

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département des sciences alimentaires  
Spécialité : Qualité des produits et sécurité alimentaire



Réf :.....

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

## **MASTER**

### *Thème*

**Valorisation de la figue sèche de faible  
valeur marchande et du son de blé pour la  
production fermentaire du vinaigre (acide  
acétique)**

Présenté par :

**BELAID Merzouk & KHESRANI Kaci**

Soutenu le : **14 Septembre 2022**

Devant le jury composé de :

Mme. OUKIL Naima

MCA

Présidente

Mr. BOUKHALFA Farid

MCA

Encadreur

Mme. BERKATI Salima

MAA

Examinatrice

**Année universitaire : 2021 / 2022**

## **Remerciement**

---

### **Remerciement**

*Avant tout, nous remercions ALLAH le tout puissant de nous avoir Donné force et patience pour réaliser ce modeste travail.*

*Nous exprimons nos profondes gratitudees à Mr BOUKHALFA Farid Pour nous avoir accompagné durant ce projet, et de nous avoir prêté aide, conseils et attention.*

*Nos vifs remerciements s'adressent également à Mme. OUKIL en sa qualité de présidente du jury et à Mme. BERKATI en sa qualité d'examinatrice.*

*Toutes nos gratitudees aux équipes des laboratoires de BBBS, de Microbiologie appliquée. Et du laboratoire de Technologies Alimentaires.*

*Comme à tous nos professeurs qui ont contribué à notre formation tout au long de ces années.*

*Et à toute personne ayant contribué de près ou de loin à notre succès et à la réalisation de ce travail.*

---

## **Dédicaces**

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents, à mes frères, Younes, Djamel et Hassene, mes chères sœurs, qui m'ont Guidés et accompagné durant toute ma vie et mes études.*

*À mes belles sœurs et mes beaux-frères, à mes neveux et nièces.*

*À mon cher binôme M. KHESRANI Kaci et tous mes ami(e)s.*

*À Boussaad, Lounes, Billal, Amer, Mouhamed, Lammia qui ont rendu mes années d'université une période inoubliable.*

*Merzouk.*

---

## **Dédicaces**

*Je dédie ce modeste travail :*

*À mes parents qui m'ont appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour leurs sacrifices, leurs conseils et leurs encouragements*

*À mes très chers sœurs et frères.*

*A mes belles sœurs et mes beaux frères*

*À mes neveux et nièces.*

*À mes ami(e)s. Arezki, Locif, Toufik, Abdellah.*

*À mon cher binôme M. BELAID Marzouk et tous mes ami(e)s*

*Kaci.*

---

*À notre encadreur Mr F. BOUKHALFA et nos Collègues, Lynda, Souhila, Faïda, Linda, Kenza, Fairouz, Kamir, Yasmine, Kahina, Nawel, Ryma, Sofia et younes.*

## Sommaire

*Liste des abréviations*

*Liste des figures*

*Liste des Tableaux*

**Introduction**..... 1

### **Partie Bibliographique**

Généralités ..... 3

I. L'acide acétique ..... 3

    I.1 Définitions et propriétés ..... 3

    I.2 Production..... 3

    I.3 Procédés de fabrication ..... 6

II. La Figue..... 7

    II.1 Composition chimique de la figue sèche..... 7

    II.2 Production et importance économique de la figue..... 9

III. Le son de blé ..... 9

    III.1 Composition chimique ..... 10

    III.2 Utilisation ..... 10

    III.3 Effet thérapeutique..... 10

### **Matériels et méthodes**

I. Matériel et méthodes ..... 11

    I.1 Matériel végétal ..... 11

    I.2 Matériels biologique ..... 11

        I.2.1 Souche utilisée fermentation alcoolique ..... 11

            I.2.1.1 Observation microscopique ..... 11

            I.2.1.2 Détermination de la masse cellulaire..... 12

        I.2.2 Souche utilisée dans fermentation acétique ..... 12

            I.2.2.1 Observation de l'aspect des colonies..... 12

## *Sommaire*

---

I.2.2.2	Observation microscopique .....	12
I.2.2.3	Tests biochimiques .....	13
I.3	Caractérisation de la poudre de la figue et du son de blé .....	15
I.3.1	Taux de cendres.....	15
I.3.2	Teneur en sucres totaux .....	15
I.3.3	Teneur en sucres réducteurs.....	15
I.3.4	Teneur en protéines .....	16
I.4	La Fermentation Alcoolique .....	16
I.4.1	Facteurs influençant la fermentation alcoolique : Choix des paramètres.....	16
I.5	La Fermentation Acétique .....	17
I.5.1	Facteurs influençant la fermentation alcoolique : Choix des paramètres.....	17
I.6	Application du plan Box -Behenken pour l'optimisation de la fermentation alcoolique.....	18
I.7	Application du plan Box -Behenken pour l'optimisation de la fermentation acétique .....	18

### **Résultats et discussions**

II.	Résultats et discussions .....	20
II.1	Caractérisation des souches utilisées .....	20
II.1.1	Souche de fermentation alcoolique <i>Saccharomyces cerevisiae</i> .....	20
II.1.2	Souche de fermentation acétique ( <i>Acétobacter sp.</i> ).....	20
II.2	Caractères physico-chimiques de la poudre de son de blé et de la figue sèche.....	20
II.2.1	Taux de cendres .....	21
II.2.2	Taux de Protéines.....	21
II.2.3	Taux de Sucres totaux .....	21
II.2.4	Taux de Sucres réducteurs.....	22
II.3	Optimisation des paramètres de production d'éthanol.....	22
II.3.1	Essais préliminaires .....	22
II.3.1.1	Quantité de substrat.....	22

## *Sommaire*

---

II.3.1.2	Temps de fermentation .....	23
II.3.2	Optimisation des conditions de production d'alcool à partir de la figue sèche et du son de blé. ....	23
II.3.2.1	Plan d'expérience de production d'alcool à partir de la figue sèche et son du blé.....	24
II.3.2.2	Validation Model.....	24
II.3.2.3	Effet des facteurs (coefficients) .....	26
II.3.2.4	Analyse du modèle mathématique .....	28
II.3.2.5	Paramètres optimaux .....	29
II.4	Optimisation des paramètres de production d'acide acétique .....	30
II.4.1	Optimisation des conditions de production d'acide acétique à partir de la figue sèche et du son de blé.....	30
II.4.1.1	Plan d'expérience de production d'acide acétique à partir de l'alcool.....	30
II.4.1.2	Validation Model.....	31
II.4.1.3	Effet de facteurs (coefficients).....	33
II.4.1.4	Analyse du modèle mathématique .....	35
II.4.1.5	Paramètres optimaux .....	35
<b>Conclusion</b> .....		<b>37</b>
<b><i>Références bibliographiques</i></b>		
<b><i>Annexes</i></b>		
<b><i>Résumé</i></b>		

## Liste des abréviations

**BBD:** Box-Behnken Desing (Plan de Box Behnken)

**DNS:** Acide 3,5 di- Nitro Salicylique

**VF:** Viande-Foie

**BSA:** Sérum Albumine Bovin

**GYC:** Glucose, Yeast extract, calcium carbonate (milieu Glucose- Extrait de levure- Carbonates de calcium).

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Schéma d'un acétificateur destiné à la production de vinaigre .....	7
<b>Figure 2</b> : Taux de production d'alcool par <i>S. cerevisia</i> en fonction de quantité de substrat pour le Son de blé (A) et la Figue sèche (B) .....	22
<b>Figure 3</b> : Taux de production d'alcool par <i>S. cerevisia</i> en fonction de temps pour la Figue sèche et le Son de blé .....	23
<b>Figure 4</b> : Plan de prédiction réelle d'alcool de la poudre du son de blé (A) et de la Figue sèche (B).....	25
<b>Figure 5</b> : Plan de prédiction réelle d'acide acétique a partire d'alcool issue de la fige sèche (A) et du son de blé (B).....	32

## Liste des tableaux

<b>Tableau I</b> : Composition biochimique et valeur nutritive de la figue sèche .....	8
<b>Tableau II</b> : Composition en minéraux de la figue sèche .....	8
<b>Tableau III</b> : Niveau des paramètres d'optimisation de production d'alcool .....	18
<b>Tableau IV</b> : Niveau des paramètres d'optimisation de production d'acide acétique .....	19
<b>Tableau V</b> : Résultats de l'analyse physico-chimiques des poudres de Figue sèche et du Son de blé .....	21
<b>Tableau VI</b> : Plan et résultats d'optimisation de production d'alcool à partir de la poudre de la figue sèche et du son de blé .....	24
<b>Tableau VII</b> : Analyse de la variance du plan Box-Behnken model de production d'éthanol .....	26
<b>Tableau VIII</b> : Estimation des coefficients de régression de model de la poudre de la figue sèche et du son de blé .....	26
<b>Tableau IX</b> : Les conditions de production maximales de Production d'alcool par S. cerevisiaea partir de la Fignes sèche et le Son de blé .....	29
<b>Tableau X</b> : Plan et résultats d'optimisation des conditions de production d'acide acétique par le plan BBD .....	31
<b>Tableau XI</b> : Analyse de la variance du plan Box-Behnken model de production d'acide acétique.....	32
<b>Tableau XII</b> : Estimation des coefficients de régression de model de la production d'acide acétique.....	33
<b>Tableau XIII</b> : Conditions maximales de production d'acide acétique.....	36

# *Introduction*

### Introduction

L'acide acétique, principalement produit par trois procédés chimiques qui utilisent de l'huile minérale ou du gaz naturel : l'oxydation du *n*-butane, la carbonylation du méthanol et l'oxydation de l'acétaldéhyde (**Giulia et al., 2021**).

La production biologique d'acide acétique par les bactéries présente plusieurs avantages en termes des coûts les plus bas et la bonne qualité du vinaigre, et en outre les bactéries possèdent la plus grande résistance et permettent une émission minimale de composant nocif pour la santé (**Giulia et al., 2021**).

Ces dernières années, la technologie de la fermentation aérobie a également été étudiée pour obtenir de l'acide acétique, à partir de traitement des déchets alimentaires. La génération de produits de haute valeur ajoutée à partir de déchets alimentaires aura une importance décisive pour l'environnement non seulement en termes de réduction des déchets alimentaires, mais aussi en termes d'augmentation du rendement annuel d'acide acétique, en réduisant le coût de production (**Li et al., 2015**).

La figue *Ficus carica L.*, est une bonne source naturelle de nutriments, de substances phyto-chimiques et de minéraux qui peuvent améliorer la santé et la nutrition de l'homme (**Mohamad et al., 2021**). Le fruit frais a une courte durée de vie après récolte, environ deux à trois jours au réfrigérateur, ce qui explique que la majorité de la production est séchée (**Vincenzo et al., 2020**).

En plus d'être consommées comme collations saines, les figues séchées peuvent être transformées en sirop concentré ou en vin. Quant aux fruits qui ne répondent pas à au normes de couleur, taille, l'aspect ou de texture, ils sont classés dans la catégorie de faible valeur marchande et sont réorientés vers la transformation de nouveau produit industriel afin de minimiser les pertes (**Desa et al., 2019**).

Le son de blé est un sous-produit de la mouture du blé qui possède des propriétés alimentaires et non alimentaires. L'utilisation industrielle du son de blé n'a cessé de se développer au fil du temps (**Chung et al., 2022**).

Le but de ce travail est production d'acide acétique par voie biologique en valorisant la figue sèche de faible valeur marchande et le son de blé.

La démarche adoptée pour atteindre les objectifs de ce travail a nécessité l'organisation de ce manuscrit en deux parties :

- La première partie est une revue bibliographique de divers travaux de recherches sur l'acide acétique, la figue et le son de blé.

- La deuxième partie est réservée à l'étude expérimentale. Elle est structurée en trois chapitres:
  - Le premier chapitre du document est consacré aux matériels et méthodes ou les différentes procédures expérimentales sont décrites.
  - Le deuxième chapitre comporte les résultats et discussions et les discute par rapport aux d'études similaires.

Ce travail est finalisé avec une conclusion générale qui récapitule brièvement le cheminement du travail et des perspectives.

# *Partie Bibliographique*

## Généralités

### I. L'acide acétique

#### I.1 Définitions et propriétés

Acétique vient du latin *Acetum*, mot qui désignait chez les Romains le vinaigre. C'est un liquide incolore, dont l'odeur piquante rappelle celle du vinaigre. A la différence de l'acide à l'état impur, il cristallise très facilement lorsqu'il est refroidi. Ses cristaux ressemblent à ceux de la glace d'où le nom d'acide acétique glacial encore couramment employé aujourd'hui et que lui donna Löwitz (**Bernard et al., 1995**).

La formule chimique de l'acide acétique est  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , sa masse molaire 60,05g/mol, sous forme pure un liquide incolore et transparent se solidifiant à 17 °C, bouillant à 118 °C (**Lück et al., 1997**). Il joue, un rôle essentiel dans de nombreuses synthèses et dégradations biologiques accompagnant le métabolisme des aliments et la formation des tissus. On le trouve à l'état libre dans la sueur et le sang. Il est présent également à l'état libre dans la sève des plantes et sous forme d'esters dans les fruits et dans les huiles essentielles. Etape finale de la fermentation d'un grand nombre de produits agricoles, il est aussi préparé en très grandes quantités par l'industrie. Celle-ci l'utilise comme solvant et comme intermédiaire dans la préparation de matières synthétiques (**Bernard et al., 1995**).

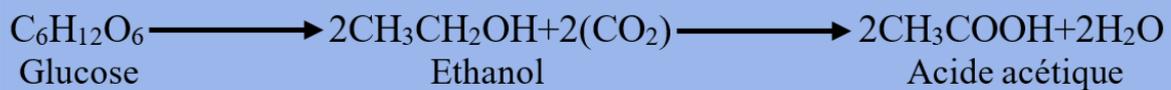
#### I.2 Production

L'acide acétique est fabriqué par oxydation biologique ou par des moyens synthétiques. Tous les procédés biologiques habituels sont basés sur la capacité de l'acétobacter à oxyder l'éthanol en acide acétique. Autrefois, les techniques de surface étaient d'usage courant, les plus connues étant les méthodes d'Orléans, de Boerhaave, du générateur et les méthodes de Schiitzenbach ou méthodes rapide. Cependant, on utilise généralement le procédé par immersion, les matières premières les plus utilisées étant le vin et l'alcool dilué (**Lück et al., 1997**).

L'acide acétique peut être produit synthétiquement par oxydation de l'acétaldéhyde ou des hydrocarbures de faible poids moléculaire. La carbonylation du méthanol est une autre méthode d'une certaine importance industrielle (**Lück et al., 1997**).

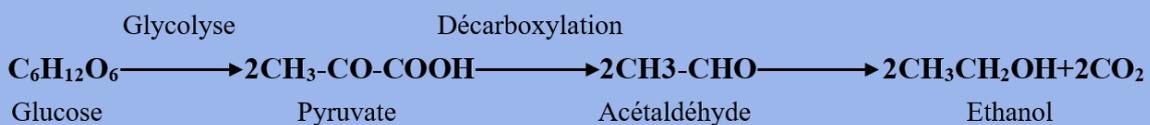
L'acide acétique bio-dérivé a été produit par deux étapes, la première étape, dans laquelle l'éthanol (et le sous-produit  $\text{CO}_2$ ) est produit à partir du glucose en utilisant une

levure anaérobie telle que *saccharomyces cerevisiae*. La seconde étape est l'oxydation de l'éthanol par *acétobacters* (Victor, 1993).



### ❖ Fermentation alcoolique

La fermentation alcoolique se déroule en milieu anaérobie. Elle est assurée par des levures du genre *Saccharomyces*. Elle est principalement basée sur la transformation des sucres, essentiellement le glucose et le fructose, qui pénètrent dans la cellule de la levure par diffusion facilitée et subissent une phosphorylation aboutissant à la fin de la fermentation à l'alcool éthylique, mais aussi sur la production de différents composés qui accompagnent cette production alcoolique, et jouant un rôle organoleptique majeur sur la qualité du produit (Bourgeois et Larpent., 1996). Elle se déroule selon la réaction suivant :



Une production efficace d'éthanol nécessite quatre composants : des glucides fermentescibles, une souche performante, certains nutriments et des conditions de croissance simples (Giulia et al., 2021).

