



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد البشير الإبراهيمي برج بوعريريج

Université Mohammed El Bachir El Ibrahimi B.B.A

كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers

قسم العلوم البيولوجية

Département des Sciences Biologiques



# Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine des Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : MICROBIOLOGIE Appliquée

## Intitulé :

Utilisation des déchets agricoles pour la production de  $\alpha$   
amylase : Synthèse bibliographique

### Présenté par:

BELKACEM Sarra & SLIMANI Fatima zohra & TENNACHE Dounia.

: Soutenu le \_25\_ / \_06\_ / 2023, Devant le Jury

	Nom & Prénom	Grade	Affiliation / institution
Président :	M. SEDRATI Tahar	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Encadrant :	Mme. TAMINE Milouda	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj
Examineur :	Mme. BOUGUERRA Asma	MCB	Université de Bordj Bou Arreridj

Année Universitaire 2022/2023

## *Remerciements*

On tient à exprimer notre gratitude envers Mme Milouda Tamine, pour son soutien, sa patience et ses précieux conseils tout au long de ce projet de recherche. Sans son expertise et son orientation, ce travail n'aurait pas été possible.

Nous exprimons nos reconnaissances envers notre université: Mohamed El Bachir El- Ibrahimi Bordj Bou Arreridj, pour nous avoir offert l'opportunité de poursuivre nos études supérieures et d'approfondir nos connaissances dans notre domaine d'intérêt. Aussi on remercie toute la famille et nos amis pour leur soutien moral et leurs encouragements qui sont une source de motivation tout au long de nos études.

## *Dédicace*

Je dédie humblement ce travail à mes parents, les êtres les plus chers au monde. Qu'ALLAH les protège et les préserve. À mon cher père Hanafi, tu es pour moi un modèle de père respectueux, honnête et responsable. Grâce à toi, j'ai appris de nombreuses valeurs et principes qui m'ont aidé à grandir et à devenir la personne que je suis aujourd'hui. Je te remercie pour ton amour, ta générosité et ton soutien indéfectible tout au long de mon éducation. Puisse Allah te bénir, te donner santé, bonheur et te protéger de tout mal.

À ma chère mère Samia, aucun mot ne peut exprimer l'amour, la dévotion et l'affection que j'ai pour toi. Tu as toujours été là pour me soutenir et m'encourager tout au long de mes études, et pour me reconforter quand j'en avais besoin. Je prie pour que Dieu te donne santé, bonheur et longue vie.

Je pense également à mes chères sœurs Djamila et Selma, ainsi qu'à mon frère Oussama, qui ont toujours été présents pour moi et avec qui j'ai partagé de nombreux moments de joie et de bonheur.

Je n'oublie pas mes formidables grands-parents Ali et Baya, qui nous ont quitté sans avoir vu ce jour. Ils ont toujours été là pour me soutenir et m'encourager, et je garde leur souvenir précieusement dans mon cœur. Qu'Allah les bénisse et les accueille dans son vaste paradis.

Enfin, je dédie ce travail à toutes les personnes que j'aime et que je respecte, pour leur soutien et leur encouragement tout au long de ma vie.

*Sarra*

## *Dédicace*

*Je voudrais tout d'abord exprimer ma gratitude envers Allah pour m'avoir accordé la force et le courage nécessaires pour achever ce travail avec succès.*

*À ma chère mère Atika, source inépuisable de tendresse, aucune dédicace ne pourrait suffire à témoigner de l'amour éternel et de la considération que j'ai pour toi. Tu as consenti des sacrifices incroyables pour mon bien-être et mon éducation, allant bien au-delà de ce que l'on pourrait attendre d'une mère. Je te dédie humblement ce travail en signe de mon profond amour. Puisses-tu être préservée par Dieu le Tout-Puissant et bénéficier d'une santé, d'une longue vie et de bonheur. J'espère être une source de fierté pour toi.*

*Je remercie également mon père Slíman pour sa patience, son encouragement, ses sacrifices et son soutien infaillible. À mes sœurs Sofia et Manel, qui ont toujours été à mes côtés durant mes années d'études, je ne pourrais jamais imaginer ma vie sans vous. Vous êtes d'une importance capitale pour moi, et je n'oublierai jamais votre encouragement, votre soutien moral et vos sacrifices tout au long de mon parcours.*

*Enfin, à mon unique frère Sofiane Anis, merci pour ton soutien indéfectible. Tu as été un pilier et un repère dans ma vie, et je t'en suis très reconnaissante. Je vous aime tous énormément, et je vous souhaite beaucoup de succès, de prospérité et une vie remplie de joie et de bonheur.*

*Dounia*

## *Dédicace*

*Avant tout, je remercie ALLAH qui m'a donné le courage, la  
patience et la volonté de pouvoir aujourd'hui faire cette*

*dédicace*

*Je dédie ce modeste travail à ma mère, qui m'a entouré  
d'amour, d'affection et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon père, mon précieux offre de dieu, pour son  
encouragement, son soutien et surtout son amour et son  
sacrifice. Que dieu les garde et les protège*

*A mon cher mari Mohamed, que dieu le protège*

*A mes adorables sœurs : Sabrina ; Maya, qui n'ont pas cessé  
de me soutenir tout au long de mes études. Que dieu leurs offre*

*la chance et le bonheur*

*A mon neveu Qusai que j'aime, Que dieu te préserve santé et*

*longue vie*

*A tous mes amis et à tous ceux qui m'aiment et que j'aime*

*Fatima*

## *Table des matières :*

<b>Remerciements</b>	
<b>Dédicaces</b>	
<b>Résumé</b>	
<b>Abstract</b>	
<b>الملخص</b>	
<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Liste des figures</b>	
<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : L'alpha amylase</b>	
I.1. Généralités	3
I.2. Définition	3
I.3. La nomenclature d'alpha- amylase	3
I.4. La structure d'alpha -amylase	3
I.5. Mécanisme d'action d'alpha -amylase	4
I.6. Les caractéristiques de l'alpha- amylase	5
• Le poids moléculaire	5
• La température	5
• Le pH	6
I.7. Les sources d'alpha amylase	7
I.7.1. La source végétale	7
I.7.2. La source animale	7
I.7.3. La source microbienne	7
• L'alpha-amylase bactérienne	7
• L'alpha-amylase fongique	8
• L'alpha-amylase recombinante	8
I.8. Les applications industrielles des alpha-amylases	9
I.8.1. L'industrie papetière	9
I.8.2. L'industrie textile	9
I.8.3. L'industrie chimique (détergents)	9
I.8.4. L'industrie alimentaire	10
I.8.5. L'industrie pharmaceutique	10

I.8.6. Autres applications	10
• L'industrie de production d'éthanol	10
• La conversion de l'amidon	10
I.9. Production et purification d' $\alpha$ -amylase	11
<b>Chapitre II : Les déchets agricole</b>	
II.1. Généralités	12
II.2. Catégories des déchets	12
II.3. Les caractéristiques des déchets	
• La densité	12
• Le degré d'humidité	13
• Le pouvoir calorifique	13
• Le rapport des teneurs en carbone et azote	13
II.4. Les déchets agricoles	13
II.4.1. Les effluents d'élevages	13
II.4.2. Les déchets agricoles post-récolte	14
II.4.3. Les résidus agro-industriels	14
II.5. La composition lignocellulosique des déchets agricoles	15
II.6. Valorisation des déchets agricole	16
II.6.1. La production du papier et carton	16
II.6.2. La production du biocarburant	16
• La production du biogaz	18
II.6.3. La production du bioplastique	18
II.6.4. La production de compost	19
II.7. Prétraitements des déchets agricoles	19
II.7.1. Prétraitement physique	20
• Le prétraitement mécanique	20
• Le prétraitement par ultrason	20
• Le prétraitement thermique	20
• Le prétraitement par micro-ondes	20
II.7.2. Prétraitement chimique	21
• Prétraitement acide	21
• Prétraitement alcalin	21
• Prétraitement oxydant	22

• Prétraitement au solvant organique	22
II.7.3. Prétraitement biologique	22
1. Prétraitement fongique	22
2. Termites	22
3. Prétraitement du consortium microbien	22
4. Enzymes	22
II.7.4. Prétraitement physico-chimique	23
➤ Prétraitement d'explosion à la vapeur	23
➤ Prétraitement à la chaleur alcaline	23
➤ Prétraitement d'explosion de fibres d'ammoniac	23
➤ Prétraitement d'extrusion	23
<b>Chapitre III : Procédé de production d'alpha amylase</b>	
III.1. Généralités	26
III.2. Fermentation à l'état solide	26
III.3. Préparation d'inoculum	28
III.4. Préparation du substrat	29
III.5. Procédé de fermentation	29
III.6. Extraction enzymatique et dosage de l' $\alpha$ -amylase	30
III.7. Résultats et discussion	31
<b>Conclusion</b>	<b>33</b>
<b>Références bibliographiques</b>	

*Liste des tableaux :*

<b>Tableau I.</b> La température optimale pour la production d' $\alpha$ -amylase par différents micro-organisme	<b>6</b>
<b>Tableau II.</b> Le pH optimal pour la production d' $\alpha$ -amylase par différents micro-organisme	<b>6</b>
<b>Tableau III.</b> Sources microbiennes de la production d' $\alpha$ -amylase	<b>8</b>
<b>Tableau IV.</b> La composition lignocellulosique de quelques déchets agricoles	<b>16</b>
<b>Tableau V.</b> Avantages et inconvénient des prétraitements physiques	<b>21</b>
<b>Tableau VI.</b> Avantages et inconvénient des prétraitements chimiques	<b>22</b>

*Liste des figures :*

<b>Figure 1 :</b> Domaines de structure de l' $\alpha$ -amylase	<b>4</b>
<b>Figure 2 :</b> Les applications d' $\alpha$ -amylase	<b>11</b>
<b>Figure 3 :</b> Définition fonctionnelle des déchets	<b>12</b>
<b>Figure 4 :</b> Les effluents d'élevage	<b>13</b>
<b>Figure 5 :</b> Exemple des déchets agricoles post-récoltent	<b>14</b>
<b>Figure 6 :</b> Types de déchets agricoles	<b>15</b>
<b>Figure 7 :</b> Production de bioéthanol	<b>17</b>
<b>Figure 8 :</b> Schéma d'un digesteur	<b>18</b>
<b>Figure 9 :</b> Schéma de compostage	<b>19</b>
<b>Figure 10 :</b> Les différents prétraitements physiques des déchets agricoles	<b>20</b>
<b>Figure 11 :</b> Les différents types des prétraitements chimiques des déchets agricoles	<b>21</b>
<b>Figure 12 :</b> Les différents types des prétraitements biologiques	<b>23</b>
<b>Figure 13 :</b> Les différents types des prétraitements physico-chimiques	<b>24</b>
<b>Figure 14 :</b> comparaison entre FMS et FML	<b>28</b>

## Résumé

Les déchets agricoles sont des matières résiduelles générées par diverses activités agricoles. Chaque année, une grande quantité de ces déchets est produite et finit par se détériorer ce qui ont des effets néfastes sur les ressources agricoles, la santé humaine et animale, ainsi que sur l'environnement si aucune mesure appropriée n'est prise pour gérer ces déchets. La fermentation sur milieu solide offre l'avantage de pouvoir produire de grandes quantités d'enzymes en peu de temps et avec un coût de production réduit. Donc, la FMS est une méthode prometteuse pour répondre à la demande croissante d'enzymes. L'alpha amylase est une enzyme très demandée grâce à sa très grande utilisation dans diverses industries telles que l'alimentation, la pharmacie et la biotechnologie. Plusieurs études sont réalisées sur la production d'alpha -amylase par *Aspergillus* à partir des déchets végétaux tels que les grains de brassage et de gruau par fermentation sur support solide à base de pomme de terre-dextrose-agar. Les grains de brassage et le gruau sont des substrats riches en amidon, ce qui les rend idéaux pour la production d' $\alpha$ -amylase.

**Mots clés :**  $\alpha$  -amylase, *Aspergillus*, déchets agricoles, fermentation, grains de brassage, gruau.

## **Abstract**

Agricultural wastes are residual materials generated by various agricultural activities. Every year, a large quantity of this waste is produced and will eventually deteriorate, adversely affecting agricultural resources, human and animal health, and the environment if appropriate measures are not taken to manage it. Solid-state fermentation (SSF) offers the advantage of being able to produce large quantities of enzymes in a short time at a reduced production cost. SSF is therefore a promising method for meeting the growing demand for enzymes. Alpha amylase is a highly demanded enzyme, thanks to its widespread use in various industries such as food, pharmaceuticals and biotechnology, making SSF an effective method for meeting the growing demand for amylase, as well as for valorizing agricultural waste. Several studies have been carried out on the production of alpha amylase by *Aspergillus* from plant waste such as spent brewing grains and wheat grinding (gruel) by fermentation on a potato-dextrose-agar solid support. Spent brewing grains and gruel are starch-rich substrates, making them ideal for  $\alpha$ -amylase production.

**Key words :**  $\alpha$ -amylase, *Aspergillus*, agricultural waste, fermentation, spent brewing grains, wheat grinding (gruel).

## الملخص

النفايات الزراعية التي تمثل المواد المتبقية الناتجة عن الأنشطة الزراعية المختلفة. كل عام يتم إنتاج كمية كبيرة من هذه النفايات التي تتلف في النهاية وهذا ما يشكل ضرراً على الموارد الزراعية والصحة البشرية والحيوانية، وكذلك على البيئة إذا لم يتم اتخاذ التدابير اللازمة لإدارة هذه النفايات. يوفر التخمير الصلب (SSF) ميزة إنتاج كميات كبيرة من الإنزيمات في فترة قصيرة وتكلفة إنتاج منخفضة. لذلك تعتبر SSF كطريقة واعدة لتلبية الطلب المتزايد على الإنزيمات. يعد الألفا أميلاز إنزيمًا مطلوبًا بكثرة بسبب استخدامه الواسع في مختلف الصناعات مثل الأغذية والصيدلة والتكنولوجيا الحيوية، مما يجعل SSF طريقة فعالة لتلبية الطلب المتزايد على هذا الإنزيم بالإضافة إلى تثمين النفايات الزراعية. تم إجراء العديد من الدراسات حول إنتاج ألفا أميلاز باستعمال *Aspergillus* من نفايات النباتات مثل حبوب التخمير ونخالة القمح المطحونة باستخدام وسط تخمير ثابت يستند إلى بطاطا الديكستروز الآغار. حبوب التخمير ونخالة القمح المطحونة هي مواد خام غنية بالنشاء، مما يجعلها مثالية لإنتاج الألفا أميلاز.

