

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE.

UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI

TIZI OUZOU

FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES SCIENCES AGRONOMIQUES

Département de Biochimie – Microbiologie



MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue d'obtention de diplôme de Master

Spécialité : Sciences biologiques

Option : Microbiologie appliquée.

Évaluation de quelques activités biologiques
d'extraits de cladodes d'*Opuntia ficus indica*
jeunes et matures issus de deux régions

Présenté par :

AÏBOUD Lydia et AMARA Widad

Soutenu le : 14 juillet 2019

Devant le jury :

Promotrice :	Mme DERMECHE S	Maître assistante A.	UMMTO
Présidente :	Mme ISSELNANE-TAMACHE S	Maître assistante A.	UMMTO
Examinatrice :	Mme AFIF CHAOUICHE T	Maître conférence B.	UMMTO
Examineur :	Mr TITOUCHE Y	Maître conférence B.	UMMTO

Année : 2018/2019

Remerciements

Après avoir rendu grâce à dieu le tout puissant et le miséricordieux nous tenons à remercier vivement notre promotrice Mme DERMECHE Samia d'avoir accepté de nous encadrer et orienter tout au long de ce travail.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à Mr TITOUCHE pour ses aides précieuses au laboratoire. On le remercie également pour avoir accepté d'examiner notre manuscrit.

Nos vifs remerciement s'adressent également à Mme ISSELNANE-TAMACHE qui nous fait l'honneur de présider le jury et Mme AFIF CHAUCHE pour avoir accepté et consacrer du temps pour examiner ce travail.

Nos remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Je dédie ce présent travail à :

Mes chers parents, que nulle dédicace ne peut exprimer mes sincères sentiments, pour leur patience illimitée, leur encouragement continu, leur aide, en témoignage de mon profond amour et respect pour leurs grands sacrifices.

Mes très chers frères et sœurs, pour leur aide et encouragement Ainsi qu'à tous mes amis.

A tous ceux que j'aime.

Lydia

Dédicace

Je dédie ce travail à mon très cher père

J'aurais aimé d que tu sois présent aujourd'hui, j'espère te rendre fière tout au long de mon existence, je ne te remercierais d jamais assez pour ton soutien ton amour dont tu n'as cessé de me procurer, que dieu t'accueille dans son vaste paradis.

Widad

Résumé

Le figuier de barbarie est une plante adaptée au climat aride et semi-aride, mais elle reste encore sous-exploitée au Algérie. Les cladodes du figuier de barbarie sont largement consommés au Mexique et ils contiennent des composants bioactifs qui ont des effets bénéfiques pour la santé. Le but de cette présente étude est une comparaison de l'activité antioxydante et antibactérienne d'extraits de cladodes de l'*Opuntia ficus indica* à un stade de maturité différent provenant de deux régions : BENIZMENZER et AFIR.

En premier lieu le contenu en polyphénols totaux est estimé par la méthode de Folin Ciocalteu d'après le test statistique ($p - value > 0.05$) la teneur en polyphénols totaux ne varie pas en fonction de l'âge du cladode ou de sa provenance. Pour évaluer l'activité antioxydante des extraits éthanoliques et acétoniques deux tests sont employés ; test de l'activité antiradicalaire avec l'acide 2, 2-Azinobis 3-éthyle-Benzo Thiazoline-6-Sulphonique (ABTS) et le Potentiel Réducteur Ferriques d'Antioxydants (FRAP). Les résultats obtenus montrent que l'extrait éthanolique du jeune cladode de la région d'AFIR exprime une importante activité antiradicalaire avec une IC50 estimée de 12.94 µg/ml Les extraits étudiés expriment un faible pouvoir réducteur de la FRAP. L'évaluation de l'activité antibactérienne des extraits in vitro vis-à-vis de trois souches bactériennes est effectuée par la méthode de diffusion sur disque. Les résultats montrent que les extraits n'exercent aucun effet antibactérien sur les souches cibles (*E.coli*, *S.aureus*, *K.pneumoniae*). Nos données suggèrent que les cladodes jeunes *Opuntia ficus indica* pourraient être une

Mots clés : Polyphénols, Activité antioxydante, Activité antimicrobienne, Cladodes de figuier de barbarie, Région, Stade de maturité.

Abstract

The prickly pear is a plant adapted to the arid and semi-arid climate, but it remains still under-exploited in Algeria. The cladodes of the prickly pear are widely consumed in Mexico and contain bioactive components that have beneficial health effects. The purpose of this study is a comparison of the antioxidant and antibacterial activity of Cladode extracts of *Opuntia ficus indica* at a different maturity stage from two regions : BENIZMENZER and AFIR. In the first place, the total polyphenol content is estimated by Folin Ciocalteu's method according to the statistical test ($p - value > 0.05$). The total polyphenol content does not vary with the age of the cladode or its origin. To evaluate the antioxidant activity of ethanolic and acetic extracts two tests are used; test of antiradical activity acid 2, 2-Azinobis 3-ethyl-Benzo Thiazoline-6-Sulphonic (ABTS) and the Potential Reducer Ferriques de Antioxydants (FRAP). The results obtained show that the ethanolic extract of the young cladode of the AFIR region expresses an important antiradical activity with an estimated IC₅₀ of 12.94 µg/ml. The extracts studied express a low reducing power of FRAP. The evaluation of the antibacterial activity of the extracts in vitro with respect to three bacterial strains is carried out by the disk diffusion method. The results show that the extracts have no antibacterial effect on the target strains (*E.coli*, *S.aureus*, *K.pneumoniae*). Our data suggest that young Cladodes *Opuntia ficus indica* could be a potential source of bioactive natural compounds. Key words : polyphenols, antioxidant activity, antimicrobial activity, fig cladodes of barbarism, Region, Stage of maturity.

Keywords : Polyphenols, Antioxidant activity, Antimicrobial Activity, Prickly pear cladodes, Region, Stage of maturity.

Table des matières

Résumé

Abstract

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale	1
1 Synthèse bibliographique	3
1.1 <i>Opuntia ficus indica</i> (figuier de barbarie)	3
1.1.1 Historique	3
1.1.2 Description de la plante	4
1.1.3 Composition chimique des cladodes	5
1.1.4 Quelques travaux réalisés sur la composition chimique des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i>	14
1.2 Activités biologiques des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i>	15
1.2.1 Radicaux libres	15
1.2.2 Antioxydants	16
1.2.3 Activité antioxydante des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i>	16
1.2.4 Activité antimicrobienne	17
1.3 Valorisation biotechnologique	18
2 Matériel et méthodes	20
2.1 Matériel	20

2.1.1	Matériel instrumental et réactifs chimiques	20
2.1.2	Matériel végétale	21
2.2	Méthodes et protocoles expérimentaux	22
2.2.1	Détermination de la teneur en eau	22
2.2.1.1	Mode opératoire	22
2.2.1.2	Expression des résultats	22
2.2.2	La teneur en cendre et en matière organique	23
2.2.2.1	Mode opératoire	23
2.2.2.2	Expression des résultats	23
2.2.3	Extraction des polyphénols totaux	23
2.2.4	Rendement d'extraction en composés phénoliques	24
2.2.5	Dosage des polyphénols totaux	24
2.2.5.1	Principe	24
2.2.5.2	Méthode	25
2.2.5.3	Expression des résultats	25
2.2.6	Test de l'activité antioxydante	26
2.2.6.1	Activité « Scavenger » du radical ABTS	26
2.2.6.2	Le pouvoir réducteur (FRAP)	27
2.3	Evaluation de l'activité antibactérienne	28
2.3.1	Souches cibles	28
2.3.2	Principe	28
2.3.3	Mise en œuvre pratique	28
2.3.4	Mode opératoire	29
2.3.5	Expression des résultats	29
2.4	Analyse statistique	29
3	Résultats et discussions	30
3.1	Teneur en humidité	30
3.2	Teneur en cendres	30
3.3	Rendement d'extraction en polyphénols	32
3.4	Teneur en polyphénols totaux	32
3.5	Activités biologiques	33
3.5.1	Activités antioxydantes	33
3.5.1.1	Activité antiradicalaire ABTS	34
3.5.1.2	Test du pouvoir réducteur FRAP	35

3.5.2	Activité antibactérienne	36
	Conclusion et perspectives	38
	Annexes	
	Bibliographie	

Liste des abréviations

ABTS	2, 2 azinobis-3-ethylbenzthiazoline-6-sulphonic acid
AF	AFIR
ATCC	American Type Culture Collection
C.M	cladode mature
C.J	cladode jeune
BZ	Bini-Zmenzer
Fe³⁺	Fer ferrique
Ca²⁺	Ion calcium
PPT	Polyphénols totaux
DMSO	dimethyl sulfoxid
DPPH	Radical 2,2-diphényle-1-picrylhydrazyl.
DO	Densité Optique
ExAc	Extrait acétone de cladodes
EAG	Equivalent en Acide Gallique
EAG/gMS	Equivalent d'Acide Gallique par gramme de Matière Sèche
ExEth	Extrait éthanol de cladodes
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
Fe²⁺	fer ferreux.
FeCl₃	Chlorure de Fer
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power
H%	Teneur en eau.
IC₅₀	Concentration inhibitrice a 50%.
K⁺	Ion potassium
<i>K.p</i>	<i>Klebsilla pneumoniae</i>

Liste des abréviations

Mg²⁺	Ion magnésium
M.H	Muller-Hinton
MO%	Teneur en matière organique.
Na⁺	Ion sodium
OFI	<i>Opuntia ficus indica</i>
pH	potentiel hydrogène
PM	Poids moléculaire
Pr0.5	Concentration en extrait donnant une DO=0.5
R	Rendement
<i>S. aureus</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>
TC%	Teneur en cendre.
TCA	Acide trichloroacétique
UFC	Unité Formant Colonies.
UHPLC	ultra-high-performance liquid chromatography
EC/g ES	équivalent catéchine / g d'échantillon sec
EPA/g ES	équivalent proanthocyanidines / g d'échantillon sec
EMG/g ES	équivalent méthyl gallate / g d'échantillon sec
ESG/g ES	équivalent sitosteryl 3 β -D-glucopyranoside / g d'échantillon séché
ES/g ES	équivalent β -sitostérol / g d'échantillon sec

Liste des figures

Figure 1	Répartition mondiale d' <i>Opuntia ficus indica</i>	3
Figure 2	Principaux acides aminés des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> dans 100 g de poids frais	7
Figure 3	La composition en acides gras dans les cladodes du figuier de barbarie dans 100g de poids sec	8
Figure 4	Identification et quantification de composés phénoliques des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i>	10
Figure 5	Quantification par classes de composés phénoliques identifiées par UHPLC	11
Figure 6	Composition en monosaccharides non cellulosiques des cladodes de l' <i>Opuntia ficus indica</i>	11
Figure 7	Structure du mucilage des cladodes de l' <i>Opuntia ficus indica</i>	12
Figure 8	Composition chimique du mucilage de l' <i>Opuntia ficus indica</i>	13
Figure 9	Détermination des sucres et des acides uroniques dans le mucilage d' <i>Opuntia ficus indica</i>	13
Figure 10	Échantillons de cladodes récoltés	22
Figure 11	Les étapes de préparation des extraits	24
Figure 12	Courbe d'étalonnage de l'acide gallique	25
Figure 13	Processus de réduction du radical ABTS + en présence d'un antioxydant . .	26
Figure 14	Teneur en humidité des échantillons	30
Figure 15	Teneur en cendres des échantillons	31
Figure 16	Rendements d'extraction en PPT	32
Figure 17	Teneurs en polyphénols dans les différents extraits	33
Figure 18	Les IC50 des différents extraits et standard donnés par le test ABTS	34
Figure 19	Concentrations d'extraits donnant une DO=0,5 à 700nm	35

Figure 20	Résultats de l'activité antibactérienne des extraits contre <i>S.aureus</i> ATCC 25923	37
Figure 21	Résultats de l'activité antibactérienne des extraits contre <i>K. pneumoniae</i> ATCC 700603	38
Figure 22	Résultats de l'activité antibactérienne des extraits contre <i>E.coli</i> ATCC 25922	38

Liste des tableaux

Tableau I	Caractéristiques morphologiques d' <i>Opuntia ficus indica</i>	5
Tableau II	Principaux composants des cladodes du figuier de barbarie	6
Tableau III	Principaux minéraux contenus dans les cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i>	6
Tableau IV	Composition des cladodes en acides organiques à deux différents temps de récolte	7
Tableau V	Composition en vitamines dans les cladodes du figuier de barbarie	8
Tableau VI	Les principales classes de composés phénoliques	9
Tableau VII	Les composés phénoliques d' <i>Opuntia ficus indica</i>	10
Tableau VIII	Teneur phytochimique totale de cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> à différents stades de maturité	13
Tableau IX	Variabilité de la composition chimique des cladodes de l' <i>Opuntia ficus indica</i>	14
Tableau X	Exemples de quelques activités biologiques des extraits d' <i>Opuntia ficus indica</i>	16
Tableau XI	Activité des extraits de cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> contre certaines souches bactériennes et fongiques	18
Tableau XII	Quelques exemples de valorisation biotechnologique des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i>	19
Tableau XIII	Matériels utilisés	20
Tableau XIV	Consommables et réactifs chimiques	20
Tableau XV	Souches de références testées	28
Tableau XVI	Concentrations en extraits de chaque échantillon	36

Introduction générale

Introduction générale

Ces dernières années, la consommation des aliments d'origine végétale constitue un enjeu de santé publique, ce phénomène est certainement lié à la prise de conscience quant à la relation entre la qualité des aliments et la santé. Les plantes à constituants intéressants ont récemment manifesté un grand intérêt, ceci est dû à la présence de principaux groupes de molécules bioactives (polyphénols, vitamines, caroténoïdes...) ayant une forte capacité antioxydante.

Le cactus de figuier de barbarie, *Opuntia ficus indica* est une plante tropicale ou subtropicale cultivée sous des climats arides, tels que les zones méditerranéennes et d'Amérique centrale (Ginestra *et al.*, 2009). La recherche médicale moderne redécouvre avec un intérêt grandissant la plante et ses propriétés, des études scientifiques récentes ont démontré la présence de composés phytochimiques potentiels chez ce cactus ou dans ses différentes parties. Il est une source d'une immense richesse de sa raquette (cladode) jusqu'aux fruits et ses graines qui peuvent avoir un grand intérêt potentiel pour la santé humaine et la médecine (Guo *et al.*, 2003).

Parmi les composés phytochimiques présents dans sa composition chimique à laquelle sont attribués les avantages en matière de soins de santé et de prévention des maladies, vitamines, caroténoïdes, flavonoïdes et pigments de bétalaïne. Ces composés extraits ont montré un nombre d'actions pharmacologiques, des effets cicatrisants et hypocholestérolémiants, une inhibition des ulcérations de l'estomac, des effets neuro-protecteurs par des actions antioxydantes et des effets anti-inflammatoires. (Ginestra *et al.*, 2009).

D'autres composants de ce cactus notamment le mucilage dont les intérêts sont mis à profit dans l'industrie, l'alimentation, la cosmétologie et en dermatopharmacie, dans le but de la valorisation biotechnologique de cette plante. Le mucilage peut être considéré comme un composant fonctionnel à potentiel industriel, comme une source d'hydro colloïdes (Ginestra *et al.*, 2009), ou source de sucres pour la production du biogaz, bioéthanol...

L'Algérie possède une richesse floristique considérable divers, 80% de la superficie de l'Algérie est aride à semi-aride, elle possède des points forts (climat, ressources phylogénétiques et terrains), pour développer la culture de la figue de barbarie. La plantation de l'*Opuntia* occupent une superficie de 52.000 hectares en Algérie; avec plus de quarante variétés au total dont six sont à fruit comestible. La figue de barbarie algérienne est non seulement réputée par son goût succulent et sucré, mais contient une grande quantité de graines comparée avec celle du Maroc ou de la Tunisie. C'est une plante qui est économiquement importante, mais qui reste très peu exploitée, une valorisation est alors nécessaire vu les innombrables vertus qui ont été démontrées dans plusieurs études, ainsi, les industriels algériens devraient se pencher sur cet axe afin de développer ce secteur qui s'avère très promoteur (Cherif, 2016).

Dans cette étude on s'intéresse au genre *Opuntia* de la famille des Cactacées, et plus précisément aux cladodes de l'espèce *ficus indica*. L'objectif scientifique de notre travail est de quantifier les composés phénoliques et d'évaluer *in vitro* quelques activités biologiques des extraits de cladodes en fonction de la région et de leur stade de maturité.

Le contenu de ce mémoire est présenté en trois chapitres : le premier chapitre est consacré à l'étude bibliographique décrivant avec détails la composition chimique (sucres, protéines, polyphénols...) et une documentation sur la valorisation biotechnologique des cladodes de l'*Opuntia ficus indica*. Le second concerne les matériels et méthodes utilisés dans ce travail, et le dernier chapitre englobe les résultats obtenus et discussions.

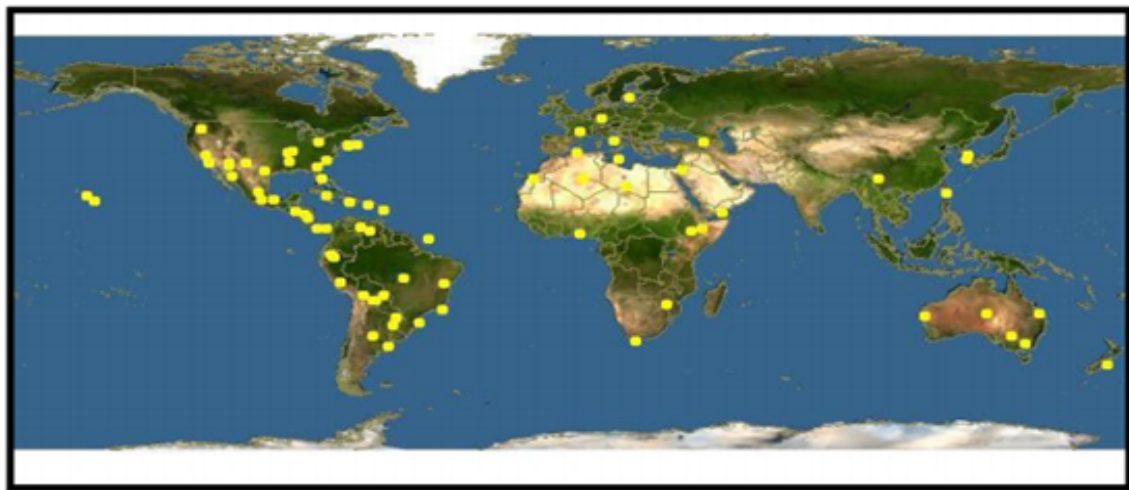
Synthèse bibliographique

1.1 *Opuntia ficus indica* (figuier de barbarie)

1.1.1 Historique

Le figuier de barbarie *Opuntia ficus indica*, son appellation scientifique vient du latin *Opuntius* d'Oponthe ; nom de la ville grecque (Schweizer, 1997). Le nom commun est le cactus qui vient du mot grec « kaktos », il signifie : la plante épineuse (DeFELICE, 2004). La plante peut porter un nom différent selon l'idiome local : En Espagne, outre Nopal, on l'appelle familièrement Tuna, dans les pays francophones du bassin méditerranéen, l'*Opuntia* est surnommé figuier de barbarie ; en Angleterre : Prickly pear (poire à épines) (Schweizer, 1997), en Egypte : El-Tin-el-choki et en Algérie, plus précisément en Kabylie, elle est surnommée Akermousse.