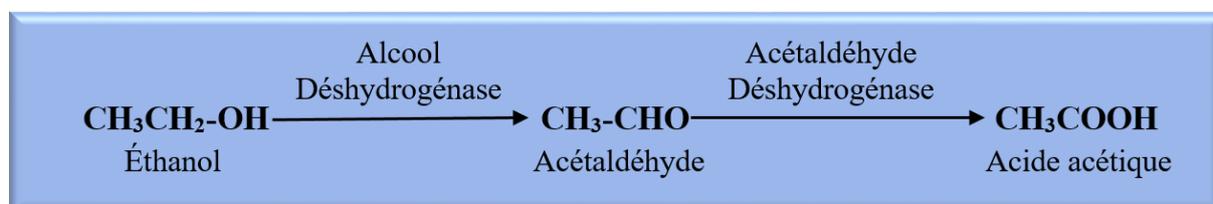
Les différentes espèces de levures représentent un facteur qui peut exercer un effet marqué sur la production de produits de fermentation secondaire. La capacité de ces souches à produire des quantités importantes d'alcool pourrait servir de facteur déterminant dans la sélection des souches de levure (Giulia et al., 2021).

Les caractéristiques et la composition du vin de base peuvent interférer avec la fermentation et donc affecter la qualité du vinaigre. Même la souche de levure utilisée pour la fermentation peut influencer la fermentation acétique, en particulier la croissance de la bactérie acétique, et le profil analytique du vinaigre ainsi obtenu (Giulia et al., 2021).

### ❖ Fermentation acétique

La fermentation acétique est assurée par les acétobacters qui oxydent l'éthanol en acide en présence d'oxygène. Elle met en jeu des déshydrogénases membranaires liées à des cytochromes (Lafon-lafourcade et al., 1979).

Elle se déroule selon la réaction suivante:



Les différentes techniques d'acétification diffèrent dans la manière dont les trois composants (éthanol, bactéries et oxygène) interagissent et sont combinés entre eux. Les principales caractéristiques des bactéries acétiques sont la résistance à de fortes concentrations d'acide acétique et à un faible pH, même si le pH optimal pour la croissance de la bactérie est de 5,5 à 6,3. La température optimale de croissance est comprise entre 25 et 30 °C (Giulia et al., 2021).

Les bactéries acétiques ont été utilisées pendant longtemps avant que leur rôle dans la fermentation acétique ne soit découvert, car en plus de jouer un rôle positif dans la production de certains aliments et boissons, ils peuvent aussi également les altérer. Actuellement, ils sont représentés par les genres suivants : *Acetobacter*, *Acidomonas*, *Ameyamaea*, *Asaia*, *Gluconacetobacter*, *Gluconobacter*, *Granulibacter*, *Kozakia*, *Neoasaia*, *Neokomagataea*, *Saccharibacter*, *Swaminathania* et *Tanticharoenia* (Giulia et al., 2021).

Les espèces d'*Acetobacter* peuvent utiliser les sucres par la voie de l'hexose mono-phosphate et également par les voies d'Embden-Meyerhof-Parnas et d'Entner-Doudoroff. D'autre part, les *Gluconobacter* peuvent obtenir de l'énergie plus efficacement par la métabolisation des sucres par la voie du pentose-phosphate (Giulia et al., 2021).

Le vinaigre, étymologiquement dérive de vin et aigre. C'est un vin rendu aigre par le développement de bactéries acétiques. Par extension, on a appelé vinaigre tout produit obtenu par la fermentation acétique de boissons ou de dilutions alcooliques (Bourgeois et Larpent, 1996). Une solution alcoolique (eau pure + alcool), titrant de 8° à 9° ne se transforme pas en vinaigre si elle est laissée à l'air libre. En effet, elle ne contient aucun des éléments minéraux nécessaires au développement et à la vie de la bactérie. Si l'on ajoute à

cette solution une matière albuminoïde, alors l'acétification (transformation du vin en vinaigre) peut être mise en évidence (**Bernard et al., 1995**).

Le vinaigre est traditionnellement un produit de la fermentation de solutions alcooliques naturelles, qui contiennent 10%-15% en volume d'alcool éthylique. Les matières premières peuvent être diverses : vin, cidre et autres liqueurs provenant de la fermentation alcoolique de céréales, de fruits, de solutions sucrées, ou encore d'éthanol pur avec l'ajout de nutriments. Les procédés de fabrication du vinaigre industriel se répartissent en trois grandes catégories : les procédés lents ou traditionnels (orléanais ou français), les procédés rapides (ou allemands) et les procédés submergés (**Giulia et al., 2021**).

Selon la **FAO**, le vinaigre est un liquide adapté pour la consommation humaine. Il est produit à partir du matériel approprié d'origine agricole. Il renferme dans sa composition de l'amidon et/ou des sucres, Il contient une quantité indiquée d'acide acétique obtenu par le processus de la double fermentation, alcoolique et acétique (**Tesfaye et al., 2002**).

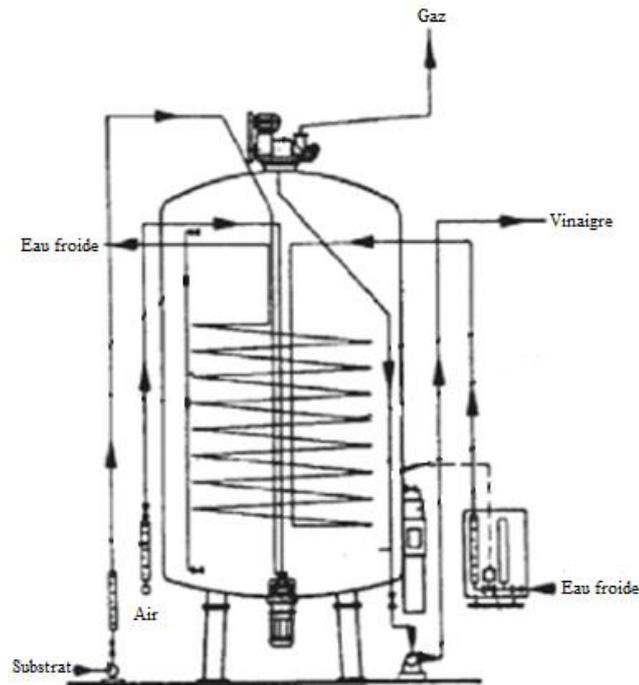
Dans la législation française, la dénomination « vinaigre » est réservée aux produits obtenus par fermentation acétique de boissons ou dilutions alcooliques et renferment au moins 6% d'acide acétique (décret du 28 juillet 1908 modifié par le décret du 28 mars 1924). La fabrication de vinaigre est due aux bactéries acétiques « *Acétobacter* » (**Guiraud, 1998**).

### **I.3 Procédés de fabrication**

#### **○ Procédé de fabrication par culture immergée**

Les bactéries se trouvent dans la masse du liquide alcoolique. De l'air est insufflé à partir d'une turbine fixée dans le fond de la cuve. L'appareil utilisé est un acétificateur qui permet une bonne répartition de l'oxygène de l'air dans la solution alcoolique.

Le vinaigre soutiré contient des bactéries : il faudra donc les remplacer dans chaque cycle de fabrication. Après dix-huit à vingt-quatre heures, le vinaigre est extrait de la cuve. Ce procédé à un rendement excellent. Afin d'éliminer toutes les impuretés et de donner au vinaigre sa limpidité, un filtrage mécanique est effectué. A redouter, dans ce procédé, l'oxydation par des espèces d'acétobacter, de l'acide acétique en CO<sub>2</sub> (**Bernard et al., 1995**).



**Figure 1** : Schéma d'un acétificateur destiné à la production de vinaigre (Anonyme I)

## II. La Figue

Le figuier (*Ficus carica L*) est l'une des espèces fruitières les plus rustiques dans le monde et en Algérie, son aptitude d'adaptation lui permet de supporter des conditions climatiques désertiques et des altitudes très élevées ce qu'il lui permet de mettre en valeur de nombreuses régions déshéritées par sa présence en tant que couverture permanente du sol et par ses fruits très appréciés dans le marché local et extérieur, grâce à leur valeur nutritives, gustatives et ethno-médicinales. Il est considéré avec l'olivier, les agrumes et le palmier dattier comme l'une des arbres fruitiers les plus importants en Algérie (Bourayou et al., 2005).

### II.1 Composition chimique de la figue sèche

La composition des figues sèches peut être influencée par les facteurs environnementaux (nature du sol, conditions climatiques) et le mode de conduite culturale (Vidaud, 1997).

La composition biochimique et minérale de la figue séchée est illustrée dans les tableaux I et II.

**Tableau I :** Composition biochimique et valeur nutritive de la figue sèche  
(Favier et al., 1993)

<i>Constituant</i>	<i>Unités</i>	<i>Moyenne</i>
Energie	Kcal/100g	224,0
Energie	KJ/100g	952,0
Eau	g/100g	25,0
Protéines	g/100g	3,2
Lipides totaux	g/100g	1,2
Glucides	g/100g	53,0
Fibres alimentaires	g/100g	8,0

**Tableau II :** Composition en minéraux de la figue sèche (Favier et al., 1993)

<i>Constituants</i>	<i>Unités</i>	<i>Moyenne</i>
Sodium	mg/100g	14,0
Potassium	mg/100g	770,0
Calcium	mg/100g	160,0
Magnésium	mg/100g	62,0
Fer	mg/100g	2,5
Cuivre	mg/100g	0,32
Zinc	mg/100g	0,55
Phosphore	mg/100g	71,0
Iode	µg/100g	4,0

La figue sèche a la meilleure valeur nutritive parmi les fruits secs, étant une source importante de fibres alimentaires, de minéraux et de vitamines (**Turco et al., 2020**).

Les fruits de la figue contiennent une grande quantité d'acides aminés et d'éléments inorganiques, ce qui témoigne leur grande valeur nutritionnelle. La figue contient également plusieurs composants médicaux tels que la flavone, la rutine et la quercétine, qui peuvent être utilisés dans la production de médicaments contre les maladies cardiovasculaires (**Lianju et al., 2003**).

## II.2 Production et importance économique de la figue

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, en 2014, la superficie plantée en *F. carica* dépasse les 386 737 hectares, avec une production de plus d'un million de tonnes métriques par an (**Isa et al., 2020**). La FAO a estimé en 2016, la superficie figuicole total dans le monde a 308.460 ha, produisant annuellement environ 1 million de tons de fruits dont la Turquie, l'Égypte, l'Algérie, le Maroc, l'Iran, la Syrie et l'Espagne produisent 76% de la quantité globale alors que la Turquie toute seule produise environ 29,08% de la production total (**Mahmoudi, 2018**).

La culture du figuier en Algérie occupe 39 830 ha, environ 6,9 % des plantations fruitières. Le figuier est classé en quatrième place, après l'olivier (33%), le palmier (20%) et l'agrumes (9,1%). La production totale des figues est estimée à 606 900 Qx, dont plus de 80 % est consommée à l'état frais, le reste de la production est soumis au séchage (**Ferradji et al., 2011**).

## III. Le son de blé

Le son est un terme argotique utilisé pour désigner le péricarpe des céréales, le tissu botanique qui enveloppe le grain et qui sert de support mécanique et de protection à l'endosperme (**Chateigner-Boutin, 2015**). Enveloppant le grain et qui donne un support mécanique. Le péricarpe du blé est constitué de sept couches, qui représentent ensemble représentent environ 14 % du poids du grain. Pour des raisons de simplicité, les auteurs regroupent ces couches pour diviser le péricarpe en trois grandes sections (**Antoine, 2003**). Péricarpe interne. Constitué de l'aleurone, une monocouche de cellules végétatives qui entoure l'endosperme et le germe. Entoure l'endosperme et le germe. Bien que l'aleurone appartienne botaniquement à l'endosperme, elle est considérée comme la partie la plus interne du péricarpe car elle y reste car elle y reste collée après la mouture du grain (**Dexter, 2004**).

### III.1 Composition chimique

Le son de blé et la paille ont des teneurs en minéraux plus élevées, notamment K, Na, et Mg, et des teneurs encore plus élevée en métaux lourds, notamment Pb, Zn, Mn et Ni. Les sous-produits agricoles sont constitués de groupes bioactifs sous forme de cellulose, d'hémicellulose, de lignine, de substances ligno-humiques, d'amidon, de sucres et de polysaccharides. Le son de blé est une bonne source de fibres alimentaires car il comprend 46% de polysaccharides non amylicés, dont la cellulose (24%), bêta-glucan (6 %), arabinoxylan (70 %) et des traces d'arabinogalactan et de glucomannan. Le son de blé comprend souvent des acides phénoliques, des caroténoïdes et des tocophérols (**Chung et al., 2022**).

### III.2 Utilisation

Traditionnellement, environ 90% du son de blé est utilisé pour la consommation animale, tandis que les 10% restants ont trouvé des applications en tant qu'ingrédients dans l'élaboration d'aliments transformés, principalement le pain et les snacks de céréales, (**Hemdane et al., 2015 ; Onipe et al., 2015**) ou sont utilisés pour leur inclusion dans des régimes alimentaires sains (**Prückler et al., 2014**).

### III.3 Effet thérapeutique

L'ingestion de fibres, et en particulier de son de blé est réputée capable de modifier la digestion et l'absorption intestinale chez l'Homme et même de réparer certains troubles métaboliques attribués à une alimentation sans fibres. En observant, d'une part, que de nombreuses bactéries du tube digestif étaient capables de métaboliser le son in vitro et d'autre part, que de nombreux métabolites bactériennes du tube digestif apparaissent, disparaissent ou étaient quantitativement modifiées lors de l'ajout du son au régime alimentaire, divers auteurs ont postulé que cette ingestion de son était capable de modifier la flore microbienne du tube digestif (**Duluzeau et al., 1984**).

Le son de blé est riche en fibres et constitue une source importante de fibres pour l'alimentation et les préoccupations nutritionnelles. Une consommation accrue de fibres alimentaires joue un rôle bénéfique dans la réduction des troubles chroniques liés à l'alimentation, à savoir les maladies cardiovasculaires, l'obésité, le diabète, le cancer colorectal et la constipation (**Packkia-Dosset al., 2019**).

# *Partie Expérimentale*

# *Matériels et méthodes*

## I. Matériel et méthodes

Dans notre travail on s'est fixé comme objectif la production d'acide acétique par voie biologique en valorisant la figue sèche de faible valeur marchande et le son de blé.

### I.1 Matériel végétal

L'essai d'optimisation de la production d'acide acétique par voie fermentaire (fermentation alcoolique et acétique) est effectué en utilisant la figue sèche de faible valeur marchande récupérée de la région d'assif el hemmam de la willaya de Bejaia, et du son de blé obtenu de la semoulerie de Sidi-Aich.

Le choix de ces sous-produits se justifie par leur disponibilité, leur abondance, leur faible prix et leur richesse en nutriments ce qui offre des conditions favorables à la croissance et à la fermentation des bactéries utilisées.

La figue a été nettoyées, coupées à l'aide de ciseaux en petits morceaux qui seront séchés à l'étuve à 40 °C jusqu'à stabilité totale du poids. Les figues sont ensuite broyées à l'aide d'un broyeur électrique (Sayona SZJ-1306) afin d'obtenir une poudre fine.

Cette dernière est tamisée à l'aide d'un tamis manuel, et la poudre ainsi obtenue ( $\Phi \leq 250 \mu\text{m}$ ) est conservée à basse température (5 °C), à l'abri de la lumière et de l'humidité dans un récipient hermétique et opaque

Le son de blé est broyé et n'a pas subi de séchage et a été directement conservé dans les mêmes conditions que la poudre de la figue.

### I.2 Matériels biologique

#### I.2.1 Souche utilisée fermentation alcoolique

La souche de levure *Saccharomyces cerevisiae* est procurée de la brasserie Albrau d'el -Kseur (Bejaia) sous forme lyophilisé.

Une pré-culture est préparée avant d'ensemencer le milieu fermentaire, en solubilisant 1g de cette souche lyophilisée dans 50 ml de bouillon nutritif, sous des conditions stériles, et l'ensemble est incubé à 30°C pendant 18 heures pour avoir une culture jeune.

Après un temps de 18 heures d'incubation, une observation microscopique suivi d'un dénombrement sur cellule Malassez sont effectués.

