

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des Sciences Alimentaires.  
Filière : Biotechnologie, Agro ressources, Aliment Nutrition  
Option : Sciences des aliments



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme

## MASTER

### *Thème*

**Optimisation de la formulation d'une confiture  
à base de la figue de barbarie "*O. ficus india*"  
par le plan d'expérience**

Présenté par :

**MECELLEM Radia**

Soutenu le : 13 Juin 2015

Devant le jury composé de :

Melle ACHAT S.	MCB	Présidente
Mme GUENDOUZE-BOUCHEFA N.	MAA	Encadreur
Melle ISSAADI O.	MAA	Examineur
Melle TERKI Lydia	Doctorante	Invitée

**Année universitaire : 2014 /2015**

# Année universitaire : 2014 / 2015

*République Algérienne Démocratique et Populaire*  
*Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique*  
Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences et de la Nature et de la Vie  
Département de .....  
Filière : .....  
Option : .....



## Autorisation de Soutenance

L'étudiant : .....  
est autorisé à soutenir son mémoire de fin de cycle en vue de  
l'obtention du diplôme de master le :  
..... à .....h.....

Thème :

.....  
.....  
.....  
.....

Devant le jury composé de :

M. ....	Professeur	President
Mme. ....	MCA	Encadreur
Melle. ....	MAA	Examineur
M. ....		Invité

L'encadreur

Le chef de département

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'enseignement Supérieur et de la Recherche scientifique**  
**Université A. MIRA - Bejaia**

Faculté des Sciences et de la Nature et de la Vie  
Département de .....  
Filière : .....  
Option : .....



## Autorisation de dépôt

L'étudiant : .....  
est autorisé à déposer son mémoire de fin de cycle en vue de  
l'obtention du diplôme de master après vérification des  
corrections apportées suite aux recommandations du jury.

Thème :

.....  
.....  
.....  
.....

Le président du jury

Le chef de département

# REMERCIEMENTS

*Je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir accordé santé et courage pour accomplir ce travail.*

*J'aimerais exprimer à ma promotrice *M<sup>me</sup> GUENDOUBE N.*, mes plus sincères remerciements, pour avoir accepté de m'encadrer et d'avoir dirigé ce présent travail, qu'elle soit assurée de ma profonde gratitude pour toute l'aide et les précieuses orientations qu'elle a su m'apporter.*

*Ma profonde reconnaissance à ma co-promotrice *M<sup>lle</sup> TERKI L.*, qui m'a soutenu dans la réalisation de ce travail, je la remercie pour ses conseils, ses encouragements et son aide précieuse.*

*Que la présidente *M<sup>lle</sup> ACHAT S.* et l'examinatrice *M<sup>lle</sup> ISSADI O.* trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements, pour avoir accepté d'examiner et de juger mon travail.*

*Mes remerciements vont également à *M<sup>rs</sup> MADANI K., DAHMOUN F., REMINI H., LEFSIH,* et *M<sup>lle</sup> HADACHE L.*, pour leurs précieuses contributions à la réalisation de ce mémoire.*

*Enfin, que toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, trouve ici l'expression de mes sincères remerciements.*

*RADIA*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes très chers parents qui ont été toujours présents à mes côtés par leur amour, soutien et encouragements. À toi mon père, toi qui m'a toujours soutenu et à toi ma mère, toi qui a tout le temps prié pour moi. Je vous serai éternellement reconnaissante.*

*Mes très chères frères et sœurs.*

*Ceux que j'ai partagé les meilleurs moments de ma vie à vous Mes amies (Fatma et ses copines, Khadidja, Linda, Madi, Azdin, ...).*

*Toute la promotion SA et Biotec 2014-2015.*

*Tous ceux qui me connaissent et je connais.*

*RADJA*

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> photographie du figuier de barbarie ( <i>Opuntia ficus-indica</i> ).....	2
<b>Figure 2:</b> photographie du cladode.....	3
<b>Figure 3 :</b> photographie des feuilles du cactus.....	3
<b>Figure 4 :</b> photographie des fleurs du figuier de barbarie.....	4
<b>Figure 5 :</b> photographie du fruit du cactus.....	4
<b>Figure 6 :</b> photographie des graines du figuier de barbarie.....	5
<b>Figure 7:</b> transformation des substances phénoliques par des enzymes.....	10
<b>Figure 8 :</b> processus technologique de fabrication des confitures.....	13
<b>Figure 9:</b> schéma général du plan de travail.....	14
<b>Figure 10:</b> photographie des raquettes et des fruits d' <i>O. ficus indica</i> .....	15
<b>Figure 11:</b> schéma général d'extraction de la pectine.....	17
<b>Figure 12:</b> plan de Box-Behnken pour 3 facteurs.....	18
<b>Figure 13:</b> étapes de mesure du degré Brix du jus.....	20
<b>Figure 14:</b> étapes de mesure de l'acidité titrable de jus de la figue de barbarie.....	22
<b>Figure 15:</b> étapes d'extraction des composés phénoliques de jus et de la confiture de la figue de barbarie.....	23
<b>Figure 16:</b> protocole de dosage des composés phénoliques.....	24
<b>Figure 17:</b> protocole de dosage des betalaines.....	24
<b>Figure 18:</b> protocole du dosage d'acide ascorbique.....	26
<b>Figure 19 :</b> surface de réponse de l'effet du Brix du concentré et de température sur la teneur en acide ascorbique.....	28

**Figure 20 :** surface de réponse de l'effet du Brix du concentré et du Brix final sur la teneur en acide ascorbique.....29

**Figure 21 :** surface de réponse de l'effet de la température et du Brix final sur la teneur en acide ascorbique.....30

**Figure 22:** surface de réponse de l'effet du Brix du concentré et de température sur la teneur en bétaxanthines.....32

**Figure 23 :** surface de réponse de l'effet de Brix du concentré et du Brix final sur la teneur en betaxanthines.....32

**Figure 24 :** surface de réponse de l'effet de la température et du Brix final sur la teneur bétaxanthines.....33

**Figure 25 :** surface de réponse de l'effet du Brix du concentré et de température sur la teneur en indicaxanthines.....35

**Figure 26 :** surface de réponse de l'effet du Brix du concentré et du Brix final sur la teneur en indicaxanthines.....35

**Figure 27 :** surface de réponse de l'effet de la température et du Brix final sur la teneur en indicaxanthines.....36

*Liste des tableaux*

<b>Tableau I:</b> classification botanique du figuier de barbarie.....	5
<b>Tableau II :</b> produit potentiels et sous-produits de la figue de barbarie.....	6
<b>Tableau III:</b> principaux constituants chimiques du fruit de <i>O.ficus indica</i> .....	8
<b>Tableau IV :</b> Les facteurs étudiés lors de l'étude préliminaire.....	19
<b>Tableau V :</b> les différentes combinaisons réalisées.....	19
<b>Tableau VI :</b> estimation des coefficients pour les teneurs en acide ascorbique.....	31
<b>Tableau VII :</b> estimation des coefficients pour les teneurs en bétaxanthines.....	34
<b>Tableau VIII :</b> estimation des coefficients pour les teneurs en indicaxanthines.....	37
<b>Tableau IX :</b> les conditions expérimentales prédites et les réponses correspondantes....	37
<b>Tableau X :</b> résultats des analyses physico-chimiques du jus de la figue de barbarie. ...	38
<b>Tableau XI:</b> Les teneurs en antioxydants du jus de la figue de barbarie. ....	39
<b>Tableau XII :</b> résultats des analyses physico-chimiques de la confiture. ....	40
<b>Tableau XIII:</b> Teneurs en antioxydants de la confiture.....	41

## Liste des abréviations

**DCPIP** : 2,6-dichlorophénolindophénol

**EAA** : Equivalent Acide Ascorbique

**EAG** : Equivalent Acide Gallique

**Min** : minute

**O.** : *Opuntia*

**pH** : potentiel hydrogène

**PTG** : Produits Terminaux de Glycation

**Tr** : tour

**Vit. C** : vitamine C

**Vit. E** : vitamine E

**Table de matières**

*Liste des figures.*

*Liste des tableaux.*

<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>I. Généralités sur la figue de barbarie .....</b>	<b>2</b>
I.1. Historique et répartition géographique.....	2
I.2. Description botanique .....	2
I.2.1. Raquette (cladode) .....	2
I.2.2. Feuilles .....	3
I.2.3. Appareil racinaire.....	3
I.2.4. Fleurs.....	4
I.2.5. Fruit.....	4
I.3. Classification taxonomique.....	5
I.4. Intérêts et utilisations .....	6
I.4.1. Intérêt nutritionnel.....	6
I.4.2. Intérêt médicinal.....	6
I.4.3. Intérêt économique.....	7
I.4.4. Intérêt écologique.....	7
I.4.5. Intérêts dans la fabrication cosmétique .....	7
I.4.6. Intérêt dans l'alimentation animale.....	7
I.5. Composition chimique .....	7
<b>II. Technologie de la confiture .....</b>	<b>9</b>
II.1. Historique des confitures .....	9
II.2. Définition des confitures.....	9
II.3. Valeur nutritionnelle des confitures.....	9
II.4. Altérations majoritaires des confitures .....	10
II.4.1. Altérations microbiologiques.....	10
II.4.2. Altérations chimiques .....	10
II.5. Paramètres de stockage des confitures.....	11
II.6. Procédés de fabrication des confitures.....	12
II.6.1. Production artisanale.....	12
II.6.2. Production industrielle.....	12
<b>III. Matériel et méthodes .....</b>	<b>14</b>
III.1. Présentation du plan de travail .....	14
III.2. Matériel végétal.....	15

III.2.1. Récolte de la figue de barbarie .....	15
III.2.2. Préparation du jus de la figue de barbarie .....	15
III.3. Fabrication de la confiture.....	15
III. 3.1. Matières premières utilisées .....	15
III.3.2. Etapes de fabrication .....	16
III.4. Optimisation des paramètres de fabrication de la confiture .....	17
III.4.1. Introduction aux plans d'expériences .....	17
III.4.2. Plan de Box-Behnken .....	17
III.4.3. Etude préliminaire .....	18
III.5. Analyses physico-chimiques .....	19
III.5.1. Détermination du degré Brix .....	20
III.5.2. Détermination du pH.....	21
III.5.3. Détermination de l'acidité titrable.....	21
III.6. Dosage des principes actifs .....	22
III.6.1. préparation de l'extrait .....	22
III.6.2. Dosage des composés phénoliques.....	23
III.6.2. Teneur en bétalaines .....	24
III.6.3. Acide ascorbique .....	25
<b>IV. Résultats et discussion .....</b>	<b>27</b>
IV.1. Résultats du plan Box-Behnken .....	27
IV.1.1. Analyses des résultats.....	27
IV.1.2. Validation du modèle .....	27
IV.1.3. Optimisation.....	37
IV.1.4. Test pratique de la vraisemblance du modèle .....	38
IV.2. Caractérisation du jus de la figue de barbarie .....	38
IV.2.1. Caractérisation physico-chimique .....	38
IV.2.2. Teneur en principes actifs .....	39
IV.3. Caractérisation de la confiture.....	40
IV.3.1. Caractérisation physico-chimique .....	40
IV.3.2. Teneur en principes actifs .....	41
<b>Conclusion.....</b>	<b>43</b>

*Références bibliographiques.*

*Annexes.*

*Résumé.*

# **Introduction**

## *Introduction*

*Opuntia ficus indica*, ou le figuier de barbarie est une plante qui présente de multiples vertus (**Kavirindi, et al., 2010**).

Le fruit, la fleur, et la tige de cette plante sont traditionnellement utilisés à des fins médicinales grâce à leur capacité à guérir un certain nombre d'affection. Le fruit du cactus est riche en éléments nutritionnels protecteurs et possèdent des caractéristiques sensorielles uniques (**Maataoui, et al., 2006**).

Jusqu'aux années soixante dix, peu d'intérêts a été accordé à cette espèce. Avec le développement du marché des fruits exotiques en Europe et aux Etats Unis, les efforts se sont multipliés pour la domestiquer et en faire une culture industrielle (**Piga, et al., 2003**).

En Algérie, la culture de la figue de barbarie est encore modeste. Son développement spontané, est localisé principalement sur la côte méditerranéenne (**Chougui, 2014**).

Plusieurs produits sont préparés à base du cactus tels que la confiture et la gelée (**Saenz, 2000**).

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail qui porte sur l'optimisation des paramètres de fabrication d'une confiture ayant préservée au mieux les qualités physico-chimiques et phytochimiques du fruit de base.

Ce travail est subdivisé en deux parties, une synthèse bibliographique incluant quelques généralités sur le figuier de barbarie et quelques notions générales sur la technologie des confiture ; et une partie expérimentale incluant l'optimisation des paramètres de fabrication de la confiture par le plan d'expérience de Box-Benhken. Ensuite, un ensemble d'analyses physico-chimiques et phytochimiques ont été effectuées sur le jus et la confiture de la figue de barbarie.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur la figue de barbarie**

## I. Généralités sur la figue de barbarie

### I.1. Historique et répartition géographique

Le figuier de barbarie est originaire des régions arides et semi-arides du Mexique (**Abdel-Hameed, et al., 2014**), où il a été utilisé par l'Homme depuis 6500 ans avant Jésus Christ et fût l'une des bases de l'alimentation des populations indigènes (**Arba, et al., 2000**). Il se développe dans plusieurs régions tels que l'Afrique (**Yahia & Mondragon-Jacobo, 2011**), l'Australie, le Bassin méditerranéen, et certaines parties de l'Asie. Il a été dispersé du monde entier vers l'Amérique à la fin du 15<sup>ème</sup> siècle (**Yahia & Mondragon-Jacobo, 2011**). Au 18<sup>ème</sup> siècle, il avait pris une extension considérable en Sicile (**Maataoui & Hilalli, 2004**). Ce dernier a été introduit dans le nord du Brésil au 19<sup>ème</sup> siècle (**Falcão, et al., 2013**).

En Afrique du nord (Maroc, Tunisie, Algérie), le figuier de barbarie fait, depuis plusieurs décennies, partie intégrante du paysage des régions côtières et insulaires (**Casa & Barbera, 2002; Mulas & Mulas, 2004**).

### I.2. Description botanique

Le figuier de barbarie ou le cactus est une grande plante qui peut mesurer jusqu'à 5 m de hauteur (figure1) (**Habibi, 2004**). Cette plante originaire du Mexique, appartient à la famille des Cactaceae (**Falcão, et al., 2013**). Les pelures et les raquettes sont considérés comme des sous-produits, ou même des déchets (**Tamer, et al., 2014**).



**Figure 1:** photographie du figuier de barbarie (*Opuntia ficus-indica*) (**Anonyme, 2015**).

Le cactus comprend les parties suivantes :

#### I.2.1. Raquette (cladode)

La raquette s'appelle aussi « Nopalitos » (**Tamer, et al., 2014**), elle est de forme aplatie, elliptique ou ovoïde, de couleur verte, d'une taille variante entre 17 et 38 cm de long sur 12 à

26 cm de large et de 1,1 à 3,1 cm d'épaisseur (Wang, et al., 1998), couverte de petites aréoles et d'épines (Habibi, 2004). Elle est utilisée comme fourrage pour les animaux et comme légume frais ou transformée pour la consommation humaine. Cet organe est également utilisé dans la médecine traditionnelle ou comme constituant fonctionnel pour les produits pharmaceutiques (Tamer, et al., 2014) (figure 2).



**Figure 2:** photographie du cladode (Anonyme, 2015).

### **I.2.2. Feuilles**

Les feuilles du cactus sont rudimentaires, de forme conique et apparaissent sur les jeunes cladodes, et dont le rôle est la production d'hormones végétales tel que l'auxine (Mauseth, 2007) (figure 3).



**Figure 3 :** photographie des feuilles du cactus (Anonyme, 2015).

### **I.2.3. Appareil racinaire**

L'appareil racinaire est superficiel, il facilite l'absorption des eaux souterraines dans les sols de faibles consistances, bien qu'il soit robuste et capable de coloniser de façon efficace

les milieux difficiles. Cet organe végétal améliore aussi la possibilité d'accueillir dans les racines des micro-organismes fixateurs d'azote (Chougui, 2014).

#### **I.2.4. Fleurs**

Les fleurs se trouvant sur la face la plus exposée au soleil, sont hermaphrodites, de couleur jaune ou orange (Chougui, 2014), deviennent rougeâtres à l'approche de la sénescence de la plante (Habibi, 2004) (figure 4).



**Figure 4 :** photographie des fleurs du figuier de barbarie (Anonyme, 2015).

#### **I.2.5. Fruit**

Le fruit présente une variabilité de couleur (blanc, vert, jaune, rouge, violet, rouge et brun), de taille, de forme (ovoïde, ronde, elliptique, allongée) et de qualité (Chougui, 2014) (figure 5).



**Figure 5:** photographie du fruit du cactus (Anonyme, 2015).

Il est connu par sa forte sensibilité aux invasions microbiennes, ce qui limite sa durée de conservation à son état frais; en effet, la croissance fongique reste la cause principale de la perte de sa qualité (Piga, et al., 2003). C'est un fruit juteux, lisse, doux, contenant de nombreuses graines, très riche en sucre et en vitamine C (Maataoui & Hilalli, 2004).

Il est composé d'écorce, de jus pulpeux, de graines (figure 6), et de pulpe comestible (Feugang, et al., 2006; Gurrieri, et al., 2000; Reyes-Aguero, et al., 2005; C. Saenz & Sepulveda, 2001).