Le figuier de barbarie est une plante originaire du Mexique. Il était inconnu en Europe avant les voyages de Christophe Colomb et fut décrit de façon précise pour la première fois en 1535 par l'Espagnol Gonçalo Hernández de Oviedo y Valdés dans son « Histoire des Indes Occidentales ». Le figuier de barbarie est arrivé en Europe vers 1552, ramené par les Espagnols. Au début du seizième siècle, le figuier de barbarie s'étend sur le bassin méditerranéen suite aux expansions espagnoles et aussi par le retour des arabes à leur pays dans le nord-africain suite à leur expulsion par Philippe III en 1610. Les arabes ont ramené avec eux des raquettes qu'ils ont plantées autour de leurs villages. La plantation du figuier de barbarie a été considérablement étendue dans la région du sud de l'Afrique 1772, l'Inde 1780, les Philippines 1695, la Chine 1700 et l'Indochine 1790 (Le Houérou, 2000), ainsi que dans d'autres aires géographiques.



■ *Opuntia ficus- indica*

Figure 1 – Répartition mondiale d'*Opuntia ficus indica*





1.1.2 Description de la plante

Le figuier de barbarie est une plante arborescente robuste de (3 à 5 m) de hauteur, possède : un tronc épais et ligneux et une organisation en articles aplatis, de forme elliptique ou ovoïdale de couleur vert-mat, ayant une longueur de (30 à 50 cm), une largeur de (15 à 30 cm) et une épaisseur de (1.5 à 3 cm) appelés cladodes ou raquettes. Les cladodes assurent la fonction chlorophyllienne et sont recouvertes d'une cuticule cireuse (la cutine) qui limite la transpiration et les protège contre les prédateurs (Nobel, 2002; Schweizer, 1997).

Les feuilles sont de forme conique et ont quelques millimètres de long, éphémères, apparaissant sur les cladodes jeunes, à leur base, se trouvent les aréoles (environ 150 par cladodes) qui sont des bourgeons axillaires modifiés. Les épines sont blanchâtres, sclérifiées, solidement implantées et longues de (1 à 2 cm). Les glochides sont de fines épines de quelques millimètres de couleur brunâtre, se décrochent facilement, s'implantant solidement dans la peau. Parfois on ne retrouve pas d'épines et on parle de raquettes inermes (Angulo-Bejarano *et al.*, 2014).

L'*Opuntia* porte des fleurs et des fruits en abondance. Les fleurs sont hermaphrodites, c'est sur le dessus des raquettes qu'apparaissent de belles et grandes corolles latérales, larges de (4 à 10 cm), de couleur jaune à rouge avec toutes les nuances intermédiaires et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante. Dans certaines contrées chaudes et arides la plante fleurit et porte des fruits deux fois dans l'année (Schweizer, 1997), de couleur variable (vert, jaune, rouge, violet...), de forme (ovoïde, ronde, elliptique, allongée), composé d'écorce, de jus pulpeux et de graines (Feugang *et al.*, 2006). Et d'après (Mondragon Jacobo, 2000), la reproduction sexuelle et asexuelle est possible pour la plante *Opuntia ficus indica*.

Tableau I – Caractéristiques morphologiques d'*Opuntia ficus indica* (Habibi, 2004)

Compartiment	Descriptions	Photographies
Taille	<ul style="list-style-type: none"> ● Plante arborescente robuste de (3 à 5 m) de hauteur. 	
Cladodes	<ul style="list-style-type: none"> ● Appelés aussi raquettes ● Organisés en articles aplatis ● Formes ovoïdes ● Couleur vert-mat ● Epineux ou inermes 	
Fleurs	<ul style="list-style-type: none"> ● Marginales sur le sommet des cladodes, ● Sont hermaphrodites ● De couleur jaune et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante 	
Fruits	<ul style="list-style-type: none"> ● Couleur variable (vert, jaune, rouge, violet) ● Forme (ovoïde, ronde, elliptique, allongée) ● Pourvues d'épines 	

1.1.3 Composition chimique des cladodes

Les cladodes d'*Opuntia ficus indica* contiennent des valeurs élevées d'éléments nutritifs importants. Ils sont riches en minéraux, en acides aminés, en vitamines et en stérols (Aragona *et al.*, 2018). Les cladodes sont une source de composés phénoliques, de fibres, acides gras polyinsaturés et vitamines (Filannino *et al.*, 2016).

L'accumulation de nutriments dans les cactus, varie en fonction de facteurs tels que l'espèce / le cultivar, le niveau de production de biomasse, fertilité du sol et le climat (Lopes *et al.*, 2018).

Les teneurs en eau des raquettes fraîches varient de 80 à 90%. Les raquettes sont réputées être riches en minéraux essentiellement le calcium et les oxalates et en mucilage, polysaccharides de structure chimique parfois très complexe retrouvés dans plusieurs plantes supérieures. Les principaux composants des cladodes de l'*Opuntia ficus indica* sont mentionnés dans le tableau II

Tableau II – Principaux composants des cladodes du figuier de barbarie (Stintzing *et al.*, 2001)

Composants	Matière sèche (g /100g)	Poids frais (g/100g)
Eau	-	88-95
Glucides	64-71	3-7
Cendres	19-23	1-2
Fibres	18	1-2
Protéines	4-10	0,5-1
Lipides	1-4	0,2

A- Minéraux

Comme le montre le tableau III Les teneurs en minéraux varient avec les espèces, le site de culture et l'état physiologique du tissu de cladode (Stintzing *et al.*, 2001).

Tableau III – Principaux minéraux contenus dans les cladodes d'*Opuntia ficus indica* (Stintzing *et al.*, 2001)

Minéraux	mg/100g du poids sec
Potassium	18-57
Calcium et Magnésium	11-17
Manganèse	62 – 103 µg
Fer	55 – 66 µg
Zinc	22 – 27 µg
Cuivre	8 – 9 µg

B- Acides organiques

L'acide malonique et l'acide citrique représentent respectivement 36 et 178 mg /100g de poids frais. En revanche, les cladodes âgées ne contiennent plus d'acide malonique. L'acide tartrique et succinique a été trouvé seulement en état de traces. Le tableau IV montre la composition des cladodes en acides organiques à différents temps de récolte.

Tableau IV – Composition des cladodes en acides organiques à deux différents temps de récolte (Stintzing *et al.*, 2001)

Acide organique	Poids frais (mg /100g)	
	6h (du matin)	18h (de l'après midi)
Acide oxalique	35	35
Acide malique	985	85
Acide citrique	178	31
Acide malonique	36	Traces
Acide succinique	Traces	Traces
Acide tartrique	Traces	Traces

C- Acides aminés

Selon Stintzing *et al.* (2001) il existe 18 acides aminés compris dans les cladodes du figuier de barbarie comme l'illustre la figure qui suit.

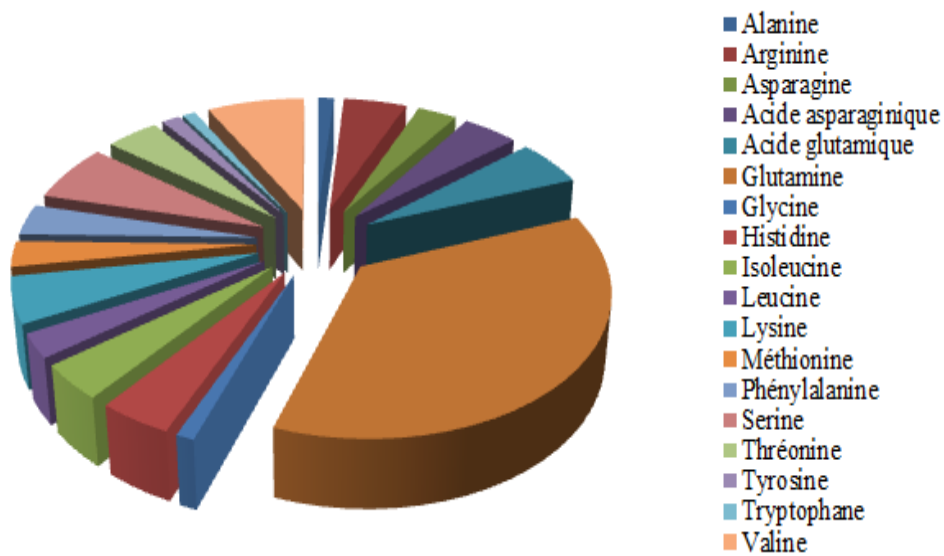


Figure 2 – Principaux acides aminés des cladodes d'*Opuntia ficus indica* dans 100 g de poids frais (Stintzing *et al.*, 2001)

D- Acides gras

La teneur en acide gras dans les cladodes du figuier de barbarie est représentée dans la figure 3.

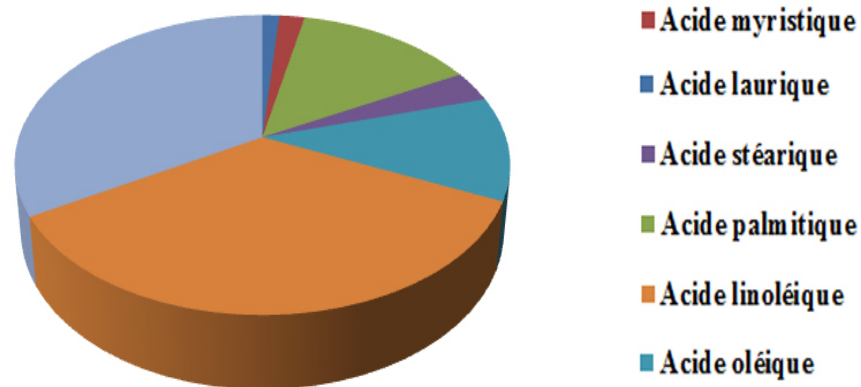


Figure 3 – La composition en acides gras dans les cladodes du figuier de barbarie dans 100g de poids sec (Abidi *et al.*, 2009)

E- Vitamines, caroténoïdes et chlorophylles

Les vitamines les plus ré pondues chez les cladodes de l' *Opuntia ficus indica* sont représentées dans le tableau V

Tableau V – Composition en vitamines dans les cladodes du figuier de barbarie (Stintzing *et al.*, 2001)

Vitamines	Pour 100g de poids frais
Vitamine C totale	7 – 22 mg
Niacine	0.46 mg
Riboflavine	0.60 mg
Thiamine	0.14 mg
B-carotène	11.3 – 53 µg

En ce qui concerne le profil des caroténoïdes, il y'a présence d' α -cryptoxanthine (20%), du β -carotène (36%) et de la lutéine (44%), sachant que le tout englobe une somme 229 µg/g de poids sec total. Alors que la lutéine est typique des légumes verts, aucune information n'est encore disponible chez les cactus. Elle accompagne habituellement la chlorophylle dans les tissus végétaux verts tels que les épinards, la laitue ou les blettes. La Chlorophylle totale dans les cladodes est estimée à 12.5 mg/g de poids frais, sachant que la teneur en chlorophylle (a) est de 9.5 mg dépassant la chlorophylle (b) avec 3.0 mg (Stintzing *et al.*, 2001).

F- Composants phénoliques

Les composés phénoliques sont des substances présentes dans tous les végétaux et dans tous les organes de la plante, ils possèdent un noyau aromatique portant un ou plusieurs groupements hydroxyles (Shahidi *et al.*, 2003; Barboni, 2006; Sun *et al.*, 2011).

Leur présence dans les tissus animaux est généralement due à l'ingestion d'aliments d'origine végétale (Shahidi *et al.*, 2003).

Le terme «composés phénoliques végétaux» englobe les phénols simples, les acides phénoliques, les coumarines, les flavonoïdes, les stilbènes, les tannins, les lignines et les lignanes (Stalikas, 2007). Les principales classes de ces composés sont représentées dans le tableau [VI].

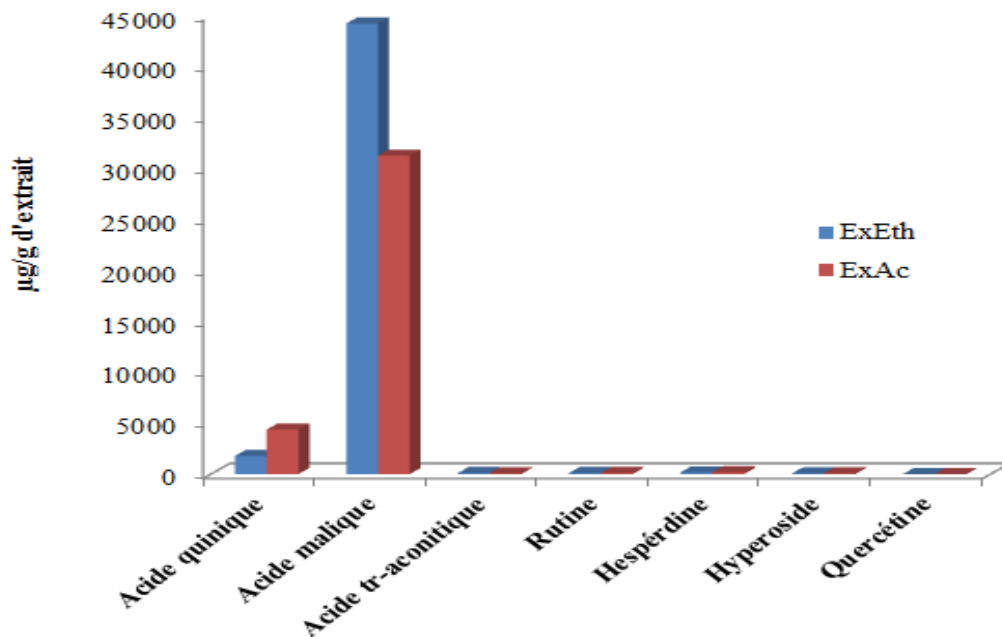
Tableau VI – Les principales classes de composés phénoliques (Macheix *et al.*, 2006)

Les classes	Squelette carboné	Exemples
1-Phénols simples	C6	Le catéchol, hydroquinone phloroglucinol.
2-Acides hydroxy-benzoïques	C6-C3	Acide gallique
3-Acides hydroxy-cinnamiques	C6-C3	Acides caféïques.
4-Coumarines	C6-C3	Scopolétine, esculétine.
5-Stilbènes	C2-C6-C2	Résvératrol.
6-Flavonols	C6-C3-C6	Kamphérol, quercétine.
7-Anthocyanes	C6-C3-C6	Cyanidine, pélargonidine.
8-Flavonols	C6-C3-C6	Catéchine.
9-Flavonones	C6-C3-C6	Naringénine.
10- Isoflavonols	C6-C3-C6	Daidzeine.
11-Lignanes	(C6-C3) ₂	Pinorésinol
12-Tanins hydrolysables	(C5) _n	Malvidine

D'après plusieurs travaux (Abidi *et al.*, 2009; Izuegbuna *et al.*, 2018; Rocchetti *et al.*, 2018) chez ce cactus les polyphénols diffèrent en terme quantitatif et qualitatif, ci-dessous quelques exemples à ce sujet sont illustrés.

Tableau VII – Les composés phénoliques d'*Opuntia ficus indica* (Abidi *et al.*, 2009)

Polyphénols	Matière sèche (mg/100g)
Acide gallique	0,64-2,37
Acide coumarique	14,08-16,18
3,4-dihydroxybenzoïque	0,06-5,02
4-hydroxybenzoïque	0,5-4,72
Acide ferulique	0,56-34,77
Isoquercétine	2,29-39,67
Isorhamnetin-3-O-glucoside	4,59-32,21
Nicotiflorine	2,89-146,5
Rutine	2,36-26,17
Narcissine	14,69-137,1

**Figure 4** – Identification et quantification de composés phénoliques des cladodes d'*Opuntia ficus indica* (Izuegbuna *et al.*, 2018)

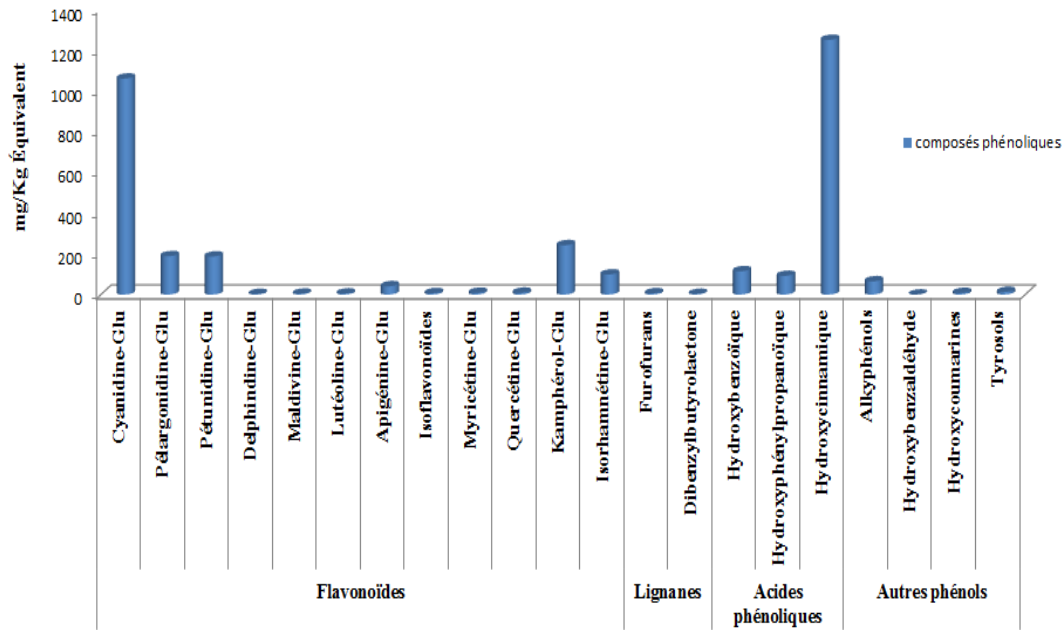


Figure 5 – Quantification par classes de composés phénoliques identifiées par UHPLC (Rocchetti *et al.*, 2018)

G- Glucides

Les glucides constituent un total de 36% à 37% de l'ensemble du poids sec des cladodes. La teneur en glucides est comprise entre 64 et 71g /100g de poids sec. Des variations peuvent être dues aux facteurs agronomiques et environnementaux ainsi que l'âge du cladode. Les jeunes cladodes sont plus riches en glucides (Ginestra *et al.*, 2009; Ribeiro *et al.*, 2010). La composition en sucres est illustrée dans la figure ci-dessous.

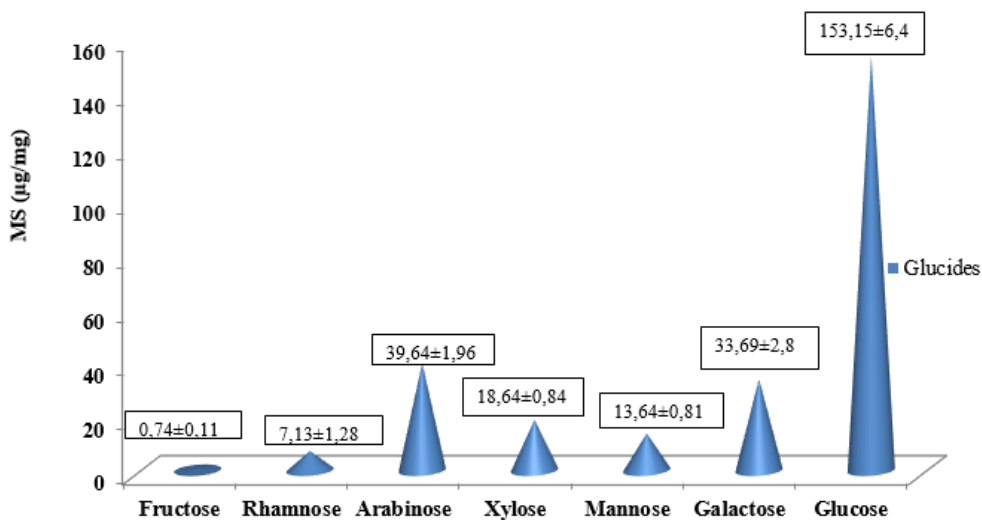


Figure 6 – Composition en monosaccharides des cladodes de l'*Opuntia ficus indica* (Ginestra *et al.*, 2009)

H- Polysaccharides

Certains auteurs ont suggéré que le genre *Opuntia* a une composante fonctionnelle avec des perspectives industrielles (Mounir *et al.*, 2014). Le mucilage de cladodes de cactus peut avoir plusieurs applications alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques comme épaississement, gélification et agents émulsifiants, agent d'encapsulation, matrices filmogènes et il a récemment été proposé comme agent cicatrisant muco-protecteur et cutané (Gheribi *et al.*, 2019). En outre, il a été rapporté qu'il a un potentiel comme agent de coagulation-floculation pour la bio-remédiation des eaux usées (Madera-Santana *et al.*, 2018).

