الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Université Ferhat Abbas Sétif 1
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie

جامعة فرحات عباس، سطيف 1
كلية علوم الطبيعة و الحياة



DÉPARTEMENT DE MICROBIOLOGIE

N° : ……/SNV/2026

Mémoire

Présenté par :

Benlakehal Ibtihal Ayat Errahmane
Ben hebbadj Sabrina
Zemmit Maria

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Microbiologie Appliquée

Thème :

Étude de la production et de la caractérisation d'une xylanase de *Bacillus thuringiensis* Ba14 et son potentiel de valorisation biotechnologique

Soutenu publiquement le 24/06/2026

Devant le jury

Mme Saffidine Karima	**Pr.**	**UFA Sétif 1**	**Présidente**
Mme Cherif-Silini Hafsa	**Pr.**	**UFA Sétif 1**	**Promotrice**
Mme Saidi Samira	**Dr.**	**UFA Sétif 1**	**Examinatrice**

Laboratoire de Microbiologie Appliquée

2025 / 2026

Table des matières

الملخص

Résumé

Abstract

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

1. Revue bibliographique 2

1.1. Le xylane 2

1.1.1. Définition 2

1.1.2. Structure du xylane 2

1.1.3. Origine et diversité du xylane 3

1.1.4. Types de xylane 3

1.1.4.1. Homoxylane 3

1.1.4.2. Arabinoxylane 4

1.1.4.3. Glucuronoxylane 4

1.1.4.4. Glucuronoarabinoxylane 4

1.1.4.5. Galactoglucuronoarabinoxylane 4

1.2. Les xylanases 5

1.2.1. Définition 5

1.2.2. Historique 6

1.2.3. Classification et structure des xylanases 6

1.2.3.1. La famille GH10 7

1.2.3.2. La famille GH11 7

1.2.3.3. Les autres familles 7

1.2.4. Mécanisme d'action des xylanases 8

1.2.4.1. Mécanisme de rétention 8

1.2.4.2. Mécanisme d’inversion 9

1.2.5. Organismes producteurs de xylanase 10

1.2.5.1. Xylanases provenant des champignons 10

1.2.5.2. Xylanases provenant des bactéries 11

1.2.5.3. Avantages des bactéries par rapport aux champignons 12

1.3. Bacillus 13
1.3.1. Classification 13
1.3.2. Caractéristiques des Bacillus 13
1.3.3. Habitats 14
1.3.4. Importance du genre Bacillus dans la production de xylanases 15
1.4. Méthodes de production et de purification de xylanase bactérienne 15
1.4.1. Sélection de la souche bactérienne 15
1.4.2. Milieux de culture et substrats inducteurs de la xylanase 16
1.4.3. Techniques de fermentation 16
a. La fermentation submergée (SmF) 16
b. La fermentation en milieu solide (SSF) 16
1.4.4. Récupération de l'enzyme brute 17
1.4.5. Vérification de la pureté et de l'activité enzymatique 17
1.5. Facteurs influençant la production et l'activité de la xylanase 18
1.5.1. Effet du pH 18
1.5.2. Température de culture 18
1.5.3. Source de carbone 19
1.5.4. Sources d'azote 19
1.5.5. Présence de sels minéraux 20
1.5.6. Régulation génétique 20
1.5.7. Inhibiteurs de la xylanase 20
1.6. Applications industrielles des xylanases 21
1.6.1. Industrie agroalimentaire 22
1.6.2. Industrie de l'alimentation animale 22
1.6.3. Industrie de la pâte et du papier 22
1.6.3.1. Bio-blanchiment 22
1.6.3.2. Désencrage du papier recyclé 23
1.6.4. Industrie textile 23
1.6.5. Xylooligosaccharides 23
1.6.6. Bioraffinerie 24
1.6.7. Industrie des détergents 25
2. Matériel et méthodes 26
2.1. Matériel biologique 26

