1), 24-29p.
- ✓ **Claire D, Fabrice V., (2006).** Histoire et amélioration des cinquante plantes cultivées: *Quae*, pp 116-121.
- ✓ **Didier A., (2013).** Modélisation de la croissance, des relations sources-puits et du rendement en sucre de la betterave sucrière (*Beta vulgaris* L.) sous des régimes contrastés de nutrition azotée, T H È S E pour obtenir le grade de docteur délivré par l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech) Spécialité : Sciences agronomiques et écologiques, 204p.
- ✓ **Dirar A. I., Alsaadi D. H. M., Wada M., Mohamed M. A., Watanabe T., Devkota H. P. (2019).** Effects of extraction solvents on total phenolic and flavonoid contents and biological activities of extracts from Sudanese medicinal plants. *South African Journal of Botany*, 120, 261-267.

- ✓ **Djenidi H, Khennouf S, Bouaziz A. (2020).** Antioxidant activity and phenolic content of commonly consumed fruits and vegetables in Algeria. *Prog. Nutr*, 22(1), 224-235.
- ✓ **Dung N T, Kim J M, Kang S C., (2008).** Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalyx operculatus* (Roxb.) Merr and Perry buds. *Food and Chemical Toxicology*, 46(12), 3632-3639p.
- ✓ **El Gamal A A, Al Said M S, Raish M, Al-Sohaibani M, Al-Massarani S M, Ahmad A, Hefnawy M, Al-Yahya M A, Basoudan O, Rafatullah S., (2014).** Beetroot (*Beta vulgaris* L.) extract ameliorates gentamicin-induced nephrotoxicity associated oxidative stress, inflammation, and apoptosis in rodent model. *Mediators Inflamm.* 2014, 1–12.
- ✓ **Geubben G J H., (2004).** Légumes: PROTA. pp 122.
- ✓ **Gruyer C H., (2022).** Se nourrir de son jardin – une année au potager permaculture, Book, Ulmer publisher, 171p.
- ✓ **Gurel E, Gurel S L, Peggy G., (2008).** Biotechnology applications for sugar beet. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27(2), 108-140.
- ✓ **Halvorsen B L, Carlsen M.H, Philip K M, Bohen S K, Holte K, Jacobs D R, Blomhoff J R., (2006).** Content of redox-active compounds (antioxidants) in foods consumed in the United States *Am J Clin Nutr.* 84; 95-135.
- ✓ **Hequet E C., (2019).** *Beta vulgaris* L., 1753. Inventaire National du Patrimoine Naturel.
- ✓ **Huang D, Ou B, Prior R I., (2005).** The chemistry behind antioxidant capacity assays. *J. Agric. Food Chem.*, 53: 1841-1856.
- ✓ **Hubert, J. (2006).** Caractérisation biochimique et propriétés biologiques des micronutriments du germe de soja: étude des voies de sa valorisation en nutrition et santé humaines (Doctoral dissertation, Institut National Polytechnique de Toulouse).
- ✓ **Kapur A N, Sati S A, Ranjan A S, Gupta P R., (2012).** Screening methanolic extracts of *beta vulgaris* roots for photoprotective activity. *Int. J. Pharm.Pharm. Sci.* 4, 124–127.
- ✓ **Ksouri R, Falleh H, Megdiche W, Trabelsi N, Hamdi B, Chaieb K., (2009).** Antioxidant and antimicrobial activities of the edible medicinal halophyte *Tamarix gallica* L and related polyphenolic constituents. *Food Chem Toxicol.* 2009;47:2083–91.
- ✓ **Letschert J P W, Lange W, Frese L, Van Den Berg R G., (1994).** Taxonomy of *Beta* section *Beta*, *Sugar Beet Research*, Vol 31, p.69-85.