Plusieurs travaux ont signalé que les cladodes d'*Opuntia ficus indica* sont riches en deux polysaccharides distincts ; le mucilage présent dans le fluide visqueux caractéristique sécrété par les cladodes qui ne gélifie pas en présence de calcium ; la pectine une fraction gélifiante sensible au calcium. Le rôle physiologique du mucilage a été associé à sa capacité à capter l'eau dans des conditions climatiques défavorables (Francisco *et al.*, 2003), les principaux composants du mucilage sont mentionnés dans les figures 8 et 9. Une molécule de mucilage d'*Opuntia ficus indica* peut contenir plus de 30 000 sous-unités ou résidus de sucre, c'est un hétéro-polysaccharide avec un PM de $2,3 \times 10^4$ à $4,3 \times 10^6$ daltons. Ce mucilage est acide (pH= 4,5 à 5,7) à structure largement ramifiée (Blanca *et al.*, 2018).

La teneur en mucilage dépend fortement des espèces de cactus, de l'organe concerné, de son âge ou de sa maturité, des conditions climatiques et la période de récolte (Gheribi *et al.*, 2019).

Le modèle de mucilage d'*Opuntia ficus indica* consiste en une alternance de résidus de rhamnose et d'acide galacturonique, liés aux chaînes latérales composées de trois résidus de galactose. Les sucres arabinose et xylose sont des branches du galactose chaînes latérales comme le montre la figure 7 (Rodríguez-González *et al.*, 2014).

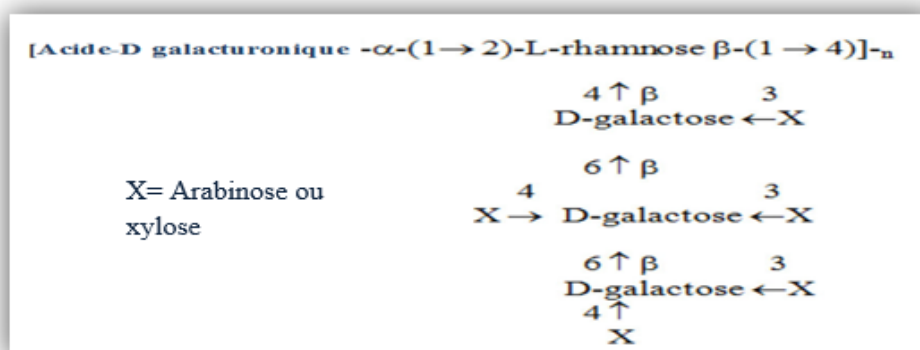


Figure 7 – Structure du mucilage des cladodes de l'*Opuntia ficus indica*

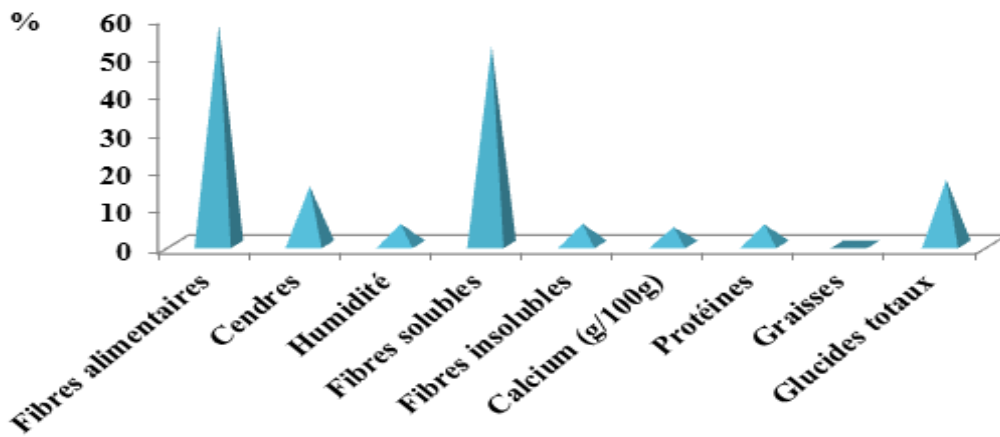


Figure 8 – Composition chimique du mucilage de l’*Opuntia ficus indica* (Rodríguez-González et al., 2014)

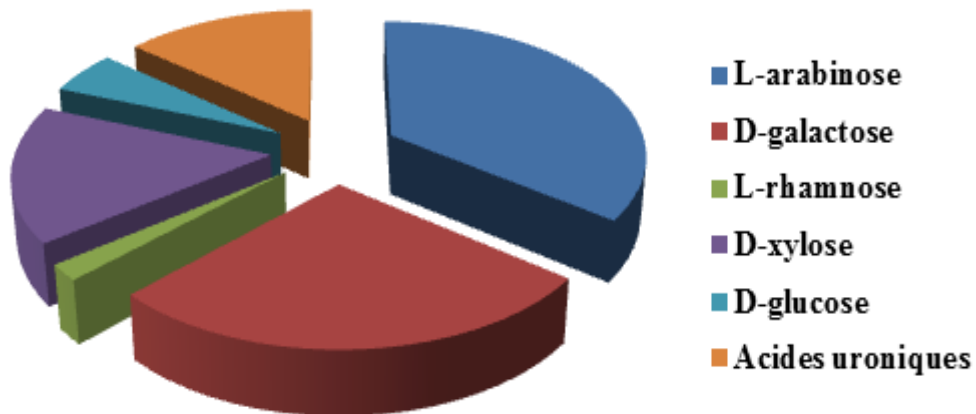


Figure 9 – Détermination des sucres et des acides uroniques dans le mucilage d’*Opuntia ficus indica* (Rodríguez-González et al., 2014)

Tableau VIII – Teneur phytochimique totale de cladodes d’*Opuntia ficus indica* à différents stades de maturité (Figueroa-Pérez et al., 2018)

Composants	Stade de maturité		
	Jeune	Moyen	Mature
Phénols "mg EAG/g ES."	28.5±0.6	32.6±0.8	19.6±0.5
Flavonoïdes "mg EC/g ES."	12.5±0.4	18.6±0.6	11.2±0.2
tannins condensés "mg EPA/g ES."	3.2±0.1	1.5±0.0	1.2±0.0
tannins hydrolysables "mg EMG/g ES."	6.2±0.1	5.2±0.2	4.3±0.4
Saponines "mg ESG/g ES."	29.8±1.2	32.1±0.9	22.5±1.1
Phytostérols "mg ES/g ES."	24.3±0.9	33.2±1.3	18.7±0.6

1.1.4 Quelques travaux réalisés sur la composition chimique des cladodes d'*Opuntia ficus indica*

Ci-dessous des exemples de quelques travaux sur la composition chimique des cladodes d'*Opuntia ficus indica* montrant la variabilité de ces derniers en fonction de plusieurs facteurs.

Tableau IX – Variabilité de la composition chimique des cladodes de l'*Opuntia ficus indica*

Solvants utilisés	Composition chimique	Références
Éthanol, Méthanol, Chloroforme	Phénol, Tanins, Stéroïde, Saponines, Alcaloïdes, Glycoside, Acides, aminés, Flavonoïdes	(Welegerima <i>et al.</i> , 2018)
Acétone	Phénols : 101.81 mg EAG/g ES Flavonoïdes : 20.37 mg EC/g ES Tanins : 18.38 mg EAG/g ES Flavonols : 16.11 mg EQ/g ES	
Éthanol	Phénols : 82.54 mg EAG/g ES Flavonoïdes : 57.93 mg EQ/g ES Tanins : 8.32 mg EAG/g ES Flavonols : 1.9 mg EQ/g ES	(Izuegbuna <i>et al.</i> , 2018)
Eau distillée	Phénols : 54.98 mg/g EAG/g ES Flavonoïdes : 17.01 mg EC/g ES Tanins : 5.84 mg EAG/g ES Flavonols : 10.84 mg EQ/g ES	
Eau distillée	Alcaloïdes, Saponines, Stérols, Glucides, Phénols, Tanins, Flavonoïdes	(Kalungia <i>et al.</i> , 2018)
Méthanol, Éthanol, Chloroforme, Hexane, Butanol	Composés phytochimiques utiles tels que les acides ascorbiques, vitamines, caroténoïdes, fibres, acides aminés, composés antioxydants (flavonoïdes, bêta xanthine, bêtacyanine et alcaloïdes)	(Tilahun <i>et al.</i> , 2018)

Suite du tableau IX

n-hexane	Phénols : 14.5mg EAG/100g ES Flavonoïdes : 10.1mg EC/100g ES	
Chloroforme	Phénols : 19.07mg EAG/100g ES Flavonoïdes : 14.3mg EC/100g ES	
Acétate d'éthyle	Phénols : 21.2mg EAG/100g ES Flavonoïdes : 17.9mg EC/100g ES	(Bari <i>et al.</i> , 2012)
n-butanol	Phénols : 23.5mg EAG/100g ES Flavonoïdes : 18mg EC/100g ES	
Méthanol	Phénols : 249mg EAG/100g ES Flavonoïdes : 443.8mg EC/100g ES	
Éthanol, Eau distillée	Glucides : D-galactose, L-arabinose Minéraux : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} Fibres : Lignine, Cellulose, Hémi-cellulose, Pectines Acides aminés	(Ribeiro <i>et al.</i> , 2010)
Éthanol, Méthanol	Flavonoïdes, Composés phénoliques, Alcaloïdes, Terpénoïdes	(Msaddak <i>et al.</i> , 2017)
Eau distillée	Protéines, Glucides (polysaccharides et acide uronique), Polyphénols, Flavonoïdes, Tanins, Lignine	(Bouaouine <i>et al.</i> , 2019)

1.2 Activités biologiques des cladodes d'*Opuntia ficus indica*

1.2.1 Radicaux libres

Les radicaux libres sont des espèces chimiques (atomes ou molécules) qui possèdent un ou plusieurs électrons célibataires (non apparié) sur leur couche externe (Peynet *et al.*, 2005). Les

radicaux libres sont très instables et réagissent rapidement avec d'autres composants, essayant de capturer l'électron nécessaire pour acquérir leur stabilité. Une réaction en chaîne débute lorsqu'un radical libre attaque la molécule stable la plus proche en lui volant son électron, et la molécule attaquée devient alors elle-même un radical libre (Fotsing, 2005).

1.2.2 Antioxydants

Les antioxydants sont des substances endogènes ou exogènes capables de neutraliser ou de réduire les dommages causés par les radicaux libres dans l'organisme. Également, les antioxydants permettent de faire en sorte que nos produits alimentaires conservent leur goût, couleur et demeurent longtemps comestibles (Wang *et al.*, 2003). En tant qu'antioxydants, les polyphénols renforcent nos défenses naturelles en protégeant les constituants tissulaires (lipides et autres macromolécules) contre le stress oxydant, le vieillissement cellulaire, de nombreux travaux suggèrent que les polyphénols participent à la prévention des maladies chroniques associées, telles que cancers, maladies cardio-vasculaires ou dégénératives, l'ostéoporose ((Scalbert, 2004; Visioli *et al.*, 1999).

1.2.3 Activité antioxydante des cladodes d'*Opuntia ficus indica*

Dans le tableau qui suit quelques activités antioxydantes des extraits de cladodes sont citées.

Tableau X – Exemples de quelques activités biologiques des extraits d'*Opuntia ficus indica* (Tilahun *et al.*, 2018)

Activités biologiques	Source de produits de cactus
Anti-inflammatoire et antioxydante	- Extrait de fruit au butanol et au méthanol
Hypolipidémique et hypocholestérolémique	- Poudre de cladodes - Cladodes (glycoprotéine) - Poudre de graines et des huiles
Antidiabétique	- Capsule : Cladodes et extrait de peau des fruits -Poudre de cactus en capsule - Extrait aqueux de peau des fruits et de cladodes et mélange - Cladodes et extraits de peau des fruits en Capsule
Hypoglycémique	- Extraits de polysaccharides des cladodes - Extrait poudre de cladodes après séchage

Suite du tableau X

Anti-inflammatoire	<ul style="list-style-type: none"> - Indicaxanthine de fruit - Extraits lipohylisés de cladodes - Indicaxanthine de raquettes du cactus - Extraits au méthanol de tiges de cactus et extraits au méthanol de figue de barbarie
Antioxydante	<ul style="list-style-type: none"> - La bétalaïne est un pigment purifié à partir de la pulpe fraîche des raquettes de cactus -Extraits de Bétanine -Extrait éthanolique de tige -Tige de cactus -Fraction de flavonoïdes à partir de jus de fruits entiers -Glycoprotéine isolée à partir d'<i>Opuntia ficus indica</i> var <i>sabotenmakino</i>
Anticancer	<ul style="list-style-type: none"> - Extrait de raquette de cactus
Hepatoprotective	<ul style="list-style-type: none"> - Extrait de cladodes
Neuroprotective	<ul style="list-style-type: none"> - Extrait méthanolique de la peau des fruits
Antiulcer	<ul style="list-style-type: none"> - Cladodes lyophilisées, Pectine polysaccharides de cladodes

1.2.4 Activité antimicrobienne

Pour surmonter le problème de résistance des microorganismes vis-à-vis des antibiotiques, la plupart des travaux sont orientés actuellement vers d'autres agents antimicrobiens possédant un mode d'action tout à fait spécifique. Dans le tableau qui suit des résultats de travaux concernant l'activité antimicrobienne des extraits de cladodes sont donnés.

Tableau XI – Activité des extraits de cladodes d’*Opuntia ficus indica* contre certaines souches bactériennes et fongiques

Bactéries testés	Cladodes Types d’extractions	Zone d’in- hibition	Références
<i>E.coli</i> (ATCC25922)	Méthanolique	±	(Aragona <i>et al.</i> , 2018)
	Chloroformique	±	
	Éthanolique	±	
<i>E.coli</i> (ATCC 35218)	Méthanolique	–	(Rocchetti <i>et al.</i> , 2018)
<i>Staph. aureus</i> (ATCC 29213)	Méthanolique	+	(Rocchetti <i>et al.</i> , 2018)
<i>Streptococcus pneumonia</i> (ATCC 49619)	Méthanolique	+	(Rocchetti <i>et al.</i> , 2018)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ATCC 27853)	Méthanolique	–	(Rocchetti <i>et al.</i> , 2018)
Champignons testés			
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Méthanolique	+	(Hajar <i>et al.</i> , 2018)
<i>Aspergillus flavus</i>	Méthanolique	+	(Hajar <i>et al.</i> , 2018)

1.3 Valorisation biotechnologique

Vu la richesse des cladodes d’*Opuntia ficus indica* en terme de sucres, polysaccharides, polyphénols beaucoup de perspectives industrielles, agricoles, médicales sont envisageables, dans le tableau qui suit des exemples d’application d’extraits de cladodes sont donnés.

Tableau XII – Quelques exemples de valorisation biotechnologique des cladodes d'*Opuntia ficus indica*

Utilisation de cladodes	Type d'extraction	Références
Production d'éthanol par trois levures	Hydrolysats de cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i> (Par la méthode d'hydrolyse acide)	(Pérez-Cadena <i>et al.</i> , 2018)
-coagulant flocculant : traitement des eaux usées - Biosorbant - Support pour le biofiltre - Biopolymère : conditionnement des boues - Offre un système enzymatique utile pour la transformation de colorants textiles toxiques	Poudre et Mucilage des cladodes d' <i>Opuntia ficus indica</i>	(Rebah <i>et al.</i> , 2017)
Protection contre la corrosion dans les aciers industriels	Extrait organique de cladodes	(Ruiz <i>et al.</i> , 2018)
<i>Opuntia ficus indica</i> , agit comme bio-flocculant	Extrait de cladodes	(Bouaouine <i>et al.</i> , 2019)
Effet positif sur la fermentation du lait et la croissance des bactéries lactiques et probiotiques	Mucilage et jus de cladodes	(Hadj Sadok <i>et al.</i> , 2008)

Matériel et méthodes

Cette étude a pour but d'une part d'évaluer et comparer l'activité antioxydante des extraits éthanols et acétones de cladodes de l'espèce *Opuntia ficus indica*, issus de régions différentes et à stade de maturité distinct, et d'autre part tester l'activité antibactérienne de ces extraits sur 3 souches bactériennes voir tableau XV.

2.1 Matériel

2.1.1 Matériel instrumental et réactifs chimiques

Tableau XIII – Matériels utilisés

Appareils	Références
Spectrophotomètre UV-visible	Biotech engineering management CO.LTD(UK),vis-7220G
Balance de precision	Sartorius,BP121S
Balance	Denver instrument, MAXX-612
pH mètre	METROHM,620
Autoclave	International Pbi S.P.A
Etuve 37°C et 105°C	Memmert 854 Schwabach, memmert
Four à muffle	NABERTHERM,Controller B170
Centrifugeuse, Réfrigérée	Hettich zentrifugen D-7200 tuttingen
Bain-marie	Wise Bath (Fuzzy control system)
Agitateur magnétique	VELP SCIENTIFICA, PLABINCO model L-81,
Rota-vapeur	Stuart
Vortex	VELP SCIENTIFICA (Zx3)
Congélateur et Réfrigérateur	ENIEM

Tableau XIV – Consommables et réactifs chimiques

Produits consommables	<ul style="list-style-type: none"> - Boites de pétri - Pipettes pasteurs - Papier wattman - Ecouillons - Embouts jaunes et bleus - Cuves du spectrophotomètre
-----------------------	---

Suite du tableau XIV

Milieus de culture	<ul style="list-style-type: none"> - Mueller Hinton Agar (MHA),(Himedia M173-500g) - Gélose nutritive (GN) - BrainHeartInfusionBroth (BHIB),(Conda)
Produits chimiques et réactifs	<ul style="list-style-type: none"> - DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) - ABTS (2,2-azini-bis-3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonate) - $K_3Fe(CN)_6$ (Ferrocyanure de potassium) - $K_2S_2O_8$ (persulfate de potassium) - TCA (acide trichloroacétique) - Chlorure de fer ($FeCl_3$) - folin-ciocalteu - Acide gallique - DMSO (dimethyl sulfoxyde),(Biochem chemopharma) - Biochem chemopharma - Acide ascorbique
Solvants organiques	<ul style="list-style-type: none"> - Éthanol (Honeywell) - Acétone (Sigma-Aldrich)
Sels	<ul style="list-style-type: none"> - $NaCl$ (Chlorure de sodium),(Prolabo) - Na_2CO_3 (carbonate de sodium),(Fluka) - Na_2HPO_4 (phosphate dissodique) - K_2HPO_4 (phosphate dipotassium)

2.1.2 Matériel végétale

Les cladodes de la plante *Opuntia ficus indica* utilisés dans cette étude ont été récoltés dans deux régions différents ; une ville côtière AFIR située à 12 Km de Dellys, et la région de BENIZMENZER située à 11 Km au sud de la wilaya de Tizi Ouzou, en mois d'Avril 2019.

La plante, fraîchement récoltée, nettoyée, débarrassée de ses épines, et laissée sécher à l'ombre dans un endroit sec et aéré pendant plusieurs jours, puis broyée à l'aide d'un moulinex. Les poudres obtenues sont ensuite conservées dans des flacons en verre hermétiquement fermés

à 4°C jusqu'à l'utilisation ultérieure pour les différentes extractions des principes actifs. Notant qu'une quantité de plante fraîche est récupérée pour la mesure du taux d'humidité.



