

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Bejaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Science Alimentaires
Spécialité : Qualité des Produits et Sécurité alimentaire



Réf :.....

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

MASTER

Thème

**Optimisation des paramètres de séchage et
d'extraction des antioxydants de la fraise
(*Fragaria X Ananassa Duch*)**

Présenté par :

MOUSSAOUI Yamina & MOKAT Samira

Soutenu le : **24 Juin 2018**

Devant le jury composé de :

M^{me} GUERFI F.

MCB

Présidente

M^r BOUKHALFA F.

MCB

Encadreur

M^{me} MEDOUNI S.

MCB

Examinatrice

Année universitaire : 2017 / 2018

Dédicaces

*Aucune phrase ne saurait exprimer toute l'affection et l'amour que
j'ai pour vous*

*Mes très chers parents, qui ont la patience de nous élever et
nous enseigner, et pour leurs sacrifices dans le but de nous
conférer une meilleure vie.*

Que dieu les garde pour nous

Mon très cher mari Yacine

Ma vie à tes côtés est rempli de belles surprises.

*Tes sacrifices, ton soutien morale et matériel, ta gentillesse sans
égal, ton profond attachement m'ont permis de réussir mes études.*

*Sans ton aide, tes conseils et tes encouragements ce travail n'aurait
vu le jour.*

Mes grands parents paternels et maternels

*Mes chères frères et sœurs Zahir, Achour, Lila, Nadia, Siham,
Nadjette*

*A mes anges et princesses adorés Faride, Adem, Malak, Ayoubé,
Sifo*

A toi ma très chère Yamina et sa famille

*A mon beaux- père et ma belle-mère que Dieu vous donne une
longue vie et de santé.*

*Je dédie ce mémoire à toute la promotion sciences alimentaires
2017/2018*

Samira

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers parents

Source d'amour et d'agrément inépuisable

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon grand amour, mon estime, ma vive gratitude, mon intime attachement et ma profonde affection.

Je ne saurai et je ne pourrai vous remercier pour tout ce que vous avez fait pour moi et ce que vous faites jusqu'à présent.

Qu'ALLAH vous protège.

*A mon frère adorable : **Elhachemi**, et ma petite sœur : **Wissam***

Que Dieu me les garde.

*A mes chères grands- mères **Djida & Meriama**. Et mon chère grand -père*

***Akli** qui m'on toujours soutenue que dieu les protèges.*

*A mon oncle **Foudil** et sa femme **Soria** ainsi que leurs enfants **Nouria**,*

***Soufian, Ines** et mon petit ange que j'adore **Billal**.*

A mes oncles et mes tantes maternels pour leur aide et leur encouragement.

A tous mes copines, il m'est impossible de vous citer tous tant que vous êtes nombreux

*A ma chère binôme **Samira** et sa famille, Et toute la promotion*

QPSA 2018.

Yamina

REMERCIEMENT

Avant tout, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant qui nous a donné la santé, la volonté, la patience pour réaliser ce travail.

*Nos profonds remerciements à notre promoteur **Mr. BOUKHALFA Farid** pour ses encouragements, ces conseils, son aide tout au long de ce travail.*

Nous tenons à exprimer notre grande considération aux membres du jury, tout particulièrement :

- **M^{me} GUERFI.** pour avoir acceptée de présider le jury de notre soutenance.*
- **M^{me} MEDOUNI .S** d'avoir acceptée de juger et examiner notre travail.*

Nous tenons également à remercier toute l'équipe de laboratoire de « Technologie alimentaire » pour leur aide et leur soutien.

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail et à tous ceux qui nous ont soutenus moralement par leur affection et qui nous ont permis par leurs conseils et leur soutien quotidien de toujours avancer.

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION 1

Partie théorique

I-Généralités sur la fraise.....	3
I-1 Historique	3
I-2 Description de la fraise	3
I-2.1 Définition.....	3
I-2.2 Structure	3
I-2.3 Classification botanique.....	4
I-2.4 Composition et valeur nutritionnelle	4
I-2.6 Production	5
I-2.6.1 Production mondiale	5
I-2.6-2 Production nationale et régionale	6
I-2-7 Consommation de la fraise	7
II-Séchage.....	6
II-1 Différents méthodes de séchage.....	6
II-1.1 Méthodes traditionnelles.....	6
II-3.2 Méthodes industrielles.....	7
III-Généralités sur les plans d'expériences.....	8
III-1 Définition de plan d'expérience.....	8
III-2 Principe.....	8
III-3 Terminologie.....	8
III-4 Plans pour surfaces de réponse.....	9
III-5 Plans de Box Behnken.....	10
III-5-1 Définition du plan de Box Behnken.....	10

Partie pratique

I. Matériel et méthodes

I-Matériels et méthodes végétal	11
I-1 Matériel végétal	11
I-2-Paramètres physico-chimiques	11
I-2-1 Taux d'humidité.....	11
I-2-2 Potentiel d'Hydrogène.....	11
I-2-3 Acidité titrable.....	12
I-2-4 Cendres totaux.....	12
I-2-5 Teneur en sucres totaux.....	13
I-2-6 Teneur en sucres réducteurs	13
I-3 Cinétique de séchage.....	13
I-4 Etude des antioxydants des la fraise.....	14
I-4-1 Optimisation des méthodes d'extraction.....	14
I-4-2 Optimisation des conditions d'extraction des composés phénoliques de la fraise.	15
I-5 Extraction et dosage des antioxydants.....	17
I-5-1 Dosage des polyphénols.....	17
I-5-2 Dosage des flavonoïdes.....	17
I-5-3 Dosage des caroténoïdes.....	18
I-5-4 Dosage des anthocyanines	18
I-5-5 Dosage de la vitamine C.....	19
I-6 Détermination de l'activité antioxydante	19
I-6-1 Neutralisation des radicaux libres.....	19
I-7 Etude Statistique	20

II. Résultats et discussion

I- Analyse physico-chimiques.....	21
I-1 Humidité.....	21
I-2 Potentiel hydrogène (pH)	22
I-3 Acidité titrable.....	22
I-4 Cendres totaux.....	22
I-5 Sucres totaux.....	23
I-6 Sucres réducteurs.....	23

II- Cinétique de séchage	24
III- Etude des antioxydants de la fraise fraîche et séchée.....	25
III-1 Optimisation de la méthode d'extraction.....	25
III-2 Plan d'expérience d'extraction des composés phénoliques de la fraise.....	27
IV- Dosage des composés bioactives.....	32
IV-1 Dosage des polyphénols.....	32
IV-2 Flavonoïdes.....	34
IV-3 Caroténoïdes.....	35
IV-4 Anthocyanines.....	36
IV-5 Vitamine C (acide ascorbique)	38
VI- Activité antioxydante.....	39
VI-1 Inhibition du radical DPPH*.....	39
CONCLUSION.....	41

Références bibliographiques

Annexes

Liste des abréviations

ANOVA: Analyse de variance

BBD: Box-Behnken Design

DCPIP: 2, 6 dichlorophenol-indophénol

DNS: Dinistrosalicylique Acid

DPPH: 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl

E. Cy.3-Glu: Equivalent cyanidine-3-glucoside

E.A.C: Equivalent d'Acide Citrique

E.A.G: Equivalent d'Acide Gallique

E.Q : Equivalent Quercitrine

IAA : Industrie agroalimentaire

IC 50: Concentration Inhibitrice à 50%

MHz : Mégahertz

rpm : Rotation par minute

Liste des figures

Figure	Titre	Page
01	Caractéristiques morphologiques de la fraise	04
02	Illustration de plan Box-Behnken pour quatre facteurs	13
03	Photographie de tranches de fraise et de l'étuve ventilée utilisée	20
04	Résultats de l'évolution de l'humidité, des différentes tranches de la fraise étudiée aux températures de 40°C, 50°C et 60°C	24
05	Teneur en polyphénols totaux de la fraise étudiée par les différentes techniques d'extraction	26
06	Plan de prédiction réelle des polyphénols des la fraise.	29
07	Teneur en composés phénoliques des extraits étudiés	33
08	Teneur en flavonoïdes des extraits étudiés	34
09	Teneur en caroténoïdes des extraits étudiés	36
10	Teneur en anthocyanes des extraits étudiés	37
11	Teneur en vitamines C des extraits étudiés	38
12	Pouvoir anti radicalaire, de la fraise à différentes concentrations. A : fraise fraîche B : fraise séchée	40

Liste des tableaux

Tableau	Titre	Page
I	Niveaux des variables choisies pour les essais	18
II	Le model expérimental du plan de Box-Behnken utilisé	19
III	Résultats des différentes analyses physico-chimiques effectuées	24
IV	Plan et résultats d'optimisation des conditions d'extraction des composés phénoliques de la fraise étudiée	28
V	Analyse de la variance du plan Box-Behnken de model étudié.	30
VI	Estimation des coefficients de régression de model étudié Estimation des coefficients de régression de model étudié	30
VII	Conditions maximales d'extraction des polyphénols de la fraise étudiée	32

Introduction

Au cours de la dernière décennie, la consommation des fruits et légumes suscite un intérêt croissant auprès des consommateurs. Ce phénomène social est certainement lié à la prise de conscience quant à la relation de cause à effet entre la qualité des aliments et la santé.

Les fruits et les légumes présentent des caractéristiques favorisant une bonne santé, par sa composition renfermant les éléments nutritifs de base, ainsi que la présence d'un éventail de molécules bioactives connus sous le nom d'antioxydants, tels que les vitamines C et E, les caroténoïdes, les composés phénoliques et les flavonoïdes, jouant un rôle primordial dans le système de défense antioxydant du corps humain (**Allane et Benamara, 2010**).

En effet, de nombreuses études épidémiologiques ont montré qu'une alimentation riche en fruits est souvent associée à une faible incidence de plusieurs pathologies chroniques, notamment l'obésité, les infections, les maladies cardiovasculaires et neurologiques et le cancer (**Allane et Benamara, 2010**).

En termes de production des fruits, selon la base de données statistiques de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, la fraise (*Fragaria × ananassa* Duch) est parmi les cultures les plus importantes au monde, avec une production et une valeur commerciale globale de 4,1 millions de tonnes. Sur la base de ce chiffre, les fraises apparaîtraient clairement comme l'une des baies les plus consommées en Algérie, avec une production continue estimée jusqu'à 100.000 quintaux en 2015 (**FAO, 2013**).

En outre, les fraises sont économiquement et commercialement importantes et largement consommées à l'état frais ou sous d'autres formes (jus, concentré de confiture, gelée et séché réhydraté avec du yogourt et des produits de boulangerie) (**Allane et Benamara, 2010**).

Selon **Giampieri et al., (2012)**, la fraise est considérée comme un fruit mou périssable présentant une durée de conservation post-récolte extrêmement courte, en raison de la faible résistance mécanique et de la sensibilité élevée à l'attaque des pathogènes. Ce fruit est très saisonnier et sa disponibilité est très étroite dans l'année.

Ils font partie des baies les plus étudiées en agronomie, en génomique et en nutrition, c'est pour cela que l'homme a de tout en temps recherché le meilleur moyen de conserver ce fruit dont le but est de prolonger la durée de cet aliment en réduisant les phénomènes d'altération directs ou indirects, aussi bien sur le plan nutritionnel, hygiénique, qu'organoleptique (**Allali, 2008**).

Il existe plusieurs types de conservations : conservation par des méthodes traditionnelles, ajout du sucre, le froid, et la chaleur (séchage) (**Lahmari et al., 2012**).

De nombreux produits agricoles, consommés en grandes quantités ne sont pas toujours disponibles toute l'année. Une grande partie de cette production agricole (la fraise) se prête parfaitement à une conservation par séchage pour assurer une continuité dans sa disponibilité(Lahmari *et al.*, 2012).

Dans notre travail, la technique choisie pour la conservation de la fraise est le séchage, ce dernier est défini comme l'une des méthodes de stockage qui tend à augmenter la période de conservation d'un aliment, tout en préservant sa qualité nutritionnelle. Le séchage est le processus d'élimination de l'humidité dans un produit jusqu'à une valeur constante par évaporation (Wang *et al.*, 2011). L'efficacité de la technique de séchage est mesurée à deux niveaux: les coûts d'exploitation et la qualité du produit fini.