**Figure 6** : photographie des graines de la figue de barbarie (Anonyme, 2015).

### I.3. Classification taxonomique

En 1978, Miller a regroupé cette plante dans le genre *Opuntia* dans la famille des Cactaceae (Gibson & Nobel, 1986; Schweizer, 1997).

La famille des Cactaceae compte environ 130 genres et 1600 espèces, dont 300 appartiennent au genre *Opuntia* Mill, capables de produire des fruits nourrissants et des pousses comestibles. Cependant, la taxonomie des espèces appartenant au genre *Opuntia* est encore un sujet de débat. En effet, peu d'études ont été effectuées sur ce sujet et le haut degré de plasticité ainsi que le peu d'informations génétiques sur la plante ont rendu la systématique du genre *Opuntia* difficile (Defelice, 2004; Pimienta-Barrios, 1994).

La classification scientifique de cette espèce est présentée dans le tableau I.

**Tableau I**: classification botanique du figuier de barbarie (Defelice, 2004; Pimienta-Barrios, 1994).

Classe	Nom
Règne	Végétale
Classe	Magnoliopsida (dicotylédones)
Ordre	Caryophyllales
Famille	Cactaceae
Genre	<i>Opuntia</i>
Espèce	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.)Mill.

## I.4. Intérêts et utilisations

Le cactus est connu pour ses nombreuses utilisations :

### I.4.1. Intérêt nutritionnel

La principale importance nutritionnelle de la figue de barbarie est sa richesse en acide ascorbique, en fibres et en acides aminés. Cependant, les bétalaines sont rarement présents dans les fruits (**Piga, et al., 2003**). Le fruit est utilisé, à la fois, pour l'alimentation humaine et l'alimentation de bétail (**Moreno-Alvarez, et al., 2003; Carmen Saenz, 2000**).

En Europe, il est fermement établi comme une culture fruitière régulière, à l'instar de Sicile qui l'exporte vers le reste de l'Europe. Par ailleurs, dans le continent Africain (Algérie, Maroc, Tunisie, etc) et dans quelques pays tels que le Yémen et la Turquie, il est considéré comme un fruit estival récolté en surabondance par rapport à certains fruits comme les oranges ou les bananes (**Yahia & Mondragon-Jacobo, 2011**).

En Mexique, le fruit est utilisé dans certaines industries agro-alimentaires comme la fabrication des boissons, des confitures et des édulcorants naturels liquides (**Abdel-Hameed, et al., 2014**). Le cactus est traditionnellement consommés comme légume, ingérés grillés, mélangés ou en jus (**Guevara, et al., 2001**) (Tableau II).

**Tableau II** : produit potentiels et sous-produits de la figue de barbarie (**Moreno-Alvarez, et al., 2003**).

Produits	Sous-produits
Fruits	Huile de graines
Jus, nectar, pulpe	Pigments
Confiture, purée, gelée	Fibres et mucilages
Sirop, édulcorant	-
Bioéthanol, vin	-
Fruits en conserve	-
Fruits congelés	-
Concentré de jus	-
Jus en poudre	-

### I.4.2. Intérêt médicinal

La figue de barbarie un fruit riche en éléments chimiques fonctionnels responsables de ses effets antihypoglycémique et anti-hypolipidémique (**Fernandez, et al., 1992**). Elle possède également des effets protecteurs cardiovasculaires, antiulcéreux et hépato-protecteurs

(Kapadia, et al., 1996); cela pourrait être dû à la présence de la vitamine C, de taurine et de bêtaïnes (Abdel-Hameed, et al., 2014; Cassano, et al., 2010; Frati, 1992). Sa richesse en différents flavonoïdes lui confère un effet antioxydant (Jiménez-Aguilar, et al., 2015; Kanner, et al., 2001; Sreekanth, et al., 2007).

### **I.4.3. Intérêt économique**

La culture du figuier de barbarie ne nécessite pas de sources importantes en eau, ni de traitements antiparasitaires. De plus, le cactus présente de faibles coûts énergétiques pour la culture en implantation spécialisées (Barbera, et al., 1995; Pimienta-Barrios & Munoz, 1995).

### **I.4.4. Intérêt écologique**

Le cactus est utilisé pour lutter contre l'érosion et comme obstacle contre les incendies car résiste au feu (Chougui, 2014).

### **I.4.5. Intérêts dans la fabrication cosmétique**

Le jus de raquette est destiné à la fabrication de différents produits cosmétiques comme les shampooings, les lotions, les savons et les crèmes solaires (Arba, et al., 2000; Saénz, et al., 2002).

### **I.4.6. Intérêt dans l'alimentation animale**

Pendant les périodes de sécheresse et les saisons de faible disponibilité d'alimentation, l'utilisation du cactus comme fourrage est abondante (Raynolds & Arias, 2001).

## **I.5. Composition chimique**

La figue de barbarie comporte plusieurs compartiments dont les principaux constituants chimiques sont présentés dans le tableau III.

**Tableau III:** principaux constituants chimiques du fruit de *O. ficus indica* (Habibi, 2004; Ramadan & Morsel, 2003; Tounsi-Saidani, et al., 2011).

Paramètre	Pelure	Jus pulpeux	Graines
Poids frais (%)	33-55	43-67	2-10
Eau (%)	85-94,40	84,7-90,33	5-6
Couleur	Verte, orange, rouge, pourpre	Blanche, jaune, orange, pourpre	Brune
Minéraux	Potassium, calcium	Potassium, calcium, magnésium	Potassium, calcium
Vitamines	Vit. C, vit. E	Vit. C, vit. E	Vit. E
Acides aminés	ND	Proline, taurine	Acide glutamique, acide aspartique
Sucres	Glucose	Glucose, fructose	Glucose, xylose
Fibres	Cellulose, pectine	Pectine, rhamnogalacturonane, 50% des substances non-pectiques	Cellulose, arabinanes, rhamnogalacturonanes
Acides organiques	ND	Acide citrique	ND
Lipides	$\gamma$ -acide linoléique $\alpha$ -acide linoléique	Acide linoléique, acide palmitique	Acide linoléique, palmitique, et oleique
Stérols	$\beta$ -Sitostérol, campestérol	$\beta$ -Sitostérol, campestérol	$\beta$ -Sitostérol, campestérol
Composés phénoliques	Quercétine, acide cinamique, rutine, Epigallocatechine	Quercétine, kaempferol, isorhamnetine	ND
Pigments	Betaxanthines, indicaxanthines	Betaxanthines, indicaxanthines	ND

ND : non déterminé

## **II. Technologie de la confiture**

### **II.1. Historique des confitures**

Au moyen âge, l'appellation confiture désignait toutes les confiseries réalisées à partir d'aliments cuits et conservés dans du sucre ou du miel (**Furat, 2000**). Parmi ces confiseries les bonbons et les fruits confits. Les confitures étaient un moyen pour conserver les fruits les plus fragiles après la récolte (la fraise, l'abricot et l'orange) (**Benamara, et al., 1999**). Elles ont été introduites en Europe par l'intermédiaire des Arabes (**Furat, 2000**).

Au milieu du XIXe siècle, le mot « confiture » désignait des fruits au sirop, des pâtes de fruits, des fruits confits, et aussi des fruits cuits dans du sucre. La confiture a été utilisée comme un remède à la table des grands seigneurs et des rois, et a été servie pour prévenir les effets non désirés de certains aliments (**Furat, 2000**).

### **II.2. Définition des confitures**

Selon le **Codex Alimentarius (2009)**, la confiture est le mélange porté à la consistance gélifiée appropriée de sucre, de pulpe et/ou de purée d'une ou de plusieurs espèces de fruits, et d'eau. La confiture peut toutefois être obtenue à partir de fruits entiers, ou coupés en lamelles et/ou en tranches. La quantité de pulpe et /ou de purée utilisée pour la fabrication de 1000 grammes de produit fini ne doit pas être inférieure à 350 grammes. La teneur en matière sèche soluble des confitures doit être égale ou supérieure à 55%. Cette teneur n'est pas applicable aux produits pour lesquels les sucres ont été remplacés partiellement ou totalement par les édulcorants.

### **II.3. Valeur nutritionnelle des confitures**

La confiture joue un rôle très important dans l'alimentation humaine surtout dans les premiers repas du jour. Ceci est dû à sa composition et sa richesse en fruits. Sa richesse en sucre, constitue la part la plus importante de sa valeur énergétique. La présence de saccharase facilite la digestion des confitures (**Monorose, 2009**).

Le fruit apporte de 10 à 15 % de cellulose brute, des éléments minéraux, des matières pectiques, et des acides organiques à l'état de trace. 100 grammes de confiture donne 260 à 285 calories (**Leroux & Schuber, 1983**).

## II.4. Altérations majoritaires des confitures

Au cours de la fabrication et du stockage, les confitures peuvent subir plusieurs altérations: des altérations microbiologiques et des altérations chimiques.

### II.4.1. Altérations microbiologiques

Les confitures sont considérées comme l'une des solutions de conservation vu sa teneur élevée en acides, et sa teneur relativement faible en eau. Cependant, elles restent un milieu qui peut être altéré par les micro-organismes comme les moisissures, les bactéries (*Lactobacillus*) et les levures (*Saccharomyces carbengensis*) (Guiroud & Galzy, 1980).

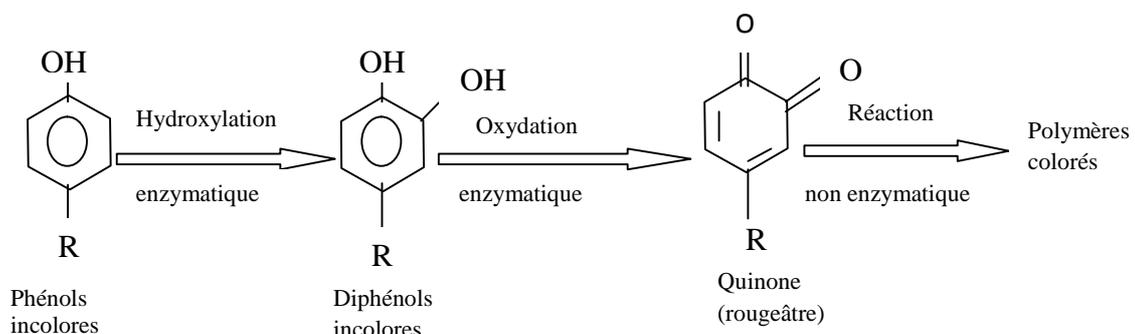
Au moment de la préparation des confitures, la cuisson fait détruire les micro-organismes présents dans le produit, mais une recontamination par des moisissures peut être provoquée par le biais de l'air. Ceci affecte la qualité nutritive de l'aliment et constitue un danger pour le consommateur. Pour assurer une bonne conservation de l'aliment, il faut faire le remplissage à chaud dans des contenants stériles, suivi d'une pasteurisation et d'un revêtement avec la paraffine (Broutin, et al., 1998).

### II.4.2. Altérations chimiques

#### II.4.2.1. Brunissement enzymatique

De nombreuses réactions de détérioration des aliments sont causées par des enzymes, qui sont des constituants naturels de l'aliment ou provenant de bactéries présentes dans l'aliment.

Le brunissement enzymatique de quelques fruits tels que l'abricot, le pêche et la pomme est dû aux transformations enzymatiques des substances phénoliques en polymères bruns ou noirs par les polyphénols oxydases (figure 7) (Elhakmaoui, 2008).



**Figure 7:** transformation enzymatique des substances phénoliques (Elhakmaoui, 2008).

#### II.4.2.2. Brunissement non enzymatique

Le brunissement non enzymatique est l'ensemble des réactions très complexes aboutissant dans divers aliments à la formation de pigments noirs ou bruns suivie d'une modification d'odeur, appelé « réaction de Maillard ». La réaction de Maillard se compose de trois étapes principales. La première conduit à la formation d'une carbonylamine, alors que la seconde étape aboutit à des produits bruns ou fluorescents appelés produits terminaux de glycation (PTG). Cette étape conduit à de nombreux composés, certains deviennent des molécules aromatiques dont certaines sont potentiellement toxiques. L'étape finale conduit à la polymérisation en mélanoidines (**Berrada, 2009**).

Le mécanisme de réaction du brunissement non enzymatique est sous l'effet de certains facteurs tels que : l'activité de l'eau, le pH, la température, la nature des sucres réducteurs, et le types d'acides aminés (**Ames, 1998**).

#### II.4.2.3. Altération de la vitamine C

La dégradation de la vitamine C est en fonction de plusieurs facteurs tels que : l'oxygène, la température, la lumière, les enzymes, le pH, et les sels minéraux.

Dans les aliments frais, la vitamine C est sous forme d'acide L-ascorbique. Cette molécule est très sensible à l'oxydation et lors de la conservation des aliments ou lors d'un traitement industriel, l'acide ascorbique peut tout d'abord s'oxyder en acide dehydro-L-ascorbique puis en acide 2,3-dicetogluconique (**Hasselman & Diop, 1983**) (figure 9).

### II.5. Paramètres de stockage des confitures

La température et la durée de conservation sont parmi les facteurs les plus influents sur la qualité des produits alimentaires. La cuisson de la confiture peut accélérer certaines réactions chimiques capables d'altérer sa qualité au cours de l'entreposage. Pour avoir un aliment de très bonne qualité, il faut principalement contrôler les températures de cuisson et même de stockage (**Patras, et al., 2010**). La température optimale de stockage des confitures est d'environ 4°C et cela pour éviter la dégradation de certains composants (**Amora, et al., 2012**).

Pendant le chauffage, la dégradation de l'acide ascorbique et la polymérisation des pigments avec d'autres composés phénoliques peuvent être responsables de la diminution du pH et la décoloration du produit (**Dervisi, et al., 2001**).

Pendant le stockage, les confitures peuvent subir certaines modifications, comme les décolorations et les changements de goût, d'arôme et de valeur nutritionnelle (**Hayma, 2004**).

## **II.6. Procédés de fabrication des confitures**

### **II.6.1. Production artisanale**

La fabrication artisanale des confitures se fait par différentes méthodes comme la cuisson directe de l'ensemble des fruits et du sucre, après macération de l'ensemble une nuit dans le réfrigérateur. Cependant, les gens préfèrent réaliser un sirop avec du sucre additionné d'eau, puis faire plonger les fruits. Enfin, d'autres récupèrent le jus des fruits macérés avec le sucre pour en faire un sirop dans lequel ils font cuire le reste des fruits (**Broutin, et al., 1998; Gimenez, et al., 2001**).

Les confitures artisanales sont généralement conservées dans des pots en verre qui sont fermés avec des couvercles, immédiatement après remplissage. La confiture en refroidissant se rétracte, créant ainsi un vide qui va servir à sa protection (**Broutin, et al., 1998; Gimenez, et al., 2001**).

### **II.6.2. Production industrielle**

La fabrication industrielle est une autre méthode de produire des confitures. Elle présente un avantage très important par rapport aux autres méthodes, qui consiste à la fabrication de grandes quantités dans un temps réduit, et d'assurer le contrôle de fabrication à chaque étape du processus (**Albagnac, et al., 2002**).

Selon **Raoul (1987)**, la fabrication des confitures se fait suivant les étapes illustrées ci-dessous.

#### **a. Préparation des ingrédients**

Avant la préparation de la confiture, il est nécessaire de préparer les ingrédients intervenants dans son processus de fabrication, à savoir les fruits débarrassés de leurs impuretés, le sucre et la pectine. Ces ingrédients sont par la suite homogénéisés.

#### **b. Cuisson**

C'est une opération très importante dans la technologie des confitures. En effet, elle permet d'obtenir la consistance désirée par l'élimination de l'eau, parfaire la cuisson du fruit,

dissoudre le sucre et pasteuriser le mélange. Les procédés de la cuisson sont différents selon qu'il s'agit de fruits entiers ou de fruits en morceaux (**Raoul, 1987**).

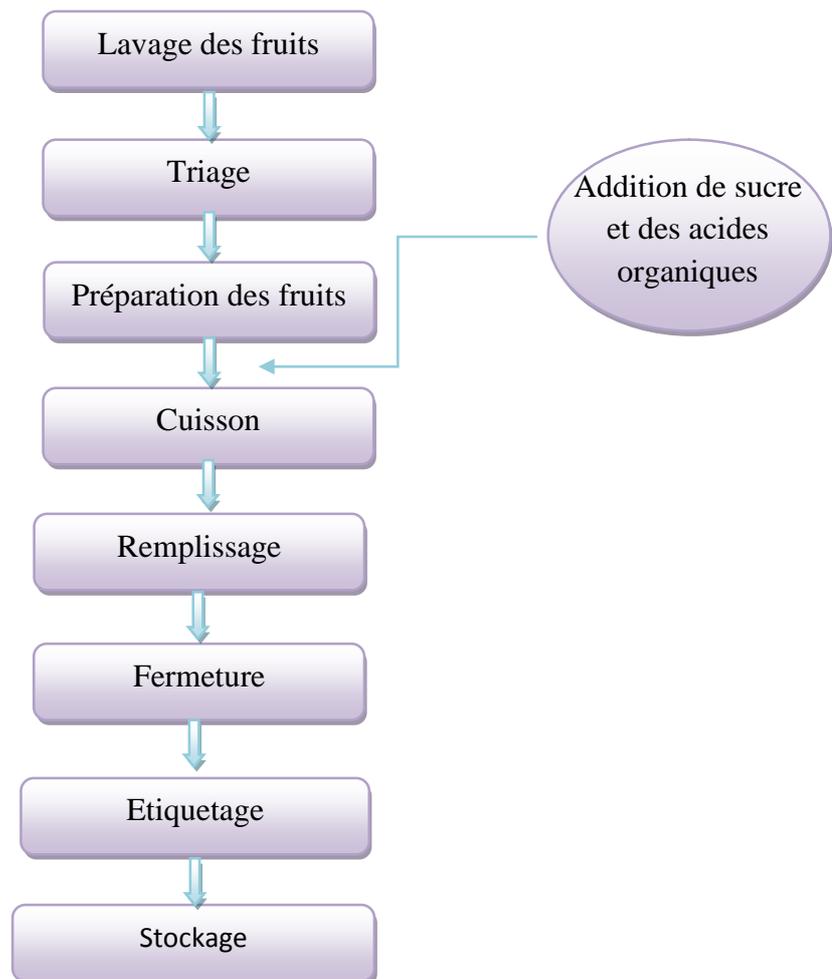
### c. Gélification

L'aspect de la confiture est considéré comme un élément important pour la présentation et la conservation du produit. En effet, le gel limite les possibilités d'échange avec le milieu extérieur, il évite la réhumidification en surface et baisse l'activité de l'eau (**Raoul, 1987**).

