



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج
Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi - B.B.A.

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الارض والكون
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers
قسم العلوم
Département des Sciences biologiques

Mémoire

En vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Alimentaires

Spécialité : Qualité des produits et sécurité alimentaires

Intitulé

**Etude comparative des méthodes d'optimisation de
paramètres d'extraction des substances bioactives des matrices
végétale telle que la figue de barbarie**

Présenté par :

DJERRAR Sonia

SAHNOUNE Afifa

Devant le jury :

Président :	M ^{me} HADDACHE L	MCB.....Université de MBI de BBA
Encadrant :	M ^r TOUATI N	MCA..... Université de MBI de BBA
Examineur :	M ^{me} BOULKROUNE HM	MCB..... Université de MBI de BBA

Année universitaire : 2019/2020

Remerciements

*D'abord nous remercions notre **Dieu** le tout puissant qui nous protège tout le temps, et qui nous a donné le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous tenons à remercier très particulièrement notre encadreur **Mr TOUATI.N** pour son aide, sa compétence, sa patience pour élaborer ce mémoire.*

*Toutes nos expressions de respect à **Mme HADDACHE .L** qui nous a fait honneur par sa présence en qualité de présidente de jury.*

*Nos sincères remerciements et considérations sont exprimés à **Mme BOULKROUNE .H** qui a accepté d'examiner ce travail et de consacrer de son temps pour l'évaluer.*

*Nous remercions tout enseignant ayant contribué énormément à notre formation. Ainsi nos amis et camarades, en particulier la promotion de **QUALITE DE PRODUITS ET SECURITE ALIMENTAIRE**.*

Merci à toutes les personnes qui de diverses façons et à différents moments nous ont apporté leur aide.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

*A ma chère mère en particulier qui m'a beaucoup
encouragée.*

A mon cher père qui croit toujours en moi.

A mes sœurs : Zakia, Karima, Khalissa.

A mes frères : Nadir, Lahcen, Hamza, Halim

*A mes meilleurs Amis : Imene, Chahinax, Assma,
Ikram, Widiiane.*

A tous celles qui me sont chère à mon cœur.

*A tous qui m'ont aidé pour préparer ce travail de près ou de
loin même avec un mot d'encouragement et de gentillesse.*

*A tous mes collègues du Spécialité Qualité des produits et
sécurité alimentaire.*

Sonia

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

À mon père Monsieur Hocine et ma mère, pour leur amour, leur éducation, qui ont consacré leur existence à bâtir la mienne, pour leur soutien, patience et soucis de tendresse d'affection pour tout ce qui ils ont fait pour qui je puisse arriver à ce stade.

À mes très chers frères : Ayoub, Faki, Mohame Et Amine que Dieu les protège.

À mes très chères sœurs : Amel, Soumia, hadjira, Dalel khalissa que dieu les protège.

Pour leurs appuis et encouragements.

À mon cher mari qui m'a toujours soutenu.

À toute la promotion de Qualité des produits et sécurité alimentaire.

À tous ce qui m'aide et m'aime et qui j'aime aussi.

Alfa

Table des matières

Introduction	1
I. Figuier de barbarie	2
I.1. Origine et distribution	2
I.2 Classification	2
I.3. Description.....	3
I.4. Intérêt et utilisation	5
I.4.1. Intérêt nutritionnel	5
I.4.2. Intérêt médicinal	5
I.4.3. Intérêt dans la fabrication des produits cosmétique.....	5
I.4.4. Intérêt économique.....	5
II. Antioxydants et paramètres influençant leur l'extraction	6
II.1. Antioxydants.....	6
II.1.1. Polyphénols	6
II.1.2. Flavonoïdes.....	7
II.1.3. Caroténoïdes	7
II.1.4. Vitamine C.....	7
II.2. Paramètres influençant l'extraction des antioxydants	8
II.2.1. Effet du diamètre de poudre	8
II.2.3. Effet de solvant d'extraction.....	9
II.2.4. Effet du temps d'extraction	9
II.2.5. Effet de la température d'extraction.....	9
III. Optimisation des paramètres d'extraction	11
III.1. Méthode traditionnelle des essais-erreurs	11
III.2. Construction du plan d'expérience.....	11
III.2.1. Définition d'un plan d'expérience.....	11
III.2.2. Principe.....	11
III.2.3. Plan de surface de réponse	11
III.3. Logiciels utilisés.....	12
III.4. Analyse de la variance (ANOVA)	12
III.4.1. Diagramme des effets	12
III.4.2. Droite de Henry des effets.....	13
III.5. Représentation graphique des effets.....	13
III.5.1. Diagramme des effets principaux.....	13

III.5.2. Diagramme des interactions	13
III.6. Validation des hypothèses et recherche de solution aux problèmes.....	13
Conclusion	15
Références bibliographiques	

Liste des tableaux

Tableau I: caractéristiques morphologique de l'opuntia ficus indica	4
Tableau II : Principaux logiciels de plans d'expériences	12

Liste des tableaux

Figure 1 : Distribution géographique du figuier de barbarie dans le monde..... 2

Figure 2 :. La plante d'Opuntia ficus indica (A) raquette, (B) fruit, (C) fleur 3

Introduction

L'*Opuntia ficus indica* appartient à la famille des cactaceae, connu communément sous le nom du figuier de Barbarie, est une plante originaire du Mexique, actuellement cultivée dans les différents pays du monde (**Chougui et al., 2015**).

Plusieurs études ont suggéré que l'activité antioxydante totale de la figue de barbarie est due à sa teneur en vitamine C, en polyphénols, en composés flavonoïdes, en pigments (bétalaines) et en taurine (**Butera et al., 2002**).

L'extraction est l'étape initiale et la plus importante pour récupérer les composés bioactifs à partir de matières végétales. En outre, de nombreux facteurs tels que la composition du solvant, la température d'extraction, le rapport solvant-solide, peuvent influencer d'une manière significative l'efficacité de l'extraction, l'activité antioxydante et le contenu phénolique. Par conséquent, il est nécessaire d'optimiser les conditions d'extraction pour obtenir les teneurs les plus élevées en ces composés. (**Mehdi Sabrina & Sellami Redha 2018**).

