

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Faculté des sciences de la nature et de la vie

كلية العلوم الطبيعية والحياة

Département: Microbiologie

قسم: الميكروبيولوجيا

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Biotechnologie

Spécialité : *Mycologie Et Biotechnologie Fongique*

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

**Production des xylanases par *Aspergillus niger*
en fermentation solide**

Présenté par : Kaouache Zineb

Kaouache Aicha

Le 20/06/2023

Jury d'évaluation :

Président : DAFFRI A. (MCA-Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Encadreur : BOUCHERIT Z. (MAA-Université Frères MentouriConstantine1).

Examineur : ALMI H. (MCB-Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Année universitaire
2022 - 2023

Remerciements

Nous exprimons tout d'abord, nos profonds remerciements à ALLAH tout puissant, qui nous a guidé sur le droit chemin et nous a donné le courage et la volonté de finir ce mémoire.

Nos remerciements les plus sincères s'adressent à notre encadreur Mme BOUCHERIT Z, pour sa confiance, ses judicieux conseils, ses jugements critiques, son soutien, ses qualités humaines, nous tenons à lui exprimer toute nos gratitude.

Nous tenons à remercier les membres de jury qui ont bien voulu accepter de valoriser ce travail Nous remercions aussi profondément Mme ALMI H, l'examinatrice, et Mme DAFFRI A la présidente du jury, d'avoir donné le grand honneur de juger ce mémoire. Enfin, nous remercions profondément notre précieuse famille et nos chères amies à la fois pour leur soutien infatigable, leur patience admirable et leur affection continuelle.

Dédicace

Nous dédions ce mémoire à :

En premier lieu, à mes très chers parents qui m'accompagnent par leurs prière que Dieu me les garde, (Aucune dédicace ne peut exprimer ma profonde reconnaissance et mon grand amour pour eux), et qui nous soutiennent sans relâche et nous donnent la force et la volonté de faire des efforts et ne jamais baisser les bras.

À ma sœur Zineb qui m'accompagné tout long de mon étude

A tous ceux qui m'ont aidé à atteindre cette réalisation.

TABLE DES MATIERES

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction	1
CHAPITRE 01 Les xylanase	3
1 Historique	4
2 Définition	4
3 Classification des xylanases	5
4 Les propriétés des xylanases	6
5 Le substrat de xylanase (Le xylane)	8
5.1 Structure de xylane	8
5.2 Les sources de xylane	9
6 Intérêt industrielle des xylanases	9
6.1 Xylanase dans l'industrie textile	9
6.2 Xylanase dans l'industrie du papier	10
6.3 Xylanase dans les industries alimentaires	10
6.4 Xylanase dans les industries de l'alimentation animale	10
6.5 Xylanase dans le traitement des déchets agricoles et forestiers	11
7 L'origine des xylanases	11
CHAPITRE 02 Les moisissures	14
1 Généralités	15
2 Classification	15
3 Les moisissures productrices des xylanases	16
4 Généralité sur Aspergillus niger	18
4.1 Ecologie.....	18
4.2 Reproduction	19
4.3 Aspect macroscopique	19
4.4 Aspect microscopique.....	19
4.5 Besoins nutritionnels et cultureux des Aspergillus	19

CHAPITRE 03 Fermentation en milieu solide	21
1 Définition	22
2 Étapes de la fermentation solide.....	22
2.1 La préparation du substrat carboné	22
2.2 L'inoculation du milieu de culture.....	22
2.3 Contrôle des conditions de fermentation	23
2.4 L'eau	23
2.5 pH.....	23
2.6 Température	23
2.7 Aération.....	24
3 Les avantages et les inconvénients de fermentation solide.....	24
3.1 Les avantages de la fermentation solide	24
3.2 Les inconvénients de la fermentation solide	24
4 Les substrats utilisés par les moisissures en fermentation solide	25
4.1 Paille de maïs	26
4.2 Épis de maïs	26
4.3 Bagasse de canne à sucre.....	26
4.4 Litières de conifères	26
4.5 Sciure de bois	26
4.6 Paille de riz.....	27
4.7 Tourteau de sésame	27
Chapitr 04 Matériel et méthode	28
1 Moisissures utilisées	29
2 Fermentation à l'état solide	29
3 Extraction enzymatique	30
4 Estimation des xylanases	30
Chapitre 04 Analyse des résultats	31

Résumé

Les études sur les xylanases ont varié depuis l'Antiquité. Sa production a été étudiée dans différents environnements durs, à voile et semi-solides, ainsi que dans plusieurs micro-organismes tels que les bactéries, les algues et les champignons. Dans de nombreuses études, a adopté *Aspergillus niger* pour sa remarquable capacité à produire cette enzyme. Dans notre recherche, nous avons théoriquement souligné la capacité de ce dernier à produire de l'enzyme dans un milieu solide, sur la base de deux études discutées et comparées. Basé sur les résultats de nos expériences sur les champignons d'*Aspergillus niger*, utilisant une gamme de déchets agroalimentaire en fermentation solide, ce dernier a été cultivé dans l'huile de bonbon toxique du milieu d'un tissu. Pour améliorer la race, nous avons montré une culture sauvage des rayons ultraviolets et les races mutées ont subi les mêmes analyses (Rathinam et al. 2019). Dans la deuxième étude, la souche *Aspergillus niger GIO* a été cultivée avec divers substrats, y compris l'écorce de maïs, la paille de riz, la sciure, l'épi de maïs,... etc. (Samuel et al. 2023). Les résultats des deux études (Rathinam et al. 2019 ; Samuel et al. 2023) selon lesquelles la souche mutante d'*Aspergillus niger* produisait de la xylanase plus efficacement lorsqu'elle était cultivée au centre de la farine de sésame que la souche sauvage. De plus, *Aspergillus niger GIO* a montré une évolution des activités de zelanase lorsqu'il est cultivé sur différents substrats de déchets agricoles, l'activité la plus élevée étant observée lors de l'utilisation de résidus de maïs traités aux alcalis. L'utilisation de déchets agricoles fournit une source de carbone élevée et économique pour la production de xylanase, car les déchets de lignocellulose peuvent servir de substrat peu coûteux et disponible.

Mot clés : *Aspergillus niger*, xylanase, déchets agroalimentaires, fermentation solide.

Abstract

Studies on the enzyme xylanase have varied since antiquity. Its production has been studied in various medium solide, liquid and semi-solid environments, as well as in several microorganisms such as bacteria, algae and fungi. In many studies, *Aspergillus niger* has adopted for its remarkable ability to produce this enzyme. In our research, we theoretically emphasized the ability of the enzyme to produce enzyme in a solid medium, based on two studies discussed and compared. Based on the results of our experiments on *Aspergillus niger* mushrooms, using a range of solid fermentation food waste, the latter was grown in the toxic candy oil of the middle of a tissue. To improve the breed, we showed a wild culture of ultraviolet rays and mutated breeds underwent the same tests (Rathinam and al., 2019). In the second study, the *Aspergillus niger GIO* strain was grown with various substrates, including corn bark, rice straw, sawdust, corn cob, etc. (Samuel et al. 2023). The results, of both studies Rathinam et al. 2019 and Samuel et al. 2023, show that the mutant strain of *Aspergillus niger* produced xylanase more efficiently when grown in the centre of sesame flour than the wild strain. In addition, *Aspergillus niger GIO* showed a change in xylanase activities when grown on different substrates of agricultural waste, the highest activity being observed when using alkali-treated corn residues. The use of agricultural waste provides a high and economical source of carbon for xylanase production, as lignocellulose waste can be used as an inexpensive and available substrate.

Keywords: *Aspergillus niger*, xylanase, food waste, solid fermentation

الملخص

اختلفت وتعددت الدراسات حول انزيم الزيلائاز منذ القديم حيث تمت دراسة انتاجه في اوساط مختلفة الصلابة والسائلة والشبه صلبة كذلك على عدة كائنات مجهرية كالبكتيريا والطحالب والفطريات اعتمدت *Aspergillus niger* في الكثير من الدراسات ذلك لقدرتها الملحوظة على انتاج هذا الانزيم . في بحثنا هذا قمنا بالتاكيد نظريا على قدرة هذه الاخيرة على انتاج الانزيم في وسط صلب معتمدين على دراستين تمت مناقشتهما والمقارنة بينهما واستنادا الى نتائج التجارب التي اجرينا على فطر *Aspergillus niger* باستخدام مجموعة من النفايات العضوية في عمليات التخمير في الحالة الصلبة تمت زراعة هذه الاخيرة في زيت حلوى السمسم من وسط مندل كما تمت زراعة ابواغ الفطر في دوارق و تترك لمدة، 6 ايام في درجة حرارة الغرفة، لتحسين السلالة قمنا بعرض الزراعة البرية للإشعاع بالأشعة فوق بنفسجية كما خضعت السلالات المتحورة لنفس التحليلات (Rathinam et al 2019). في الدراسة الثانية تم زرع سلالة *Aspergillus niger* مع ركائز مختلفة بما في ذلك قشر الذرة وقش الأرز ونشارة الخشب وكوز الذرة... الخ (Samuel et al. 2023). أظهرت نتائج كلتا الدراستين (Rathinam et al. 2019، Samuel et al. 2023) أن السلالة المتحورة من *Aspergillus niger* أنتجت مادة الزيلائاز بشكل أكثر فعالية عند زراعتها على وسط وجبة السمسم مقارنةً بـ السلالة البرية علاوة على ذلك، أظهر *Aspergillus niger* أنشطة زيلائاز متغيرة عند زراعتها على ركائز نفايات زراعية مختلفة، مع أعلى نشاط لوحظ عند استخدام مخلفات الذرة المعالجة بالقلويات. يوفر استخدام مواد النفايات الزراعية مصدر كربوني عال و اقتصادي بالنسبة لإنتاج الزيلائاز ، حيث يمكن أن تكون نفايات اللجنوسليلوز بمثابة ركيزة رخيصة ومتوفرة بسهولة

الكلمات المفتاحية: *Aspergillus niger*، الزيلائاز، مخلفات الطعام، التخمير الصلب.