### d. Conditionnement et stockage

Le conditionnement doit intervenir directement et rapidement après la cuisson; de cette manière, la confiture chaude (80-90°C) détruit les micro-organismes susceptibles d'être présents dans l'emballage et permet d'assurer une auto pasteurisation des récipients (**Raoul, 1987**).

La figure 8 présente les différentes étapes de fabrication de la confiture.



**Figure 8** : processus technologique de fabrication des confitures (**Raoul, 1987**).

# **Synthèse bibliographique**

# **Chapitre II**

## **Technologie de la confiture**

# **Etude expérimentale**

# **Chapitre III**

## **Matériels et méthodes**

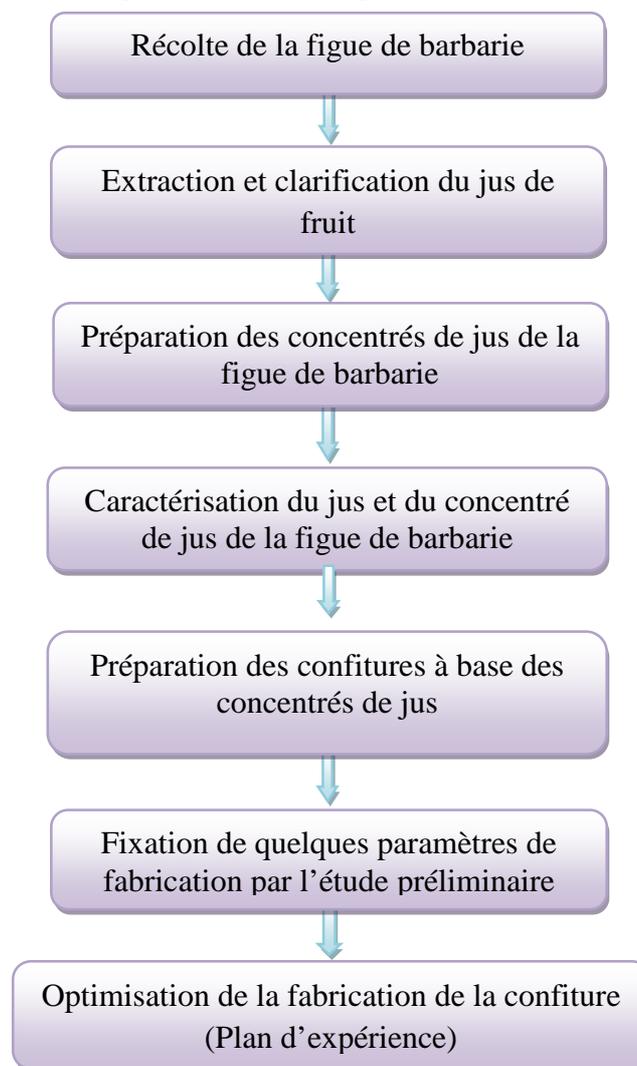
### III. Matériel et méthodes

#### III.1. Présentation du plan de travail

Ce présent travail se penche sur l'optimisation de la formulation d'une confiture à base de la figue de barbarie "*O. Ficus India*" par le plan d'expérience. En effet, l'objectif est d'avoir un produit ayant préservé la qualité physico-chimique de la matière première, notamment en ce qui concerne les teneurs en acide ascorbique et bétalaines.

L'ensemble des manipulations effectuées sur les différents échantillons préparés (mesure du pH, du Brix et de l'acidité, ainsi que le dosage de l'acide ascorbique, des composés phénoliques et des bétalaines) a été réalisé au niveau du laboratoire de Biomathématique, Biophysique, Biochimie et Scientométrie (BBBS).

Le plan du travail est représenté dans la figure 9.



**Figure 9:** schéma général du plan de travail.

## III.2. Matériel végétal

### III.2.1. Récolte de la figue de barbarie

L'étude a été réalisée sur les fruits et les raquettes du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*) récoltés en septembre 2014 par la doctorante TERKI Lydia dans la région de Bouzoulem, commune d'El-Kseur, wilaya de Bejaïa. Les fruits sont mûrs et de couleur orange (figure 10).



Figure 10: photographie des raquettes et des fruits d'*O. ficus indica*.

### III.2.2. Préparation du jus de la figue de barbarie

Les fruits ont été d'abord triés de façon à ne retenir que les baies saines, qui sont ensuite lavées abondamment à l'eau pour se débarrasser des glochides et des épines, puis épluchées. La partie comestible a été broyée et filtrée à l'aide d'une passoire en acier inoxydable, pour éliminer les graines, ensuite le jus pulpeux obtenu a été centrifugé (5000 trs/min pendant 5 min à 5°C) pour avoir un jus clair.

## III.3. Fabrication de la confiture

### III. 3.1. Matières premières utilisées

La formulation de la confiture à base de la figue de barbarie a été réalisée en utilisant différentes matières premières récoltés dans la région de Bejaia:

- le jus pulpeux de la figue de barbarie qui, après centrifugation, a donné la pulpe et le jus clarifié, qui est ensuite concentré. Ce dernier est additionné à la confiture afin de réduire la quantité de sucre ajoutée ;
- le jus de citron « source d'acide citrique » est additionné dans le but d'acidifier et de conserver le produit;
- la raquette du figuier est utilisée comme source de pectine pour améliorer la texture du produit;

- le zeste d'orange est ajouté dans le but d'aromatiser la confiture.

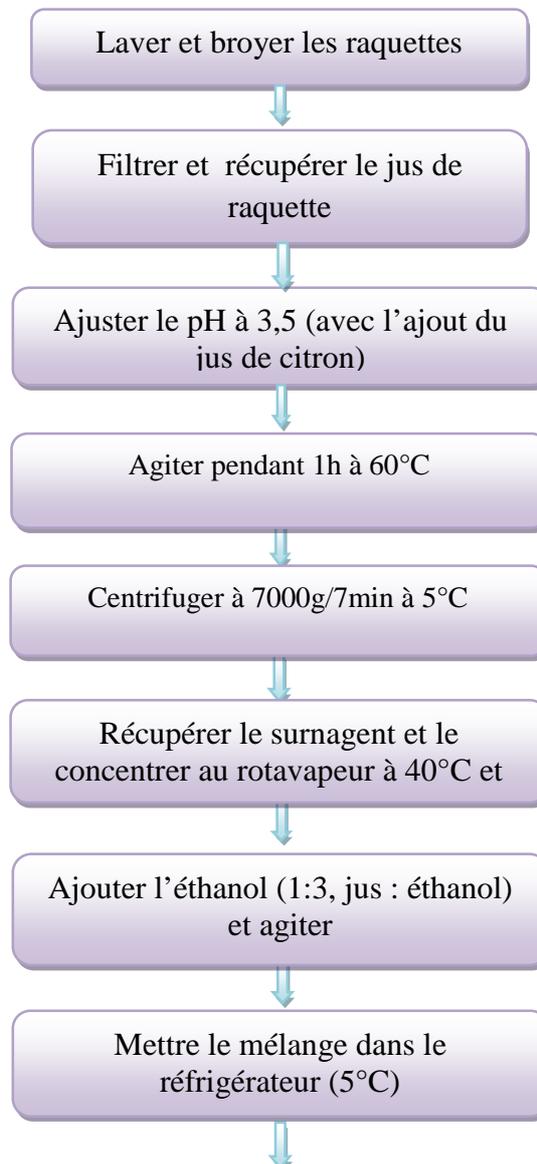
### III.3.2. Etapes de fabrication

#### III.3.2.1 Préparation du concentré de jus

La concentration du jus est faite à l'aide d'un rotavapeur (Rotavapor R-210) à une température de 55°C et une pression de 72mb. Le but de cette étape est d'éliminer une partie d'eau et d'augmenter le Brix du jus de figue de barbarie clarifié (40°B, 50°B, 60°B) tout en préservant sa qualité physico-chimique.

#### III.3.2.2. Extraction de la pectine

La pectine utilisée pour la préparation de la confiture est extraite à partir des raquettes du figuier de barbarie suivant les étapes montrées dans la figure 11.



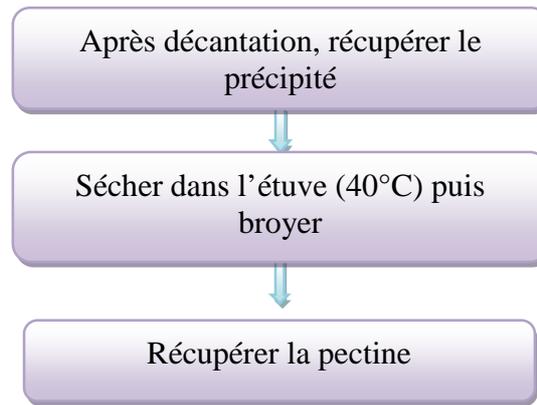


Figure 11: schéma général d'extraction de la pectine (Lima, *et al.*, 2010).

### III.3.2.3. Mélange des ingrédients et cuisson

Différents ingrédients sont utilisés pour la préparation de la confiture: concentré de jus (40 %), pulpe (60 %), sucre, jus de citron, pectine et zeste. Ensuite ce mélange a été cuit au bain mari, et la confiture ainsi obtenue est conservée à 5°C.

## III.4. Optimisation des paramètres de fabrication de la confiture

### III.4.1. Introduction aux plans d'expériences

La méthode des plans d'expériences est préconisée afin d'optimiser la réalisation des expériences. Elle permet d'une part, de modéliser des phénomènes complexes rencontrés dans la plupart des procédés de fabrication ou des expériences au laboratoire; et d'autre part, de comprendre les relations liant la réponse avec les facteurs entre eux. Le plan d'expérience permet d'obtenir le maximum d'informations en un minimum d'expériences, ce qui garanti un gain de temps et une productivité (Tinsson, 2010).

Il existe plusieurs modèles de plans d'expériences et nous avons choisi celui de Box-Behnken.

### III.4.2. Plan de Box-Behnken

Box-Behnken (1960) ont introduit un type différent de plans d'expériences pour les modèles du deuxième ordre qui permettent l'estimation de certaines interactions.

Un plan de Box-Behnken est une fraction d'un plan factoriel complet qui permet d'estimer un modèle du second ordre.

Un plan de Box-Behnken pour  $m$  facteurs est composé d'un plan en blocs incomplets équilibrés suivant un arrangement particulier de  $m$  traitements dans  $b$  blocs de taille  $k$ , et un plan factoriel à deux niveaux, complété par des points au centre. Dans chaque bloc, un certain nombre de facteurs est utilisé dont les combinaisons constituent le plan factoriel, pendant que les autres facteurs sont maintenus à leurs valeurs centrales. Dans ce plan les points expérimentaux ne se trouvent pas aux sommets du cube ou hypercube mais ils sont aux milieux des arêtes ou au centre des faces ou au centre des cubes, donc sur une sphère ou hypersphère de rayon constant  $R$  (figure 12).

Le plan de Box-Behnken pour 3 facteurs impliquent trois blocs, dans chacun, un plan factoriel  $2^2$  qui est représenté par chaque paire de traitement pendant que le troisième facteur reste fixé à 0. Donc le plan de Box-Behnken de 3 facteurs possède 15 essais (12 arêtes et 3 points au centre).

Pour relier les facteurs à la réponse, une équation polynomiale du second degré est présentée ci-après :

$$Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_{12}x_1x_2 + a_{13}x_1x_3 + a_{23}x_2x_3 + a_1x_1^2 + a_2x_2^2 + a_3x_3^2 + E$$

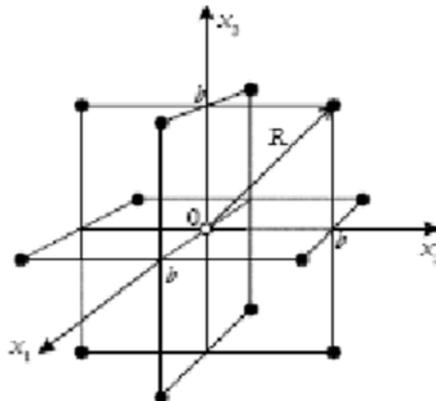


Figure 12: plan de Box-Behnken pour 3 facteurs.

### III.4.3. Etude préliminaire

#### III.4.3.1. Paramètres étudiés

L'étude préliminaire a été réalisée en étudiant quelques paramètres de fabrication. En premier lieu, la quantité de pectine ajoutée a été fixée selon la viscosité du produit. En deuxième lieu, trois autres facteurs ont été étudiés (tableau IV) selon trois paramètres de qualité (teneur en acide ascorbique, bétaxanthines et indicaxanthines).

**Tableau IV** : les facteurs étudiés lors de l'étude préliminaire.

<b>Brix du concentré de jus (°B)</b>	40	50	60
<b>Température (°C)</b>	70	80	90
<b>Brix final de la confiture (°B)</b>	65	70	75

### III.4.3.2. Combinaisons réalisées

La réalisation du plan de Box-Behnken a été effectuée à l'aide du logiciel JMP 10.0. Le plan généré (tableau V) comprend 15 essais dont trois répétés au centre du domaine d'étude afin de vérifier l'erreur type et la reproductibilité de la manipulation.

Les combinaisons à suivre sont montrés dans le tableau V.

**Tableau V**: les différentes combinaisons réalisées.

<b>Essai</b>	<b>Brix du concentré (°B) X<sub>1</sub></b>	<b>Température (°C) X<sub>2</sub></b>	<b>Brix final (°B) X<sub>3</sub></b>
1	40	80	65
2	60	70	70
3	50	80	70
4	50	90	75
5	60	90	70
6	50	70	75
7	50	70	65
8	50	80	70
9	40	80	75
10	40	90	70
11	60	80	65
12	50	80	70
13	60	80	75
14	50	90	65
15	40	70	70

### III.5. Analyses physico-chimiques

Les différentes analyses physico-chimiques ont été réalisées sur le jus, le concentré de jus et les différentes confitures préparées.

#### III.5.1. Détermination du degré Brix

##### III.5.1.1. Principe

Le degré Brix traduit le taux des matières sèches solubles, contenues dans une solution. Il consiste à mesurer l'indice de réfraction d'un échantillon à une température de 20°C, puis à effectuer une conversion de cet indice en résidu sec soluble. Ce dernier, déterminé par réfractomètre «SCHMIDT», exprime la concentration en saccharose d'une solution aqueuse ayant le même indice de réfraction que le produit analysé, dans des conditions déterminées de préparation et de température. Cette concentration est exprimée en pourcentage en masse (Reid, 2003). Les étapes de mesure du degré Brix sont illustrées dans la figure 13.

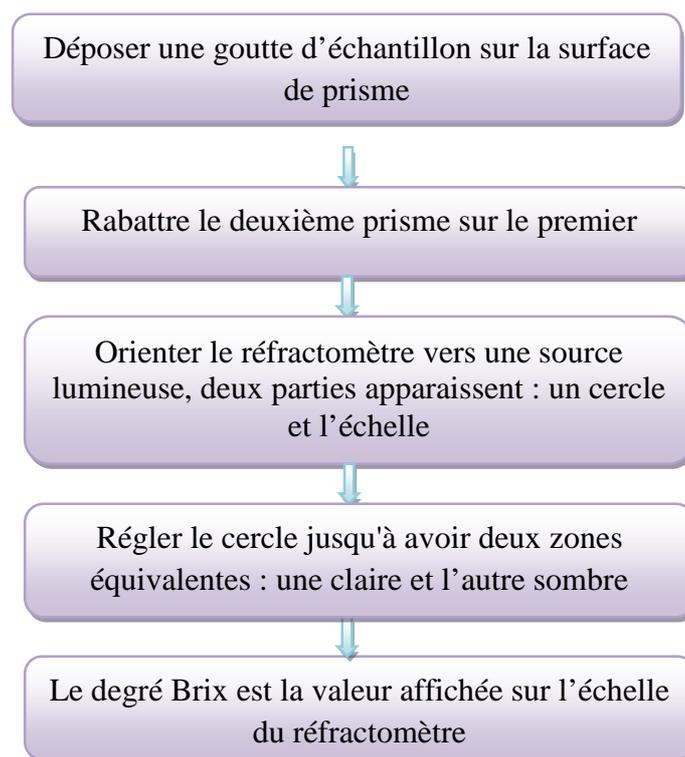


Figure 13: étapes de mesure du degré Brix du jus (AFNOR, 1986).

##### III.5.1.2. Expression des résultats

1° Brix = 1g de sucre dans 100g de solution.

### III.5.2. Détermination du pH

#### III.5.2.1. Principe

Le pH se définit comme le logarithme négatif de la concentration en ions hydrogène. Il est mesuré à l'aide d'une électrode en verre, dont le potentiel varie en fonction de la concentration des ions hydrogène. Ce potentiel est mesuré par rapport à une électrode de référence à l'aide d'un potentiomètre, à haute impédance communément appelé pH-mètre C.E.A.E.Q (2014).