**الكلمات المفتاحية:** ألفا أميلاز، تخمير، *Aspergillus*، النفايات الزراعية، حبوب التخمير ونخالة القمح المطحونة.

# **Introduction**

## Introduction

En Algérie, les déchets agricoles constituent un enjeu environnemental majeur. Ainsi que l'agriculture est un secteur économique pour le pays qui produit également d'importantes quantités de déchets, notamment des résidus de cultures, des déchets d'emballage et des déchets alimentaires (**Boudjema, 2021**).

Le gouvernement algérien a pris des mesures pour faire face à cette problématique, en instaurant diverses initiatives visant à améliorer la gestion des déchets agricoles. Ces actions incluent la création de centres de traitement et de valorisation des déchets organiques, la promotion du compostage, ainsi que l'adoption de réglementations destinées à encourager les agriculteurs à gérer leurs déchets de manière responsable (**Melha, 2021**).

L'alpha-amylase est une enzyme qui dégrade l'amidon en sucres simples tels que le glucose et le maltose. Elle est produite naturellement par différents micro-organismes comme les bactéries et les champignons, mais peut aussi être produite par une fermentation à grande échelle. Elle est utilisée dans diverses applications industrielles telles que la production de biocarburants, la production d'aliments et de boissons et la production de produits pharmaceutiques (**Gupta et al., 2003; Lim et Oslan, 2021**).

La production d' $\alpha$ -amylases à partir de déchets agricoles tels que la paille, les tiges et les feuilles présente pas mal d'avantages économiques et environnementaux. Premièrement, cela permet de recycler les déchets agricoles qui seraient autrement jetés ou incinérés. Deuxièmement, cela aide à réduire le coût de production de l'enzyme, puisque les déchets agricoles sont généralement moins chers que les matières premières traditionnelles telles que les céréales. Enfin, cela contribue à limiter l'impact environnemental de la production d'alpha-amylase en utilisant des matières premières renouvelables et en réduisant les émissions de gaz à effet de serre liées à l'utilisation des matières premières classique (**Patel et al, 2021 ; Awogbemi et Von Kallon, 2022**).

Le processus de production d'alpha-amylase provenant de déchets agricoles implique l'utilisation de micro-organismes tels que les bactéries ou les champignons cultivés dans des conditions idéales pour produire l'enzyme. Les déchets agricoles sont utilisés comme substrats pour la croissance microbienne et la production d'enzymes par voie fermentaire. Les conditions de fermentation et les méthodes de production varient en fonction de plusieurs facteurs tels que le type de microorganisme utilisé, le substrat et le produit métabolique recherché (**Erdal et Taskin, 2010 ; Haq et al., 2010; Ali et al., 2021**)

La valorisation des déchets agricoles pour la production des métabolites importants tels que l'alpha amylase par voie fermentaire en utilisant des microorganismes peut être une

solution efficace peut résoudre les problèmes issus de ces déchets. C'est pour ça on est entraîné de s'accrocher le but de notre mémoire.

# **Chapitre I: L'alpha amylase**

### **I.1. Généralités**

Les molécules de protéines enzymatiques, catalyseurs des systèmes biologiques, sont des machines moléculaires extraordinaires qui déterminent les caractéristiques de certaines transformations chimiques. Ils assurent également la conversion d'une forme d'énergie en une autre. Environ un quart des gènes du génome humain codent pour des enzymes, ce qui suggère leur importance dans la vie.

Ils sont constitués de plusieurs acides  $\alpha$ -aminés de la série L liés entre eux par des liaisons formées par condensation entre le groupe carboxyle d'un acide aminé et le groupe amine d'un autre acide aminé pour former une liaison amide. Les enzymes sont donc des polypeptides dont les poids moléculaires vont de (10 000 RNase à : 13 700 Da) à un million ou plus (complexes multi-enzymatiques comme le pyruvate déshydrogénase : 4 600 000 Da. **(Panchal, 1990).**

### **I.2. Définition**

Les amylases sont des enzymes appartenant à la classe des hydrolases. Elles agissent sur les liaisons (1,4) de l'amidon, dont celui-ci est un constituant important de l'alimentation humaine et un produit de stockage majeur de nombreuses cultures économiquement importantes telles que le blé, le riz, le maïs, le tapioca et la pomme de terre.

En effet, les amylases catalysent la dégradation des polymères d'amidon en divers produits, y compris les dextrines et les polymères de plus en plus petits composés d'unités de glucose **(Gupta et al., 2003)**. Assurément, l'amylase est une enzyme qui aide à la dégradation de l'amidon pour produire des molécules de glucides plus petites comme le maltose. Les amylases appartiennent à l'une des trois catégories suivantes : alpha, bêta ou gamma, selon la manière dont elles rompent les liaisons entre les molécules d'amidon **(Bedou, 2019)**.

### **I.3. La nomenclature d'alpha –amylase**

Le code EC 3.2.1.1 correspond à l'enzyme alpha-amylase, également appelée glycogénase, endoamylase, Taka-amylase A ou maxilase. Son nom systématique est 1,4-alpha-D-glucane-4-glucanohydrolase. **(Schamburg et Slzmann, 1991; Dauter et al., 1999)**.

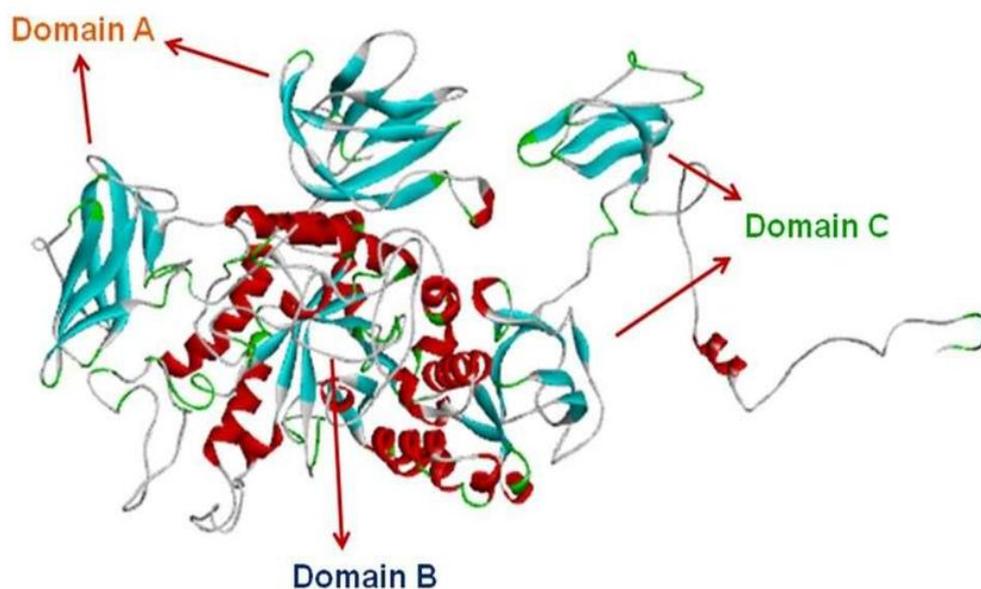
### **I.4. La structure d'alpha –amylase**

Les alphas amylases ont une action hydrolyse pour l'amidon (polysaccharide), en effet l' $\alpha$ -amylase appartient à une famille d'endo-amylases qui hydrolyse le polysaccharide en

oligosaccharides plus courts par le clivage des liaisons glycosidiques -D-(1-4) (Souza et Magalhães, 2010)

D'après Saboury ces enzymes sont des métallo-enzymes qui exigent des ions de calcium pour sauvegarder leur équilibre, leur mode d'action et leur fermeté structurelle, L'amylase humaine est composée de 512 acides aminés dans une seule chaîne d'oligosaccharides avec un poids moléculaire de 57,6 kDa (Whitcomb *et al.*, 2007). La protéine contient 3 domaines : A, B et C (Zhang et Xiao, 2016).

- Le domaine A : est le plus long qui a une forme particulière, il contient 8 brins  $\beta$  entouré par 8  $\alpha$  hélice;
- Le domaine B : est lié au domaine A et C par une liaison disulfure, Le calcium est lié au domaine B pour stabiliser le site actif;
- Le domaine C : à une structure en feuillets  $\beta$  liée au domaine A par une chaîne polypeptidique simple, ce domaine a pour rôle la reconnaissance d'un substrat spécifique.



**Figure 1:** Domaines de structure de l' $\alpha$ -amylase (Kumari *et al.*, 2013)

### I.5. Mécanisme d'action d'alpha –amylase

L'enzyme possède plusieurs modes d'actions qui diffèrent selon les conditions physiques telles que la température ou le pH ou bien selon la taille ou la forme du substrat. cette protéase

peut attaquer n'importe liaison  $\alpha$  (1,4) comme elle peut entamer son action sur une seule chaîne glucidique ou sur plusieurs en simultané. (Bedou, 2019). Ces actions impliquent une série de cinq étapes qui consistent en un double déplacement nucléophile, conduisant au mécanisme bien connu de double déplacement de  $\alpha$  rétention dans l'hydrolyse des substrats. Deux résidus d'acides aminés clés, souvent une paire d'acides aminés tels que l'acide aspartique et/ou l'acide glutamique, sont situés à environ 5 acides aminés de distance. Le premier acide aminé agit comme un nucléophile catalytique, attaquant l'anomère central du substrat, tandis que le deuxième acide aminé donne un proton à l'oxygène glycoside au centre de l'amine, catalysant ainsi l'élimination ou la sortie de l'aglycone (ROH) (Lim et Oslan, 2021). Au cours de l'étape de glycosylation, des états de transition de type oxycarbénium se forment avant que les molécules d'eau ne soient ajoutées et que les glycanes ne soient libérés. Un deuxième acide aminé donne des protons pour devenir une base universelle, qui catalyse ensuite une deuxième transition nucléophile lors de l'étape de déglycosylation de l'intermédiaire glycosyl-enzyme covalent. Le mécanisme de double déplacement  $\alpha$ -rétention implique des déplacements nucléophiles avant et après l'étape de glycosylation, qui se produisent à travers l'état de transition oxycarbénium susmentionné. (Lim et Oslan, 2021).

## **I.6. Les caractéristiques de l'alpha amylase**

- **Le poids moléculaire**

Le poids moléculaire des  $\alpha$ -amylases varie d'une origine à l'autre et d'une espèce à l'autre. Il est compris entre 40.000 et 90.000 daltons (Schombury et Salzmann, 1991). Celui des  $\alpha$ -amylases levuriennes, s'échelonne entre 40.000 et 70.000 daltons (Panchal, 1990).

- **La température :**

Deux températures sont nécessaires pour un fonctionnement optimal de production de l'enzyme désirée, la première température est pour la croissance des micro-organismes et la seconde est pour la production maximale de l'enzyme. (Jujjavarapu et Dhagat, 2018)

La production d'enzymes augmente avec l'augmentation de la température jusqu'à ce qu'elle atteigne le seuil de la productivité, au-delà de cette température, la productivité diminue en raison de la perte d'humidité dans le substrat qui entraîne une diminution de la croissance des micro-organismes et la production d'enzymes. Le **Tableau I** décrit la valeur optimale de température des micro-organismes pour la production de l'alpha amylase.

**Tableau I.** La température optimale pour la production d' $\alpha$ -amylase par différents micro-organisme (Jujjavarapu et Dhagat, 2018)

	Micro-organismes	Température optimale (C°)
1	<i>B. licheniformis</i> , <i>B. subtilis</i> 29	50
2	<i>Talaromyces emersonii</i> , <i>Thermomonospora fusca</i> , <i>Thermomyces lanuginosus</i>	50-55
3	<i>Pyrococcus furiosus</i>	95-100
4	<i>Aspergillus oryzae</i>	50
5	<i>Clostridium acetobutylicum</i>	45
6	<i>Rhodothermus marinus</i>	61
7	<i>Alteromonas haloplanktis</i>	4

- **Le pH**

Comme les enzymes sont sensibles à la variation de pH, donc le pH optimum est l'un des facteurs critiques pour la stabilité de l'enzyme. Différents micro-organismes nécessitent différentes conditions de pH en fonction du type de substrats utilisés et le mode de fermentation. Le **tableau II** résume les conditions de pH de quelques micro-organismes pour la production d'amylase.

**Tableau II.** Le pH optimal pour la production d' $\alpha$ -amylase par différents micro-organisme (Jujjavarapu et Dhagat, 2018)

	Micro-organismes	PH optimale
1	<i>Pyrococcus furiosus</i>	6.5-7.5
2	<i>Thermomyces lanuginosus</i>	6
3	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	7
4	<i>Halomonas meridian</i>	7
5	<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>A. ficuum</i> and <i>A. niger</i>	5-6
6	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5
7	<i>S. kluyveri</i>	7
8	<i>Rhodothermus marinus</i>	7-8
9	<i>P. woesei</i> and <i>Thermococcus profundus</i>	5
10	<i>Clostridium thermosulfurogenes</i>	7
11	<i>Preussia minima</i>	9

## I.7. Les sources d'alpha amylase

L'enzyme  $\alpha$ -amylase se trouve partout, il est ubiquitaire extrait de plusieurs cellules de différents règnes ou bien par un procédé fermentaire.

### I.7.1. La source végétale

L'  $\alpha$ - amylase est généralement extrait de plusieurs composés cellulotiques comme : le blé, le malt d'orge, le seigle et le riz (**Mercier, 1985**). Cet enzyme a un rôle primordial dans le métabolisme des glucides, en effet il hydrolyse l'amidon et produit des sucres métabolisable (glucose et maltose) qui sont considéré comme une source d'énergie pour le cycle de vie (**Badot et Melin, 1984**).

### I.7.2. La source animale

L' $\alpha$ -amylase animale dépend de l'espèce, chez les Homo-sapiens l'enzyme est sécrétée par le canal pancréatique dans la première partie de l'intestin grêle (duodénum), où elle aide à décomposer les glucides alimentaires. L'amylase est généralement présente dans le sang et l'urine en petites quantités tandis que chez les mammifères il est extraits du pancréas (**Rodeheaver et Wyah, 1984 et Chatterton et al., 1996**). Ce qui complique les choses, le manque d'approvisionnement en matière primaires sans oublier le financement du processus d'extraction relativement élevé (**Bertheau et al. 1985**).

### I.7.3. La source microbienne

Les amylases microbiennes obtenues à partir de bactéries, de champignons et de levures (**tableau III**) sont utilisées principalement dans les secteurs industriels et la recherche scientifique. Les enzymes microbiennes sont généralement favorisées pour leur isolement plus facile en grandes quantités, leur production à faible coût en peu de temps et leur stabilité dans diverses conditions extrêmes, et leurs composés sont également plus contrôlable et moins nocifs. (**Silano et al., 2018**).