Liste des abréviations

pi : p*H*isoélectrique

KDa :Kilodalton

Cazy : **The** Carbohydrate-Active Enzymes data base

Ph :Le potentiel hydrogène

T ° ou tem.C : La température

GX :Glucuronoxylanes

AX :Arabinoxylanes

AGX :Arabino-glucuronoxylanes

HX : xylane hydrolase

GH-5 : Glycoside hydrolase famille 5(7, 8, 10, 11, 30, 43, 51, 141)

GH-A :glycoside hydrolase famille A

GH-R :glycoside hydrolase famille R

GH-M :Glycoside Hydrolase famille M

GH-F :Glycoside Hydrolase famille F

UV :ultra-violet

DNS: dinitrosclcylique for Integreted Management of Plantation
Resources and agriculture

°C :degré Celsius

SOC :Tourteau de sésame

AW :activité de l'eau

U/ml : unité par millilitre

Liste des figures

Figure 1: <i>Structure de xylanase de la familleGH10)</i>.....	5
Figure 2 : Structures représentatives des enzymes de divers glycosides famille hydrolase.	6
Figure 3:structure de xylane	8
Figure 4:les grande groups des Eumycètes.....	16

Liste des tableaux

Tableau 1: les paramètres physico-chimiques des xylanases produite par divers microorganismes	7
Tableau 2: les sources végétale de xylane	9
Tableau 3:les sources microbienne de xylanase	11
Tableau 4: les moisissures productrices des xylanases	17
Tableau 5: les substrats des moisissures productrices de xylanases	25
Tableau 6: la production de xylanase par plusieurs souches d' <i>Aspergillus niger</i> sur différents déchet	32

Introduction

Introduction

Les déchets des activités agro-industrielles sont constitués de biomasse, généralement obtenue à partir de sources végétales (Pellera et *al.*,2018). Ces déchets sont habituellement éliminés par combustion ou immersion, ce qui entraîne des dangers pour l'environnement, comme la pollution atmosphérique par des gaz toxiques ou la contamination à long terme du sol et de l'eau (Bolan et *al.* ,2013).

Pour résoudre ce problème, des études biologiques de ces déchets ont été entreprises et ont défini la biomasse lignocellulosique comme étant composée de cellulose, d'hémicellulose et de lignine (Iram et *al.*, (2021) ; Tursi, (2019)). L'hydrolyse de cette biomasse nécessite certaines enzymes comme la xylanase, qui utilise le xylane comme substrat essentiel (Cuesta et *al.*, 2015 ; Robinson, 2015). Les xylanases sont généralement produites par différents microorganismes tels que les levures, les moisissures, les bactéries, les algues, ainsi que les protozoaires, les gastéropodes et les arthropodes (Collins et *al.*, 2005 ; Yang et *al.*, 2006).

Les moisissures sont les producteurs les plus appropriés de xylanase en raison de leur capacité à générer des grandes quantités d'enzymes extracellulaires ; Parmi ces champignons filamenteux, *Aspergillus*, *Trichoderma*, et *Talaromyces* sont décrits dans la littérature comme des producteurs de cette enzyme. (Zaccarim et *al.*, 2019 ; Long et *al.*,2019) ;(Sakthiselvan et *al.* ,2014).

Les xylanase sont produites aussi bien par fermentation liquide que solide (Haltrich et *al.* ,1996), mais la plus utilisée est la fermentation solide, car elle présente des avantages économiques et technologiques (Durand, 2003).

Dans ce travail de recherche, nous avons abordé les objectifs suivants :

- _ Une étude bibliographique qui cadre le sujet de production de xylanase par *Aspergillus niger* en fermentation solide.
- _ Un partie de discussion et comparaison des résultats expérimentales des plusieurs études sur la production de xylanase par les moisissures comme *Aspergillus niger*(Rathinam et *al.* , 2019) et *Aspergillus niger* GIO (Fasiku et *al.* , 2023), en fermentation solide.

SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 01

Les xylanases

1 Historique

Les études sur les xylanases a commencé en 1960 (Lebeda et al . ,2001), et a permis de découvrir ces dernières et signaler leur application en1973 par Horikoshi et Atsukawa, dans différents domaines ; et améliorée le contenu enzymatique des industries(Horikhoshi et al., 1973). En 1955 H ,Sorensen étudier la xylanase dans le sol ,en 1961 la première étude de production de xylanase par la moisissure *Pericularia oryzae* par Sumizu et al , par *Fusarium roseum* en 1960 par Gascoigne et al ,parmi les étude de production de xylanase par les bactéries en a *Bacillus subtilis* en1972 par Lyr H , pour le genre *Aspergillus* la première étude est sur *Aspergillus terreus*17P (Khokhlova et al . , 1973), en 1975 une sélection des souche basidiomycètes productrices de xylanase par Kubakova et al . en 1977 *Aspergillus niger* a été utilisé pour l'étude de purification et caractérisation de leur 1 ;4 –beta –xylanase ,Multiplicité de beta 1.4 – xylanase en microorganismes : fonction et application (wong et al . , 1988),Activité de xylanase pour *Phanerocharte chrysosporium* (Dobosi et al . , 1992),au 20ème siècle les étude sur la xylanase a été développer dune façon très déférentes et précise par exemple Dépistage de nouveaux biocatalyseurs de xylanase dans la diversité des sols des mangroves(Ivaldi et al .,2021).

Aspergillus niger a été exploitée dune facon très vaste dans les études de xylanase en citons : [Fractionnement et purification des endo-1,4-bêta-xylanases et des exo-1,4-bêta-xylosidases d'*Aspergillus niger*](Rodionova et al .,1977), Purification et quelques propriétés de cinq endo-1,4-bêta-D-xylanases et d'une bêta-D-xylosidase produites par une souche d'*Aspergillus niger* (John M et al .,1979), Voies de réaction de la dégradation du substrat par une endo-1,4-bêta-xylanase acide d'*Aspergillus niger* (Vrsanská M et al., 1982), Site actif d'une endo-1,4-bêta-xylanase acide d'*Aspergillus niger* (Biely P et al .,1983) , Purification et caractérisation des endo-xylanases d'*Aspergillus niger*. I. Deux isozymes actifs sur la colonne vertébrale du xylan près des branches(Frederick MM et al .,1985).

2 Définition

Les xylanases sontdes glycosidases O-glycoside hydrolases, (EC 3. 2. 1. X) qui catalysent l'hydrolyse des liaisons 1,4-D xylosidiques dans les régions non substituées des chaînes de xylane pour former la xylose qui un principe source de carbone au métabolisme (Gerois et al., 2000).

Parmi les avantages de l'utilisation de xylanase est l'absence de production de matières toxiques au cours de la décomposition de xylane en xylose par rapport à d'autres méthodes (Fasiku *et al.*, 2023).

Les xylanases sont classées en 3 groupes selon leur mode d'action à partir de la spécificité de l'hydrolyse et des produits hydrolysés (Soumaya, H., 2014), en cite :

- ✓ Les endo-xylanases qui hydrolysent les xylanes en xylose et xylobiose ne libèrent pas d'arabinose.
- ✓ Les endo-xylanases qui hydrolysent les xylanes en xylose et xylobiose mais libèrent l'arabinose.
- ✓ Les exo-xylanases qui dégradent les xylanes et libèrent en principalement du D-xylose.



Figure 1: Structure de xylanase de la famille GH11 (Colins *et al.*, 2005)

3 Classification des xylanases

Les scientifiques basés sur la classification des xylanases sur les propriétés physicochimiques : le poids moléculaire d'enzyme (≥ 30 KDa ou ≤ 30 KDa) et leur pI basique (le pH isoélectrique) (Sunna *et al.*, 1997). Plus tard, un autre système est admis et proposé (Henrissat *et al.*, 1989) basée sur des comparaisons de structure primaire des domaines catalytiques uniquement et regroupe les enzymes dans des familles de séquences connexes

(Henrissat et al., 2001). Les xylanases sont classé initialement en 6 famille (A-F) (Henrissat et al., 1989), qui a été mis à jour à 77 familles (1-77) (Henrissat et al., 2001).

Actuellement, 180 familles d'hydrolase glycoside (GH1 à GH180) regroupées en 18 clans (GH-A à GH-R) sont connues. L'information sur ces familles et clans et les membres de la famille est accessible au public et continuellement mise à jour au CAZy, Cette base de données approfondie et l'étude de la littérature indiquent que, actuellement les enzymes avec une activité démontrée endo-1,4- β -xylanase peuvent être trouvés dans 9 familles différentes de GH : GH5 (sous-familles 4 et 25), GH7, GH8, GH10, GH11, GH30 (sous-familles 7 et 8), GH43, GH51 et GH141 (Mendonça et al., 2023).

Figure ci-dessous représenter quelque structure des xylanases.

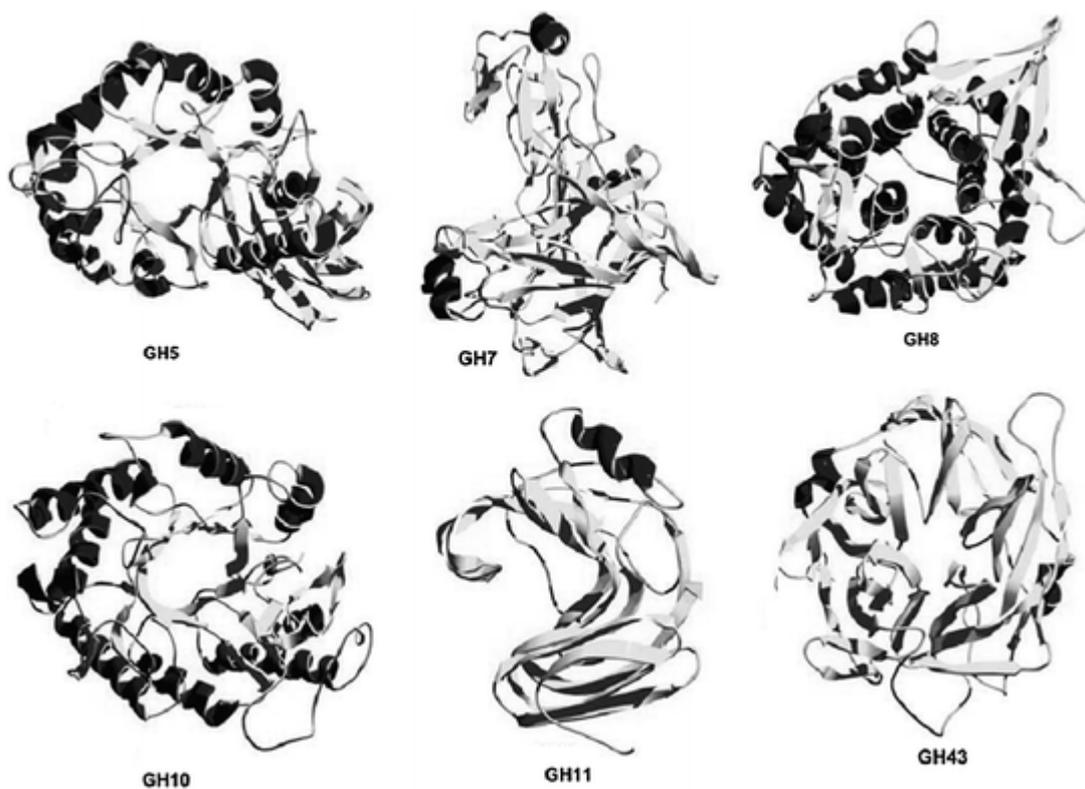


Figure 2 : Structures représentatives des enzymes de divers glycosides famille hydrolase. (Hesham Ali et al 2016)

4 Les propriétés des xylanases

Selon les propriétés, le poids moléculaire de l'enzyme influence l'activité et la production de la xylanase. De plus, l'origine de la xylanase, qu'elle soit bactérienne ou fongique, ainsi que son pH et sa température, peuvent varier. Parmi les paramètres chimiques, on peut mentionner la composition et son rôle, par exemple, le groupement SH ne participe pas à la conservation de l'activité enzymatique. De plus, certains produits de la réaction tels que la xylose, l'arabinose et le xylotriose peuvent partiellement inhiber l'activité, tout comme les agents inhibiteurs classiques tels que le Hg²⁺. Les xylanases bactériennes sont généralement plus thermostables que les enzymes fongiques (Kiddinamoorthy et *al.*, 2008; Wong et *al.*, 1988).