La méthode traditionnelle d'optimisation prend beaucoup de temps, car elle prend en compte un seul facteur seulement à la fois. Dans cette méthode, les interactions de divers facteurs sont ignorées et donc, les chances d'obtenir les vraies conditions optimales sont minimales. Pour surmonter cette difficulté, l'utilisation de la Méthodologie de Surface de Réponse (RSM) est utilisée. (**Mehdi Sabrina & Sellami Redha 2018**)

L'objectif de ce travail bibliographique est de faire une présentation simplifiée des plans d'expériences tout en mentionnant ses avantages et ses inconvénients. Ce manuscrit aborde trois grands axes, à savoir : la figue de barbarie, substances bioactives qu'elles renferment ainsi que les facteurs influençant leur extraction, et enfin les plans d'expériences proprement dit.

I. Figuiers de barbarie

I.1. Origine et distribution

Le figuier de barbarie est un cactacée originaire du Mexique, il est bien adapté aux zones arides et semi-arides, il a été introduit en Afrique du Nord vers le 16^{ème} siècle (**El Kossori et al., 1998 ;Araba et al., 2000 ; El Mannoubi et al., 2008**). C'est une plante intéressante en raison des conditions environnementales dans lesquelles elle se développe et sa résistance aux conditions climatiques les plus hostiles (**Hernández-Urbiola et al ; 2011**). Environ 1500 espèces de cactus appartenant au genre *Opuntia* ; et sont cultivées dans de nombreux pays, notamment : le Mexique, les Etats-Unis, la Chine, l'Afrique et l'Italie ainsi que dans d'autres aires géographiques (**El Kossori et al ; 1998 ; Feugang et al., 2006**). En Algérie, les plantations du figuier de barbarie sont réparties dans les hauts plateaux, à Batna, Biskra et Bordj Bou Arreridj, Constantine, sur les hauts plateaux Algéroise à 550 mètres, et environs 750 mètre à M'sila, et même à Laghouat (**Piédallu A.1990**). La figure 1 montre la distribution géographique du figuier de barbarie dans le monde.



Figure 1 : Distribution géographique du figuier de barbarie dans le monde

I.2 Classification

Le figuier de barbarie est une plante arborescente de 2 à 6 m de hauteur caractérisée par un tronc épais et ligneux, des épines, des fleurs, des fruits et des tiges en forme de raquettes aplaties appelées cladodes, (**Schweizer , 1997**), et c'est la particularité de cette famille de cactus. Ce sont des végétaux phanérogames, angiospermes et dicotylédones (**Reyes-Aguero and Valiente-Banuet, 2006**).



Figure 2 :. La plante d'*Opuntia ficus indica* (A) raquette, (B) fruit, (C) fleur

De nombreux auteurs ont élaboré des classifications du genre *Opuntia*. la classification d'*Opuntia ficus indica* est rappelée ci-dessous (**De Filice, 2004**) :

- Règne :** Végétale
- Classe :** Magnolipsida (dicotylédones)
- Ordre :** Caryophyllales
- Famille :** Cactaceae
- Genre :** *Opuntia*
- Espèce :** *Opuntia ficus indica*

I.3. Description

Le figuier de barbarie peut atteindre jusqu'à 5 mètres de hauteur, avec un tronc épais et ligneux. Les cladodes sont aplatis de couleur vert mat, ayant une longueur de 30 à 50cm, une largeur de 15 à 30cm, sont couverts de petites aréoles, d'épines blanchâtres, sclérifiées, solidement implantées et longues de 1 à 2cm (**Habibi, 2004**). Les cladodes assurent la fonction chlorophyllienne et sont recouvertes d'une cuticule crieuse (la cutine) qui limite la transpiration et les protège contre les prédateurs (**Schweizer, 1997; Wallace et Gibson, 2002**). Les caractéristiques principales de figuier de barbarie sont illustrées dans le **Tableau I**

Les feuilles, éphémères, sont de forme conique et ont quelques millimètres de long, apparaissant sur les jeunes raquettes (**Fried, 2012**), à leur base, se trouvent les aréoles (environ 150 par cladode) qui sont des bourgeons axillaires modifiés (**Neffar, 2012**).





Les fleurs apparaissent sur le sommet des cladodes, sont hermaphrodites, de couleur jaune et deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante (**Habibi, 2004**).

Les fruits sont des baies charnues ovoïdes ou piriformes pourvues d'épines. Ils sont

généralement verdâtres ou jaune à maturité. La pulpe est toujours juteuse, de couleurs jaune orangé, rouge ou pourpre, parsemée de nombreuses petites graines (**Habibi, 2004**).

Les graines de figue de barbarie sont caractérisées par leur dureté due à la présence de fibres dures et de formes plates (**Habibi, 2004**). Le pourcentage et le nombre de graines varient en fonction de plusieurs facteurs dont la variété, la physiologie et l'environnement de culture (**Reyes-Aguero et al., 2005**). Constituent environ 4-7% de la pulpe comestible sont généralement jetées comme déchets après extraction de la pulpe (**Stintzing, Schieber and Carle 2001**).

Tableau I: caractéristiques morphologiques de l'opuntia ficus indica (**Neffar, 2012 et Mulas M. et Mulas G. 2004**)

Compartiments	Descriptions	Photographies
<p>Branches (cladodes ou raquettes)</p>	<p>Forme elliptique ou ovoïdale, camées et de couleur verte ayant une longueur de 30 à 50 cm, une largeur de 15 à 30 cm et une épaisseur de 1.5 à 3cm.</p>	
<p>Epines</p>	<p>Sont blanchâtres, sclérifiées, solidement implantées et longues (de 1 à 2cm).</p>	
<p>Fleurs</p>	<p>Hermaphrodites avec une corolle de couleur jaune ou orange, apparaissent sur le dessus des raquettes larges de 4 à 10cm.</p>	
<p>Fruits</p>	<p>Présents sous forme d'une grosse baie ovoïde et charnue, dont la peau est vert jaunâtre, elle est aussi ornée de piquants.</p>	

I.4. Intérêt et utilisation

I.4.1. Intérêt nutritionnel

Les jeunes pousses d'*Opuntia* appelées « nopalitos » sont riches en vitamine C et en Calcium et leur valeur nutritive est proche de celle de laitue et des épinards (Mohamed *et al.* 1996 ; Saenz, 2002). En Mexique, le fruit de cactus est utilisé dans certaines industries agro-alimentaires comme la fabrication des boissons, des confitures et des édulcorants naturels (Abdel-Hameed, *et al.*, 2014). En Algérie, l'incorporation de cladodes d'*Opuntia ficus indica* dans la nourriture des brebis à Tiaret, a satisfait leurs besoins énergétiques, leur utilisation comme complément alimentaire étaient donc recommandées dans les zones sèches (Louacini *et al.* 2012).