Cladode jeune



Cladode mature

Figure 10 – Échantillons de cladodes récoltés

2.2 Méthodes et protocoles expérimentaux

2.2.1 Détermination de la teneur en eau

La méthode utilisée est connue sous le nom de dessiccation par évaporation ou méthode gravimétrique ou pondérale. Le procédé de dessiccation est réalisé à une température de $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ dans une étuve isotherme ventilée à la pression atmosphérique jusqu'à l'obtention d'un poids constant (Audigié *et al.*, 1978).

2.2.1.1 Mode opératoire

En premier les cupules vides sont séchées à l'étuve durant 15 minutes à $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$, ensuite refroidies dans un dessiccateur. Une quantité de 10g d'échantillons est placée à l'étuve réglée à $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ pendant 3 heures. Ensuite les cupules sont retirées de l'étuve et placées dans le dessiccateur. Effectuer une pesée des cupules après refroidissement. L'opération est répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant (en réduisant la durée de séchage à 30 min).

2.2.1.2 Expression des résultats

Le taux d'humidité est exprimé en (%) selon la formule suivante :

$$H\% = (P1 - P2) / P1 * 100$$

- H% : Taux d'humidité exprimé en pourcentage.
- P1 : Poids de la plante fraîche (g).
- P2 : Poids de la plante après séchage (g).

Calcul de matière sèche :

$$\text{Matière sèche}\% = 100 - H\%$$

2.2.2 La teneur en cendre et en matière organique

La matière sèche obtenue des cladodes a été placée dans le four à moufle à 550°C pendant 24 heures jusqu'à destruction totale de toute particule carbonneuse (couleur grise claire ou blanchâtre, ensuite, l'ensemble est retiré du four et déposé dans un dessiccateur pour le refroidissement. (Bruneton, 1999)

2.2.2.1 Mode opératoire

La matière sèche obtenue est mise dans des capsules en porcelaine qui sont placées par la suite dans un four à moufle réglé à 550 °C ± 15 °C pendant 24h jusqu'à obtention d'une couleur grise, claire ou blanchâtre. Les capsules sont retirées du four et mises dans un dessiccateur pour se refroidir et puis on procède à la pesée.

2.2.2.2 Expression des résultats

La teneur en matière organique est calculée comme suit :

$$MO\% = (M1 - M2)/P$$

- MO : matière organique.
- M1 : masse des capsules + prise d'essais M2 : masse des capsules + cendre.
- P : la masse de prise d'essais.

La teneur en cendre est donnée par la formule suivante :

$$Tc = 100 - MO\%$$

2.2.3 Extraction des polyphénols totaux

L'extraction des composés phénoliques se fait en macérant 5g de l'échantillon dans un solvant organique qui est l'éthanol à 96% ou l'acétone à 99% d'un volume de 20ml pendant 24h suivi d'une filtration et centrifugation, puis concentration au rotavapor. Les étapes de l'extraction sont illustrées dans la figure suivante (Turkmen *et al.*, 2006).

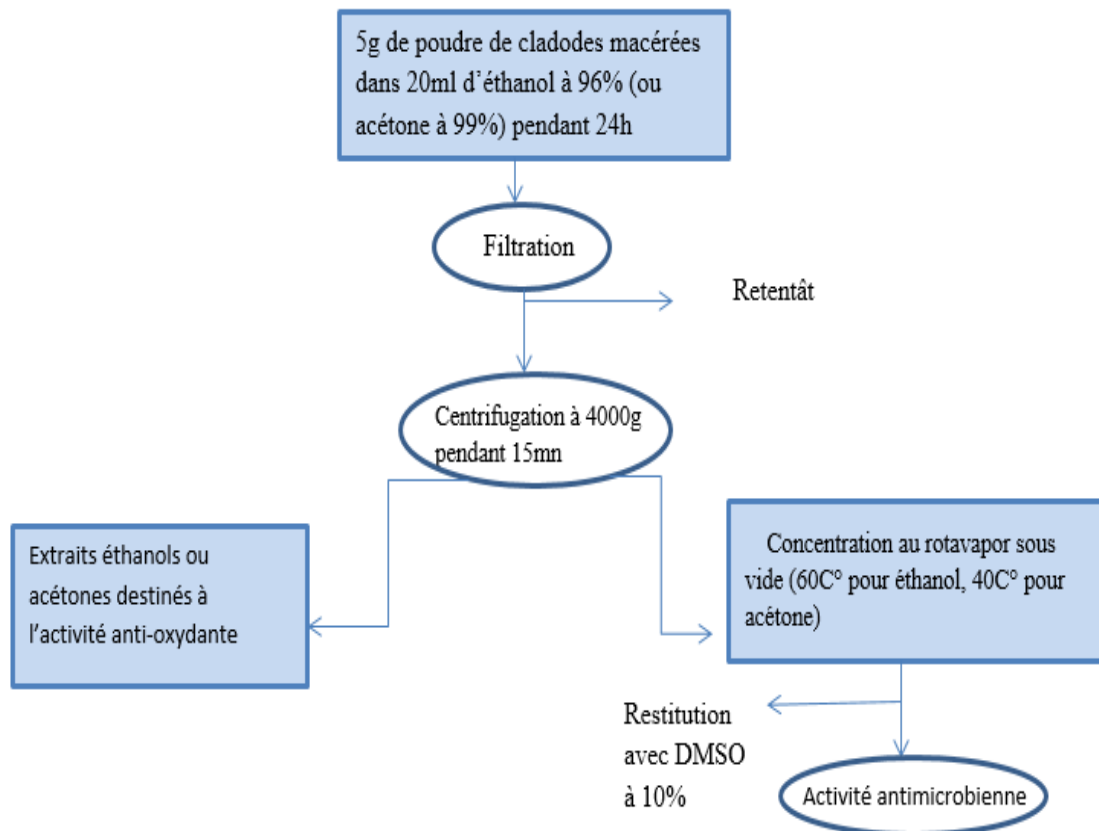


Figure 11 – Les étapes de préparation des extraits

2.2.4 Rendement d'extraction en composés phénoliques

Le rendement en extrait de polyphénols est défini comme étant le rapport entre la masse de l'extrait sec obtenu et la masse du matériel végétal traité. Après extraction le rendement a été calculé pour les deux extraits par la loi suivante :

$$Rd = (m/mi) \times 100$$

- Rd : rendement.
- m : masse d'extrait brute obtenu.
- mi : masse initiale de la poudre végétale.

2.2.5 Dosage des polyphénols totaux

2.2.5.1 Principe

Le réactif de Folin-Ciocalcu est constitué d'un complexe phosphotungstate $H_3PW_{12}O_{40}$ et phosphomolybdate $H_3PMO_{12}O_{40}$, qui est réduit lors de l'oxydation des phénols en un mélange bleu d'oxydes de tungstène et de molybdène dans des conditions alcalines (Ribéreau-Gayon, 1968).

Ces derniers présentent un maximum d'absorption à 765nm dont l'intensité est proportionnelle à la quantité de phénols présente dans l'échantillon (Georgé *et al.*, 2005).

2.2.5.2 Méthode

Le dosage des polyphénols totaux a été effectué en mélangeant 125 µl d'extrait avec 500 µl d'eau distillée puis additionné de 125 µl du réactif de folin-ciocalteu. Après 6min, un volume de 1,25ml de la solution Na_2CO_3 à 7% (m/v) est ajouté. Le volume total agité puis ajusté à 3 ml avec l'eau distillée. Les absorbances sont mesurés à 760nm après incubation pendant 1h à l'obscurité, deux essais ont été réalisés pour chaque extrait (Negi *et al.*, 2003).

Les quantités sont exprimées en mg équivalent acide gallique par g de matière sèche (EAG/g MS) en utilisant l'acide gallique comme standard. La courbe d'étalonnage est illustrée dans la figure 12 utilisant différentes concentrations de ce dernier a été réalisée dans les mêmes conditions expérimentales que les extraits.

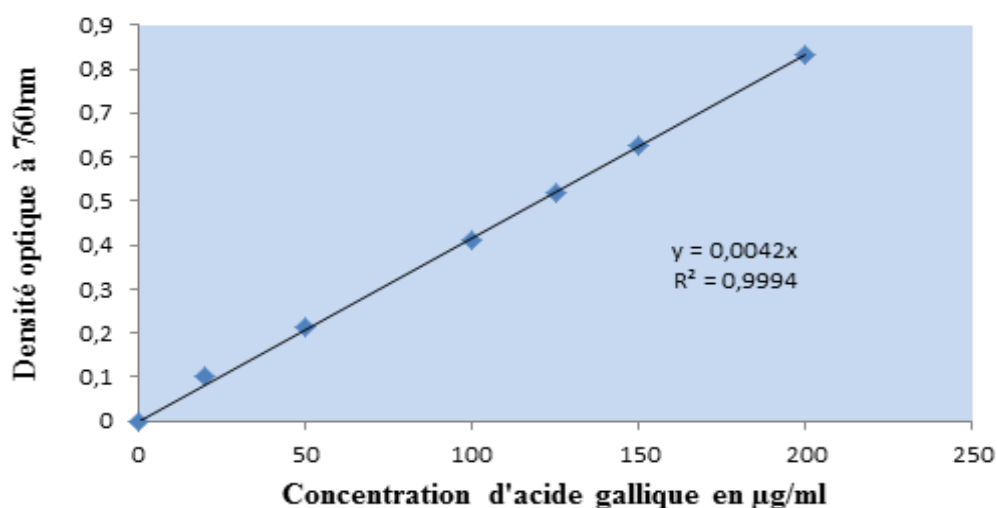


Figure 12 – Courbe d'étalonnage de l'acide gallique

2.2.5.3 Expression des résultats

La concentration des polyphénols a été déterminée par la formule suivante :

$$T = C * \frac{V * D}{P_s}$$

- T : teneur en phénols totaux.
- C : concentration des polyphénols en équivalent d'acide gallique déduit de la courbe.
- V : Volume de l'extrait.
- D : facteur de dilution.
- Ps : poids de la matière sèche.

2.2.6 Test de l'activité antioxydante

Des nombreuses méthodes sont utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques purs ou des extrais. La plupart de ces méthodes sont basées sur la coloration ou décoloration d'un réactif dans le milieu réactionnel. Dans notre étude, nous avons utilisé deux méthodes différentes réalisés en duplicata pour chaque échantillon à savoir le test FRAP qui mesure les pouvoir de réduction des ions du fer et l'effet scavenger sur le radical ABTS.

2.2.6.1 Activité « Scavenger » du radical ABTS

• Principe

La formation du radical cation ABTS⁺ résulte de l'arrachement d'un électron de l'un des atomes d'azote de la molécule ABTS par un oxydant (le persulfate de potassium). En présence d'antioxydants donneurs de protons, ce radical ABTS⁺ de coloration bleu-vert est réduit en ions ABTSH⁺ incolore. Le suivi de cette décoloration à 734 nm permet d'évaluer le potentiel antiradicalaire de l'extrait (Re *et al.*, 1999). Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard ; l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesuré dans les mêmes conditions que les échantillons.

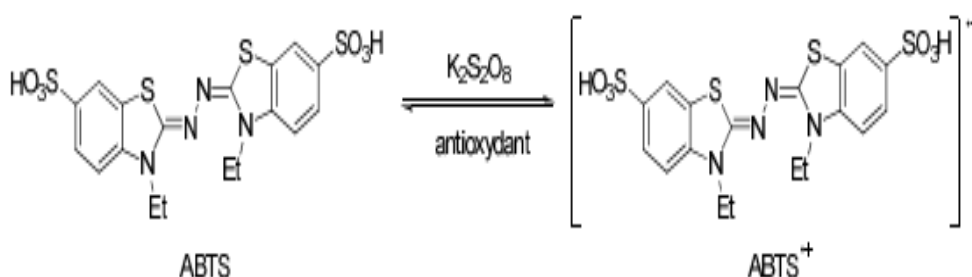


Figure 13 – Processus de réduction du radical ABTS⁺ en présence d'un antioxydant (Re *et al.*, 1999)

• Méthode

Une solution ABTS a été préparée 16h avant le test en mélangeant 7mM d'ABTS avec 2,45 mM de persulfate de potassium dans l'eau distillée. A partir de cette solution, des dilutions ont été faites avec de l'éthanol jusqu'à avoir une solution à $0,7 \pm 0,05$ d'absorbance.

Un volume de 100 μ l d'extrait à différentes concentration est ajouté à 1ml de la solution ABTS. Le mélange est incubé pendant 6 min à l'obscurité puis les absorbances sont mesurées à 734 nm. L'acide ascorbique est utilisé comme standards à des concentrations allant de 0 à

250 µg/ml. Pour déterminer les IC50, différentes concentrations d'extrait ont été testées. Le pourcentage de réduction du radical ABTS a été calculé par la loi suivante :

$$I\% = \frac{(Abscontrolle - Abstest)}{Abscontrolle} * 100$$

• Détermination des IC50

Elle est définie comme étant la quantité ou la concentration d'antioxydants nécessaire pour inhiber ou faire disparaître 50% de radicaux présents. Elle est obtenue à partir de l'équation de la courbe de l'activité antioxydante (%) en fonction de la concentration de l'antioxydant (Şahin *et al.*, 2004).

2.2.6.2 Le pouvoir réducteur (FRAP)

• Principe

Le pouvoir réducteur est l'aptitude des antioxydants, présents dans les extraits, à réduire le fer ferrique Fe^{3+} du complexe ferricyanure Fe^{3+} en fer ferreux Fe^{2+} en présence d'un agent chromogène, le ferricyanure de potassium $K_3Fe(CN)_6$ et en milieu acidifié par l'acide trichloroacétique (TCA). La forme réduite donne une couleur verte qui est proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait (Odabasoglu *et al.*, 2004; Goli *et al.*, 2005).

• Méthode

Le protocole expérimental suivi est celui de (Oyaizu, 1986) avec une petite modification, 250 µl d'extrait de cladodes sont mélangés avec 250 µl de tampon phosphate (0,2M, pH 6,6) et 250 µl de ferricyanure de potassium $K_3Fe(CN)_6$ à 1%, puis incubé à 50°C. Ensuite 250 µl d'acide trichloroacétique (TCA) à 10% est ajouté et centrifuger à 1000g pendant 3min. Mélanger 250 µl du mélange incubé avec 250 µl d'eau distillée et 100 µl de chlorure ferrique $FeCl_3$ à 0,1%. L'aptitude à la l'absorbance est mesurée à 700nm.

L'augmentation de l'absorbance du mélange réactionnel signifie l'augmentation du pouvoir réducteur; l'acide ascorbique est choisi comme témoin positif à des concentrations allant de 0 à 100 µg/ml.

2.3 Evaluation de l'activité antibactérienne

Cette partie consiste à évaluer qualitativement le pouvoir antibactérien des extraits de cladodes d'*Opuntia ficus indica*.

2.3.1 Souches cibles

Afin d'évaluer l'activité antibactérienne des extraits, 3 souches bactériennes ont été testées, voir tableau [XV].

Tableau XV – Souches de références testées

Souches	Références
<i>Escherichia coli</i>	ATCC 25922
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	ATCC 700603
<i>Staphylococcus aureus</i>	ATCC 25923

2.3.2 Principe

Le principe de la méthode repose sur la diffusion du composé à effet antibactérien en milieu solide dans une boîte de pétri, après un certain temps de contact entre le produit et le microorganisme cible. L'activité antibactérienne sur la cible est appréciée par la mesure de la zone d'inhibition, et en fonction du diamètre d'inhibition (Cavallo *et al.*, 2007).

2.3.3 Mise en œuvre pratique

• Milieux de culture

- Le bouillon nutritif est utilisé pour la vérification de la vitalité des bactéries.
- La gélose nutritive est utilisée pour l'isolement et la conservation des souches, c'est un milieu adéquat pour la majorité des bactéries.
- La gélose Mueller Hinton est utilisée dans les tests de sensibilité des bactéries aux différents extraits de plantes.

• Préparation des disques

Des disques de papier Wathman n°3 de 6 mm de diamètre, sont stérilisés par autoclavage à 120°C pendant 20 minutes, puis conservés dans des tubes en verre stériles fermés hermétiquement jusqu'à utilisation.

• Préparation des précultures

Les souches à tester ont été suspendues dans du bouillon nutritif puis incubées à 37°C afin de vérifier leur viabilité. Après 24h, des gouttelettes de la suspension ont étéensemencées sur gélose nutritive puis incubées pendant 18 à 24h à 37°C.

- **Standardisation des inoculas bactériens**

Prélever 2 à 3 colonies identiques à partir des colonies des trois souches isolées et les introduire dans 9ml d'eau physiologique, la lecture de l'absorbance de la concentration de la suspension bactérienne à 625nm qui doit être comprises entre 10^7 à 10^8 germes/ml. Ensuite bien agiter au vortex, et l'inoculum est utilisé dans les 15min qui suivent sa préparation.

2.3.4 Mode opératoire

Cette méthode consiste à déposer des disques stériles sur la surface d'une gélose préalablement coulée dans une boîte de Pétri etensemencée avec le microorganisme à tester puis imprégné de 20 μ l d'extrait. Incuber à 37°C pendant 24h.

2.3.5 Expression des résultats

La lecture des résultats se fait par la mesure du diamètre (en mm) de la zone claire indemne de colonies autour du disque absorbant, appelée : Halo ou zone d'inhibition.

2.4 Analyse statistique

Tous les résultats ont été exprimés sous forme de valeurs moyennes \pm erreur type. Une étude statistique est réalisée pour la comparaison des résultats et la mise en évidence des différences significatives entre les échantillons, et pour chaque paramètre en appliquant une analyse de la variance (ANOVA).

Résultats et discussions

3.1 Teneur en humidité

La détermination de la teneur en eau a donné un taux d'humidité allant de $92\pm 0.5\%$ à $95\pm 0.2\%$ et une teneur en matière sèche voisine de $5\pm 0.2\%$ à $8\pm 0.5\%$, des valeurs très approximatives ($p - value > 0.05$) entre tous les échantillons à savoir les cladodes jeune et mature des deux régions sont illustrées dans la figure ci-dessous.

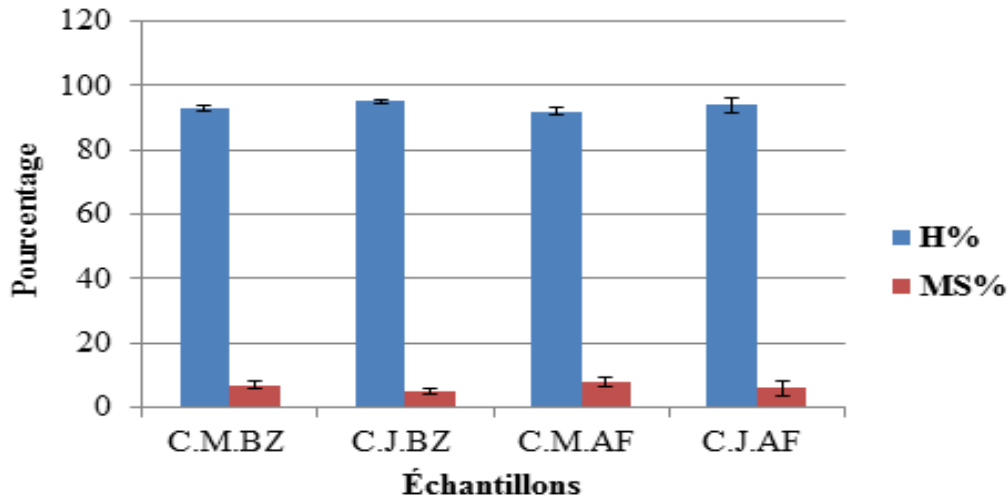


Figure 14 – Teneur en humidité des échantillons

Ces valeurs sont très proches de celles rapportées par (Sadok *et al.*, 2014) et (Murillo Amador *et al.*, 2002). Cette plante originaire du Mexique résiste naturellement à la sécheresse Ce qui explique ce taux élevé d'humidité. Dans notre étude on note un taux important d'humidité pour les deux régions AFIR et BINIZMENZER qui sont des régions humides avec des températures en été allant de $25-38\text{ }^{\circ}\text{C}$, cela revient au fait que l'*Opuntia ficus indica* contient un polymère de polysaccharide « le mucilage » qui a la capacité à retenir de grandes quantité d'eau et ce quel que soit la nature du site de culture.