##### I.2.1.1 Observation microscopique

L'examen microscopique permet de définir la forme et la taille et l'arrangement de la levure utilisée.

A l'aide d'une pipette Pasteur stérile, un inoculum est prélevé, à partir du bouillon de pré-culture préparé, et ensuite déposé sur une lame, sur laquelle une quantité de bleu de

méthylène est ajouté. Une lamelle est alors déposée soigneusement, et l'observation microscopique est réalisée.

### I.2.1.2 Détermination de la masse cellulaire

Le dénombrement est effectué à l'aide d'une cellule de Malassez, qui permet grâce au volume calibré de la grille de déterminer le nombre de cellules sous microscope (Denimal, 2018).

Une goutte de l'inoculum est étalée sur l'hématimètre, une goutte de bleu de méthylène est ajoutée. Une fois la lamelle est déposée, un comptage par microscope optique est réalisé.

La masse cellulaire est calculée selon la loi suivante :

$$N = (n \times Fd) / V$$

Sachant que le volume du carré est  $V = s \times p = 5.10^5 \mu\text{m}^3 = 5.10^{-4} \text{mm}^3 = 5.10^{-4} \mu\text{L}$

S: surface (calcul  $S = 50 \times 50 \mu\text{M}$ )  $= 0,05 \text{mm} \times 0,05 \text{mm} = 0.0025 \text{mm}^2$

P: profondeur ou hauteur (0,200 mm)

N : nombre de cellules /ml

Fd : facteur de dilution

n : unités de comptage (nombre de carrés ou rectangles)

V : volume du carré (ou rectangle)

## I.2.2 Souche utilisée dans fermentation acétique

La souche sélectionnée pour effectuer la fermentation acétique, est une bactérie acétique appartenant à l'espèce *Acetobacter sp* ; procurée du Laboratoire de Génie microbiologique et applications de l'Université Frères Mentouri Constantine, sous forme d'une suspension bactérienne.

### I.2.2.1 Observation de l'aspect des colonies

Pour l'observation de l'aspect des colonies, le milieu Glucose, extrait de levure, carbonate de calcium (GYC) estensemencé en surface avec la suspension bactérienne et incubé à 30° C pendant 48 heures.

### I.2.2.2 Observation microscopique

Sur une lame, une goutte de la suspension bactérienne est étalée, et après l'ajout d'une goutte de l'huile à immersion, l'observation est effectuée par microscope optique (G x100).

### I.2.2.3 Tests biochimiques

#### a) Coloration de Gram

Cette coloration comprend différentes étapes, premièrement, une Coloration par le violet de gentiane, et laisser agir durant 30 secondes à 1 minute, puis rincer à l'eau déminéralisée, recouvrir la lame par le Lugol et laisser agir 20 secondes puis rincer à l'eau déminéralisées, suivi d'une décoloration (rapide) à l'alcool: en versant quelques gouttes d'alcool ou un mélange alcool-acétone sur la lame inclinée obliquement puis surveiller la décoloration (5 à 10 secondes), ensuite rincer sous un filet d'eau déminéralisées ; le filet d'eau doit être clair à la fin de la décoloration, ensuite réaliser une recoloration à la fuchsine, il faut laisser agir de 30 secondes à 1 minute puis laver doucement à l'eau déminéralisée avant de Sécher la lame à l'air libre, finalement Observer avec une goutte d'huile à immersion objectif 100 (grossissement x100) (Guiraud, 2012).

#### b) Test de mobilité

Il est réalisé en ensemençant le milieu Mannitol-Mobilité-Nitrate par piqure centrale dans un tube à essai à l'aide d'une anse stérile, puis incubé pendant 24 heures à 30 °C. Un test positif est caractérisé par la croissance de la bactérie dans le milieu, alors la bactérie est mobile, et si la croissance de la bactérie est sous la forme d'une seule ligne, alors les bactéries sont non mobiles (Anonyme II).

#### c) Mise en évidence de la cytochrome oxydase

Le test d'oxydase est réalisé avec des disques oxydase prêts à l'emploi et l'imbiber avec de l'eau physiologique stérile. Une colonie est prélevée et étalée sur le disque d'oxydase à l'aide d'une pipette Pasteur. La réaction est observée dans les 5-10 secondes à 25-30 ° C. Un test oxydase positif est indiqué par l'apparition coloration violet foncé sur le disque (Delarras, 2007)

#### d) Détermination du type respiratoire

Le principal milieu utilisé à cette fin est la gélose viande-foie (gélose VF), premièrement, la gélose VF est régénérée par ébullition au bain-marie bouillant pendant environ 30 minutes puis Ensemencée lorsque le milieu est encore liquide, vers 45°C, l'ensemencement se fait à la pipette Pasteur scellée (ou boutonnée) et chargée. On introduit la pipette Pasteur au fond du tube et on remonte en spirale, ensuite le tube est fermé sans visser le bouchon à fond, sinon il empêche la formation du gradient d'O<sub>2</sub> puis refroidir à l'eau

courante et enfin le tube est placé à l'étuve (à 30°C) pendant 24 heures. Ce test permet l'obtention de quatre modes respiratoires :

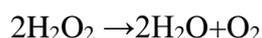
- Type aérobic strict : culture seulement en présence de dioxygène.
- Type aéro-anaérobic : culture en présence et en absence de dioxygène. La technique utilisée ne permet pas de différencier entre les bactéries aéro-anaérobies facultatives et les bactéries anaérobies aéro-tolérantes. On conclut type aéro-anaérobic.
- Type anaérobic strict : culture uniquement en l'absence de dioxygène.
- Type micro-aérophile : culture seulement dans une zone de pression faible en dioxygène (**Anonyme III**).

#### e) Production d'acide acétique à partir d'éthanol

Pour observer la formation d'acide acétique à partir de l'éthanol, la technique de la dissolution du CaCO<sub>3</sub> autour des colonies (sur milieu solide) a été utilisée. Le milieu gélosé contenait pour 1 litre 10g d'extrait de levure, 20g de CaCO<sub>3</sub>, 20mL d'éthanol et 20g d'agar. Les bactéries qui sont capables d'oxyder l'éthanol en acide acétique produisant un halo clair autour des colonies (**Mariama et al., 2021**).

#### f) Test de catalase

La catalase est une enzyme, qui permet la décomposition de l'eau oxygénée qui résulte de l'oxydation par l'oxygène de l'air par la réaction suivante :



Sur une lame de verre propre, déposer une colonie isolée, prélevée directement avec une pipette pasteur boutonnée, puis la mettre en contact avec une goutte de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. S'il y a une effervescence, la bactérie possède la catalase, donc catalase positive, au cas contraire c'est-à-dire pas d'effervescence, la bactérie ne possède pas l'enzyme donc elle est catalase négative (**Guiraud, 2012**).

Cependant, il ne faut pas utiliser d'anse de platine, car elle réagit avec H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> et donne un faux positif. Il est déconseillé de faire ce test à partir d'un bouillon de culture ensemencé, car le résultat est moins net. En cas de doute sur le résultat, refaire avec une plus grosse colonie (**Guiraud, 2012**).

### I.3 Caractérisation de la poudre de la figue et du son de blé

#### I.3.1 Taux de cendres

Le taux des cendres de des poudres étudiées est évalué selon la méthode décrite par **Djafri et al. (2020)**.

Une prise d'essai (3g) de la poudre est incinérée dans un four à moufle pendant cinq heures à 600 °C. Le taux de cendre est calculé par la formule suivante :

Où :

$$\text{Teneur en cendre} = \frac{M_1 - M_2}{p} \times 100$$

- M1: Masse du creuset + poudre de figue sèche ou du son de blé (g)
- M2: Masse du creuset+ cendres (g)
- P : Masse de la prise d'essai (g)

#### I.3.2 Teneur en sucres totaux

La teneur en sucres totaux est déterminée par la méthode de **Dubois (1956)** rapportée par **Jeer et al. (2022)**.

Une prise d'essai de 5 g de la poudre est mélangée avec 50 ml d'eau distillé, et laissée sous une agitation pendant 45 minutes à température ambiante. Une fois filtrée, un volume de 10 ml est additionné avec 750µl de sels CAREZ I et CAREZ II, qui sera ainsi laissé décanter pendant 30 minutes. Une filtration est réalisée afin de récupérer le filtrat. Pour un volume de 1 ml du filtrat sont ajoutés respectivement, 1 ml de phénol à 5% et 3 ml d'acide sulfurique, le mélange est mis à l'abri de la lumière pendant 30 minutes à une température ambiante. L'absorbance est mesurée à 550nm à l'aide d'un spectrophotomètre contre un témoin.

La teneur en sucres totaux est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage qui est réalisée en utilisant le glucose dans les mêmes conditions opératoires.

#### I.3.3 Teneur en sucres réducteurs

Le dosage des sucres réducteurs est réalisé selon la méthode décrite par **Miller (1959)** rapportée par **Jeer et al. (2022)**.

Une prise d'essai de 5g de la poudre est mélangée avec 50 ml d'eau distillé. Le mélange agité pendant 45 min à température ambiante est filtré.

Un volume de 200µl est alors additionné de 300 µl du réactif Acide 3,5 di- Nitro Salicylique (DNS), et subi un chauffage au 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 dans la poudre est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée dans les mêmes conditions opératoires en utilisant le glucose.

### I.3.4 Teneur en protéines

Le dosage des protéines totales est réalisé selon la méthode de **Bradford (1976)** rapportée par **Rekowski et al. (2021)**. Cette méthode colorimétrique permet de déterminer la concentration d'une solution protéique.

Une prise d'essai de 3g de la poudre est diluée dans 50 ml d'eau distillé. L'ensemble est agité pendant 30 minutes, avant d'être filtrée, puis un volume de 100 µl du filtrat est additionné de 3 ml de bleu de Coomassie, et l'absorbance est mesurée à 595 nm à l'aide d'un spectrophotomètre contre un témoin. La teneur en protéines de la poudre est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée en utilisant le Sérum Albumine Bovin (BSA) dans les mêmes conditions opératoires.

## I.4 La Fermentation Alcoolique

La croissance de la levure *S. cerevisiae* est influencée par les paramètres nutritifs et physico chimiques. Afin d'optimiser la production une étude préliminaire est réalisée.

La fermentation submergée est réalisée dans des flacons inoculés par 1ml de la suspension de levures *S. cerevisiae*.

### I.4.1 Facteurs influençant la fermentation alcoolique : Choix des paramètres

#### ✚ Choix de la température

Selon **Charoenchai et al. (1998)** la température agit de façon directe sur la croissance des micro-organismes

Selon **Alio(2020)**, l'intervalle de température 20-35°C permet d'avoir le taux d'alcool le plus élevé.

#### ✚ Choix du pH

*S. cerevisiae* présente l'avantage de croître sur un milieu acide, pour lequel la plupart des bactéries ne se développent pas. Elle préfère un pH compris entre 4 et 4,5 (**Revuz, 1979**),

#### ✚ Choix de la concentration en substrat

Pour la détermination de la concentration optimale en substrat, une série de fermentation est effectués en utilisant 6 flacons numérotés, chaque flacon contenait une concentration déférente (1g/100ml, 2g/100ml, 3g/100ml, 4g/100ml, 4g/100ml et 6g/100ml), et un suivi de l'alcool produit est effectué.

### ✚ Choix du temps d'incubation

Le temps d'incubation est un paramètre influençant la fermentation et la production du bioéthanol (Gonzalez, 2008), le choix du temps d'incubation est donc primordial. Une série de fermentations étaient conduites et des dosages d'alcool produit ont été réalisés à des temps différents, à savoir 24h, 48h, 72h, 96h et 120h.

## I.5 La Fermentation Acétique

### I.5.1 Facteurs influençant la fermentation alcoolique : Choix des paramètres

#### ✚ Choix de la température

La température de croissance optimale pour l'*acétobacter* est de 25-30°C, tandis que les bactéries acétiques thermo tolérantes sont capables de se développer à 37-40°C (Du toit et Pretorius., 2002).

#### ✚ Choix du pH

Le pH optimal pour la croissance de la bactérie de l'acide acétique est de 5,5-6,3, mais cette bactérie peut survivre à des pH faibles, entre 3,0-4,0, que l'on trouve dans le vin (Du toit et Pretorius., 2002).

## I.6 Application du plan Box -Behenken pour l'optimisation de la fermentation alcoolique

Une fois, les paramètres (température, pH, concentration en sulfate d'ammonium) sont déterminés, l'optimisation de l'influence de ces paramètres sur le taux d'alcool produit par *Saccharomyces cerevisiae* est réalisée, par l'application d'un plan factoriel complet à trois facteurs ( $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ), et à trois niveaux (-1, 0, +1). Les niveaux bas, moyen et haut de chaque variable sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau III :** Niveau des paramètres d'optimisation de production d'alcool

Paramètres	Niveau bas (-1)	Niveau centré (0)	Niveau haut (+1)
<b>pH</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>7</b>
<b>Température</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>35</b>
<b>Concentration en sulfate ammonium (mg/100g)</b>	<b>350</b>	<b>450</b>	<b>550</b>

La matrice expérimentale (**Annexe E**) proposé par le plan Box-Behnken, est composée de 15 essais, dont un essai est répété trois fois (0,0,0) pour vérifier l'erreur type de reproductibilité des résultats.

### Dosage d'éthanol

Le taux d'alcool produit de chaque essai est déterminé par un alcoomètre (Funke Gibber) au niveau du laboratoire de la brasserie Albrau (El-KSEUR- BEJAIA).

La sonde liée à l'appareil est plongée dans une éprouvette contenant la solution alcoolique qui sera absorbée par l'alcoomètre. Le taux d'alcool est déterminé en pourcentage volumique.

## I.7 Application du plan Box -Behenken pour l'optimisation de la fermentation acétique

Avant de lancer la fermentation acétique, une fermentation alcoolique est effectuée selon les valeurs critiques proposée par le plan Box-Behnken d'optimisation de la production d'alcool par *Saccharomyces cerevisiae* à partir des poudres de figes sèches et du son de blé.

Une fois, les paramètres (température, pH, Concentration initial en acide acétique ( $C_{IAA}$ )) sont déterminés, l'optimisation de l'influence de ces paramètres sur le taux d'acide

acétique produit par *Acetobacter sp* est réalisée, par l'application d'un plan à trois facteurs ( $x_1, x_2, x_3$ ), et à trois niveaux (-1, 0, +1), comme ils sont représentés dans le tableau IV :

**Tableau IV** : Niveau des paramètres d'optimisation de production d'acide acétique

Paramètres	Niveau bas (-1)	Niveau centré (0)	Niveau haut (+1)
pH	4	5	6
Température (°C)	25	30	35
C <sub>IAA</sub>	1%	2%	3%

La matrice expérimentale (**Annexe F**) proposé par le plan Box-Behnken, est composée de 15 essais.

#### ✚ Dosage d'acide acétique

Le dosage de l'acide acétique se fait par titrimétrie, à l'aide d'une base forte NaOH (0.1N) en présence de phénol phtaléine (**Follman, 1983**).

Un volume de 10 ml du moût de fermentation récupéré à la fin de l'incubation, est titré avec une solution de soude (0.1N) en présence de deux gouttes de phénolphtaléine, et le titrage est arrêté au virage de la couleur (**Follman, 1983**).

La concentration en acide acétique (g/ L) est calculée selon la loi suivante :

$$C(\text{g/L}) = \frac{V * N}{10} * 60,05$$

Dont :

V : volume de soude ajouté (ml).

N : normalité de la soude 0.1 N.

60,05 : masse molaire d'acide acétique (g /mol).

## *Résultats et Discussions*

## II. Résultats et discussions

### II.1 Caractérisation des souches utilisées

#### II.1.1 Souche de fermentation alcoolique *Saccharomyces cerevisiae*

- **Observation microscopique**

Les cellules de la levure *saccharomyces cerevisiae* observées au microscope optique avaient les mêmes caractéristiques morphologiques que celle décrit par **Boulal et al. (2018)**, les cellules étaient des eucaryotes unicellulaires, de forme ovale.

- **Détermination de la masse cellulaire**

La masse cellulaire est de  $5 \times 10^5$  UFC/ml, ce dénombrement permet d'étudier le temps de latence, le taux de croissance et le temps de génération (**Ould el hadj et al., 2006**).