#### III.5.2.2. Protocole

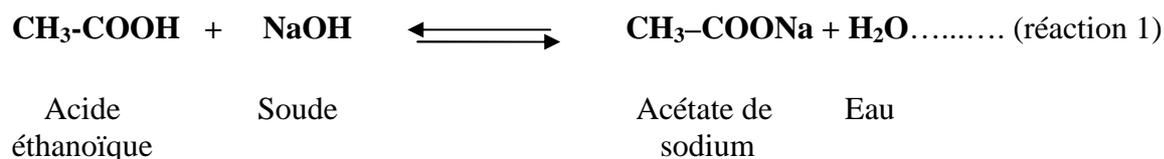
L'électrode en verre et la sonde du pH-mètre sont introduits directement dans le produit et la valeur du pH sera affichée sur l'écran de l'appareil.

### III.5.3. Détermination de l'acidité titrable

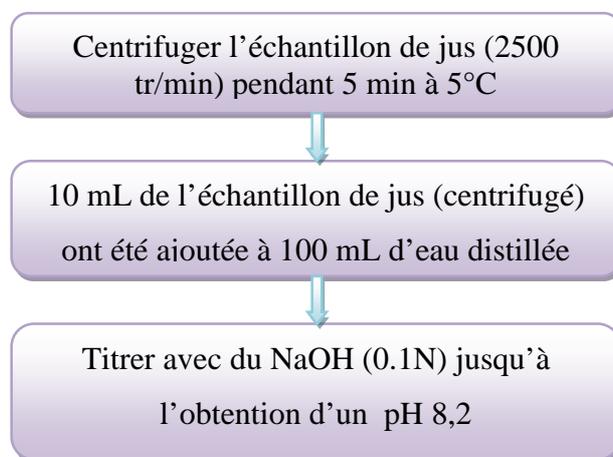
#### III.5.3.1. Principe

L'acidité titrable représente la somme des acides minéraux et organiques présents dans le produit. Elle est exprimée en fonction de l'acide dominant. L'acidité de la boisson est due principalement à l'acide citrique.

La mesure se fait par titrage avec une solution d'hydroxyde de sodium (réaction 1) jusqu'au point final: pH = 8,2 (Friedrich, 2001).



L'acidité titrable du jus de fruit, et de la confiture de cactus a été déterminée en suivant les étapes décrites dans la figure 14 (Friedrich, 2001).



**Figure 14:** étapes de mesure de l'acidité titrable de jus de la figue de barbarie (Friedrich, 2001).

### III.5.3.2. Expression des résultats

L'acidité titrable est calculée selon la méthode décrite par Friedrich (2001), à partir de l'équation ci-après :

$$AT \text{ (g/100mL)} = \frac{(V)(N)(\text{meq. wt.})(100)}{(1000)(v)}$$

Où :

**AT** : acidité titrable ;

**C<sub>b</sub>** : chute de burette de la solution NaOH ;

**N** : normalité de la solution NaOH (0.1 N) ;

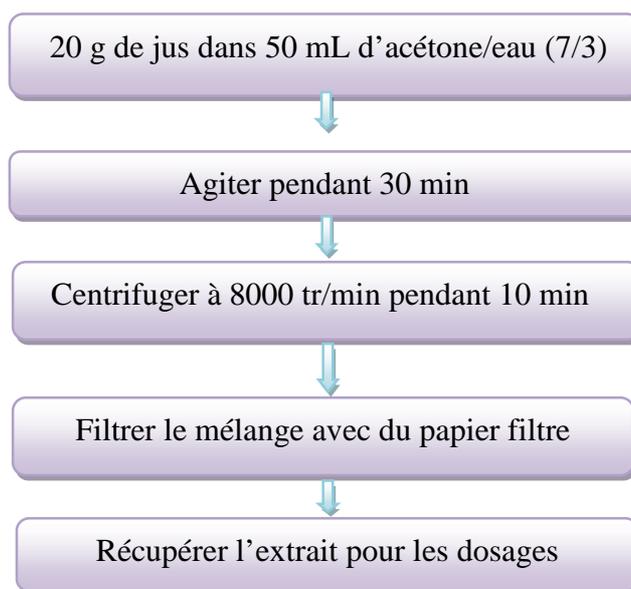
**meq.wt** : coefficient du standard (64 pour l'acide citrique)

## III.6. Dosage des principes actifs

*Opuntia ficus-indica* est riche en divers composants fonctionnels tels que les composés phénoliques et les bétalaines.

### III.6.1. préparation de l'extrait

La méthode utilisée pour l'extraction des principes actifs à partir des différents échantillons est celle de Georgé, Brat, Alter, and M.J. (2005) (figure 15).



**Figure 15:** étapes d'extraction des composés phénoliques de jus et de la confiture de la figue de barbarie (Georgé, Brat, Alter, & M.J., 2005).

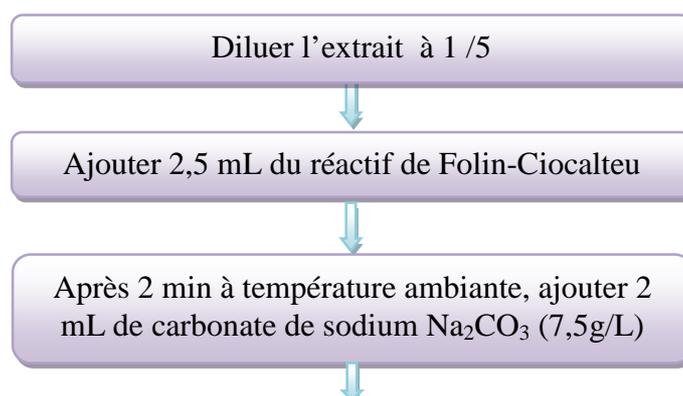
### III.6.2. Dosage des composés phénoliques

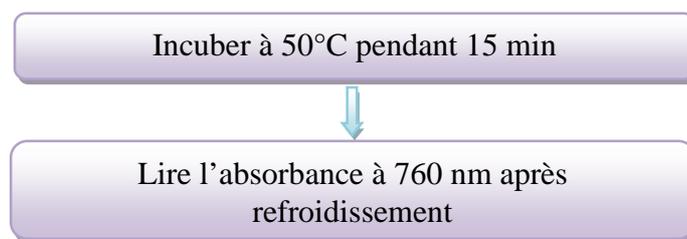
#### ➤ Principe

La quantification des composés phénoliques est basée sur la réduction du réactif de Folin-Ciocalteu, constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}O_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMo_{12}O_{40}$ ), lors de l'oxydation des phénols en mélange d'oxydes de tungstène ( $W_8O_{23}$ ) et de molybdène ( $Mo_8O_{23}$ ). La coloration bleue produite est proportionnelle à la teneur en composés phénoliques totaux présents dans l'échantillon (Boizot & Charpentier, 2006; Lapornik, et al., 2005).

#### ➤ Mode opératoire

Le protocole de dosage des composés phénoliques est présenté dans la figure 16.





**Figure 16:** protocole de dosage des composés phénoliques (Georgé, Brat, Alter, & Amiot, 2005).

### ➤ Expression des résultats

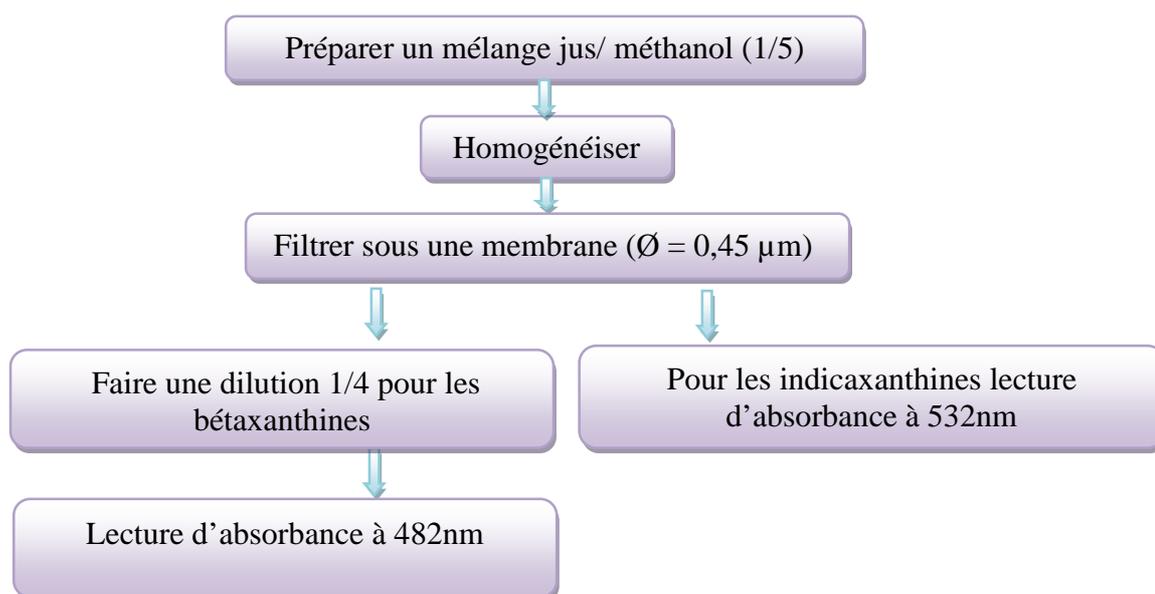
Les résultats sont exprimés en mg EAG /100 g d'échantillon par référence à une courbe d'étalonnage établie à l'aide de différentes concentrations d'acide (Annexe 2).

### III.6.2. Teneur en bétalaines

Un facteur antioxydant important est la présence de pigments qui donne un attrait particulier pour les fruits. Les bétalaines sont détectés dans certains fruits comme la betterave et *Opuntia* ssp.

### ➤ Mode opératoire

Les quantités en bétalaines extraits des échantillons (jus, concentré de jus et confiture) ont été déterminées selon protocole présenté dans la figure 17.



**Figure 17:** protocole de dosage des bétalaines (Khatabi, *et al.*, 2013).

### ➤ Expression des résultats

L'expression des résultats est faite selon la loi de Beer-Lambert :

$$A = \epsilon . L . C$$

Où :

**C** : Concentration en bétalaines ;

**A**: Absorbance de l'échantillon ;

**L** : Chemin optique parcourue (1cm) ;

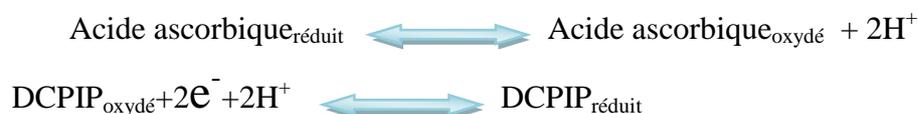
**ε** : Coefficient d'extinction molaire (62 000 L. mol<sup>-1</sup>.cm<sup>-1</sup> pour les bétacyanines et 48 000 L. mol<sup>-1</sup>.cm<sup>-1</sup> pour les betaxanthines.

### III.6.3. Acide ascorbique

#### ➤ Principe

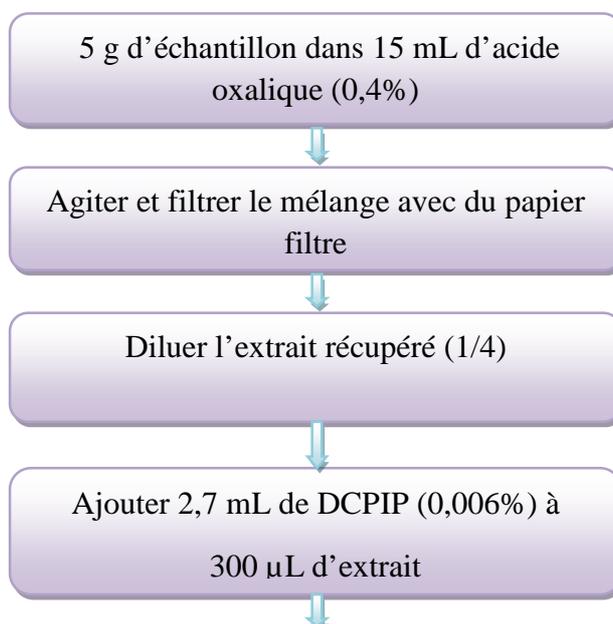
La méthode de **Mau, et al. (2005)** (modifiée) est choisie pour le dosage de l'acide ascorbique selon les étapes illustrées dans la figure 14.

Le dosage est basé sur l'oxydation de l'acide ascorbique en milieu acide par une solution de 2,6 dichlorophenolindophenol (DCPIP). Celui-ci de couleur bleu devient rose en milieu acide puis incolore en présence de l'acide ascorbique selon la réaction suivante:



#### ➤ Mode opératoire

Le protocole de dosage de l'acide ascorbique est présenté dans la figure 18.



Lire l'absorbance à 515 nm

**Figure 18:** protocole du dosage de l'acide ascorbique (Mau, et al., 2005).

➤ **Expression des résultats**

Les résultats sont exprimés en mg d'équivalent acide ascorbique (EAA) par 100 g d'échantillon par référence à une courbe d'étalonnage établie à l'aide de différentes concentrations d'acide ascorbique (**Annexe 1**).

# **Chapitre IV Résultats et discussions**

## **IV. Résultats et discussion**

### **IV.1. Résultats du plan Box-Behnken**

#### **IV.1.1. Analyses des résultats**

Les résultats des teneurs en acides ascorbique, betaxanthines et indicaxanthines des 15 essais, en ordre aléatoire en suivant le plan de Box-Behnken deuxième degré (BBD), sont présentés dans les **annexes 3, 4 et 5**. Les réponses mesurées varient de 7,89 à 22,84 mg/100g pour l'acide ascorbique, de 10,86 à 18,26 mg/100g pour les betaxanthines, et de 0,52 à 0,73 mg/100g pour les indicaxanthines. Ceci démontre l'influence des facteurs étudiés sur les teneurs en acide ascorbique et en bétalaines. Par ailleurs, les réponses mesurées sont comparées aux réponses prédites par le modèle.

#### **IV.1.2. Validation du modèle**

Les expériences conçues permettent d'explorer et de comprendre la relation entre les facteurs et les réponses envisagées. Afin d'avoir de bonnes réponses, plusieurs facteurs doivent être vérifiés.

##### **IV.1.2.1. Coefficient de détermination**

Le coefficient de détermination  $R^2$  permet de confirmer la qualité d'ajustement du modèle et la modélisation de la réponse (**Chan, et al., 2009**).

Dans la présente étude, les valeurs de  $R^2$  des dosages d'acide ascorbique, de betaxanthines et d'indicaxanthines sont respectivement 0,98, 0,98 et 0,94 ce qui signifie respectivement que seulement 2%, 2% et 6% des variations qui ne sont pas expliqués par le modèle. En effet, plus ce dernier est proche de 1, le modèle explique mieux la réponse étudiée. De plus, les valeurs des coefficients de déterminations ajustés sont de l'ordre de 0,94, 0,94 et 0,93, assez élevées pour confirmer la haute significativité du modèle. Le  $R^2_{\text{ajusté}}$  représente la valeur du coefficient de détermination  $R^2$  après élimination des coefficients inutiles du modèle (**Annexes 6, 7 et 8**).

##### **IV.1.2.2. Analyse de la variance**

L'analyse de la variance (ANOVA) des confitures a permis d'étudier l'importance des différents facteurs utilisés dans le modèle et de représenter graphiquement l'influence de chaque facteur sur les teneurs en acide ascorbique, betaxanthines et indicaxanthines. Les

analyses de la variance du modèle de régression pour les trois réponses (**Annexes 9, 10, et 11**), montre que les modèles sont significatifs ( $P < 0,05$ ).

#### IV.1.2.3. Effet d'interaction entre les facteurs

##### ➤ Effet des facteurs sur l'acide ascorbique

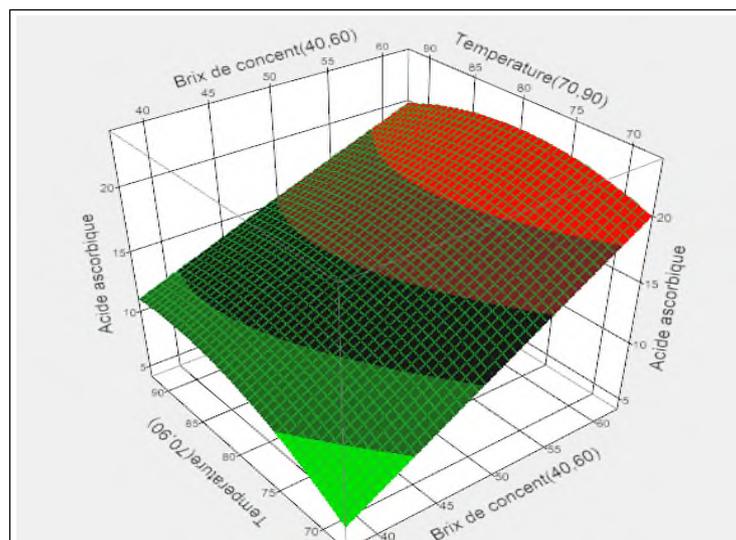
Les effets d'interactions des différents facteurs étudiés sont démontrés dans le **tableau VI**.