I.4.2. Intérêt médicinal

Opuntia ficus indica est l'une des plantes les plus utilisées dans la médecine traditionnelle en raison de son rôle dans le traitement d'un certain nombre de maladies tels que les diarrhées, les coliques et les maux de rein, en outre l'*Opuntia* possède des propriétés antimicrobiennes, anti-oxydantes et anti-inflammatoires (Welegerima *et al.* 2018). En effet, habibi, (2004) affirme qu'en Australie et en Afrique du sud, les « nopalitos » sont utilisées pour le traitement du diabète.

I.4.3. Intérêt dans la fabrication des produits cosmétique

Le mucilage des raquettes est utilisé dans la fabrication des champings, des assouplissants des cheveux, des crèmes dermiques et des laits hydratants (Arab, 2009).

I.4.4. Intérêt économique

La culture du figuier de barbarie ne nécessite pas une source importante en eau ni en traitements parasitaires, de plus le cactus présente de faibles coûts énergétiques pour la culture en implantation spécialisées (Barbera, 1995 ; Pimienta-Barrios 1993).

II. Antioxydants et paramètres influençant leur l'extraction

II.1. Antioxydants

Ce sont des molécules qui fixent les radicaux libres et qui diminuent ou empêchent l'oxydation d'autres substances chimiques (**Weber, 2009**). Un antioxydant est défini comme toute substance ayant la capacité de retarder, prévenir ou inhiber la génération d'un oxydant toxique, d'arrêter ceux qui sont déjà produits et de les inactiver, bloquer de ce fait la réaction en chaîne de propagation produite par ces oxydants. (**Tang et Halliwell, 2010**). Selon (**Valko et al., 2006**), un antioxydant devrait à la fois agir spécifiquement sur les radicaux libres à des concentrations relativement faibles, en synergie avec d'autres antioxydants pour se régénérer. Les antioxydants les plus connus sont le B-carotène (provitamine A), l'acide ascorbique (vitamine C), le tocophérol (vitamine E) ainsi que les composés phénoliques (**Popovici, 2009**).

II.1.1. Polyphénols

Les composés phénoliques" regroupe un vaste ensemble de plus de 8000 molécules, divisées en une dizaine de classes chimiques, qui présentent toutes, un point commun : la présence dans leur structure d'au moins un cycle aromatique à 6 carbone, lui-même porteur d'un nombre variable de fonction hydroxyles (OH) (**Hannebelle et al., 2004**). Selon les études, les polyphénols sont des supports majeurs de l'activité antioxydante (**Bathaie et al., 2013**). Les flavonoïdes et les acides phénoliques sont les principaux polyphénols de l'*Opuntia ficus Indica*. (**Abou-Elella and Ali, 2014**). l'intérêt croissant pour les polyphénols porte sur leur potentiel antioxydant, qui est impliqué dans les prestations de santé telle que la prévention contre l'inflammation (**Laughton et al., 1991**), Il a été également montré qu'ils ont une activité anticancéreuse (**El-Mostafa et al., 2014**). Les polyphénols sont des antioxydants avec les propriétés redox, qui leur permettent d'agir en tant qu'agents réducteurs, donateurs d'hydrogène, et extincteurs de l'oxygène singlet (**Charalampos et al., 2013**). En plus de leur rôle important dans certaines propriétés sensorielles, plusieurs études ont souligné que beaucoup d'entre eux montrent des activités biologiques liées à leurs propriétés antioxydants et antiradicalaires (**Ojeil et al. 2010**). Grâce à la mobilité de l'hydrogène phénolique, les composés phénoliques sont capables de piéger les radicaux libres oxygénés en particulier les radicaux peroxydes (ROO-), superoxydes (O⁻²) et les hydroxyles (.OH), générés par notre organisme ou formés en réponse à des agressions de notre environnement (**Ojeil et al., 2010**). Les graines de fruits de cactus contiennent des quantités élevées de composés phénoliques allant de 48 à 89mg/100g (**Chougui et al., 2013**).

II.1.2. Flavonoïdes

Le terme flavonoïde provenant du latin "flavus", signifiant "jaune" (**Harborne et Williams., 2000**). Ce sont des pigments essentiels, responsables de la coloration des fleurs, fruits et feuilles (**Marfak, 2003; Hadi, 2004**). Les flavonoïdes ont un squelette structural général C₆-C₃-C₆ (**Tsao 2010**) dans lequel les deux C₆ sont deux cycles benzéniques nommés cycle A et B, reliés à un propyle C₃ qui est complété par une fonction éther formant ainsi un cycle central, appelé cycle C (**Marfak, 2003**). Les flavonoïdes peuvent être subdivisés en différents sous-groupes tels que les flavones, les flavonols et les anthocyanines (**Tsao 2010**). Selon (**Kuti 2004**), La teneur totale en flavonoïdes variait entre $9,8 \pm 3,0$ mg/g de poids frais en les fruits de poires de cactus à peau jaune jusqu'à $93,5 \pm 12,4$ mg/g de poids frais dans les fruits de poires de cactus à peau violette. Il semble que les poires cactus *Opuntia* contiennent des flavonoïdes à d'autres fruits et légumes.

II.1.3. Caroténoïdes

Les caroténoïdes sont des pigments naturels liposolubles, de couleur jaune à rouge, synthétisés par les plantes phototrophes, ces pigments jouent un rôle dans la photosynthèse (**Evangelina et al., 2001; Basu et al., 2001**). Les caroténoïdes sont des hydrocarbures appartenant à la famille des terpènes (tétraterpènes) avec huit doubles liaisons non conjuguées et comprennent 40 atomes de carbone. Selon l'arrangement des doubles liaisons, ils sont repartis en deux classes majeures voir les carotènes et les xanthophylles (**Basu et al., 2001**). Son squelette est linéaire et symétrique à la base et peut avoir des cycles à ses extrémités. Ils contiennent une chaîne centrale hautement polyinsaturés (**Rao et al., 1999 ; Rodriguez-Amaya, 2001**).

II.1.4. Vitamine C

La Vitamine C (acide L-ascorbique) est une molécule hydrosoluble, apportée par notre alimentation essentiellement les fruits parce qu'elle n'est pas synthétisée par notre organisme (**Adrian et al., 2003**). Elle est instable à la chaleur et à la lumière UV (**Cheick-Traoré 2006**). L'acide ascorbique est un antioxydant, très abondant dans les cellules végétales, cet acide intervient dans la croissance, le métabolisme tels que le métabolisme de fer et élimination de plusieurs espèces réactives oxygénées (**Hernandez et al., 2005**). Il inhibe également la peroxydation lipidique en régénérant la vitamine E à partir de la forme radicalaire lipidique (**Haleng et al., 2007**).