#### II.1.2 Souche de fermentation acétique (*Acétobacter sp.*)

- **Observation morphologique et microscopique**

Les colonies bactériennes sur Milieu GYC sont des colonies Blanches opaque, ronde avec une surface lisse, et après coloration de Gram, les cellules sont des bâtonnets colorés en rose, ces résultats sont identiques à ceux obtenues par **Kowser et al. (2015)** ; **Zahoor et al. (2006)**.

- **Tests Biochimiques**

Les tests biochimiques effectuées ont révélé des cellules Gram négative, mobile, catalase positive, oxydase positif, aérobie strict et le test de production d'acide acétique à partir de l'éthanol a révélé que les bactéries sont aptes à produire de l'acide acétique ce qui est indiqué par la production d'un halo clair autour des colonies bactériennes, ces résultats sont confirmés par **Lisdiyantiet al. (2000)** ; **Cleenwerck et al. (2007)** ; **Ndoye et al. (2007)** ; **Lino et al. (2012)** ; **Spitaels et al. (2013)** ; **Kowser et al. (2015)**.

### II.2 Caractères physico-chimiques de la poudre de son de blé et de la figue sèche

Les résultats d'analyse physico-chimiques des deux poudres utilisés dans notre étude sont présentés dans le **Tableau (V)**.

**Tableau V** : Résultats de l'analyse physico-chimiques des poudres de Figue sèche et du Son de blé

	Sucresréducteurs (g/100g)	Sucres totaux (g/100g)	Protéines totaux (g/100g)	Cendres (g/100g)
Figue sèche	34,91±0.18	48,83±1.13	3,10±0.01	3,68±1.06
Son de blé	43,2±0.31	50,93±0.65	15,1±0.01	6,92±0.07

### II.2.1 Taux de cendres

La quantité majeure des sels minéraux reflète le taux de cendres représentées dans un échantillon (**Djafri et al., 2020**).

Le taux de cendres de la figues sèche est de 3,68%, cette valeur est supérieure à celle rapportée par **Alfaifi et al. (2013)** qui était de 2,0%.

Pour le son de blé, le taux de cendres est de 6,92%, ce résultat est proche de celui rapporté par **De Brier et al. (2015)** ou ils ont trouvé 6.1%, tandis que le taux de cendres estimé par **Ye et al. (2021)** est inférieur à notre résultat avec une valeur de 4.98%, **Hell et al. (2016)** affirment que l'intervalle de taux de cendre pour le son de blé est entre 2.2 à 7.25%.

### II.2.2 Taux de Protéines

La figue sèche contient de faible teneur en protéines ; 3,10±0.01 (g /100g), cette valeur est proche à celles trouvées par **USDA (2019)** ; **Arvaniti et al. (2019)** avec une valeur de 3.3 (g/100g), tandis que **Alfaifi et al. (2013)** ont obtenus une valeur inférieure à la nôtre avec 2.8 g/100g).

Le taux de protéines trouvé dans le son de blé par **Ye et al. (2021)** est de :17.37 (g/100g), et celui rapporté par **De Brier et al. (2015)** est de : 19.4 (g/100g), ces résultats sont plus important que ceux obtenues à partir de nos échantillons avec une valeur de 15,10±0.01 (g/100g). **Hell et al. (2016)** attestent que l'intervalle du taux de protéines pour le son de blé est entre 9.3 et 15.5% ce qui ne corrèle avec nos résultats obtenus.

### II.2.3 Taux de Sucres totaux

D'après les résultats obtenus, la teneur en sucre totaux pour la figue sèche est de 48,83%, cette valeur est supérieure à celles trouvées par **USDA (2019)** et **Arvanitiet al. (2019)** pour le même produit avec un pourcentage de 47,92 (%), mais **Alfaifi et al. (2013)** ont trouvés un résultat supérieur par rapport au notre avec un pourcentage de 51.6 %.

Pour le Son de blé, la teneur en Sucre totaux est de 50,93 (g/100g), une valeur faible comparant au résultats rapportés par **Reisinger et al. (2013)** : 56.9 (g/100g) et ceux obtenus par **Badrie et Mellowers. (1992)** qui étaient de 52.1-53.9 (g/100g)

## II.2.4 Taux de Sucres réducteurs

Le résultat de notre analyse sur la figue sèche est de  $34,91 \pm 0.18$  (g/100g), ce résultat est beaucoup inférieure par rapport aux teneurs trouvées par **Salema et al. (1979)** pour la figue sèche de l'Iraq qui sont de l'ordre de 65.50 (g/100g), alors que les résultats de **Naikwadi et al. (2010)** montrent que le taux de sucres réducteurs pour la figue varie entre 21.1 et 42.3 (g/100g) ce qui corrèle avec la valeur trouvée pour notre échantillon.

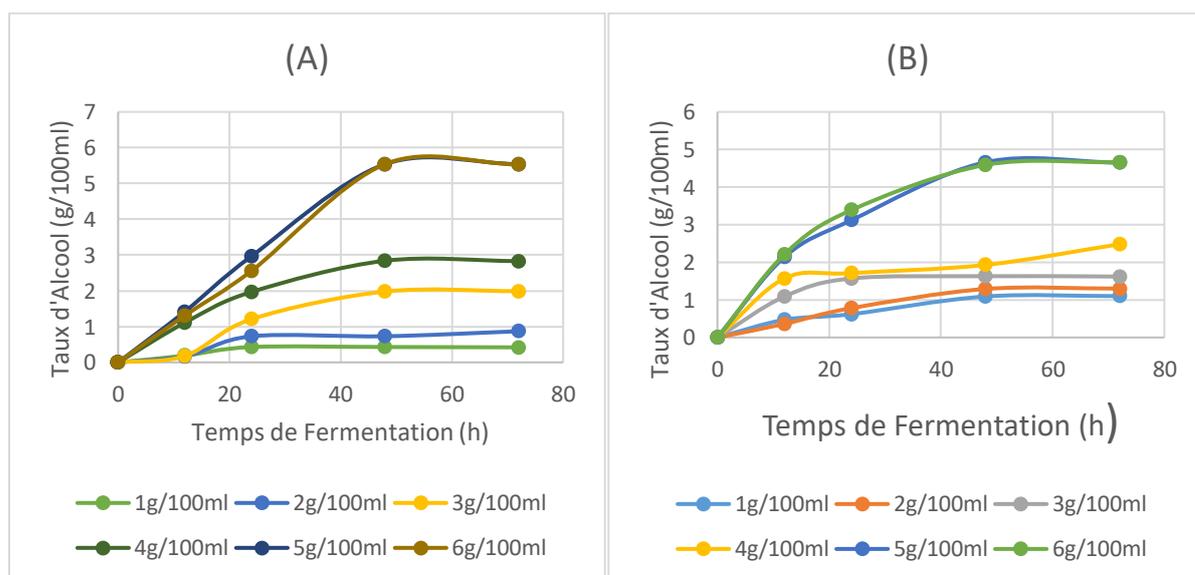
Pour le Son de blé la teneur en sucres réducteurs était de  $43,20 \pm 0.31$  (g/100g)

## II.3 Optimisation des paramètres de production d'éthanol

### II.3.1 Essais préliminaires

#### II.3.1.1 Quantité de substrat

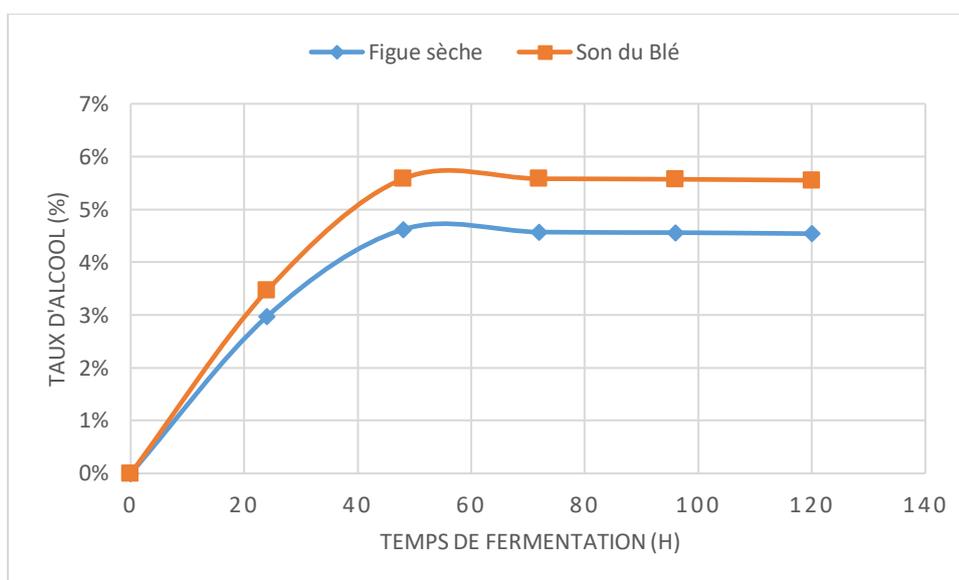
La quantité de substrat est variée et le dosage d'alcool produit est effectués après chaque 24 heures de fermentation. Les résultats présentés dans la **Figure (3)** montrant que 5g de la poudre permet d'obtenir un maximum de production d'alcool pour les deux échantillons par *Saccharomyces cerevisiae* ou la figue sèche et le Son de blé ont permet la production de 4.66 et 5.54 (g/l) respectivement, et ces valeurs restent stable malgré l'augmentation de la quantité des poudres



**Figure 2** : Taux de production d'alcool par *S. cerevisia* en fonction de quantité de substrat pour le Son de blé (A) et la Figue sèche (B)

### II.3.1.2 Temps de fermentation

La détermination du temps de fermentation optimal est faite à l'aide de 5 flacons numérotée 1,2,3,4,5, laissés fermenter pendant 24, 48, 72, 96, 112 heures respectivement, la **Figure (4)** illustre les résultats obtenus ou on remarque que la production maximal d'alcool est atteinte après 48 heures pour la figue sèche et pour le Son de Blé avec une production de 4.7 et 5.58 (g/l) respectivement.



**Figure 3 :** Taux de production d'alcool par *S. cerevisia* en fonction de temps pour la Figue sèche et le Son de blé

### II.3.2 Optimisation des conditions de production d'alcool à partir de la figue sèche et du son de blé.

Après les essais préliminaires, une optimisation de la production d'alcool est faite par le logiciel JMP, Cette méthode permet d'étudier l'influence de chacun des paramètres choisis et d'analyser les interactions entre ces facteurs.

Cette méthode permet de déterminer une relation d'approximation entre les variables d'entrée (facteurs) et les variables de sortie (réponse). En effet, la réponse dépend de la variation des paramètres d'entrée ou stimuli. Ces variables permettent de représenter les variations spatio-temporelles des paramètres d'entrée par des modèles mathématiques (**Goupy, 2006**).

Deux plans expérimentales à 15 tests sont conçus, pour étudier l'influences des paramètres choisis, et de chercher la solution optimale pour la production maximal d'alcool, à partir de la figue sèche et du son de blé.

### II.3.2.1 Plan d'expérience de production d'alcool à partir de la figue sèche et son du blé.

Les résultats des expériences du plan Box-Behnken (BBD), de l'optimisation de production d'alcool par *Saccharomyces cerevisiae* à partir de la poudre de la figue, sont représentés dans le **Tableau (VI)**.

**Tableau VI** : Plan et résultats d'optimisation de production d'alcool à partir de la poudre de la figue sèche et du son de blé

N° d'essais	pH	T (°C)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mg)	Figue sèche		Son de Blé	
				Bioéthanol g/100ml		Bioéthanol g/100ml	
				Valeurs réelles	Valeurs prédites	Valeurs réelles	Valeurs prédites
1	5	35	550	3,75	3,86	5,4	5,45
2	3	25	450	4,25	4,18	5,92	5,92
3	3	30	350	5,95	6,14	6,52	6,57
4	7	35	450	2,62	2,69	4,95	4,95
5	5	25	550	2,42	2,39	4,87	4,95
6	5	30	450	2,75	2,62	4,6	4,52
7	3	35	450	2,85	2,63	4,8	4,84
8	5	25	350	5,75	5,64	5,58	5,54
9	5	30	450	2,57	2,62	4,53	4,52
10	7	30	350	2,82	2,72	5,39	5,47
11	5	35	350	2,05	2,08	4,32	4,24
12	3	30	550	2,32	2,42	6,43	6,35
13	5	30	450	2,53	2,62	4,43	4,52
14	7	30	550	5,15	4,96	6,36	6,31
15	7	25	450	3,02	3,24	4,71	4,67

D'après les résultats de la présente étude, la teneur en alcool de la poudre de la figue sèche et du son de blé varie respectivement de 2,05 à 5,95 g/100ml et de 4,32 à 6,52g/100ml, ce qui confirme l'influence des paramètres (pH, température, concentration en sulfate d'ammonium) sur le taux d'alcool (Nwaga et al., 2009) (Rani et al., 2010).

Il ressort des données, que les valeurs expérimentales et les valeurs prédites sont étroitement rapprochées (Manohar et al., 2013).

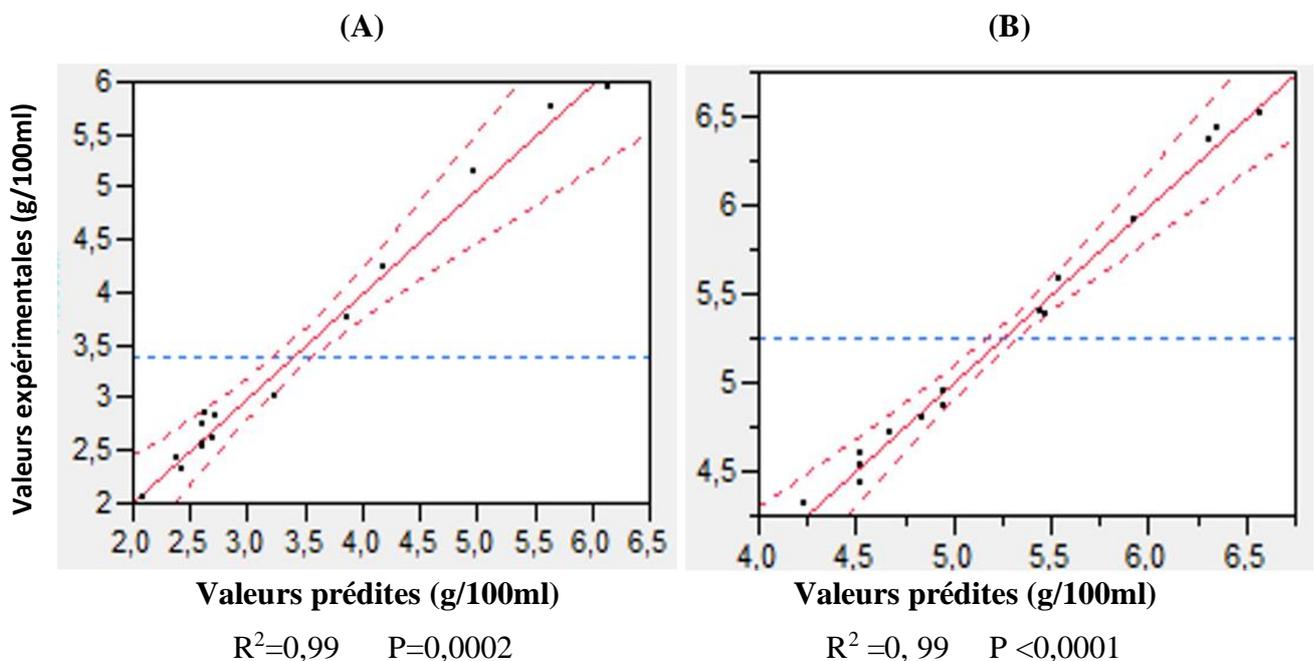
### II.3.2.2 Validation Model

#### ❖ Coefficient de détermination (R<sup>2</sup>)

Le coefficient de détermination (R<sup>2</sup>) du model pour la figue sèche égal à 0,9892 et pour le son de blé est égale 0,99 (**Figure 5**), ce qui signifie qu'uniquement 1% des variations ne sont pas expliquées par le model. De plus, la valeur du coefficient de détermination ajusté, qui

représente la valeur du coefficient de détermination ( $R^2$ ) après élimination des termes (coefficients) inutiles du model, est de l'ordre de  $R^2_{\text{ajusté}} = 0,969761$  pour la figue et  $R^2_{\text{ajusté}} = 0,981768$  pour le son de blé ce qui est assez élevée pour confirmer la haute significativité du model.