3.2 Teneur en cendres

Le pourcentage en cendres totales permet d'informer sur la teneur en minéraux, ces derniers n'étant pas transformés en substances volatiles à haute température, contrairement aux matières organiques. D'après la figure 15, la teneur en cendres totales a été évaluée à $30,4\pm 0,8\%$ - $31,96\pm 0,5\%$ pour les cladodes matures des deux régions et $20,84\pm 1,5\%$ - $21,31\pm 1,2\%$ pour les jeunes. Quant à la matière organique un pourcentage plus élevé est noté pour les jeunes cladodes des deux régions il est de l'ordre de $78,69\pm 1,2\%$ - $79,16\pm 1,5\%$ pour AFIR et BENIZMENZER respectivement. Ces résultats révèle que la maturité affecte les propriétés nutritionnelles des cladodes d'*Opuntia ficus indica* .

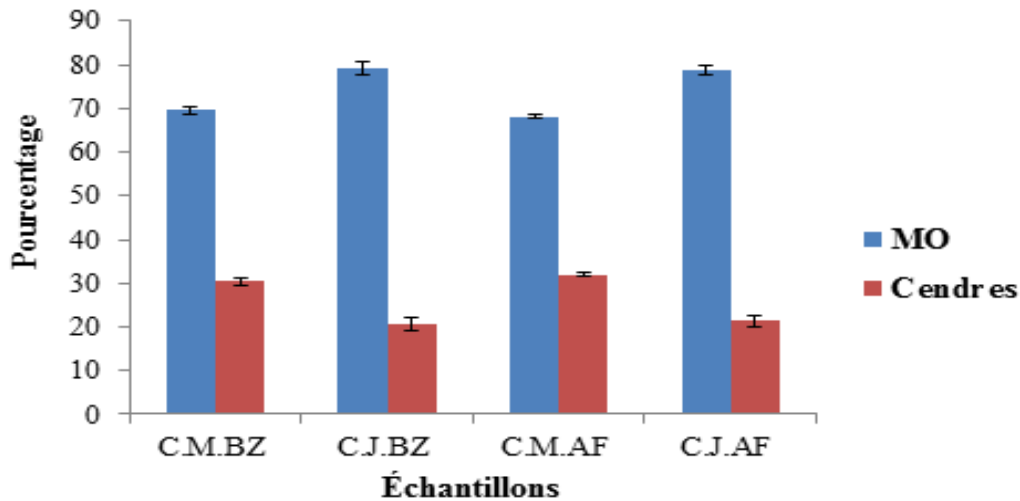


Figure 15 – Teneur en cendres des échantillons

3.3 Rendement d’extraction en polyphénols

Les rendements d’extraction des polyphénols des différents échantillons sont exprimés en pourcentage (%) de masse d’extrait par rapport à la masse de la poudre de cladode. Les valeurs sont regroupées dans la figure 16

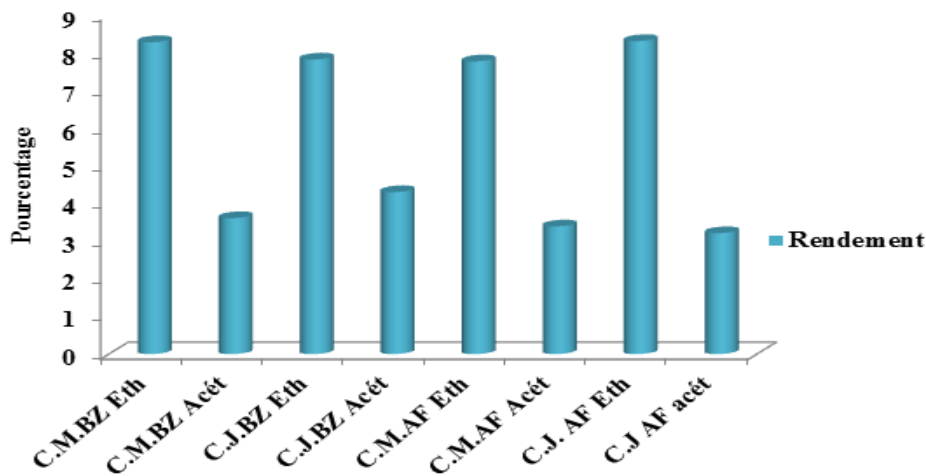


Figure 16 – Rendements d’extraction en PPT

D’après ces résultats on constate que l’éthanol à 96% donne un meilleur rendement que l’acétone brut (99%), des résultats meilleurs sont obtenus par (Izuegbuna *et al.*, 2018) de par l’utilisation d’un mélange solvant- eau. En effet l’eau augmente la polarité du solvant et extrait plus de molécules bioactives.

Le rendement d’extraction est tributaire de plusieurs facteurs qui peuvent influencer les performances de l’extraction, tels que la taille des particules, la nature du solvant, la tempéra-

ture, le temps d'extraction et le degré d'agitation. L'utilisation d'un mélange hydro-alcoolique comme solvant donne des résultats satisfaisants dans un processus d'extraction (Perva-Uzunalić *et al.*, 2006).

3.4 Teneur en polyphénols totaux

La mesure de l'absorbance d'une solution d'acide gallique, pris comme standard, à différentes concentrations, nous a permis de tracer une courbe d'étalonnage. L'analyse quantitative des polyphénols est déterminée à partir de l'équation de la régression linéaire de la courbe d'étalonnage exprimée en mg d'acide gallique par g de matière sèche. La figure 17 résume les teneurs obtenus en phénols totaux des extraits étudiés.

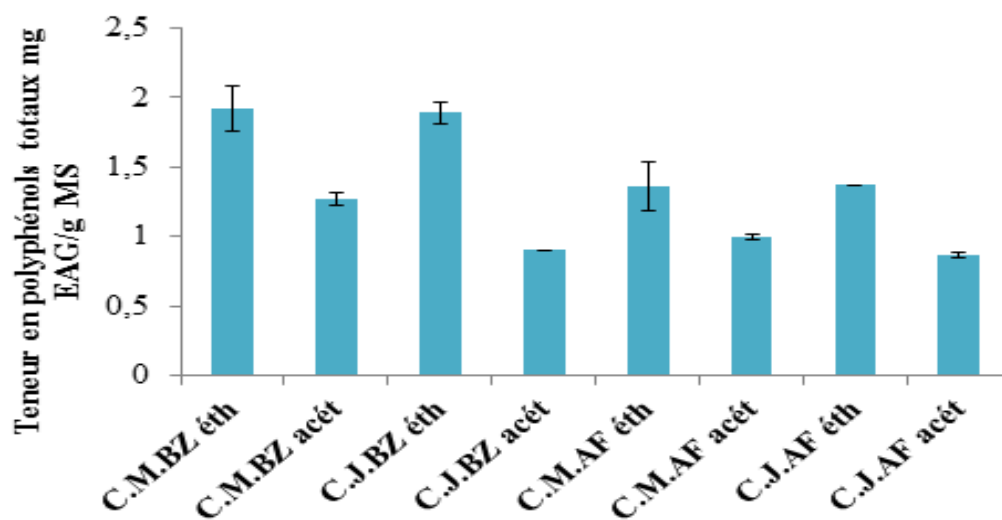


Figure 17 – Teneurs en polyphénols dans les différents extraits

A la lumière de ces résultats et du test statistique ($p - value > 0.05$) on peut déduire que la teneur en PPT ne varie pas significativement entre les extraits des deux régions allant de $0,86 \pm 0,02$ à $1,92 \pm 0,16$ mg EAG/g MS, ni entre les extraits dont le stade de maturité qui diffère; $0,90 \pm 0,0$ à $1,92 \pm 0,16$ mg EAG/g MS pour les stades jeune et mature de BENIZMENER et $0,86 \pm 0,02$ à $1,36 \pm 0,18$ mg EAG/g MS pour les stades jeune et mature d'AFIR. Nos résultats ne s'accordent pas avec ceux de Figueroa-Pérez *et al.* (2018). D'après ce dernier la plus forte valeurs en polyphénols a été trouvée dans les cladodes d'âge moyen, tandis que les cladodes d'âge avancé présentaient la plus faible valeurs en polyphénols totaux.

Les résultats de Izuegbuna *et al.* (2018) ont donné des valeurs plus importantes $111,2 \pm 5,8$ mg EAG/g d'extrait sec pour les extraits éthanoliques et $73,1 \pm 2,1$ µg EAG/g d'extrait sec pour les extraits acétones. Cette différence pourrait s'expliquer par l'utilisation lors de l'extraction de mélange eau/solvant (éthanol et acétone à 70%). L'addition de l'eau aux solvants organiques augmente la solubilité des polyphénols. Cette augmentation est peut être due à l'affaiblissement

des liaisons d'hydrogène dans les solutions aqueuses. Elle pourrait également être due à l'augmentation de la basicité et de l'ionisation des polyphénols dans telles solutions. La solubilité des polyphénols dépend principalement du nombre de groupements hydroxyles, de poids moléculaire et de la longueur de la chaîne carbonique de la structure de base.

La teneur phénolique d'une plante dépend d'un certain nombre de facteurs intrinsèques (génétiques) et extrinsèques (conditions climatiques, les pratiques culturales, la maturité et la récolte) (Podsędek, 2007).

3.5 Activités biologiques

3.5.1 Activités antioxydantes

L'utilisation de plusieurs tests antioxydants complémentaires est utile afin d'évaluer le potentiel antioxydant des extraits (Ksouri *et al.*, 2009). Dans ce travail, nous avons utilisé deux méthodes pour évaluer l'activité antioxydante *in vitro* des extraits étudiés à savoir ABTS et FRAP. Ces tests ont été choisis parmi les tests les plus cités dans la littérature.

3.5.1.1 Activité antiradicalaire ABTS

La capacité antioxydante est principalement liée aux composés capables de lutter contre la formation de radicaux libres. L'ABTS est un test largement utilisé pour déterminer la capacité antioxydante des aliments et évalue leur capacité à donner des atomes d'électrons et d'hydrogène. Les valeurs des IC50 des différents extraits ont été calculées en vue de déterminer les concentrations qui réduisent 50% des radicaux libres. Une valeur faible d'IC50 indique une activité antioxydante forte. Les résultats obtenus sont mentionnés dans la figure qui suit :

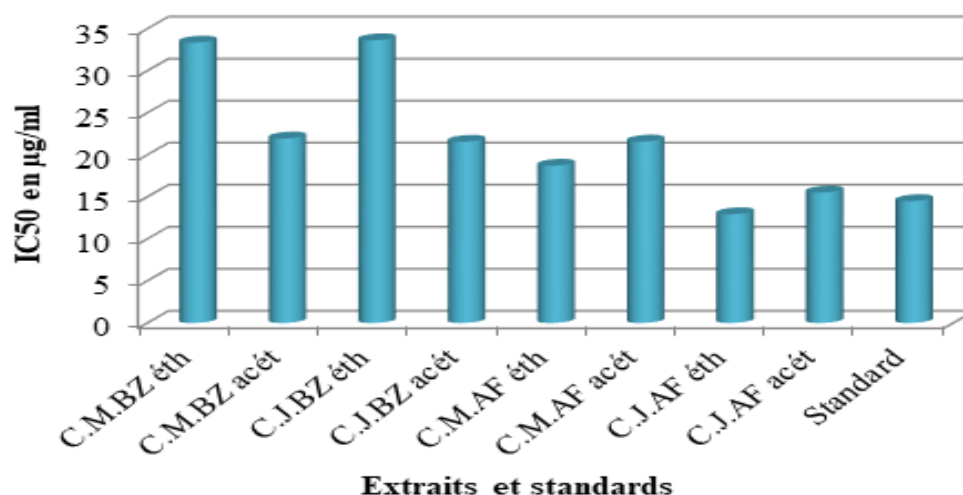


Figure 18 – Les IC50 des différents extraits et standard donnés par le test ABTS

Il a été proposé que les aliments et les extraits de plantes crus avec des valeurs de $IC_{50} < 50 \mu\text{g/ml}$ exercent une grande capacité antioxydante (Figuroa-Pérez *et al.*, 2018). D'après ces résultats on peut constater que les cladodes d'*Opuntia ficus indica* ont une capacité antioxydante élevée. Tous les extraits expriment des valeurs d' IC_{50} assez proches ($p - \text{value} > 0.05$). La meilleure activité antiradicalaire est obtenue pour le cladode jeune de la région d'AFIR avec l'extrait éthanolique d'une valeurs d' IC_{50} inférieur même à celle du standard acide ascorbique $12.94 \mu\text{g/ml}$, $14.49 \mu\text{g/ml}$ respectivement. L'étude de Figuroa-Pérez *et al.* (2018) vient appuyer nos résultats; il rapporte que les anciens cladodes présentaient la plus faible teneur en composés bioactifs et exerçaient une faible capacité antioxydante *in vitro*.

3.5.1.2 Test du pouvoir réducteur FRAP

L'activité antioxydante de tous les extraits de cladodes d'*Opuntia ficus indica* (ExEth,ExAc) a été évaluée en utilisant la méthode de FRAP. Cette dernière est un essai simple, rapide et reproductible. Elle est universel peut être appliqué aussi bien chez les plantes que les plasmas et dans les extraits organiques et aqueux (Li *et al.*, 2008). La présence des réducteurs dans les extraits des plantes provoque la réduction de Fe^{3+} / complexe ferricyanide à la forme ferreux. Par conséquent, Fe^{2+} peut être évalué en mesurant et en surveillant l'augmentation de la densité de la couleur bleu dans le milieu réactionnel à 700nm (Chung *et al.*, 2002). Pour comparer entre les activités des différents extraits, nous avons déterminé graphiquement le Pr0.5 qui est définie comme la concentration d'un composé en $\mu\text{g/ml}$ qui donne une densité optique de 0.5 à 700 nm qui est inversement proportionnelle au pouvoir réducteur.

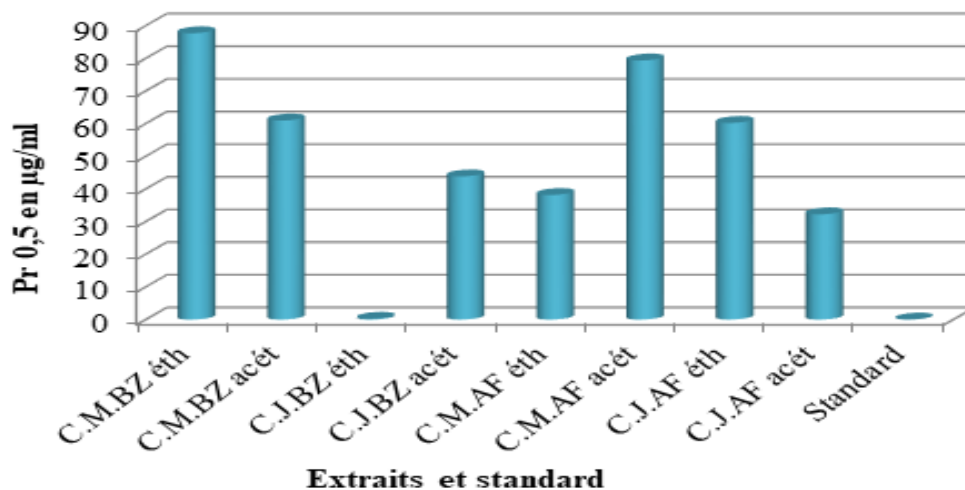


Figure 19 – Concentrations d'extraits donnant une DO=0,5 à 700nm

De par la figure 19 et statistiquement, les Pr0.5 de tous nos extraits ne varient pas significativement ($p - value > 0.05$). Le pouvoir réducteur de nos extraits allant 0,26 à 87.71 $\mu\text{g}/\text{ml}$ est très faible comparé au standard acide ascorbique qui est de 0.019 $\mu\text{g}/\text{ml}$.

D'après ces deux testes ABTS et FRAP on peut remarquer que tous les extraits possédant de meilleurs pouvoirs piègeurs vis-à-vis des radicaux libres ABTS ne montrent pas systématiquement les meilleures capacités réductrices du Fe(III). Cela témoigne vraisemblablement de la présence dans nos extraits des molécules antioxydantes pouvant intervenir par un seul type de mécanisme réactionnel. Il est à signaler que les réactions ou les molécules mises en jeu peuvent différer d'un test à l'autre. Pour le test FRAP, il s'agit d'une réduction du Fe(III), donc basé exclusivement sur un transfert d'électron. Concernant le test ABTS, en fait il peut être neutralisé soit par réduction directe via des transferts d'électrons ou par balayage radicalaire via un transfert d'un atome d'hydrogène (Prior *et al.*, 2005). Les cladodes d'*Opuntia ficus indica* présentent une capacité plus élevée de donner des atomes d'hydrogène que des électrons, car des valeurs de IC50 inférieures ont été observées dans le test ABTS. D'après Brand-Williams *et al.* (1995) la nature des composés phénoliques pourrait être un facteur qui influe sur son potentiel antioxydant.

3.5.2 Activité antibactérienne

Trois souches ont été ciblées pour le test de l'activité antibactériennes (tableau XV), les différentes concentrations en extraits pour chaque échantillons sont représentées dans le tableau qui suit.

Tableau XVI – Concentrations en extraits de chaque échantillon

Extraits	Concentration mg/ml
C.M.BZ éth	69
C.M.BZ acét	30
C.J.BZ éth	65
C.J.BZ acét	35
C.M.AF éth	64
C.M.AF acét	28
C.J.AF éth	69
C.J.AF acét	26

Les résultats de l'activité antibactérienne *in vitro* des extraits éthanol et acétones se sont avérés négatifs. Nos résultats ne sont pas en accord avec ceux de (Rocchetti *et al.*, 2018), des zones d'inhibitions ont été observées avec des extraits à l'éthanol, méthanol et chloroforme pour *Staphylococcus aureus* (ATCC 29213) et *Streptococcus pneumonia* (ATCC 49619), par

contre aucune activité n'a été signalée contre *E. coli* (ATCC 35218) et *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853).

Indépendamment de la source de l'extrait et de sa concentration, les bactéries à Gram (-) révèlent une forte résistance. Plusieurs travaux ont mis en évidence la grande sensibilité des bactéries Gram (+) par rapport aux Gram (-) (Turkmen *et al.*, 2007; Falleh *et al.*, 2008), Ceci peut s'attribuer à la différence dans les couches externes des bactéries Gram (-) et Gram (+). Les bactéries Gram (-), indépendamment de la membrane des cellules, possèdent une couche additionnelle la membrane externe, qui se compose des phospholipides, des protéines et des lipopolysaccharides, cette membrane est imperméable à la plupart des molécules. Néanmoins, la présence des porines dans cette couche permettra la diffusion libre des molécules avec une masse moléculaire en-dessous de 600 Da.