II.2. Paramètres influençant l'extraction des antioxydants

Beaucoup de paramètres peuvent influencer l'efficacité de l'extraction des polyphénols, comme la méthode d'extraction, la nature et la concentration du solvant, la température et le temps d'extraction. (Banik et Pandey , 2007 ; Silva *et al.*, 2007).

II.2.1. Effet du diamètre de poudre

Il est toujours admis que sous une forme broyée, la matière végétale présentera Une plus grande surface de contact avec le solvant (Bonnaillie *et al.* , 2012). En effet, d'après Silva *et al.* (2007), la taille des particules est un paramètre important lors de l'extraction des composés phénoliques, cependant les meilleurs rendements de ces derniers sont obtenus en utilisant les plus fines particules, probablement en raison de l'augmentation de la surface d'échange entre le solvant d'extraction et la matière sèche. Réduire la taille des échantillons par mouture augmente leurs surface d'échange, ce' qui permet un meilleur contact avec le solvant d'extraction (Escribano-Bailon et Santos-Buelga, 2003). Cela s'expliquerait par le fait que le solvant se diffuse plus facilement à l'intérieur des petites particules, pour extraire les molécules de polyphénols grâce à la création d'une surface de contact plus grande avec la diminution de la taille des particules et aussi à l'ouverture de plus grands nombres de ports, sans pour autant que celle-ci soit trop fine, afin d'éviter le phénomène de colmatage de cette dernière, et facilitant ainsi le contact avec le solvant (Virginie *et al.*, 2015)

III.2. Effet du rapport échantillon/solvant

La teneur totale en phénols et l'activité antioxydant des graines de figue de Barbarie extraites par 75 % d'acétone en utilisant quatre rapports échantillon/solvant : 0,2/10, 0,4/10, 0,6/10 et 0,8/10 g/ ml sont indiqués sur la figure 4. Le rapport échantillon/solvant a eu un effet significatif ($p < 0,05$) sur le TPC et l'antioxydant (Chaalal *et al.*, 2012)

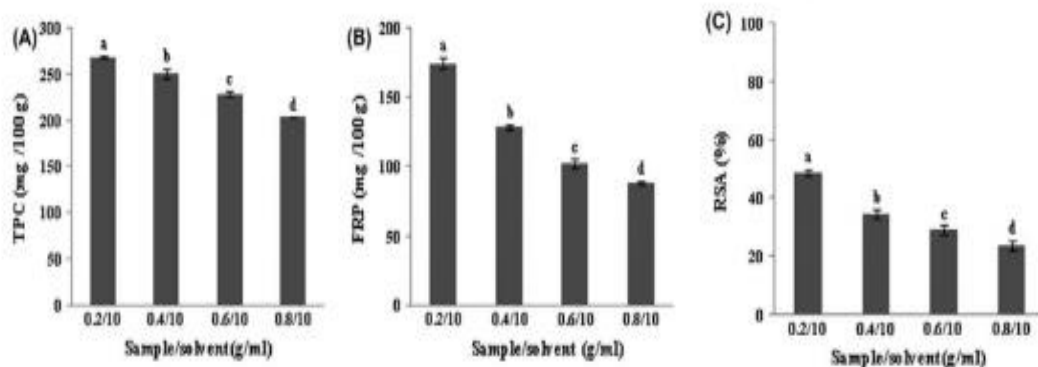


Figure 3 : Effet du rapport échantillon solvant sur la teneur en composés phénoliques(A),le pouvoir réducteur du fer(B) et l'activité antiradicalaire (C) des graines de figue de barbarie

II.2.3. Effet de solvant d'extraction

Les polyphénols sont extraits dans différents solvants organiques (acétone, éthanol et méthanol) (Makhelouf *et al.*, 2013 ; Vanessa *et al.*, 2014 ; Shuangqin *et al.*, 2015). La solubilité des composés phénoliques est influencée par la nature du solvant utilisé et leur polarité (Escribano-Bailon et Santos-Buelga, 2003). Le choix de solvant sera conditionné par le caractère polaire des composés phénoliques présents dans la matrice étudiée (Chirinos *et al.*, 2007). Le mélange acétone- eau distillée semble le solvant très efficace pour l'extraction des polyphénols, car l'eau en combinaison avec l'acétone contribue à la création d'une moyenne modérément polaire qui assure à la fois l'extraction des composés phénoliques et la préservation de leur activité antioxydants (Chirinos *et al.*, 2007). D'autre part, la variation de la concentration du solvant (mélange à différentes proportions avec l'eau distillée) modifiée la capacité d'extraction et contribue à améliorer cette capacité du solvant extraire plus de composés (Spigno *et al.*, 2007). D'après (Chaalal *et al.*, 2012), l'acétone est le solvant le plus adéquat pour extraire les composés phénoliques à partir de la figue de barbarie.

II.2.4. Effet du temps d'extraction

Le temps d'extraction est un autre paramètre principal dans la procédure d'extraction des composés phénoliques (Lapornik *et al.*, 2005; Lee *et al.*, 2005). Selon Uma *et al.* (2010), l'augmentation de la durée d'extraction, de 40 à 450 minutes, est accompagnée par une élévation de la teneur en polyphénols totaux de 5167.02 à 7513 mg E.A.G./100g de produit. D'après Silva *et al.* (2007), un temps d'extraction excessif n'est pas utile pour l'amélioration de la teneur en antioxydants extraite. La durée de mise en contact de l'échantillon avec le solvant apparaît comme un paramètre qui influence l'extraction des composés phénoliques (Perez, 2008). Selon Spigno *et al.* (2006), le taux d'extraction peut être amélioré en augmentant le temps de contact entre le solvant et le matériel végétal. Plusieurs travaux ont montré que le temps nécessaire pour l'extraction des composés phénoliques est de 24 heures. Pantelic *et al.* (2016)

II.2.5. Effet de la température d'extraction

Le choix d'une température appropriée à l'extraction est un autre paramètre principal dans la procédure d'extraction. L'augmentation de la température de 25 à 40°C a un effet significatif ($p < 0.05$) sur l'extraction des composés phénoliques, en augmentant la solubilité du corps dissous et le coefficient de diffusion mais au-delà d'une certaine température, les composés phénoliques peuvent être dénaturés (Juntachote *et al.*, 2006 ; Al-Farsi et Lee,