Le présent travail a pour objectif la recherche des paramètres optimaux de séchage et d'extraction d'une source importante des substances bioactives de la fraise qui est réalisé en mettant en œuvre un plan d'expérience en utilisant la méthode de surface de réponse (RMS) développée par le plan de Box-Behnken (BBD), ainsi d'étudier la composition en antioxydants de l'extrait optimisé, entre autres les composés phénoliques.

Synthèse
bibliographique

I- Généralités sur la fraise

I-1 Historique

Les fraises poussaient dès la plus haute antiquité à l'état sauvage en Amérique et en Asie ainsi que dans les zones Sub-alpines d'Europe occidentale (**Darrow, 1966**).

Nos ancêtres connaissaient et utilisaient les fraises des bois, mais ne les cultivaient pas. La culture de la fraise n'a véritablement commencé qu'autour de l'an 1300 où les Européens transplantaient des fraisiers des bois dans leurs jardins, L'histoire n'est pas unanime sur le sujet, car certains disent que ce serait Jacques Cartier qui aurait été le premier à rapporter *Fragaria virginiana* en Europe, Cependant, d'autres témoignent que ce serait Francis Drake qui aurait rapporté des fraisiers des colonies de Virginie jusqu'en Angleterre en premier. Les fraisiers sauvages ou cultivés appartiennent tous au genre *Fragaria* de la famille des Rosacées(**Darrow, 1966**).

Depuis l'obtention des fraisiers à gros fruits, *Fragaria X ananassa*, les améliorateurs génétiques travaillent à faire des croisements entre les différentes variétés afin d'en obtenir possédant les critères désirés (**Darrow, 1966**).

Ils existent actuellement environ 600 variétés différentes de fraisiers et ils varient entre eux selon plusieurs critères dont la taille, la texture, la saveur, la couleur, la résistance aux maladies, la période de production, le niveau en éléments nutritifs... etc.,(**Hebbache et al., 2013**).

I-2 Description de la fraise

I-2-1 Définition

Fraise (*Fragaria x ananassa Duch.*) est un fruit non-climactérique de la consommation humaine fréquente(**da Silva Pinto et al., 2008**). La fraise est également une bonne source de vitamine C, et d'autres composés antioxydants, tels que les flavonoïdes et les composés phénoliques(**Robards et al., 1999**).

I-2-2 Structure

La structure de la fraise comporte de nombreux petits carpelles individuels (akène), portés sur un réceptacle hémisphérique ou conique qui s'accroît jusqu'à devenir à la maturité une masse pulpeuse, juteuse, délicieuse au goût (**Hebbache et al., 2013**).

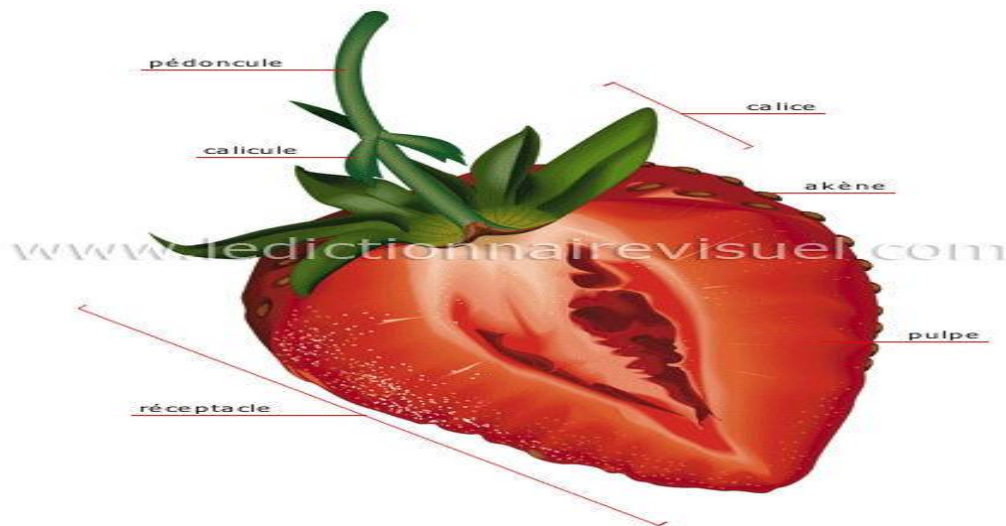


Figure n°1 : Caractéristiques morphologiques de la fraise (Anonyme I, 2018)

I-2-3 Classification botanique

Fragaria x ananassa Duch regroupe l'ensemble des espèces cultivées de fraisier. Cette plante herbacée de la famille des Rosacées produit des stolons qui permettent la formation de nouveaux plants par multiplication végétative. La multiplication par graine est en effet presque exclusivement réservée à la création variétale (Hebbache et al., 2013).

Les fraises, issues de la reproduction sexuée et considérées comme des fruits, sont en fait des polyakènes. En effet, la fraise correspond au réceptacle charnu sur lequel sont disposés les akènes, véritables fruits au sens botanique du terme (Hebbache et al., 2013) (Annexe I).

I-2-4 Composition et valeur nutritionnelle de la fraise

La fraise est un fruit très riche en eau 90% et relativement peu chargé en glucide (Garcia et al., 2002). De plus, elle est peu calorique, aussi riche en vitamine, la plus intéressante est la vitamine C qui intervient dans les grandes fonctions de l'organisme, ainsi que les vitamines de classe B (B8 biotine qui joue un rôle contre la chute des cheveux, B9 acide folique qui agit sur la croissance et la division cellulaire) de plus un apport en oligo-éléments et macronutriments, (Souci et al., 1981) (Annexe I).

Elle figure parmi les fruits les plus riches en fibres ses petits grains étant composés de pectine et de cellulose ces fibres bénéfiques pour le transit et le fonctionnement du système digestif, ce fruit contient aussi une quantité importante de l'acide éllagique (Souci et al., 1981).

Les flavonoïdes sont les principaux composés phénoliques présents dans la fraise (Tulipani *et al.*, 2009), et sont parmi les composés qui contribuent le plus à sa capacité antioxydant (Meyers *et al.*, 2003). Les anthocyanines sont responsables de la couleur rouge-orange des fraises, qui auraient un effet protecteur contre le cancer (Hannum, 2004).

I-2-5 Production

La fraise a été utilisée à l'époque dans les cosmétiques, pour son parfum appelé fragrance

I-2-5-1 Production mondiale

À l'échelle mondiale, la production de fraises connaît une hausse depuis 2010. Cette production atteignait plus de 8 millions de tonnes en 2014 (Plénet *et al.*, 2016). Les 10 plus gros pays producteurs au monde représentent plus de 80% de la production mondiale, les trois principaux pays producteurs en 2014 sont la Chine, les États-Unis et le Mexique avec respectivement une production de 7 643 730 tonnes, 1 420 570 tonnes et 468 248 tonnes de fraises, après viendra la Turquie avec une production de 468 248 tonnes suivie de l'Égypte, la Turquie, l'Espagne, l'Allemagne et la Pologne. La France arrive en dernière avec 58737 tonnes de fraises produites malgré que ce soit la grande consommatrice de ce fruit (FAO, 2017) (Annexe II).

I.2.5.2 Production nationale et régionale

Selon la direction des services agricoles la production nationale de la fraise est en augmentation continue, dont les wilayas de Jijel, Skikda, Biskra, Tipaza sont les plus grands producteurs en Algérie. La région de Jijel (communes : Sidi Abdelaziz, Oued adjoul, El Ancer, Ziama mansouria) occupe la première place de cette production d'où la culture de la fraise a été lancée à titre expérimental à Jijel en 2001-2002, sur quatre (4) hectares. L'expérience a donné lieu à une production de l'ordre de 1.200 quintaux de fraise. En 2010, la superficie de la culture de la fraise a atteint 120 hectares et une production de 36.000 qtx, alors qu'en 2015, les 323 hectares, superficie de culture de fraise a donné production de 100.000 qtx suite la région de Tipaza (communes : Bou Ismaïl) sur 300 ha avec une production de 27500 en 2015, après vient de Skikda (montagnes : Tamalous, Bouchtata, Ain zouit) en troisième place sur 275 ha avec un rendement de 23000 qtx en 2011 et 26500 qtx en 2015, en dernier vient la région de Biskra communes : (Daïras de Fouka, Koléa) avec une production de 15000 qtx sur une superficie de 97 ha en 2015 (Annexe II).

II-Le séchage

Le séchage est une opération qui consiste à réduire le taux d'humidité contenu dans un aliment, c'est la méthode la plus répandue en agriculture pour la conservation des fruits et légumes (Alibas, 2014), faciliter leur transport, freiner leurs pertes et étendre la consommation aux périodes de non production (Ahouannou et al., 2000).

Le séchage permet aussi d'inhiber le développement des microorganismes et de prévenir les modifications biochimiques, mais peut provoquer une perte des arômes et de la qualité nutritionnelle de ces aliments (Ding et al., 2012).

Il existe plusieurs types de séchage: le séchage au soleil, la lyophilisation, le séchage osmotique, le séchage par pulvérisation, le séchage à chaud, le séchage sous vide et le séchage par microondes (Ding et al., 2012).

II-1 Différentes méthodes de séchage des fruits dans le monde

II-1.1 Méthode traditionnelle

- **Le séchage au soleil**

C'est un séchage qui ne demande pas un important investissement car il se fait par exposition du produit au soleil, mais c'est une méthode qui demande beaucoup de temps et est dépendante du climat. Le produit final peut être contaminé par des insectes et des microorganismes (Bahlouli et al., 2008).

- **Séchoirs solaires directs**

Les fruits sont disposés sur des claies superposées, elles-mêmes disposées dans un cadre en bois recouvert soit d'une serre en verre soit de feuilles de polyéthylène (noire dessus et transparentes sur les cotés). L'air passe par une ouverture basse et ressort par le haut (grillage), d'où une ventilation par thermo-circulation ou aidée (ventilateur) (Bahlouli et al., 2008).

- **Séchoirs solaires indirects**

L'air préchauffé dans un capteur solaire passe dans une enceinte de séchage où s'effectue la déshydratation des fruits.

Le capteur est fait :

- avec une surface transparente (verre ou plastique)
- d'une caisse d'isolation (laine de verre) qui constitue le fond et les cotés du capteur (évite les pertes thermiques). Température de l'air possible environ 80° C, Circulation par thermo-circulation ou à l'aide d'un ventilateur (Bahlouli et al., 2008).

II-1.2 Méthodes industrielles

- **Séchage au four**

Chauffer le four entre 50 et 60°C et déposer les fruits durant 10 à 12 heures, selon la quantité. Garder la porte du four entrouverte pour que l'humidité puisse s'échapper. Si les fruits sont épluchés, la température du four doit être légèrement plus haute que pour des fruits non épluchés. Par la suite, on peut toujours leur rendre l'eau qu'ils ont perdue, en les faisant tremper dans de l'eau à peine tiède. Éviter d'y mettre trop d'eau, au risque qu'ils perdent leurs propriétés nutritives. Cette technique est caractérisée par les consommations importantes en électricité nécessiteraient un prix de vente des produits finis (**Bahlouli et al., 2008**).

- **Séchage avec utilisation d'un séchoir**

Après la réception des fruits frais, puis un stockage momentané, si la quantité reçue est importante il faudra prévoir un investissement dans une chambre froide pour assurer un stockage avant leur séchage. Dans un deuxième temps, on recueille la quantité de fruit pouvant être séchée durant un cycle de transformation, puis on procède au tri. On écarte les produits inexploitable pour la transformation, notamment en fonction du taux de maturation des fruits évalué par appréciation visuelle. Cette opération est réalisée (**Bahlouli et al., 2008**).

- **Séchage par microondes**

C'est un séchage qui utilise des ondes électromagnétiques, ondes de fréquence située entre 915 MHz 2450 MHz. Elles permettent de chauffer un produit uniformément ou de façon sélective, selon les propriétés du produit ; qui minimise les pertes de la qualité, diminue le temps et l'énergie nécessaire pour le séchage (**Alibas, 2014**).

III-Généralité sur les plans d'expériences

III-1 Définition de plan d'expérience

Un plan d'expérience consiste en la mise en œuvre organisée d'un ensemble d'unités expérimentales de manière à révéler les effets de différents traitements, (Giroux and Girard, 2009). La méthode d'expérimentation choisie doit faciliter l'interprétation des résultats, et minimiser le nombre des essais sans toutefois sacrifier la qualité. L'objectif principal peut être résumé par la devise : « Obtenir un maximum d'information avec un minimum d'expérience » (Tinsson, 2010).