##### a. Interaction Brix du concentré-Température

La probabilité élevée de 0.1247 implique la non-significativité de l'interaction des deux facteurs étudiés, Brix du concentré et la température. Ceci s'explique par l'absence de la variation de l'effet de la température lorsque le facteur du Brix du concentré varie d'un niveau bas à un niveau haut. En effet, il n'existe pas une synergie entre ces deux facteurs.

La figure 19 montre la surface de réponse de l'optimisation de la préservation de l'acide ascorbique. Les valeurs du Brix du concentré et la température sont variées durant la construction du plan, tandis que le facteur Brix final est fixé à son optimum ( $75^{\circ}\text{B}$ ).

Cette figure permet également de mieux illustrer l'effet négatif de la température. En effet, à partir de  $80^{\circ}\text{C}$ , la teneur en acide ascorbique diminue.

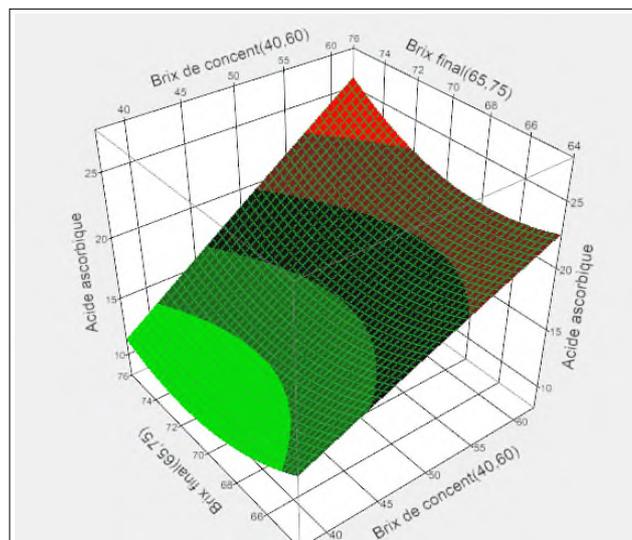


**Figure 19:** surface de réponse de l'effet du Brix du concentré et de la température sur la teneur en acide ascorbique.

### b. Interaction Brix du concentré-Brix final

La probabilité de 0.0748 est supérieure à 0,05 mène à déduire la non significativité de l'interaction des deux facteurs, le Brix du concentré et le Brix final. Ces derniers ont un effet positif sur la teneur en acide ascorbique. En effet, l'influence du facteur Brix final sur la teneur en acide ascorbique est négligeable quand le facteur du Brix du concentré varie du niveau bas au niveau haut.

La figure 20 montre la surface de réponse de l'effet du Brix du concentré et du Brix final sur la teneur en acide ascorbique. Les valeurs du Brix du concentré et du Brix final sont variées durant la construction du plan, et le facteur température est fixé à son optimum (80°C). Ceci a pour objectif la détermination des conditions optimales permettant d'obtenir un produit contenant la teneur la plus élevée en acide ascorbique.

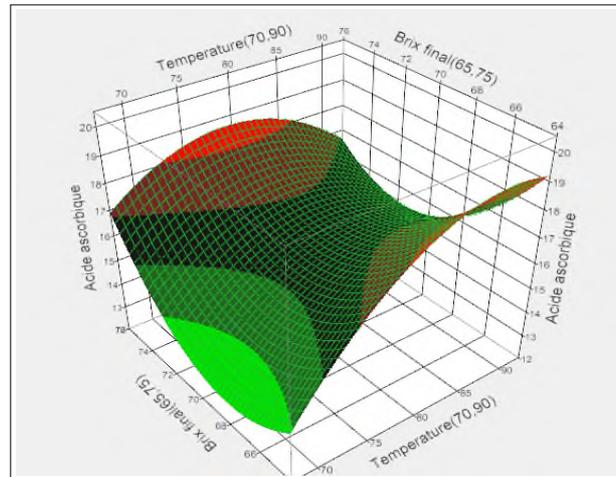


**Figure 20** : surface de réponse de l'effet du Brix du concentré et du Brix final sur la teneur en acide ascorbique.

### c. Interaction Température-Brix final

L'interaction entre ces deux paramètres est non significative et cela en raison de sa probabilité qui est de 0.1031 (supérieure à 0,05). L'effet négatif de la température est justifié car au-delà de la zone optimale, celle-ci conduira à une diminution de la teneur en acide ascorbique. Ce phénomène est peut être expliqué par la dégradation de l'acide ascorbique pendant le traitement thermique.

La figure 21 montre la surface de réponse de l'optimisation des conditions permettant de préserver la teneur en acide ascorbique. Les valeurs de la température et du Brix final sont variées durant le test, et le facteur Brix du concentré est fixé à son optimum (60°B).



**Figure 21** : surface de réponse de l'effet de la température et du Brix final sur la teneur en acide ascorbique.

### ✓ Modèle mathématique

Le modèle mathématique utilisé avec le plan de Box-Behnken pour trois facteurs est un modèle du second degré, volontairement simplifié par élimination des effets d'interactions jugés non significatifs dans l'analyse. Ceci permettra de manipuler plus facilement cette expression réduite tout en gardant une qualité d'ajustement similaire (Tinsson, 2010).

D'après les résultats présentés dans le tableau VI, le modèle mathématique peut se présenter sous la forme d'un polynôme de second degré qui permet de décrire la réponse par la relation suivante :

$$Y = 16.204474 + 4.5503356 x_1 + 4.5503356 x_2 - 1.210291 x_2^2 + 1.655481 x_3^2$$

( $X_1$ ,  $X_2$ , et  $X_3$  sont respectivement le brix de concentré, la température et le brix final)

Cette équation est obtenue après analyse des résultats illustrés dans le tableau VI.

Tableau VI : estimation des coefficients pour les teneurs en acide ascorbique.

Terme	Estimation	Erreur standard	Raport t	Prob> t
Constante $a_0$	16.204474	0.521492	31.07	<.0001*
Brix du concentré (40,60)	4.5503356	0.319347	14.25	<.0001*
Température (70, 90)	4.5503356	0.319347	3.06	0.0282*
Brix final (65,75)	0.0671141	0.319347	0.21	0.8418
Brix du concentré*Brix du concentré	-0.055928	0.470066	-0.12	0.9099
Brix de concentré*Température	-0.832215	0.451625	-1.84	0.1247
Température*Température	-1.210291	0.470066	-2.57	0.0497*
Brix du concentré*Brix final	1.0134228	0.451625	2.24	0.0748
Température*Brix final	-0.899329	0.451625	-1.99	0.1031
Brix final*Brix final	1.655481	0.470066	3.52	0.0169*

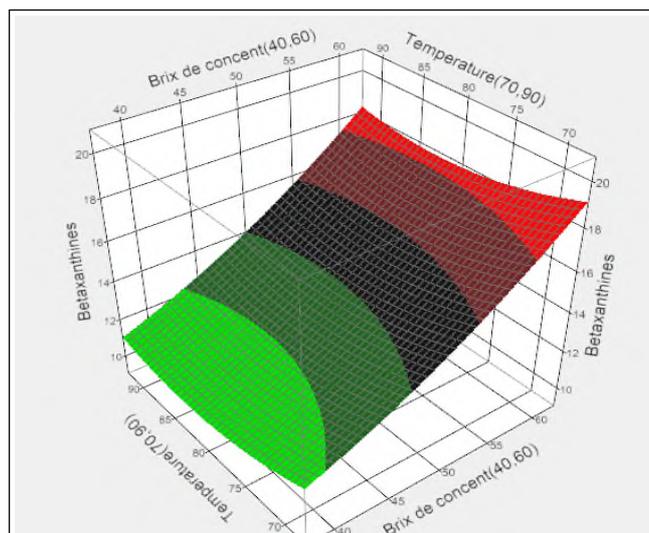
\* : présentent les valeurs < 0,05 et qui sont significatives.

### ➤ Effet des facteurs sur les betaxanthines

#### a. Interaction Brix du concentré-Température

La présente étude montre que l'interaction Brix du concentré-Température n'est pas significative sur les bétaxanthines, et cela est indiqué par sa probabilité présentée dans le tableau VII (0.9691), qui est largement supérieure à 0,05.

La figure 22 montre la surface de réponse de la teneur en betaxanthines en fonction du Brix du concentré et de la température. Les valeurs de ces deux facteurs sont variées durant la construction du plan, tandis que le facteur Brix final est fixé à son optimum (75°B).

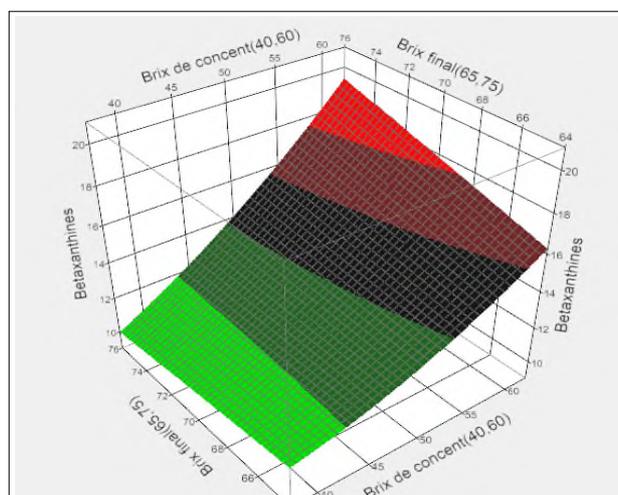


**Figure 22:** surface de réponse de l'effet du Brix du concentré et de la température sur la teneur en bétaxanthines.

### b. Interaction Brix du concentré-Brix final

La présente étude montre que l'interaction entre le Brix du concentré et le Brix final est significative sur les bétaxanthines, et cela est indiqué par sa probabilité présentée dans le tableau VII (0.04), qui est inférieure à 0,05. Cela s'explique par la synergie qui existe entre les deux facteurs qui influencent positivement sur la teneur en bétaxanthines.

La figure 23 montre la surface de réponse de la teneur en bétaxanthines en fonction du Brix du concentré et du Brix final. Les valeurs de ces deux facteurs sont variées durant la construction du plan, tandis que le facteur température est fixé à son optimum (80°C).

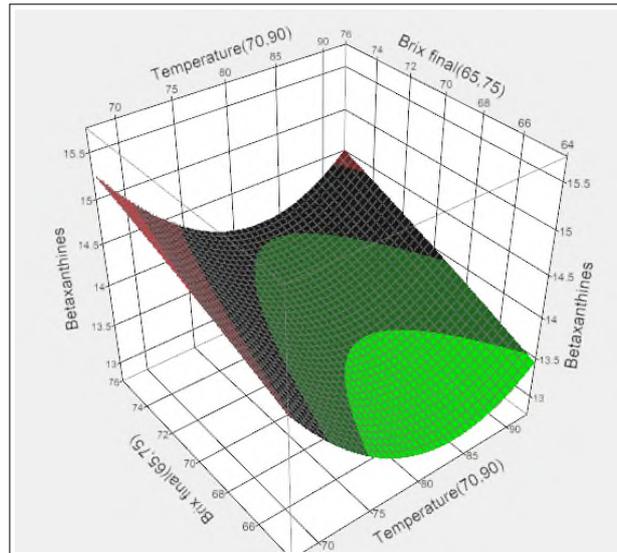


**Figure 23 :** surface de réponse de l'effet du Brix du concentré et du Brix final sur la teneur en bétaxanthines.

### c. Interaction Température-Brix final

Pour cette interaction, la probabilité élevée de 0.8823 (tableau VII) est synonyme de la non signifiante de l'interaction. En effet, l'influence du Brix du concentré sur la teneur en bétaxanthines est considérée dominante.

La figure 24 montre la surface de réponse de l'optimisation de la préservation des bétaxanthines. Les valeurs du Brix final et de la température sont variées, alors que le facteur Brix du concentré est fixé à son optimum (60°B).



**Figure 24 :** surface de réponse de l'effet de la température et du Brix final sur la teneur bétaxanthines.

#### ✓ Modèle mathématique

D'après les résultats obtenus précédemment, le modèle mathématique peut se présenter sous la forme d'un polynôme de second degré qui permet de décrire la réponse par l'équation suivante :

$$Y = 13.608222 + 2.8829167x_1 + 0.7461667x_2x_3$$

Cette équation est obtenue après l'analyse des résultats illustrés dans le tableau VII. Ce modèle est exprimé pour les valeurs réelles simplifiées par élimination des effets non significatifs.

Tableau VII : estimation des coefficients pour les teneurs en bétaxanthines.

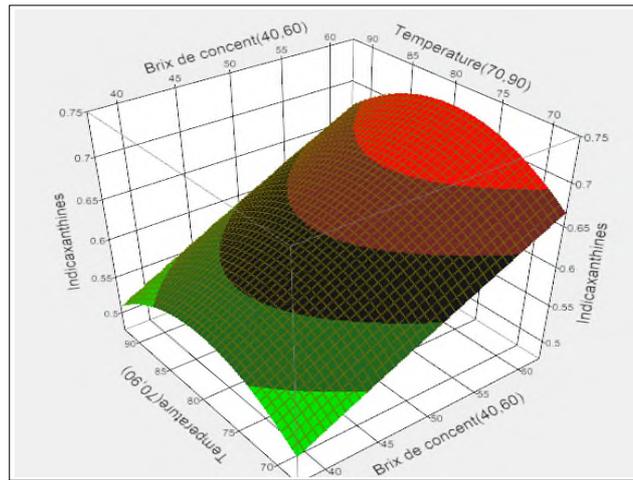
Terme	Estimation	Erreur standard	Rapport t	Prob> t
<b>Intercept</b>	13.608222	0.312469	43.55	<.0001*
<b>Brix du concentré (40,60)</b>	2.8829167	0.191347	15.07	<.0001*
<b>Température (70,90)</b>	-0.362083	0.191347	-1.89	0.1170
<b>Brix final (65,75)</b>	0.3923333	0.191347	2.05	0.0956
<b>Brix du concentré*Brix de concentré</b>	0.4192222	0.281656	1.49	0.1968
<b>Brix de concentré*Température</b>	0.011	0.270606	0.04	0.9691
<b>Température*Température</b>	0.5438889	0.281656	1.93	0.1113
<b>Brix du concentré*Brix final</b>	0.7461667	0.270606	2.76	0.0400*
<b>Température*Brix final</b>	0.0421667	0.270606	0.16	0.8823
<b>Brix final*Brix final</b>	-0.018944	0.281656	-0.07	0.9490

### ➤ Effet des facteurs sur les indicaxanthines

#### a. Interaction Brix du concentré-Température

Le tableau VIII montre une probabilité de 0.9483, valeur supérieure à 0,05 ce qui signifie que l'interaction entre le Brix du concentré et la température n'est pas significative. En effet, l'influence de la température est absente quand le Brix du concentré est varié.

La figure 25 montre la surface de réponse de la teneur en indicaxanthines. Le Brix du concentré et la température sont variées, et le Brix final est fixé à son optimum (75°B).

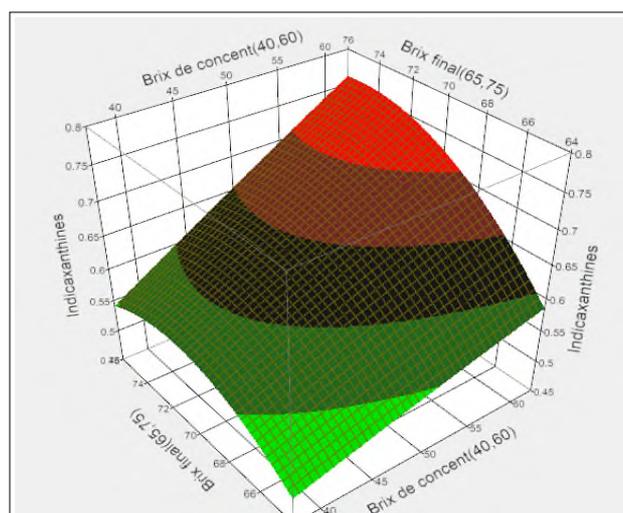


**Figure 25 :** surface de réponse de l’effet du Brix du concentré et de la température sur la teneur en indicaxanthines.

**b. Interaction Brix du concentré-Brix final**

D’après les résultats du tableau VIII, la valeur de la probabilité est de 0.1937. Cette valeur est supérieure à 0,05, ce qui rend l’interaction entre le Brix du concentré et le Brix final non significative, avec la dominance de l’effet du Brix du concentré.

La figure 26 montre la surface de réponse de l’optimisation des conditions permettant la préservation des indicaxanthines. Les valeurs du Brix du concentré et du Brix final sont variées durant la construction du plan, et le facteur température est fixé à son optimum (80°C).

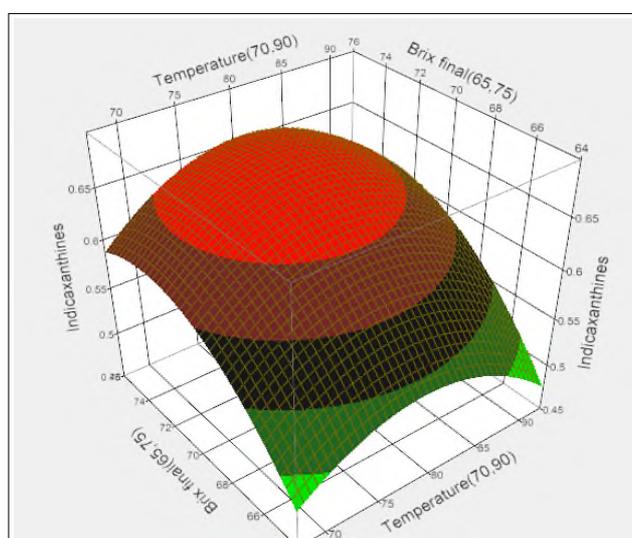


**Figure 26 :** surface de réponse de l’effet du Brix du concentré et du Brix final sur la teneur en indicaxanthines.

### c. Interaction Température-Brix final

L'interaction entre ces deux paramètres n'est pas significative vu la probabilité indiquée dans le tableau VIII (0.7150), valeur supérieure à 0,05.