Un model contenant beaucoup de termes inutiles (non significatifs) aura une valeur du  $R^2_{\text{ajusté}}$  très inférieure à celle du  $R^2$  (Ghavi, 2015).



**Figure 4 :** Plan de prédiction réelle d'alcool de la poudre du son de blé (A) et de la Figue sèche (B)

#### ❖ Model global et manque d'ajustement

L'analyse de la variance de la régression du model (Tableau VII), montre que le model est hautement significatif  $P=0,0002$  pour la figue sèche et  $P<0001$  pour le son de blé que le manque d'ajustement n'est pas significatif avec une p-value de l'ordre 0,1603 pour la figue sèche et 0,3875 pour le son de blé, ( $P > 0,05$ ) par rapport à l'erreur pure, ce qui confirme que le model est satisfaisant (Lee et al., 2018). Sachant que lorsque, la P-value du manque d'ajustement est significative ce model sera rejeté (Granato et al., 2010).

**Tableau VII** : Analyse de la variance du plan Box-Behnken model de production d'éthanol

	Paramètre	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Rapport f	P-value
<b>Figue sèche</b>	Model	9	22.889242	2.54325	40.8704	0.0002
	Défaut d'ajustement	3	0,0274667	0.013733	5,3987	0,1603
	Erreur pure	2	0,24989167	0,013733	/	/
<b>Son du blé</b>	Model	9	7.9913850	0.887932	84.7667	P<0001
	Défaut d'ajustement	3	0,03777500	0,012592	1,7249	0,3875
	Erreur pure	2	0,01460000	0,007300	/	/

**II.3.2.3 Effet des facteurs (coefficients)**

Les résultats du calcul des coefficients de régression estimés, du model polynomial sont représentés dans le **Tableau (VIII)**.

**Tableau VIII** : Estimation des coefficients de régression de model de la poudre de la figue sèche et du son de blé

	Termes	Estimation	Erreur standard	Rapport t	P-value	
<b>Figue sèche</b>	Intercepte	3,3025	0,085066	38,82	<0.0001*	
	<b>Linéarité</b>					
	pH (4-6)	-0,1325	0.073669	-1,80	0,1320	
	Température (25-35)	-0,44	0.06151	-7,31	0.0007*	
	Sulfate d'ammonium (1-3)	0,4275	0,073669	5.80	0.0021*	
	<b>Interactions</b>					
	pH*Température	-0,0725	0.085066	-0.85	0.4330	
	pH*sulfate d'ammonium	0,0725	0.120302	0,60	0,5730	
	Température*sulfate d'ammonium	0,4275	0,073669	5,80	0.0021*	
	<b>Quadratique</b>					
	pH*pH	0,1	0,095107	1,05	0,3412	
	Température*Température	-0,44	0,095107	-4,63	0,0057*	
	Sulfate d'ammonium* Sulfate d'ammonium	-0,41	0,095107	-4,31	0.0075*	
	<b>Son de blé</b>	Termes	Estimation	Erreur standard	Rapport t	P-value
Intercepte		4.52	0.05909	76.49	<0001*	
<b>Linéarité</b>						
pH(4-6)		-0.285	0.036185	-7.81	0.0006*	
Température (25-35)		-0.20125	0.036185	-5.56	0.0026*	

<b>Sulfate d'ammonium (1-3)</b>	0.15625	0.036185	4.32	0.0076*
<b>Interactions</b>				
<b>pH*Température</b>	0.34	0.051174	6.64	0.0012*
<b>pH* sulfate d'ammonium</b>	1.49	0.051174	11.86	0.0035
<b>Température* sulfate d'ammonium</b>	1.2575	0.051174	10.01	0.0003*
<b>Quadratique</b>				
<b>pH*pH</b>	0.85375	0.053263	16.03	<0001*
<b>Température*Température</b>	-0.27875	0.053263	-5.23	0.0034*
<b>Sulfate d'ammonium * Sulfate d'ammonium</b>	0.6029167	0.053263	15.04	<0001*

L'analyse de la variance de la régression des coefficients consiste à analyser l'impact des variables ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ) afin de déterminer leurs degré d'influence sur la production d'alcool à partir des poudres de la figue sèche et du son de blé (Uma et al., 2010). Les  $P$ -value ( $p < 0.05$ ) sont utilisés comme un moyen pour vérifier la signification de chaque coefficient, ce qui indique aussi l'intensité d'interaction de chaque paramètre. Les plus faible  $P$ -value présentent la plus grande signification du facteur correspondant (Liu et al., 2010).

#### ❖ Effet linéaire

##### a) Figue sèche

D'après les résultats obtenus, seulement le facteur  $X_1$  (potentiel d'hydrogène) ne possède aucune influence significative sur la production d'acide acétique, car sa  $P$ -value supérieur à 0.05.

Le facteur  $X_2$  (température) possède le plus grand impact sur la production d'alcool suivi par le facteur  $X_3$  (sulfate d'ammonium) es deux facteurs manifestent des  $p$ -values très significatives ( $P < 0.01$ ). Le facteur ( $X_2$ ) présente un coefficient négatif (-0,44), ce qui signifie que plus la température augmente plus le taux de production d'alcool diminue (Kumar et al., 2014).

##### b) Son de blé

D'après les résultats obtenus, Le facteur  $X_2$  (température) possède le plus grand impact sur la production d'acide acétique suivi par le facteur  $X_1$  (pH) et le facteur  $X_3$  (sulfate d'ammonium) Les trois facteurs manifestent des  $p$ -values très significatives ( $P \leq 0.01$ ).

Les factures  $X_1$  (pH) et  $X_2$  (température) présentes des coefficients négatifs (-0,285) et (-0,20125) ce qui signifie que plus la température et le pH augmente plus le taux de production d'alcool diminue (Liu et Shen, 2008) (Boulal, 2017).

### ❖ Effet quadratique

Les résultats obtenus, montrent que les facteurs température et sulfate d'ammonium possèdent d'effet quadratique hautement significatives sur la production d'alcool à partir de la figue sèche, alors que pour le son de blé l'effet quadratique des trois facteurs pH, température, sulfate d'ammonium sont hautement significatives. Ce résultat confirme la grande influence des facteurs étudiés dans la production d'alcool.

### ❖ Effet d'interaction

#### a) Figue sèche

L'étude des interactions entre facteurs montre que le couple (température- sulfate d'ammonium) est significatif à l'exception de l'interaction des couples (pH-température) et (Ph- sulfate d'ammonium) qui ne sont pas significative (p value>0.05), (p value>0.05)

#### b) Son de blé

L'étude des interactions entre facteurs montre que les trois couples (pH-température), (pH-sulfate d'ammonium), (température-sulfate d'ammonium) sont significatifs p value<0,05.

### II.3.2.4 Analyse du modèle mathématique

Dans l'absolu, le choix d'un plan d'expérience n'a pas de sens tant qu'il n'est pas subordonné au choix préalable d'un modèle mathématique. Les modèles les plus classiques sont les modèles polynomiaux (le plus souvent de degré inférieur ou égal à deux) (**Tinsson, 2010**).

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

D'après les résultats de l'étude, les valeurs des coefficients significatifs et la fonction qui régit à la production d'alcool à partir de nos échantillons.

Le modèle mathématique du plan Box-Behnken de la présente étude peut être représenté par la relation suivante :

#### a) Figue séchée

$$Y = 2,616667 - 0,22X_1 - 0,52125X_2 - 0,36625X_3 + 1,49X_1X_2 + 1,2575X_2X_3 + 0,5679167(X_1X_1)^2 + 0,8754167(X_3X_3)^2$$

## b) Son de blé

$$Y = 4,52 - 0,2825X_1 - 0,20125X_2 + 0,15625X_3 + 0,34X_1X_2 + 0,265X_1X_3 + 0,4475X_2X_3 + 0,85375(X_1X_1)^2 - 0,2787(5X_2X_2)^2 + 0,80125(X_3X_3)^2$$

## II.3.2.5 Paramètres optimaux

Cette étude montre qu'un modèle polynomial d'ordre deux complet peut modéliser correctement le phénomène étudié. Il apparaît que les conditions expérimentales optimales, c'est-à-dire celles conduisant à une maximisation de production d'alcool sont obtenues au sein du domaine expérimental.

Les conditions de production maximales identifiées, par l'utilisation du logiciel JMP, sont représentées dans le (Tableau IX).

**Tableau IX :** Les conditions de production maximales de Production d'alcool par *S. cerevisiaea* partir de la Figues sèche et le Son de blé

	Variables	Valeurs critiques	Valeurs maximales
Figue sèche	Potentiel Hydrogène (3-7)	5.7	3
	Température (25°C-35°C)	33.6	25
	Sulfate d'ammonium (350-550) mg/100g	415	400
	Taux d'alcool (g/100mL)	2,03	5.95
Son de blé	Potentiel Hydrogène (3-7)	5.1	3
	Température (25°C-35°C)	32	25
	Sulfate d'ammonium (350-550) mg/100g	426	378
	Taux d'alcool (g/100mL)	4.31	6.72

- La figue séchée

D'après les résultats, les meilleures conditions proposées pour produire le maximum d'alcool à partir de la figue sèche qui est de l'ordre 5.95g/100 ml seront obtenus avec : un pH3, température 25°C, et une concentration en sulfate d'ammonium 400mg/100g.

- Le son de blé

D'après les résultats, les meilleures conditions proposées pour produire le maximum d'alcool est de l'ordre 6.72g/100, ml seront obtenus avec : un pH3, température 25°C, et une concentration en sulfate d'ammonium 378mg/100g.

## II.4 Optimisation des paramètres de production d'acide acétique

### II.4.1 Optimisation des conditions de production d'acide acétique à partir de la figue sèche et du son de blé

Après l'étude de l'influence de la technique de production sur la teneur en acide acétique de la figue sèche et du son de blé, une optimisation de la production d'acide acétique est faite par le logiciel JMP, Cette méthode permet d'étudier l'influence de chacun des paramètres choisis et d'analyser les interactions entre ces facteurs.

Cette méthode permet de déterminer une relation d'approximation entre les variables d'entrée (facteurs) et les variables de sortie (réponse). En effet, la réponse dépend de la variation des paramètres d'entrée ou stimuli. Ces variables permettent de représenter les variations spatio-temporelles des paramètres d'entrée par des modèles mathématiques (Goupy, 2006).

Deux plans expérimentales à 15 tests sont conçus, pour étudier l'influences des paramètres choisis, et de chercher la solution optimale pour la production maximal d'acide acétique, à partir de la figue sèche et de son du blé.

#### II.4.1.1 Plan d'expérience de production d'acide acétique à partir de l'alcool

Les résultats des expériences du plan Box-Behnken (BBD), de l'optimisation de production d'acide acétique par les bactéries acétiques à partir de l'alcool déjà produit par *Saccharomyces cerevisiae* (Tableau X).

**Tableau X** : Plan et résultats d'optimisation des conditions de production d'acide acétique par le plan BBD

N° d'essais	pH	T (°C)	C <sub>AAI</sub>	Figue sèche		Son de Blé	
				Acide acétique (g/L)		Acide acétique (g/L)	
				Valeurs réelles	Valeurs prédites	Valeurs réelles	Valeurs prédites
1	4	35	2	2,75	2,79	4,36	4,47
2	5	30	2	3,25	3,30	3,8	3,67
3	6	35	2	2,47	2,50	3,51	3,54
4	5	35	3	2,45	2,41	3,52	3,40
5	5	25	1	2,52	2,52	4,01	4,12
6	4	25	2	3,31	3,27	5,26	5,22
7	4	30	3	3,48	3,48	4,53	4,53
8	5	35	1	1,4	1,36	2,67	2,63
9	6	30	3	3,23	3,23	5,17	5,24
10	5	30	2	3,36	3,30	3,65	3,67
11	5	30	2	3,37	3,30	3,63	3,67
12	5	30	2	3,23	3,30	3,62	3,67
13	4	30	1	2,9	2,89	5,41	5,33
14	6	25	2	3,32	3,28	5,23	5,11
15	5	25	3	3,44	3,47	4,18	4,21

La présente étude exprime la variation de taux production d'acide acétique à partir de l'alcool issue de la figue sèche et du son de blé par une bactérie acétique varie respectivement de 1,4 à 3,48 g/l et de 3,52 à 5,41 g/l, cela confirme l'influence des paramètres optimisés (le potentiel d'hydrogène, la température et la concentration initial en acide acétique) sur la production d'acide acétique (Gullo et al., 2014) (Gao et al., 2020).

Les résultats obtenus de l'analyse effectuée montrent que les valeurs prédites par le BBD ainsi que les valeurs réelles sont proches et s'accordent avec les résultats bibliographiques (Wu et al., 2017).

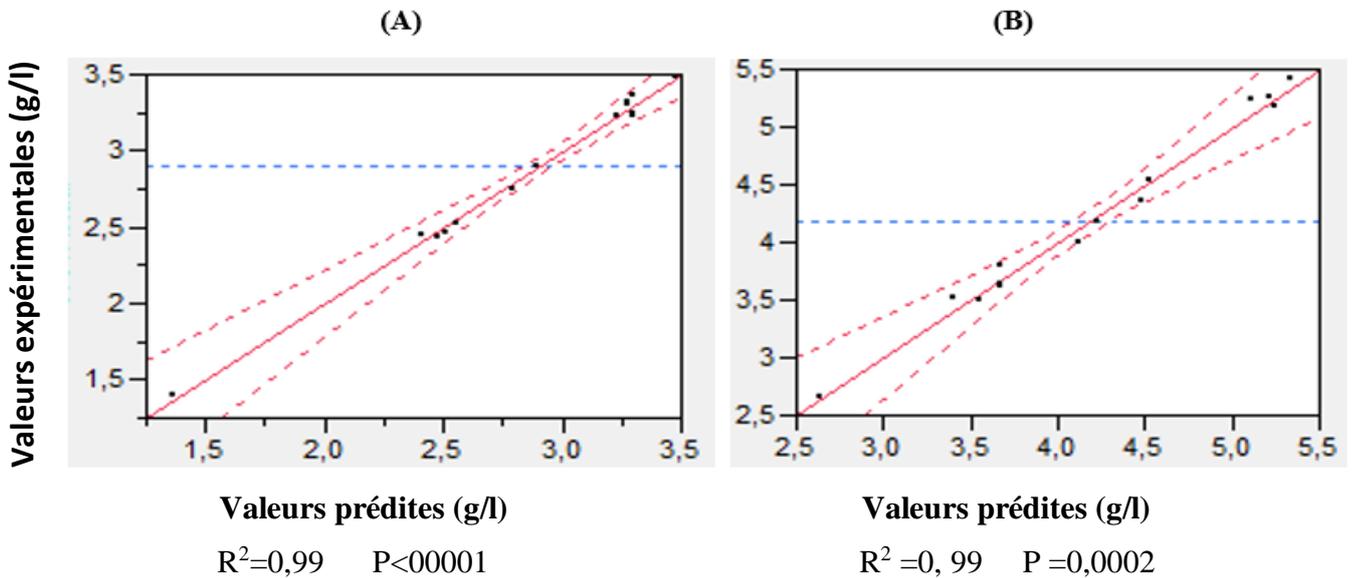
#### II.4.1.2 Validation Model

##### ❖ Coefficient de détermination (R<sup>2</sup>)

Le coefficient de détermination (R<sup>2</sup>) du model est égal à 0,993909 pour la figue et 0,989795 pour le son de blé (Figure 6), ce qui signifie qu'uniquement 1% pour la figue et 2% pour le son de blé des variations ne sont pas expliquées par le model. De plus, la valeur du coefficient de détermination ajusté qui représente la valeur du coefficient de détermination (R<sup>2</sup>) après élimination des termes (coefficients) inutiles du model, est de l'ordre de R<sup>2</sup><sub>ajusté</sub>=0.982945

pour la figue sèche et  $R^2_{\text{ajusté}} = 0,971427$  pour le son de blé, ce qui est assez élevée pour confirmer la haute significativité du model.