III-2 Principe

Il consiste à faire varier simultanément les niveaux d'un ou de plusieurs facteurs, qui sont les variables, discrètes ou continues, à chaque essai. Ceci va permettre de diminuer fortement le nombre d'expériences à réaliser tout en augmentant le nombre de facteurs étudiés, en détectant les interactions entre les facteurs et les optimaux par rapport à une réponse (Faucher, 2006).

Il existe différent type de plans d'expérience, qui peuvent être toutefois regroupés en grandes familles :

1. Les plans factoriels complets ou fractionnaires à deux niveaux.
2. Les plans factoriels à plus de deux niveaux.
3. Les plans en blocs complet ou incomplets.
4. Les plans de surface de réponse.
5. Les plans de mélange.
6. Les plans optimaux.

Chacun de ces plans, diffère selon ses propriétés, permet de résoudre certains problèmes particuliers. On peut cependant diviser les plans d'expériences en deux grandes catégories :

- Les plans pour étudier (estimer et comparer) les effets des paramètres.
- Les plans pour régler les paramètres afin d'atteindre un optimum (Faucher, 2006).

III-3 Terminologie

Réponse : C'est la grandeur physique étudiée (Vivier, 2002)

Facteur : Sont les variables qui peuvent modifier la réponse (Halhal et Hadroug, 2017).

Niveau d'un facteur : Est la valeur donnée à un facteur pour réaliser une expérience (Halhal et Hadroug, 2017).

Domaine d'étude : domaine expérimental délimité par les niveaux inférieurs et supérieurs des facteurs étudiés (KAMOUN et al., 2011).

Plan d'expérimentation : matrice déclinant l'ensemble des conditions expérimentales, imposées

aux variables naturelles pour la réalisation des différents essais, dans le cadre du plan d'expériences choisi (KAMOOUN et al., 2011).

Matrice d'expériences : indique les niveaux pris par les variables codées aux différentes expériences (KAMOOUN et al., 2011).

III-4 Plans pour surfaces de réponse (RSM)

La méthode des surfaces de réponse (RSM) est une technique d'analyse statistique puissante, bien adaptée à la modélisation des processus complexes ou la réponse est influencée par plusieurs variables et dont l'objectif est d'optimiser cette réponse. Box et Wilson sont les premiers à introduire la théorie de la RMS en 1951, et qui devient par suite la plus utilisée pour l'optimisation des processus. Dans ce modèle, plusieurs type de plans sont utilisés, les plus connus et les plus utilisés sont les plans composites centrés, les plans Box-Behnken, les plans de Doehlert et les plans hybrides (KAMOOUN et al., 2011).

Le modèle mathématique utilisé avec le plan de Box-Behnken pour quatre facteurs est un modèle du second degré classique :

$$Y = a_0 + \sum a_i x_i + \sum a_{ij} x_i x_j + \dots + \sum a_{ii} x_i^2 + e$$

Ou :

Y : la réponse ou la grandeur d'intérêt, mesurée ou cours de l'expérimentation et obtenue avec une précision donné.

X_i, X_j : Le niveau attribué aux facteurs *i* et *j* par l'expérimentateur pour réaliser un essai, valeur parfaitement connue, dont ce niveau est déterminé sans erreur (hypothèse classique de la régression).

a₀, a_i, a_{ij}, a_{ii} : Les coefficients du modèle mathématique adoptés à priori, doivent être calculés à partir des résultats des expériences.

e : l'erreur.

III-5 Plan Box- Behnken

III-5-1 Définition du plan de Box–Behnken

Plan de Box-Behnken est un exemple de modélisation de surface de réponse (RMS). Il nécessite 15 à 27 essais, qui sont dans la plupart des cas satisfaisants .Il possède des structures symétriques dans lesquelles chaque facteur prend trois niveaux. Il est la combinaison de plans factoriels à deux niveaux, avec des blocs incomplets équilibrés suivant un arrangement particulier avec plusieurs essais au centre du domaine expérimental (**Faucher, 2006**).Le plan de Box-Behnken pour quatre facteurs, est un cube possède 16 arête qui représente 27 essai à qui sont ajoutés, habituellement points d'expériences, au centre du domaine d'étude Dagnelie (2008)(Annexe IV).

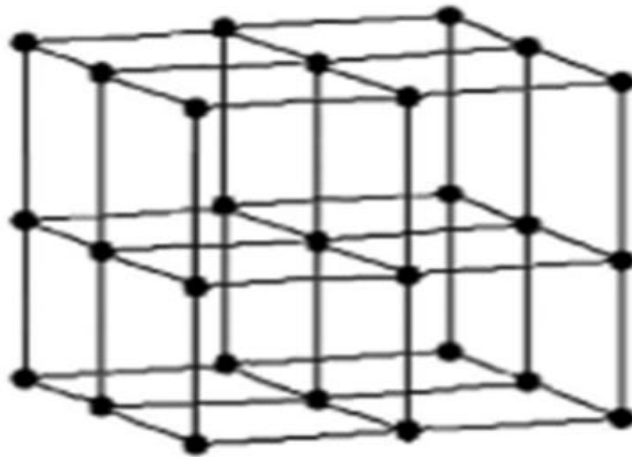


Figure n°2 : Illustration de plan Box-Behnken pour quatre facteurs (**KAMOUN et al., 2011**)

Partie
expérimentale

I – Matériel et méthodes

I-1 Matériel végétal

Afin de réaliser l'objectif de la présente étude, un échantillonnage des fraises est procuré du marché hebdomadaire de la ville de Bejaia. Les fruits sont prélevés, au hasard en se basant sur des critères bien établis : fruit complet et sain, en pleine maturation, de taille et de couleur uniforme, etc.).

L'échantillon représentatif, d'environ de 5kg, est divisé en deux lots. Le premier servira pour étudier la composition physico chimique et bioactive à l'état frais, alors que le seconde pour étudier la cinétique de séchage et l'optimisation de l'extraction des composés phénoliques à l'état séché.

I-2 Paramètres physico-chimiques

I-2-1 Taux d'humidité

La teneur en humidité a été déterminée selon le protocole de (Doymaz *et al.*, 2004). Une quantité de 5g d'échantillon sont séchés dans une étuve ventilée à 103°C ±2°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Les résultats, exprimés en pourcentage, sont calculés selon la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité (\%)} = \frac{(P_f - P_s)}{(P_f - P_0)} * 100$$

D'où :

P_0 : poids de creuset vide (g)

P_f : poids de creuset contenant l'échantillon, avant étuvage (g)

P_s : poids de creuset contenant l'échantillon, après étuvage (g)

I-2.2 Potentiel d'Hydrogène (pH)

La mesure de pH est réalisée selon la méthode décrite par (Dutta *et al.*, 2006) en utilisant un pH mètre.

Une prise d'essai de 5g bien broyé est mélangée avec 50 ml de l'eau distillée. Après une agitation de 20minutes, l'ensemble est filtré et placé au pH-mètre, et la valeur du pH est indiquée sur l'afficheur.

I-2.3 Acidité titrable

L'acidité de la fraise est déterminé selon la méthode décrite par (Verma, 2000). Une prise d'essai de 5g est mélangée avec 20 ml de l'eau distillée à un pH neutre. L'ensemble est mis sous agitation sur une plaque agitatrice chauffante, pendant 15 minutes, suivi d'une filtration. Le filtrat ainsi récupéré subi une titration, à température ambiante, avec une solution d'Hydroxyde de sodium NaOH (0.01N), sous agitation en même temps la sonde du pH-mètre est plongée dans la solution. Le titrage est arrêté lors d'une valeur du pH =7.

La teneur en acidité titrable est exprimée en g d'équivalent d'acide citrique dans 100g de d'échantillon, est calculée selon la formule qui suit :

$$\text{Acidité (E.A.G./100g)} = \frac{\text{Nb} \cdot \text{Vb} \cdot \text{M}}{\text{Va} \cdot \text{P}}$$

D'ou :

M: Masse molaire de l'acide citrique (192,13 g/mol).

Va: Volume en millilitres de la prise d'essai.

Vb: Volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de sodium utilisé.

Nb: Normalité de la solution d'hydroxyde de sodium utilisé (0,01 N).

P : Nombre de protons (égale à = 3).

I-2.4 Cendres totaux

Le taux des cendres est évalué selon la méthode décrite par (Leterme et al., 2006).

Une prise d'essai de 2 g de chaque échantillon est incinérée dans un four à moufle pendant 5h à 500° C. Le taux de cendre est calculé par la formule suivante en mg/100g de fruit :

$$\text{Teneur en cendre} = \frac{P_{v+e} - P_v}{P}$$

D'où :

P_(v+e) : Poids des creusets avec l'échantillon.

P_v : Poids des creusets vide.

P: prise d'essai.

I-2.5 Teneur en sucres totaux

La teneur en sucres totaux est déterminée par la méthode de **(Dubois et al., 1956)**. Une prise d'essai de 2g de la fraise est mélangée avec 50ml de méthanol 80% et laissée sous une agitation pendant 1h30 à température ambiante.

Un volume de 3ml de sels CAREZ I et CAREZ II est additionné au mélange, suivi d'une filtration. Pour un volume de 1 ml du filtrat sont ajoutés respectivement, 1 ml de phénol à 5% et 5 ml d'acide sulfurique H_2SO_4 (1N), le mélange est mis à l'abri de la lumière pendant une heure à une température ambiante. L'absorbance est mesurée à 485nm à l'aide d'un spectrophotomètre contre un blanc.

La teneur en sucre totaux des différents échantillons est exprimée en g équivalent de glucose /100g de fruit, en se référant à une courbe d'étalonnage **(Annexe V)**.

I-2.6 Teneur en sucres réducteurs

La teneur en sucres réducteurs de la fraise est déterminée selon la méthode décrite par **(Zerrad et al., 2008)**.

Une prise d'essai de 1g de fruit est mélangée avec 50 ml d'eau distillé. Le mélange agité pendant 45 min à température ambiante est filtré.

Un volume 200 μ l d'extrait est alors additionné de 300 μ l du réactif DNS, et subi un chauffage à un bain marie à 100°C pendant 5 minutes. Après chauffage, 1.5 ml d'eau distillé, est ajouté au mélange qui sera laissé à l'abri de la lumière pendant 15 min, l'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 530 nm à l'aide d'un spectrophotomètre. La teneur en sucres réducteurs, exprimée en équivalent de glucose, est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions opératoires **(Annexe V)**.

I-3 Cinétique de séchage

Le séchage est effectué dans une étuve ventilée iso-thermique de marque POL-EKO APARATURA. Les fraises nettoyées et débarrassées de pédoncule sont découpées en tranches d'épaisseurs de 0.5cm, 1cm et 1.5cm qui subissent un séchage à l'étuve aux différentes températures (40°C, 50°C, 60°C).



Figure n°3 : Photographie de tranches de fraise et de l'étuve ventilée utilisée.

La quantité d'eau éliminée pendant le séchage a été enregistré chaque 30 minute au moyen d'une balance de précision (RADWAG PS 210.R2). Le séchage est arrêté lorsque le poids de l'échantillon est assez constant dans le temps

I-4 Etude des antioxydants de la fraise.

I-4.1 Sélectionner la meilleure méthode d'extraction

Dans le but de sélectionner la technique extraction des antioxydants de la fraise, une comparaison entre quatre techniques d'extractions à savoir ; macération ; Soxhlet ; extraction assisté par micro-ondes(EAM) et extraction au bain ultrason, est procédée, dont la teneur en composés phénoliques extraite est le seul critère de sélection établie.

L'éthanol aqueux est choisi comme solvant d'extraction, vu qu'il plus respectueux pour l'environnement, moins toxique, est le plus souvent utilisé (Bartnick *et al.*, 2006).

➤ Extraction assistée par ultrasons (EAU)

L'extraction est réalisée selon le protocole décrit par (Toledo Benassis et Antunes ,1988). Une quantité de 5g de broyat de fruit est introduits dans le sonicateur avec 50 ml de solvant (éthanol 80%). La température de la solution est régulée à 60°C. L'extraction dure 30 minutes et répétée 3 fois.