Antioxydants et paramètres influençant leur extraction

2008). Selon **Wang *et al.* (2007)**, les températures élevées favorisent la libération des polyphénols liés aux constituants des cellules qui améliore ainsi la perméabilité des parois cellulaires. D'ailleurs, il est également démontré que le dégagement de ces composés pourrait réduire leur coagulation avec les lipoprotéines, augmentant de ce fait la solubilité et la diffusion des polyphénols (**Al Farsi et Lee, 2008 ; Zhang *et al.*, 2007**). Une température élevée (> 55°C) peut également entraîner la perte de solvant par évaporation puisque le point d'ébullition d'acétone est très proche de 55°C, ce qui explique le choix de la température de l'extraction des composés phénoliques à la valeur de 50°C, dans la présente étude.

III. Optimisation des paramètres d'extraction

Les plans d'expériences sont utilisés depuis près d'un siècle, l'origine par les agronomes (*Chagno, 2005, Dagnelie, 2008*). Cette démarche aide l'expérimentateur (structurer sa recherche de manière différente, valider ses propres hypothèses, à mieux comprendre les phénomènes étudiés et à solutionner les problèmes) (*Karam, 2004*). Depuis les premières publications par Fisher, les plans d'expériences sont utilisés dans de très nombreux domaines : agronomie, biologie, calcul numérique, chimie, électronique, marketing, mécanique, physique, etc. et cela, à tous les niveaux, depuis la recherche fondamentale jusqu'à la satisfaction du client (*Dagnelie, 2008*).

III.1. Méthode traditionnelle des essais-erreurs

La méthode traditionnelle, appelée aussi essais-erreurs consiste à varier **un seul facteur à la fois** entre deux essais consécutifs. Les essais sont effectués de manière séquentielle, sans planification préalable de l'ensemble des essais réalisés. L'interprétation des résultats ne se fait donc pas, en comparants d'où on décide d'arrêter ou de continuer les essais (*Chagnon 2005*).

III.2. Construction du plan d'expérience

III.2.1. Définition d'un plan d'expérience

Un plan d'expérience consiste en la mise en œuvre organisée d'un ensemble d'unités expérimentales de manière à révéler les effets de différents traitements, tel que la comparaison des effets de quatre antibiotiques sur une souche bactérienne (*Pierre, 2009*). La théorie des plans d'expériences assure les conditions pour lesquelles la meilleure précision possible avec le minimum d'essais sont obtenus, afin d'avoir le maximum d'efficacité avec le minimum d'expériences et par conséquent un coût minimum (*Goupy, 2006*).

III.2.2. Principe

Il consiste à varier simultanément les niveaux d'un ou plusieurs facteurs, qui sont les variables, discrets ou continues à chaque essai. Ceci va permettre de diminuer fortement le nombre d'expériences à réaliser tout en augmentant le nombre de facteurs étudiés, en détectant les interactions entre les facteurs et les optimaux par rapport à une réponse (*Faucher, 2006*). L'objectif principal peut être résumé par la devise : « obtenir un minimum d'information avec un minimum d'expériences » (*Tinsson, 2010*).

III.2.3. Plan de surface de réponse

La méthodologie de surface de réponse (RSM), décrit par Box et Wilson (1951), c'est une collection technique statique et mathématique, utilisée pour modéliser et optimiser des

processus biochimique et biotechnologiques (Sennayake et Shahidi, 2002). Ces plans sont les plus employés car ils permettent le ciblage des facteurs et conduisent parfois à des modélisations simples mais suffisantes, des modèles polynomiaux du premier ou second degré sont ainsi utilisés dont les plus importants types sont : les plans de mélange, les plans de Box-Behnken et les plans composites (Goupy et Creighton, 2006).

III.2.4. Plan de Box-Behnken :

Ce sont des structures symétriques dans lesquelles chaque facteur prend trois niveaux (Chagnon, 2005). Le plan de Box-Behnken pour trois facteurs est construit sur un cube possédant 12 arêtes à qui sont ajoutés, habituellement trois points d'expériences, au centre du domaine d'étude. le plan de Box-Behnken pour trois facteurs possède donc 15 essais (Goupy et Creighton, 2006).

III.3. Logiciels utilisés

Les principaux logiciels de plans d'expériences et les sites internet correspondants sont indiqués dans le (Tableau II)

Tableau II : Principaux logiciels de plans d'expériences (Goupy, 2015).

Logiciels	Sites des logiciels
JMP	http://www.jmpdiscovery.com
Minitab	http://www.minitab.com
Statistica	http://www.intesoft.com/produits/tech/statistica
Stagraphics	http://www.sigmaplus.fr
Unscrambler	http://www.camo.no
Pirouette	http://www.infometrix.com
Modde	http://www.umetrics.com

III.4. Analyse de la variance (ANOVA)

III.4.1. Diagramme des effets

Pour identifier les quelques facteurs "vitaux" ou les variables clés qui influencent la réponse et le diagramme de Pareto aident à identifier ces facteurs essentiels en comparant la valeur de ces effets et en évaluant leur signification statistique. (Picau, 2001).

III.4.2. Droite de Henry des effets

Dans la droite de Henry des effets, les points qui ne sont pas près de la ligne indiquent généralement des effets importants. Comparés à des effets de moindre importance, les effets importants ont une valeur plus élevée et sont plus éloignés de la ligne ajustée. Les effets de moindre importance ont une valeur peu élevée et sont centrés autour de zéro (*Bouziane, 2008*)

III.5. Représentation graphique des effets

Les graphiques permettent de visualiser les effets principaux des facteurs et leurs interactions (*Picau, 2001*).

III.5.1. Diagramme des effets principaux

Un effet principal se produit en cas de modification de la réponse des moyennes de niveaux d'un facteur. On peut utiliser les graphiques des effets principaux pour comparer la puissance relative des effets de différents facteurs (*Bouziane, 2008*).

III.5.2. Diagramme des interactions

Un diagramme d'interaction montre l'impact exercé par la variation des valeurs d'un facteur sur un autre facteur. (*Bouziane, 2008*) Il est utilisé en conjonction avec une analyse de la variance. Il est utile pour juger de la présence d'interactions entre facteurs. Une interaction se produit lorsque la variation de la réponse résulte de la variation d'un facteur d'un premier niveau à un second niveau diffère de la variation de la réponse résultante, de la variation d'un autre facteur, du même premier au même second niveau. (*Bouziane, 2008*).