Un model contenant beaucoup de termes inutiles (non significatifs) aura une valeur du  $R^2_{\text{ajusté}}$  très inférieure à celle du  $R^2$  (Lee et al., 2012).



**Figure 5 :** Plan de prédiction réelle d'acide acétique a partir d'alcool issue de la fige sèche (A) et du son de blé (B)

L'analyse de la variance de la régression du model (**Tableau XI**), montre que le model est hautement significatif ( $P < 0,0001$ ) pour la figue et  $P=0,0002$  pour le son de blé que le manque d'ajustement n'est pas significatif avec une p-value de l'ordre 0,04453 pour la figue et 0,1089 pour le son de blé, ( $P > 0,05$ ) par rapport à l'erreur pure, ce qui confirme que le model est satisfaisant (Lee et al., 2018). Sachant que lorsque, la P-value du manque d'ajustement est significative ce model sera rejeté (Granato et al., 2010).

**Tableau XI :** Analyse de la variance du plan Box-Behnken model de production d'acide acétique

	Paramètre	Degré de liberté	Somme des carrés	Moyenne des carrés	Rapport f	P-value
Figue sèche	Model	9	4,4423483	0,493594	90,6509	$P<0001$
	Défaut d'ajustement	2	0,01135000	0,005675	1,0724	0,4453
	Erreur pure	5	0,02722	0,005292	/	/
Son du blé	Model	9	9,0568250	1,00631	53,8856	$P=0,0002$
	Défaut d'ajustement	2	0,07207500	0,036038	5,0757	0,1089
	Erreur pure	2	0,01460000	0,007300	/	/

## II.4.1.3 Effet de facteurs (coefficients)

Les résultats du calcul des coefficients de régression estimés, du modèle polynomial sont représentés dans le **Tableau (XII)**.

**Tableau XII** : Estimation des coefficients de régression de modèle de la production d'acide acétique

Figue sèche	<b>Termes</b>	<b>Estimation</b>	<b>Erreur standard</b>	<b>Rapport t</b>	<b>P-value</b>
	<b>Intercepte</b>	3,3025	0,036895	89,51	<0.0001*
	<b>Linéarité</b>				
	<b>pH (4-6)</b>	-0,07	0,031952	-2,19	0,0800
	<b>Température (25-35)</b>	-0,315	0,026089	-12,07	<0.0001*
	<b>C<sub>AAI</sub> (1-3)</b>	0,24	0,031952	7,51	0.0007*
	<b>Interactions</b>				
	<b>pH*Température</b>	-0,0725	0,036895	-1,97	0,1066
	<b>pH*C<sub>AAI</sub></b>	-0,0525	0,052178	-1,01	0,3605
	<b>Température*C<sub>AAI</sub></b>	0,2825	0,036895	7,66	0.0006*
	<b>Quadratique</b>				
	<b>pH*pH</b>	0,2875	0,04125	6,97	0,0009*
	<b>Température*Température</b>	-0,6275	0,04125	-15,21	<0001*
<b>C<sub>AAI</sub>*C<sub>AAI</sub></b>	0,00125	0,04125	-11,45	<0001*	
Son de blé	<b>Termes</b>	<b>Estimation</b>	<b>Erreur standard</b>	<b>Rapport t</b>	<b>P-value</b>
	<b>Intercepte</b>	3,675	0,068328	53,78	<0001*
	<b>Linéarité</b>				
	<b>pH(4-6)</b>	-0,25875	0,059174	-4,37	0.0072*
	<b>Température (25-35)</b>	-0,5775	0,048315	-11,95	<0001*
	<b>C<sub>AAI</sub> (1-3)</b>	0,2165	0,059174	3,65	0,0147*
	<b>Interactions</b>				
	<b>pH*Température</b>	-0,205	0,068328	-3,00	0,0301*
	<b>pH*C<sub>AAI</sub></b>	0,6175	0,096631	6,39	0,0014
	<b>Température*C<sub>AAI</sub></b>	0,17	0,068328	2,49	0,0553
	<b>Quadratique</b>				
	<b>pH*pH</b>	0,99625	0,076393	13,04	<0001*
	<b>Température*Température</b>	-0,08125	0,076393	-1,06	0,3362
<b>C<sub>AAI</sub>*C<sub>AAI</sub></b>	0,00125	0,076393	0,02	0,9876	

L'analyse de la variance de la régression des coefficients consiste à analyser l'impact des variables ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ) afin de déterminer leur degré d'influence sur la production d'acide acétique (Uma et al., 2010). Les  $P$ -value ( $p < 0.05$ ) sont utilisés comme un moyen pour vérifier la signification de chaque coefficient, ce qui indique aussi l'intensité d'interaction de chaque

paramètre. Les plus faible  $P$ -value présentent la plus grande signification du facteur correspondant (Liu et al., 2010).

#### ❖ Effet linéaire

##### a) Figue sèche

D'après les résultats obtenus, seulement le facteur  $X_1$ (potentiel d'hydrogène) ne possède aucune influence significative sur la production d'acide acétique, car sa  $P$ -value supérieur à 0.05.

Le facteur  $X_2$  (température) possède le plus grand impact sur la production d'acide acétique suivi par le facteur  $X_3$  ( $C_{AAI}$ ) Les deux facteurs manifestent des  $p$ -values très significatives ( $P < 0.01$ ). Le facteur ( $X_2$ ) présente un coefficient négatif (-0,315), ce qui signifie que plus la température augmente plus le taux de production d'acide acétique diminue (Jayabalan et al., 2007,2014).

##### b) Son de blé

D'après les résultats obtenus, Le facteur  $X_2$  (température) possède le plus grand impact sur la production d'acide acétique suivi par le facteur  $X_1$  (pH) et le facteur  $X_3$  ( $C_{IAA}$ ) Les trois facteurs manifestent des  $p$ -values très significatives ( $P \leq 0.01$ ).

Les factures  $X_1$  (pH) et  $X_2$  (température) présentes des coefficients négatifs (-0,25875) et (-0,5775) ce qui signifie que plus la température et le pH augmente plus le taux de production d'acide acétique diminue (Sharafi et al., 2010) (Bhat et al., 2014).

#### ❖ Effet quadratique

Les résultats obtenus, montrent que les facteurs pH, température et  $C_{AAI}$  possèdent d'effet quadratique hautement significatives sur la production d'acide acétique à partir de l'alcool issue de la figue, alors que pour le son de blé seul l'effet quadratique du facteur pH est significatives. Ce résultat confirme la grande influence des facteurs étudiés dans la production d'acide acétique.

#### ❖ Effet d'interaction

##### a) Figue sèche

L'étude des interactions entre facteurs montre que le couple (température-  $C_{AAI}$ ) est significatif à l'exception de l'interaction des couples (pH-température) et (pH-  $C_{AAI}$ ) qui ne sont pas significative ( $p$  value= 0,1066 > 0.05), ( $p$  value= 0,3605 > 0.05).

### b) Son de blé

L'étude des interactions entre facteurs montre que les couples (pH-température) et (pH- $C_{AAI}$ ) sont significative à l'exception de l'interaction du couple (température- $C_{AAI}$ ) qui ne pas significative ( $p \text{ value} = 0,0553 > 0,05$ ).

#### II.4.1.4 Analyse du modèle mathématique

Dans l'absolu, le choix d'un plan d'expérience n'a pas de sens tant qu'il n'est pas subordonné au choix préalable d'un modèle mathématique. Les modèles les plus classiques sont les modèles polynomiaux (le plus souvent de degré inférieur ou égal à deux) (Tinsson, 2010).

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

D'après les résultats de l'étude, les valeurs des coefficients significatifs et la fonction qui régit la production d'acide acétique à partir de l'alcool déjà produit à partir de la figue et le son de blé sont alors bien connues.

Le modèle mathématique du plan Box-Behnken de la présente étude peut être représenté par la relation suivante :

#### a) Figue sèche

$$Y = 3,3025 - 0,315X_2 + 0,24X_3 + 0,2825X_2X_3 + 0,2875X_1X_1 - 0,6275X_2X_2 - 0,4725X_3X_3$$

#### b) Son de blé

$$Y = 3,675 - 0,25875X_1 - 0,5775X_2 + 0,21625X_3 - 0,205X_1X_2 + 0,6175X_2X_3 + 0,99625X_1X_1$$

#### II.4.1.5 Paramètres optimaux

Cette étude montre qu'un modèle polynomial d'ordre deux complet peut modéliser correctement le phénomène étudié. Il apparaît que les conditions expérimentales optimales, c'est-à-dire celles conduisant à une maximisation de production de l'acide acétique à partir de la figue et le son de blé sont obtenues au sein du domaine expérimental.

Les conditions d'extractions maximales identifiées, par l'utilisation du logiciel JMP, sont représentées dans le **Tableau (XIII)**.

Tableau XIII : Conditions maximales de production d'acide acétique

	Variables	Valeurs critiques	Valeurs maximales
<b>Figue sèche</b>	<b>Potentiel Hydrogène (4-6)</b>	6	4
	<b>Température (25°C-35°C)</b>	34.8	30
	<b>CAAI (1%-3%)</b>	1.01	2.35
	<b>Taux d'acide acétique (g/L)</b>	1.44	3.7
<b>Son du blé</b>	<b>Potentiel Hydrogène (3-7)</b>	5,55	4
	<b>Température (25°C-35°C)</b>	35	25
	<b>CAAI (1%-3%)</b>	1	1
	<b>Taux d'acide acétique (g/L)</b>	2.33	5.74

- **Figue sèche**

D'après les résultats, les meilleures conditions proposées pour produire le maximum d'acide acétique qui est de l'ordre 3.7g/l, seront obtenus avec un pH=4, température 30C°, avec une concentration initial d'acide acétique 2.35%.

- **Son de blé**

D'après les résultats, les meilleures conditions proposées pour produire le maximum d'acide acétique qui est de l'ordre 5.74g/l, seront obtenus avec un pH=4, température 25C°, avec une concentration initial d'acide acétique 1%.

# *Conclusion*

## **Conclusion**

L'objectif de la présente étude vise à évaluer la possibilité de valorisation des figues sèches à faibles valeurs marchandes et du son de blé par les procédés fermentaires afin de produire du vinaigre.

Les résultats obtenus des analyses physicochimiques des poudres de la figue sèche et du son de blé ont révélés la richesse de ces deux sous-produits en éléments nutritifs tel que : les sucres, les protéines, et les éléments minéraux, ce qui les rend de bon choix pour la valorisation.

Les résultats obtenus de l'application du plan Box-Behenken pour l'optimisation de la production d'alcool par *Saccharomyces cerevisiae* à partir des poudres de la figue sèche et du son de blé étudié, ont révélés :

- ❖ L'importance des facteurs sélectionnés (le pH, la température et la concentration en sulfate d'ammonium) dans l'optimisation de la production d'alcool.
- ❖ Le taux maximal d'alcool est produit avec une température de 25°C, un pH de 3 et une concentration en sulfate d'ammonium de 400 mg/100g pour la figue sèche, et avec une température de 25°C, un pH de 3 et une concentration en sulfate d'ammonium de 378 mg/100g pour le son de blé ; avec 1 ml de la suspension de *Saccharomyces cerevisiae* préparé.

Les résultats obtenus de l'application du plan Box-Behenken pour l'optimisation de la production de l'acide acétique, à partir des poudres de la figue sèche et du son de blé étudié, ont révélés :

- ❖ L'importance des facteurs (le pH, la température et la concentration initiale d'acide acétique) dans l'optimisation de la production d'acide acétique.
- ❖ Le taux maximal d'acide acétique est produit avec une température de 30°C, un pH de 4 et une concentration initiale d'acide acétique de 2.35% pour la figue sèche, et avec une température de 25°C, un pH de 4 et une concentration initiale d'acide acétique de 1% pour le son de blé, avec 1 ml d'inoculum d'*Acétobacter sp.*

Les résultats de la présente étude contribuent à la possibilité d'utiliser la figue sèche et le son de blé comme des sous-produits adéquat à la production du vinaigre. Et afin de compléter ce travail, il serait intéressant d'envisager :

- ❖ D'élargir l'application du modèle Box-Behnken sur d'autres produits, et avantager son utilisation au niveau industriel.
- ❖ D'étudier d'autres facteurs qui peuvent influencer la production d'alcool et d'acide acétique, à savoir le taux d'oxygénation.
- ❖ D'élargir l'étude sur d'autres sous-produits afin d'élaborer de nouveaux produits à valeur économique.
- ❖ D'isoler et purifier des bactéries acétiques les plus performantes.

## *Références bibliographiques*

## *Références Bibliographiques*

- Alfaifi, B., Wang, S., Tang, J., Rasco, B., Sablani, S., & Jiao, Y. (2013). Radio frequency disinfection treatments for dried fruit: Dielectric properties. *LWT-Food Science and Technology*, 50(2), 746-754. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.012>
- Alio, M. A. (2020). *Production de bioéthanol à partir d'une biomasse lignocellulosique multi-ressources locale par prétraitement Organosolv et hydrolyse enzymatique* (Doctoral dissertation, Université Clermont Auvergne [2017-2020]).
- Antoine C, Peyron S, Mabilille F, Lapierre C, Bouchet B, Abecassis J, Rouau X (2003) Individual contribution of grain outer layers and their cell wall structure to the mechanical properties of wheat bran. *J Agric Food Chem* 51(7):2026–2033. <https://doi.org/10.1021/jf0261598>
- Arvaniti, O. S., Samaras, Y., Gatidou, G., Thomaidis, N. S., & Stasinakis, A. S. (2019). Review on fresh and dried figs: Chemical analysis and occurrence of phytochemical compounds, antioxidant capacity and health effects. *Food Research International*, 119, 244-267. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.055>
- Badrie, N., & Mellowes, W. A. (1992). Soybean flour/oil and wheat bran effects on characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) flour extrudate. *Journal of Food Science*, 57(1), 108-111. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb05435.x>
- Bernard, M., Dubusc, M., Lleras, J & Tuech, J. (1995). Vinaigre. Bulletin de l'union des physiciens N° 773, Vol 89, 713-727.
- Bhat, S. V., Akhtar, R., & Amin, T. (2014). An overview on the biological production of vinegar. *International journal of fermented foods*, 3(2), 139-155.
- Boulal, A. (2017). Contribution a l'etude de la microflore des dattes conservées par des méthodes traditionnelles (btana), et valorisation des dattes de faible valeur marchande. *Oran: Université d'Oran, 1*.
- Boulal, A., Khelafi, M., & Kaidi, K. (2018). Procédés expérimentales sur la production de bioéthanol de deuxième génération à partir des sous-produits des palmiers dattiers. *Revue des Energies Renouvelables SIENR*, 18, 63-69.
- Bounihi, A. (2017). *Effet des flavonoïdes de vinaigre de fruits sur les cytokines pro-inflammatoires d'origine adipeuse chez le rat Wistar rendu dyslipidémique* (Doctoral dissertation, Faculté des Sciences Biologiques).
- Bourayou, K., Bouzid, L., Azzouz, M., Boukari, N., Saibi, Z., Khamellah, O. (2005). Possibilité de réhabilitation du figuier (*Ficus carica* L.) en fonction de ses ressources génétiques

en conditions agronomique et socioéconomique Algérienne. Séminaire International Sur l'amélioration des Productions Végétales. INRA-Alger, Algeria.