2.2. Criblage enzymatique des bactéries 26
2.3. Effet des facteurs abiotiques sur la croissance bactérienne et la capacité de production de xylanase 27
2.3.1. pH 27
2.3.2. Température 27
2.3.3. Salinité 27
2.4. Production de xylanase sur milieu liquide 28
2.5. Évaluation de l'activité de la xylanase 28
2.6. Effet des paramètres physico-chimiques sur l'activité de la xylanase 28
2.6.1. pH 28
2.6.2. La salinité 29
2.6.3. Activité de l'eau (aw) 29
2.6.4. Métaux lourds 29
2.6.5. Inhibiteurs 29
2.7. Applications 29
2.7.1. Utilisation de la xylanase comme détergent 29
2.7.2. Clarification des jus de fruits 30
2.7.3. Décoloration des colorants synthétiques 30
2.7.4. Application de la xylanase dans la panification 30
2.7.5. Valorisation de déchets alimentaires lignocellulosiques 31
3. Résultats et Discussion 33
3.1. Résultats 33
3.1.1. Criblage enzymatique des bactéries 33
3.1.2. Effet des facteurs abiotiques sur la croissance bactérienne et sur la capacité de production de la xylanase 35
3.1.2.1. Effet du pH 35
3.1.2.2. Température 36
3.1.2.3. Salinité 37
3.1.3. Activité de la xylanase en milieu liquide 38
3.1.4. La courbe d’étalonnage du xylose 39
3.1.5. Sélection de la souche performante par analyse comparative multifactorielle (Heatmap) 39
3.1.6. Effet des paramètres physico-chimiques sur l’activité de la xylanase 40
3.1.6.1. pH 40

3.1.6.2. Effet des ions métalliques sur l'activité xylanasique 41
3.1.6.3. Effet des différents additifs sur l'activité de la xylanase 42
3.1.7. Applications 43
3.1.7.1. Évaluation du potentiel détergent de la xylanase sur des taches de sang 43
3.1.7.2. Évaluation de l'effet de la xylanase sur la clarification des jus de fruits..... 43
3.1.7.3. Évaluation de l'activité décolorante de la xylanase sur des colorants synthétiques 45
3.1.7.4. Valorisation des déchets lignocellulosiques pour la production de xylanase..... 45
3.1.7.5. Étude de l'impact de la xylanase sur la panification 46
3.2. Discussion 48
4. Conclusion et perspectives 54

Références Bibliographiques

Annexes

الملخص

تُعدّ الزيلاناز من الإنزيمات ذات الأهمية البيوتكنولوجية لقدرتها على تحليل الزيلان، المكوّن الرئيسي للهيميسليلوز. هدفت هذه الدراسة إلى عزل وانتقاء سلالات بكتيرية منتجة لإنزيم الزيلاناز، ثم تحسين ظروف إنتاجه وتوصيف خصائصه وتقييم تطبيقاته المحتملة.

أظهرت السلالة *Bacillus thuringiensis Ba 14* أعلى نشاط إنزيمي مقارنةً بالسلالات المدروسة. وتم الحصول على أفضل إنتاج للإنزيم عند درجة حموضة متعادلة ودرجة حرارة 37 °م. كما أظهر الإنزيم المنتج ثباتًا جيدًا ونشاطًا ملحوظًا في ظروف مختلفة. وأثبتت دراسة الركائز اللجنوسليلوزية أن قشور البطاطا تمثل مصدرًا اقتصاديًا وفعالًا لإنتاج الإنزيم.

كما بينت التطبيقات المختلفة قدرة الزيلاناز على المساهمة في إزالة بقع الدم، وتوضيح عصائر الفواكه، وإزالة لون بعض الأصبغة الصناعية، وتحسين الخصائص التكنولوجية للخبز. وتؤكد هذه النتائج الأهمية البيوتكنولوجية للسلالة *Bacillus thuringiensis* Ba14كمصدر واعد لإنزيم الزيلاناز في العديد من التطبيقات الصناعية.

الكلمات المفتاحية: الزيلاناز، *Bacillus thuringiensis* Ba14، الهيميسليلوز، المخلفات اللجنوسليلوزية، التكنولوجيا الحيوية، التطبيقات الصناعية.

.