La figure 27 montre la surface de réponse de l'optimisation de la teneur en acide ascorbique. Les valeurs de la température et du Brix final sont variées, et le facteur Brix du concentré est fixé à son optimum (60°B). Par conséquent, il y a un effet du Brix final sur la teneur en indicaxanthines, tandis que l'effet de la température est considéré négligeable (interaction non significative).



**Figure 27:** surface de réponse de l'effet de la température et du Brix final sur la teneur en indicaxanthines.

#### ✓ Modèle mathématique

D'après les résultats présentés dans le tableau VIII, le modèle mathématique peut se présenter sous la forme d'un polynôme du second degré qui permet de décrire la réponse par la relation suivante :

$$Y = 0.6489389 + 0.0630438x_1 + 0.0473229x_3$$

Ce modèle est exprimé pour les valeurs réelles simplifiées par élimination des effets non significatifs.

Tableau VIII : estimation des coefficients pour les teneurs en indicaxanthines.

Terme	Estimation	Erreur standard	Raport t	Prob> t
Intercept	0.6489389	0.01629	39.84	<.0001*
Brix du concentré (40,60)	0.0630438	0.009976	6.32	0.0015*
Température (70,90)	0.0003208	0.009976	0.03	0.9756
Brix final (65,75)	0.0473229	0.009976	4.74	0.0051*
Brix du concentré*Brix de concentré	-0.00139	0.014684	-0.09	0.9282
Brix de concentré*Température	0.0009625	0.014108	0.07	0.9483
Température*Température	-0.037003	0.014684	-2.52	0.0532
Brix du concentré*Brix final	0.021175	0.014108	1.50	0.1937
Température*Brix final	0.0054542	0.014108	0.39	0.7150
Brix final*Brix final	-0.03604	0.014684	-2.45	0.0576

### IV.1.3. Optimisation

Cette étude montre qu'un model polynomial d'ordre deux peut modéliser correctement les phénomènes. Il apparait que les conditions expérimentales optimales, c'est à-dire celles conduisant à des maximisations des teneurs en acide ascorbique et betalaines dans la confiture sont obtenues au sein du domaine expérimental.

Les conditions optimales prédites et les réponses qui correspondent à ces conditions sont représentées dans le tableau IX.

Tableau IX : les conditions expérimentales prédites et les réponses correspondantes.

Facteurs (optimaux)	Valeurs	Réponses (mg/100g )	Intervalle de confiance
Brix du concentré (°B)	60	Teneur en acide ascorbique	[21.42-25.44]
Température (°C)	80	Teneur en bétaxanthine	[16.82-19.23]
Brix final (°B)	75	Teneur en indicaxanthine	[0.68-0.80]

#### IV.1.4. Test pratique de la vraisemblance du modèle

Bien que le modèle mathématique a déjà été validé, un essai a été réalisé afin de confirmer les prévisions du plan d'expérience tout en respectant les valeurs optimales du modèle et les résultats trouvés sont comme suit :

La teneur en acide ascorbique est de 23,6 g/100g, celle des betaxanthines est de 18,58 g/100g, et la valeur des indicaxanthines est de 0,79 g/100g.

Les valeurs expérimentales trouvées sont incluses dans les valeurs des intervalles de confiances prédites (théoriques) (Tableau IX).

### IV.2. Caractérisation du jus de la figue de barbarie

#### IV.2.1. Caractérisation physico-chimique

Les résultats des analyses physico-chimiques effectuées sur le jus de la figue de barbarie sont récapitulés dans le tableau X.

**Tableau X** : résultats des analyses physico-chimiques du jus de la figue de barbarie.

Tests	Valeurs
Brix (°Brix)	14 ± 0.00
pH	6,3 ± 0,01
Acidité titrable (mg/100mL)	0.05 ± 0.004

##### a. Degré Brix

La moyenne de l'extrait sec soluble du jus de fruit analysé est de 14 ± 0.00 °B. Cette valeur rentre dans l'intervalle obtenu par **Stintzing, et al. (2002)** (10-17°B) pour des fruits de couleur jaune orangé, proche de celle trouvée par **Chougui, et al. (2013)** qui est de 15°B. Cependant, elle est supérieure à celle trouvée par **El Gheras, et al. (2006)** qui est 11,53°B. D'après les résultats trouvés, la figue de barbarie est riche en matière sèche soluble. Par conséquent, ce fruit est une source d'énergie.

##### b. pH

La valeur moyenne du pH mesurée pour le jus est de 6.3 ± 0.01. Cette valeur concorde avec celle obtenue par **Saenz and Sepulveda (2001)** et **Feugang, et al. (2006)** qui sont respectivement de 5,3 et 7,1 pour le jus de la figue de barbarie. D'autres auteurs tels que **Cassano, et al. (2010)** ont obtenu des valeurs moyennes de 5,5 et de 5,7 pour les cultivars de

Sicile et d'Italie. La figue de barbarie reste caractérisée par un pH élevé comparé à celui d'autres fruits tels que l'ananas qui a un pH compris entre 2,9 et 3,5 (Souci, et al., 1994).

### c. Acidité titrable

L'acidité du fruit étudié est de  $0.05 \pm 0.004$  g/ 100 mL. Cette valeur est faible par rapport à celle des autres fruits tels que les raisins, la banane, l'orange, et la pomme Souci, et al. (1994). Cette valeur est dans l'intervalle trouvé par Chougui, et al. (2013) (0.04-0.07g/100 mL) sur des variétés récoltées dans différentes régions de Bejaia. Elle se trouve également dans l'intervalle donné par Feugang, et al. (2006) (0,01-0,12g/100 mL).

En raison de sa faible acidité et de son pH élevé (supérieur à 4,5), la figue de barbarie est classée dans la catégorie des aliments légèrement acides.

### IV.2.2. Teneur en principes actifs

L'analyse phytochimique effectuée sur l'extrait du jus de la figue de barbarie a permis de quantifier certains antioxydants : les composés phénoliques, l'acide ascorbique et les bétalaines. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau XI.

**Tableau XI:** les teneurs en antioxydants du jus de la figue de barbarie.

Antioxydants		Teneur
Composés phénoliques (mg EAG/100g)		$59.2 \pm 0.4$
Acide ascorbique (mg/100g)		$18,6 \pm 0,4$
Bétalaines (mg/100g)	Bétaxanthines	$6,8 \pm 0,03$
	Indicaxanthines	$0.8 \pm 0.005$

Au reflet de ce tableau, le jus de la figue de barbarie est une bonne source d'antioxydants naturels.

#### a. Composés phénoliques

La teneur en polyphénols est de  $59.2 \pm 0.4$  mg d'équivalent acide gallique (EAG)/100g de jus. Ce résultat est proche de celui trouvé par Coria-Cayupán, et al. (2007) qui est de 54 mg de EAG/100 g pour la même variété. Cependant, cette valeur est plus élevée que celle trouvée par Maataoui, et al. (2006) qui est de 22 mg/100 g. Cette différence pourrait être due à la variété et les conditions climatiques Diaz Medina, et al. (2007).

### b. Bétalaines

Le résultat enregistré pour les betaxanthines est de  $6,8 \pm 0,03$  mg/100g, proche de celui rapportée par **Chougui, et al. (2013)** qui est de 6.79 mg/100g. Ainsi, la teneur moyenne en indicaxanthines est  $0.8 \pm 0.005$  mg/100g, inférieure à celle obtenus par ces mêmes auteurs ces (0.90 mg/100g). Cependant, cette différence peut être expliquée par les conditions de stockage du jus préparé, les conditions climatiques, la variété et l'état de la maturité du fruit.

### c. Acide ascorbique

Le résultat trouvé dans la présente étude est de  $18,6 \pm 0,4$  mg/100g de jus. Ce résultat est supérieur à celui trouvé par **Piga (2004)** qui est de 12,56 mg/100g pour la figue de barbarie fraîche.

## IV.3. Caractérisation de la confiture

### IV.3.1. Caractérisation physico-chimique

**Tableau XII** : résultats des analyses physico-chimiques de la confiture.

Tests	Valeurs
Brix (%)	$75 \pm 0.00$
pH	$3,7 \pm 0,02$
Acidité titrable (mg/100ml)	$0,2 \pm 0.003$

### a. Degré Brix

Cette mesure montre une augmentation de 14% à 75% du degré Brix après la transformation du jus de la figue de barbarie en confiture. Cette dernière est supérieure à celle obtenue par **Chauhan, et al. (2012)** sur la confiture de noix de coco qui est de 68,6 % et à celle trouvée par **Vidhya and Narain (2010)** qui est de 68,5% pour la confiture de pomme.

### b. pH

La valeur moyenne du pH de la confiture est de  $3,66 \pm 0,02$ . Cette valeur est légèrement supérieure à celle donnée par **Griguelmo-Miguel and Belloso-Martin (1999)** qui est de 3,29 pour la confiture de la fraise.

La valeur du pH trouvée dans cette étude montre une diminution du pH après la préparation de la confiture. Ceci pourrait du à l'ajout du jus de citron lors de la préparation et la cuisson, ce qui rend la confiture un peu plus acide.

### c. Acidité titrable

La valeur de l'acidité de la confiture trouvée dans cette étude est de  $0,2 \pm 0,003$  %. Une augmentation à été observée par rapport à l'acidité du jus qui peut être du à l'ajout du jus de citron lors de la préparation. Cette valeur est inférieure à celles trouvées par **Sindomathi and Amutha (2014)**, qui ont rapporté des valeurs d'acidité de 0,53% pour la confiture de noix de coco, et par **Aslanova, et al. (2010)** pour la confiture d'abricot qui est de 0,44%.

## IV.3.2. Teneur en principes actifs

**Tableau XIII:** Teneurs en antioxydants de la confiture.

Antioxydants		Teneur
Composés phénoliques (mg EAG/100g)		$45,5 \pm 0,04$
Acide ascorbique (mg/100g)		$23,6 \pm 0,08$
Bétalaines (mg/100g)	Bétaxanthines	$18,6 \pm 0,3$
	Indicaxanthines	$0,8 \pm 0,008$

### a. Composés phénoliques

La confiture du cactus présente une teneur en polyphénols totaux de 45,5 mg EAG/100g de produit. Cette valeur est supérieure à celle trouvée avant la transformation du jus en confiture, mais cette elle est inférieure à celle trouvée par **Scibisz and Mitek (2009)** qui est de 146,8 mg EAG/100g.

### b. Bétalaines

Le résultat enregistré en betaxanthines est de  $18,6 \pm 0,3$  mg/100 g de confiture, il est trois fois plus élevé que celui du jus utilisé ( $6,8 \pm 0,03$ mg/100g), alors que la teneur en indicaxanthines est préservée ( $0,8 \pm 0,008$  mg/100g).

Cette teneur élevée en bétaxanthines de la confiture par rapport au jus proviendrait de la pulpe ajoutée lors de la préparation de la confiture car elle est riche en pigments.

### **c. Acide ascorbique**

La teneur de l'acide ascorbique est de  $23,6 \pm 0,08$  mg/100g de confiture, cette valeur est plus élevée que celle trouvée dans le jus de la figue de barbarie ( $18,6 \pm 0,4$  mg/100g).

Selon une étude réalisée sur les confitures et les jus de quelques espèces de fruits récoltés au Nigéria, **Sanusi et al. (2008)** ont trouvé une valeur de 50,0 mg d'acide ascorbique/100g de confiture d'orange et  $13,1 \pm 0,1$  mg/100g de confiture d'ananas.

Ces résultats montrent que la figue de barbarie est une bonne source d'antioxydants.

# **Conclusion**

## *Conclusion et perspectives*

La culture du figuier de Barbarie est actuellement pratiquée de façon intensive et moderne dans plusieurs pays, soit en tant que culture fourragère, ou même en tant que culture maraîchère. La production de fruits reste cependant l'aspect le plus recherché et le plus développé.

En effet, la figue de la barbarie est considérée comme un fruit sain et nutritif à cause de sa richesse en antioxydants.

Cette étude a été consacrée à l'optimisation des conditions de fabrication d'une confiture 100% naturel à partir de la figue de barbarie (*Opuntia ficus indica*) par le plan d'expérience de Box- Behnken.

L'étude préliminaire réalisée a permis de déterminer les quantités des constituants de cette confiture : pulpe (6g), concentré de jus (4g), sucre (8,5g), jus de citron (2.1g), pectine (0.15g) et zeste d'orange (0.4g). Elle a permis également de déterminer les valeurs minimales et maximales des facteurs optimisés par le plan d'expérience de Box-Behnken à trois facteurs.

L'analyse de la variance des résultats montre des coefficients de détermination relativement élevées, ainsi que la concordance des valeurs mesurées avec les intervalles de confiance théoriques, validant ainsi le plan de Box-Behnken exploité pour l'optimisation.

Les résultats montrent une influence significative des différents facteurs variés sur les teneurs des composants choisis à l'exception de la température qui n'influence pas significativement sur la teneur en bétalaines. Tandis que l'étude des interactions des différents facteurs a montré une interaction significative entre le Brix du concentré et Brix final sur la teneur en bétaxanthines.

Ainsi, les conditions optimales pour avoir une confiture d'une meilleure teneur en acide ascorbique et en bétalaines sont : 60°B comme Brix initial du jus concentré, 80°C pour la température de cuisson et 75°B pour le Brix final de la confiture.

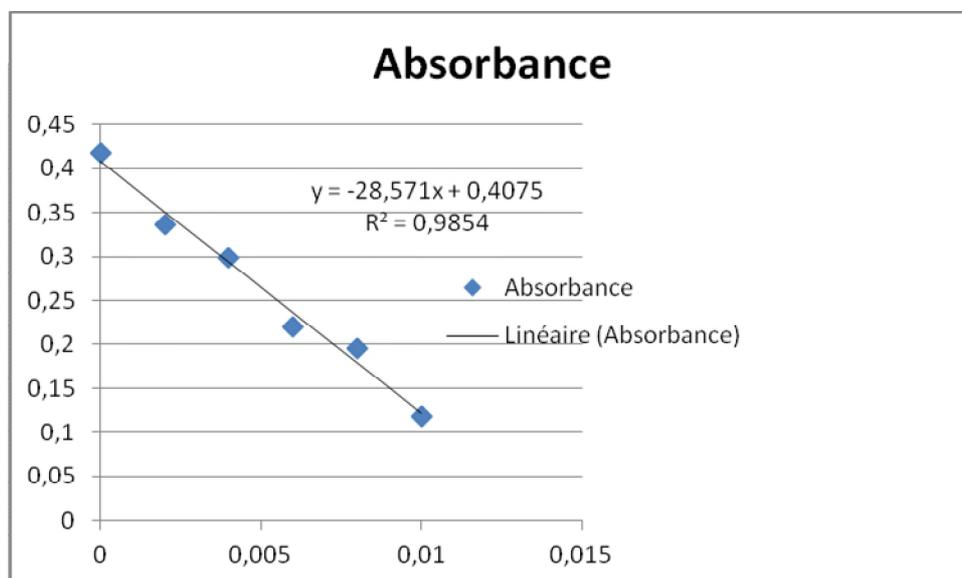
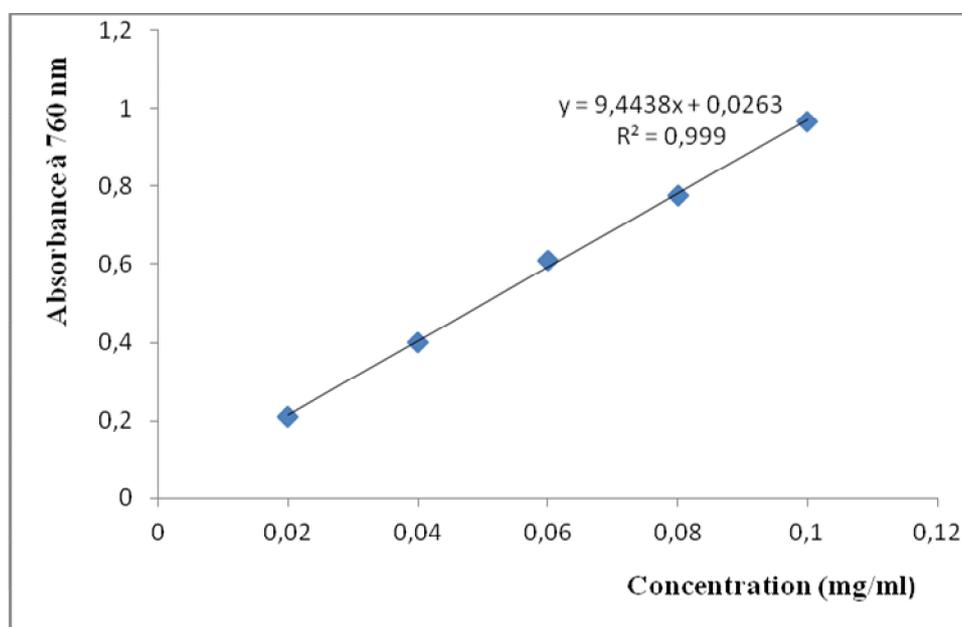
Les analyses physico-chimiques de la confiture préparée donnent des résultats appréciables pour le pH ( $3,7 \pm 0,02$ ), l'acidité titrable ( $0,2 \pm 0,003$  g/100 mL), et le °Brix ( $75 \pm 0,00^\circ\text{B}$ ).