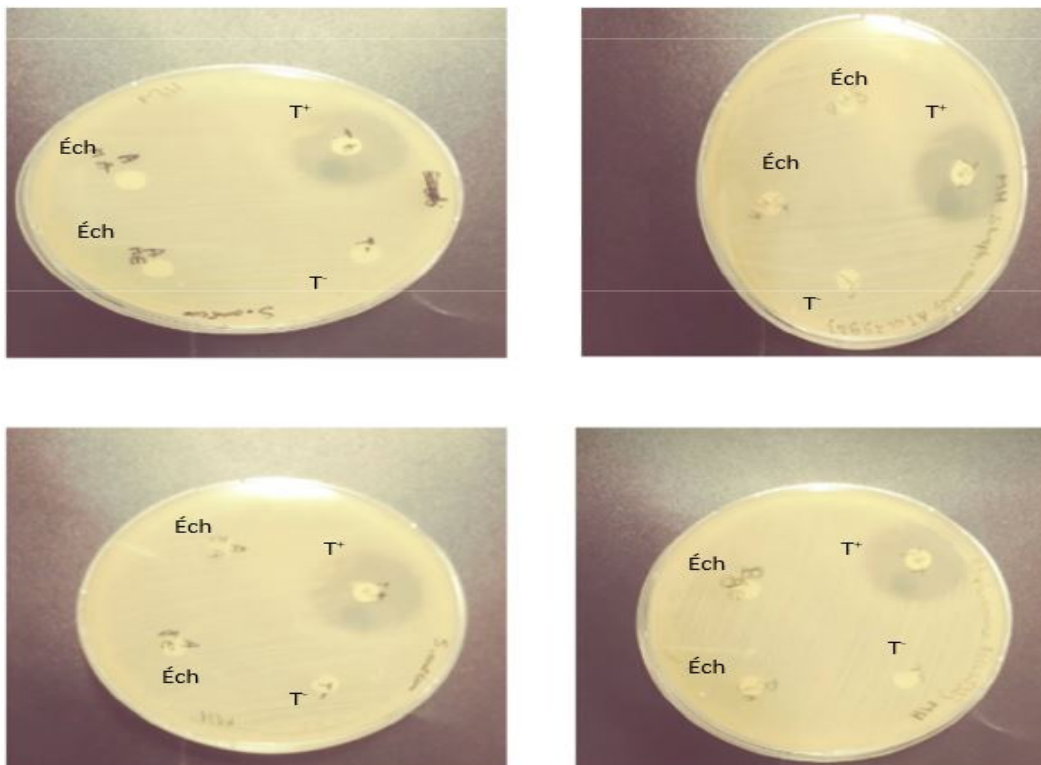


Figure 20 – Résultats de l'activité antibactérienne des extraits contre *S.aureus* ATCC 25923

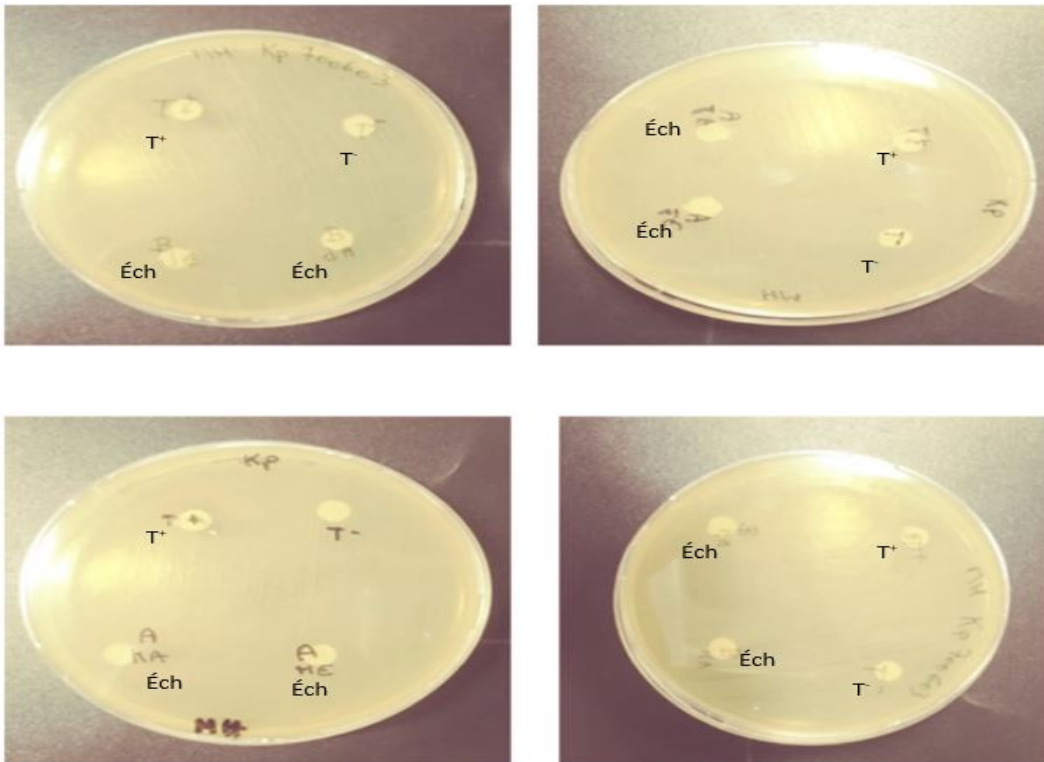


Figure 21 – Résultats de l'activité antibactérienne des extraits contre *K. pneumoniae* ATCC 700603

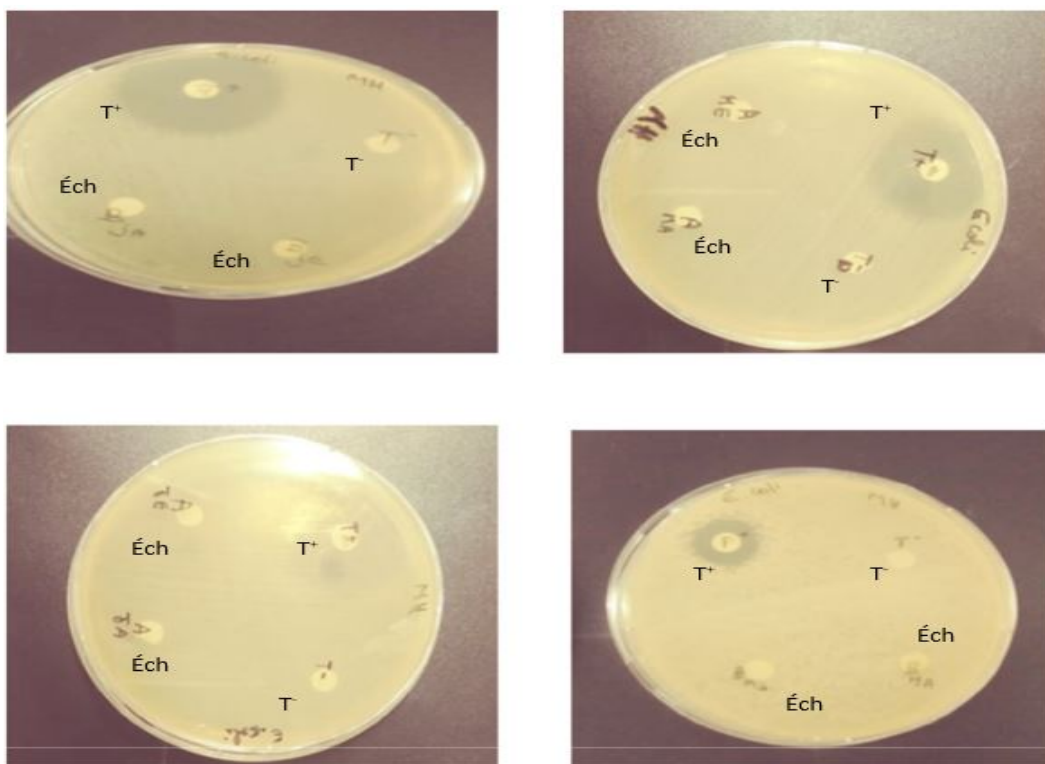


Figure 22 – Résultats de l'activité antibactérienne des extraits contre *E. coli* ATCC 25922

Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Le figuier de barbarie l'*Opuntia ficus indica* est une plante xérophyte de la famille des Cactacées, cette plante largement connue et pourtant méconnue a fait l'objet de plusieurs études dans le monde entier qui lui ont conféré plusieurs potentialités intéressantes dans plusieurs domaines, la recherche scientifique moderne, s'intéresse aux composés biologiquement actifs isolés des extraits de plantes, qui sont considérés comme de véritables usines chimiques dont il faut tirer le maximum de profit à cause de plusieurs pathologies qui apparaissent du fait de l'usage intensif des produits synthétiques.

A ce propos, nous nous sommes intéressés à l'étude des propriétés antioxydantes et microbiologiques des cladodes de l'espèce *Opuntia ficus indica* provenant de deux régions différentes BENIZMENZER et AFIR et à stade de maturité distinct. C'est un cactus qui a l'aptitude de vivre avec une faible quantité d'eau et de supporter une longue période de sécheresse ce qui explique la teneur en eau H% allant de $92 \pm 0.5\%$ à $95 \pm 0.2\%$ retrouvée dans tous extraits. La teneur en cendres totales a été plus importante pour les cladodes matures des deux régions BENIZMENZER et AFIR. Les meilleurs rendements d'extraction ont été marqués par les extraits éthanoliques 7.77% - 8.31%. La teneur en composés phénoliques ne varie pas significativement entre les extraits des deux régions, ni entre les extraits dont le stade de maturité qui diffère.

L'activité antioxydante des extraits a été évaluée par deux méthodes, le pouvoir antiradicalaire ABTS et le pouvoir réducteur FRAP. Les résultats ont montré que la plupart des extraits étudiés possèdent une importante activité antioxydante. Pour le premier test les résultats ont montré que l'extrait cladode jeune éthanol de la région d'AFIR exprime une meilleure activité anti-radicalaire que le standard avec une IC50 12.94 µg/ml, 14.49 µg/ml respectivement. Pour le test du pouvoir réducteur, les résultats montrent que tous les extraits expriment un faible pouvoir réducteur comparé au standard qui est l'acide ascorbique avec un $Pr0.5 = 0.019$ µg/ml, les $Pr0.5$ de tous nos extraits ne varient pas significativement allant 0.26 à 87.71 µg/ml. L'activité antibactérienne a été déterminée sur 3 souches bactériennes, selon la méthode de diffusion, les 3 souches testées présentent une résistance vis-à-vis de la majorité des extraits des deux régions.

Les résultats obtenus sont très encourageants et prometteurs sur le plan d'activité antiradicalaire, Ces données suggèrent que les cladodes du cactus *Opuntia ficus indica* pourraient être une source potentielle de composés naturels bioactifs en perspectives des travaux complémentaires sont alors nécessaires pour isoler et identifier les substances bioactives responsables des activités testées; sans oublier de prendre en considération le stade de maturité de la plante.

Il serait donc nécessaire de :

- Purifier et procéder à la séparation de ces composés phénoliques afin de les tester séparément et identifier ceux qui sont actifs ;
- Tester d'autres méthodes d'extraction et leurs influences sur la composition chimique et les activités biologiques.
- Tester l'activité antibactérienne des différents extraits sur d'autres souches bactériennes.
- Etudier d'autres activités biologiques des extraits de ces plantes.

Bibliographie

Abidi, S., Salem, H. B., Vasta, V., and Priolo, A. (2009). Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Ruminant Research*, 87(1-3) :9–16.

Angulo-Bejarano, P., Martínez-Cruz, O., and Paredes-López, O. (2014). Phytochemical content, nutraceutical potential and biotechnological applications of an ancient Mexican plant : nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Current Nutrition & Food Science*, 10(3) :196–217.

Aragona, M., Lauriano, E., Pergolizzi, S., and Faggio, C. (2018). *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as a source of bioactivity compounds for health and nutrition. *Natural Product Research*, 32(17) :2037–2049.

Audigié, C., J. F., and Zonszain, F. (1978). Manipulation d'analyse biochimique. *. 65* :247–301.

Barboni, T. (2006). Contribution de méthodes de la chimie analytique à l'amélioration de la qualité de fruits et à la détermination de mécanismes (EGE) et de risques d'incendie. PhD thesis, Université Pascal Paoli.

Bari, M. N., Zubair, M., Rizwan, K., Rasool, N., Bukhari, I. H., Akram, S., Bokhari, T. H., Shahid, M., Hameed, M., and Ahmad, V. U. (2012). Biological activities of *Opuntia monacantha* cladodes. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 34(4).

- Blanca, P., Lazalde, R., Gabrielan, M., Velazquez, S., and Vanessa, Sánchez-De La Rosa, A. P. R. A. L. Z. (2018). Evaluation of the genotoxicity and cytotoxicity of opuntia ficus-indica mucilage through the micronuclei test in vivo in the mouse blood. *Clin Pharmacol Toxicol, an open access journal*, 12(1) :17–29.
- Bouaouine, O., Bourven, I., Khalil, F., Bressollier, P., and Baudu, M.(2019). Identification and role of opuntia ficus indica constituents in the flocculation mechanism of colloidal solutions. *Separation and Purification Technology*, 209 :892–899.
- Brand-Williams,W., Cuvelier, M.-E., and Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*,28(1) :25–30.
- Bruneton, J. (1999). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales*. english.
- Cavallo, J., Chardon, H., Soussy, C., et al. (2007). Communiqué du comité de l'antibiogramme de la société française de microbiologie.
- Cherif, E. (2016). Phytochemical composition and in vitro analysis of nopal (o.ficus-indica) cladodes at different stages of maturity. *L'essentielle de l'agroalimentaire et de l'agriculture*, 100 :11–68.
- Chung, Y.-C., Chang, C.-T., Chao, W.-W., Lin, C.-F., and Chou, S.-T. (2002). Antioxidative activity and safety of the 50 ethanolic extract from red bean fermented by bacillus subtilis imr-nk1. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(8) :2454–2458.
- Defelice E, M. S. (2004). Prickly pear cactus, opuntia spp.—a spinetingling tale. *Weed Technology*, 18(3) :869–877.
- Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., and Abdelly, C. (2008). Phenolic composition of cynara cardunculus l. organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies*, 331(5) :372–379.
- Feugang, J. M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., Zou, C., et al. (2006). Nutritional and medicinal use of cactus pear (opuntia spp.) cladodes and fruits.*Front Biosci*, 11(1) :2574–2589.
- Figuroa-Pérez, M. G., Pérez-Ramírez, I. F., Paredes-López, O., Mondragón-Jacobo, C., and Reynoso-Camacho, R. (2018). Figue de barbarie : Un cactus source de richesse. *l'essentielle del'agroalimentaire et de l'agriculture. International Journal of Food Properties*, 21(1) :1728–1742.

Filannino, P., Cavoski, I., Thlien, N., Vincentini, O., De Angelis, M., Silano, M., Gobbetti, M., and Di Cagno, R. (2016). Lactic acid fermentation of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica* L.) generates flavonoid derivatives with antioxidant and anti-inflammatory properties. *PLoS one*, 11(3) :e0152575.

Fotsing, M. (2005). Etude phytochimique et des activités biologiques de *Maerua angolensis* DC.(Capparidaceae). PhD thesis, Thèse de Pharmacie, FMPOS, Bamako, 103p.

Francisco, G., M., and Cárdenas, A. (2003). Pectins from *Opuntia* spp. : a short review. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 5(1) :17–29.

Georgé, S., Brat, P., Alter, P., and Amiot, M. J. (2005). Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(5) :1370–1373.

Gheribi, R., Habibi, Y., and Khwaldia, K. (2019). Prickly pear peels as a valuable resource of added-value polysaccharide : Study of structural, functional and film forming properties. *International journal of biological macromolecules*, 126 :238–245.

Ginestra, G., Parker, M. L., Bennett, R. N., Robertson, J., Mandalari, G., Narbad, A., Lo Curto, R. B., Bisignano, G., Faulds, C. B., and Waldron, K.W. (2009). Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21) :10323–10330.

Goli, A. H., Barzegar, M., and Sahari, M. A. (2005). Antioxidant activity and total phenolic compounds of pistachio (*Pistachia vera*) hull extracts. *Food Chemistry*, 92(3) :521–525.

Guo, C., Yang, J., Wei, J., Li, Y., Xu, J., and Jiang, Y. (2003). Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. *Nutrition Research*, 23(12) :1719–1726.

Habibi, Y. (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de Barbarie. Les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modification chimique. PhD thesis, Université Joseph-Fourier-Grenoble I.

Hadj Sadok, T., Aid, F., Bellal, M., and Abdul Hussain, M. (2008). Composition chimique des jeunes cladodes d'*Opuntia ficus indica* et possibilités de valorisation alimentaire. *Agriculture Pract Sci J*, 65 :39–48.

Hajar, N., Nawal, A., and Amjad, D. (2018). A study to determine total phenolic content of *Opuntia ficus-indica* extracts and their activity against some pathogenic fungi. *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 43 :247 – 301.

- Izuegbuna, O., Otunola, G., and Bradley, G. (2018). Chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory, and cytotoxic activities of *opuntia stricta* cladodes. *PloS one*, 14(4) :596–607.
- Izuegbuna, O., Otunola, G., and Bradley, G. (2019). Chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory, and cytotoxic activities of *opuntia stricta* cladodes. *PloS one*, 14(1) :e0209682.
- Kalungia, A. C., Mataka, M., Kaonga, P., Bwalya, A. G., Prashar, L., and Munkombwe, D. (2018). *Opuntia stricta* cladode extract reduces blood glucose levels in alloxan-induced diabetic mice.
- Ksouri, R., Falleh, H., Megdiche, W., Trabelsi, N., Mhamdi, B., Chaieb, K., Bakrouf, A., Magné, C., and Abdelly, C. (2009). Antioxidant and antimicrobial activities of the edible medicinal halophyte *tamarix gallica* l. and related polyphenolic constituents. *Food and Chemical toxicology*, 47(8) :2083–2091.
- Le Houérou, H. (2000). Cacti (*opuntia* spp.) as a fodder crop for marginal lands in th mediterranean basin. In IV International Congress on Cactus Pear and Cochineal 581, pages 21–46.
- Li, H.-B., Wong, C.-C., Cheng, K.-W., and Chen, F. (2008). Antioxidant properties in vitro and total phenolic contents in methanol extracts from medicinal plants. *LWT Food Science and Technology*, 41(3) :385–390.
- Lopes, M. N., Cândido, M. J. D., Silveira, W. M., Maranhão, T. D., Soares, I., Pompeu, R. C. F. F., Silva, R. G. d., and Carneiro, M. S. d. S. (2018). Accumulation and export of nutrients in cactus pear cladodes (*opuntia ficus-indica*) under different managements in the brazilian semiarid. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47.
- Macheix, J., Fleuriet, A., and Sarni-Manchado, P. (2006). Composés phénoliques dans la plante-structure, biosynthèse, répartition et rôles. Les polyphénols en agroalimentaire. Coordonnatrices Sarni-Manchado P et Cheynier V, TEC et DOC.(Eds), Lavoisier, Paris, pages 390–399.
- Madera-Santana, T. J., Vargas-Rodríguez, L., Núñez-Colín, C. A., González-García, G., Peña-Caballero, V., Núñez-Gastélum, J. A., Gallegos-Vázquez, C., and Rodríguez-Núñez, J. R. (2018). Mucilage from cladodes of *opuntia spinulifera* salmdyck: chemical, morphological, structural and thermal characterization. *CyTA-Journal of Food*, 16(1) :650–657.
- Mondragon Jacobo, C. (2000). Cactus pear domestication and breeding. *Plant breeding reviews*, 20 :135–166.