Tableau 1: les paramètres physico-chimiques des xylanases produite par divers microorganismes
(Soumaya, H., 2014)

Source	pI	pH optimum (react tem.°C)	Masse moléculaire (kDa)	Temp.°C optimal (react pH)
<u>xylanases de Bacillus</u>				
<i>Bacillus sp.</i> YC-335	-	6.0(40)	40	55
<i>Bacillus sp.</i> NG.27	-	7.0-8.4(65)	-	70
<u>Bactérienne</u>				
<i>Aeromonas sp.</i> 212	-	6.0-8.0(40)	37	50
<u>Levures</u>				
<i>Trichosporoncutaneum</i>	45	5.0	-	50
<u>Fongiques</u>				
<i>Cephalosporium sp</i> RYM-202	35	7.5(50)	6.3	50(7.5)
<u>Actinomycètes</u>				
<i>Streptomyces sp.</i> VP.5	-	4.8-10.0(50)	-	50

5 Le substrat de xylanase (Le xylane)

5.1 Structure de xylane

Le xylane est plus abondants dans les bois durs et les végétaux (Holtz et *al.*, 1991), sous formes des polymères, est l'un des constituants de la paroi secondaire, il est associé à la lignine, représente entre 20 à 30 % des parois cellulaires, sa solubilité dépend de la nature des chaînes latérales, et de sa masse moléculaire, ce substrat préfère le milieu alcalin pour la solubilité (Kiddinamoorthy et *al.*, 2008). La figure ci-dessous représente la structure de base de xylane est un squelette linéaire d'unités de D-xylopyranose liées en β -1,4 avec un degré de polymérisation de 100 à 200 unités de xylose. Cette polymère prenant le nom glucuroarabinoxylan cette nomenclature est selon le type des substituants ou des ramifications monomériques qui peut être de type D-xylose, L-arabinose, D-mannose, D-glucose, D-galactose et de l'acide glucuronique, d'où le nom de xylane comme arabinose-xylanes, galacto-xylanes, glucurono-xylanes (Hilpmann et *al.*, 2016).

Fréquemment certaines chaînes latérales sont différentes car des composés aromatiques y ont été incorporés telles que méthyl-glucuronyle et les groupements acétyl-arabinofuranosyle, comme le figure ci-dessous (Holtz et *al.*, 1991).

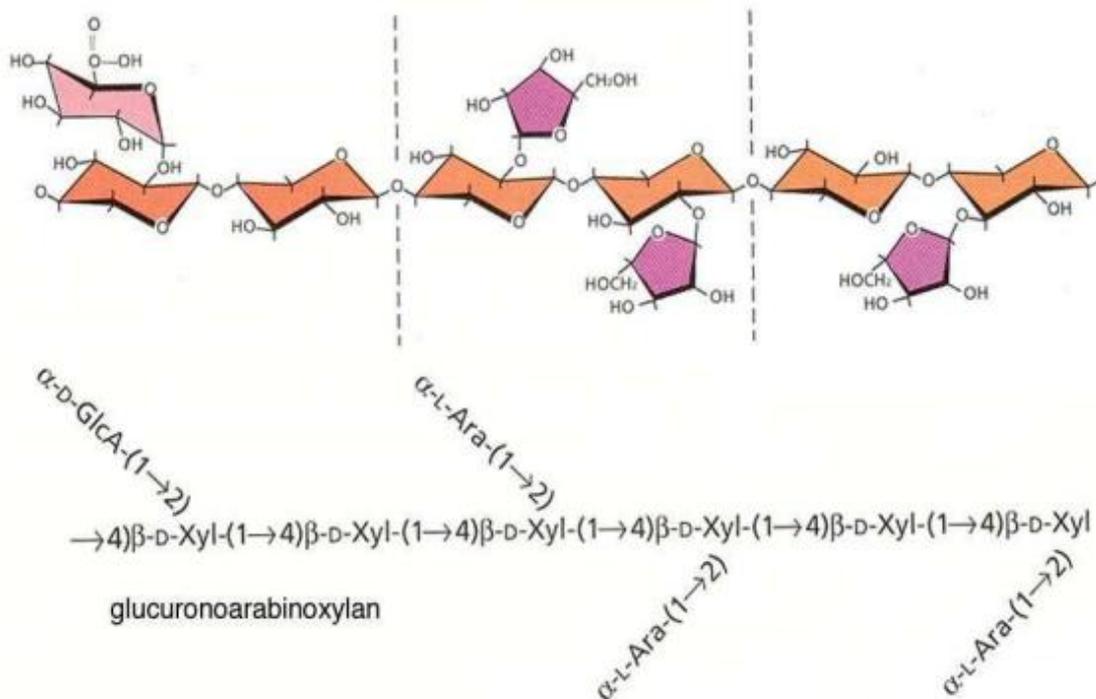


Figure 3: structure de xylane (Haberre, 2014)

5.2 Les sources de xylane

Les principales sources de xylane sont le bois des dicotylédones et les herbes en particulier les plantes monocotylédones où les xylanes du type GX et AGX forment entre 25 et 35 % de la biomasse sèche, dans les grains de céréales qui peuvent contenir de 30 à 50% d'AX, de GAX et d'HX. Le xylane forme une interphase entre la lignine et d'autres polysaccharides alors il se trouve dans les parois secondaires des plantes, et parmi les sources les plus conventionnelles de xylane on a les épis de maïs, il y a aussi les xylanes obtenus à partir des résidus de la production d'huile de tournesol ou d'huile d'olive, plus les sciures et écorces qui sont très riches en xylanes et aussi les bois durs et les bois tendres de feuillus qui contiennent de xylane plus homogènes, Il y a donc une abondance des sources de xylane (Soumaya ., 2014).

Le tableau illustré ci-dessous présente certaines classes de xylane au sein du règne végétal.

Tableau2: Les sources végétales de xylane (Gaberiel . 2005)

Les sources	Type de xylane
Bois des dicotylédones	4-O-méthylglucuronoxylane(GX)
Plantes supérieures	Glucuronoxylane
Grains de céréales Le seigle, l'avoine, le froment, et l'orge	Arabinoxylanes neutres(AX)
Céréales	Heteroxylanes
Les grains de riz, , de maïs et sorgho	Arabinoxylanes (AX) Arabino (glucurono)xylanes(AGX).

6 Intérêt industrielle des xylanases

6.1 Xylanase dans l'industrie textile

La xylanase est l'une des enzymes les plus utilisées dans l'industrie textile. Elle intervient dans différentes étapes telles que le bio-blanchiment, le bio-stoning des vêtements en denim, la libération de la teinture supplémentaire, le bioscouring et l'amélioration de la luminosité des textiles. Elle est également utilisée dans l'industrie textile pour séparer les tissus en coton et en micropoly. Elle contribue également à réduire le temps de mouillage des tissus, l'efficacité du

nettoyage biologique et la perte de poids des tissus. L'utilisation de la xylanase dans ce domaine sert de traitement enzymatique contre les pollutions environnementales (Battan et al., 2012) .

6.2 Xylanase dans l'industrie du papier

La xylanase a été utilisée dans l'industrie du papier pour éviter le raffinage et le broyage. Elle est également utilisée pour éliminer les cations métalliques, réduire le temps de préparation d'une pâte de papier homogène et dynamique, augmenter le degré de blancheur et diminuer le coût total du papier. De plus, elle est efficace pour la décoloration de différents types de déchets de papier (Ryu et Kim, 1997).

6.3 Xylanase dans les industries alimentaires

La xylanase est utilisée dans de nombreux domaines de l'industrie alimentaire. Elle est utilisée pour clarifier les jus, améliorer la qualité des produits de boulangerie, modifier les propriétés sensorielles des fruits, presser l'huile d'olive, ainsi que dans la production de bière et de vin. Dans la production de jus, la xylanase issue d'algues telles que *Aspergillus niger* et le *Trichoderma sp*, qui sont des micro-organismes de qualité alimentaire, a été utilisée avec succès. Elle permet d'augmenter le rendement en jus et d'éviter les difficultés de filtration.

Dans la production de pain, la xylanase permet de rendre le blé soluble dans l'eau en transformant l'hémicellulose. Elle améliore également la qualité de la pâte, empêchant ainsi qu'elle ne colle aux pièces de la machine, ce qui rend son utilisation plus facile. De plus, la xylanase améliore la qualité du pain et prolonge sa durée de conservation en réduisant la teneur en amidon (Harris et Ramalingam, 2010).

6.4 Xylanase dans les industries de l'alimentation animale

Les xylanases sont utilisées dans l'industrie de l'alimentation animale pour améliorer la valeur nutritionnelle des aliments pour animaux, éliminer les anti-nutriments des céréales fourragères, décomposer les composants des aliments afin d'améliorer la valeur nutritionnelle et compléter les enzymes digestives. La xylanase, en tant qu'additif alimentaire, favorise la digestion chez les vaches et augmente la production de lait. La xylanase d'*Aspergillus niger* soutient les performances de croissance, la digestibilité des nutriments et la dégradation non corrosive des polysaccharides chez les poulets de chair. L'ajout de xylanase et de β -glucanase au blé et à l'orge a montré une augmentation significative du poids corporel et de l'efficacité alimentaire des dindes (Rao et al., 2017).