Les résultats du dosage des substances actives montrent des teneurs de  $45,5 \pm 0,04$  mg EAG/100g en composés phénoliques,  $23,6 \pm 0,08$  mg/100g en acide ascorbique,  $18,6 \pm 0,3$  mg/100g en bétaxanthines et  $0,8 \pm 0,008$  mg/100g en indicaxanthines.

Comme complément à la présente étude, il est souhaitable de compléter ce travail par :

- l'étude de l'influence des autres paramètres physico-chimique comme la viscosité;
- l'estimation de l'activité antioxydante des confitures préparées;
- la réalisation d'une analyse sensorielle pour connaître l'avis du consommateur sur le nouveau produit;
- l'identification des différents principes actifs de la confiture par des techniques plus avancées comme HPLC-MS et RMN;
- la réalisation d'autres produits alimentaires à base de la figue de barbarie ou d'autres organes;
- l'introduction de la culture du figuier de barbarie dans les projets de développement vu sa culture peu exigeante en investissements et qu'elle peut générer un revenu important.

# **Annexes**

**Annexe 1 : courbe d'étalonnage acide ascorbique.****Annexe 2 : Courbe standard des composés phénoliques (Acide gallique).**

**Annexe 3 : les valeurs expérimentales et les valeurs prédites des teneurs en acide ascorbique.**

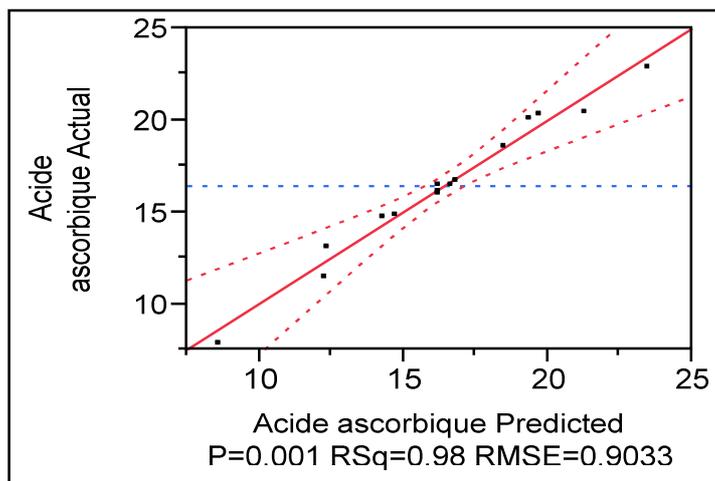
Essai	Brix de concent		Temperature		Brix final		Acide ascorbique	
	v. dée	v. réelle	v. codée	V. réelle	v. codée	v. réelle	v. mesurée	v. prédite
1	-1	40	0	80	-1	65	14,79060403	14,2
2	1	60	-1	70	0	70	20,05234899	19,3442953
3	0	50	0	80	0	70	16,44161074	16,20447427
4	0	50	1	90	1	75	16,6966443	16,79395974
5	1	60	1	90	0	70	20,32080537	19,63288591
6	0	50	-1	70	1	75	16,52214765	16,63959731
7	0	50	-1	70	-1	65	14,80402685	14,70671141
8	0	50	0	80	0	70	16,03892617	16,20447427
9	-1	40	0	80	1	75	13,11275168	12,30738255
10	-1	40	1	90	0	70	11,4885906	12,19664429
11	1	60	0	80	-1	65	20,46845638	21,27382551
12	0	50	0	80	0	70	16,13288591	16,20447427
13	1	60	0	80	1	75	22,8442953	23,43489933
14	0	50	1	90	-1	65	18,57583893	18,45838927
15	-1	40	-1	70	0	70	7,891275168	8,579194631

**Annexe 4 : les valeurs expérimentales et les valeurs prédites des teneurs en betaxanthines**

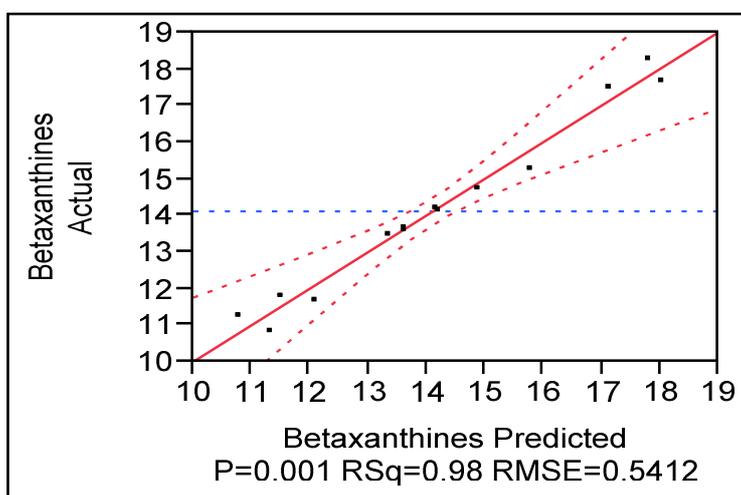
Essai	Brix de concent		Temperature		Brix final		Bétaxanthins	
	v. codée	v. réelle	v. codée	V. réelle	v. codée	v. réelle	V. mesurée	v. prédite
1	-1	40	0	80	-1	65	11,814	11,47941667
2	1	60	-1	70	0	70	18,26	17,80533333
3	0	50	0	80	0	70	13,56666667	13,60822222
4	0	50	1	90	1	75	14,16066667	14,20558334
5	1	60	1	90	0	70	17,48266667	17,10316667
6	0	50	-1	70	1	75	14,72533333	14,84541666
7	0	50	-1	70	-1	65	14,19	14,14508333
8	0	50	0	80	0	70	13,67666667	13,60822222
9	-1	40	0	80	1	75	11,27133333	10,77175
10	-1	40	1	90	0	70	10,86066667	11,31533334
11	1	60	0	80	-1	65	15,25333333	15,75291666
12	0	50	0	80	0	70	13,58133333	13,60822222
13	1	60	0	80	1	75	17,69533333	18,02991666
14	0	50	1	90	-1	65	13,45666667	13,33658334
15	-1	40	-1	70	0	70	11,682	12,0615

**Annexe 5 : les valeurs expérimentales et les valeurs prédites des teneurs en acide ascorbique.**

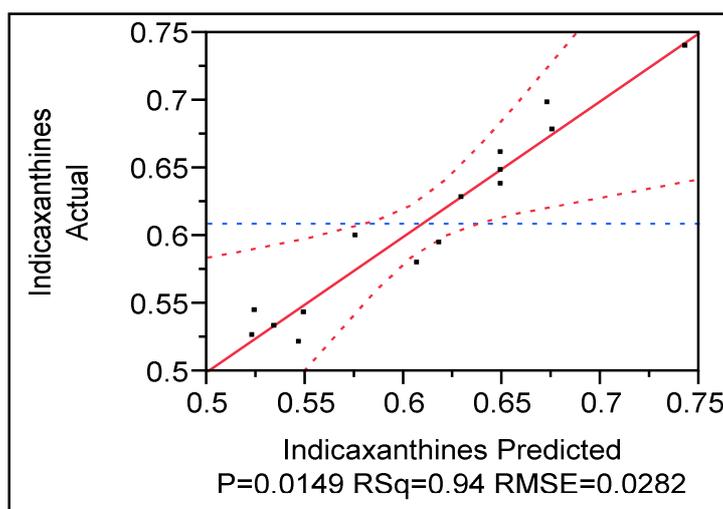
Essai	Brix du concentré X <sub>1</sub>		Température X <sub>2</sub>		Brix final X <sub>3</sub>		Indicaxanthins	
	v. codée	v. réelle	v. codée	v. réelle	v. codée	v. réelle	v. mesurée	v. prédite
1	-1	40	0	80	-1	65	0,526166667	0,522316667
2	1	60	-1	70	0	70	0,698133333	0,67230625
3	0	50	0	80	0	70	0,637816667	0,648938889
4	0	50	1	90	1	75	0,628833333	0,62899375
5	1	60	1	90	0	70	0,678883333	0,674872916
6	0	50	-1	70	1	75	0,595466667	0,61744375
7	0	50	-1	70	-1	65	0,533866667	0,53370625
8	0	50	0	80	0	70	0,660916667	0,648938889
9	-1	40	0	80	1	75	0,6006	0,5746125
10	-1	40	1	90	0	70	0,521033333	0,546860416
11	1	60	0	80	-1	65	0,580066667	0,606054167
12	0	50	0	80	0	70	0,648083333	0,648938889
13	1	60	0	80	1	75	0,7392	0,74305
14	0	50	1	90	-1	65	0,545416667	0,523439584
15	-1	40	-1	70	0	70	0,544133333	0,54814375



**Annexe 6** : coefficient de corrélation d'acide ascorbique.



**Annexe 7**: coefficient de corrélation des betaxanthines



**Annexe 8** : coefficient de corrélation des indicaxanthines.

**Annexe 9 : l'analyse de variance pour l'acide ascorbique****Summary of Fit**

RSquare	0,980032
RSquare Adj	0,944091
Root Mean Square Error	0,90325
Mean of Response	16,41208
Observations (or Sum Wgts)	15

**Analysis of Variance**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	200,21643	22,2463	27,2672
Error	5	4,07931	0,8159	<b>Prob &gt; F</b>
C. Total	14	204,29573		0,0010

**Annexe 10 : l'analyse de variance pour les betaxanthines****Summary of Fit**

RSquare	0,980241
RSquare Adj	0,944674
Root Mean Square Error	0,541212
Mean of Response	14,11178
Observations (or Sum Wgts)	15

**Analysis of Variance**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	72,654526	8,07273	27,5604
Error	5	1,464553	0,29291	<b>Prob &gt; F</b>
C. Total	14	74,119079		0,0010

**Annexe 11 : l'analyse de variance pour les indicaxanthines**

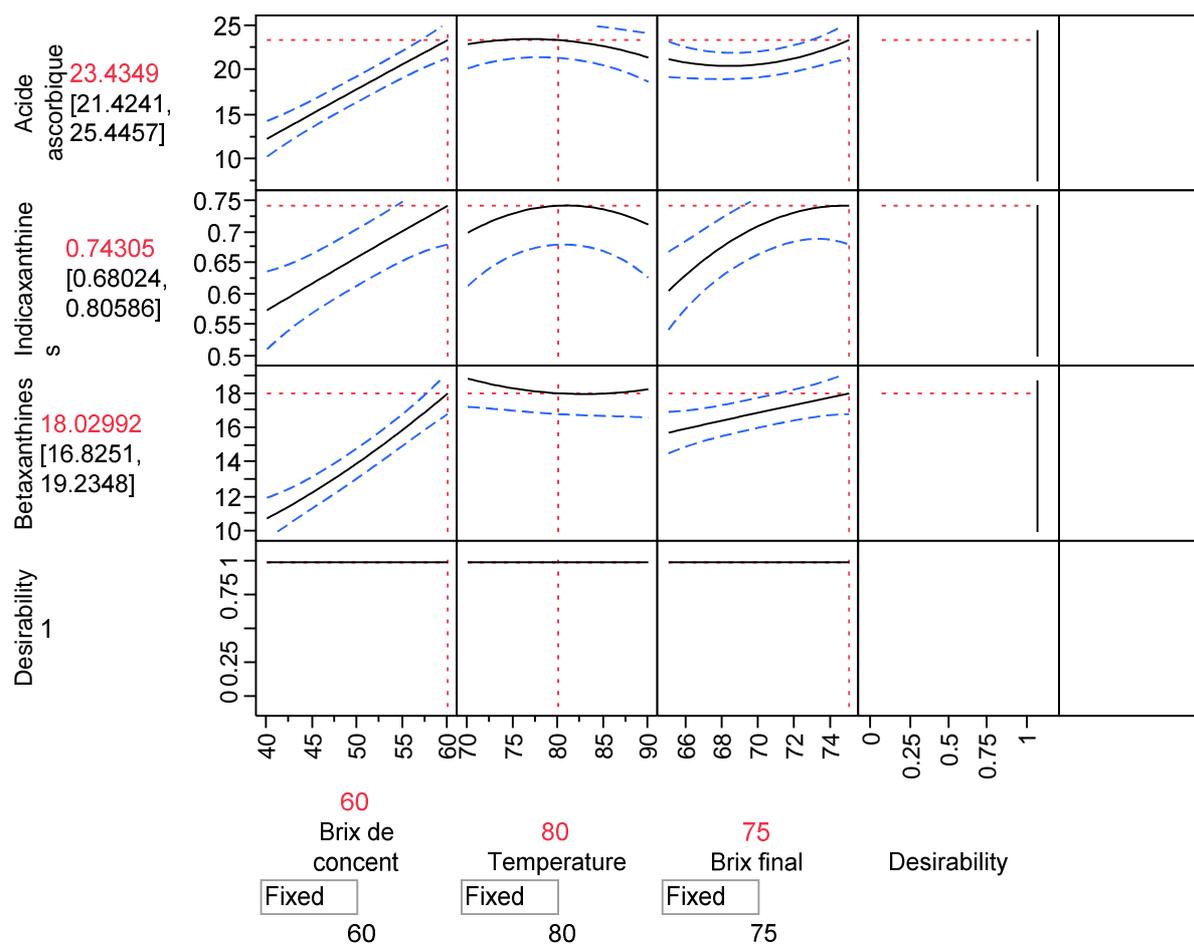
**Summary of Fit**

RSquare	0,938584
RSquare Adj	0,828034
Root Mean Square Error	0,028215
Mean of Response	0,609241
Observations (or Sum Wgts)	15

**Analysis of Variance**

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Ratio
Model	9	0,06083157	0,006759	8,4902
Error	5	0,00398053	0,000796	<b>Prob &gt; F</b>
C. Total	14	0,06481209		0,0149

**Annexe 12 : les valeurs Predites de l'optimum**



# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- Abdel-Hameed, E.-S. S., Nagaty, M. A., Salman, M. S., & Bazaid, S. A.** (2014). Phytochemicals, nutritionals and antioxidant properties of two prickly pear cactus cultivars (*Opuntia ficus indica* Mill.) growing in Taif, KSA. *Food Chemistry*, 160(0), 31-38.
- Albagnac, G., Varoquaux, P., & Montigaud, J. C.** (2002). *Technologie de transformation des fruits* (Lavoisier ed.).
- Ames, J. M.** (1998). Application of Maillard reaction in the food industry. *Food Chemistry*, 62(4): 431-439.
- Amora, L. F., Soares, M. T., Pinho, C., & Almeida, I. F.** (2012). Influence of cultivar and storage conditions in anthocyanin content and radical-scavenging activity of strawberry jams. *International Journal of Agricultural, Biosystems Science and Engineering*, 6(9), 7-11.
- Arba, M., Aich, E., Sarti, A., Belbahri, B., Boubkraoui, L., Hammou, A. A., Zemmouri, A., & et Sbaa, A.** (2000). Valorisation du figuier de barbarie en élevage. *Bull. Mens. Inf. Et de Liaison du PNTTA*, 68, 1-4.
- Aslanova, D., Bakkalbasi, E., & Artik, N.** (2010). Effect of storage on 5-hydroxymethylfurfural (HMF) formation and colour change in jams. *International Journal of Food Properties*, 13, 904-912.
- Barbera, G., Inglese, P., & Pimienta-Barrios, E.** (1995). *Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear*: Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome.
- Benamara, S., Messoudi, Z., Bounane, A., & Chibane, H.** (1999). Formulation et analyses des de la confiture d'abricot allégée. *revue des industries agro-alimentaire*. Janvier-Février, pp. 27-33.
- Berrada, S.** (2009). Biochimie appliquée dans les filières SBSSA (sciences biologiques et sciences sociales appliquées). les glucides: structure, propriétés et applications technologiques lycées Simone Weil académie de Montpellier académie de Dijon.
- Boizot, N., & Charpentier, J. P.** (2006). Méthodes et outils pour l'observation et l'évaluation des milieux forestiers, prairiaux et aquatiques : Méthodes rapides d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Le Cahier des Techniques de l'Inra*, pp: 79-82.

- Broutin, C., Ndiaye, A., & Sokona, K.** (1998). Fabrication artisanale de boissons, sirops et confitures fiches pédagogiques illustrées. In Enda Graph ed., (pp. 1-29).
- Casa, A., & Barbera, G.** (2002). *Mesoamerican domestication and diffusion, pp.143-162. In Nobel P S (ed) Cacti biology and uses. University of California, Berkely, 292p.*
- Cassano, A., Conidi, C., & Drioli, E.** (2010). Physico-chemical parameters of cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) juice clarified by microfiltration and ultrafiltration processes. *Desalination, 250*(3), 1101-1104.
- Chan, S. W., Lee, C. Y., Yap, C. F., Wan Aida, W. M., & Ho, C. W.** (2009). Optimisation of extraction condition for phenolic compounds from limau purut (*Citrus hystrix*) peels. *international Journal of Food, 16* : 203-213.
- Chauhan, O. P., Archana, B. S., Singh, A., & Raju, P. S.** (2012). Utilization of tender coconut pulp for jam making and its quality evaluation during storage. *Food bioprocess technology, 6*, 1444-1449.
- Chougui, N.** (2014). *Caractérisation physico-chimique et évaluation du pouvoir antioxydant de variétés de figues de barbarie (Opuntia ficus-indica L.) de Bejaia.* Université de Bejaia, Bejaia.
- Chougui, N., Sahi, Y., & Belkacemi, M.** (2013). Comparative study between the different compartments of *Opuntia ficus-indica* L. *Inside Food Symposium, Leuven, Belgium. pp: 3.*
- Coria-Cayupán, Y., Ochoa, M. J., & Nazareno, M. A.** (2007). Health-promoting substance contents and antioxidant properties of *Opuntia* sp. fruits from Santiago del Estero, Argentina. Proceedings of the VI International Congress on Cactus pear and Cochineal, Brazil.
- Defelice, M. S.** (2004). Prickly pear cactus, *Opuntia* spp.: a spine tingling tale. *weed technology, 18*: 869-877.
- Dervisi, P., Lamb, J., & I., Z.** (2001). Influence of cultivar and storage conditions in anthocyanin content and radical-scavenging activity of strawberry jams: effects on the properties texturales and colors. *Food Chemistry, 73*(1), 131-138.
- Diaz Medina, E. M. D., Rodriguez, E. M., & Diaz Romeo, C.** (2007). Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruit. *Food Chemistry, 103*: 38-45,38-45.
- El Gheras, H. H., Jaouad, A., & Al Bouadili, A.** (2006). Caracterización química física de tres variedades de higos chumbos amarillos marruecos (*Opuntia ficus indica*) en tres etapas de madurez. *Ciencia y Tecnología Alimentaria, 5*, 93-99.