- Mounir, B., Abdeljalil, Z., and Abdellah, A. (2014). Evaluation of the effect of age of cladode and solvent on yield of mucilage and pectin from cactus pads. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(5) :1446–1450.
- Msaddak, L., Abdelhedi, O., Kridene, A., Rateb, M., Belbahri, L., Ammar, E., Nasri, M., and Zouari, N. (2017). *Opuntia ficus-indica* cladodes as a functional ingredient : bioactive compounds profile and their effect on antioxidant quality of bread. *Lipids in health and disease*, 16(1) :32.
- Murillo Amador, B., Diéguez, T., Garibay, N., García, A., et al. (2002). *El nopal cultivo forrajero sostenible para el noroeste de México*. Technical report.
- Negi, P., Jayaprakasha, G., and Jena, B. (2003). Antioxidant and antimutagenic activities of pomegranate peel extracts. *Food chemistry*, 80(3) :393–397.
- Nobel, P. S. (2002). *Cacti : biology and uses*. Univ of California Press.
- Odabasoglu, F., Aslan, A., Cakir, A., Suleyman, H., Karagoz, Y., Halici, M., and Bayir, Y. (2004). Comparison of antioxidant activity and phenolic content of three lichen species. *Phytotherapy Research : An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 18(11) :938–941.
- Oyaizu, M. (1986). Studies on products of browning reaction prepared from glucose amine products derived from bees. *J Pharm Biomed Anal*, 41 :1220–34.
- Pérez-Cadena, R., Espinosa Solares, T., Medina-Moreno, S. A., Martínez, A., Lizardi-Jiménez, M. A., and Téllez-Jurado, A. (2018). Production of ethanol by three yeasts in defined media and hydrolyzed cladodes of *Opuntia ficus-indica* var. *atlixco*. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 8(1) :26–34.
- Perva-Uzunalić, A., Škerget, M., Knez, Ž., Weinreich, B., Otto, F., and Grüner, S. (2006). Extraction of active ingredients from green tea (*Camellia sinensis*) : Extraction efficiency of major catechins and caffeine. *Food Chemistry*, 96(4) :597–605.
- Peynet, J., Beaudeau, J., and Legrand, A. (2005). Stress oxydant et athérosclérose. *Radicaux libres et stress oxydant*. Lavoisier, Paris, pages 312–351.
- Podszędek, A. (2007). Natural antioxidants and antioxidant capacity of brassica vegetables : A review. *LWT-Food Science and Technology*, 40(1) :1–11.
- Prior, R. L., Wu, X., and Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(10) :4290–4302.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., and Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10) :1231–1237.

Rebah, F., Ben, and Siddeeg, S. (2017). Cactus an eco-friendly material for wastewater treatment : A review. *Journal of Materials and Environmental Sciences*,8(5) :1770–1782.

Ribeiro, E. M. d. O., Silva, N. H. d., Lima Filho, J. L. d., Brito, J. Z. d., and Silva, M. d. P. C. d. (2010). Study of carbohydrates present in the cladodes of *Opuntia ficus-indica* (fodder palm), according to age and season. *Food Science and Technology*, 30(4) :933–939.

Ribéreau-Gayon, P. (1968). *Les composés phénoliques des végétaux*. Dunod, Paris, Francia.

Rocchetti, G., Pellizzoni, M., Montesano, D., and Lucini, L. (2018). Italian *Opuntia ficus-indica* cladodes as rich source of bioactive compounds with healthpromoting properties. *Foods*, 7(2) :24.

Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H. E., Chávez-Moreno, C. K., Macías-Rodríguez, L. I., Zavala-Mendoza, E., Garnica-Romo, M., and Chacón-García, L. (2014). Extraction and characterization of mucilage from wild species of *Opuntia*. *Journal of food process engineering*, 37(3) :285–292.

Ruiz, A. M., Almazán, L.-E. C., Hernández, H. H., and Hernández, J. M. (2018). *Opuntia ficus-indica* (nopal extract) as green inhibitor for corrosion protection in industrial steels. In *Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications*. IntechOpen.

Sadok, H. T., Aid, F., Doumandji, A., and Bellal, M. (2014). Effet du jus de cladodes d'*Opuntia ficus indica* sur la fermentation du lait et la croissance des bactéries lactiques et probiotiques. *Nature & Technology*, (11) :17.

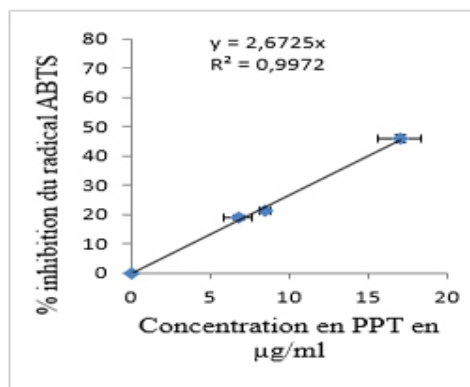
Sahin, F., Güllüce, M., Daferera, D., Sökmen, A., Sökmen, M., Polissiou, M., Agar, G., and Özer, H. (2004). Biological activities of the essential oils and methanol extract of *Origanum vulgare* ssp. *vulgare* in the eastern anatolia region of turkey. *Food control*, 15(7) :549–557.

Scalbert, A. (2004). Fruits et légumes, polyphénols et santé. Laboratoire des maladies métaboliques et micronutriments, INRA, Centre de Recherche de Clermont-Ferrand/Theix, article publié dans le lien suivant : <http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/fruits-etlegumes-polyphenols-et-sante-1026>.

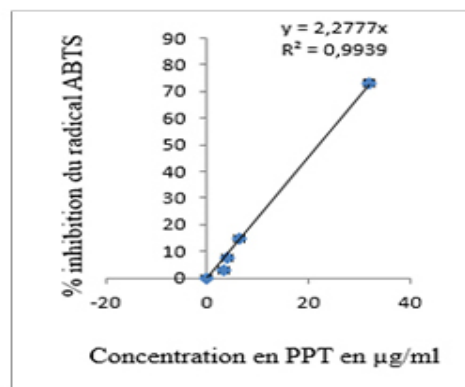
- Schweizer, M. (1997). Docteur Nopal : le médecin du bon Dieu. APB, Aloe plantes et beauté.
- Shahidi, Fereidoon, and Naczki, M. (2003). Phenolics in food and nutraceuticals. CRC press.
- Stalikas, C. D. (2007). Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *Journal of separation science*, 30(18) :3268–3295.
- Stintzing, F. C., Schieber, A., and Carle, R. (2001). Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology*, 212(4) :396–407.
- Sun, L., Zhang, J., Lu, X., Zhang, L., and Zhang, Y. (2011). Evaluation to the antioxidant activity of total flavonoids extract from persimmon (*diospyros kaki* L.) leaves. *Food and chemical toxicology*, 49(10) :2689–2696.
- Tilahun, Yemane, and Welegerima, G. (2018). Pharmacological potential of cactus pear (*Opuntia ficus indica*) : A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3) :1360–1363.
- Turkmen, N., Sari, F., and Velioglu, Y. S. (2006). Effects of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate tea polyphenols determined by ferrous tartrate and folin–ciocalteu methods. *Food chemistry*, 99(4) :835–841.
- Turkmen, N., Velioglu, Y., Sari, F., and Polat, G. (2007). Effect of extraction conditions on measured total polyphenol contents and antioxidant and antibacterial activities of black tea. *Molecules*, 12(3) :484–496.
- Visioli, F., Romani, A., Mulinacci, N., Zarini, S., Conte, D., Vincieri, F. F., and Galli, C. (1999). Antioxidant and other biological activities of olive mill waste waters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(8) :3397–3401.
- Wang, L., Yen, J.-H., Liang, H.-L., and Wu, M.-J. (2003). Antioxidant effect of methanol extracts from lotus plumule and blossom (*Nelumbo nucifera* Gertn.). *Journal of food and drug Analysis*, 11(1) :60–66.
- Welegerima, G., Zemene, A., and Tilahun, Y. (2018). Phytochemical composition and antibacterial activity of *Opuntia ficus indica* cladodes extracts. *Journal of Medicinal Plants*, 6(2) :243–246.

Annexes

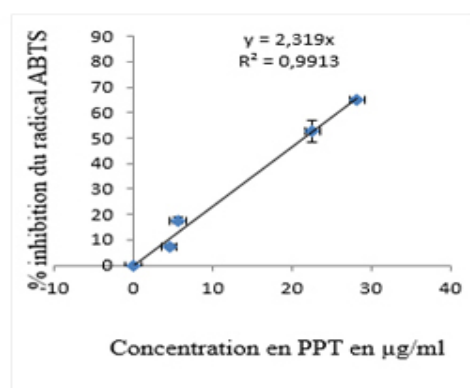
Annexes



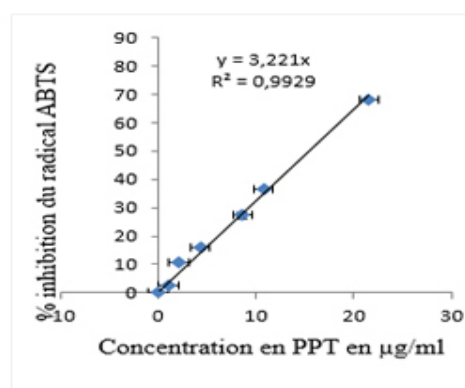
A.1 : Courbe de l'activité anti-radicalaire de C. M. AF. Acét



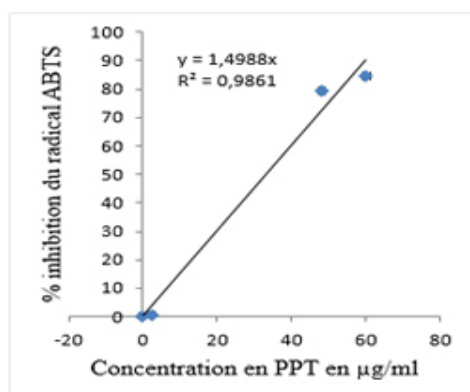
A.2 : Courbe de l'activité anti-radicalaire de C. M. BZ. Acét



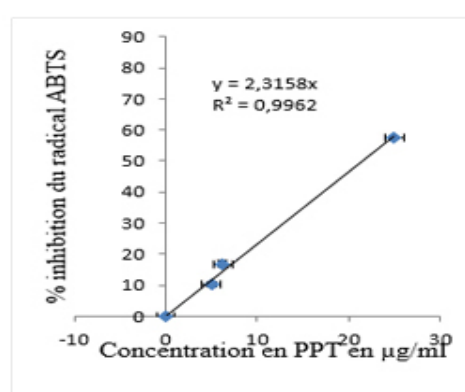
A.3 : Courbe de l'activité anti-radicalaire de C. J. BZ.A cét



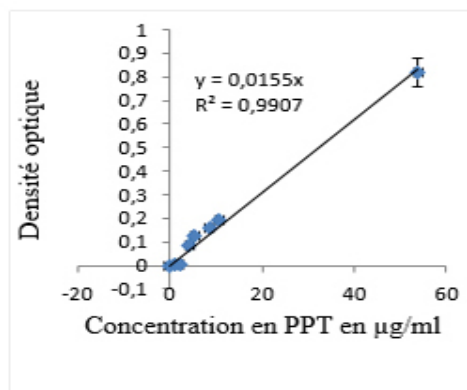
A.4 : Courbe de l'activité anti-radicalaire de C. J. AF. Acét



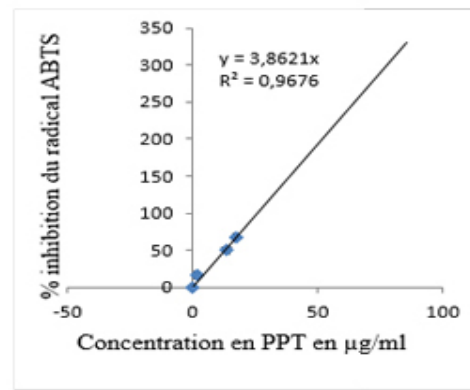
A.5 : Courbe de l'activité anti-radicalaire de C. M. BZ. éth



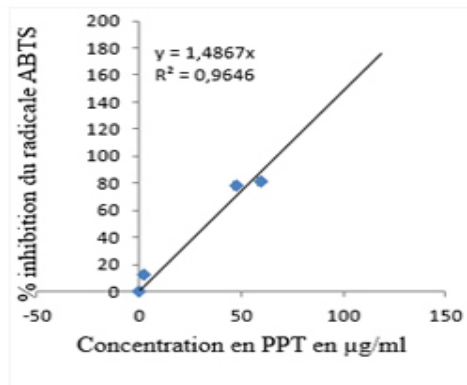
A.6 : Courbe de l'activité anti-radicalaire de C. M. AF. Acét



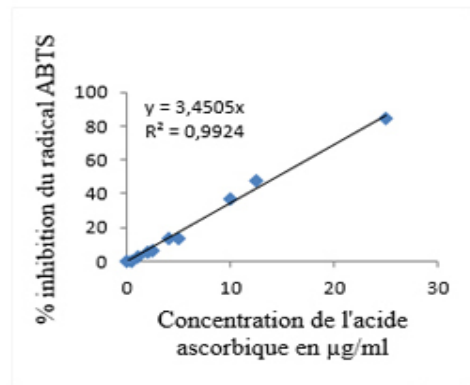
A.7 : Pouvoir réducteur C. J. AF. acét



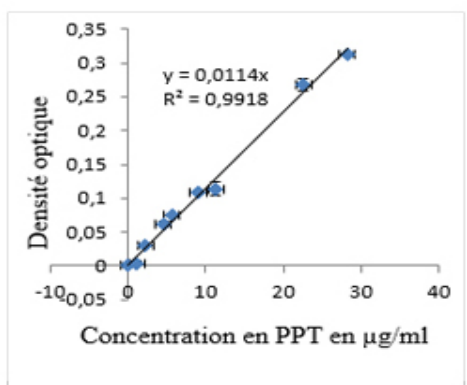
A.8 : Courbe de l'activité anti-radicalaire de C. J. AF. éth



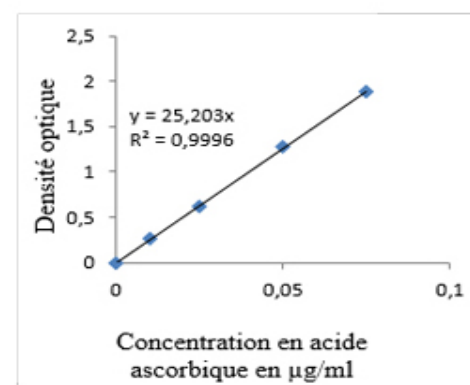
A.9 : Courbe de l'activité anti-radicalaire de C. J. BZ. éth



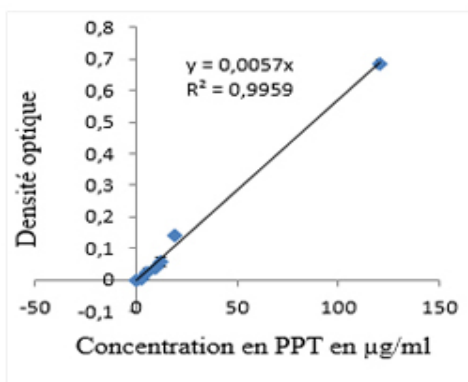
A.10 : Courbe de l'activité anti-radicalaire du standard



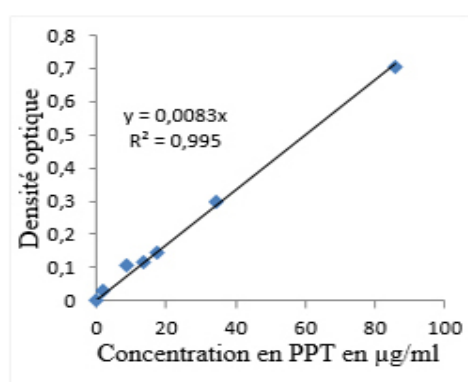
A.11 : Pouvoir réducteur C. J. BZ. acét



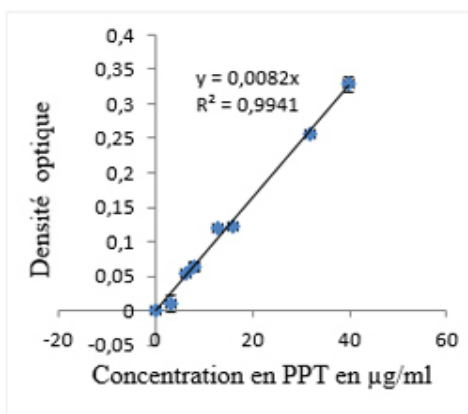
A.12 : Pouvoir réducteur du standard



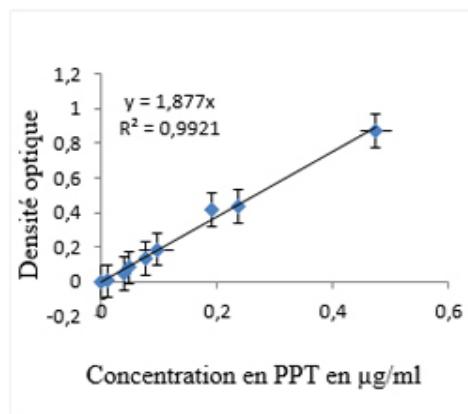
A.13 : Pouvoir réducteur C. M. BZ. éth



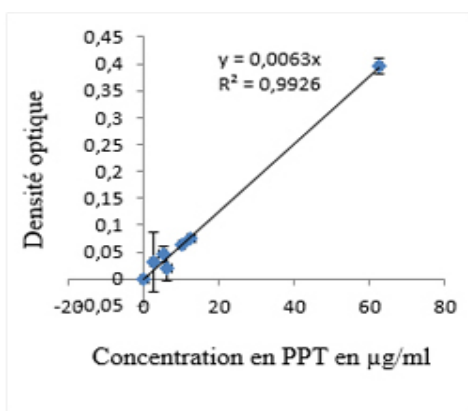
A.14 : Pouvoir réducteur C. J. AF. éth



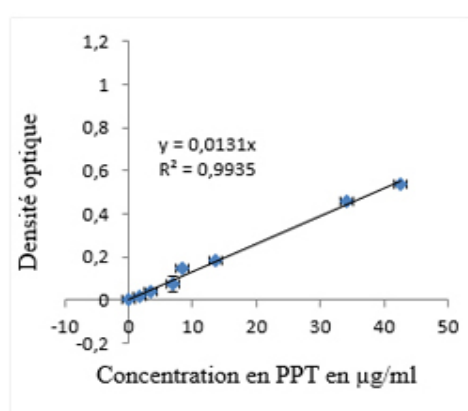
A.15 : Pouvoir réducteur C. M. BZ.