6.5 Xylanase dans le traitement des déchets agricoles et forestiers

Les forêts et l'agriculture représentent les principales sources de déchets lignocellulosiques. La xylanase issue d'*Aspergillus niger* F7 s'est révélée efficace pour dégrader la litière forestière, telle que *Toona ciliata*, *Celtis australis*, *Cedrus deodara* et *Pinus roxburghii*. L'exo-1,4- β -glucanase de *Trichoderma viride* a été utilisée avec succès pour éliminer la peau d'orange (Rao et al., 2017).

7 L'origine des xylanases

Les xylanases microbiennes ont attiré beaucoup d'attention en raison de leur potentiel biotechnologique à l'échelle industrielle pour de nombreux processus. Ainsi, différentes sources, y compris les bactéries, les champignons, les levures et les actinomycètes, sont utilisées pour la production des xylanases par fermentation solide.

Tableau3: sources microbienne des xylanases

Origine bactérienne	Références	Origine fongique	Références
<i>Caldicoprobacter algeriensis</i>	Amel et al., (2016)	<i>Aspergillus awamori</i>	Lemos et al., (2001)
<i>Pseudoalteromonas haloplanktis</i>	Van PF et al., (2002)	<i>Trichoderma harzianum</i>	Rezende et al., (2002)
<i>Staphylococcus sp. SG-13</i>	Gupta et al., (2000)	<i>Penicillium canesce</i>	Bakri et al., (2003)
<i>Bacillus circulans</i>	Bocchini et al., (2008)	<i>Fusarium oxysporum</i>	Panagiotou et al., (2003)
<i>Streptomyces actuosus</i> A151	Wang et al., (2003)	<i>Humicola lanuginose</i>	Kamra et al., (2004)
<i>Streptomyces matensis</i>	Yan Q et al., (2009)	<i>Aspergillus foetidus</i> MTCC 4898	Shah et al., (2005)
<i>Streptomyces sp. 7b</i>	Bajaj et al., (2010)	<i>Aspergillus fischeri</i>	Kumar et al., (2005)
<i>Bacillus licheniformis</i> SVD1	Van Dyk et al., (2009)	<i>Aspergillus niger</i>	Kheng et Omar., (2005)
<i>Geobacillus thermodenitrificans</i>	Gerasimova et al., (2012)	<i>Thermomyces lanuginosus</i>	Sonia et al., (2005)
<i>Pseudomonas</i> sp. WLUN024	Xu ZH et al., (2005)	<i>Paecilomyces themophila</i> J18	Yang et al., (2006)
<i>Nonomuraea flexuosa</i>	Zhang et al., (2013)	<i>Myceliophthora sp.</i> IMI 387099	Badhan et al., (2007)
<i>Thermoanaerobacterium</i>	Hung et al., (2011)	<i>Cochliobolus sativus</i>	Bakri et al., (2008)

<i>saccharolyticum</i> NTOU1			
<i>Gracilibacillus</i> sp. TSCPVG	Giridhar et al., (2010)	<i>Aspergillus terreus</i> MTCC	Lakshmi et al., (2009)
<i>Acinetobacter junii</i> F6-02	Lo YC et al., (2010)	<i>Thermoascus aurantiacus</i> CBMAI756	Oliveira et al., (2010)
<i>Jonesia denitrificans</i>	Nawal et al., (2011)	<i>Humicola brevis</i> var	Masui et al., (2012)
<i>Dictyoglomus thermophilum</i>	Mccarthy et al., (2000)	<i>Aspergillus niger</i>	Soliman et al., (2012)
<i>Bacillus</i> sp. SSP-34	Subramaniyan et al., (2001)	<i>Aspergillus niger</i>	Moretti et al., (2012)
<i>Bacillus circulans</i> D1	Bocchini et al., (2002)	<i>Colletotrichum graminicola</i>	Zimbardi et al., (2013)
<i>Bacillus pumilus</i>	Poorna et Prema., (2006)	<i>Thermoascus aurantiacus</i>	Jain et al., (2015)
<i>Bacillus pumilus</i> ASH	Battan et al., (2006)	<i>Sporotrichum thermophile</i>	Sadaf et Khare., (2014)
<i>Geobacillus thermoleovorans</i>	Sharma et al., (2007)	<i>Amycolatopsis</i> sp.	Kshirsagar et al., 2015
<i>Bacillus pumilus</i> MK001	Kapoor et al., (2008)	<i>Aspergillus fumigates</i>	Gomes et al., (2016)
<i>Bacillus subtilis</i>	Annamalai et al., (2009)	<i>Cladosporium oxysporum</i>	Guan et al., (2016)
<i>Bacillus subtilis</i> ASH	Sanghi et al., (2008)	<i>Sporotrichum thermophile</i>	Bala et Singh., (2017)
<i>Bacillus pumilus</i> B20	Geetha et al., (2010)	<i>Schizophyllum commune</i>	Gautam et al., (2018)
<i>Bacillus</i> sp. AG20	Azeri et al., (2010)	<i>Trichoderma reesei</i>	Tenkanen et al., (1992)
<i>Bacillus pumilus</i> SV-85S	Nagar et al., (2010)	<i>Cladosporium</i> sp	Del-Cid et al., (2014)
<i>Gracilibacillus</i> sp. TSCPVG	Giridhar et Chandra., (2010)	<i>Thermotoga</i> sp, <i>Thermotoga maritima</i> , <i>Thermotoga neapolitana</i> <i>Thermotoga thermarum</i>	Niehaus et al., (1999)
<i>Bacillus Mojavensis</i> AG137	Sepahy et al., (2011)	<i>Neocallimastix frontalis</i>	Hebraud et al., (1990)
<i>Paenibacillus</i> sp. N1	Pathania et al., (2012)	<i>Aspergillus niger</i> CCUG	Shahi et al., (2011)

<i>Bacillus mojavensis</i> A-21	Haddar et al., (2012)	<i>Gloeophyllum trabeum</i>	Kim HM et al.,(2014)
<i>Bacillus cereus</i> BSA-1	Mandal et al., (2012)		
<i>Bacillus subtilis</i> 276NS	Ali et al., (2013)		
<i>Chromohalo-Bacter</i> sp. TPSV 101	Prakash et al., (2009)		

CHAPITRE 02

Les moisissures

1 Généralités

Les moisissures peuvent être définies comme des micro-organismes hétérotrophes (Nicklin et *al.*, 2000). Ce sont des eucaryotes avec un appareil végétatif sans tige, racine et feuille appelé thalle ou mycélium (Botton et *al.*, 1990). Ce thalle macroscopique est formé par des hyphes ramifiés (filaments) lors de leur croissance sur certains substrats. Les parois de la plupart des types sont constituées de chitine, un polymère formé d'unités N-acétylglucosamine (Guiraud, 1998 ; Perry et *al.*, 2004 ; Walker et White, 2005). Les moisissures sont généralement aérobies, acidophiles (pH 3-7) (Nicklin et *al.*, 2000) et mésophiles (température optimale 20-30°C) (Botton et *al.*, 1990). Cependant, certaines espèces sont psychrophiles et poussent à basse température ($T^{\circ} < 15^{\circ}\text{C}$, voire parfois $< 0^{\circ}\text{C}$, comme *Cladosporium herbarium* et *Thamnidium elegans*). Comparativement aux autres micro-organismes, ils ont généralement une faible demande en eau ($a_w = 0,65$) (Boiron, 1996). Ils ont souvent des propriétés dissolvantes prononcées (cellulolytiques, pectinolytiques, amylolytiques, protéolytiques, lipolytiques, etc.), ce qui en fait de dangereux décomposeurs, mais parfois des alliés utiles (production d'enzymes et affinage des fromages).

2 Classification

La classification la plus récente place les champignons dans le règne des eucaryotes, plus précisément dans le groupe Opisthokonta. Comme d'autres organismes, les champignons sont divisés en classes, ordres, familles, genres et espèces. Ces deux derniers termes sont utilisés pour les désigner. La classification des champignons est principalement basée sur le type de reproduction sexuée ou le stade téléomorphe. Ce critère définit 4 grands groupes des 5, sont les Chytridiomycète, zygomycètes, basidiomycètes et ascomycètes. Certaines moisissures se trouvent le plus souvent ou exclusivement au cours de la phase de reproduction asexuée dite anamorphique. Ces organismes sont classés selon le mode de production de spores asexuées ou conidies. Ces espèces sont classées dans le 5ème ordre Deuteromycète (Boudih, S. 2011).

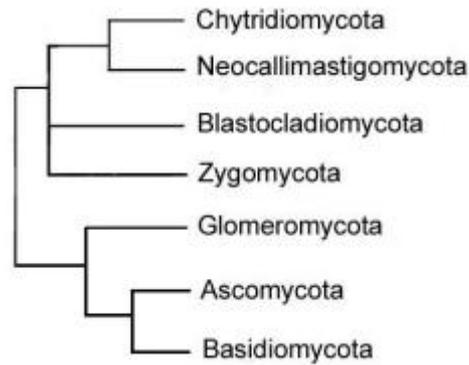


Figure 4: les grands groupes des Eumycètes (Durrieu.2008)

3 Les moisissures productrices des xylanases

La production de xylanase dépend principalement du choix du substrat inducteur, H. Micro-organismes et conditions de fermentation. L'activité de dégradation du xylane des champignons est beaucoup plus élevée que celle des bactéries et des levures, et les xylanases protéiques extracellulaires produites par *Aspergillus niger* et *Trichoderma* produisent 15 isoenzymes. Produits verts 13 (Biely, 1985 ; Vries, 2001). Cependant, cette activité s'ajoute généralement à l'activité cellulolytique. La xylanase de *Thermomyces lanuginosus* est une véritable xylanase avec une très faible activité cellulolytique de seulement 0,01 U/ml (Subramaniyan et Prema, 2002). Les genres producteurs de xylanase comprennent *Aspergillus*, *Neurospora*, *Penicillium*, *Neocalimasticus*, *Dysporotrichum*, *Trichoderma*, *Fusarium*, *Coniothylium* et *T. lanuginosus* (Kumar et al., 2017). Certaines de ces souches industrielles produisent des cellulases et des hémicellulases à plus de 100 g/l (Balan et al., 2013).