- **L' $\alpha$ -amylase bactérienne**

La plupart sont produit par des *Bacillus* tels *Bacillus amyloliquefaciens*; *Bacillus sp*; *Bacillus subtilis*; *Bacillus sp. Ferdowsicous*; *B. mesentericus*, *B. coagulans*, *B. stearothermophilus* (**Tanyildizi et al. 2007**), *B. licheniformis*, *B. polymyxa*, *B. vulgaris*, *B. halodurans*, *Geobacillus thermoleovorans*, *B. megaterium* et *B. cereus*, autre que les *Bacillus*

tels que *Chromohalobacter sp*; *Caldimonas taiwanensis sp*; *Halobacillus*; *Haloarcula hispànica*. (Erdal et Taskin 2010; Haq et al., 2010).

**Tableau III.** Sources microbiennes de la production d'α-amylase (Erdal et Taskin 2010; Haq et al. 2010)

Les bactéries	Les moisissures
<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	<i>Aspergillus oryzae</i>
<i>Bacillus sp</i>	<i>Aspergillus awamori</i>
<i>Bacillus sp. Ferdowsicous</i>	<i>Aspergillus fumigatus</i>
<i>B. mesentericus</i>	<i>Aspergillus kawachii</i>
<i>B. coagulans</i>	<i>Aspergillus niger</i>
<i>B. stearothermophilus</i>	<i>Aspergillus favus</i>
<i>B. licheniformis</i>	<i>Cryptococcus flavus</i>
<i>B. megaterium</i>	<i>Penicillium fellutanum</i>
<i>B. cereus</i>	<i>Pycnopus sanguineus</i>
<i>Chromohalobacter sp</i>	<i>Mucor sp.</i>
<i>Caldimonas taiwanensis sp</i>	
<i>Halobacillus</i>	
<i>Haloarcula hispànica</i>	
<i>Geobacillus thermoleovorans</i>	
<i>Bacillus subtilis</i>	

#### • L'α-amylase fongique

Les espèces fongiques productrices d'α-amylase les plus efficaces sont généralement le genre *Aspergillus* qui comprend (*A. oryzae*, *A. awamori*, *A. fumigatus*, *A. kawachii*, *A. niger*, et *A. favus*) à l'instar de d'autre espèces tels que *Cryptococcus flavus*; *Penicillium fellutanum*; *Pycnopus sanguineus*; *Mucor sp.* (Erdal et Taskin 2010; Haq et al., 2010).

#### • L'α-amylase recombinante

La technologie de l'ADN recombinant est utilisée pour sélectionner un gène d'α-amylase efficace pour la production de celui-ci. Un vecteur approprié contenant un gène d'intérêt est inséré dans une bactérie efficace pour obtenir un rendement élevé d'ARNm recombinant et une surproduction d'amylase. Zhang et al. (2011) ont réussi à améliorer la synthèse d'amylase avec des protéines de fond réduites en supprimant amyR (codant pour un facteur de transcription) d'*A. niger* (Muhammad et al, 2021).

## **I.8. Les applications industrielles des $\alpha$ -amylases**

L'amylase est une enzyme largement utilisée dans diverses industries pour hydrolyser l'amidon. Elle a des applications potentielles dans de nombreux secteurs tels que la boulangerie, l'industrie pharmaceutique et la production d'éthanol. Contrairement à la méthode conventionnelle d'hydrolyse de l'amidon avec des acides, l'utilisation d'enzymes permet un processus respectueux de l'environnement avec des produits finaux biodégradables. La **figure 2** montre quelques-unes des applications possibles de l'alpha-amylase.

### **I.8.1. L'industrie papetière**

Dans l'industrie papetière, l'alpha-amylase est utilisée pour modifier l'amidon du papier couché, ce qui permet de produire un amidon à faible viscosité qui renforce et lisse le papier. Le traitement partiel de l'amidon naturel avec des alpha-amylases réduit sa viscosité, ce qui améliore la qualité et la recyclabilité du papier. Des alpha-amylases froides peuvent également être utilisées pour réduire la viscosité. (**Kuddus 2010**).

### **1.8.2. L'industrie textile**

Pour éviter la rupture du fil pendant le tissage, les industries textiles utilisent des amylases sur les fils avant la production de tissu. L'amidon est un agent d'apprêtage courant et peu coûteux pour ce processus, mais doit être éliminé après le tissage par désencollage. L'enzyme alpha-amylase élimine efficacement l'amidon sans endommager les fibres. Dans l'industrie textile, le genre *Bacillus* est le microorganisme le plus utilisé pour cette application (**Ahlawat et al., 2009**).

### **1.8.3. L'industrie chimique (détergents)**

Les industries de détergents sont les principaux acheteurs d'enzymes pour améliorer l'efficacité de lavage et la durabilité environnementale de leurs produits. Les amylases, qui sont le deuxième type d'enzymes le plus utilisé dans les détergents, sont efficaces pour dégrader les résidus d'aliments riches en amidon et améliorer la blancheur des textiles. Ces enzymes peuvent fonctionner à des températures basses et un pH alcalin, tout en maintenant une stabilité oxydative importante pour les détergents agressifs. Les amylases sont généralement dérivées de *Bacillus* ou d'*Aspergillus*, et sont présentes dans 90% des détergents liquides sur le marché. (**Chi et al., 2009**).

### **1.8.4. L'industrie alimentaire**

Les amylases ont de nombreuses applications dans les industries de la boulangerie et de la brasserie. Ils sont utilisés dans la cuisson des gâteaux, la production de jus et de sirops d'amidon. L'enzyme est mélangée à la pâte à pain pour décomposer l'amidon dans la farine, ce qui facilite la fermentation de la levure. (Ghorai *et al.*, 2009).

#### **I.8.5. L'industrie pharmaceutique**

Après son isolement en 1894, les alphas amylases sont utilisées pour traiter les troubles digestifs. Les systèmes d'administration de médicaments utilisent des polymères biodégradables pour contrôler la libération du médicament dans le corps, laquelle peut être affectée par le pH gastro-intestinal et la solubilité du médicament. L'alpha amylase peut aider à la libération du médicament en décomposant l'amidon réticulé. Les biofilms microbiens, qui sont constitués de polysaccharides sous forme de substance polymère extracellulaire (EPS), peuvent être efficacement dégradés par ce dernier en clivant les liaisons glycosidiques  $\alpha$  (1-4) (Fleming et Rumbaugh, 2017).

#### **I.8.6. Autres applications**

- **L'industrie de production d'éthanol**

L'amidon est le substrat le plus préféré pour la production de l'éthanol en raison de son faible coût et de sa disponibilité (Chi *et al.*, 2009).

- **La conversion de l'amidon**

L'alpha-amylase est largement utilisée pour convertir l'amidon en fructose et en sirop de glucose. Cette conversion se déroule en trois étapes : la gélatinisation, la liquéfaction et la saccharification. La gélatinisation est le processus de dissolution de l'amidon dans l'eau pour former une suspension visqueuse, tandis que la liquéfaction hydrolyse partiellement cette suspension, entraînant ainsi une diminution de la viscosité (Sanchez *et al.*, 2008).

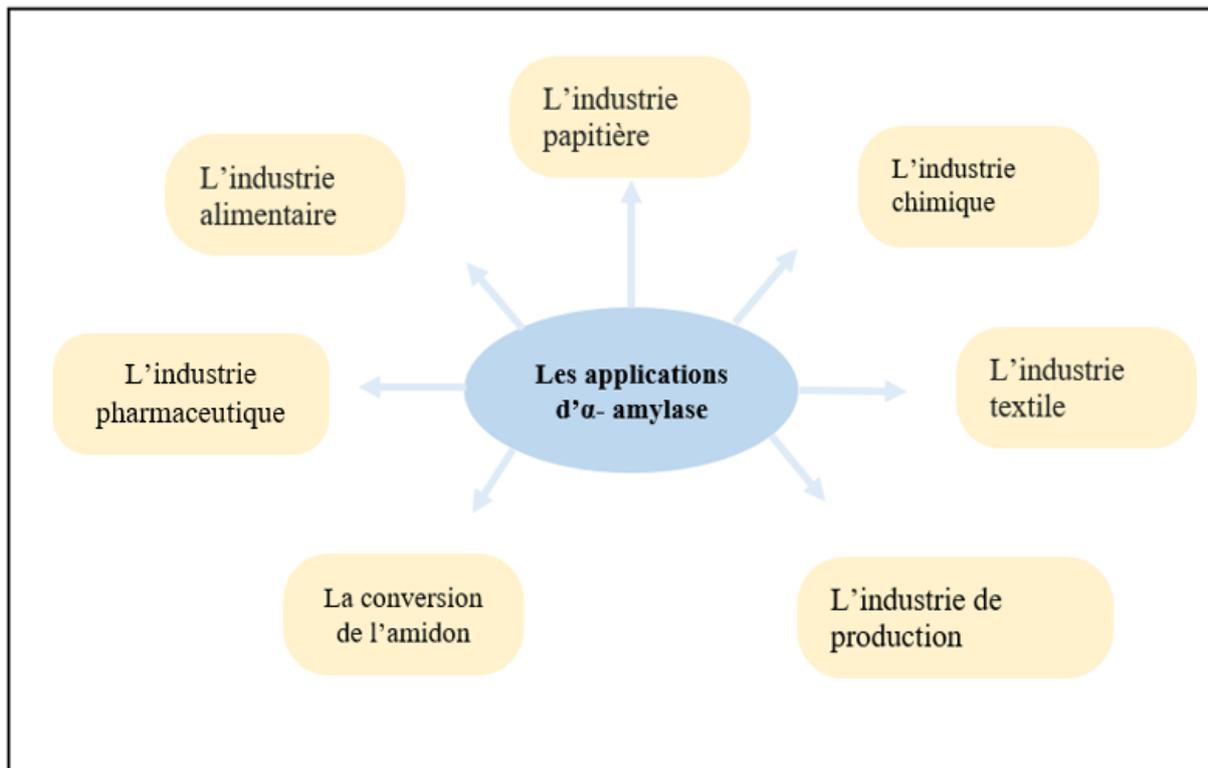


Figure2 : Les applications d'alpha-amylase (Dipak, 2016)

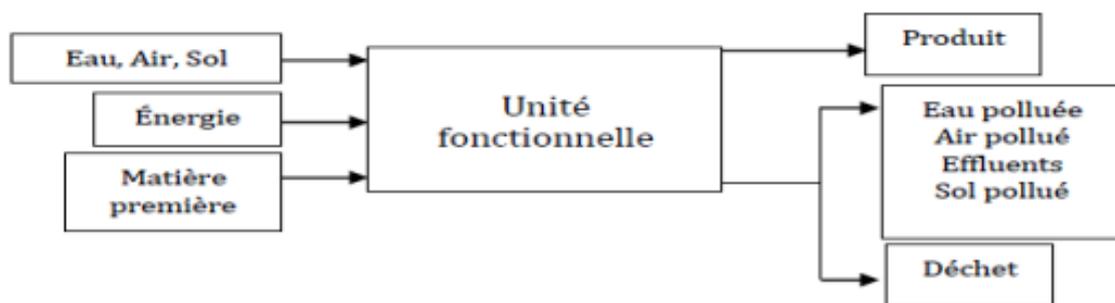
### I.9. Production et purification d'alpha-amylase

Les amylases peuvent être produites soit extracellulairement soit intracellulairement par les micro-organismes. Les levures sont préférées pour la production industrielle d'alpha-amylases en raison de leur simplicité et de leurs modifications post-traductionnelles similaires à celles des eucaryotes de niveau supérieur. Après la fermentation microbienne, les cellules sont séparées de leur milieu usé par centrifugation à température froide. Les cellules rompues sont granulées à nouveau, et les alpha-amylases intracellulaires sont extraites du surnageant. Des purifications (partielles) sont effectuées pour donner les alpha-amylases qui sont facilement appliquées dans les industries. Le sulfate d'ammonium est le sel le plus fréquemment utilisé pour précipiter les enzymes, suivies d'une étape de dessalage par dialyse pour éliminer l'excès de sel. Différentes méthodes de purification sont disponibles, notamment la chromatographie d'échange d'anions, la chromatographie d'affinité et la chromatographie d'interaction hydrophobe. Les objectifs ultimes de la purification sont d'atteindre un rendement de récupération élevé, une purification élevée et une caractérisation précise des alpha-amylases pour les applications industrielles (Lim et Oslan, 2021).

# **Chapitre II : Les déchets agricoles**

## II.1. Généralités

D'après la loi N° 01-19 du 12/12/ 2001 article 3 du journal officiel de la république algérienne N° 77 en 2001, définit le déchet comme : Tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, et plus généralement toute substance ou produit et tout bien meuble dont le propriétaire ou le détenteur se défait, projette de se défaire, ou dont il a obligation de se défaire ou de l'éliminer. La diversité des produits de consommation excède maintenant la biodiversité.



**Figure 3** : Définition fonctionnelle des déchets (Ben Ammar, 2006)

En Algérie il y'a un peu près 191 installation pour le traitement des déchets pour assumer la responsabilité de près de 13 millions de tonne de déchet chaque année, dont 80% d'entre elles est réutilisable et recyclables (Boudjema, 2021), parmi ce pourcentage plus de 54% représente les déchets organiques.

## II.2. Catégories de déchets

Les déchets sont regroupés en trois grandes catégories :

- Les déchets agricoles.
- Les déchets ménagers et assimilés.
- Les déchets industriels. (Boudjema, 2021).

## II.3. Les caractéristiques des déchets

Les déchets sont caractérisés par quatre paramètres principaux :

### o La densité

La densité des déchets indique la relation entre leur masse et leur volume, ce qui est important pour le choix des moyens de collecte et de traitement. Dans les pays en développement, la

densité est généralement entre 0,3 et 0,5 plus élevée qu'en pays industrialisés (environ 0,1) en raison d'une grande proportion de matières organiques fermentescibles et de la faible part d'emballages. Les cendres et les cailloux contribuent également à cette densité élevée. La connaissance de la densité est essentielle pour les systèmes de gestion des déchets adaptés aux pays en développement (**Ben Ammar, 2006**).

- **Le degré d'humidité**

La quantité d'eau contenue dans les ordures ménagères est déterminée par les composants qui les constituent. Par conséquent, la teneur en eau totale varie selon les proportions relatives de ces composants (**Ben Ammar, 2006**).

- **Le pouvoir calorifique**

Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des ordures ménagères est la quantité de chaleur produite par la combustion d'une unité de poids d'ordures brutes. En général, plus la teneur en eau est élevée, plus le PCI est faible. Les pays en développement ont des PCI plus faibles (<1000 mth/kg) que les pays industrialisés en raison de la faible teneur en matières cellulosiques et plastiques et des taux d'humidité élevés de leurs déchets. (**Ben Ammar, 2006**).

- **Le rapport des teneurs en carbone et azote**

Le rapport C/N est un indicateur de qualité pour les produits obtenus par le compostage des déchets et est essentiel pour le traitement biologique des déchets. Il permet de suivre l'évolution des déchets de fermentation en mesurant régulièrement ce rapport (**Ben Ammar, 2006**).