➤ Extraction assistée par micro-ondes (EAM)

L'extraction est réalisée selon le protocole décrit par (Toledo Benassis et Antunes ,1988). Une quantité 5g de broyat de fruit est introduite dans la chambre d'extraction avec 50 ml de solvant (éthanol 80%). L'extraction dure 60s et répétée 3 fois. La puissance micro-onde appliquée est de 600 W

➤ **Extraction assistée par Soxhlet**

L'extraction est réalisée selon le protocole décrit par **(Penchev, 2010)**. Une quantité de 5g de fraise est placée dans une cartouche, et insérée dans l'extracteur. Un volume de 50 ml de solvant est placé dans le ballon. Le système de chauffage est mis en marche et réglé à la température de 60°C. L'extraction dure 3h, et l'opération est répétée 3fois

➤ **Extraction assistée par macération**

L'extraction est réalisée selon le protocole décrit par **(Hayat et al., 2009)**. Une prise d'essai d'environ de 5g, sont mises en contact à 50ml de solvant (éthanol 80), et l'ensemble est laissé macérer sous agitation pendant 30 min. Une filtration sur filtre à papier est réalisée afin de récupérer le filtrat, et le retentât subira une autre extraction dans les mêmes conditions, jusqu'à l'obtention d'une couleur plus au moins transparente (épuisement de la matière).

I-4.2 Optimisation des conditions d'extraction des composés phénoliques de la fraise

Après le choix de la méthode d'extraction des antioxydants de la fraise, une optimisation des conditions d'extraction des composés bioactifs est procédée selon la méthodologie de surface de réponse (RMS), dont le type du model choisi est le plan de Box-Behnken à quatre facteurs (X_1, X_2, X_3, X_4) et à trois niveaux (-1, 0 et +1) est appliqué.

Les facteurs (X_1, X_2, X_3, X_4) appliqués représentent respectivement : la puissance du micro-onde, le temps d'extraction, la concentration du solvant et le rapport (volume de solvant d'extraction/prise d'essai). Les niveaux (bas, moyens et hauts) des facteurs sont fixés en se basant sur les résultats des travaux de **(Dahmoune et al., 2015)**. Les différents niveaux sélectionnés pour les facteurs étudiés sont représentés dans le **Tableau I**.

Tableau I : Niveaux des variables choisies pour les essais

Facteurs	Bas (-1)	Centré (0)	Haut (+1)
Puissance (W)	300	500	700
Temps (s)	60	90	120
Solvant (%)	30	50	70
Rapport (Solvant /masse) (ml/1g)	5/1	10/1	15/1

Le model expérimental du plan de Box-Behnken à quatre facteurs (X_1, X_2, X_3, X_4) et à trois niveaux (-1, 0 et +1) utilisé est représenté dans le Tableau. L'évaluation a porté sur la teneur en polyphénols totaux (PPT).

Tableau II : Le model expérimental du plan de Box-Behnken utilisé.

Essai n°	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3	Facteur 4
1	0	0	0	0
2	+1	+1	0	0
3	0	+1	0	+1
4	0	0	-1	+1
5	0	0	+1	+1
6	0	0	+1	-1
7	+1	0	0	-1
8	-1	-1	0	0
9	0	+1	+1	0
10	0	0	0	0
11	+1	-1	0	0
12	0	0	-1	+1
13	-1	0	0	-1
14	+1	0	+1	0
15	0	0	0	0
16	-1	0	0	+1
17	0	-1	-1	0
18	0	-1	0	-1
19	-1	+1	0	0
20	0	+1	-1	0
21	-1	0	-1	0
22	0	+1	0	-1
23	-1	0	+1	0
24	+1	0	-1	0
25	0	-1	0	+1
26	0	-1	+1	0
27	+1	0	0	+1

Le plan de Box-Behnken comprend vingt-sept (27) essais, dont l'essai centré (0, 0,0, 0) est répété trois fois pour vérifier l'erreur type et la reproductibilité du procédé d'extraction (**Goupy, 2006**).

Les résultats expérimentaux sont analysés par le logiciel JMP (qui est un logiciel de statistiques dans lequel une partie est consacrée aux plans d'expérience).

I-5 Extraction et dosage des antioxydants

Pour l'extraction des composés phénoliques, une quantité de 5 g de la fraise broyées est mélangé dans un bécher avec 25ml d'acétone 80%, et l'ensemble est laissé sous agitation pendant 30 minutes, et une filtration est effectuée pour récupérer le filtrat, alors que le résidu subit une autre extraction dans les mêmes conditions. Les filtrats sont additionnés et complétés au volume de 50ml au final (extrait)

I-5.1 Dosage des polyphénols

La teneur en composés phénoliques totaux de la fraise, est déterminée selon la méthode décrite par (**Siddhuraju et Becker ,2003**), légèrement modifiée.

Un volume de 200 µl d'extrait est additionné à 1,5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué dix fois), auquel un volume de 1,5 ml de carbonate de sodium (60g/l) est ajouté après cinq minutes. Après une incubation de 90 mn à l'abri de la lumière, l'absorbance est mesurée à 725 nm.

La concentration en composés phénoliques des extraits, exprimée en mg équivalent d'acide gallique (E.A.G)/100g, est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue dans les mêmes conditions en utilisant l'acide gallique (**Annexe IV**).

I-5.2 Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes totaux de la fraise est évaluée selon la méthode décrite par (**Djeridane et al., 2006**)

Pour 1.5ml d'extrait sont ajoutées à 1.5ml de chlorure d'aluminium $ALCL_3$ (2%). Après une heure d'incubation à température ambiante, l'absorbance est mesurée à 420nm.

La concentration en flavonoïdes, exprimée en mg d'Equivalent de Quercétine (E.Q)/100g d'échantillon, est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions avec de la quercétine (**Annexe VI**).

I-5.3 Dosage des caroténoïdes

La teneur en caroténoïdes totaux de l'échantillon étudié est déterminée selon la méthode décrite par (Wang et al., 2008). Le protocole consiste à extraire les caroténoïdes, en homogénéisant 5g de fruit avec 30 ml d'un mélange de solvants (hexane, acétone, méthanol: 12 : 9: 9) .Le mélange subit une agitation pendant 15 minutes.

Un volume de 2 ml de KOH (1M) est additionné au mélange qui sera gardé à l'abri de la lumière pendant 16 heures. Ensuite, sont ajoutés respectivement, 30 ml d'hexane et après une minute, 30 ml d'une solution de sulfate de sodium (1%). Le mélange est laissé à décanter, à l'abri de la lumière, pendant une heure et la phase supérieure qui représente l'extrait caroténoïde est récupérée. L'absorbance de l'extrait est mesurée à 450 nm et la concentration en caroténoïdes est estimée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant le β -carotène (Annexe VI).

I-5.4 Dosage des anthocyanines

La teneur en anthocyanine de la fraise est déterminée selon la méthode de (Du et al., 2012) ,légèrement modifié en utilisant tampon chlorure (PH=1.0 ,0.25M) et tampon acétate (pH =4.5 ,0.4M) .

Une prise de la fraise (5g) est mélangée avec 50 ml d'eau distillé, légèrement acidifié par l'acide chlorhydrique (0.1N). Après 30 min d'agitation, le mélange est filtré, le résidu subit une deuxième extraction dans les mêmes conditions. Les filtrats additionnés, sont centrifugés à 1500g pendant 10 min.

Dans deux tubes à essai, contenant chacun 250 μ l d'extrait, sont ajoutés 2 ml de tampon d'acétate (pH =4.5) pour le premier tube et 8ml de tampon chlorure (PH=1.0) pour le deuxième tube. La lecture des absorbances est effectuée à 510nm et 700nm pour chaque tube.

Les teneurs en anthocyanines, exprimées en mg d'équivalents cyanidine-3-glucoside par 100g de légume, sont calculés selon la formule suivante :

$$\text{Anthocyanines (mg /100g)} = (\text{Abs}/\epsilon L) \times M \times DX \times (V/P) \times 100$$

D'où:

$$\text{Abs} = (\text{Abs } 510\text{nm} - \text{Abs } 700\text{nm})_{\text{PH } 1.0} - (\text{Abs } 510\text{nm} - \text{Abs } 700\text{nm})_{\text{PH } 4.5}$$

Avec:

D: facteur de dilution

V: volume final de l'extrait (ml)

M: poids moléculaire de cyanidine-3-glucoside (449.2g/mol)

ε : coefficient d'absorbance molaire de la cyanidine-3-glucoside (26900)

P: masse de l'échantillon (mg)

L: trajet optique (1cm).

I-5.5 Dosage de la vitamine C

La teneur en vitamine C de la fraise, est évaluée selon la méthode décrite par **(Toledo Benassis et Antunes, 1988)**, où le solvant d'extraction utilisé c'est l'acide oxalique à 1%.

Une quantité de 5g de la fraise est mélangée avec 25ml de solvant, et l'ensemble est laissé sous agitation pendant 15min à l'abri de la lumière et d'air. Après, le mélange subi une filtration, l'extraction est refaite pour le retentât dans les mêmes conditions, puis les deux filtrats sont alors additionnés et centrifugés a 16000g pendant 20 min à 4°C.

Pour 500µl de filtrat, sont ajoutés 2.5 ml du réactif 2.6 dichlorophenol-indophénol (DCPIP) qui permet d'oxyder la vitamine C en milieu acide. La solution de DCPIP, de couleur bleue, devient rose après réduction ; l'absorbance est mesuré à 515 nm.

La teneur en vitamine C des extraits, exprimée en mg/100g de fraise, est déterminer en se référant à une courbe d'étalonnage obtenue dans les mêmes conditions avec de l'acide L-ascorbique (**Annexe V**).

I-6 Détermination de l'activité antioxydante

I-6.1 Neutralisation des radicaux libres

a. Inhibition du radicale DPPH*

Le pouvoir anti-radicalaire, estimé par la neutralisation du radical DPPH*, de l'extrait est évalué selon la méthode décrite par **(Ao et al., 2008)**.

Pour 200µl d'extrait, 1.5ml de DPPH (0.06mg/ml) sont ajoutées. Après une incubation de 30 minutes à l'abri de la lumière, l'absorbance de l'extrait est mesuré à 517 nm. L'évaluation de l'inhibition du radical DPPH* par rapport à la concentration de standard (Acide gallique) est réalisée dans les mêmes conditions. Le pouvoir anti-radicalaire de l'extrait, exprimé en pourcentage d'inhibition du radical DPPH* est calculé selon la formule suivante :

$$PI\% = \left(1 - \frac{Abs E}{Abs T}\right) * 100$$

Avec :

Abs T: Absorbance du témoin (sans l'extrait), après 30 min à 517nm.

Abs E: Absorbance des échantillons mesurés, après 30 min à 517nm.

I-7 Etude Statistique

Une étude statistique des données est réalisée à l'aide du logiciel STATISTICA. Les résultats sont représentés par une moyenne de trois répétitions \pm Ecartype. Afin de mettre en évidence les différences significatives entre les échantillons pour chaque paramètre, une analyse de la variance (ANOVA/MANOVA) à un facteur suivie du test LSD (la plus petite différence significative) est appliquée, et le niveau de signification est pris à $p < 0,05$.

Le logiciel JMP 10 (SAS, Statistical Analysis System Inc.) est utilisé pour l'analyse des résultats et la génération des graphiques de l'optimisation de l'extraction des composés phénoliques et de l'activité antioxydante suivant la méthodologie des surfaces de réponses. Les autres présentations graphiques sont réalisées à l'aide de Microsoft Office Excel.

Conclusion

Conclusion

Nombreuses études épidémiologiques ont montré qu'une alimentation riche en fruits est souvent associée à une faible incidence de plusieurs pathologies chroniques, notamment l'obésité, les infections, les maladies cardiovasculaires et neurologiques et le cancer.

La fraise (*Fragaria X ananassa*), la baie la plus consommée dans le monde en raison de sa valeur nutritionnelle élevée et sa richesse en substances bioactives, mais très fragile pour la conservation, ce qui limite sa disponibilité dans le temps. L'objectif de ce travail, est d'étudier l'optimisation du séchage et la composition physicochimique et antioxydante de ce fruit.

Les résultats obtenus de la caractérisation physico-chimiques à savoir l'humidité, le pH, l'acidité, les cendres et les sucres de la fraise ont montré que ce fruit a un potentiel nutritif très reconnu, avec des teneurs élevée en eau, sucres totaux et réducteurs, éléments minéraux et acide organiques.