Tableau4: les moisissures productrices de xylanases

Micro-organismes	Références
<i>ThermoactinomycesThalophilus sp</i>	(Techapun et al., 2002)
<i>Thermomonosporacurvata sp</i>	<i>(Stutzenberger et al., 1992)</i>
<i>Thermomonospora chromogena sp MT814</i>	<i>(McCarthy et al., 1985)</i>
<i>Thermomonospora fusca sp BD 21</i>	(Bachmann et al., 1991)
<i>Streptomyces thermoviolaceus sp OPC-520</i>	(Tsujiibo et al., 1992)
<i>Actinomadura sp Cpt20</i>	(Taibi et al., 2011)
<i>Aspergillus sp</i>	(Kumar et al., 2017)
<i>Disporotrichum sp</i>	(Kumar et al., 2017)
<i>Neurospora sp</i>	(Kumar et al., 2017)
<i>Penicillium sp</i>	(Kumar et al., 2017)
<i>Trichoderma sp</i>	(Kumar et al., 2017)
<i>Fusarium sp</i>	(Kumar et al., 2017)
<i>T.lanuginosus sp</i>	(Kumar et al., 2017)
<i>Coniothyrium sp</i>	(Kumar et al., 2017)
<i>Neocallimastix sp</i>	(Kumar et al., 2017)

4 Généralité sur *Aspergillus niger*

Aspergillus niger est un champignon cosmopolite. Il peut être isolé de tous les continents et n'est pas très sélectif par rapport aux conditions environnementales. Il croît entre 6 et 47 °C, pH 1,5 et 9,8 et une activité hydrique de $\geq 0,77$ (Pitt et Hocking 2009). Ledit champignon, prospère dans le sol et sur le matériau végétal en décomposition, mais est également abondant dans les environnements artificiels. Par exemple, il se trouve sur le sol et dans des poussières de tapis et de matelas (Flannigan et al, 2011). Il est aussi utilisé comme usine cellulaire pour la production d'enzymes comme pectinase, protéase et xylanase qui étaient les premières à être exploitées et ont été initialement produites en culture de surface (Schuster et al, 2002).

D'après Bocquet, (1993), la position systématique de *l'Aspergillus niger* est résumée comme suit :

- Règne Mycètes (Fungi)
- Embranchement Amastigomycota
- Sous-embranchement Deutéromycotina
- Classe Deutéromycètes
- Ordre Moniliales
- Famille Mniliaceae (mucedinaceae)
- Genre *Aspergillus*
- Espèce *Aspergillus nige*

4.1 Ecologie

L'A.niger est cosmopolite et d'occurrence très commune. Cette espèce peut se développer sur les matières organiques en conditions aérobies (Schuster et al, 2002) et d'autres substrats tels que le sol, dans le compost et sur la matière végétale en décomposition. De même, elle peut se trouver sur les sols glacés et dans les environnements marins, mais elle préfère habituellement les sols secs et chauds (Schuster et al, 2002; Samson et al, 2004). Ces capacités est l'abondante production de conidies qui sont distribués par l'intermédiaire de l'air, garantissent l'occurrence omniprésente de l'espèce avec une fréquence plus élevée aux lieux chauds et humides (Schuster et al, 2002).

4.2 Reproduction

L'état asexuel d'*Aspergillus* est ce qui attire le plus souvent les bio-technologistes. Il est en fait caractérisé par la production d'un grand nombre de spore en chaîne. La sporulation produit des conidies contenant des spores asexuées haploïdes, disséminées dans l'atmosphère après maturation. La croissance végétative est initiée par la germination des spores avec formation d'un hyphe tubulaire (extension strictement apicale) donnant naissance à un réseau mycélien par ramification qui acquiert les éléments nutritifs de l'environnement (Meyer et al, 2004 ; Ward et al, 2006).

4.3 Aspect macroscopique

Ce champignon pousse rapidement (2 - 3 jours) sur les milieux de culture classiques (géloses au malt et Sabouraud). La température optimale de croissance varie généralement entre 25 et 30°C, mais *A.niger* peut se développer jusqu'à 42°C. Les colonies d'*A.niger* sont granuleuses, blanches au début, puis jaunâtres et à maturité elles deviennent noires. Le revers des colonies est incolore ou jaune pâle montrant parfois des zones concentrées (Guillaume, 2006). Sur le milieu Czapek, *A.niger* forme des colonies à mycélium blanc ou jaune, et revers souvent incolores.

4.4 Aspect microscopique

Les têtes cnidiennes, bisériées et radiées, sont disposées en plusieurs colonnes brunâtres à noires. Les conidiophores sont longs atteignant 1.5 - 3 mm, lisses à stipes non cloisonnés, hyalins ou brunâtres dans leur moitié supérieure, formés d'une cellule courte appelée cellule podale (Footcell) avec un hyphe fertile. Les vésicules (50 - 70 µm) sont globuleuses avec des têtes aspergillaires hémisphériques volumineuses, à panache radié. Les phialides (7-3 × 3-3.5 µm) sont portées par des metules brunâtres, de dimensions variables (10-15 µm). Les conidies sont habituellement globuleuses, parfois légèrement aplaties de couleur brunâtre et qui mesurent 3.5 à 4.5 µm ; parfois légèrement aplaties de couleur brunâtre et qui mesurent 3.5 à 4.5 µm ; parfois jusqu'à 6 µm de diamètre (figure 4) (Abraca et al, 2004 ; Pasqualotto, 2010).

4.5 Besoins nutritionnels et cultureux des *Aspergillus*

➤ Carbone

Les *Aspergillus* peuvent métaboliser plusieurs composés carbonés, tel que, glucose, fructose, mannose, saccharose et maltose (Pazouki et al, 2000). Les sucres réducteurs (fructose et glucose) sont inclus dans le cycle de la glycolyse par contre, le saccharose et le maltose doivent être hydrolysés en sucre simple. Les substances carbonées sont soit assimilées ou fermentées par les *Aspergillus*.

➤ Azote

Il est à noter que la source et la teneur en azote affecte d'une manière nette la croissance d'*Aspergillus*. Les sources d'azote utilisées en fermentation sont le sulfate d'ammonium, le nitrate de sodium, le nitrate de potassium et l'urée. Ainsi, 17 Chapitre III : Microorganismes

producteurs de Chitosane : *Aspergillus* une teneur élevée en azote a pour effet, une augmentation de la croissance cellulaire et de la consommation des sucres (Mattey, 1992; Kristiansen et Sinclair, 1978).

➤ Sels minéraux

Les sels minéraux sont des éléments indispensables pour la croissance et la multiplication des *aspergillus* et leurs déficiences ou leurs excès ont des répercussions négatives sur la fermentation. A cet effet, une forte teneur en phosphore conduit à une élévation de la croissance cellulaire (Kubicek et Rohr, 1997 ; Papagianni, 2007).

➤ Besoins cultureux

La température idéale pour la croissance des *aspergillus* est comprise entre 20 et 42°C, un pH de 2 à 6,5 et une activité de l'eau (a_w) faible soit 0,77 (Cahagnier, 1997) .

CHAPITRE 03

Fermentation en milieu solide

1 Définition

La fermentation à l'état solide (fermentation à l'état solide, fermentation humide, culture à l'état solide, etc.) est généralement définie comme la croissance de microorganismes sur des particules solides humides, mais pas dans l'eau libre (Durand., 2003 ; Gervais et *al.* , 2003 ; Rahardjo et *al.*, 2006). En bref, les micro-organismes se développent dans un système à trois phases. Une matrice solide, une phase liquide associée et une phase gazeuse emprisonnées à l'intérieur ou entre les particules (Raharjo et *al.*,2006)

2 Étapes de la fermentation solide

2.1 La préparation du substrat carboné

Les résidus alimentaires agricoles sont des sources importantes de substrats carbonés contenus dans les féculents, les supports synthétiques et les substrats lignocellulosiques. Ces derniers subissent des traitements physico-chimiques ou traitement biologique avec des enzymes. Les traitements chimiques sont effectués à l'aide d'acides, de gaz, de solvants, d'agents oxydants, d'alcalis, etc. comme (Asaamoi et *al.*, 2009).

2.2 L'inoculation du milieu de culture

L'inoculation du milieu de culture est généralement réalisée avec une suspension de spores (Mathot et *al.*, 1996). Celles-ci ont une durée de survie plus longue et sont moins nombreuses que le mycélium. Elles sont facilement affectées par les conditions extérieures et sensibles à la lumière. La quantité optimale de spores à inoculer dépend de la situation. Une production excessive de spores peut inhiber la germination. Cependant, les spores sont métaboliquement dormantes, c'est-à-dire que la dégradation du substrat ne commence qu'après leur germination. Pour minimiser cet inconvénient, dans certains cas, la pré-germination des spores est envisagée. L'utilisation d'un inoculum comprenant des spores, du mycélium et du substrat de production peut également être envisagée (Assamoi et *al.*, 2009).

2.3 Contrôle des conditions de fermentation

L'optimisation est une phase très importante pour le contrôle des conditions de la fermentation, cette phase offre un meilleur rendement des métabolites recherchés et une bonne croissance de la souche dans son milieu.

2.4 L'eau

L'eau est nécessaire à l'activité microbienne. Ce besoin peut être exprimé quantitativement en termes d'activité de l'eau dans l'environnement ou le substrat, et à des teneurs en eau plus élevées (Musaalbakri et *al.*, 2017). L'agglomération est un inconfort causé par une humidité élevée (Mitchell et *al.*, 2002). Alternativement, pour éviter cela, l'activité de l'eau et la teneur en eau du substrat de fermentation doivent être maintenues ou de l'air saturé doit être appliqué pour éviter le dessèchement du substrat (Musaalbakri et *al.*, 2017).

2.5 pH

Les variations de pH sont des indicateurs des changements dans les activités métaboliques (Bellon-Maurel et *al.*, 2003). Elles résultent d'une consommation en substrat (exemple de l'hydrolyse des protéines) et/ou des synthèses métaboliques (exemple des acides organiques). Il est ainsi difficile de contrôler le pH efficacement en fermentation solide. Lorsque cela est nécessaire, la méthode standard est de tamponner le milieu de culture avec un mélange adéquat de composés azotés (urée, sels ammoniacaux), des sels de Ca²⁺ ou des solutions alcalines. Pendant la fermentation, le pH peut être régulé par l'addition d'acides ou de bases à l'eau de refroidissement de la masse fermentable.

2.6 Température

La température représente le paramètre le plus difficile à réguler lors d'une fermentation solide. En effet, elle est liée aux activités métaboliques du micro-organisme cultivé (Francis et *al.*, 2019). La température présente un problème pendant le processus de fermentation solide en raison de la chaleur générée par l'activité microbienne et accumulée dans le système (Nigam et *al.*, 2009). La chaleur doit être éliminée du système pour éviter la surchauffe et ainsi perturber la croissance des micro-organismes et la formation de produits, l'augmentation de la chaleur entraîne d'énormes pertes d'humidité et, dans ces circonstances, elle perturbe la croissance des microorganismes (Pandey et *al.*, 2001)

La solution est de ajouté un système de refroidissement au bioréacteur de fermentation solide. La température de la culture à l'échelle industrielle est généralement régulée par l'injection d'air forcé, l'agitation du réacteur ou par le phénomène d'évaporation (Bellon Maurel et *al.*, 2003).