- Bourgeois, C. M., Larpent, J. P. (1996). Microbiologie alimentaire. Tome 2–Aliments fermentés et fermentations alimentaires, 2eme Ed. Tec et Doc Lavoisier.
- Camille, D. (2007). Microbiologie pratique pour le laboratoire d'analyse ou de contrôle sanitaire. *Edition Lavoisier. P, 128, 129-269.*
- Charoenchai, C., Fleet, G. H., & Henschke, P. A. (1998). Effets de la température, du pH et de la concentration en sucre sur les taux de croissance et la biomasse cellulaire des levures œnologiques. *American Journal of Oenology and Viticulture*, 49(3), 283– 288.
- Chateigner-Boutin A-L, Suliman M, Bouchet B, Alvarado C, Lollier V, Rogniaux H, Guillon F, Larré C (2015) Endomembrane proteomics reveals putative enzymes involved in cell wall metabolism in wheat grain outer layers. *J Exp Bot* 66(9):2649–2658. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv075>
- Chung, W. J., Shim, J., & Ravindran, B. (2022). Application of wheat bran based biomaterials and nano-catalyst in textile wastewater. *Journal of King Saud University-Science*, 34(2), 101775. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2021.101775>
- Cleenwerck, I., Camu, N., Engelbeen, K., De Winter, T., Vandemeulebroecke, K., De Vos, P., & De Vuyst, L. (2007). *Acetobacter ghanensis* sp. nov., a novel acetic acid bacterium isolated from traditional heap fermentations of Ghanaian cocoa beans. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 57(7), 1647-1652. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.64840-0>
- De Brier, N., Hemdane, S., Dornez, E., Gomand, S. V., Delcour, J. A., & Courtin, C. M. (2015). Structure, chemical composition and enzymatic activities of pearlings and bran obtained from pearled wheat (*Triticum aestivum* L.) by roller milling. *Journal of Cereal Science*, 62, 66-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2014.12.009>
- Denimal, E. (2018). *Détection de formes compactes en imagerie: développement de méthodes cumulatives basées sur l'étude des gradients: Applications à l'agroalimentaire* (Doctoral dissertation, Université Bourgogne Franche-Comté).
- Desa, W. N. M., Mohammad, M., & Fudholi, A. (2019). Review of drying technology of fig. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.018>
- Dexter J, Sarkar A (2004) Wheat/dry milling. In: Encyclopedia of grain science, vol 3. Elsevier/Academic, Amsterdam/New York

- Djafri, K., Khemissat, E., Bergouia, M., & Hafouda, S. (2020). Valorisation technologique des dattes de faible valeur marchande par la production du sirop. 19, 97–114.
- Djafri, K., Khemissat, E., Bergouia, M., & Hafouda, S. (2020). Valorisation technologique des dattes de faible valeur marchande par la production du sirop. 19, 97–114.
- Ducluzeau, R., Ladiré, M., & Raibaud, P. (1984). Effet de l'ingestion de son de blé sur la flore microbienne fécale de donneurs humains et de souris gnotoxéniques receveuses, et sur les effets de barrière exercés par ces flores à l'égard de divers microorganismes potentiellement pathogènes. In *Annales de l'Institut Pasteur/Microbiologie*, Vol. 135, No. 2, 303-318 [https://doi.org/10.1016/S0769-2609\(84\)80013-7](https://doi.org/10.1016/S0769-2609(84)80013-7)
- Du Toit, W. J., & Pretorius, I. S. (2002). The occurrence, control and esoteric effect of acetic acid bacteria in winemaking. *Annals of microbiology*, 52(2), 155-179.
- FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Favier, J. C., & Centre informatique sur la qualité des aliments. (1993). *Répertoire général des aliments: Table de composition des fruits exotiques, fruits de cueillette d'Afrique*. Orstom Éditions.
- Ferradji, A., Chabour, H., & Malek, A. (2011). Séchage solaire des figes: Bilan thermique et isotherme de désorption. *Journal of Renewable Energies*, 14(4), 719-728.
- Follman, H. (1983). "Acetic acid." H.J. Rehm and G.Reed Editors, 5, 388–407.
- Gao, L., Wu, X., Xia, X., & Jin, Z. (2020). *Fine-tuning ethanol oxidation pathway enzymes and cofactor PQQ coordinates the conflict between fitness and acetic acid production by Acetobacter pasteurianus*. *Microbial Biotechnology*. doi:10.1111/1751-7915.13703
- Ghavi, P.P. (2015). The extraction process optimization of antioxidant polysaccharides from Marshmallow (*Althaea officinalis* L.) roots, *Int. J. Biol. Macromol*, 75,51–57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.046>
- Giulia, M., Alessandro, B., Alessia, A & Francesca, B. (2021). Acetic acid bioproduction: The technological innovation change. *Science of the Total Environment*, 798, 149292. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149292>
- Gonzalez, S. Y. (2008). *Etude de l'adaptation et de la gestion de l'activité cellulaire dans un bioréacteur biétagé: intensification de la production d'éthanol* (Doctoral dissertation, Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse).
- Goupy, J. (2006). Les plans d'expériences. *Revue Modulad*, 34, 74–116.
- Granato, D., Branco, G. F., & de Araújo Calado, V. M. (2010). WITHDRAWN: Experimental design and application of response surface methodology for process modelling and

- optimization: A review. *Food Research International*, 9969. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.008>
- GUIRAUD J.P. (2012) : *Microbiologie alimentaire*. Ed .Dunod. Paris, 267-270p.
- Guiraud, J. P. (1998). *La microbiologie alimentaire*.
- Gullo, M., Verzelloni, E., & Canonico, M. (2014). Aerobic submerged fermentation by acetic acid bacteria for vinegar production: Process and biotechnological aspects. *Process Biochemistry*, 49(10), 1571-1579. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2014.07.003>
- Hell, J., Prückler, M., Danner, L., Henniges, U., Apprich, S., Rosenau, T., ... & Böhmendorfer, S. (2016). A comparison between near-infrared (NIR) and mid-infrared (ATR-FTIR) spectroscopy for the multivariate determination of compositional properties in wheat bran samples. *Food Control*, 60, 365-369. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.003>
- Hemdane S, Leys S, Jacobs PJ, Dornez E, Delcour JA, Courtin CM (2015) Wheat milling byproducts and their impact on bread making. *Food Chem* 187:280–289. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.048>
- Isa, M. M., Jaafar, M. N., Kasim, K. F., & Mutalib, M. F. A. (2020, May). Cultivation of fig (*Ficus carica* L.) as an alternative high value crop in Malaysia: A brief review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 864, No. 1, p. 012134). IOP Publishing.
- Ismail Y, Yulvizar C & Mazhitov, B. (2018). Characterization of lactic acid bacteria from local cow's milk kefir. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 130, 012019. DOI: <https://dx.doi.org/10.36380/scil.2019.ojaf36>
- Jayabalan, R., Malbasa, R.V., Loncar, Eva S., Vitas, J.S., Sathishkumar, M., (2014). A review on Kombucha tea - microbiology, composition, fermentation, bene-ficial effects, toxicity, and tea fungus. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 13, 538-550. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12073>
- Jayabalan, R., Marimuthu, S., Swaminathan, K., (2007). Changes in content of organic acids and tea polyphenols during kombucha tea fermentation. *Food Chem.* 102 (1), 392-398. doi:10.1016/j.foodchem.2006.05.032
- Jeer, M., Yele, Y., Sharma, K. C., Prakash, N. B., & Ashish, M. (2022). Silicon Supplementation Along with Potassium Activate Defense Reaction in Wheat Plants and Reduce the Impact of Pink Stem Borer Incidence. *Silicon*, 1-8.

- Kowser, J., Aziz, M. G., & Uddin, M. B. (2015). Isolation and characterization of *Acetobacter acetii* from rotten papaya. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 13(2), 299-306. <https://doi.org/10.3329/jbau.v13i2.28802>
- Kowser, J., Aziz, M. G., & Uddin, M. B. (2015). Isolation and characterization of *Acetobacter acetii* from rotten papaya. *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, 13(2), 299-306.
- Kumar, A., Duhan, J. S., Gahlawat, S., & Gahlawat, S. K. (2014). Production of ethanol from tuberous plant (sweet potato) using *Saccharomyces cerevisiae* MTCC-170. *African Journal of Biotechnology*, 13(28).
- Lafron-Lafourcade, S., Laruc, F., & Ribereau-Gayon, P. (1979). Evidence of the existence of "Survival Factors" as an explanation for some peculiarities of yeast growth, especially in grape must of high sugar concentration. *Applied and Environmental Microbiology*, 38, 1069-1073.
- Lee, J.H., Lama, S., Kim, J.R., Park, S.H., 2018. Production of 1,3-propanediol from glucose by recombinant *Escherichia coli* BL21 (DE3). *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 23, 250–258. <https://doi.org/10.1007/s12257-018-0017-y>.
- Lee, Y.J., Kim, H.J., Gao, W., Chung, C.H., Lee, J.W., (2012). Statistical optimization for production of carboxymethylcellulase of *Bacillus amyloliquefaciens* DL-3 by a recombinant *Escherichia coli* JM109/DL-3 from rice bran using response surface method. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 17, 227–235. <https://doi.org/10.1007/s12257-011-0258-5>
- Li, Y., He, D., Niu, D & Zhao, Y., (2015). Acetic acid production from food wastes using yeast and acetic acid bacteria micro-aerobic fermentation. *Bioprocess Biosyst*, 38, 863–869. <https://doi.org/10.1007/s00449-014-1329-8>.
- Lianju, W., Weibin, J., Kai, M., Zhifeng, L., & Yelin, W. (2001, May). The production and research of fig (*Ficus carica* L.) in China. In *II International Symposium on Fig 605* (pp. 191-196).
- Iino, T., Suzuki, R., Kosako, Y., Ohkuma, M., Komagata, K., & Uchimura, T. (2012). *Acetobacter okinawensis* sp. nov., *Acetobacter papayae* sp. nov., and *Acetobacter persicus* sp. nov.; novel acetic acid bacteria isolated from stems of sugarcane, fruits, and a flower in Japan. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 58(3), 235–243. <https://doi.org/10.2323/jgam.58.235>
- Lisdiyanti, P., Kawasaki, H., Seki, T., Yamada, Y., Uchimura, T., & Komagata, K. (2000). *Systematic study of the genus Acetobacter with descriptions of Acetobacter*

- indonesiensis* sp. nov., *Acetobacter tropicalis* sp. nov., *Acetobacter orleanensis*(Henneberg 1906) comb. nov., *Acetobacter lovaniensis*(Frateur 1950) comb. nov., and *Acetobacter estunensis*(Carr 1958) comb. nov. *The Journal of General and Applied Microbiology*, 46(3), 147–165. <https://doi.org/10.2323/jgam.46.147>
- Liu, J., Takada, R., Karita, S., Watanabe, T., Honda, Y., & Watanabe, T. (2010). Microwave-assisted pretreatment of recalcitrant softwood in aqueous glycerol. *Bioresource Technology*, 101(23), 9355–9360. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.07.023>
- Liu, R., & Shen, F. (2008). Impacts of main factors on bioethanol fermentation from stalk juice of sweet sorghum by immobilized *Saccharomyces cerevisiae* (CICC 1308). *Bioresource technology*, 99(4), 847-854. doi:10.1016/j.biortech.2007.01.009
- Lück, E., & Jager, M. (1997). Acetic acid. In *Antimicrobial Food Additives* (pp. 137-144). Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-642-59202-7\_17
- Mahmoudi, S. (2018). Etude physico-chimique et caractérisation techno-biologique de quelques variétés de figue algériennes (Doctoral dissertation, Université Saad Dahlab BLIDA 1, Faculté des Sciences de la nature et de la vie, Département d'Agro-alimentaire).
- Manohar, M., Joseph, J., Selvaraj, T., & Sivakumar, D. (2013). Application of Box Behnken design to optimize the parameters for turning Inconel 718 using coated carbide tools. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(4), 620-644.
- Mariama, C. K., Malick, M., Khady, S., Coumba, T. K. (2021). ISOLEMENT, IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DE SOUCHES DE BACTERIES ACETIQUES A PARTIR D'UN ALCOOL DE MANGUE FERMENTE. *Int. J. Adv. Res*, 9(03), 271-281. <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/12580>
- Mohamad, H.S., Sun, W., et Cheng, Q. (2021). A review of chemical constituents, traditional and modern pharmacology of fig (*Ficus carica* L.), a super fruit with medical astonishing characteristics. *Polish Journal of Agronomy*, 44, 22-29. doi: 10.26114/pja.iung.452.2021.452.04
- Naikwadi, P. M., Chavan, U. D., Pawar, V. D., & Amarowicz, R. (2010). Studies on dehydration of figs using different sugar syrup treatments. *Journal of food science and technology*, 47(4), 442-445. DOI: 10.1007/s13197-010-0073-6
- Ndoye, B., Cleenwerck, I., Engelbeen, K., Dubois-Dauphin, R., Guiro, A. T., Van Trappen, S., ... & Thonart, P. (2007). *Acetobacter senegalensis* sp. nov., a thermotolerant acetic acid bacterium isolated in Senegal (sub-Saharan Africa) from mango fruit (*Mangifera indica*

- L.). *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 57(7), 1576-1581. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.64678-0>
- Nwaga, D., Omoloko, C., Kouam, E., & Wu, J. (2009). Optimisation de la production d'éthanol par les techniques d'hydrolyse de l'amidon de manioc et la fermentation de la levure de bière (*Saccharomyces cerevisiae*). *Journal of the Cameroon Academy of Sciences*, 8(1), 3-10.
- Onipe OO, Jideani AIO, Beswa D (2015) Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. *Int J Food Sci Technol* 50(12):2509–2518. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12935>
- Ould el hadj, M. D., Bitour, Z., & Siboukeur, O. (2006). Etude De La Production De Levure Boulangère (*Saccharomyces Cerevisiae*) Cultivée Sur Mout De Rebut De Dattes. Product Engineering of Yeast Baker (*Saccharomyces Cerevisiae*) Cultivated on Must of Dates Rejects. *Courrier Du Savoir*, 7, 13–18.
- Packkia-Doss, P. P., Chevallier, S., Pare, A., & Le-Bail, A. (2019). Effect of supplementation of wheat bran on dough aeration and final bread volume. *Journal of food engineering*, 252, 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.01.014>
- Prückler M, Siebenhandl-Ehn S, Apprich S, Höltinger S, Haas C, Schmid E, Kneifel W (2014) Wheat bran-based biorefinery 1: Composition of wheat bran and strategies of functionalization. *LWT – Food Sci Technol* 56(2):211–221. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.004>
- Rani PS, Sharma FC, Garg KR and Leela Wati. (2010). Research communication “Ethanol production”. *Indian Journal of Science and Technology*. 3(7): 733 - 736.
- Reisinger, M., Tirpanalan, Ö., Prückler, M., Huber, F., Kneifel, W., & Novalin, S. (2013). Wheat bran biorefinery—a detailed investigation on hydrothermal and enzymatic treatment. *Bioresource technology*, 144, 179-185. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.06.088>
- Rekowski, A., Langenkämper, G., Dier, M., Wimmer, M. A., Scherf, K. A., & Zörb, C. (2021). Determination of soluble wheat protein fractions using the Bradford assay. *Cereal Chemistry*, 98(5), 1059-1065.
- Revuz, B., (1979). *Microbiologie et industrie alimentaire (culture de la levure sur mûlasse)*. (Ed) Lavoisier. Paris, pp 113-120.
- Salema, S. A., & Abdul-Nour, B. A. (1979). Sugars and amino acids in dried Iraqi figs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 30(6), 620-622. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740300611>

- Sedaghat, S., & Rahemi, M. (2018). Effects of physio-chemical changes during fruit development on nutritional quality of fig (*Ficus carica* L. var. 'Sabz') under rain-fed condition. *Scientia Horticulturae*, 237, 44-50. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.003>
- Sharafi, S., Rasooli I, & Beheshti-Maal. (2010). Isolation, characterization and optimization of indigenous acetic acid bacteria and evaluation of their preservation methods. *Journal Iranien de Microbiologie*, 2(1), 38–45.
- Spitaels, F., Li, L., Wieme, A., Balzarini, T., Cleenwerck, I., Van Landschoot, A., ... Vandamme, P. (2013). *Acetobacter lambici* sp. nov., isolated from fermenting lambic beer. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 64(Pt 4), 1083–1089. doi:10.1099/ijs.0.057315-0
- Tesfaye W., Morales, M.L., Garcia-Parrilla & Troncoso, A.M.( 2002). Wine vinegar: technology, authenticity and quality evaluation; *Journal of Trends in Food Science & Technology*, Vol. 13, pp. 12-21
- Tinsson, W. (2010). *Plans d'expérience: constructions et analyses statistiques* (Vol. 67). Springer Science & Business Media.
- Turco, V. L., Potortì, A. G., Tropea, A., Dugo, G., & Di Bella, G. (2020). Element analysis of dried figs (*Ficus carica* L.) from the Mediterranean areas. *Journal of Food Composition and Analysis*, 90, 103503. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103503>
- Uma, D. B., Ho, C. W., & Wan Aida, W. M. (2010). Optimization of extraction parameters of total phenolic compound from Henna (*Lawsonia inermis*) leaves. *Sains Malaysiana*, 39(1), 119-128.
- USDA (2019). National Nutrient Database for Standard References <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/746768/nutrients> Consulté le 21 juillet 2022.
- Victor, A. H. (1992). *Acetic acid and its derivatives*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781482277272>
- Vidaud J., 1997. Le figuier monographie du CTIFL , France, 267
- Vincenzo, L. T., Angela, G. P., Alessia, T *et al.* (2020). Element analysis of dried figs (*Ficus carica* L.) from the Mediterranean areas. *Journal of Food Composition and Analysis*, 90, 103503. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103503>
- Vinson, J. A., Zubik, L., Bose, P., Samman, N., & Proch, J. (2005). Dried fruits: excellent in vitro and in vivo antioxidants. *Journal of the American College of nutrition*, 24(1), 44-50. <http://dx.doi.org/10.1080/07315724.2005.10719442>

- Wu, X., Yao, H., Cao, L., Zheng, Z., Chen, X., Zhang, M., Wei, Z., Cheng, J., Jiang, S., Pan, L., & Li, X. (2017). Improving acetic acid production by over-expressing PQQADH in acetobacter pasteurianus. *Frontiers in Microbiology*, 8(SEP), 1713. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.01713>
- Ye, G., Wu, Y., Wang, L., Tan, B., Shen, W., Li, X., ... & Zhang, D. (2021). Comparison of six modification methods on the chemical composition, functional properties and antioxidant capacity of wheat bran. *LWT*, 149, 111996. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111996>
- Zahoor, T., Siddique, F., & Farooq, U. (2006). Isolation and characterization of vinegar culture (*Acetobacter aceti*) from indigenous sources. *British Food Journal*, 108(6), 429–439. <https://doi.org/10.1108/00070700610668405>

## *Références web*

Anonyme I: History of Biotechnology in Austria, URL:  
<https://studfile.net/preview/409222/page:14/> Consulté le : 23/06/2022 à 22:19.