Les résultats de l'optimisation de séchage de la fraise, à différentes températures (40°,50°,60°C) pour les épaisseurs (0.5, 1, 1.5cm), a révélé que la perte d'humidité est significative avec la température et l'épaisseur utilisées, avec un meilleur séchage obtenus à 60°C et une épaisseur de 0.5cm.

Les résultats de l'étude de l'optimisation d'extraction des polyphénols de la fraise ont révélé que la technique assistée par microonde est la meilleure méthode d'extraction. Les résultats du plan Box-Behnken appliqué pour l'optimisation de l'influence des paramètres étudiés sur l'extraction ont montré que pour une meilleur extraction, l'éthanol à (51.91%), puissance à (520W), et un rapport de (11.36ml/g de fraise) pendant un temps d'extraction 94.19 secondes doivent être appliqués

A l'issu des différents dosages comparatifs entre la fraise fraiche et séchée effectués, l'analyse statistique a révélée des différences significatives entres les deux cas. En effet, la teneur des composés bioactives de la fraise fraiche est plus importante que celle de la fraise séchée sauf les anthocyanines qui sont plus élevés l'état séché que à l'état frais.

En termes de perspective et dans le but de compléter ce travail, il serait intéressant :

- D'optimiser d'autres paramètres influençant le séchage et l'extraction de composés bioactives de la fraise.
- D'élargir l'application du modèle de Box-Behnken sur d'autres produits, et de favoriser son utilisation au niveau industriel ;
- D'étudier d'autres propriétés biologiques des extraits optimaux (antibactérienne, antiviral, anti-inflammatoire, anti-cancérogène).

Références
bibliographiques

Références bibliographiques

Aaby, K., Skrede, G., Wrolstad, R.E., (2005). Phenolic composition and antioxidant activities in flesh and achenes of strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Agricultural and Food chemistry* 53, 4032-4040.

Abbasi, S., Azari, S., (2009). Novel microwave–freeze drying of onion slices. *International journal of food science & technology* 44, 974-979.

Ahouannou, C., Jannot, Y., Lips, B., Lallemand, A., (2000). Caractérisation et modélisation du séchage de trois produits tropicaux: manioc, gingembre et gombo. *Sciences des aliments* 20, 413-432.

Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Morris, A., Baron, M., Shahidi, F., (2005). Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera L.*) varieties grown in Oman. *Journal of agricultural and food chemistry* 53, 7592-7599.

Alibas, I., (2014). Mathematical modeling of microwave dried celery leaves and determination of the effective moisture diffusivities and activation energy. *Food Science and Technology (Campinas)* 34, 394-401.

Allali, H., (2008). Production de confitures de fruits par déshydratation osmotique couplée au chauffage ohmique. Compiègne.

Allane, T., Benamara, S., (2010). Activités antioxydantes de quelques fruits communs et sauvages d'Algérie. *Phytothérapie* 8, 171-175.

Allen, G.M., (2004). Bats: biology, behavior, and folklore. Dover Publications, Mineola, N.Y.

Amessis-Ouchemoukh, N., Ouchemoukh, S., Meziant, N., Idiri, Y., Hernanz, D., Stinco, C.M., Rodríguez-Pulido, F.J., Heredia, F.J., Madani, K., Luis, J., 2017. Bioactive metabolites involved in the antioxidant, anticancer and anticalpain activities of *Ficus carica L.*, *Ceratonia siliqua L.* and *Quercus ilex L.* extracts. *Industrial crops and products* 95, 6-17

AnChiu, C., Xian, W., Moss, C.F., (2008). Flying in silence: Echolocating bats cease vocalizing to avoid sonar jamming. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 105, 13116-13121.

Andrade, D., Gil, C., Breitenfeld, L., Domingues, F., Duarte, A.P., (2009). Bioactive extracts from *Cistus ladanifer* and *Arbutus unedo L.* *Industrial Crops and Products* 30, 165-167.

Ao, C., Li, A., Elzaawely, A.A., Xuan, T.D., Tawata, S., (2008). Evaluation of antioxidant and antibacterial activities of *Ficus microcarpa L.* fil. extract. *Food control* 19, 940-948.

Asami, D.K., Hong, Y.-J., Barrett, D.M., Mitchell, A.E., (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of agricultural and food chemistry* 51, 1237-1241.

Audigie, C., Dupont, G., Zonszain, F., (1985). Principes des méthodes d'analyse biochimique.

Avila-Flores, R., Medellin, R.A., (2004). Ecological, taxonomic, and physiological correlates of cave use by mexican bats. *J. Mammal.* 85, 675-687.

Bahlouli, F., Tiaiba, A., Slamani, A., (2008). Etude des différentes méthodes de séchage d'abricot, point sur les méthodes de séchage traditionnelles dans la région du Hodna, wilaya de M'Sila. *Revue des Energies Renouvelables SMSTS* 8, 61-66.

Bartnick, D., Mohler, C., Houlihan, M., (2006). Methods for the production of food grade extracts. Google Patents.

Bat Conservation International, (2008). Bat Conservation International.

BENYAHIA, H., (2017). Etude phytochimique et dosage de quelques composés phénoliques des fruits d'*Elettaria cardamomum* et évaluation de son activité antioxydante.

Binfield, P., (2008). At PLoS ONE we're batty about bats, PLoS: Public Library of Science, p. Web log message.

Bird, C.D., Emery, N.J., (2009). Insightful problem solving and creative tool modification by captive nontool-using rooks. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106, 10370-10375.

Breitfellner, F., Solar, S., Sontag, G., (2002). Effect of gamma irradiation on flavonoids in strawberries. *European Food Research and Technology* 215, 28-31.

Brinklov, S., Kalko, E.K.V., Surlykke, A., (2009). Intense echolocation calls from two 'whispering' bats, *Artibeus jamaicensis* and *Macrophyllum macrophyllum* (*Phyllostomidae*). *J. Exp. Biol.* 212, 11-20.

Castaneda-Ovando, A., de Lourdes Pacheco-Hernández, M., Páez-Hernández, M.E., Rodríguez, J.A., Galán-Vidal, C.A., (2009). Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food chemistry* 113, 859-871.

Chan, E., Lim, Y., Wong, S., Lim, K., Tan, S., Lianto, F., Yong, M., (2009). Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. *Food chemistry* 113, 166-172.

Chertouk, L.L., Chertouk, M., Boukhalfa, F.E., (2017). Etude de l'effet anti hyperglycémiant d'une Plante méditerranéenne sur des souris Swiss albinos induit par un régime riche en glucide.

Chiu, C., Moss, C.F., (2007). The role of the external ear in vertical sound localization in the free flying bat, *Eptesicus fuscus*. *J. Acoust. Soc. Am.* 121.

Clayton, N.S., Emery, N.J., (2009). What do jays know about other minds and other times?, in: Berthoz, A., Christen, Y. (Eds.), *Neurobiology of Umwelt: How Living Beings Perceive the World*. Springer-Verlag Berlin, Berlin, pp. 109-123.

- Colbert, S., Oliveira, D.d., (1992).** Pollinisation croisée et production de quatre cultivars de fraiser, *Fragaria* × *ananassa*. *Canadian Journal of Plant Science* 72, 857-861.
- Correia, A., Loro, A., Zanatta, S., Spoto, M., Vieira, T., (2015).** Effect of temperature, time, and material thickness on the dehydration process of tomato. *International journal of food science* 2015.
- Da Silva Pinto, M., Lajolo, F.M., Genovese, M.I., (2008).** Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa Duch.*). *Food Chemistry* 107, 1629-1635.
- Dahmoune, F., Nayak, B., Moussi, K., Remini, H., Madani, K., 2015.** Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from *Myrtus communis L.* leaves. *Food chemistry* 166, 585-595.
- Dagnelie, P., (2008).** Le plan d'expérience évolue. *Revue Modulad* 13.
- Darrow, G.M., (1966).** The strawberry. History, breeding and physiology. The strawberry. History, breeding and physiology.
- DeLong, C.M., Bragg, R., Simmons, J.A., (2008).** Evidence for spatial representation of object shape by echolocating bats (*Eptesicus fuscus*). *J. Acoust. Soc. Am.* 123, 4582-4598.
- Ding, S., An, K., Zhao, C., Li, Y., Guo, Y.H., Wang, Z., (2012).** Effect of drying methods on volatiles of Chinese ginger (*Zingiber officinale Roscoe*). *Food and Bioproducts Processing* 90, 515-524.
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., Vidal, N., (2006).** Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry* 97, 654-660.
- Doymaz, I., Gorel, O., Akgun, N., (2004).** Drying characteristics of the solid by-product of olive oil extraction. *Biosystems Engineering* 88, 213-219.
- Du, W.-X., Avena-Bustillos, R.J., Breksa III, A.P., McHugh, T.H., (2012).** Effect of UV-B light and different cutting styles on antioxidant enhancement of commercial fresh-cut carrot products. *Food chemistry* 134, 1862-1869.
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.t., Smith, F., (1956).** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry* 28, 350-356.
- Dutta, D., Dutta, A., Raychaudhuri, U., Chakraborty, R., (2006).** Rheological characteristics and thermal degradation kinetics of beta-carotene in pumpkin puree. *Journal of food engineering* 76, 538-546.
- El-Adawi, H., Abdel-Fattah, Y., El-Wahab, A.A., 2011.** Application of numerical modeling for optimization of selective hot water extraction of taxifolin from 'milk thistle' seeds. *African Journal of Biotechnology* 10, 9804-9811.
- Emery, N.J., (2006).** Cognitive ornithology: The evolution of avian intelligence. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 361, 23-43.

Emery, N.J., Clayton, N.S., (2009). Tool use and physical cognition in birds and mammals. *Curr. Opin. Neurobiol.* 19, 27-33.

Emery, N.J., Seed, A.M., von Bayern, A.M.P., Clayton, N.S., (2007). Cognitive adaptations of social bonding in birds. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 362, 489-505.

EUROBATS Secretariat, (2004). EUROBATS: The Agreement on the Conservation of Populations of European Bats. EUROBATS.

Fall, A.D., Sy, A.N., Fokou, J.B.H., Fomi, J.O.N., Dieng, M., Dieng, S.I.M., Bassene, E., (2015). Phytochemical Screening, Polyphenol Content and Antioxidant Studies of Ethanol Leaf Extract of *Combretum aculeatum* vent. *European Journal of Medicinal Plants* 10, 1-7.

Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., Abdelly, C., (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus* L. organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies* 331, 372-379.

Faucher, J., (2006). Les plans d'expériences pour le réglage de commandes à base de logique floue.

Fraser, O.N., Bugnyar, T., (2011). Ravens reconcile after aggressive conflicts with valuable partners. *PLoS One* 6.

Fратиanni, A., Albanese, D., Mignogna, R., Cinquanta, L., Panfili, G., Di Matteo, M., (2013). Degradation of carotenoids in apricot (*Prunus armeniaca* L.) during drying process. *Plant foods for human nutrition* 68, 241-246.

Funk, M.S., (2002). Problem solving skills in young yellow-crowned parakeets (*Cyanoramphus auriceps*). *Anim. Cogn.* 5, 167-176.

Garcia, M., Ontivero, M., Diaz Ricci, J., Castagnaro, A., (2002). Morphological traits and high resolution RAPD markers for the identification of the main strawberry varieties cultivated in Argentina. *Plant Breeding* 121, 76-80.

Garofulić, I.E., Dragović-Uzelac, V., Jambrak, A.R., Jukić, M., (2013). The effect of microwave assisted extraction on the isolation of anthocyanins and phenolic acids from sour cherry *Marasca* (*Prunus cerasus* var. *Marasca*). *Journal of Food Engineering* 117, 437-442.

Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J.M., Quiles, J.L., Mezzetti, B., Battino, M., (2012). The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition* 28, 9-19.

Giroux, M., Girard, G., (2009). Favoriser la position d'apprentissage grâce à l'interaction superviseur-supervisé. *Pédagogie médicale* 10, 193-210.

Goto, K., Watanabe, S., (2012). Large-billed crows (*Corvus macrorhynchos*) have retrospective but not prospective metamemory. *Anim. Cogn.* 15, 27-35.

Goupy, J., Creighton, L., (2006). Introduction aux plans d'expériences-3ème édition-Livre+ CD-Rom. Dunod.