III.6. Validation des hypothèses et recherche de solution aux problèmes

L'analyse des résultats d'essais permet d'identifier une combinaison optimale des facteurs qui n'a pas forcément fait l'objet d'un essai dans le plan. Il faudra alors tester la combinaison optimale, qui n'a pas été faite dans le plan d'expérience, ce qui arrive fréquemment avec cet essai final, on rejettera ou pas le modèle proposé. De plus, quand on arrive à l'étape de l'analyse finale, il faut savoir si les résultats obtenus par l'analyse sont possible ou non.

- Si oui, le plan d'expérience aura joué son rôle et permis de mettre en évidence les facteurs influents et/ou d'optimiser la réponse.
- Si non, il faudra alors examiner les conditions dans lesquelles ont été effectuées les expériences et vérifier si des facteurs influents n'ont pas été oubliés ou s'il ne se cache pas un effet d'interaction entre deux facteurs ou encore d'autres choses.

Optimisation des paramètres d'extraction

- A ce stade, il faut décider en collaboration avec l'expérimentateur quelles sont les nouvelles stratégies à entreprendre.

Les conclusions obtenues seront capitalisées dans des rapports de synthèse dans lesquels devront apparaître les influences mises en évidence, la solution optimale retenue et les perspectives.

Conclusion

La méthode des plans d'expériences apporte une aide précieuse dans la résolution des problèmes d'optimisation tant au niveau de l'analyse que de la détermination de l'optimum.

Les avantages que fournit la méthode des plans d'expériences sont nombreux :

☞ La méthode fixe immédiatement le minimum de simulations à réaliser permettant d'obtenir le maximum d'informations.

☞ Elle permet également d'étudier simultanément de nombreux paramètres et de sélectionner les plus influents.

☞ Plusieurs fonctions réponses peuvent être testées simultanément sur un plan.

☞ Des paramètres discrets comme continus peuvent être utilisés

☞ La construction d'une surface de réponses sur la totalité du domaine permet d'obtenir une image du phénomène physique

☞ La réalisation d'une surface de réponses autour de l'optimum informe sur sa sensibilité.

En fait, la méthode dirige et conseille le concepteur, lors de la résolution d'un problème d'optimisation.

Comme perspective il serait plus instructif d'appliquer cette méthode lors des travaux pratiques.

Références bibliographiques

- Abou-Elella, F., M., and R. F. M. Ali. (2014). "Antioxidant and anticancer activities of different constituents extracted from Egyptian prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*) Peel." *Biochemistry and Analytical Biochemistry* 3(2): 1p.
- Abdel-Hameed, E.S., Nagaty, M.A., Salman, M.S., Bazaid, S.A. 2014. Phytochemicals, nutritional and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (*Opuntia ficus-indica* Mill) growing in Taif, KSA. *Food Chem.* 160: 31-38p.
- Adrian J., Potus J., et Frangne R. (2003). *La science alimentaire de A à Z*. 3^{eme} Ed. Tec et Doc . Lavoisier. 404-405p.
- Araba M., (2000). Les *Opuntias* à fruits comestibles dans certaines régions du Maroc. Actes II^{ème} journée National. Culture de cactus. El kelaa des Sraghna. Maroc. p8.
- Basu H.N., Delvecchio A.J., Flider F. et Orthofer F.T. (2001). Nutritional and potential disease prevention properties of carotenoids. *JAOCS*. 78:665-675p.
- Barbera, G., (1995). History, economic and agro-ecological importance. *FAO Plant Production and Protection Paper* (FAO).
- Banik R. M., et Pandey D. K., (2007). Optimizing conditions for oleanolic acid extraction from *Lantana camara* roots using response surface methodology. *Industrial Crops and Products*. 27: 241-248p.
- Bathaie S., Bolhassani A., Khavari A. (2013). Saffron and natural carotenoids Biochemical Activities and anti-tumor effects. *Biochimica and Biophysica Acta* 1845: 20-30p.
- Butera D., L. Tesoriere., F. DI Gaudio., A. Bongiorno., M. Allegra., A.M., Pintaudi, R., Kohen, M.A. Livrea.(2002). Antioxidant activity of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruit extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin *J. Agri. Food Chem.*, 50; 689p.
- Bonnaillie C., Salacs M., Vassiliova E., et Saykova I. (2012). Etude de l'extraction de composés phénoliques à partir de pellicules d'arachide (*Arachis hypogaea* L.). *Revue de génie industriel*. 7, p35-45.
- Chougui, N., Louaileche, H., Mohedeb, S., Mouloudji, Y., Hammoui, Y., et Tamendjari, A. (2013). Physico-chemical characterisation and antioxidant activity of some *Opuntia ficus-indica* varieties grown in North Algeria. *African Journal of Biotechnology*, 12(3).
- Chaalal M. Touati N. et Louaileche H.(2012). Extraction of phenolic compounds and in vitro antioxidant capacity of prickly pear seeds. *Acta Botanica Gallica*, 159(4): 467-475p.
- Charalampos P., Konstantina L., Olga K., Panagiotis Z., and Vassileia J.(2013). Antioxydant capacity of Selected Plant Extracts and Their Essential Oils. Article: p12