## **II.4. Les déchets agricoles**

Les déchets agricoles sont des résidus issus des récoltes tels les fruits, les légumineuses, le blé ou bien issus d'élevage tel que le fumier (**Kandarp et al., 2020**).

Il existe trois grands types de déchets agricoles :

### **II.4.1. Les effluents d'élevage**

Les terres agricoles sont généralement consacrées à trois exploitations agricoles élevage d'animaux : bovins, porcs et volailles, et les terres sont utilisées pour la culture. Le fumier est produit chaque année à partir de ces secteurs d'élevage (**Melha, 2021**).



**Figure 4 :** Les effluents d'élevage (Platel, 2019).

#### II.4.2. Les déchets agricoles post-récolte

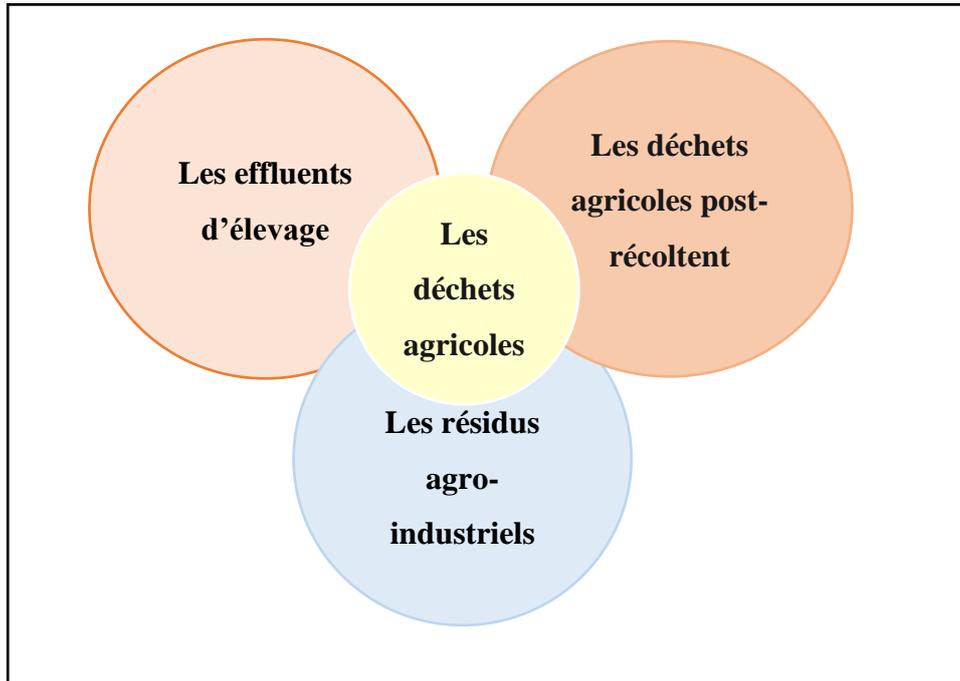
Ces déchets entrent dans la catégorie des déchets primaires. Il comprend principalement de la paille, de l'enveloppe et des tiges de culture plantée, qui sont laissés après la récolte. Ceux-ci peuvent être utilisés dans le fourrage et le reste est décomposé par différents décomposeurs de déchets ou brûlés. Ces résidus sont riches en fibres cellulosiques (Melha, 2021).



**Figure 5 :** Exemple des déchets agricoles post-récolte (Ulriche, 2019).

#### II.4.3. Les résidus agro-industriels

Les résidus agro-industriels font partie de la catégorie des résidus agricoles secondaires produits après la transformation des cultures agricoles en divers bioproduits. Il s'agit notamment de la mélasse, de la bagasse, des pelures, des coques, de la balle, etc (Iqbal *et al*, 2020).



**Figure 6:** Types de déchets agricoles (Iqbal *et al*, 2020).

### II.5. La composition lignocellulosique des déchets agricoles

Les déchets agricoles sont généralement de la biomasse lignocellulosique qui contient des structures moléculaires complexes, notamment de la cellulose, de l'hémicellulose et de la lignine. En plus de ces composants, il y'a d'autre composants en très petite quantité qui n'ont aucun effets sur leur composition. Les matrices compactes complexes sont décomposées en monomères simples avant d'être converties en diverses formes. (Awogbemi et Von Kallon, 2022)

**Tableau IV.** La composition lignocellulosique de quelques déchets agricoles (**Awogbemi et Von Kallon, 2022**).

Déchets agricoles	Composition lignocellulosique (%)		
	Cellulose	Hémicellulose	Lignine
Canne à sucre	37,72	22,95	22,34
Bagasse de sorgho	46,6	34,1	22,3
Tiges de maïs	32,75	21,08	10,07
Panic raide	31 ,8	25	31,2
Paille de blé	35 ,69	29,68	18,80
Herbe à napier	46,6	34,1	22,3
Cabosses de cacao	26,1	4,82	21,29
Paille de riz	38,82	27,59	19,55
Paille de haricot	31,1	23,9	9,7
Tiges de banane	33,3	18,2	5,5
Olivier	36,5	21,3	24,1
Tiges de sorgho	27	25	11
Épis de maïs	45	35	15

## II.6. Valorisation des déchets agricoles

La biotechnologie a permis une révolution dans l'optimisation des déchets, qui sont maintenant valorisés dans de nombreuses industries. La valorisation des déchets agricoles consiste à les utiliser pour produire de l'énergie, des matières premières ou des produits finis, plutôt que de les éliminer simplement. Cette pratique permet de réduire les impacts environnementaux de l'agriculture et de créer de nouvelles sources de revenus pour les agriculteurs. La valorisation est une opération dont le résultat principal est que les déchets servent à des fins utiles en substitution à d'autres substances, matières ou produits qui seraient utilisés à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin.. Il existe plusieurs méthodes de valorisation des déchets agricoles. (**Chennaoui et al., 2016**).

### II.6.1. La production du papier

Les résidus agricoles tels que la paille et la bagasse sont souvent utilisés comme matières premières pour la production de pâte et de papier. La production de pâte et de papier est souvent une opération intégrée, tandis que la production de panneaux de fibres est toujours une opération intégrée. La capacité papetière d'une matière première fibreuse dépend de sa facilité de transformation en pâte et des propriétés de la pâte obtenue qui la rendent apte à la production de ce type de papier. Les déchets agricoles peuvent être utilisés dans ce processus de manière intégrée pour la production de pâte et de papier. (Lintu, 1976).

### II.6.2. La production du biocarburant

Les biocarburants sont des carburants sains et moins nocifs pour l'environnement obtenus à partir de la biomasse. Ils sont généralement incorporés dans les carburants d'origine fossile. (Braide *et al.*, 2016).

Il existe deux filières de production de biocarburants : la filière bioessence et la filière biogazole. Le bioéthanol est la matière première de la filière bioessence et peut être obtenu à partir de ressources agricoles telles que les plantes sucrières ou amylacées, par un processus fermentaire suivi d'une distillation et d'une déshydratation. La filière biogazole, également appelée biodiesel, regroupe différents produits élaborés à partir d'huiles issues de plantes oléagineuses, de graisses animales ou d'huiles usagées. (Wang *et al.*, 2021).

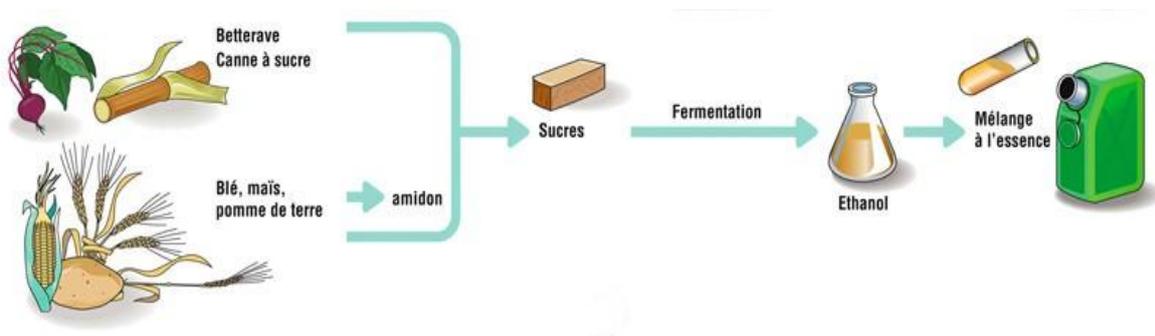
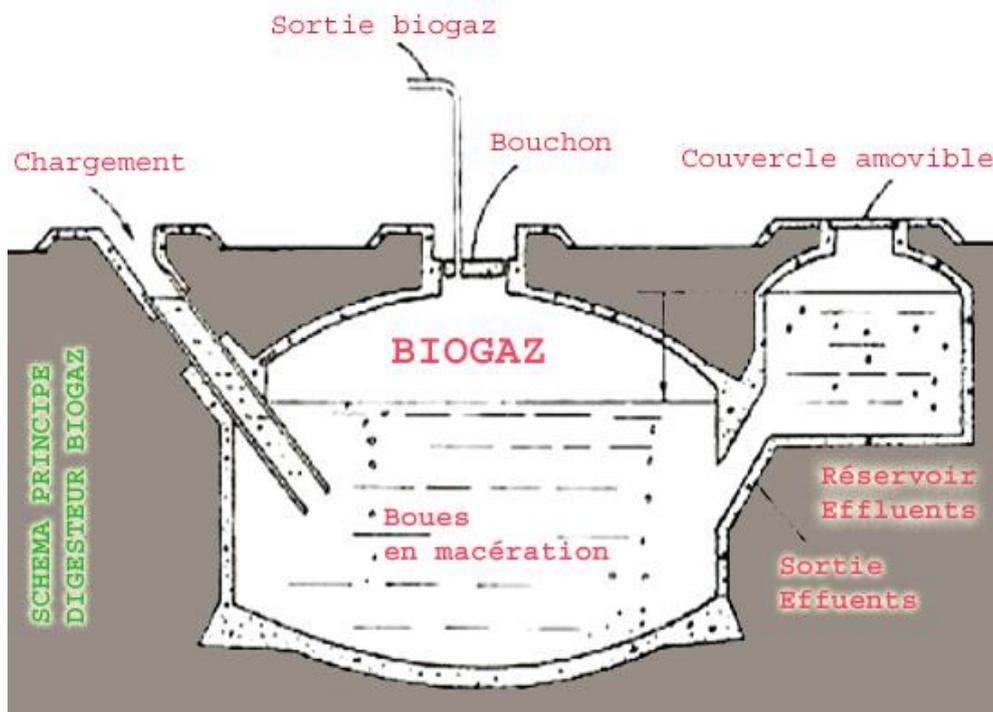


Figure 7 : Production de bioéthanol (Ferchaud, 2015).

- **La production du biogaz**

Le biogaz est produit par la fermentation anaérobie de déchets organiques tels que les résidus de cultures, les déchets d'élevage ou les effluents de l'industrie agroalimentaire, sous l'action de micro-organismes. Il contient environ 60% de méthane (CH<sub>4</sub>), 35% de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et 5% d'un mélange d'autres gaz. (Neupane, 2022). La méthanisation est le processus de production de biogaz qui permet de valoriser les déchets tout en remplaçant certaines sources d'énergie fossiles. Les matières organiques sont transformées en molécules simples qui engendrent du gaz carbonique et du méthane. (Dinamarca *et al.*, 2021).



**Figure 8:** Schéma d'un digesteur (Dinamarca *et al.*, 2021).

### II.6.3. La production du bioplastique

Les bioplastiques sont des plastiques produits à partir de résidus de cultures, de plantes, de micro-organismes et d'algues. Certains bioplastiques sont recueillis à partir de polymères formés par des micro-organismes et des plantes dans la nature, tandis que d'autres sont synthétisés en utilisant des ressources naturelles pour formuler des monomères puis les polymériser. En général, trois voies principales de production sont identifiées : la polymérisation de monomères biosourcés, la modification de polymères naturels et

l'extraction de polymères à partir de micro-organismes. La cellulose est utilisée depuis le 19ème siècle comme composant principal des fibres végétales. (Samadhiya *et al*, 2022).

#### II.6.4. La production de compost

Le compost est produit à partir de déchets organiques et peut être utilisé comme amendement pour les sols et comme substitut aux engrais chimiques. Le processus de production passe par la collecte des déchets verts, leur broyage et leur préparation en couches avec l'ajout d'un activateur de compost et de terre pour amener les micro-organismes nécessaires à la dégradation. D'autres couches de déchets sont ajoutées et des brindilles coupées sont saupoudrées de temps en temps pour fournir suffisamment d'oxygène aux micro-organismes. (Patel *et al*, 2021).