Granato, D., Branco, G.F., Nazzaro, F., Cruz, A.G., Faria, J.A., (2010). Functional foods and nondairy probiotic food development: trends, concepts, and products. *Comprehensive reviews in food science and food safety* 9, 292-302.

Greenhall, A.M., (1982). House bat management. Northern Prairie Wildlife Research Center Online, Jamestown, ND.

Grigonis, D., Venskutonis, P., Sivik, B., Sandahl, M., Eskilsson, C., (2005). Comparison of different extraction techniques for isolation of antioxidants from sweet grass (*Hierochloa odorata*). *The Journal of Supercritical Fluids* 33, 223-233.

Grothe, B., Park, T.J., (2000). Structure and function of the bat superior olivary complex. *Microsc. Res. Tech.* 51, 382-402.

Grzelak-Blaszczyk, K., Karlińska, E., Grzęda, K., Rój, E., Kołodziejczyk, K., (2017). Defatted strawberry seeds as a source of phenolics, dietary fiber and minerals. *LWT-Food Science and Technology* 84, 18-22.

Guendouze-Bouchefa, N., Madani, K., Chibane, M., Boulekbache-Makhlouf, L., Hauchard, D., Kiendrebeogo, M., Stevigny, C., Okusa, P.N., Duez, P., (2015). Phenolic compounds, antioxidant and antibacterial activities of three Ericaceae from Algeria. *Industrial crops and products* 70, 459-466.

Hagino, T., Hiryu, S., Fujioka, S., Riquimaroux, H., Watanabe, Y., (2007). Adaptive SONAR sounds by echolocating bats, 5th International Symposium on Underwater Technology. IEEE, Tokyo, Japan, pp. 647-651.

Hakala, M., Lapveteläinen, A., Huopalahti, R., Kallio, H., Tahvonen, R., (2003). Effects of varieties and cultivation conditions on the composition of strawberries. *Journal of Food composition and analysis* 16, 67-80.

Halhal, Y., Hadroug, S., (2017). Optimisation par le plan d'expérience Box-Behnken de la production d'une pectinase à partir des écorces d'agrumes.

Hambaba, L., Boudjellal, K., Abdeddaim, M., Aberkane, M., Boudiaf, K., (2012). Étude in vitro des activités antimicrobienne et antioxydante des extraits du fruit d'*Elaeagnus angustifolia* L. *Phytothérapie* 10, 350-356.

Hammouda, I., Mihoubi, D., (2014). Comparative numerical study of kaolin clay with three drying methods: Convective, convective-microwave and convective infrared modes. *Energy Conversion and Management* 87, 832-839.

Hannum, S.M., (2004). Potential impact of strawberries on human health: a review of the science. *Critical reviews in food science and nutrition* 44, 1-17.

Hartle, D., (2008). Alex & Me: How a scientist and a parrot discovered a hidden world of animal intelligence—and formed a deep bond in the process. *Libr. J.* 133, 94.

Hayat, K., Hussain, S., Abbas, S., Farooq, U., Ding, B., Xia, S., Jia, C., Zhang, X., Xia, W., (2009). Optimized microwave-assisted extraction of phenolic acids from citrus mandarin peels and evaluation of antioxidant activity in vitro. *Separation and Purification Technology* 70, 63-70.

Hebbache, I., Sebki, S., Ouchemoukh, S.E., (2013). Teneurs en antioxydants et activités antioxydantes de quelques variétés de confitures industrielles.

Holland, R.A., Kirschvink, J.L., Doak, T.G., Wikelski, M., (2008). Bats use magnetite to detect the earth's magnetic field. *PLoS One* 3, e1676, 1671-1676.

Holzhaider, J.C., Sibley, M.D., Taylor, A.H., Singh, P.J., Gray, R.D., Hunt, G.R., (2011). The social structure of New Caledonian crows. *Anim. Behav.* 81, 83-92.

Ishida, B.K., Chapman, M.H., (2009). Carotenoid extraction from plants using a novel, environmentally friendly solvent. *Journal of agricultural and food chemistry* 57, 1051-1059.

Jayaprakasha, G.K., Girenavar, B., Patil, B.S., (2008). Antioxidant capacity of pummelo and navel oranges: Extraction efficiency of solvents in sequence. *LWT-Food Science and Technology* 41, 376-384.

Jen, P.H.S., Wu, C.H., (2008). Echo duration selectivity of the bat varies with pulse-echo amplitude difference. *Neuroreport* 19, 373-377.

Jing, Y., Chen, J.-F., Zhao, Y.-Y., Mao, L.-C., (2010). Effects of drying processes on the antioxidant properties in sweet potatoes. *Agricultural Sciences in China* 9, 1522-1529.

Kaméni, A., Mbofung, C.M., Ngnamtam, Z., Doassem, J., Hamadou, L., (2003). Aptitude au séchage de quelques variétés de mangue cultivée au Cameroun: Amélie, Zill, Irwin et Horé Wandou, Savanes africaines: des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis. Actes du colloque, Garoua, Cameroun. Cirad-Prasac, p. 9 p.

KAMOUN, A., CHAABOUNI, M.M., AYEDI, H.F., (2011). Plans d'expériences et traitements de surface-Méthodologie des surfaces de réponses (MSR).

Kumarasamy, K.K., Toleman, M.A., Walsh, T.R., Bagaria, J., Butt, F., Balakrishnan, R., Chaudhary, U., Doumith, M., Giske, C.G., Irfan, S., (2010). Emergence of a new antibiotic resistance mechanism in India, Pakistan, and the UK: a molecular, biological, and epidemiological study. *The Lancet infectious diseases* 10, 597-602.

Lahmari, N., Fahloul, D., Azani, I., (2012). Influence des méthodes de séchage sur la qualité des tomates séchées (variété Zahra). *Revue des Energies Renouvelables* 15, 285-295.

Landri, K., Mial, R., Boukhalfa, F.E., (2012). Optimisation de l'extraction des polyphénols du mélange Figue sèche-Huile d'olive par la méthode de Box-Behnken et étude de ces quelques activités biologiques.

Laudato, A., (2010). Bird grooves to the beat, in: Small, D. (Ed.), *CBS Sunday Morning*. CBS.

Lefebvre, L., Sol, D., (2008). Brains, lifestyles and cognition: Are there general trends? *Brain. Behav. Evol.* 72, 135-144.

Leterme, P., Buldgen, A., Estrada, F., Londoño, A.M., (2006). Mineral content of tropical fruits and unconventional foods of the Andes and the rain forest of Colombia. *Food Chemistry* 95, 644-652.

Li, L.-J., Su, H., Fei-Fei, L., Xing, E.P., (2010). Object bank: A high-level image representation for scene classification & semantic feature sparsification, *Advances in neural information processing systems*, pp. 1378-1386.

Liu, Q., Yang, X., Zhang, L., Majetich, G., (2010). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of chlorogenic acid from *Folium eucommiae* and evaluation of its antioxidant activity. *Journal of Medicinal Plants Research* 4, 2503-2511.

Liyana-Pathirana, C., Shahidi, F., (2005). Optimization of extraction of phenolic compounds from wheat using response surface methodology. *Food chemistry* 93, 47-56.

Mazza, G., Manitiati, E., (1993). Introduction. Anthocyanin in fruits, vegetables and grains (pp. 1–28). Boca Raton, FL: CRC Press.

Meda, L.N., (2001). Etude de la rehydratation des fraises et des bleuets lyophilises. Université Laval.

Meyers, K.J., Watkins, C.B., Pritts, M.P., Liu, R.H., (2003). Antioxidant and antiproliferative activities of strawberries. *Journal of agricultural and food chemistry* 51, 6887-6892.

Molyneux, P., (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarinn J. Sci. Technol* 26, 211-219.

Móricz, Á., Horváth, G., Ott, P., (2015). Direct bioautographic detection of antibacterial components of clary sage and spearmint essential oils. *JPC-Journal of Planar Chromatography-Modern TLC* 28, 173-177.

Moss, C.F., Sinha, S.R., (2003). Neurobiology of echolocation in bats. *Curr. Opin. Neurobiol.* 13, 751-758.

Mrad, N.D., Boudhrioua, N., Kechaou, N., Courtois, F., Bonazzi, C., (2012). Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and bioproducts processing* 90, 433-441.

New York State Department of Environmental Conservation, (2009). Guidelines for conducting bird and bat studies at commercial wind energy projects, in: *Division of Fish Wildlife and Marine Resources (Ed.)*, Albany, NY.

Ouchemoukh, S., Hachoud, S., Boudraham, H., Mokrani, A., Louaileche, H., (2012). Antioxidant activities of some dried fruits consumed in Algeria. *LWT-Food Science and Technology* 49, 329-332.

Özcan, M.M., Haciseferoğulları, H., (2007). The strawberry (*Arbutus unedo* L.) fruits: chemical composition, physical properties and mineral contents. *Journal of Food Engineering* 78, 1022-1028.

Patras, A., Brunton, N.P., Da Pieve, S., Butler, F., (2009). Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 10, 308-313.

Penchev, P.I., (2010). thèse, Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions. INPT.

Pepperberg, I.M., (1999)a. The Alex studies: Cognitive and communicative abilities of grey parrots. Harvard University Press, Cambridge, Mass.

Pepperberg, I.M., 1999b. Rethinking syntax: A commentary on E. Kako's "Elements of syntax in the systems of three language-trained animals". *Anim. Learn. Behav.* 27, 15-17.

Pepperberg, I.M., (2001). In search of King Solomon's ring: Cognitive and communicative studies of grey parrots (*Psittacus erithacus*), in: Bailey, S. (Ed.), 21st Annual Krost Symposium on Evolution of Intelligence: Brain, Behavioral and Computational Approaches, Seguin, Texas.

Pepperberg, I.M., (2004). Cognitive and communicative capacities of grey parrots — implications for the enrichment of many species. *Anim. Welf.* 13, S203-S208.

Pepperberg, I.M., (2006)a. Cognitive and communicative abilities of grey parrots. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 100, 77-86.

Pepperberg, I.M., (2006)b. Grey parrot (*Psittacus erithacus*) numerical abilities: Addition and further experiments on a zero-like concept. *J. Comp. Psychol.* 120, 1-11.

Pepperberg, I.M., (2008). 'Alex & me': The hidden world of animal minds, in: Gross, T. (Ed.), *Fresh Air*. WHYY/NPR, Philadelphia.

Pepperberg, I.M., (2009). Alex & me: How a scientist and a parrot discovered a hidden world of animal intelligence — and formed a deep bond in the process, Kindle ed. Scribe Publications, New York, NY.

Pepperberg, I.M., (2011). Avian cognition and social interaction: Fifty years of advances. *Interact. Stud.* 12, 195-207.

Pepperberg, I.M., (2012). Symbolic communication in the grey parrot, in: Vonk, J., Shackelford, T.K. (Eds.), *The Oxford Handbook of Comparative Evolutionary Psychology*. Oxford University Press, New York, pp. 297-319.

Peron, F., Rat-Fischer, L., Lalot, M., Nagle, L., Bovet, D., (2011). Cooperative problem solving in African grey parrots (*Psittacus erithacus*). *Anim. Cogn.* 14, 545-553.

Piga, A., Pinna, I., Özer, K.B., Agabbio, M., Aksoy, U., (2004). Hot air dehydration of figs (*Ficus carica* L.): drying kinetics and quality loss. *International journal of food science & technology* 39, 793-799.

Plénet, D., Jeannequin, B., Chauvin, J.-E., Colleu, S., Faloya, V., Georget, M., Laurens, F., Renard, C., Pluvillage, J., (2016). Diversité des agricultures: premières réflexions du groupe filière Fruits, Légumes et Pomme de terre de l'Inra.

Rahman, N.F.A., Shamsudin, R., Ismail, A., Shah, N.N.A.K., Varith, J., (2018). Effects of drying methods on total phenolic contents and antioxidant capacity of the pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) peels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.

Raynal, J., (1987). Modifications structurales et biochimiques de la prune d'Ente au début du séchage. Toulouse, INPT.

RD&I Christchurch, (2005). Pekapeka / Bats. Department of Conservation, Te Papa Atawhai.

Rebeaud, S.G., Perrier, G., Cotter, P.-Y., Ançay, A., Vuong, L., Christen, D., (2017). Traitement à l'ozone des fraises et des framboises. *Revue suisse de viticulture, arboriculture et horticulture* 49, 180-186.