Résumé

La xylanase est une enzyme d'intérêt biotechnologique capable d'hydrolyser le xylane, principal constituant de l'hémicellulose. L'objectif de cette étude est d'isoler et de sélectionner des souches bactériennes productrices de xylanase, puis d'optimiser sa production, de caractériser ses propriétés et d'évaluer ses applications potentielles. Parmi les souches étudiées, *Bacillus thuringiensis* Ba14 a présenté la meilleure activité xylanasique. Les conditions optimales de production ont été obtenues à pH neutre et à 37 °C. La xylanase produite a montré une bonne stabilité et une activité intéressante dans différentes conditions. L'évaluation de substrats lignocellulosiques a révélé que les pelures de pomme de terre constituent une source économique et efficace pour la production de l'enzyme. Les essais d'application ont démontré le potentiel de cette xylanase dans l'élimination des taches de sang, la clarification des jus de fruits, la décoloration de certains colorants synthétiques et l'amélioration des propriétés technologiques du pain. Ces résultats confirment l'intérêt biotechnologique de *Bacillus thuringiensis* Ba14 comme source prometteuse de xylanase pour diverses applications industrielles.

Mots-clés : Xylanase, *Bacillus thuringiensis* Ba14, hémicellulose, déchets lignocellulosiques, biotechnologie, applications industrielles.

Abstract

Xylanase is a biotechnologically important enzyme that hydrolyzes xylan, the major component of hemicellulose. The aim of this study was to isolate and select xylanase-producing bacterial strains, optimize enzyme production, characterize its properties, and evaluate its potential applications.Among the tested isolates, *Bacillus thuringiensis* Ba14 exhibited the highest xylanolytic activity. Optimal production was achieved at neutral pH and 37 °C. The produced xylanase showed good stability and significant enzymatic activity under different conditions. The evaluation of lignocellulosic substrates revealed that potato peels are an effective and low-cost substrate for enzyme production.Application tests demonstrated the potential of this xylanase in blood stain removal, fruit juice clarification, synthetic dye decolorization, and improvement of bread quality. These findings highlight the biotechnological value of *Bacillus thuringiensis* Ba14 as a promising source of xylanase for various industrial applications.

Keywords: Xylanase, *Bacillus thuringiensis* Ba14, hemicellulose, lignocellulosic wastes, biotechnology, industrial applications.

Introduction

Les enzymes sont des catalyseurs biologiques capables d'accélérer les réactions chimiques sans en modifier l'équilibre. Elles jouent un rôle essentiel dans de nombreux secteurs industriels, notamment l'industrie agroalimentaire, la production d'énergie, l'industrie pharmaceutique ainsi que le développement de biopesticides. Elles représentent une alternative respectueuse de l'environnement aux catalyseurs chimiques traditionnels, contribuant ainsi à des procédés industriels plus durables et écologiques. Cet intérêt croissant est principalement motivé par les préoccupations liées à la persistance environnementale, à la toxicité et aux risques de contamination alimentaire associés aux agrochimiques conventionnels (Verma *et al*., 2024).

La xylanase est une enzyme hydrolytique qui catalyse l'hydrolyse des liaisons glycosidiques β-1,4 de la chaîne principale du xylane. Elle suscite un intérêt particulier en raison de ses nombreuses applications dans divers domaines industriels tels que l'industrie papetière, les produits de boulangerie, la production de biocarburants et l'industrie agroalimentaire (Alokika & Singh, 2019).

Malgré les avancées, les xylanases actuellement exploitées présentent encore des limites en termes de stabilité et de rendement, ce qui justifie la recherche de nouvelles souches microbiennes plus performantes. Les espèces du genre *Bacillus* sont particulièrement intéressantes en raison de leur capacité à produire et à sécréter des enzymes extracellulaires en grande quantité, ainsi que leur adaptation à des conditions environnementales variées. Par ailleurs, les sols arides algériens constituent un réservoir microbien encore peu exploré, susceptible de renfermer des souches dotées de propriétés biotechnologiques remarquables.

Dans ce contexte, l'objectif de cette étude est de déterminer la capacité des souches de *Bacillus* isolées de sols arides provenant de différentes régions d'Algérie à produire la xylanase, et d'étudier les facteurs influençant la production et l'activité enzymatique et leur potentiel biotechnologique dans des applications industrielles.