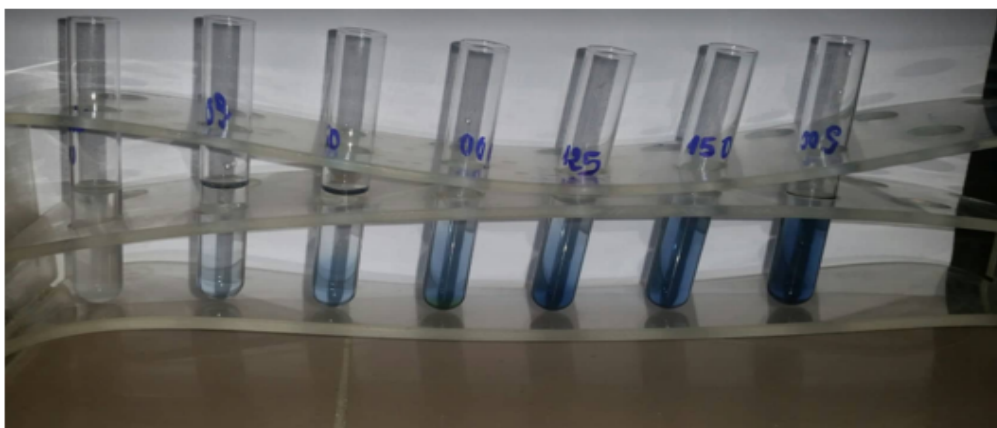
A.16 : Pouvoir réducteur C. J. BZ. éth



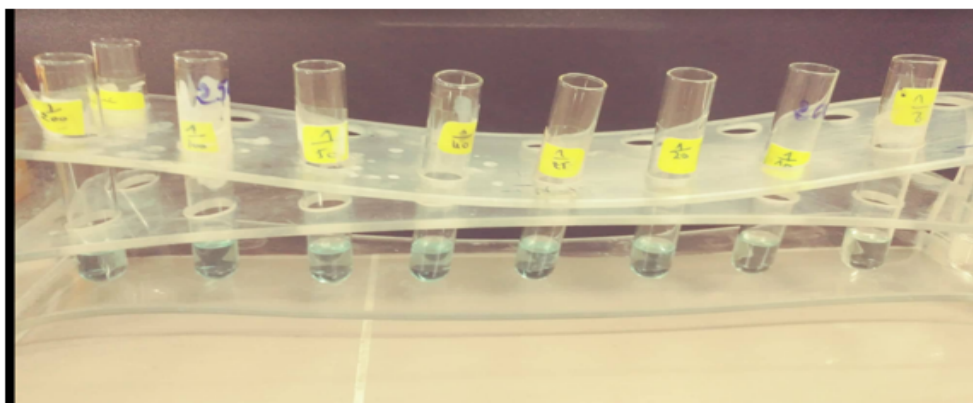
A.17 : Pouvoir réducteur C. M. AF. acét



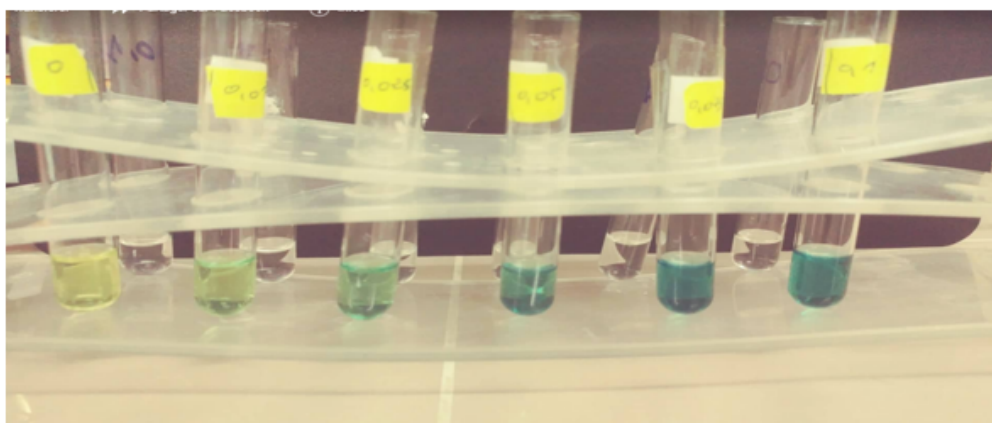
A.18 : Pouvoir réducteur C. M. AF. éth



A.19 : Photographie de la gamme d'étalonnage de l'acide gallique (0 à 250µg/ml)



A.20 : Photographie de la gamme des dilutions de l'acide ascorbique pour le test ABTS (0 à 250µg/ml)



A21 : Photographie de la gamme des dilutions de l'acide ascorbique (0 à 100µg/ml)

Bibliographie

- S Abidi, H Ben Salem, V Vasta, and A Priolo. Supplementation with barley or spineless cactus (*Opuntia ficus indica* f. *inermis*) cladodes on digestion, growth and intramuscular fatty acid composition in sheep and goats receiving oaten hay. *Small Ruminant Research*, 87(1-3) : 9–16, 2009.
- PI Angulo-Bejarano, O Martínez-Cruz, and O Paredes-López. Phytochemical content, nutraceutical potential and biotechnological applications of an ancient Mexican plant : nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Current Nutrition & Food Science*, 10(3) :196–217, 2014.
- M Aragona, ER Lauriano, S Pergolizzi, and C Faggio. *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller as a source of bioactivity compounds for health and nutrition. *Natural product research*, 32(17) : 2037–2049, 2018.
- C Audigié, Figarella J, and F Zonszain. Manipulation d'analyse biochimique. . 65 :247–301, 1978.
- Toussaint Barboni. *Contribution de méthodes de la chimie analytique à l'amélioration de la qualité de fruits et à la détermination de mécanismes (EGE) et de risques d'incendie*. PhD thesis, Université Pascal Paoli, 2006.

- Muhammad Nadeem Bari, Muhammad Zubair, Komal Rizwan, Nasir Rasool, Iftikhar Hussain Bukhari, Sobia Akram, Tanveer Hussain Bokhari, Muhammad Shahid, Mansoor Hameed, and Viqar Uddin Ahmad. Biological activities of opuntia monacantha cladodes. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 34(4), 2012.
- Patricia Blanca, Ramos Lazalde, Morales Gabrielan, Susana Velazquez, and Adriana Pardo Rivas Ana Lourdes ZamoraPerez Vanessa, Sánchez-De La Rosa. Evaluation of the genotoxicity and cytotoxicity of opuntia ficus-indica mucilage through the micronuclei test in vivo in the mouse blood. *Clin Pharmacol Toxicol, an open access journal*, 12(1) :17–29, 2018.
- Omar Bouaouine, Isabelle Bourven, Fouad Khalil, Philippe Bressollier, and Michel Baudu. Identification and role of opuntia ficus indica constituents in the flocculation mechanism of colloidal solutions. *Separation and Purification Technology*, 209 :892–899, 2019.
- Wendy Brand-Williams, Marie-Elisabeth Cuvelier, and CLWT Berset. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 28(1) :25–30, 1995.
- Jean Bruneton. Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales. english. 1999.
- JD Cavallo, H Chardon, CJ Soussy,*et al.* Communiqué du comité de l'antibiogramme de la société française de microbiologie. 2007.
- E Cherif. Phytochemical composition and in vitro analysis of nopal (o. ficus-indica) cladodes at different stages of maturity. *L'essentielle de l'agroalimentaire et de l'agriculture*, 100 : 11–68, 2016.
- Yun-Chin Chung, Cheng-Tien Chang, Wen-Wan Chao, Ching-Fwu Lin, and Su-Tze Chou. Antioxidative activity and safety of the 50 ethanolic extract from red bean fermented by bacillus subtilis imr-nk1. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(8) :2454–2458, 2002.
- MICHAEL S DeFELICE. Prickly pear cactus, opuntia spp.—a spine-tingling tale. *Weed Technology*, 18(3) :869–877, 2004.
- Hanen Falleh, Riadh Ksouri, Kamel Chaieb, Najoua Karray-Bouraoui, Najla Trabelsi, Mondher Boulaaba, and Chedly Abdelly. Phenolic composition of cynara cardunculus l. organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies*, 331(5) :372–379, 2008.
- Jean Magloire Feugang, Patricia Konarski, Daming Zou, Florian Conrad Stintzing, Changping Zou, *et al.* Nutritional and medicinal use of cactus pear (opuntia spp.) cladodes and fruits. *Front Biosci*, 11(1) :2574–2589, 2006.

- Marely G Figueroa-Pérez, Iza F Pérez-Ramírez, Octavio Paredes-López, Candelario Mondragón-Jacobo, and Rosalía Reynoso-Camacho. Figue de barbarie : Un cactus source de richesse. l'essentielle del'agroalimentaire et de l'agriculture. *International Journal of Food Properties*, 21(1) :1728–1742, 2018.
- Pasquale Filannino, Ivana Cavoski, Nadia Thlien, Olimpia Vincentini, Maria De Angelis, Marco Silano, Marco Gobetti, and Raffaella Di Cagno. Lactic acid fermentation of cactus cladodes (*Opuntia ficus-indica* L.) generates flavonoid derivatives with antioxidant and anti-inflammatory properties. *PloS one*, 11(3) :e0152575, 2016.
- MS Fotsing. *Etude phytochimique et des activités biologiques de Maerua angolensis DC.(Capparidaceae)*. PhD thesis, Thèse de Pharmacie, FMPOS, Bamako, 103p, 2005.
- Goycoolea Francisco, M, and Adriana Cárdenas. Pectins from *Opuntia* spp. : a short review. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 5(1) :17–29, 2003.
- Stephane Georgé, Pierre Brat, Pascaline Alter, and Marie J Amiot. Rapid determination of polyphenols and vitamin c in plant-derived products. *Journal of Agricultural and food chemistry*, 53(5) :1370–1373, 2005.
- Rim Gheribi, Youssef Habibi, and Khaoula Khwaldia. Prickly pear peels as a valuable resource of added-value polysaccharide : Study of structural, functional and film forming properties. *International journal of biological macromolecules*, 126 :238–245, 2019.
- Giovanna Ginestra, Mary L Parker, Richard N Bennett, Jim Robertson, Giuseppina Mandalari, Arjan Narbad, Rosario B Lo Curto, Giuseppe Bisignano, Craig B Faulds, and Keith W Waldron. Anatomical, chemical, and biochemical characterization of cladodes from prickly pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(21) : 10323–10330, 2009.
- Amir Hossein Goli, Mohsen Barzegar, and Mohammad Ali Sahari. Antioxidant activity and total phenolic compounds of pistachio (*Pistachia vera*) hull extracts. *Food chemistry*, 92(3) : 521–525, 2005.
- Changjiang Guo, Jijun Yang, Jingyu Wei, Yunfeng Li, Jing Xu, and Yugang Jiang. Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. *Nutrition research*, 23(12) :1719–1726, 2003.

- Youssef Habibi. *Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux : caractérisation et modification chimique*. PhD thesis, Université Joseph-Fourier-Grenoble I, 2004.
- T Hadj Sadok, F Aid, M Bellal, and MS Abdul Hussain. Composition chimique des jeunes cladodes d'opuntia ficus indica et possibilités de valorisation alimentaire. *Agricult Pract Sci J*, 65 :39–48, 2008.
- N. Hajar, A. Nawal, and D. Amjad. A study to determine total phenolic content of opuntia ficus-indica extracts and their activity against some pathogenic fungi. *world journal of pharmacy and pharmaceutical sciences*, 43 :247 – 301, 2018.
- Ogochukwu Izuegbuna, Gloria Otunola, and Graeme Bradley. Chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory, and cytotoxic activities of opuntia stricta cladodes. *PloS one*, 14(4) : 596–607, 2018.
- Ogochukwu Izuegbuna, Gloria Otunola, and Graeme Bradley. Chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory, and cytotoxic activities of opuntia stricta cladodes. *PloS one*, 14(1) : e0209682, 2019.
- Aubrey Chichonyi Kalungia, Mary Mataka, Patrick Kaonga, Angela Gono Bwalya, Lavina Prashar, and Derick Munkombwe. Opuntia stricta cladode extract reduces blood glucose levels in alloxan-induced diabetic mice. 2018.
- Riadh Ksouri, Hanen Falleh, Wided Megdiche, Najla Trabelsi, Baya Mhamdi, Kamel Chaieb, Amina Bakrouf, Christian Magné, and Chedly Abdelly. Antioxidant and antimicrobial activities of the edible medicinal halophyte tamarix gallica l. and related polyphenolic constituents. *Food and Chemical toxicology*, 47(8) :2083–2091, 2009.
- HN Le Houérou. Cacti (opuntia spp.) as a fodder crop for marginal lands in th mediterranean basin. In *IV International Congress on Cactus Pear and Cochineal 581*, pages 21–46, 2000.
- Hua-Bin Li, Chi-Chun Wong, Ka-Wing Cheng, and Feng Chen. Antioxidant properties in vitro and total phenolic contents in methanol extracts from medicinal plants. *LWT-Food Science and Technology*, 41(3) :385–390, 2008.
- Marcos Neves Lopes, Magno José Duarte Cândido, Walisson Marques Silveira, Theyson Duarte Maranhão, Ismail Soares, Roberto Cláudio Fernandes Franco Pompeu, Rodrigo

- Gregório da Silva, and Maria Socorro de Souza Carneiro. Accumulation and export of nutrients in cactus pear cladodes (*Opuntia ficus-indica*) under different managements in the Brazilian semi-arid. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 47, 2018.
- JJ Macheix, A Fleuriot, and P Sarni-Manchado. Composés phénoliques dans la plante-structure, biosynthèse, répartition et rôles. *Les polyphénols en agroalimentaire. Coordonnatrices Sarni-Manchado P et Cheynier V, TEC et DOC.(Eds), Lavoisier, Paris*, pages 390–399, 2006.
- Tomás Jesús Madera-Santana, Lorena Vargas-Rodríguez, Carlos Alberto Núñez-Colín, Gerardo González-García, Vicente Peña-Caballero, José Alberto Núñez-Gastélum, Clemente Gallegos-Vázquez, and Jesús Rubén Rodríguez-Núñez. Mucilage from cladodes of *Opuntia spinulifera* Salzm.-Dyck : chemical, morphological, structural and thermal characterization. *CyTA-Journal of Food*, 16(1) :650–657, 2018.
- Candelario Mondragon Jacobo. Cactus pear domestication and breeding. *Plant breeding reviews*, 20 :135–166, 2000.
- B Mounir, Z Abdeljalil, and A Abdellah. Evaluation of the effect of age of cladode and solvent on yield of mucilage and pectin from cactus pads. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(5) :1446–1450, 2014.
- Lotfi Msaddak, Ola Abdelhedi, Amani Kridene, Mostafa Rateb, Lassaâd Belbahri, Emna Ammar, Moncef Nasri, and Nacim Zouari. *Opuntia ficus-indica* cladodes as a functional ingredient : bioactive compounds profile and their effect on antioxidant quality of bread. *Lipids in health and disease*, 16(1) :32, 2017.
- Bernardo Murillo Amador, Troyo Diéguez, Nieto Garibay, Aguilar García, *et al.* El nopal cultivo forrajero sostenible para el noroeste de México. Technical report, 2002.
- PS Negi, GK Jayaprakasha, and BS Jena. Antioxidant and antimutagenic activities of pomegranate peel extracts. *Food chemistry*, 80(3) :393–397, 2003.
- Park S Nobel. *Cacti : biology and uses*. Univ of California Press, 2002.
- Fehmi Odabasoglu, Ali Aslan, Ahmet Cakir, Halis Suleyman, Yalcin Karagoz, Mesut Halici, and Yasin Bayir. Comparison of antioxidant activity and phenolic content of three lichen species. *Phytotherapy Research : An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives*, 18(11) :938–941, 2004.

- M Oyaizu. Studies on products of browning reaction prepared from glucose amine products derived from bees. *J Pharm Biomed Anal*, 41 :1220–34, 1986.
- Rogelio Pérez-Cadena, T Espinosa Solares, Sergio Alejandro Medina-Moreno, Alfredo Martínez, Manuel Alejandro Lizardi-Jiménez, and Alejandro Téllez-Jurado. Production of ethanol by three yeasts in defined media and hydrolyzed cladodes of opuntia ficus-indica var. atlixco. *International Journal of Agriculture and Forestry*, 8(1) :26–34, 2018.
- Amra Perva-Uzunalić, Mojca Škerget, Željko Knez, Bernd Weinreich, Frank Otto, and Sabine Grüner. Extraction of active ingredients from green tea (camellia sinensis) : Extraction efficiency of major catechins and caffeine. *Food Chemistry*, 96(4) :597–605, 2006.
- J Peynet, JL Beaudeau, and A Legrand. Stress oxydant et athérosclérose. *Radicaux libres et stress oxydant. Lavoisier, Paris*, pages 312–351, 2005.
- Anna Podsedek. Natural antioxidants and antioxidant capacity of brassica vegetables : A review. *LWT-Food Science and Technology*, 40(1) :1–11, 2007.
- Ronald L Prior, Xianli Wu, and Karen Schaich. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of agricultural and food chemistry*, 53(10) :4290–4302, 2005.
- Roberta Re, Nicoletta Pellegrini, Anna Proteggente, Ananth Pannala, Min Yang, and Catherine Rice-Evans. Antioxidant activity applying an improved abts radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10) :1231–1237, 1999.
- F Rebah, Ben, and SM Siddeeg. Cactus an eco-friendly material for wastewater treatment : A review. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 8(5) :1770–1782, 2017.
- Erika Maria de Oliveira Ribeiro, Nicácio Henrique da Silva, José Luiz de Lima Filho, Júlio Zoe de Brito, and Maria da Paz Carvalho da Silva. Study of carbohydrates present in the cladodes of opuntia ficus-indica (fodder palm), according to age and season. *Food Science and Technology*, 30(4) :933–939, 2010.
- P Ribéreau-Gayon. Les composés phénoliques des végétaux. dunod, paris. *Francia*, 1968.
- Gabriele Rocchetti, Marco Pellizzoni, Domenico Montesano, and Luigi Lucini. Italian opuntia ficus-indica cladodes as rich source of bioactive compounds with health-promoting properties. *Foods*, 7(2) :24, 2018.

- Sarahi Rodríguez-González, Hector E Martínez-Flores, Carla K Chávez-Moreno, Lourdes I Macías-Rodríguez, Eder Zavala-Mendoza, MG Garnica-Romo, and Luis Chacón-García. Extraction and characterization of mucilage from wild species of o puntia. *Journal of food process engineering*, 37(3) :285–292, 2014.
- Araceli Mandujano Ruiz, Luis-Enrique Corona Almazán, Héctor Herrera Hernández, and Jorge Morales Hernández. Opuntia ficus-indica (nopal extract) as green inhibitor for corrosion protection in industrial steels. In *Corrosion Inhibitors, Principles and Recent Applications*. IntechOpen, 2018.
- Hadj T Sadok, F Aid, A Doumandji, and M Bellal. Effet du jus de cladodes d’opuntia ficus indica sur la fermentation du lait et la croissance des bactéries lactiques et probiotiques. *Nature & Technology*, (11) :17, 2014.
- F Şahin, M Güllüce, D Daferera, A Sökmen, M Sökmen, M Polissiou, G Agar, and H Özer. Biological activities of the essential oils and methanol extract of origanum vulgare ssp. vulgare in the eastern anatolia region of turkey. *Food control*, 15(7) :549–557, 2004.
- A Scalbert. Fruits et légumes, polyphénols et santé. *Laboratoire des maladies métaboliques et micronutriments, INRA, Centre de Recherche de Clermont-Ferrand/Theix, article publié dans le lien suivant : <http://culturesciences.chimie.ens.fr/content/fruits-etlegumes-polyphenols-et-sante-1026>*, 2004.
- Marc Schweizer. *Docteur Nopal : le médecin du bon Dieu*. APB, Aloe plantes et beauté, 1997.
- Shahidi, Fereidoon, and Marian Naczki. *Phenolics in food and nutraceuticals*. CRC press, 2003.
- Constantine D Stalikas. Extraction, separation, and detection methods for phenolic acids and flavonoids. *Journal of separation science*, 30(18) :3268–3295, 2007.
- Florian C Stintzing, Andreas Schieber, and Reinhold Carle. Phytochemical and nutritional significance of cactus pear. *European Food Research and Technology*, 212(4) :396–407, 2001.
- Lijun Sun, Jianbao Zhang, Xiaoyun Lu, Liyu Zhang, and Yali Zhang. Evaluation to the antioxidant activity of total flavonoids extract from persimmon (diospyros kaki l.) leaves. *Food and chemical toxicology*, 49(10) :2689–2696, 2011.

- Tilahun, Yemane, and Gebrekidan Welegerima. Pharmacological potential of cactus pear (*Opuntia ficus indica*) : A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3) : 1360–1363, 2018.
- Nihal Turkmen, Ferda Sari, and Y Sedat Velioglu. Effects of extraction solvents on concentration and antioxidant activity of black and black mate tea polyphenols determined by ferrous tartrate and folin–ciocalteu methods. *Food chemistry*, 99(4) :835–841, 2006.
- Nihal Turkmen, Y Velioglu, Ferda Sari, and Gokce Polat. Effect of extraction conditions on measured total polyphenol contents and antioxidant and antibacterial activities of black tea. *Molecules*, 12(3) :484–496, 2007.
- Francesco Visioli, Annalisa Romani, Nadia Mulinacci, Simona Zarini, Davide Conte, Franco Vincieri, and Claudio Galli. Antioxidant and other biological activities of olive mill waste waters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(8) :3397–3401, 1999.
- Lisu Wang, Jui-Hung Yen, Hsiao-Ling Liang, and Ming-Jiuan Wu. Antioxidant effect of methanol extracts from lotus plumule and blossom (*Nelumbo nucifera* Gertn.). *Journal of food and drug Analysis*, 11(1) :60–66, 2003.
- Gebrekidan Welegerima, Aragaw Zemene, and Yemane Tilahun. Phytochemical composition and antibacterial activity of *Opuntia ficus indica* cladodes extracts. *Journal of Medicinal Plants*, 6(2) :243–246, 2018.