Anonyme II: URL [https://www.humeau.com/media/blfa\\_files/TC\\_257-Mannitol-Mobilite\\_FR\\_230215.pdf](https://www.humeau.com/media/blfa_files/TC_257-Mannitol-Mobilite_FR_230215.pdf) Consulté le : 16/07/2022 à 18:10

Anonyme III: Guillaume, P. Y. (2004). Le milieu Viande foie. URL :  
[http://py.guillaume1.free.fr/pierre-yves/site%20microbiologie/page%20les%20milieux%20de%20culture/milieu\\_en\\_tube/viande\\_foie.htm](http://py.guillaume1.free.fr/pierre-yves/site%20microbiologie/page%20les%20milieux%20de%20culture/milieu_en_tube/viande_foie.htm) Consulté le : 15/07/2022 à 20:19.

# *Annexes*

**Annexe A : dosage des protéines méthode Bradford (1976)**

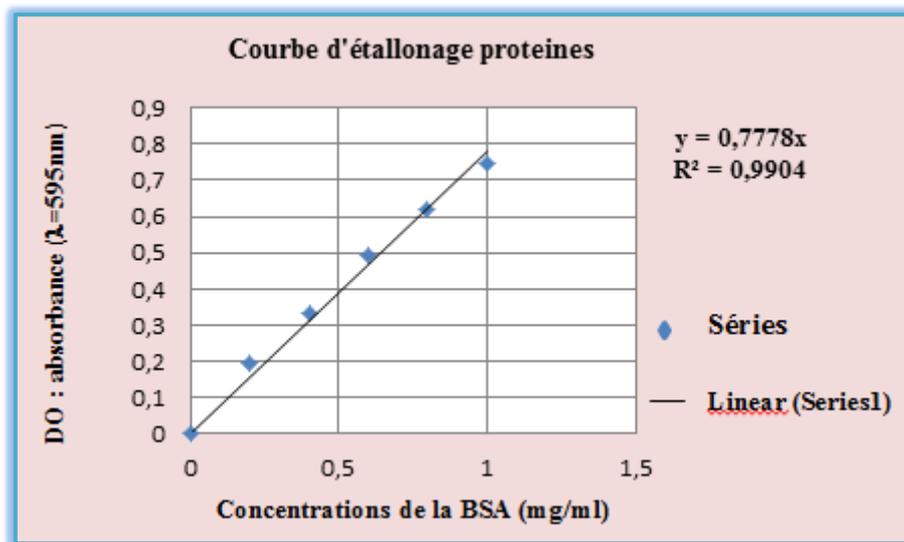
**1. Préparation du réactif de Bradford (1976).**

- BBC G-250.....100 mg
- Ethanol absolu .....50 ml
- Acide phosphorique à 85%.....100 ml
- Compléter à 1000 ml avec l'eau distillée.
- Conservation pendant 3 semaines à 4 °C et à l'abri de la lumière.

**2. la courbe d'étalonnage**

Une gamme étalon est préparée à partir d'une solution mère de sérum albumine bovine (BSA) (1mg/1ml), le protocole suivie est résumer dans le tableau suivant.

<b>Tube</b>	Blanc	1	2	3	4	5
<b>Volume SM (ml)</b>	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
<b>Volume eau distillé (ml)</b>	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
<b>Volume finale (ml)</b>	1ml					
<b>Réactif de Bradford</b>	3ml					
<b>Abs à 595nm</b>	/	0,196	0,336	0,491	0,621	0,747



Courbe d'étalonnage protéines

## Annexe B : Dosage des sucres totaux méthode de DUBOIS(1956)

### 1. Composition des solutions CAREZ I et II :

➤ la solution CAREZ I :

- Acétate de zinc trihydraté.....23.8g
- Acide acétique glaciale .....3g
- Eau distillé.....100ml

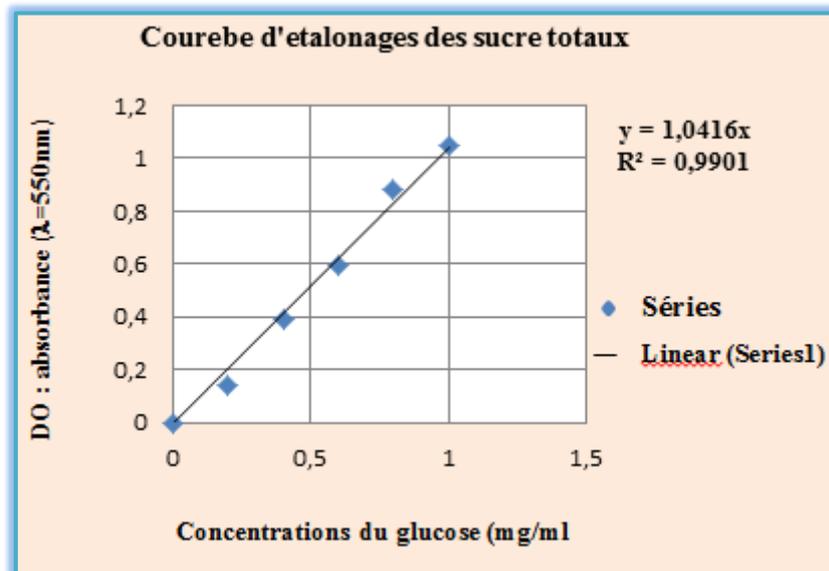
➤ La solution CAREZ II :

- Ferrocyanure de potassium.....10.6g
- Eau distillé .....100ml

## Annexe

Une gamme étalon est préparée à partir d'une solution mère (1mg de Glucose / ml d'eau distillé), le protocole suivie est résumé dans le tableau suivant :

Tube	Blanc	1	2	3	4	5
Volume SM (ml)	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Volume eau distillé (ml)	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
Volume finale (ml)	1					
Volume récupérer (ml)	0,5					
Volume phénol (ml)	1					
Volume H2SO4 (ml)	3					
laisser à l'obscurité Pendant 30 minutes						
Absorbance 550 nm	/	0,142	0,393	0,592	0,881	1,046



**Courbe d'étalonnage des sucres totaux**

## Annexe C : Dosage des sucres réducteur (Miller, 1959)

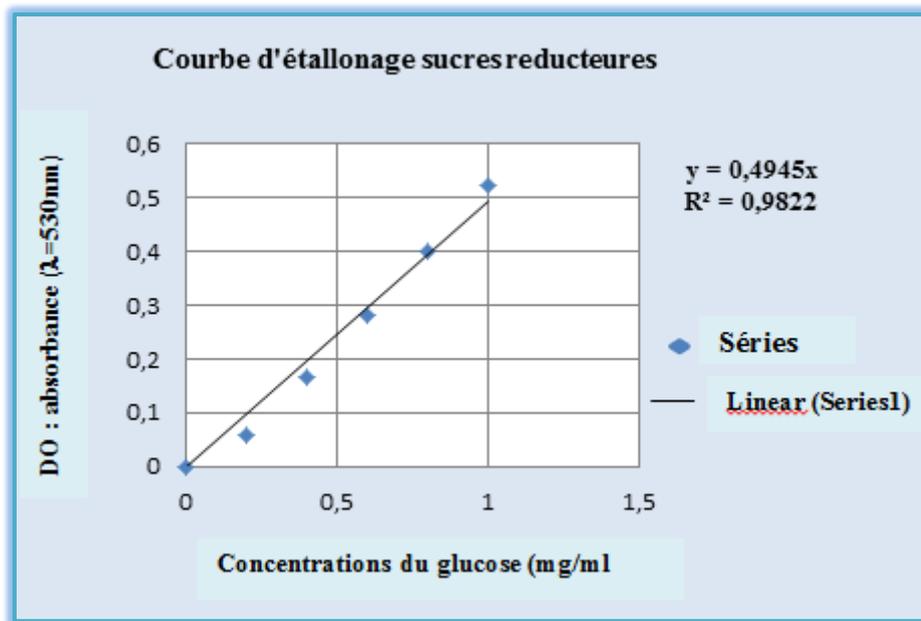
### 1. Composition du réactif DNS

- DNS.....2g
- Soude.....3.2g
- Tartrate double sodium potassium.....60g
- Eau distillé.....100ml

### 2. Elaboration de la courbe d'étalonnage

Une gamme étalon est préparée à partir d'une solution mère (1mg de Glucose / 1 ml d'eau distillé), en utilisant le DNS. Le protocole suivi est résumé dans le tableau suivant.

Tube	Blanc	1	2	3	4	5
<b>Dilution 1/2</b>	0,5ml de la solution glucose + 0,5 d'eau distillé					
<b>Volume SM (ml)</b>	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
<b>Volume eau distillé (ml)</b>	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
<b>Volume finale (ml)</b>	1					
<b>Volume récupérer (ml)</b>	0,4					
<b>DNS (ml)</b>	0,6					
Chauffage pendant 5min à 100°C +2ml d'eau distillé, laisser à l'obscurité Pendant 15 minutes						
<b>Absorbance 530 nm</b>	/	0,059	0,167	0,280	0,399	0,522



Courbe d'étalonnage des sucres réducteurs

## Annexe D : Milieux de cultures

### 1. Bouillon nutritif

- Peptone .....10,0 g/L
- Chlorure de sodium .....5,0 g/L
- Extrait de bœuf .....10,0 g/L

### 2. Milieu GYC (Glucose, Yeast extract, CaCO<sub>3</sub>)

- Glucose .....100 g/L
- Extrait de levures .....10 g/L
- CaCO<sub>3</sub> .....20 g/L
- Agar .....15g/L

## Annexe

### Annexe E : La matrice expérimentale proposé par le plan Box-Behnken pour l'optimisation de production d'alcool

N° d'essais	Test	pH	T (°C)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (mg)
1	0++	5	35	550
2	--0	3	25	450
3	-0-	3	30	350
4	++0	7	35	450
5	0-+	5	25	550
6	000	5	30	450
7	-+0	3	35	450
8	0--	5	25	350
9	000	5	30	450
10	+0-	7	30	350
11	0+-	5	35	350
12	-0+	3	30	550
13	000	5	30	450
14	+0+	7	30	550
15	+0-	7	25	450

### Annexe F : La matrice expérimentale proposé par le plan Box-Behnken pour l'optimisation de production d'acide acétique

N° d'essais	Test	pH	T (°C)	CAAI
1	0++	4	35	2
2	000	5	30	2
3	-0-	6	35	2
4	-0+	5	35	3
5	+0+	5	25	1
6	0+-	4	25	2
7	000	4	30	3
8	-+0	5	35	1
9	+0-	6	30	3
10	--0	5	30	2
11	++0	5	30	2
12	0--	5	30	2
13	+0-	4	30	1
14	0-+	6	25	2
15	000	5	25	3

## Résumé

Ce travail est consacré à la valorisation de la figue sèche de faible valeur marchande et du son de blé, en optimisant les paramètres qui influencent leur bioconversion par *Saccharomyces cerevisiae* en alcool (éthanol). Cette levure estensemencée sur les solutions de poudre de figue sèche et du son de blé dont la caractérisation physico-chimique révèle Pour la figue sèche : Sucres totaux 48.83 g/100g, sucres réducteurs 34.91 g/100g, protéines totales 3,10 g/100g, taux de cendres 3,68 g/100g, tandis que pour le son de blé : Sucres totaux 50.93 g/100g, sucres réducteurs 43.2g/100g, protéines totales 15,1 g/100g, taux de cendres 6,92 g/100g. Des Essais préliminaires ont été effectués pour déterminer le temps d'incubation optimal (48 heures) et les concentrations substrat optimales (5g/100mL). L'application du modèle BBD avec trois facteurs (pH, température, concentration de sulfate d'ammonium) avec les trois niveaux (-1, 0, +1) a révélé une production maximale d'alcool de 5.95g/100mL dans les conditions : température 25°C ; pH=3 et 400mg/100g de sulfate d'ammonium pour la figue sèche, tandis que pour le son de blé la production maximale d'alcool était de 6.72g/100 dans les conditions : température 25°C ; pH=3 et 378mg/100g de sulfate d'ammonium. L'alcool obtenu à partir des deux solutions de poudres a été bioconverti en acide acétique par fermentation acétique à l'aide d'*Acetobacter sp.* Le modèle BBD a également été appliqué sur les paramètres suivants : pH ; température ; concentration initiale d'acide acétique à trois niveaux (-1, 0, +1), afin de déterminer les conditions optimales de production d'acide acétique.

**Mots clés :** figue sèche ; son de blé ; éthanol ; acide acétique ; fermentation ; box-behenken ; *saccharomyces cerevisiae* ; *Acetobacter sp.*

## Abstract

This work is devoted to the valorization of the dry fig of low market value and the wheat bran, that by the optimization of the parameters which influence their bioconversion by *Saccharomyces cerevisiae* to Alcohol (ethanol), This yeast is sown on the dry fig and wheat bran powder solutions whose physicochemical characterization reveals For the dry fig: total sugars 48.83g/100g, reducing sugars 34.91 g/100g, total proteins 3.10 g/100g, ash content 3.68 g/100g, while for wheat bran: total sugars 50.93 g/100g, reducing sugars 43.2g/100g, total proteins 15,1 g/100g, ash content 6,92 g/100g. Preliminary tests were carried out to determine the optimal incubation time (48 hours) and the optimal powder concentrations for the solutions (5g/100mL for both dried fig and wheat bran powder solutions). The application of the BBD model with three factors (pH, temperature, ammonium sulfate concentration) with the three levels (-1, 0, +1) revealed a maximum alcohol production of 5.95g/100mL under temperature conditions 25°C; pH=3 and 400mg/100g of ammonium sulfate for the dry fig, while for the wheat bran the maximum alcohol production of 6.72g/100 under temperature conditions 25°C; pH=3 and 378mg/100g of ammonium sulfate. The alcohol already produced from the two powders was bioconverted into acetic acid by acetic fermentation using *Acetobacter sp.* The BBD model was also applied on the following parameters: pH; temperature; initial concentration of acetic acid at three levels (-1, 0, +1) to determine the optimal conditions for acetic acid production.

**Keywords:** dry fig; wheat bran; ethanol; acetic acid; fermentation; box-behenken; *saccharomyces cerevisiae*; *Acetobacter sp.*