Ribéreau-Gayon, P., (1968). Les Composés phénoliques des végétaux: par Pascal Ribéreau-Gayon. Dunod.

Robards, K., Prenzler, P.D., Tucker, G., Swatsitang, P., Glover, W., (1999). Phenolic compounds and their role in oxidative processes in fruits. *Food chemistry* 66, 401-436.

Salwiczek, L.H., Emery, N.J., Schlinger, B., Clayton, N.S., (2009). The development of caching and object permanence in western scrub-jays (*Aphelocoma californica*): Which emerges first? *J. Comp. Psychol.* 123, 295-303.

Schloegl, C., Schmidt, J., Boeckle, M., Weiss, B.M., Kotrschal, K., (2012). Grey parrots use inferential reasoning based on acoustic cues alone. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 279, 4135-4142.

Seftel, J., (2011). Profile: Irene Pepperberg & Alex, in: Tyson, N.d.G. (Ed.), NOVA Science Video Podcast. WGBH, Boston.

Shanahan, M., (2012). The brain's connective core and its role in animal cognition. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 367, 2704-2714.

Shettleworth, S.J., (2012). Do animals have insight, and what is insight anyway? *Can. J. Exp. Psychol.* 66, 217-226.

Siddhuraju, P., Becker, K., (2003). Studies on antioxidant activities of mucuna seed (*Mucuna pruriens* var *utilis*) extract and various non-protein amino/imino acids through in vitro models. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 1517-1524.

Skupień, K., Oszmiański, J., (2004). Comparison of six cultivars of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.) grown in northwest Poland. *European Food Research and Technology* 219, 66-70.

Smirnova, A.A., (2011)a. On the capability of birds for symbolization. *Biol. Bull. Russ. Acad. Sci.* 38, 878-884.

Smirnova, A.A., (2011)b. Use of numerical symbols by birds. *Zool. Zhurnal* 90, 803-810.

Smith, T., Rana, R.S., Missiaen, P., Rose, K.D., Sahni, A., Singh, H., Singh, L., (2007). High bat (*Chiroptera*) diversity in the Early Eocene of India. *Naturwissenschaften* 94, 1003-1009.

Solomon, A., Golubowicz, S., Yablłowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M., Gottlieb, H.E., Altman, A., Kerem, Z., Flaishman, M.A., (2006). Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 7717-7723.

Souci, S.W., Fachmann, W., Kraut, H., (1981). *Composition des aliments.* Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.

Spigno, G., Tramelli, L., De Faveri, D.M., (2007). Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. *Journal of food engineering* 81, 200-208.

Sun, Y., Liao, X., Wang, Z., Hu, X., Chen, F., (2007). Optimization of microwave-assisted extraction of anthocyanins in red raspberries and identification of anthocyanin of extracts using high-performance liquid chromatography–mass spectrometry. *European Food Research and Technology* 225, 511-523.

Taylor, A.H., Miller, R., Gray, R.D., (2012). New Caledonian crows reason about hidden causal agents. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 109, 16389-16391.

Teeling, E.C., Springer, M.S., Madsen, O., Bates, P., O'Brien, S.J., Murphy, W.J., (2005). A molecular phylogeny for bats illuminates biogeography and the fossil record. *Science* 307, 580-584.

The Alex Foundation, (2007). Alex the African grey parrot and subject of landmark studies of bird intelligence dies at 31. The Alex Foundation, Waltham, MA.

Tinsson, W., (2010). *Plans d'expérience: constructions et analyses statistiques.* Springer Science & Business Media.

Toledo Benassi, M.d., Antunes, A., (1988). A comparison of metaphosphoric and oxalic acids as extractants solutions for the determination of vitamin C in selected vegetables. *Arquivos de Biologia e Tecnologia* 31, 507-513.

Tomás-Barberán, F.A., Espin, J.C., (2001). Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81, 853-876.

Tulipani, S., Mezzetti, B., Battino, M., (2009). Impact of strawberries on human health: insight into marginally discussed bioactive compounds for the Mediterranean diet. *Public health nutrition* 12, 1656-1662.

Verma, L., (2000). *Postharvest technology of fruits and vegetables: handling, processing, fermentation, and waste management.* Indus Publishing.

Vick, S.J., Bovet, D., Anderson, J.R., (2010). How do African grey parrots (*Psittacus erithacus*) perform on a delay of gratification task? *Anim. Cogn.* 13, 351-358.

Vivier, S., (2002). Stratégies d'optimisation par la méthode des Plans d'Expériences, et Application aux dispositifs électrotechniques modélisés par Eléments Finis. Université des Sciences et Technologie de Lille-Lille I.

von Bayern, A.M.P., Heathcote, R.J.P., Rutz, C., Kacelnik, A., (2009). The role of experience in problem solving and innovative tool use in crows. *Curr. Biol.* 19, 1965-1968.

Vonk, J., Shackelford, T.K., (2012). The Oxford handbook of comparative evolutionary psychology, in: Nathan, P.E. (Ed.), *Oxford Library of Psychology*. Oxford University Press, New York, p. 574.

Wang, J., Sun, B., Cao, Y., Tian, Y., Li, X., (2008). Optimisation of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds from wheat bran. *Food Chemistry* 106, 804-810.

Wang, Y., Li, Y., Wang, S., Zhang, L., Gao, M., Tang, J., (2011). Review of dielectric drying of foods and agricultural products. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 4, 1-19.

Wiegrebe, L., (2008). An autocorrelation model of bat sonar. *Biol. Cybern.* 98, 587-595.

Yovel, Y., Franz, M.O., Stilz, P., Schnitzler, H.U., 2008. Plant classification from bat-like echolocation signals. *PLoS Comput. Biol.* 4, e1000032.

Zemroch, P.J., (1986). to Gasoline Blend ing Experiments. *TECHNOMETRICS* 28.

Zerrad, W., Maataoui, B., Hilali, S., El Antri, S., Hmyene, A., (2008). Etude comparative des mecanismes biochimiques de resistance au stress hydrique de deux variétés de blé dur. *Lebanese Science Journal* 9, 27-36.

Zorina, Z.A., (2005). Animal intelligence: Laboratory experiments and observations in nature. *Zool. Zhurnal* 84, 134-148.

Zorina, Z.A., Obozova, T.A., (2011). New data on the brain and cognitive abilities of birds. *Zool. Zhurnal* 90, 784-802.

Site électroniques:

Anonyme I: <http://www.le dictionnaire visuel .com>

Anonyme II: <http://www.catalogueoflife.org>

Annexes

Annexe I**Tableau:** composition de la fraise en macro-nutriments (Meda, 2001).

Macro-nutriments	g/100g
Proteins	0.75
Glucides	4.06
Sucres	4.05
Fibres	1.87
Lipides	0.26
choléstérole	2,1

Tableau : composition de la fraise en minéraux (Meda, 2001).

Minéraux	Mg/100g
Sodium	2.64
Magnesium	13
Phosphor	23.6
Potassium	165
Calcium	14.9
Fer	0.237
Cuivre	0.0342
Zinc	0.113

Tableau : Classification botanique de la fraise (Anonyme II)

Règne	<u>Plantae</u>
Embranchement	<u>Tracheophyta</u>
Classe	<u>Magnoliopsida</u>
Ordre	<u>Rosales</u>
Famille	<u>Rosaceae</u>
Genre	<u>Fragaria</u>
Espèce	<u>Fragariaananassa</u>

Annexe II

Tableau: production mondiale de la fraise (FAO, 2017)

pays	Production mondiale (tonnes)
Jordanie	5 056
Afrique du Sud	7 529
Tunisie	9 759
Belgique	45 000
Australie	48 401
Iran	55 946
France	58 737
Pologne	196 972
Allemagne	143 221
Espagne	366 151
Turquie	415 150
Egypte	464 958
Mexique	468 248
Etats unis	1 420 570
Chine	7 643 730

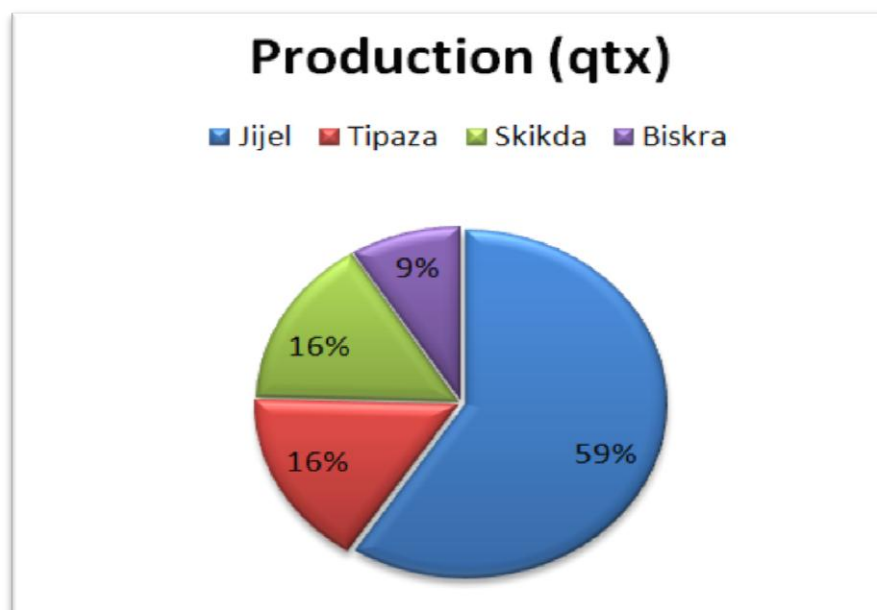


Figure n° : Production nationale de la fraise (DSA, 2018)

Annexe III

Matériels utilisés :

- ✓ Balance de précision
- ✓ Centrifugeuse
- ✓ Etuve ventilée
- ✓ pH mètre
- ✓ Plaque agitatrice
- ✓ Spectrophotomètre
- ✓ Bain marie
- ✓ Micro-onde
- ✓ Appareil soxhlet
- ✓ Four à moufle
- ✓ Bain ultrason

Réactifs utilisés :

- ✓ Eau distillée, Acétone, Méthanol, Ethanol
- ✓ Acide oxalique 0.4%
- ✓ Acide acétique 0.4%
- ✓ DCPIP
- ✓ Réactif de folin –ciacalteu dilué 10fois
- ✓ Chlorure d'aluminium $AlCl_3$ (2%) pure
- ✓ Carbonate de sodium Na_2CO_3 (60g /l)
- ✓ Hydroxyde de sodium NaOH (0.1N)
- ✓ Phénol (5%) (1G dans 100ML)
- ✓ Acide sulfurique H_2SO_4 (1N)
- ✓ Réactif DNS
- ✓ Acide sulfurique H_2SO_4 pure
- ✓ Hydroxyde de potassium KOH (1M) pure
- ✓ DPPH pure

Annexe IV

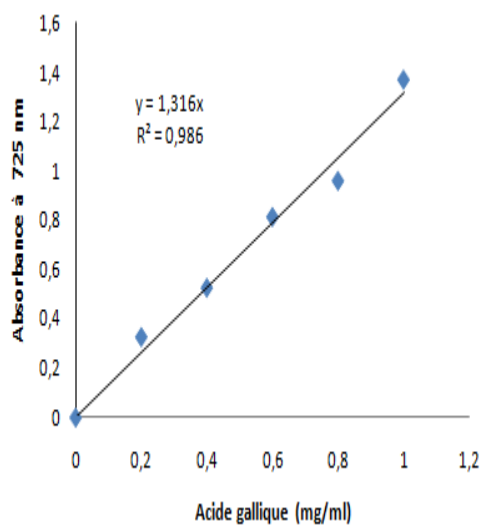
+ Préparation des solutions :

- ✓ **Carrez I (15%)** : hexacyanoferrate de potassium $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ à 36g/1L : 2.25g dans 15ml d'eau distillée.
- ✓ **Carrez II (30%)** : Sulfate de zinc ($\text{Zn SO}_4, 7 \text{ H}_2\text{O}$) à 72g/1L : 4.5g dans 15ml d'eau distillée.
- ✓ **Tampon chlorure (pH=1 ; 0,025M)** :
 - 0,018 g de KCl dans 50ml d'eau distillée.
 - 1,044 ml d'HCl dans 50ml d'eau distillée.
- ✓ **Tampon acétate (pH=4,5 ; 0,4M)** : Acétate de sodium CH_3COONa : 1.64g dans 50ml d'eau distillée et Acide acétique CH_3COOH (1M) : 3ml dans 50ml d'eau distillée.
- ✓ **Solution d' AlCl_3 (2%)** : 3.61 g de ($\text{AlCl}_3, 6\text{H}_2\text{O}$) dans 100 ml d'éthanol.
- ✓ **Solution DPPH** : 0.0024g DPPH dans 100ml méthanol pure.
- ✓ **Folin-Ciocalteu (1/10)** : 1 ml de folin +9 ml d'eau distillé
- ✓ **KOH (1M)** : 9.22 g dans 200ml d'eau distillé

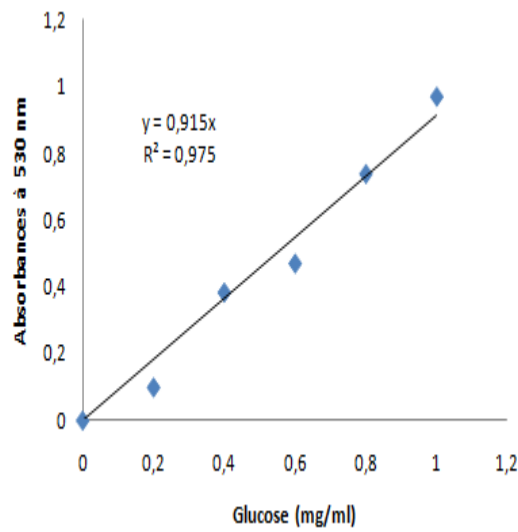
+ Les standards:

Acide gallique, Acide ascorbique, Quercétine, β -carotène, Glucose : (10 mg dans 10ml d'eau distillée).