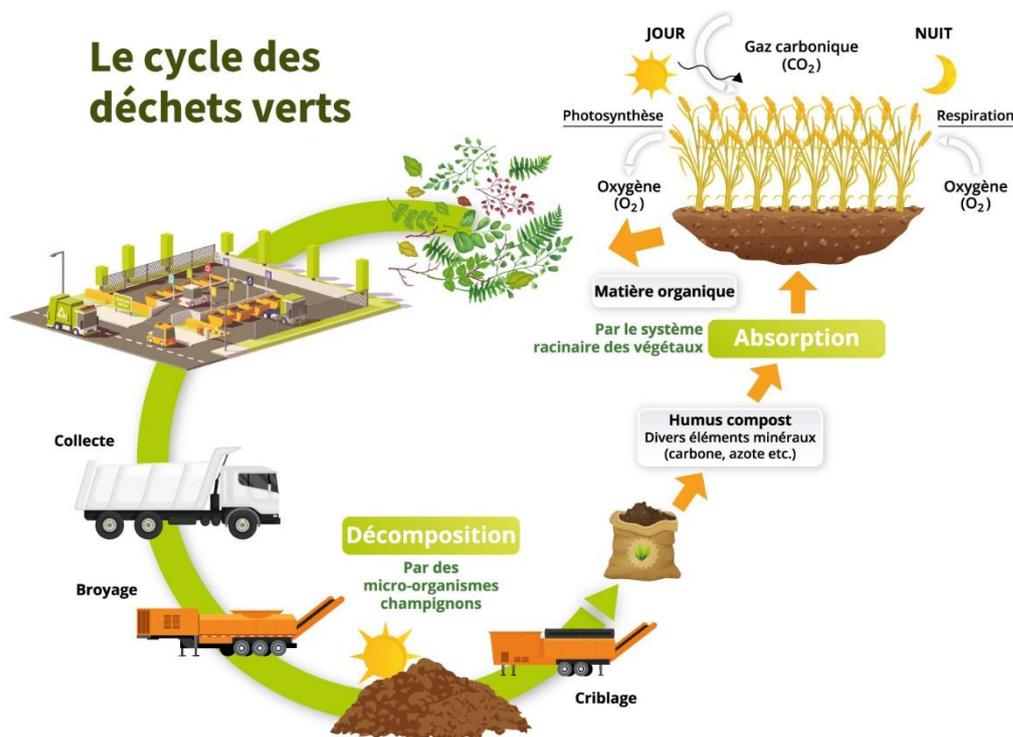


Figure 9: Schéma de compostage (Patel *et al.*, 2021)

#### II.7. Prétraitements des déchets agricoles

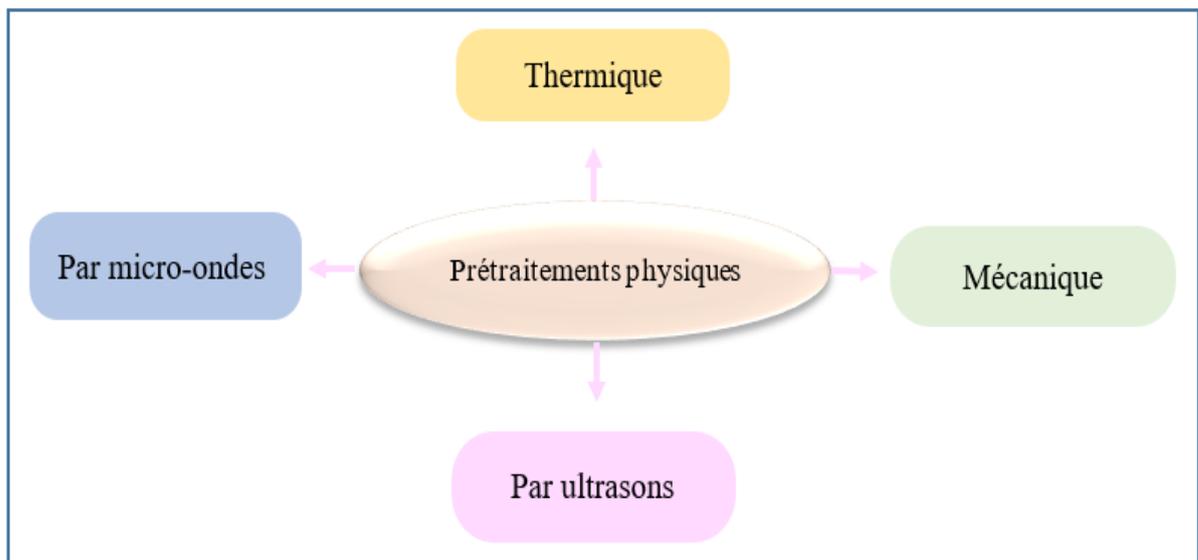
Les procédés de prétraitements sont les opérations effectuées sur la biomasse pour contrôler les résistances initiale à sa conversion faciles, ils modifiaints les constituants de la biomasse pour augmenter le rendement de conversion comme il assure également la préservation du sucre issu de la dégradation ainsi que la réduction de la production de

produitsinhibiteurs (Awogbemi et Von Kallon, 2022).

### II.7.1. Prétraitement physique

Les techniques de prétraitement physique sont utilisées pour réduire la taille des particules et améliorer la surface des déchets agricoles. Le prétraitement mécanique, le prétraitement par ultrasons, le prétraitement thermique et le prétraitement par micro-ondes sont quelques-unes de ces techniques. (Awogbemi et Von Kallon, 2022).

- Le prétraitement mécanique permet un meilleur accès des produits chimiques ou des enzymes à la cellulose et à l'hémicellulose. (Dahunsi, 2019).
- Le prétraitement par ultrasons implique la génération de vibrations à haute énergie qui décomposent les cristaux de la structure lignocellulosique. (Subhedar *et al.*, 2018).
- Le prétraitement thermique dissout les composants de la lignocellulose en chauffant les déchets agricoles à haute température, ce qui améliore l'accessibilité de la cellulose et de l'hémicellulose aux enzymes et autres produits chimiques. (Wang *et al.*, 2018)
- Le prétraitement par micro-ondes utilise un rayonnement électromagnétique pour rompre les forces qui maintiennent les différents composants ensemble. (Koul *et al.*, 2022).



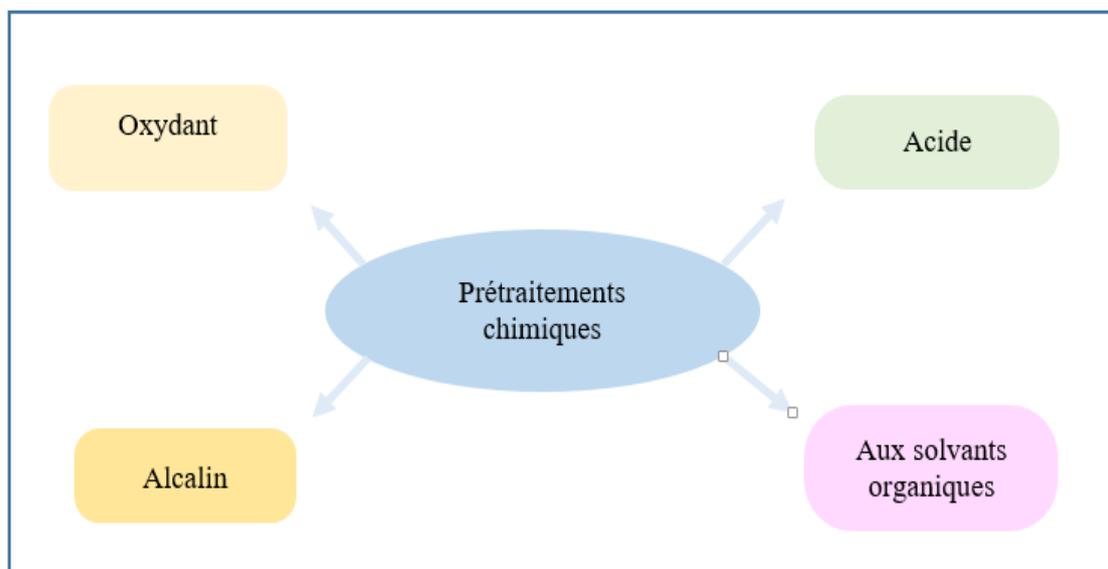
**Figure 10:** Les différents prétraitements physiques des déchets agricoles (Awogbemi et Von Kallon, 2022).

**Tableau V.** Avantages et inconvénient des prétraitements physiques

Les avantages	Les inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- l'absence de production d'inhibiteurs,</li> <li>- un fonctionnement simple et facile,</li> <li>- une réduction de la cristallinité,</li> <li>- une amélioration de la digestibilité enzymatique,</li> <li>- une augmentation de la porosité,</li> <li>- une réduction de la taille de la biomasse,</li> <li>- une faible consommation d'énergie,</li> <li>- une faible production de déchets,</li> <li>- la production de multiples produits et un traitement intensifié.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- des coûts d'opération élevés,</li> <li>- une consommation d'énergie élevée,</li> <li>- un manque d'investissement,</li> <li>- l'incapacité de dégrader la lignine,</li> <li>- la nécessité d'utiliser d'autres prétraitements en complément,</li> <li>- un faible rendement en sucre et</li> <li>- une faible sélectivité.</li> <li>- perte d'énergie dans les milieux dilués</li> <li>- des difficultés à utiliser le prétraitement à grande échelle.</li> </ul>

### II.7.2. Prétraitement chimique

Les prétraitements chimiques utilisent des produits chimiques spécifiques pour dissoudre la structure cristalline rigide de la lignocellulose. Les acides, les alcalis, l'oxydation et les solvants organiques ont été utilisés pour augmenter la surface et améliorer la biodégradabilité des déchets agricoles. (Paudel *et al.*, 2017).



**Figure 11 :** Les différents types des prétraitements chimiques des déchets agricoles (Paudel *et al.*, 2017).

- Le prétraitement acide utilise des acides tels que HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>H<sub>4</sub>O<sub>4</sub>, etc. pour dégrader les liaisons glycosidiques de la cellulose, de la

lignocellulose et de l'hémicellulose, favorisant ainsi la libération des sucres fermentescibles. (Gonzales *et al.*, 2016)

- Le prétraitement alcalin utilise des réactifs alcalins tels que NaOH, KOH, NH<sub>4</sub>OH, NH<sub>3</sub>•H<sub>2</sub>O, Ca(OH)<sub>2</sub>, etc. pour prétraiter la lignocellulose et augmenter le rendement de conversion, tout en réduisant la pollution environnementale. (Yuan *et al.*, 2018).
- Le prétraitement oxydant utilise la propriété oxydante du gaz ozone et du peroxyde d'hydrogène (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) pour décomposer la lignine et l'hémicellulose dans la biomasse, facilitant ainsi la libération des composés solubles. (Yuan *et al.*, 2021)
- Le prétraitement au solvant organique utilise des solvants organiques tels que le méthanol, l'éthanol, le tétrahydrofuranol, l'éthylène glycol et l'acétone, avec des catalyseurs tels que des acides ou des bases pour accélérer la réaction, afin de briser les liaisons internes de la lignine et des hémicelluloses dans les matériaux lignocellulosiques, facilitant ainsi la conversion efficace de la cellulose. (Awogbemi et Von Kallon, 2022).

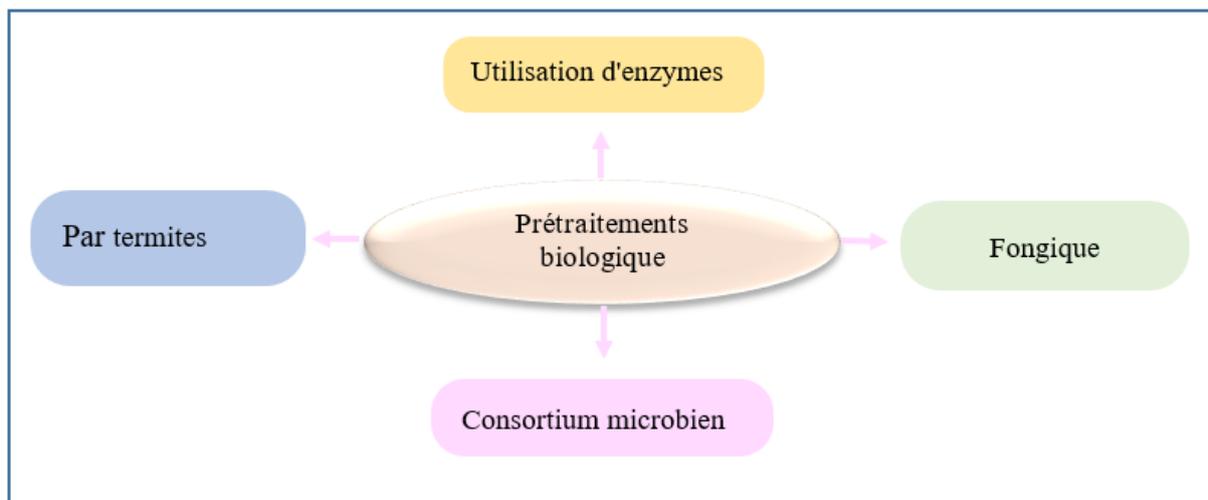
**Tableau VI.** Avantages et inconvénient des prétraitements chimique (Awogbemi et Von Kallon, 2022).

avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temps de séjour court</li> <li>- Méthode fiable, en particulier en hiver</li> <li>- Taux de réaction de déconstruction enzymatique élevés</li> <li>- Production d'éthanol à partir de la paille de blé</li> <li>- Élimination efficace de la lignine</li> <li>- Décomposition de l'hémicellulose</li> <li>- Augmentation de la surface</li> <li>- Utilise des conditions plus douces</li> <li>- Fonctionnement à basse température.</li> <li>- Production de bioéthanol en utilisant des cannes de maïs comme matière première.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formation de substances toxiques et d'inhibiteurs</li> <li>- Corrosion des équipements</li> <li>- Difficulté de recyclage</li> <li>- Pollution de l'environnement</li> <li>- Temps de séjour prolongé</li> <li>- Consommation d'énergie élevée</li> <li>- Non-viable d'un point de vue économique</li> <li>- Formation des inhibiteurs</li> <li>- Processus coûteux</li> <li>- Nécessité d'un instrument spécial</li> <li>- Faible récupération de la cellulose</li> </ul>

### II.7.3. Prétraitement biologique

Le prétraitement biologique comprend différentes méthodes telles que

1. le prétraitement fongique, qui utilise des champignons pour dégrader la lignine. (**Ma et al., 2021**).
2. le prétraitement par termites, qui utilise les propriétés enzymatiques des termites. (**Dumond et al., 2021**).
3. le prétraitement du consortium microbien, qui utilise des microbes provenant de différentes sources pour décomposer la cellulose et l'hémicellulose. (**Zhang et al., 2011**).
4. l'utilisation d'enzymes telles que les cellulases et les hémicellulases pour dégrader la lignocellulose. (**Xu et al., 2016**).



**Figure 12 :** Les différents types des prétraitements biologiques

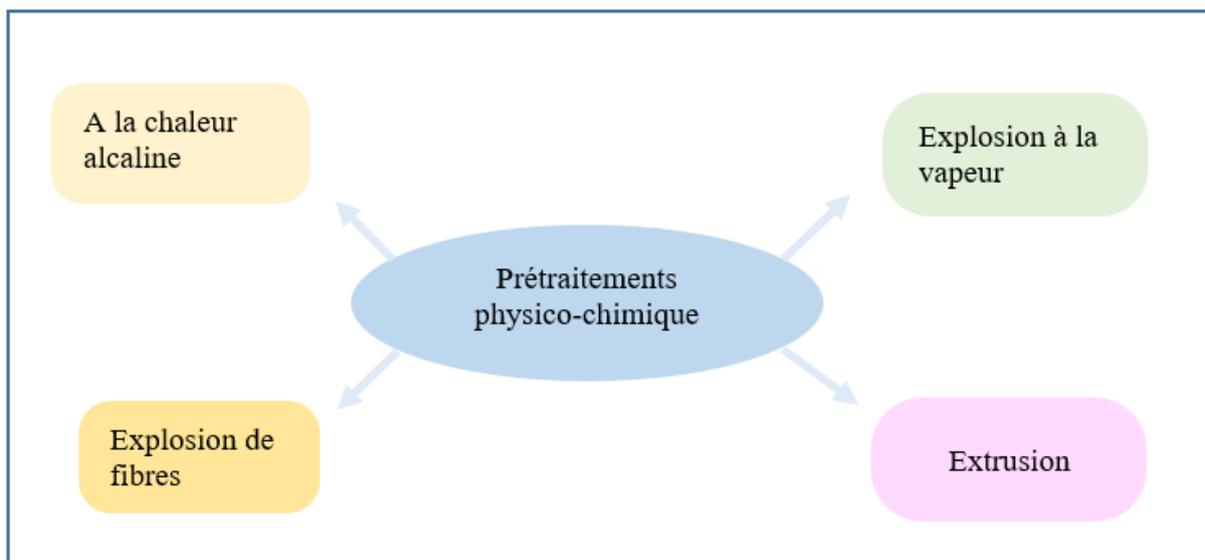
Ces méthodes sont écologiquement sûres et n'utilisent pas de produits chimiques, mais elles peuvent être lentes et peuvent entraîner une instabilité microbienne et des résultats imprévisibles. (**Sindhu et al., 2016**).