- ✓ **Levinson J., (2020).** Beets — The History, Myriad Uses, and Health Benefits of These Beloved Roots, *Today's Dietitian* Vol. 22, No. 2, P. 26.
- ✓ **Li W, Hydamaka A W, Lowry L, Beta T., (2008).** Comparison of antioxidant capacity and phenolic compounds of berries, chokecherry and seabuckthorn. *Cent. Eur. J. Biol*, 4(4), 499-506p.
- ✓ **Liping C, Yuankang Z, Zijing H, Shengjie W, Chengtao J., (2021).** La betterave en tant qu'aliment fonctionnel avec d'énormes bienfaits pour la santé : antioxydant, antitumoral, fonction physique et activité métabolomique chronique, *Food Science and Nutrition*, 9(11) : 6406-6420.
- ✓ **Lit L C W, WONG C K, LI E Kwok-Ming E., (2007).** Elevated gene expression of Th1/Th2 associated transcription factors is correlated with disease activity in patients with systemic lupus erythematosus. *The Journal of Rheumatology*, 2007, vol. 34, no 1, p. 89-96.
- ✓ **Locatelli M, Gindro R, Travaglia F, Coisson J. D, Rinaldi M, Arlorio M. (2009).** Study of the DPPH-scavenging activity: Development of a free software for the correct interpretation of data. *Food chemistry*, 114(3), 889-897.
- ✓ **Maisuthisakul M, Da-Silva M., (2007).** Assessment of phenolics content and free radical scavenging capacity of some indigenous plants. *Food Chem*(100) : 1409-1418.
- ✓ **Majhenic L, Kerget M S, Knez Z., (2007).** Antioxidant and antimicrobial activity of guarana seed extracts. *Food Chemistry*. 104, 1258–1268.
- ✓ **Nahla, T. K., Wisam, S. U., Tariq, N. M. (2018).** Antioxidant activities of beetroot (*Beta vulgaris* L.) extracts. *Pakistan Journal of Nutrition*, 17(10), 500-505.
- ✓ **Ndunge G., (2019).** Analysis of beetroots bulb (*Beta vulgaris*) from selected geographical regions in Kenya : contents of essential nutritional elements, thesis submitted in partial fulfilment for the degree of MSc in Nuclear Science in the Institute of Nuclear Science and Technology in the university of Nairobi.
- ✓ **Nicholls P., (2012).** Classical catalase: ancient and modern. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 525(2), 95–101.
- ✓ **Nyirády P, Sárdi É, Bekő G, Szűcs M, Horváth A, Székely E., (2010).** A review on *Beta vulgaris* (Beet root), *Orvosi hetilap*. 151[37]:1495-503.
- ✓ **Oyaizu M., (1986).** Studies on products of browning reaction prepared from glucoseamine, *Jpn J. Nutr.*, 44, 307 – 314.

- ✓ **Oyen L P A., (2004).** *Beta vulgaris* L. Internet Fiche de Protabase. Grubben, G.J.H. & Denton, O.A. (Editeurs). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa/Ressources végétales de l’Afrique tropicale), Wageningen, Pays Bas.
- ✓ **Rabhi A, Falleh H, Limam F, Ksouri R, Abdelly C, Raies A. (2013).** Upshot of the ripening time on biological activities, phenol content and fatty acid composition of Tunisian *Opuntia ficus-indica* fruit. *African Journal of Biotechnology*. 12: 5875-5885.
- ✓ **Saidi I., (2019).** Caractérisation et valorisation d’une plante de la famille des *Fabaceae* : *Gleditsia triacanthos* de la région de Sidi Bel Abbès : Extraction des substances bioactives. Thèse de doctorat, Filière : sciences biologiques, Université Djillali Liabes, SBA, 188p.
- ✓ **Sanchez-Moreno C., (2002).** Review: Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in food and biological systems. *Food Sci Tech Int*, 8(3): 121-137.
- ✓ **Sharma O P, Bhat T K., (2009).** DPPH antioxidant assay revisited. *Food chemistry*, 113(4), 1202-1205.
- ✓ **Shashirekha M N, Mallikarjuna S E, Rajarathnam S., (2015).** Statut des composés bioactifs dans les aliments, avec un accent sur les fruits et légumes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55, 1324–1339.
- ✓ **Shimizu H., (2004).** Relationship between plasma glutathione levels and cardiovascular disease in a defined population : the Hisayama study, *Stroke*, 35 (9).
- ✓ **Su Y, Song H, Lv Y., (2018).** Recent advances in chemiluminescence for reactive oxygen species sensing and imaging analysis. *Microc.*
- ✓ **Tefiani, I. (2015).** Contribution à l’étude phytochimique et à l’effet antioxydant des extraits d’algue verte: *Ulva linza* (Doctoral dissertation, Université Abou Bekr Belkaïd-Tlemcen-).
- ✓ **Valko M, Rhodes C J, Moncol J, Izakovic M, Mazur M., (2006).** Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*, 160(1), 1-40.
- ✓ **Winkler C, Wirleitner B, Schroecksnadel K, Schennach H, Fuchs D., (2005).** In vitro effects of beetroot juice on stimulated and unstimulated peripheral blood mononuclear cells. *Am J BiochemBiotechnol* 1: 180-185.
- ✓ **Yasamin shirazi K., (2022).** Highlighting outstanding beetroot varieties for the food industry - Evaluation of agronomic and compositional attributes of organically grown beetroot (*Beta vulgaris* L. *subsp. vulgaris*) varieties, Dissertation to obtain the doctoral degree of Agricultural Sciences (Dr. sc. agr.), Faculty of Agricultural Sciences - University of Hohenheim, Institute of Crop Science, 116p.