- Chagnon, P. (2005). Les plans d'expériences partie 1 : Principes généraux, Revue: Contrôles- Essais Mesures.pp (69-70,72).
- Cheick- Traoré, M., (2006). Etude de la phytochimie et des activités biologiques de quelques plantes utilisées dans le traitement traditionnel de la dysménorrhée au mali. minister de l'education national.Université de Bamako (Mali). 133 p.
- Chougui, N., Djerroud, N., Naraoui, F., Hadjal, S., Aliane, K., Zeroual, B., Larbat, R., 2015. Physicochemical properties and storage stability of margarine containing *Opuntia ficus-indica* peel extract as antioxidant. Food chemistry 173, 382-390p.
- Cherif Benismail, M., Mokhtari, M., Arba, M., 2000. The cactus Pear (*Opuntia* Spp.) in Morocco: Main Species and Cultivar Characterization, IV International Congress on Cactus Pear and Cochineal 581, 103-109p.
- Chirinos R., Rogez H., Camposa D., Pedreschi R. et Larmondelle Y. (2007). Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz et Pavon) tubers. Separation and Purification Technology. 55: 217-225p.
- Dagnelie, P., (2008). Le plan d'expérience évolue. Revue MODULAD, N° 38.
- Desmier T., (2016): Les antioxydants de nos jours : définition et applications, Thèse Université de Limoges, p14-28.
- El Mannoubi., S. Barrek., T. Skanji., H. Zarrouk., (2008). Étude de la composition de la fraction volatile des graines du figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*). Journal de la société chimique de Tunisie. p10, 61 -67.
- El Kossori, R.L.; Villaume, C.; El Boustani, E.; Sauvaire, Y.; Méjean, L. (1998). Composition of pulp, skin and seeds of prickly pears fruit (*Opuntia ficus indica* sp.). Plant Food Hum. Nutr., 52, 263 –270p.
- El-Mostafa, k., El Kharrassi, Y., Badreddine, A., Andreoletti, P., Vamecq, J., El Kebbaj, M.S., Latruffe, N., Lizard, G., Nasser, B., Cherkaoui-Malik, M. (2014). Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a source of bioactive compounds for nutrition, health and disease. Molecules. 19, 14879-14901p.
- Evangelina G., Mentenegro M.A., Nazareno M.A. et Lopez de Mishima Beatriz A. (2001). Carotenoid composition and vitamin A value of Argentinian squash (*Cucurbita moschata*). Organoficial de la sociedad latinoamericana de nutrition. 51-4p.
- Escribano-Bailon M.T. et Santos-Buelga C. (2003). Polyphenol extraction from foods. In «Method in polyphenol analysis». Ed. Royal Society of Chemistry. 1-16p.
- Picau, F., (2001). Methodologie Experimentale : les plans d'expériences, Cours de plan d'expérience IUT CHIMIE. 2ème année.
- Faucher J., (2006). Les plans d'expériences pour le réglage de commandes à base de logique floue. Thèse de doctorat, Institut national polytechnique de Toulouse. 198p.

- Feugang, J.M.;Konarski, P.; Zou, D.; Stintzing, F.C.; Zou, C. (2006). Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Front. Biosci.* 11, 2574–2589p.
- Goupy, J., (2005). *pratiquer les plans d'expériences. L'usine nouvelle*.Dunod. Paris.
- Haleng, J., *et al.* (2007). Le stress oxidant. *Revue Medical de Liege.* 62(10) : p 628-638.
- Habibi, Y., (2004). Contribution à l'étude morphologique, ultra-structurale et chimique de la Thèse de Doctorat. Université Joseph Fourier. Grenoble I, et Université Cadi Ayyad. Marrakech, p264 .
- Hadi M., (2004). La quercétine et ses dérivés : molécules à caractère pro-oxydant ou capteurs de radicaux libres ; étude et applications thérapeutique. Thèse de doctorat, spécialité : pharmacochimie, Université Louis Pasteurs. p155
- Hannebelle T., Sahpaz S., Bailleul F., (2004). Polyphénols végétaux, sources, utilisation et potentiel dans la lutte contre le stress oxydatif. *La Phytothérapie.* Springer- Verlag, p3-6.
- Harborne, J.B and Williams, C.A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Journal of Phytochemistry.* 55(2000): 481-504.
- Hernández-Urbiola, M.I., Pérez-Torrero, E. and Rodríguez-García, M.E. (2011). Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficusindica*) at varied ages in an organic harvest. *International Journal of Environmental Research and Public Health,* 8, 1287-1295.
- Hernandez-Pérez T., Carrillo-Lopez A., Guevara-Lara F., Cruz-Hernandez A., et Paredes-Lopez O. (2005). Biochemical and Nutritional Characterization of Three Prickly Pear Species with Different Ripening Behavior. *Plant Foods for Human Nutrition.* 60, 195-200p.
- Gardés-Albert .,Bonfont- resselot, D ., Abdinzadeh, z ., D. jore. (2003). Espèces réactives de l'oxygène. *L'actualité chimique* p 91-96.
- Goupy J., Creighton L. (2006) . *Introduction aux plans d'expériences.* 3ème édition. Dunod, Paris, 336p
- Goupy J., (2006). *Introduction aux plans d'expériences.* 3ème édition. Dunod, Paris, 324p
- Guy Jadot ., (1994). *Livre Antioxydants et vieillissement : les radicaux libres de l'oxygène,* p 33-42.
- Bouziane, L. (2008). Étude des effets des paramètres opératoires de l'élimination du cadmium et du zinc par la sciure de bois. Application du plan d'expériences de PlackettBurman », thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar Annaba.
- Boulekbache-Makhelouf, L., Medouni, L., Medouni-Adrar, S., Arkoub, L., Madani, K. (2013). Effect of solvents extraction on phenolic content and antioxydant activity of the byproduct of eggplant. *Industrial Corps and Products* 49(2013) 668-674p.

- Louacini, B.k., Dellal, A., Halbouche, M., Ghazi, K., (2012). Effect of incorporation of the spineless *Opuntia ficus indica* in diets on biochemical parameters and its impact on the average weight of ewes during the maintenance. *glob.Vet.*352-359p.
- Laughton, M.J; Evans .P.J.; Moroney, M.A.; Hoult, J.R., Halliwell, B. (1991). Inhibition of mammalian 5-lipoxygenase and cyclo-oxygenase by flavonoids and phenolic dietary additives. Relationship to antioxidant activity and to iron ion-reducing ability. *Biochem. Pharmacol.*42, 1673-1681p.
- Mehdi, S., Sellami, R. (2018). Optimisation d'extraction des composés phénoliques à partir des fleurs d'*Opuntia ficus indica*. thèse ; Université de Béjaia. p2.
- Marfak A., (2003). Radiolyse gamma des flavonoides. Etude de leur réactivité avec les radicaux issus des alcools : formation de depsides. Thèse de doctorat, spécialité : biophysique, Université de Limoges. p187.
- Mulas M., Mulas G. (2004). Potentialité d'utilisation stratégique des plantes des genres *Atriplex* et *Opuntia* dans la Lutte Contre la Désertification. Short and Medium, Term Priority Environmental action Programme (SMAP) février, 91p.
- Neffar, S. (2012). Etude de l'effet de l'âge des plantations de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica* L. Miller) sur la variation des ressources naturelles (sol et végétation) des steppes algériennes de l'Est .cas de Souk-Ahras et Tebessa. Thèse de doctorat en biologie végétal. Université Badji Mokhtar Annaba, p236.
- Ojeil A., El Darra N., El Hajj Y., Bou Mouncef P., Rizk T. J. et Maroun R. G. (2010). Identification et caractérisation de composés phénoliques extraits du raisin chateau Ksara. *Lebanese Science Journal*, 11:No. 2.
- Popovic C., Saykova I., Tylkowski B. (2009). Evaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de génie industriel*, 4: p25-39.
- Pimienta-Barrios E. (1993). Vegetable cactus (*Opuntia*). In *Underutilized crops: Pulses and Vegetables*, Ed J. Williams. London . 177-191p.
- Pierre J.S. (2009). Les plans d'expérience initiation à leur analyse et à leur construction. Edition Lavoisier- Paris, p345.
- Rao A.V., Flesher N., et Agarwal S. (1999). Serum and tissue lycopene as biomarker of oxidation in prostate cancer patients: a case control study. *Nutrition and Cancer Journal*. 33:159-164p.
- Rodriguez-Amaya B.D. (2001). A guide to carotenoid analysis in foods. International Life Sciences Institute Press. 1-71p.
- Reyes-Aguero, J. A., Aguirre-Rivera, J. R., and Hernandez, H. M. (2005). Systematic notes and a Detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L) Mill. (Cactaceae). *Agrociencia*, 395-408p.
- Stintzing, F. C., Schieber, A., and Carle, R. (2001). "Phytochemical and nutritional significance of cactus pear" . *European Food Research and Technology* 212: 396-407p.