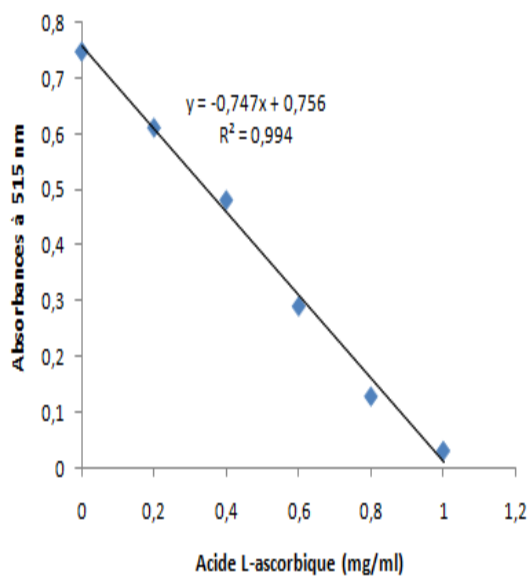
Annexe V Courbes d'étalonnage utilisées



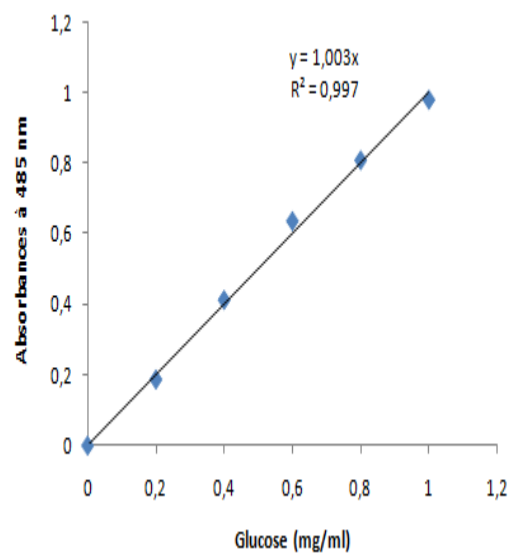
-Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols en utilisant l'acide gallique



-Courbe d'étalonnage pour le dosage des sucres réducteurs en utilisant le glucose

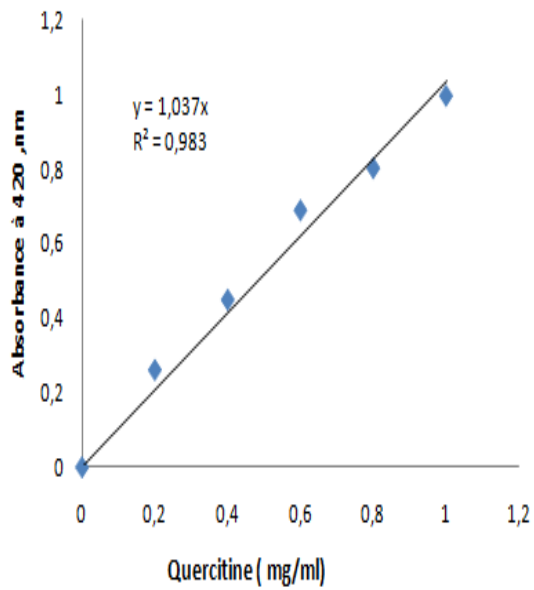


-Courbe d'étalonnage pour le dosage de la vitamine C en utilisant l'acide L-ascorbique

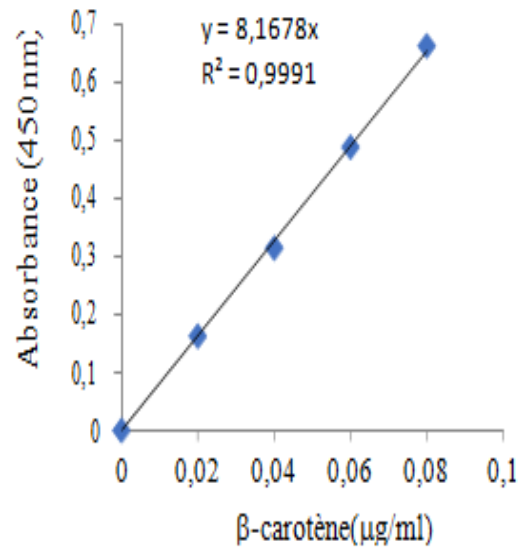


-Courbe d'étalonnage pour le dosage des sucres totaux en utilisant le glucose

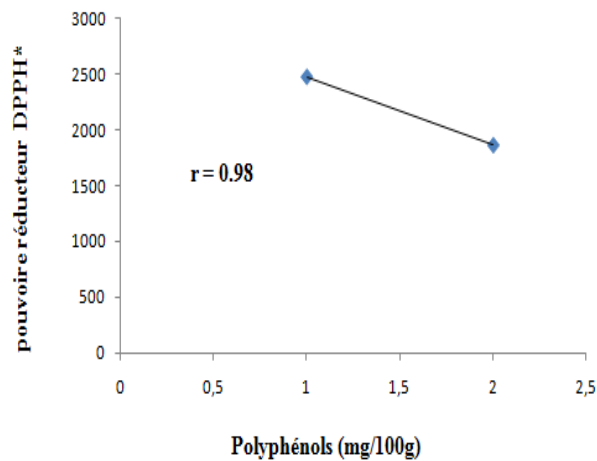
Annexe VI



-Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes en utilisant la Quercétine



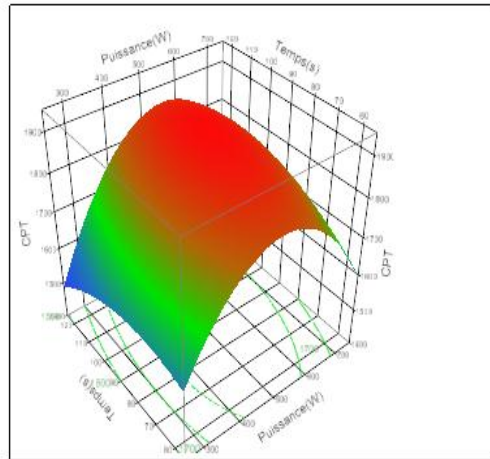
-Courbe d'étalonnage pour le dosage des caroténoïdes en utilisant la β- carotène



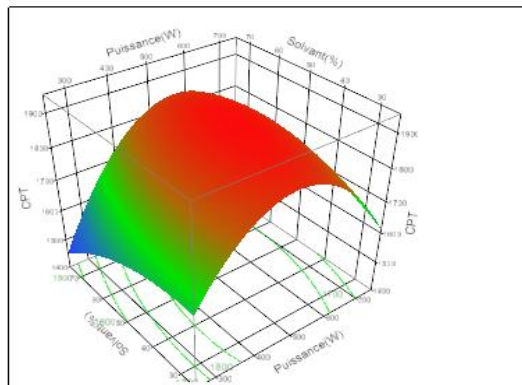
-Corrélations entre le pourcentage d'inhibition du radical DPPH· et les teneurs en Polyphénols.

Annexe VII

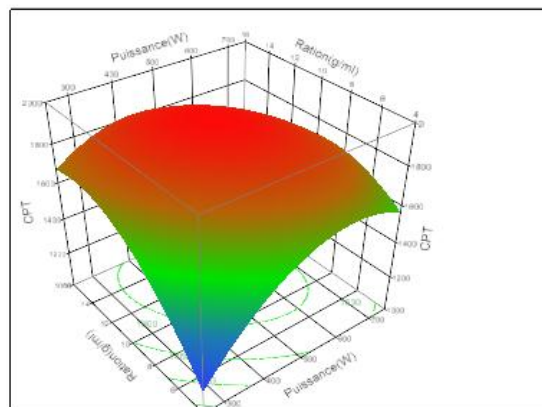
Surface de réponse de l'interaction (puissance-temps) de la fraise



Surface de réponse de l'interaction (puissance-solvant) de la fraise



Surface de réponse de l'interaction (puissance-ration) de la fraise



Résumé

La fraise (*Fragaria X ananassa*) est une source importante de composés bioactifs (composés phénoliques, flavonoïdes, acide ascorbique). L'objectif de ce travail est l'étude physico-chimique de la fraise et l'optimisation des paramètres de séchage et d'extraction de ces composés bioactifs.

Les résultats physico-chimiques indiquent que la fraise contient des taux modérés en sucres et en acidité.

D'une part, le séchage à l'étuve ventilée induit une perte d'humidité pour la tranche la plus mince (0.5cm) à la plus haute température (60°C) pour la fraise. Les résultats d'optimisation de l'extraction montrent que la méthode par micro-onde peut être une meilleure technique pour extraire les polyphénols de la fraise.

La méthode de surface de réponse développée par le plan BBD (Box Behnken) est utilisée dans la présente étude afin d'optimiser les paramètres d'extraction des polyphénols de la fraise fraîche et séchée, et les conditions expérimentales qui permettant une maximisation de l'extraction des polyphénols de fruit étudié sont de l'ordre 2423.43mg/100g avec une puissance de 520W, temps d'extraction de 94.19s, avec l'éthanol aqueux 51.91% et un rapport solvant/prise d'essai 11.36/1g.

Une quantification des antioxydants (polyphénols, flavonoïdes, anthocyanines, caroténoïdes, vitamine C) et une évaluation de l'activité antioxydants (anti-radicalaire DPPH*) de la fraise fraîche et séchée est effectuée.

Mots clés : Fraise, Séchages, Optimisation, Extraction, Antioxydants, Box Behnken.

Abstract

Strawberry (*Fragaria X ananassa*) like other fruits is an important source of bioactive compounds (phenolic compounds, flavonoids, ascorbic acid). The objective of this work is the physicochemical study of the strawberry and the optimization of the parameters of drying and extraction of these bioactive compounds.

Physico-chemical results indicate moderate levels of sugars and acidity.

On the one hand, the drying by the ventilated oven induces a loss of moisture for the thinnest slice (0.5cm) at the highest temperature (60 ° C) for the cutter. Extraction optimization results show that the microwave method may be a better technique for extracting polyphenols from the strawberry.

The surface response method developed by the BBD plane is used in this study to optimize the polyphenol extraction parameters of fresh and dried strawberries.

The experimental conditions allowing a maximization of the extraction of the polyphenols of studied fruit of the order 2423.43mg / 100g with a power of 520W, extraction time of 94.19s, with the aqueous ethanol 51.91% and a ratio solvent / intake 11.36 / 1g.

A quantification of antioxidants (polyphenols, flavonoids, anthocyanins, carotenoids, vitamin C) and an evaluation of the antioxidant activity (anti-free radical DPPH *) of fresh strawberry and dried is carried out.

Key words: Strawberry, Drying, Optimization, , Extraction, Antioxidants, Box Behnken.