2.7 Aération

L'aération des cultures solides joue quatre fonctions, à savoir le maintien des conditions d'aérobies, l'élimination du dioxyde de carbone, la régulation de la température de culture et la régulation de la teneur en eau (Assamoi et *al.*, 2009)

3 Les avantages et les inconvénients de fermentation solide

3.1 Les avantages de la fermentation solide

1. Le faible cout des équipements et de l'opération.
2. L'absence d'eau libre alors éviter les contaminations bactérienne (Mathot ., 1996).
3. L'absence de la formation de la mousse lors de la fermentation solide

(Robledo et al., 2016 et Alokika et al., 2019).

4. Il ne nécessite pas de stérilisation préalable du substrat, ce qui réduit le cout énergétique nécessaire(Asamoi et al., 2009).
5. L'aération peut être assuré passivement et sans agitation ou par agitation dis continue ou par une porosité qui permet et facilite le passage de l'aire qui entre facilement en contact avec les moisissures Installées en surface des particules (Durand., 1988).

3.2 Les inconvénients de la fermentation solide

1. Les microorganismes utilisés sont limités. En effet, seuls les microorganismes se développant bien aux basses humidités peuvent être employés (Asamoi et *al.*, 2009)
2. Les connaissances physiologiques et technologiques de la croissance des microorganismes sur milieux solides sont faibles.
3. Les problèmes de transfert d'oxygène et de chaleur rendent difficile l'augmentation d'échelle des procédés (Assamoi *et al.*, 2008 ; krishna *et al.*, 2005)
4. La nature solide et hétérogène des substrats utilisés complique le suivi direct des paramètres de fermentation (Bellon-Maurelet *al.*, 2003)
5. Il est pratiquement difficile d'assurer une distribution parfaitement homogène de substances ajoutées au substrat et donc du milieu de culture. Ce qui rend le contrôle *on*

line des paramètres de culture tels que le pH, l'humidité et la concentration des nutriments, assez aléatoire (Assamoi *et al.*, 2008 ; Krishna *et al.*, 2005) .

6. Les microorganismes étant inséparables du substrat, l'estimation de la biomasse est délicate (Assamoi *et al.*, 2008 ; krishna *et al.*, 2005) .
7. Etant donné la forte concentration des métabolites obtenus, des produits inhibiteurs générés par les microorganismes peuvent s'accumuler en concentration élevée dans le milieu de culture (Assamoi *et al.*, 2009).

4 Les substrats utilisés par les moisissures en fermentation solide

La production de métabolites primaires par les micro-organismes est fortement influencée par la croissance microbienne, qui est déterminée par la disponibilité des nutriments dans le substrat. Les sources d'azote ont un effet significatif sur la production d'enzymes xylanolytiques par les champignons (Kuhad *et al.*, 1998).

Tableau5: les substrats des moisissures productrices de xylanases en fermentation solide (Bakri, 2003).

Substrat	Espèce
Paille de riz	<i>Aspergillus niger sp</i>
Paille de blé	<i>Penicillium canescens sp</i>
Épi de maïs	<i>Thermomyces lanuginosus sp</i>
Pulpe non blanchie	<i>Schizophyllum commune sp</i>
Paille de sorgho	<i>Thermomyces lanuginosus sp</i>
Pulpe debetterave	<i>Penicillium capsulatum sp</i>
Son de blé	<i>Humicola lanuginosa sp</i>
Bagasse de canne à sucre	<i>Aspergillus awamori sp</i>
Son de blé	<i>Aspergillus ochraceus sp</i>
Paille de blé	<i>Aspergillus ochraceus sp</i>

4.1 Paille de maïs

La paille de maïs est issue des résidus de la récolte de maïs grain. C'est une paille qui est assez dure avec des cannes longues, peu flexibles et avec un diamètre assez gros comparé à la paille de céréales. En biotechnologie, elle peut être utilisée directement ou après un traitement préalable pour améliorer la disponibilité des nutriments. Le prétraitement alcalin de la paille de maïs peut améliorer la disponibilité des nutriments et faciliter la production d'xylanase en fermentation solide. Le prétraitement combiné alcalin et biologique peut également être utilisé pour optimiser les conditions de culture.

4.2 Épis de maïs

L'épi est la fleur féminine du maïs, et sa taille et le nombre de rangées de grains varient selon le type de maïs. La couleur de l'épi varie également selon les espèces, la plupart des espèces de maïs ont des grains jaunes, mais certaines espèces prennent blanc ou bleu. La partie semi-bois est appelée l'arnas. En biotechnologie, ils peuvent être traités et utilisés seuls ou en combinaison avec d'autres substrats.

4.3 Bagasse de canne à sucre

La bagasse de canne à sucre, un sous-produit de l'industrie sucrière après l'extraction du jus de la canne à sucre. Elle est riche en xylane, qui est la principale cible de l'enzyme xylanase.

4.4 Litières de conifères

Les litières de conifères, La litière de conifères peut être trouvée dans les forêts de conifères, telles que les forêts de pins, d'épicéas, de sapins, de cèdres, ...etc, tels que les aiguilles de pin, et des branches tombées des arbres. Vous pouvez également trouver de la litière de conifères dans les pépinières, les centres de jardinage ou les entreprises spécialisées dans les produits forestiers.

4.5 Sciure de bois

La sciure de bois provient de différentes espèces d'arbres, la sciure de bois est un sous-produit généré par la transformation industrielle du bois issu de différentes espèces d'arbres. Les

sciures de bois peuvent être valorisées pour plusieurs usages tels que la valorisation énergétique comme combustible. (Benyoucef et Harrache, 2014).

4.6 Paille de riz

La paille de riz est le principal sous-produit de la culture du riz et l'un des résidus agricoles les plus abondants dans le monde. Elle a été étudiée comme substrat pour la production d'xylanase en fermentation solide. Elle peut être utilisée seule ou en combinaison avec d'autres substrats.

4.7 Tourteau de sésame

Dans la production d'huile à partir de graines de sésame (*Sesamum indicum* L.), on obtient un coproduit riche en protéines et en fibres. Des études spécifiques seront nécessaires pour évaluer sa faisabilité et son efficacité en biotechnologie.

- ✓ Il est important de noter que la sélection du substrat approprié dépendra de divers facteurs tels que la disponibilité, la composition, la facilité de manipulation et les objectifs spécifiques de la production d'xylanase. Les études de recherche continuent d'explorer de nouveaux substrats et d'optimiser les paramètres de fermentation solide pour maximiser la production d'xylanase.

Chapitr 04

Matériel

Et

Méthode

Pour l'étude de la production de xylanase par *Aspergillus niger* on a résumé deux expériences qui peuvent donner des informations sur la production de xylanase par différentes souches d'*Aspergillus niger* en fermentation solide par l'utilisation des plusieurs déchets : épis de maïs, bagasse de canne à sucre, litres de conifères, sciure de bois, paille de riz, Paille de maïs, paille de maïs après prétraitement alcalin et prétraitement combiné (alcalin et biologique).

1 Moisissures utilisées

Dans cette expérience il a utilisé deux souches : *Aspergillus niger* (dans l'état naturel et l'état muté). Cette dernière a été collectée à partir de la (Society for integrated management of plantation resources and agriculture) (SIMPRO) en Inde (Rathinamet *al.*, 2019). Tandis que *Aspergillus niger* GIO MZ747463 a été recueilli auprès du Département des sciences biologiques, Université Ajayi Crowther en Niger (Samuel *et al.*, 2023).

2 Fermentation à l'état solide

15g du déchet de l'huile de sésame avec 25ml de milieu de Mandel sont prélevés dans une fiole conique. La composition moyenne est : l'eau distillée - 1000 ml, l'urée - 0,3 g, Peptone - 0,75 g, extrait de levure - 0,25 g (NH₄)₂SO₄ - 1,4 g, KH₂PO₄ - 2,0 g, CaCl₂ - 0,3 g, MgSO₄.7H₂O - 0,3 g ; FeSO₄.7H₂O - 5mg, MnCl₂ - 1,6 mg, Le milieu et les oligoéléments sont autoclavés séparément. Les flacons sont inoculés avec des spores des moisissures cultivés ensuite, incubés pendant 6 jours à température ambiante (28±3°C) (Rathinamet *al.*, 2019).

Tandis que Samuel *et al.*, (2023) ont pris 5 g de chaque substrat (épis de maïs, bagasse de canne à sucre, litières de conifères, sciure de bois, paille de riz, paille de maïs, paille de maïs après un traitement alcalin et paille de maïs après un traitement combiné (alcalin et biologique)) et il pesés dans des sacs en polyéthylène, puis les ont séparés et mélangés avec 15 ml d'une solution basale minérale contenant en g/L : glucose 10,0 ; (NH₄)₂SO₄ 1,0 ; MgSO₄.7H₂O 0,5 ; KCl 0,5 ; FeSO₄ 0,01 ; MnSO₄ 0,01. Ils ont été stérilisés à 121 °C pendant 15 minutes et laissés refroidir. Quatre bouchons circulaires (7 mm de diamètre) d'*Aspergillus niger* GIO ont été inoculés à un autre ensemble de chacun des substrats ensachés. Les substrats inoculés avec *Aspergillus niger* GIO ont été incubés à 28 ± 2 °C pendant 5 et 10 jours. Après incubation, des 40 ml d'eau distillée stérile ont été ajoutés à chaque sac, mélangé

et filtré. Le filtrat a été centrifugé à 1790 x g pendant 15 minutes et le surnageant a été considéré comme la xylanase brute et utilisé pour d'autres étude.

3 Extraction enzymatique

80 ml d'eau distillée froide (4°C) sont été ajoutés au milieu de fermentation à l'état solide (substrat de 15 g) après la culture. Le mélange a été vigoureusement homogénéisé pendant 30 minutes à 200 rpm. Les résidus de biomasse solide ont été séparés de la suspension par filtration sur papier filtre Whatmann N° 1. Le surnageant acellulaire a été utilisé comme source de préparation enzymatique brute (Rathinamet *al.* ,2019).