- Schweizer, M., (1997). Docteur Nopal, le médecin de Bon Dieu. Clamecy; PARIS (France). Imprimerie Laballery, p81.
- Silva E. M., Rogez H., et Larondelle Y., (2007). Optimization of extraction of phenolics from *Inga Edulis* leaves using response surface methodology. *Separation and Purification Technology*. 55: 381-387p.
- Spigno G., Tramelli L., Faveri D.M. (2007). Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. *J Food Eng* 81 : 200-208p.
- Karam, S., (2004). Application de la méthodologie des plans d'expériences et d'analyse de données à l'optimisation des processus de dépôt. Thèse de doctorat. Université de Limoges.
- Sennayake et Shahidi S.P.J.N. (2002). Lipase-catalyzed incorporation of docosahexaenoic acid (DMA) into borage oil: optimization using response surface methodology. *Food Chemistry*. 77: 115-123p.
- Stintzing, F.C., Carle, R., (2005). Cactus stems (*Opuntia* Spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular nutrition and food research* 49, 175-194p.
- Tinsson W., (2010). Plans d'expériences : construction et analyses statistiques, c_Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 532p.
- Tsao R., (2010). "Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols." *Nutrients* 2(12): 1231-1246p.
- Tang S. Y. et Halliwell B. (2010). Medicinal plants and antioxidants : What do we learn from cell culture and *Caenorhabditis elegans* studies? *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 394: 1-5p.
- Valko M., Rhodes C. J., Moncol J., Izakovic M., et Mazur M., (2006). Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-Biological Interactions*. 160: 1-40p.
- Virginie G., Espérance M.S., Guévara N., Reine B.A.G., Pascal A.D., et Dominique S.C., (2015). Study and evaluation of granulometry influence on the natural polyphenols kinetic extraction from *Pterocarpus erinaceus* acclimated in Benin. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 12: 325p.
- Wallace R. S., et Gibson A. C., (2002). Evolution and systematics. *Cactiology and uses*, PS Nobel (Ed.). Of California Press, Berkeley, CA, 1-21p.
- Weber B., (2009). Capacité antioxydante totale, antioxydants et marqueurs du stress oxydatif. la laboratoire de Junglinster, Luxembourg.
- Welegerima, G., Zemene, A., Tilahun, Y., (2018). Phytochemical composition and antibacterial activity of *Opuntia Ficus Indica* cladodes extracts. *Journal of Medicinal Plants* 6. 243-246p.

Abstract: *Opuntia ficu-indica* commonly called prickly pear, is native to Mexico, well adapted to the climate of the Mediterranean basin. Extraction is a key step in the study of the bio-active substances of prickly pear fruit, but the extraction procedure is influenced by several parameters such as: extraction time and temperature, powder diameter, nature of organic solvent and extraction method. The optimization of the experimental conditions is very important. The traditional method, also known as trial-and-error, consists of varying only one factor at a time between two consecutive tests. The tests are carried out sequentially, without prior planning of all the tests to be carried out. On the other hand, the new method known as "Response Surface Methodology (RSM)", is an effective mathematical and statistical technique for the analysis of empirical models that describes the effects of independent variables and their interactions on response variables, their main objective can be summarized by the motto: "obtain a minimum of information with a minimum of experience", contrary to the traditional method of optimization which takes a lot of time and the chances of obtaining the optimal values are minimal .

Keywords : *opuntia ficus indica*, extraction,one factor method at a time,response surface methodology (RSM), anti-oxidant, total phenolics, optimization,bio-active substances,anti-oxidant activity

Résumé : *Opuntia ficu-indica* communément appelée figuier de barbarie, est originaire de Mexique, bien adaptée au climat du bassin Méditerranéen. L'extraction est une étape clé dans l'étude des substances bioactives de fruit de figuier de barbarie, mais la procédure de l'extraction est influencée par plusieurs paramètres tels que le temps et la température d'extraction, le diamètre de la poudre, la nature de solvant organique et la méthode d'extraction. L'optimisation des conditions expérimentales est très importante. **La méthode traditionnelle**, appelée aussi essais-erreurs consiste à varier **un seul facteur à la fois** entre deux essais consécutifs. Les essais sont effectués de manière séquentielle, sans planification préalable de l'ensemble des essais réaliser. Par contre, **la nouvelle méthode** connue sous le nom "La méthodologie des surfaces de réponse (**RSM**), c'est une technique mathématique et statistique efficace pour l'analyse des modèles empiriques qui décrit les effet des variables indépendantes et de leurs interactions sur les variables de réponse. Leur objectif principal peut être résumé par la devise d'obtenir un minimum d'information avec un minimum d'expériences, contrairement à la méthode traditionnelle d'optimisation qui prend beaucoup de temps et les chances d'obtenir des valeurs optimales sont minimales.

les mots clé : *opuntia ficus indica*, extraction,méthode à un seul facteur à la fois,méthodologie des surfaces de réponces (RSM), anti-oxydant, composés phénoliques totaux, optimisation,substances bio-active,activité anti-oxydante