- Elhakmaoui, A.** (2008). *Cours de contrôle de qualité (analyses chimiques des produits alimentaires) - MST (TACQ)*. Université Hassan II-Mohammadia-FST. pp. 15-16.
- Falcão, H. M., Oliveira, M. T., Mergulhão, A. C., Silva, M. V., & Santos, M. G.** (2013). Ecophysiological performance of three *Opuntia ficus-indica* cultivars exposed to carmine cochineal under field conditions. *Scientia Horticulturae*, *150*, 419-424.
- Fernandez, M. L., Lin, E. C., Trejo, A., & Mc Namara, D. J.** (1992). Prickly pear (*Opuntia* spp.) pectin low density lipoprotein receptor suppression induced by a hypercholesterolemic diet in guinea pigs. *Journal of nutrition*, *122*, 2330-2340.
- Feugang, J. M., Konarski, P., Zou, D., Stintzing, F. C., & Zou, C.** (2006). Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* sp) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*, *11*: 2574-2589.
- Fрати, A.** (1992). Medical implication of prickly pear cactus. *P. Felkar, & LR Moss, Proc. 3rd Annual Texas prickly pear council*, 24-25.
- Friedrich, J. E.** (2001). Titratable Activity of Acid Tastants, In *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*. Ed John Wiley & Sons, Inc. pp 1-6.
- Furat, A.** (2000). la magie des confitures. pp. 1-184.
- Georgé, S., Brat, P., Alter, P., & Amiot, M. J.** (2005). Rapid Determination of Polyphenols and Vitamin C in Plant-Derived Products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *53*: 1370-1373.
- Gibson, A. C., & Nobel, P. S.** (1986). *The cactus Primer*. Havard University Press, Cambridge, Massachusettes.
- Gimenez, J., Kajda, P., Margomenou, L., Piggott, J. R., & Zabestakis, I.** (2001). A study on the colour and sensory attributes of highdrostatic-pressure jams as compared with traditional jams. *81*(13), 1228-1234.
- Grigelmo-Miguel, N., & Belloso-Martin, O.** (1999). Influence of fruit dietary bre addition on physical and sensorial properties of strawberry jams. *Journal of Food Engineering*, *41*:13-21.
- Guevara, J. C., Yahia, E. M., & Brito de la Fuente, E.** (2001). Modified Atmosphere Packaging of Prickly Pear Cactus Stems (*Opuntia* spp.). *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.*, *34*, 445-451.
- Guiroud, J., & Galzy, P.** (1980). *L'analyse microbiologique dans les industries agroalimentaires*. Ed l'usine nouvelle, p. 236.

- Gurrieri, S., Miceli, L., Lanza, C. M., Tomaselli, F., Bonomo, R. P., & Rizzarelli, E.** (2000). Chemical characterization of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) and perspectives for the storage of its juice. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 48: 5424-5431.
- Habibi, Y.** (2004). *Contribution à l'étude morphologique, ultrastructurale et chimique de la figue de barbarie. Les polysaccharides pariétaux: caractérisation et modification chimique.* Université Joseph-Fourier-Grenoble I.
- Hasselmann, C., & Diop, P. A.** (1983). *Le dosage de l'acide ascorbique dans les aliments. Science des aliments (3), pp. 161-181.*
- Hayma, J.** (2004). *Le stockage des produits agricoles tropicaux.* Fondation Agromisa, Wageningen. Les pays-Bas. pp 7.
- Jiménez-Aguilar, D. M., López-Martínez, J. M., Hernández-Brenes, C., Gutiérrez-Uribe, J. A., & Welte-Chanes, J.** (2015). Dietary fiber, phytochemical composition and antioxidant activity of Mexican commercial varieties of cactus pear. *Journal of Food Composition and Analysis*, 41(0), 66-73.
- Kanner, J., Harel, S., & Granit, R.** (2001). Betalains a new class of dietary cationized antioxidants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(11), 5178-5185.
- Kapadia, G. J., Tokuda, H., Konoshima, T., & Nishino, H.** (1996). Chemoprevention of lung and skin cancer by *Beta vulgaris* (beet) root extract. *Cancer letters*, 100(1), 211-214.
- Khatabi, O., Hanine, H., Elothmani, D., & Hasib, A.** (2013). Extraction and determination of polyphenols and betalain pigments in the Moroccan Prickly pear fruits (*Opuntia ficus indica*). *Arabian Journal of Chemistry*, pp 3.
- Lapornik, B., Prosek, M., & Wondra, A. G.** (2005). Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *Journal of Food Engineering*, 71:214-222.
- Lima, M. S., Paiva, E. P., Andrade, S. A. C., & Paixão, J. A.** (2010). Fruit pectins – A suitable tool for screening gelling properties using infrared spectroscopy. *Food Hydrocolloids*, 24(1), 1-7.
- Leroux, H., & Schuber, T. E.** (1983). *les applications des pectines dans les industries agroalimentaires. In: industries alimentaire et agricole (Vol. 9:615-628).*

- Maataoui, B., & Hilali, S.** (2004). Composition physico-chimique de jus de deux types de fruits de figuier de Barbarie (*Opuntia ficus indica*) cultivés au Maroc. *Reviews in Biology and Biotechnology*, 3(2), 8-13.
- Maataoui, B. S., Hmyene, A., & Hilali, S.** (2006). Activités anti-radicalaires d'extraits de jus de fruits du figuier de barbarie (*Opuntia ficus indica*). *Lebanese Science Journal*, 33: 91-97.
- Mau, J. L., Tsai, S. Y., Tseng, Y. H., & Huang, S. J.** (2005). Antioxidant properties of methanolic extracts from *Ganoderma tsugae*. *Food Chemistry*, 93 : 641-649.
- Mauseth, J. D.** (2007). Tiny but complex foliage leaves occur in many leafless cacti (cactaceae). *International Journal of plant sciences*, 168: 845-853.
- Monorose.** (2009). *Standardisation d'une formulation de confiture de chadèque et évaluation des paramètres physico-chimiques, microbiologiques et sensoriels*. Etat Haiti.
- Moreno-Alvarez, M. J., Medina, C., Anton, L., Garcia, D., & Belén-Camacho, D. R.** (2003). Uso de pulpa de tuna (*Opuntia boldinghii*) en la elaboracion de bebidas citricas pigmentadas. *Interciencia*, 28: 539-543.
- Mulas, M., & Mulas, G.** (2004). *Potentialités 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)*. University des études de Sassari groupe de recherche sur la désertification.
- Patras, A., Nigel, P., Brunton, C., Donnell, O., & Tiwari, B. K.** (2010). Effect of thermal processing on anthocyanines stability in foods; mecanisms and kinetics of degradation *Trends in food science and technology*, 18 (12): 1995-2018.
- Piga, A.** (2004). Cactus pear: a fruit of nutraceutical and functional importance. *Journal of the Professional Association for Cactus Développment*, pp 9-22.
- Piga, A., Del Caro, A., Pinna, I., & Agabbio, M.** (2003). Changes in ascorbic acid, polyphenol content and antioxidant activity in minimally processed cactus pear fruits. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol*, 36: 257–262.
- Pimienta-Barrios, E.** (1994). Prickly pear (*Opuntia* spp.): a valuable fruit crop for the semi-arid lands of Mexico. *Journal of Arid Environments*, 28: 1-11.
- Pimienta-Barrios, E., & Munoz, U. A.** (1995). *Domesti-cacion of opuntias and cultivated varieties*. In *Agro-ecology, Cultivation and Uses of Cactus Pear*. (G. Barbera, P. Inglese, and E. Pimienta-Barios, eds.). *FAO Plant Production and Protection paper 132*. *FAO-Rome*, pp.58-63.

- Ramadan, M. F., & Morsel, J. T.** (2003). Recovered lipids from prickly pear [*Opuntia-ficus indica* (L. Mill) peel: a good source of polyunsaturated fatty acids, natural antioxidant vitamins and sterols. *Food Chemistry*, 83:447-456.
- Raoul, M.** (1987). *Transformation des fruits: jus, confiture, fruits secs*. pp. 57-75.
- Raynolds, S. G., & Arias, E.** (2001). *General background on Opuntia*. In: *Cactus Pear (Opuntia spp.) as Forage*. pp. 1-4 (Mondragon, J. C. et Perez, G. S. eds.). FAO, plant production and protection paper- 169. Italy, Rome.
- Reid, D. S.** (2003). Traditional Indirect Methods for Estimation of Water Content: Measurement of °Brix. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, University of California at Davis Davis, California. pp 141-145.
- Reyes-Aguero, J. A., Aguirre, J. R., & Valiente-Banuet.** (2005). Reproductive biology of *Opuntia*: A review. *Journal of Arid Environments*, 64:549-585.
- Saenz, C.** (2000). Processing technologies: an alternative for cactus pear (*Opuntia* spp.) fruits and cladodes. *Journal of Arid Environments*, 46(3), 209-225.
- Saénz, C., Corrales-Garcia, J., & Aquino-Pirez, G.** (2002). Nopalitos, mucilage, fiber, and cochineal. In: Nobel, P. S.(ed.), *Cacti. Biology and uses*, university of california Press, Berkely, Los Angeles, London, pp. 211-234.
- Saenz, C., & Sepulveda, E.** (2001). Cactus-pear juices. *Journal of the Professional Association for Cactus Développement*, 4, pp 3-10.
- Schweizer, M.** (1997). *Docteur Nopal, le médecin du bon Dieu*: Ed. Aloe Plantes et Beauté (APB). Paris, France. APB et M. schweizer, ISBN 2-912978-07-6.
- Scibisz, I., & Mitek, M.** (2009). Effect of processing and storage conditions on phenolic compounds and antioxidant capacity of highbush blueberry jams. *Polish Journal of food and nutrition sciences*, 59, 45-52.
- Sindomathi, G., & Amutha, s.** (2014). Processing and quality evaluation of coconut based jam. *Journal of environment science, Toxicology and Food Technology*, 8, 10-14.
- Souci, S. W., Fachmann, W., & Kraut, H.** (1994). *Food composition. Tables of nutrition values*. 5eme edition. *Medpharm Scientific Publisher, CRC PRESS*.
- Sreekanth, D., Arunasree, M., Roy, K. R., Reddy, T. C., Reddy, G. V., & Reddanna, P.** (2007). Betanin a betacyanin pigment purified from fruits of *Opuntia ficus-indica* induces apoptosis in human chronic myeloid leukemia Cell line-K562. *Phytomedicine*, 14(11), 739-746.
- Stintzing, F. C., Schieber, A., & Carle, R.** (2002). Identification of betalain from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear (*Opuntia ficus indica* (L) Mille.) by high

- performance liquid chromatography electrospray ionization mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, pp 2302-2307.
- Tamer, Moussa-Ayoub, E., El-Sayed Abd El-Hady, A., Helmy Omran, T., Salah El-Samahy, K., Lothar, K., W., & Rohn, S.** (2014). Influence of cultivar and origin on the flavonol profile of fruits and cladodes from cactus *Opuntia ficus-indica*. *Food Research International*, 64: 864–872.
- Tounsi-Saidani, M., Ouerghemmi, I., Ksouri, R., Aidi-Wanes, W., Hammrouni, I., & Marzouk, B.** (2011). HPLC-Determination of phenolic composition and antioxidant capacity of Cactus Prickly Pears Seeds. *Asian Journal of chemistry*, 23:1006-1010.
- Tinsson, W.** (2010). La notion de plan d'expérience: constructions et analyses statistiques (Vol. 67, pp. 3-37): Springer Berlin Heidelberg.
- Vidhya, R., & Narain, A.** (2010). formulation and evaluation of preserved products utilizing under exploited fruit, wood apple (*Limonia acidissima*). *American-Eurasian Journal of agricultural and Environmental Sciences*, 10, 112-118.
- Wang, X., Felker, P., Burrow, M. D., & Paterson, A. H.** (1998). Comparison of RAPD marker patterns to morphological and physiological data in the classification of *Opuntia* accessions. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 3: 3-14.
- Yahia, E. M., & Mondragon-Jacobo, C.** (2011). Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). *Food Research International*, 44(7), 2311-2318.

## Résumé

Le présent travail est basé sur l'étude de l'élaboration d'un processus approprié pour la fabrication d'une confiture à base de la figue de barbarie « *Opuntia ficus indica* ». Une étude préliminaire a permis d'une part à déterminer les quantités des constituants de cette confiture ; pulpe (6g), concentré de jus (4g), sucre (8,5g), jus de citron (2.1g), pectine (0.15g) et zeste d'orange (0.4g), et d'une autre part, à déterminer les valeurs minimales et maximales des facteurs à optimiser par un plan d'expérience Box-Behnken à trois facteurs, à savoir le Brix initial du jus concentré (40°B, 50°B, 60°B), la température de cuisson (70°C, 80°C, 90°C) et le Brix final de la confiture (65°B, 70°B, 75°B), pour obtenir une confiture d'une meilleure teneur en acide ascorbique et en bétalaines. 15 essais ont été réalisés afin de déterminer la combinaison optimale des trois facteurs variés. L'analyse de la variance des résultats montre des coefficients de détermination relativement élevés, ainsi que la concordance des valeurs mesurées avec les intervalles de confiance théoriques, validant ainsi le plan de Box-Behnken exploité pour l'optimisation. Les résultats montrent une influence significative des différents facteurs variés sur les teneurs des composants choisis à l'exception de la température qui n'influence pas significativement sur la teneur en bétalaines. Tandis que l'étude des interactions des différents facteurs a montré une interaction significative entre le Brix du concentré et Brix final sur la teneur en bétaxanthines. Par ailleurs, l'application du plan a permis de déterminer les conditions optimales de fabrication de la confiture; le Brix initial du jus concentré (60°B), la température de cuisson (80°C) et le Brix final de la confiture (75°B). Les analyses physico-chimiques de la confiture préparée donnent des résultats appréciables pour le pH ( $3,7 \pm 0,02$ ), l'acidité titrable ( $0,2 \pm 0.003$  g/100 mL), le °Brix ( $75 \pm 0.00^\circ\text{B}$ ) et les résultats du dosage des substances actives montrent des teneurs de  $45,5 \pm 0,04$  mg EAG/100g en composés phénoliques,  $23,6 \pm 0,08$  mg/100g en acide ascorbique,  $18,6 \pm 0,3$  mg/100g en bétaxanthines et  $0.8 \pm 0.008$  mg/100g en indicaxanthines.

**Mots clé :** figue de barbarie, confiture, plan d'expérience, Brix, cuisson.

## Abstract

This work is based on the study of the development of an appropriate process for the manufacturing of cactus pear jam "*Opuntia ficus indica*". A preliminary study allowed firstly to determine the amounts of the components of this jam; pulp (6g), concentrated juice (4g), sugar (8.5 g), lemon juice (2.1 g), pectin (0.15g) and orange peel (0.4g), and secondly to determine the minimum and maximum values of factors to optimize by experimental design. The used design was the "Box-Behnken with three factors namely; the initial Brix of the juice concentrate (40°B, 50°B, 60°B), the cooking temperature (70°C, 80°C, 90°C) and the final Brix of the jam (65°B, 70°B, 75°B), in order to obtain a jam with better ascorbic acid and Betalains contents. 15 tests were performed to determine the optimal combination of the three different factors. The analysis of variance of the results showed relatively high determination coefficients and the concordance of the measured values with the theoretical confidence intervals, thus validating the Box-Behnken plan operated optimization. The results show a significant influence of various different factors on the contents of selected components, except for the temperature which does not significantly influence the content of betaxanthines. The study of the interactions of factors shows a significant interaction between the Brix of the juice concentrate and the final Brix on bétalains content. Moreover, the application of the design allowed to determine the optimal conditions for the manufacture of the jam; the initial Brix of the juice concentrate (60°B), the cooking temperature (80°C) and the final Brix of the jam (75°B). The physicochemical analysis of the prepared jam gives appreciable results for the pH ( $3.7 \pm 0.02$ ), titratable acidity ( $0.2 \pm 0.003$  g / 100 mL), and °Brix ( $75 \pm 0.00^\circ\text{B}$ ). the results of the determination of the active substances content show values of  $45.5 \pm 0.04$  mg EAG / 100g of phenolic compounds,  $23.6 \pm 0.08$  mg / 100g of ascorbic acid,  $18.6 \pm 0.3$  mg / 100g betaxanthins and  $0.8 \pm 0.008$  mg / 100g of indicaxanthines.

**Keywords:** cactus pear, jam, experimental design, Brix, cooking.