Après incubation d'*Aspergillus niger* GIO, des 40ml d'eau distillée stérile ont été ajoutés à chaque sac, mélangé et filtré. Le filtrat a été centrifugé à 1790 x g pendant 15 minutes et le surnageant a été considéré comme la xylanase brute (Samuel *et al.* ,2023)

4 Estimation des xylanases

La méthode de dosage utilisée par Rathinamet *al.* ,(2019) est la suivante :La solution enzymatique a été ajoutée à une suspension de xylane à 2 % dans un tampon Tris HCl 100 mM (pH 7,0). Incubé à 55 °C pendant 30 min, puis refroidi avec de l'eau glacée. Lexylane insoluble a été éliminé par centrifugation et 0,5 ml de surnageant a été prélevé. Ajouter 1 ml de solution de 3,5 dinitrosalicylate (0,5 %) a été ajouté.

Le mélange était cuit au bain-marie bouillant puis la couleur mesurée à 535nm

(Samuel *et al.* ,2023) ont appliqué la méthode décrite ci-dessous. L'activité de xylanase a été déterminée sur la base des sucres réducteurs libérés par le bois de hêtre xylane (Sigma-Aldrich, Allemagne) en utilisant la méthode de l'acide dinitrosalicylique (DNS). Le milieu réactionnel a été préparé en ajoutant 0,5 ml d'enzyme brute à 0,5 ml de xylane à 1 % dans du tampon acétate (pH 5,0, 0,5 M) d'acétate de sodium et d'acide acétique. Le mélange a été incubé à 50 °C pendant 30 minutes, puis la réaction a été arrêtée en ajoutant 1 ml de DNS. Le mélange a été chauffé dans de l'eau bouillante pendant 10 minutes et la densité optique a été déterminée avec un spectrophotomètre (spectrophotomètre visible 721G, Chine) à 540 nm. La densité optique de différentes concentrations de xylose a également été déterminée et utilisée pour extrapoler le sucre xylose libéré. Une unité d'activité enzymatique a été définie comme la quantité d'enzymenécessaire pour produire 1 micromole de sucre xylose par minute dans des conditions standard.

Chapitre 04

Analyse

des résultats

Cette partie présente l'ensemble des résultats obtenus sur l'étude de la production de xylanase par les souches *Aspergillus niger* en fermentation solide, les différents substrats, épis de maïs, bagasse de canne à sucre, litières de conifères, sciure de bois, paille de riz, paille de maïs, paille de maïs après un traitement alcalin et paille de maïs après un traitement combiné (alcalin et biologique), Gâteau à l'huile de sésame (tableau 7)

Tableau 6: la production de xylanase par plusieurs souches d'*Aspergillus niger* sur différents déchet

Souches Déchets	<i>Aspergillus niger</i> <i>Sp</i>	<i>Aspergillus Niger</i> <i>spUV-mutante</i>	<i>Aspergillus niger</i> <i>GIO</i>
Tourteau de sésame	0.0039U/MI	0.0415U/MI	---
Paille de maïs prétraitée	----	----	3.18U/MI
Paille de maïs	----	----	3,15U/MI
litières de conifère	----	----	3,15U/MI
Paille de maïs prétraitée alcaline	----	----	3,17U/MI
Paille de riz	----	----	3,16U/MI
bagasse de canne à sucre	----	----	3,15U/MI
sciure de bois	----	----	1.35U/MI
Paille de maïs	----	----	3,16U/MI

Les résultats présentés dans le tableau 1 montre que le mutant UV *Aspergillus niger* produit l'enzyme xylanase lorsqu'il est cultivé sur un milieu de tourteau de sésame (SOC) mieux que la souche sauvage *Aspergillus niger* 0,0415IU/MI et 0,0039IU/MI respectivement. (Rathinam *et al.* ,2019).Les activités de la xylanase produite par *Aspergillus niger* GIO sur différents agro-déchets comme substrat varient de 1,35 U/mL (sciure de bois) à 3,18 U/mL. L'activité la plus élevée de xylanase (3,18 U/mL) produite par *Aspergillus niger* GIO est obtenue en utilisant de la paille de maïs après traitement alcalin (Samuel *et al.*,2023).

La plupart des membres du groupe *Aspergillus niger* sont des producteurs remarquables d'enzymes extracellulaires, y compris d'importantes hydrolases de la paroi cellulaire végétale telles que les xylanases. Cependant, la teneur en protéines et l'activité xylanase des préparations enzymatiques brutes à partir de sources de carbone diffèrent considérablement.

Le coût de production élevé des hydrolases est un facteur limitant pour leurs applications commerciales et industrielles. Un domaine actuellement exploré en tant que stratégie de réduction des coûts est l'utilisation des déchets comme source de carbone pour la production d'enzymes. Par conséquent, les déchets ligninocellulosiques peuvent être utilisés comme source bon marché pour la production facile de xylanase.

Dans une étude de Pandey et al., (1999), l'*Aspergillus niger* a été employé afin de fabriquer de la xylanase. Une quantité de 9,5 U/g a été découverte sur les déchets des moulins à huile comme étant le substrat. Une autre étude a produit une xylanase de *Pleurotus* sp. à partir de déchets de banane (Reddy et al., 2003).

La souche *Aspergillus niger* GIO n'utilise pas bien la sciure de bois comme substrat pour la production de xylanase dans la fermentation en milieu solide (1,22U/MI). Le déchet de sciure de bois utilisé par une bactérie de l'espèce *Arrobacter* MTCC6915 avec une activité enzymatique 819U/ML Murgan et al., (2011). La production de xylanase à partir de la sciure de bois en utilisant *Aspergillus niger* a été documentée avec des niveaux de production variant de 50 à 2000 unités par gramme de substrat (U/g), en fonction des conditions spécifiques et du protocole expérimental utilisé (Pandey et al., 2000).

L'épis de maïs utilisé par deux souches fongiques, *Aspergillus foetidus* MTCC 4898 (Shah et al., 2005), donne une production maximale de 3065U/g sur le milieu Mandel Stenberg. La deuxième souche est *Thermoascus aurantiacus* CBMAI 756 cultivée sur un milieu gélose au dextrose de sabouraud avec 10 g d'épis de maïs comme source de nutriments à 30°C et 67 % d'humidité pendant 6 jours. L'activité de xylanase est égale 130g/ml (Oliveira et al., 2010) la dernière souche qui peut utiliser l'épi de maïs *Thermomyces lanuginosus* DSM5826 avec une activité de 20200 U/g (Assamoi et al., 2009).

L'utilisation de la bagasse de canne à sucre comme substrat pour la production de xylanase a été explorée. Selon Assamoi et al., (2009), *Aspergillus awamori* a produit de la xylanase à un taux de 2500 U/g au septième jour d'incubation, tandis que *Trichoderma harzianum* rapporté une production de 288 U/g (Rezende et al., 2002).

La paille de riz aussi utilisé pour la production xylanase en fermentation solide par des souches *Aspergillus niger* KK2 mutant avec une activité de 5071U/g (Assamoi et *al.*,2009). Selon Badhan et *al.*, (2007) ont obtenu une activité xylanase 900U/g. La dernière souche c'est *Schizophyllum commune* ARC-11 avec une production maximale de xylanase (6721,9 UI/g) observée le huitième jour d'incubation à température (30 °C), pH initial (7,0) et teneur en humidité initiale (70,0 %)(Gautam et *al.*,2018).

Selon Muthezhilan et *al.* (2007), lors de la fermentation à l'état solide du tourteau d'huile de sésame, le champignon *Penicillium oxalicum* était capable de synthétiser de la xylanase à un taux de 3,5 U/ml.

Dans l'étude menée par Sun et *al.*, (2013), on a rapporté une activité enzymatique de 2000 (U/g) de substrat lors de la production de xylanase à partir de la paille de maïs en fermentation solide, utilisant la souche *Aspergillus niger*(Sun, X. et *al.*, 2013). L'étude réalisée par Kumar et *al.*,(2020) a rapporté une capacité de production de xylanase allant jusqu'à 260 (U/g) de paille de maïs en utilisant la souche *Trichoderma reesei* NCIM 992. La production de xylanase à partir de la paille de maïs en utilisant la souche *Penicillium sp.* LW-1 a montré une capacité maximale de production de 48 U/g (Li, D. et *al.*, 2017). Aussi, la souche de *Bacillus sp.* a démontré une capacité de production de xylanase allant jusqu'à 220 U/g du même substrat (Ahmed, S. et *al.*, 2017).

Selon l'étude de Zhang et *al.*, (2019), la souche *Aspergillus niger* a démontré une capacité de production de xylanase allant jusqu'à 150 (U/g) de substrat lors de la fermentation solide à base de litière de conifère. Aussi il y a *Trichoderma reesei* qui a montré une capacité de production de xylanase allant jusqu'à 120 U/g de substrat (Rai, P. et *al.*, 2017).*Penicillium sp.* a présenté une capacité de production de xylanase allant jusqu'à 80 U/g de substrat provenant du même substrat (Shashirekha, M. et *al.*, 2011).

La production de xylanase à partir de maïs après un traitement alcalin a été rapportée avec une plage de production allant de 50 à 150 unités par gramme (U/g) de substrat, en utilisant la souche *Aspergillus niger* (Kumar, S. et *al.*, 2020). *Trichoderma reesei* a montré une capacité de production de xylanase allant de 80 à 120 U/g de substrat de maïs prétraité aussi (Rai, P. et *al.*, 2017).

Conclusion

Conclusion

En conclusion, Cette étude expérimentale a permis de mettre en évidence la production de xylanase par différentes souches d'*Aspergillus niger* en fermentation solide en utilisant divers déchets comme substrats. Les résultats ont montré que la souche mutante UV d'*Aspergillus niger* avait une activité enzymatique supérieure à celle de la souche sauvage. De plus, les substrats tels que la paille de maïs après traitement alcalin et la bagasse de canne à sucre ont montré une production élevée de xylanase. En revanche, la sciure de bois a été moins efficace comme substrat pour la production d'enzyme.

L'utilisation de déchets lignocellulosiques comme sources de carbone bon marché pour la production d'enzymes, telles que les xylanases, présente un potentiel prometteur pour réduire les coûts de production. Des études antérieures ont également montré que d'autres souches fongiques pouvaient produire de la xylanase à partir de divers déchets agricoles. Il est important de souligner que les activités enzymatiques peuvent varier en fonction des conditions spécifiques de culture et des protocoles expérimentaux utilisés. Par conséquent, des études supplémentaires sont nécessaires pour optimiser les conditions de production de xylanase à partir de différents substrats.

Cette étude contribue à l'exploration des possibilités de valorisation des déchets agricoles pour la production d'enzymes, notamment la xylanase par *Aspergillus niger*. Ces résultats pourraient avoir des implications potentielles dans l'industrie alimentaire, la production de biocarburants et d'autres domaines où les xylanases sont utilisées. Des recherches futures pourraient se concentrer sur l'optimisation des conditions de fermentation et l'évaluation de l'applicabilité industrielle de ces enzymes.