### II.7.4. Prétraitement physico-chimique

Les méthodes de prétraitement physico-chimique combinent les avantages des prétraitements physiques et chimiques pour dégrader efficacement la lignine et réduire la cristallinité de la cellulose, augmentant ainsi la synthèse de sucre fermentescible. Les exemples courants incluent

- le prétraitement d'explosion à la vapeur.
- le prétraitement à la chaleur alcaline.
- le prétraitement d'explosion de fibres d'ammoniac.
- le prétraitement d'extrusion.

Ces méthodes sont efficaces pour éliminer la lignine et l'hémicellulose et augmenter la teneur en cellulose des déchets agricoles, mais elles peuvent être coûteuses et énergivores et peuvent générer des composés inhibiteurs. (Tanpichai *et al.*, 2019 ; Zhao *et al.*, 2017 ; Wang *et al.*, 2019 ; Tan *et al.*, 2021).



**Figure 13** : Les différents types des prétraitements physico-chimiques

# **Chapitre III : procédé de production d'alpha amylase**

### III.1. Généralités

Il est largement reconnu que l'enzyme amylase est d'une grande importance dans l'industrie agroalimentaire, et que certains champignons, tels que *Penicillium* sp, *Rhizopus* sp, *Cephalosporium* sp et *Aspergillus niger*, sont les principaux producteurs de cette enzyme (**Suganthi et al., 2011; Arokiyaraj et al., 2015; Valsalam et al., 2019**).

Dans cette synthèse, nous allons examiner deux processus de production de l'amylase produite par *Aspergillus oryzae*, mais avec des différences dans les souches, les milieux de culture et les protocoles de culture décrits. L'étude de **Kammoun et al. (2008)** ont utilisé une souche d'*A. oryzae* CBS 819.72, qui a été multipliée sur une plaque moyenne de pomme de terre-dextrose-agar (PDA) de Fluka, France, à une température de 30 °C. Les plaques sont ensuite cultivées pendant cinq à sept jours avant d'être stockées à 4 °C.

En revanche, **Francis et al. (2003)** ont utilisé une souche d' *A. oryzae* NRRL 6270. Cette souche est maintenue sur pomme de terre-dextrose-agar (Hi-Media, Bombay). La préculture est effectuée une fois toutes les 3 semaines, et elle est stockée à 4 °C. Bien que les deux études aient utilisé des milieux de culture de pomme de terre-dextrose-agar, ceux-ci provenaient de fournisseurs différents, et les températures de culture étaient différentes, avec 30 °C dans l'étude de **Kammoun et al. (2008)** et aucune information sur la température de culture dans l'étude de **François et al. (2003)**.

En somme, les conditions de culture, telles que les souches, les milieux de culture et les protocoles, peuvent influencer considérablement sur la production d'amylase par *Aspergillus oryzae*. Ainsi, il est primordial que les études décrivent de manière précise les conditions de culture afin de garantir la reproductibilité des résultats et de faciliter la comparaison avec d'autres études similaires.

### III.2. Fermentation en état solide

Le processus de fermentation en état solide FMS permet la production annuelle de près de 3,5 millions de tonnes d'enzymes d'alpha amylase en cultivant des micro-organismes dans des milieux de fermentation peu coûteux tels que le son de blé, la balle de riz, les déchets de traitement du riz et d'autres déchets riches en amidon, en l'absence ou en quasi-absence d'eau. Ce processus permet ainsi la production de plusieurs biomolécules (**Fadel et al., 2020**).

Le processus FMS imite les processus naturels de compostage et d'ensilage utilisant des micro-organismes tels que les levures et les champignons pour produire un produit désiré. Ce processus se déroule sur une matière non soluble, qui sert de support physique et de source de

nutriments, sans liquide à écoulement libre. Les FMS sont principalement adaptés à la croissance de micro-organismes à faible teneur en humidité et peuvent produire des rendements plus élevés que les systèmes de fermentation en milieu liquide (FML) pour certains produits thermolabiles tels que les enzymes (**figure 14**). Les amylases, qui sont couramment utilisées dans l'industrie alimentaire pour la production de sirops de sucre et d'autres produits transformés, sont produites en utilisant principalement la FML (**Couto et Sanromán, 2006**).

Toutefois, les FMS sont maintenant considérés comme une technologie prometteuse pour la production d' $\alpha$ -amylases, comme l'ont démontré des études récentes utilisant des grains de brassages usés dans des FMS pour produire de l' $\alpha$ -amylase. Des suppléments tels que le Tween-80 ou les ions calcium peuvent également améliorer l'activité de l' $\alpha$ -amylase dans les systèmes FMS en améliorant les conditions de réaction de l'enzyme. Le Tween-80 est un tensioactif non ionique qui peut améliorer la solubilité de l' $\alpha$ -amylase et donc augmenter son accessibilité au substrat. Les ions calcium, quant à eux, peuvent stabiliser l' $\alpha$ -amylase et améliorer sa capacité à se lier au substrat. (**Francis et al., 2003**).

Les caractérisations microbiennes de l' $\alpha$ -amylase, telles que la température optimale, le pH optimal, la stabilité thermique, la stabilité du pH et les tolérances (salinité, détergents et solvants organiques), sont importantes pour évaluer leur applicabilité dans différents domaines industriels. Dans l'industrie alimentaire et des boissons, les  $\alpha$ -amylases sont utilisées dans la transformation de l'amidon, la fabrication de brèches, la formation de sirop de maïs à haute teneur en fructose, le brassage de la bière et la clarification de la brume dans les jus de fruits. Les  $\alpha$ -amylases impliquées dans la saccharification et la liquéfaction de l'amidon doivent être thermostables ou hyperthermostables en raison de la température élevée pendant ces processus (**Lim et Oslan, 2021**).

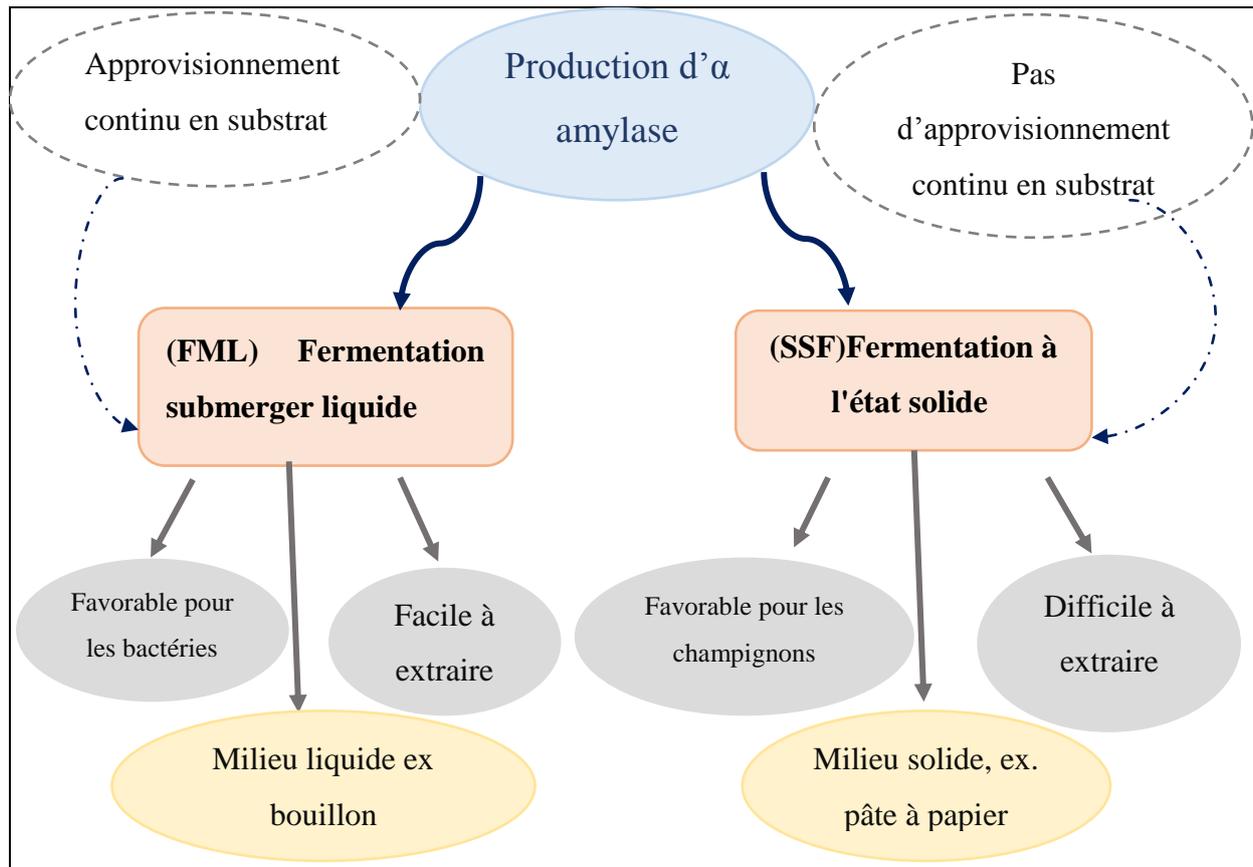


Figure 14 : comparaison entre FMS et FML (Muhammad *et al.*, 2021).

### III.3. Préparation d'inoculum

Les deux études ont décrit la méthode de récolte et de quantification des spores d'*A. oryzae* pour la préparation d'inoculum pour la production d'amylase, mais avec des différences dans les détails de la méthode.

Dans l'étude de **Kammoun *et al.* (2008)**, les spores sont récupérées à l'aide d'une aiguille d'inoculation aseptique après avoir ajouté de l'eau distillée contenant 0,1% de Tween-80 pour déloger les spores d'*A. oryzae* âgé de sept jours dans des plaques. La suspension de spores est ensuite centrifugée puis le surnageant est éliminé, le glycérol est ajouté pour la conservation. Le nombre de spores viables est déterminé par la technique de comptage utilisant la cellule de Thomas.

Dans l'étude de **Francis *et al.* (2003)**, les spores d'*A. oryzae* NRRL 6270 âgés de 7 jours sont délogés dans de l'eau distillée stérile contenant 0,1% de Tween-80, et le nombre de spores viables est déterminé par la technique de comptage sur plaque de coulée (méthode

microbienne permettant de dénombrer certaines des cellule viable présente dans un échantillon).

Les méthodes de récolte, de dilution et de comptage des spores ont donc différent entre les deux études, ce qui peut influencer la quantité et la qualité des spores et, par conséquent, la production d'amylase ultérieure.

#### III.4. Préparation du substrat

Dans l'étude de **Francis et al. (2003)**, 5g de grains de brassages (SBG) sont placés dans un Erlenmeyer de 250 mL, et une solution saline contenant des nutriments est ajoutée pour atteindre le taux d'humidité souhaité. La solution saline est composé de:  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NaCl}$  et  $\text{MgSO}_4$ . Le contenu est mélangé puis stérilisé à haute température et pression.

En effet, **Kammoun et al. (2008)**, ont utilisé le gruau comme substrat. Ce dernier est obtenu à partir de blé dur, qui est mélangé avec un milieu enzymatique contenant divers nutriments dans des erlenmeyers de 500 mL. Le pH est ajusté et les flacons sont stérilisés avant d'être inoculés avec une suspension de spores puis incubés sur un agitateur rotatif.

Les différences dans les méthodes de préparation des milieux de culture peuvent affecter la quantité et la qualité des enzymes produites.

#### III.5. Procédé de fermentation

**Francis et al. (2003)** ont inoculé le substrat solide stérilisé dans des erlenmeyers avec 1 ml d'inoculum. Le contenu est soigneusement mélangé puis incubé à la température appropriée. Les échantillons sont prélevés après 96 h d'incubation. **Kammoun et al. (2008)** ont utilisé des erlenmeyers fermés avec du coton, stérilisés à 121 °C (15 psi) pendant 20 min. Après refroidissement, le milieu est inoculé avec un volume approprié de suspension de spores, puis maintenu sur agitateur rotatif à des conditions permanentes pendant 72 h.

Les deux études décrivent des méthodes utilisées pour réaliser une fermentation en état solide (FMS) sur un substrat solide stérilisé. Les expériences sont réalisées selon un plan statistique. Les variations dans les paramètres du procédé sont maintenues en fonction de la conception de surface de réponse. Cependant, l'effet de différents paramètres physico-chimique ainsi que des facteurs nutritionnel sur la production d'alpha amylase est testé.

**Kammoun et al. (2008)** ont testé l'effet de la température d'incubation (25, 30, 35°C), l'agitation (150, 200, 250 rpm) et le taux d'inoculum (6,5, 7, 7,5 spore/mL). **Francis et al. (2003)** ont étudié l'effet de différents facteurs avec différents niveaux sur la fermentation

d'alpha amylase. Les facteurs étudiés par **Francis et al. (2003)** ainsi que leurs valeurs testés sont : la température d'incubation (25, 30, 35°C), le taux d'humidité (68, 70, 72%) et le nombre de spores a inoculé (5,5, 6, 7,5 spore/mL). L'analyse de variance (ANOVA) est réalisée afin de déterminer les niveaux des facteurs qui ont un effet significatif sur la variable dépendante.

Dans ces deux études l'effet 19 éléments nutritifs est aussi testé.

En somme, les deux études décrivent des méthodes similaires pour réaliser une fermentation à l'état solide, mais il y a des différences notables dans les détails de la méthode, notamment en ce qui concerne les paramètres physico-chimiques à tester.

### III.6. Extraction enzymatique et dosage de l' $\alpha$ -amylase

Les deux études décrivent des méthodes pour doser l'activité de l'enzyme  $\alpha$ -amylase. Pour cela, un mélange contenant de l'amidon soluble et une quantité connue de l'enzyme  $\alpha$ -amylase est incubé, suivi de la mesure de la quantité de sucres réducteurs libérés. Cependant, il y a des différences dans les détails de la méthode, notamment dans le tampon utilisé, la température et la durée d'incubation, ainsi que dans la définition de l'unité d'activité de l'enzyme.

Dans la première méthode décrite par **Kammoun et al. (2008)**, l'enzyme est dosée en ajoutant 50  $\mu$ L d'enzyme de surnageant de culture à 0,5 ml d'amidon soluble à 1 % (p/v) dans un tampon d'acétate 0,1 M (pH 5,6), puis le mélange réactionnel est incubé à 60 °C pendant 30 min. Les sucres réducteurs libérés sont mesurés par la méthode de l'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNS). L'unité d'activité est définie comme la quantité d'enzyme qui libère des sucres réducteurs équivalant à 1  $\mu$ mol de glucose par minute dans les conditions standard de dosage.