- ✓ **Yildirim A, Mavi A, Kara A A., (2001).** Determination of antioxidant and antimicrobial activities of *Rumex crispus* L. extracts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **9**:4083-4089.
- ✓ **Zubiria L., (2021).** Betterave, <http://www.passeportsante.net>

الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو تقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات المائية والإيثانولية والأسيتونية من البنجر الأحمر (*Beta vulgaris L.*) بطريقتين مختلفتين ، DPPH و FRAP ، بعد تحديد محتوى المنتج في البوليفينول والفلافونويد عن طريق المقايسة اللونية. مع فولان سيوكالتو و ثلاثي كلوريد الألومنيوم على التوالي. يوضح التوصيف الكيميائي للمستخلصات التي تم الحصول عليها عن طريق النقع لمدة 72 ساعة عند 4 درجات مئوية في مذيبات مختلفة أن الماء له أعلى إنتاجية ، بنسبة 13٪ ، مقارنة بالإيثانول (11.6٪) والأسيتون (4.6٪). يوضح الفحص اللوني للبوليفينول أن المستخلص الإيثانولي يحتوي على أفضل محتوى من مادة البوليفينول بتركيز 5.07 مغ / غ من DM مقارنة بمستخلص الأسيتون (3.63 مغ / غ من DM) والمستخلص المائي (1.25 مغ / غ). ولوحظت نفس النتيجة أيضًا مع المقايسة اللونية للفلافونويد بتركيز 1.00 ملغ مكافئ / غ في الإيثانول ، يليه 0.27 ملغ مكافئ / غ في الأسيتون و 0.060 ملغ مكافئ / غ للمستخلص المائي. أظهرت دراسة النشاط المضاد للأكسدة بواسطة اختبار DPPH و FRAP أن أقل قيمة لـ IC₅₀ يتم الحصول عليها من المستخلص الإيثانولي ، يليها عن كثب مستخلص الأسيتون وإلى حد بعيد المستخلص المائي ، لكنها لا تزال مرتفعة جدًا مقارنة إلى الضوابط.

الكلمات المفتاحية: *Beta vulgaris L.*، البوليفينول، الفلافونويد، مضاد الأكسدة

Résumé

L'objectif principale de cette étude, consiste en l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux, éthanolique et acétonique de la betterave rouge (*Beta vulgaris L.*) par deux méthodes différentes, DPPH et FRAP, après avoir déterminé la teneur du produit en polyphénols et en flavonoïdes par dosage colorimétrique au Folin-Ciocalteux et au trichlorure d'aluminium respectivement.

La caractérisation chimique des extraits obtenus par macération pendant 72 heures à 4°C dans différents solvants, montre que l'eau distillée présente le rendement d'extraction le plus élevé, avec 13%, en comparaison avec l'éthanol (11,6%) et l'acétone (4,6%).

Le dosage colorimétrique des polyphénols, montre que l'extrait éthanolique présente la meilleure teneur en polyphénols avec une concentration de 5,07mg/g de MS par rapport à l'extrait acétonique (3,63mg/g de MS) et l'extrait aqueux (1,25mg/g de MS). Le même résultat a été aussi observé avec le dosage colorimétrique des flavonoïdes avec une concentration de 1,00mgEQ/g dans l'éthanol, suivi par 0,27mgEQ/g dans l'acétone et 0,060mgEQ/g pour l'extrait aqueux.

L'étude de l'activité antioxydante par le test de DPPH et de FRAP, ont démontré que la plus faible valeur de l'IC₅₀ est obtenue avec l'extrait éthanolique, suivi de près par celle de l'extrait acétonique et de loin par l'extrait aqueux, mais qui restent tout de même assez élevés par rapport aux témoins.

Mots clés : *Beta vulgaris L.*, polyphénols, flavonoïdes, activité antioxydante

Abstract

The main objective of this study is to evaluate the antioxidant activity of aqueous, ethanolic and acetic extracts of red beet (*Beta vulgaris L.*) by two different methods, DPPH and FRAP, after determining the content of produced in polyphenols and flavonoids by colorimetric assay with Folin-Ciocalteux and aluminum trichloride respectively.

The chemical characterization of the extracts obtained by maceration for 72 hours at 4°C in different solvents shows that distilled water has the highest extraction yield, with 13%, in comparison with ethanol (11.6%) and acetone (4.6%).

The colorimetric assay of polyphenols shows that the ethanolic extract has the best polyphenol content with a concentration of 5.07mg/g of DM compared to the acetone extract (3.63 mg/g of DM) and the aqueous extract (1.25mg/g DM). The same result was also observed with the colorimetric assay of flavonoids with a concentration of 1.00 mgEQ/g in ethanol, followed by 0.27mgEQ/g in acetone and 0.060mgEQ/g for the aqueous extract.

The study of the antioxidant activity by the DPPH and FRAP test demonstrated that the lowest value of the IC₅₀ is obtained with the ethanolic extract, followed closely by the acetone extract and far by the aqueous extract, but which still remain quite high compared to the controls.

Keywords: *Beta vulgaris L.*, polyphenols, flavonoids, antioxidant activity