Dans la deuxième méthode de **Francis et al. (2003)**, l'enzyme brute est extraite par une simple méthode de contact en mélangeant soigneusement le substrat fermenté avec de l'eau distillée contenant 0,1% de Tween-80, pour un volume total d'extrait de 100 mL. Le mélange réactionnel se compose de 1,25 mL de solution soluble d'amidon à 1 % (p/v), d'un tampon d'acétate de sodium 0,1 M (pH 5,0), d'eau distillée et d'extrait enzymatique brut correctement dilué. Après 10 min d'incubation à 50 °C, les sucres réducteurs libérés sont mesurés par la méthode de l'acide dinitrosalicylique (DNS). L'unité d'activité est définie comme la quantité d'enzyme qui libère 1  $\mu$ mol d'équivalent glucose par minute dans les conditions d'essai.

En résumé, les deux méthodes consistent à mesurer l'activité de l'enzyme  $\alpha$ -amylase en libérant des sucres réducteurs à partir de l'amidon soluble.

### III.7. Synthèse de l'étude

Les résultats de **Kammoun et al. (2008)** présentent les activités  $\alpha$ -amylase obtenues à partir de différentes fermentations avec différentes valeurs de température, d'agitation et de taux d'inoculum. Les résultats montrent que la température et l'agitation ont un effet significatif sur l'activité d' $\alpha$ -amylase. Après 72 h d'incubation, l'activité d' $\alpha$ -amylase la plus élevée est obtenue avec une température de 25°C supérieure à celle obtenue avec la température 35°C. De même, des agitations de 250 tr/min ont conduit à des activités enzymatiques plus élevées que celles de 150 tr/min. Les résultats montrent aussi que le taux d'inoculum a une grande influence sur la production d'alpha amylase, bien que avec un rapport de 7,5 spores/ mL une activité  $\alpha$ -amylase la plus élevée est obtenue. **Francis et al. (2003)** ont démontré aussi que le taux d'inoculum a un effet important sur la production d'alpha amylase par *A. oryzae*. Ils ont montré que les meilleures performances en  $\alpha$  amylase sont obtenues avec une température d'incubation de 30°C et un taux d'humidité de 70%. Ces résultats sont similaires avec celle obtenue par **Chimata et al. (2010)** qui ont montré que un taux d'humidité de 70% et une température de 30°C permet d'obtenir le meilleur rendement en  $\alpha$  amylase par une nouvelle souche isolée d'*Aspergillus* cultivée sur différents déchets agricoles. Dans l'ensemble, les résultats montrent que la température et l'agitation sont des facteurs clés pour optimiser l'activité  $\alpha$ -amylase lors de la fermentation et qu' *A. oryzae* tolère une forte agitation et une température d'incubation mésophile. En fonction de leur influence positive sur la formation d'enzymes trois composants (tourteau de soja, chlorure de calcium et sulfate de magnésium) ont été sélectionnés par **Francis et al. (2003)** d'être des éléments essentiels pour la fermentation d'alpha amylase. Après l'optimisation, **Kammoun et al. (2008)** ont sélectionnés plusieurs éléments nutritifs comme intéressants pour la production d'enzyme grâce à leur effet positif sur les fermentations (le  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , l'urée, le glycérole, le  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , le  $\text{CoCl}_2$ , l'hydrolysate de caseine, l'hydrolysate de tourteau de soja et le  $\text{MgSO}_4$ ).

D'après l'étude réalisée par **Kammoun et al. (2008)** l'application des conditions optimales a révélé une amélioration de rendement d'alpha amylase de 72,7%, et une augmentation d'environ 20% de rendement dans l'étude de **Francis et al. (2003)**.

Des résultats proches sont obtenus par **Sivaramakrishnan et al. (2007)** et **Roheen et al. (2014)**. **Sivaramakrishnan et al. (2007)** ont étudié la production d' $\alpha$  amylase par *A. oryzae*

par SSF sur différents substrats. La meilleure production d'enzyme (15095 U/g) est obtenue après 72 h de fermentation à 30°C et pH 5 sur son de blé. Ils ont conclu aussi que l'activité enzymatique est augmentée en suppléant le milieu par le nitrate de sodium comme source d'azote et avec l'amidon comme source de carbone.

Cependant, **Roheen et al. (2014)** ont étudié l'effet de la température, de pH, d'âge d'inoculum sur la production d'alpha amylase par *A. niger* (BTM-26) en utilisant différents déchets agricoles comme substrat. Les résultats ont montré que le meilleur rendement d'enzyme est obtenu après 72 h de fermentation à 30°C avec un milieu contenant le son de blé. La supplémentation de milieu de culture avec de lactose comme source de carbone et de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  et d'extrait de levure comme source d'azote augmente la production d'alpha amylase par rapport à l'utilisation d'un milieu contenant le son de blé seul.

# **Conclusion**

## **Conclusion**

La production d'alpha-amylase à partir de déchets agricoles est une méthode prometteuse pour valoriser les résidus de culture et produire des enzymes industrielles en grande quantité. Etant donné que l'alpha-amylase est largement utilisée dans l'industrie alimentaire, pharmaceutique et cosmétique, cette méthode de production peut répondre à une forte demande pour ce produit.

Les déchets agricoles comme les résidus de céréales, les pommes de terre, les bananes, les légumes, et autres, constituent des sources abondantes de matières premières pour la production d'alpha-amylase. L'utilisation de ces matières premières peu coûteuses et disponibles localement peut réduire considérablement les coûts de production.

Cependant, malgré les nombreux avantages de la production d'alpha-amylase à partir de déchets agricoles, il reste des obstacles à surmonter pour maximiser son efficacité et son rendement. Des recherches et des investissements supplémentaires sont nécessaires pour améliorer cette méthode de production et faire face aux défis qui se posent.

En fin, avec des efforts accrus pour surmonter les défis et améliorer l'efficacité de cette méthode, la production d'alpha-amylase à partir de déchets agricoles pourrait devenir une solution rentable et durable pour répondre à la demande croissante d'enzymes industrielles.

# **Références bibliographiques**

**Ahlawat S., Dhiman S.S., Battan B., Mandhan R.P. et Sharma J. (2009).** Pectinase production by *Bacillus subtilis* and its potential application in biopreparation of cotton and micropoly fabric. *Process Biochemistry* **44**, 521-526.

**Amoozegar M.A., Malekzadeh F., Malik K. A. (2003).** Production of amylase by newly isolated moderate halophile, *Halobacillus* sp. strain MA-2. *J Microbiol Methods* **52**, 353-359.

**Asoodeh A., Chamani J., Lagzian M. (2010).** A novel thermostable, acidophilic alpha-amylase from a new thermophilic "*Bacillus* sp. Ferdowsicus" isolated from Ferdows hot mineral spring in Iran: Purification and biochemical characterization. *Int J Biol Macromol* **46**, 289-297.

**Awogbemi O. et Von Kallon D.V. (2022).** Techniques de prétraitement des déchets agricoles. *Études de cas en génie chimique et environnemental* **6**, 100229.

**Awogbemi O., Von Kallon D.V. (2022).** Techniques de prétraitement des déchets agricoles. *Études de cas en génie chimique et environnemental* **6**, 100229.

**Babu K. R, et Satyanarayana T. (1993).** Extracellular calcium inhibited  $\alpha$ -amylase of *Bacillus coagulans* B49. *Enzyme Microbiol. Technol* **15**,1066-1069.

**Badot R. M. et Merlin D. (1984).** Métabolisme énergétique et mouvement révolutif chez le haricot (*Phaseolus vulgaris* L. ) Ann. Sei. Univ. Franche-Comté, Biol. Veg. 4 , 7-12.

**Badou R.B ; Yedomonhan H et Tossou M (2019):** Diversité d'usages et Statut de conservation de *Syzygium guineense* (Willd.) DC. subsp. macrocarpum (Engl.) F. White (Myrtaceae) au Bénin, International Journal of Environmental Studies

**Baysal Z., Uyar F., Aytakin C. (2003).** Solid state fermentation for production of -amylase by a thermotolerant *Bacillus subtilis* from hot spring water. *Process Biochemistry* **38**, 1665-1668.

**Ben ammar S. (2006).** Les enjeux de la caractérisation des déchets ménagers pour lechoix de traitements adaptés dans les pays en développement résultats de la caractérisation dans le grand tunis mise au point d'une méthode adaptée. Thèse doctorat. École Nationale Supérieure de Géologie de Nancy.

**Betheau Y., Kotoujansky A., Colenoa A. (1985).** Sources actuelles et potentielles d'enzymes d'hymolyses et de dépolymérisation. In Mouranche A., Coste C. (Ed) : Hydrolyses et dépolymérase enzymes. D'intérêt industriel. Ed. Ghautier-Villard. Pp, 306-356.

**Boudjemaa D. (2021).** Concilier les impératifs environnementaux et économiques. *Waste managment magazine for Africa menaregion* **2**, 4-5.

**Braide W., Kanu L.A., Oranusi U.S. et Adeleye S.A. (2016).** Production of bioethanol from agricultural waste. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 1112-9867.

**Chen W.M., Chang, J.S., Chiu C.H., Chang S.C., Chen W.C., Jiang C.M. (2005).** *Caldimonas taiwanensis* sp. nov.  $\alpha$ -amylase producing bacterium isolated from a hot spring. *Syst Appl Microbiol* **28**, 415-420.

**Chennaoui M., Salama Y., Mekan A. et Mountadar M. (2016).** Valorisation agricole d'un compost produit à partir du compostage en cuve ces céchets municipaux. *European Scientific Journal* **12** (35), 1857 - 7881.

**Chatterton Jr., Robert T., Kirsten M., Vogelsong., Yu-cai Lu., Ellman., Gerald A., Hudgens et Allison B (1996).** Salivary  $\alpha$ -amylase as a measure of endogenous adrenergic activity. *Clinical Physiology* **16**, 4, 433-448.

**Chi Z., Chi Z., Liu G., Wang F., Ju L. et Zhang T. (2009).** *Saccharomycopsis fibuligera* and its applications in biotechnology. *Biotechnol Adv* **27**, 423-431.

**Chimata M. K., Sasidhar P., Challa S.(2010).** Production of extracellular amylase from agricultural residues by a newly isolated *Aspergillus* species in solid state fermentation. *African Journal of Biotechnology* **9**(32), 5162-5169.

**Couto S. R, Sanromán A. (2006).** Application de la fermentation à l'état solide à l'industrie alimentaire- A review. *Journal of Food Engineering* **76**(3), 291-302.

**Dahunsi S. (2019).**Prétraitement mécanique des lignocelluloses pour une production accrue de biogaz : prévision du rendement en méthane à partir de composants structuraux de biomasse. *Bioresour. Technol* **280**, 18-26.

**Dauter. Z., Dauter. M., Brzozowski .A.M., Christensen .S. Borchert T.V., Beier .L., Wilson K.S.et Davies G.J.(1999).** X-ray structure of Novamyl, the five-domain "maltogenic" alphaamylase from *Bacillus stearothermophilus*: maltose and acarbose complexes at 1.7Å resolution. *Biochem.* (38): 8385-8392.

**Dinamarca N.M., Ahring A. et M. Uellendahl. (2021).** Anaerobic digestion of food waste: A review on process stability. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **136**,110467.

**Dipak P. (2016).** Microorganisms and  $\alpha$ -amylase: a concise review. *Innovare Journal of Science* **4**, 4, 1-5

**Dumond L., Lam P.Y., van Erven G., et al.(2021).** Contribution du microbiote intestinal des termites à la délignification de la paille de blé dans les bioréacteurs anaérobies. *ACS Sustain. Chem. Eng* **9**, 2191-2202.

**Erdal S.E., Taskin M. E. (2010).** Production of  $\alpha$ -amylase by *Penicillium expansum* MT-1 in solid-state fermentation using waste Loquat (*Eriobotrya japonica* Lindley) kernels as substrate. *Rom Biotech Lett* **15**,5342-5350.

**Fadel M., Sawsan A.H., Sharada H., Yehia A. et Mayar A. (2020).** Production de glucoamylase, de  $\alpha$ -amylase et de cellulase par *Aspergillus oryzae* F-923 cultivé sur du son de blé sous fermentation à l'état solide. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology* **23**(4), 8-22.

**Ferchaud F. (2015).** Bilan hydrique, azoté et carbone des cultures bioénergétiques : impact des espèces cultivées et des pratiques culturales. Institut national de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement (INRAE), Paris, France.

**Fleming D., Rumbaugh K.P. (2017).** Approaches to dispersing medical biofilms. *Microorganisms* **5**(2), 15.

**Francis F., Sabu A., Nampoothiri K. M., Ramachandran S., Ghosh S., Szakacs G. et Pandey A. (2003).** Utilisation de la méthodologie de surface de réponse pour optimiser les paramètres de processus pour la production de  $\alpha$ -amylase par *Aspergillus oryzae*. *Biochemical Engineering Journal* **15**(2), 107-115.

**Ghorai S., Banik S.P., Verma D., Chowdhury S., Mukherjee S. et Khowala S. (2009).** Fungal biotechnology in food and feed processing. *Food Res. Int* **42**, 577-587.

**Gonzales R. R., Sivagurunathan P., Kim S.H. (2016).** Effet de la gravité sur le prétraitement acide dilué de la biomasse lignocellulosique et la fermentation hydrogène suivante. *J. Énergie de l'hydrogène* **41**, 21678-21684.

**Goyal, N.; Gupta, J.K.; Soni, S.K. (2005).** A novel raw starch digesting thermostable  $\alpha$ -amylase from *Bacillus* sp. I-3 and its use in the direct hydrolysis of raw potato starch. *Enzyme Microb. Technol* **37**, 723-734.

**Gupta R., Gigras P., Mohapatra H., Goswami V. K. and Chauhan B. (2003).** Microbial  $\alpha$ -amylases: a biotechnological perspective. *Process Biochem* **38**, 1599-1616.

**Haq I., Ali S., Javed M.M., Hameed U., Saleem A., Adnan F., Qadeer M.A. (2010).** Production of alpha amylase from a randomly induced mutant strain of *Bacillus amyloliquefaciens* and its application as a desizer in textile industry. *Pak J Bot* **42**, 473-484.

**Hutcheon G.W., Vasisht N., Bolhuis A. (2005).** Characterisation of a highly stable alpha-amylase from the halophilic archaeon *Haloarcula hispanica*. *Extremophiles* **9**, 487-495.

**Iqbal N., Agrawal A., Dubey S et Kumar J. (2020).** Role of Decomposers in Agricultural Waste Management. *Biomasse*, 93816.

**Jujjavarapu S.E et Dhagat. (2018).** Evolutionary Trends in Industrial Production of  $\alpha$ -amylase. *Recent Patents on Biotechnology* **12**, 1-15.

**Kammoun R., Naili B et Bejar S. (2008).** Application of a statistical design to the optimization of parameters and culture medium for  $\alpha$ -amylase production by *Aspergillus oryzae* CBS 819.72 grown on gruel (wheat grinding by-product). *Bioresource Technology* 99, 5602–5609.

**Kandarp B., Sangeeta L., Srinivasan R., Bhumika J (2020).** Bioconversion of agriculture wastes to produce  $\alpha$ - amylase from *Bacillus velezensis* KB 2216: Purification and characterization. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 28, 101703.

**Kathiresan K., Manivannan S. (2006).** Amylase production by *Penicillium fellutanum* isolated from mangrove rhizosphere soil. *Afr. J. Biotechnol* 5, 829-832.

**Koul B., Yakoob M. (2022).** Stratégies de gestion des déchets agricoles pour la durabilité environnementale. *Environ. Rés* 206, 112285.

**Kuddus M (2010).** Microbial cold-active  $\alpha$ -amylases : From fundamentals to recent developments. *Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology* 2010, 1265-76.

**Kumar., Bhardwaj N., Agrawal K., Chaturvedi V., Verma P. (2020).** Perspectives actuelles sur les technologies de prétraitement utilisant la biomasse lignocellulosique : un concept émergent de bioraffinerie. *Technologie de traitement du carburant* 199, 106244.

**Kumari A., Singh V.K. and Kayastha A.M. (2013).** Molecular Modeling of  $\alpha$ -Amylase from Germinated Soybean (*Glycine max*) and Its Functional Diversity. *International Journal of Genomics and Proteomics* 4 (1), 64-71.

Lim S. J., Oslan S.N. (2021). Native to designed: microbial  $\alpha$ -amylases for industrial applications. *PeerJ* 9, 11315.

**Lintu L. (1976).** Panneaux, papiers et cartons à partir des résidus agricoles. *Unasylva - revue internationale des forêts et des industries forestières* 29, 20.

**Ma J., Yue H., Li H., et al. (2021).** Délignification sélective du bois de peuplier avec un basidiomycète nouvellement isolé *Peniophora incarnata* T-7 par fermentation submergée pour améliorer la saccharification. *Biotechnol. Biofuels* 14,1-15.

**Mecier C. (1985).** Les enzymes amylolytiques. In Mauranche A et Costes C. (Ed): *Hydrolases et polymérasés*. Ed. Gauthier Villars. Pp, 109-142.

**Melha M. (2021).** Durabilité de la ressource et impact environnemental. *Waste management magazine for Africa menaregion* **2**, 12-15.

**Mohapatra B.R., Banerjee U.C., Bapuji M. (1998).** Characterization of a fungal amylase from *Mucor* sp. Associated with the marine sponge *Spirastrella* sp. *J. Biotechnol* **60**, 113-117.

**Muhammad A.F., Shaukat A., Ali H., Hafz M.T., Samaira M. (2021).** Biosynthesis and industrial applications of  $\alpha$ -amylase: review. *Archives of Microbiology* **203**, 1281-1292.

**Muralikrishna G., Nirmala M. (2005).** Cereal -amylases – an overview. *Carbohydrate Polymers* **60**, 163-173.

**Nusrat I., Amrisha A., Saurabh D et Jitender K. (2020).** Rôle des décomposeurs dans Gestion des déchets agricoles. *Biomasse*. DOI : 10.5772/intechopen.93816.

**Panchal C.J (1990).** Yeasts strain selection. Marcel Dekker (ed) USA, p : 189.

**Patel A., Mishra S et Singh K. (2021).** Composting: A review of process and technologies". *Waste Management* **121**, 230-251.

**Paudel S.R., Banjara S.P., Choi O.K., Park K.Y., Kim Y.M et Lee J.W. (2017).** Pretreatment of agricultural biomass for anaerobic digestion: Current state and challenges. *Bioresource Technology* **245**, 1194-1205.

**Platel D. (2019).** Vos effluents d'élevage ont de la valeur. Action Agricole PICARDE.

**Prakash B., Vidyasagar M., Madhukumar M.S., Muralikrishna, G., Sreeramulu K. (2009).** Production, purification, and characterization of two extremely halotolerant, thermostable, and alkali-stable  $\alpha$ -amylases from *Chromohalobacter* sp. TVSP 101. *Process Biochem* **44**, 210-215.

**Rodeheaver D.P., et Wyah R. D. (1984).** Effet of decreased feed intake on serum and pancreatic on of broiler chickens. *Avian Dis* **28** (3), 662-668.

**Roheena A., Naeema S., Mehzish I., Shagufta N., Tehreema I.(2014).** Optimisation of cultural conditions for the production of alpha amylase by *Aspergillus niger* (BTM-26). *Pak. J. Bot.*, **46**(3), 1071-1078.

**Samadhiya K., Sangtani R., Nogueira R., et Bala B. (2022).** Progrès perspicaces et opportunités pour la production de bioplastiques microbiens. *Frontiers in Microbiology* **12**, 674864.

**Sanchez O.J., Cardona C.A. (2008).** Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks. *Bioresour Technol* **99**, 5270-5295.

**Schomburg D and Salzmann M** (1991). Enzyme Hand book 4. Classe 3: Hydrolases Springer-Verlag (ed). Berlin Heidelberg. Germany. p: 1-12.

**Silano V., Bolognesi C., Castle L., Chipman K., Cravedi J.P., Fowler P., Franz R., Grob K., Gürtler R., Kärenlampi S., Mennes W, Milana M.R., Pfaff K., Riviere G., Srinivasan J et Tlustos C. (2018).** Évaluation de l'innocuité de l'enzyme alimentaire  $\alpha$ -amylase issue d'un *Bacillus licheniformis* génétiquement modifié. *EFSA Journal* **16**(7), 5318.

**Sindhu R., Binod P., et Pandey A. (2016).** Prétraitement biologique de la biomasse lignocellulosique – Vue d'ensemble. *Bioresour. Technol* **199**, 76-82.

**Siqueira E.M.A., Mizuta K., Giglio J.R (1997).** Pycnopus sanguineus: a novel source of -amylase. *Mycol. Res* **101**, 188-190.

**Sivaramakrishnan S., Gangadharan D., Nampoothiri K. M., Soccol C. R., Pandey A. (2007).** Alpha amylase production by *Aspergillus oryzae* employing solid-state fermentation. *Journal of Scientific and Industrial Research* **66**, 621-626.

**Souza P.M., Magalhães P.O. (2010).** Application of microbial-amylase in industry- a review. *Brazilian Journal of Microbiology* **41**.850-861.

**Subhedar P.B., Ray P. et Gogate P.R. (2018).** Intensification de la délignification et hydrolyse ultérieure pour la production de sucre fermentescible à partir de biomasse lignocellulosique par irradiation ultrasonique. Ultrason. *Sonochem* **40**, 140-150.

**Tan J., Li Y., Tan X., Wu H., Li H et Yang C. (2021).** Progrès dans le prétraitement de la biomasse de paille pour la production de sucre. *Devant. Chem* **9**, 696030.

**Tangphatsornruang S., Naconsie M., Thammarongtham C., Narangajavana J. (2005).** Isolation and characterization of an alphaamylase gene in cassava (*Manihot esculenta*). *Plant Physiol Biochem* **43**, 821-827.

**Tanpichai S., Witayakran S. et Boonmahitthisud A. (2019).** Etude des propriétés structurales et thermiques de microfibrilles de cellulose isolées de feuilles d'ananas par explosion de vapeur. *J. Environ. Chem. Eng* **7**, 102836.

**Tanyildizi M.S., Ozer D., Elibol, M. (2007).** Production of bacterial - amylase by *B. amyloliquefaciens* under solid substrate fermentation. *Biochem Eng J* **37**, 294–297.

**Ulriche W. (2019).** Réduction des pertes post-récoltes : une préoccupation majeure du PD\_CVA. Projet de Développement des Chaînes de Valeurs Agricoles

**Wanderley K.J., Torres F.A., Moraes L.M., Ulhoa C.J. (2004).** Biochemical characterization of alpha-amylase from the yeast *Cryptococcus flavus*. *FEMS Microbiol Lett* **231**, 165-169.

**Wang F., yang D.O., Zhou Z., Page S.J., Liu D. et Zhao X. (2021).** La biomasse lignocellulosique comme matière première durable et matériaux pour la production et le stockage d'énergie. *Journal de chimie de l'énergie* **57**, 247-280.

**Wang P., Liu C., Chang J., Yin Q., Huang W., Liu Y., Dang X., Gao T. et Lu F. (2019).** Effet des prétraitements physico-chimiques plus hydrolyse enzymatique sur la composition et la structure morphologique de la paille de maïs Renouveler. *Énergie* **138**, 502-508.

**Wang S., Dien B.S. et Rausch K.D. (2018).** Fermentation d'hydrolysats de bagasse de canne à sucre non détoxifiés à l'aide d'un prétraitement hydrothermal et mécanique de raffinage en deux étapes. *Bioresour. Technol* **261**, 313-321.

**Whitcomb D.C., Lowe M. E. (2007).** Human pancreatic digestive enzymes. *Dig Dit Sci* **52**, 1-17.

**Xu G.C., Ding J.C., Han R.Z., Dong J.J. et Ni Y. (2016).** Amélioration de l'accessibilité de la cellulose des tiges de maïs par un prétraitement par solvant eutectique profond pour la fermentation du butanol. *Bioresour. Technol* **203**, 364-369.

**Yuan Z., Klinger G.E, S. Nikafshar S. et al. (2021).** Fractionnement efficace de la biomasse grâce à un prétraitement alcalin-oxydatif amélioré par l'oxygène ACS Sustain. *Chem. Eng* **9**,1118-1127.

**Yuan Z., Wen Y., Li G. (2018).** Production de bioéthanol et de composés à valeur ajoutée à partir de paille de blé par prétraitement combiné alcalin/péroxyde alcalin. *Bioresour. Technol* **259**,228-236.

**Zhang Q, Xiao H. (2016).** Microbial-amylase: A biomolecular overview *School of Chemical Engineering and Technology*, Tianjin University.Tianjin. China. 14 <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2016.11.0>.

**Zhang Q., Lui J., Tian M., et al. (2011).** Amélioration de la production de méthane à partir de résidus de manioc par prétraitement biologique à l'aide d'un consortium microbien construit. *Bioresour. Technol* **102**,8899-8906.

**Zhao C., Qiao X., Cao Y. et Shao Q. (2017).** Application de prétrempage au peroxyde d'hydrogène avant le prétraitement par expansion des fibres d'ammoniac des cultures énergétiques. *Fuel* **205**, 184-191.



## Résumé

Les déchets agricoles sont des matières résiduelles générées par diverses activités agricoles. Chaque année, une grande quantité de ces déchets sera produite et finira par se détériorer ce qui a un effet néfaste sur les ressources agricoles, la santé humaine et animale, ainsi que sur l'environnement si aucune mesure appropriée n'est prise pour gérer ces déchets. La fermentation sur milieu solide offre l'avantage de pouvoir produire de grandes quantités d'enzymes en peu de temps et avec un coût de production réduit. Donc, la FMS est une méthode prometteuse pour répondre à la demande croissante d'enzymes. L'alpha amylase est une enzyme très demandée grâce à sa très grande utilisation dans diverses industries telles que l'alimentation, la pharmacie et la biotechnologie. Plusieurs études sont réalisées sur la production d'alpha -amylase par *Aspergillus* à partir des déchets végétaux tels que les grains de brassage et de gruau par fermentation sur support solide à base de pomme de terre-dextrose-agar. Les grains de brassage et le gruau sont des substrats riches en amidon, ce qui les rend idéaux pour la production d' $\alpha$ -amylase.

**Mots clés :**  $\alpha$ -amylase, *Aspergillus*, déchets agricoles, fermentation, grains de brassage, gruau.

## Abstract

Agricultural wastes are residual materials generated by various agricultural activities. Every year, a large quantity of this waste is produced and will eventually deteriorate, adversely affecting agricultural resources, human and animal health, and the environment if appropriate measures are not taken to manage it. Solid-state fermentation (SSF) offers the advantage of being able to produce large quantities of enzymes in a short time at a reduced production cost. SSF is therefore a promising method for meeting the growing demand for enzymes. Alpha amylase is a highly demanded enzyme, thanks to its widespread use in various industries such as food, pharmaceuticals and biotechnology, making SSF an effective method for meeting the growing demand for amylase, as well as for valorizing agricultural waste. Several studies have been carried out on the production of alpha amylase by *Aspergillus* from plant waste such as spent brewing grains and wheat grinding (gruel) by fermentation on a potato-dextrose-agar solid support. Spent brewing grains and gruel are starch-rich substrates, making them ideal for  $\alpha$ -amylase production.

**Key words:**  $\alpha$ -amylase, *Aspergillus*, agricultural waste, fermentation, spent brewing grains, wheat grinding (gruel).

## الملخص

النفايات الزراعية التي تمثل المواد المتبقية الناتجة عن الأنشطة الزراعية المختلفة. كل عام يتم إنتاج كمية كبيرة من هذه النفايات التي تتلف في النهاية وهذا ما يشكل ضرراً على الموارد الزراعية والصحة البشرية والحيوانية، وكذلك على البيئة إذا لم يتم اتخاذ التدابير اللازمة لإدارة هذه النفايات. يوفر التخمير الصلب (SSF) ميزة إنتاج كميات كبيرة من الإنزيمات في فترة قصيرة وبتكلفة إنتاج منخفضة. لذلك تعتبر التخمير الصلب كطريقة واعدة لتلبية الطلب المتزايد على الإنزيمات. يعد الألفا أميلاز إنزيمًا مطلوبًا بكثرة بسبب استخدامه الواسع في مختلف الصناعات مثل الأغذية والصيدلة والتكنولوجيا الحيوية، مما يجعل SSF طريقة فعالة لتلبية الطلب المتزايد على هذا الإنزيم بالإضافة إلى تامين النفايات الزراعية. تم إجراء العديد من الدراسات حول إنتاج ألفا أميلاز باستعمال *Aspergillus* من نفايات النباتات مثل حبوب التخمير ونخالة القمح المطحونة باستخدام وسط تخمير ثابت يستند إلى بطاطا الديكستروز الآغار. حبوب التخمير ونخالة القمح المطحونة هي مواد خام غنية بالنشاء، مما يجعلها مثالية لإنتاج الألفا أميلاز.

**الكلمات المفتاحية:** ألفا أميلاز، تخمير، *Aspergillus*، النفايات الزراعية، حبوب التخمير ونخالة القمح المطحونة.