De nombreuses perspectives intéressantes pour l'avenir résultent de cette recherche bibliographique. En fait, des études plus approfondies nécessaires concernant plusieurs points, à savoir :

1. La recherche se poursuit, à l'échelle pratique, pour identifier et optimiser les souches fongiques les plus productives en termes de production d'xylanase.

Des études visent à sélectionner et à améliorer les souches de moisissures afin d'obtenir des rendements enzymatiques élevés et une activité optimale de l'enzyme.

2. L'xylanase produite par les moisissures en fermentation solide peut être utilisée dans de nombreux secteurs industriels, Les perspectives de développement de nouvelles applications et de marchés émergents pour l'xylanase sont prometteuses.
3. Les progrès technologiques dans le domaine de la fermentation solide peuvent contribuer à améliorer les performances de production d'xylanase. Cela inclut l'utilisation de techniques de prétraitement des substrats, la modélisation et l'optimisation des paramètres de fermentation, l'innovation en matière de systèmes de fermentation et de méthodes de récupération de l'enzyme.

Références

Bibliographiques

Akhavan Sepahy, A., Ghazi, S., & Akhavan Sepahy, M. (2011). Cost-effective production and optimization of alkaline xylanase by indigenous *Bacillus mojavensis* AG137 fermented on agricultural waste. *Enzyme Research*, 2011.

Alencar Guimaraes, N. C., Sorgatto, M., Peixoto-Nogueira, S. D. C., Betini, J. H. A., Zanoelo, F. F., Marques, M. R., ... & Giannesi, G. C. (2013). Bioprocess and biotechnology: effect of xylanase from *Aspergillus niger* and *Aspergillus flavus* on pulp biobleaching and enzyme production using agroindustrial residues as substrate. SpringerPlus, 2, 1-7.

Ali, S. M., Omar, S. H., & Soliman, N. A. (2013). Co-production of cellulase and xylanase enzymes by thermophilic *Bacillus subtilis* 276NS. *International Journal of Biotechnology for Wellness Industries*, 2(2), 65.

Almeida Antunes Ferraz, J. L., Oliveira Souza, L., Gustavo d'Araújo Fernandes, A., Luiz Ferreira Oliveira, M., de Oliveira, J. R., & Franco, M. (2020). Optimization of the solid-state fermentation conditions and characterization of xylanase produced by *Penicillium roqueforti* ATCC 10110 using yellow mombin residue (*Spondias mombin* L.). *Chemical Engineering Communications*, 207(1), 31-42.

Alokika, & Singh, B. (2019). Production, characteristics, and biotechnological applications of microbial xylanases. *Applied microbiology and biotechnology*, 103, 8763-8784.

Amel B D, Nawel B, Khelifa B, Mohammed G, Manon J, Salima K G, Farida N, Hocine H, Bernard O and Jeanluc C, 2016 Characterization of a purified thermostable xylanase from *Caldicoprobacter algeriensis* sp. nov. strain TH7C1(T). *Carbohydrate Research.*, 419: 60-68.

Annamalai, N., Thavasi, R., Jayalakshmi, S., & Balasubramanian, T. (2009). Thermostable and alkaline tolerant xylanase production by *Bacillus subtilis* isolated from marine environment.

Arabi, M. I. E., Bakri, Y., & Jawhar, M. (2011). Extracellular xylanase production by *Fusarium* species in solid state fermentation. *Pol. J. Microbiol.*, 60(3), 209-212.

Assamoi, A. A., Destain, J., & Thonart, P. (2009). Aspects microbiologiques de la production par fermentation solide des endo- β -1,4-xylanases de moisissures : le cas de *Penicillium canescens*. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 13(2), 281-294.

Azeri, C., Tamer, U. A., & Oskay, M. (2010). Thermoactive cellulase-free xylanase production from alkaliphilic *Bacillus* strains using various agro-residues and their potential in biobleaching of kraft pulp. *African Journal of Biotechnology*, 9(1).

Bachmann, S. L., & McCarthy, A. J. (1991). Purification and cooperative activity of enzymes constituting the xylan-degrading system of *Thermomonospora fusca*. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(8), 2121-2130.

- Badhan, A. K., Chadha, B. S., Kaur, J., Saini, H. S., & Bhat, M. K. (2007).** Production of multiple xylanolytic and cellulolytic enzymes by thermophilic fungus *Myceliophthora* sp. IMI 387099. *Bioresource Technology*, 98(3), 504-510.
- Bakri, Y., Jacques, P., & Thonart, P. (2003).** Xylanase production by *Penicillium canescens* 10–10c in solid-state fermentation. In *Biotechnology for Fuels and Chemicals: The Twenty-Fourth Symposium* (pp. 737-748). Humana Press
- Bakri, Y., Jawhar, M., & Arabi, M. I. E. (2008).** Improvement of xylanase production by *Cochliobolus sativus* in solid-state fermentation. *Brazilian Journal of Microbiology*, 39, 602-604.
- Bakri, Y., Jawhar, M., & Arabi, M. I. E. (2013).** Xylanase production by *Fusarium solani* in solid state fermentation. *Res. Biotechnol.*, 4(1), 31-37.
- Bala, A., & Singh, B. (2017).** Concomitant production of cellulase and xylanase by thermophilic mould *Sporotrichum thermophile* in solid-state fermentation and their applicability in bread making. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 33, 1-10.
- Balan V., Jin M., Culbertson A., Uppugundla N. 2013.** The saccharification step: *Trichoderma* Reeseicellulase hyper producer strains, in: lignocellulose conversion. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 65–91.
- Battan, B., Dhiman, S.S., Ahlawat, S., Mahajan, R., Sharma, J., 2012.** Application of Thermostable Xylanase of *Bacillus pumilus* in Textile Processing. *Indian J Microbiol* 52, 222–229.
- Battan, B., Sharma, J., & Kuhad, R. C. (2006).** High-level xylanase production by alkaliphilic *Bacillus pumilus* ASH under solid-state fermentation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 22, 1281-1287.
- Bellon-Maurel V., Orliac O. & Christen P., 2003.** Sensors and measurements in solid state fermentation: a review. *Process Biochem.*,38, 881-896.
- BENYOUCEF et HARRACHE, 2014).**
- Biely P. 1985. Microbial xylanolytic systems. Trends Biotechnology 3:86–90.**
- de Vries, R. P., & Visser, J. A. A. P. (2001).** Aspergillus enzymes involved in degradation of plant cell wall polysaccharides. *Microbiology and molecular biology reviews*, 65(4), 497-522
- Bocchini D, Gomes E and Silva R D(2008),** Xylanase production by *Bacillus circulans* D1 using maltose as carbon source. *Applied Biochemistry and Biotechnology.*,146(1): 29-37.
- Bocchini, D. A., Alves-Prado, H. F., Baida, L. C., Roberto, I. C., Gomes, E., & Da Silva, R. (2002).** Optimization of xylanase production by *Bacillus circulans* D1 in submerged fermentation using response surface methodology. *Process Biochemistry*, 38(5), 727-731.
- Boiron, P (1996).** Organisation et biologie des champignons. Edition Nathan. P : 13-19-69-79.

Bolan, N.S.; Thangarajan, R.; Seshadri, B.; Jena, U.; Das, K.C.; Wang, H.; Naidu, R. 2013 Landfills as a biorefinery to produce biomass and capture biogas. *Bioresour. Technol.* 135, 578–587.

Botton B., Breton A., Fèvre M., Gauthier S., Guy P., Larpent J.P., Reymond P., Sanglier J.J., Vayssier Y., Veau P., (1990). Moisissures utiles et nuisibles, Importance industrielle, *Ed. Masson*, Paris. Collect. Biotech. p : 34-428.

Boudih, S. (2011). Identification des moisissures et de leurs métabolites secondaires colonisant des supports papiers: évaluation de la toxicité sur des cellules épithéliales respiratoires in vitro (Doctoral dissertation, Université Paris-Est).

Carvalho, M. S., de Menezes, L. H. S., Pimentel, A. B., Costa, F. S., Oliveira, P. C., dos Santos, M. M. O., ... & Franco, M. (2022). Application of Chemometric Methods for the Optimization Secretion of Xylanase by *Aspergillus oryzae* in Solid State Fermentation and Its Application in the Saccharification of Agro-industrial Waste. *Waste and Biomass Valorization*, 1-11.

Chambre d'Agriculture de la Haute-Vienne. "Paille de maïs ." Site Web de la Chambre d'Agriculture de la Haute-Vienne, septembre 2018, URL : haute-vienne.chambre-agriculture.fr. Consulté le [13-06-2023].

Collins T., Gerday Ch. & Feller G., 2005. Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases. *FEMS Microbiol. Rev.*, 29, 3-23.

Collins, T., Gerday, C. and Feller, G., 2005. Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases. *FEMS microbiology reviews*, 29(1), pp.3-23.

Collins, T., Gerday, C. and Feller, G., 2005. Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases. *FEMS microbiology reviews*, 29(1), pp.3-23.

Cuesta, S.M.; Rahman, S.A.; Furnham, N.; Biophys. J. 2015 Thornton, J.M. The classification and evolution of enzyme function, 109, 1082–1086.

Cunha, L., Martarello, R., Souza, P. M. D., Freitas, M. M. D., Barros, K. V. G., Ferreira Filho, E. X., ... & Magalhães, P. O. (2018). Optimization of xylanase production from *Aspergillus foetidus* in soybean residue. *Enzyme research*, 2018.

Del-Cid, A., Ubilla, P., Ravanal, M. C., Medina, E., Vaca, I., Levicán, G., ...& Chávez, R. (2014). Cold-active xylanase produced by fungi associated with Antarctic marine sponges. *Applied biochemistry and biotechnology*, 172, 524-532.

Dogaris, I., Vakontios, G., Kalogeris, E., Mamma, D., & Kekos, D. (2009). Induction of cellulases and hemicellulases from *Neurospora crassa* under solid-state cultivation for bioconversion of sorghum bagasse into ethanol. *Industrial Crops and Products*, 29(2-3), 404-411.

Dong, X. (2010). Isolation and characterization of xylanase from *Fusarium graminearum*. North Dakota State University.

- Durand A., 2003.** Bioreactor designs for solid-state fermentation. *Biochem. Eng. J.*, 13, 113-125.
- Durand, A., & Chereau, D. (1988).** A new pilot reactor for solid-state fermentation: Application to the protein enrichment of sugar beet pulp. *Biotechnology and Bioengineering*, 31(5), 476-486.
- Durrieu, G. La Lettre.2008**
- Fasiku, S. A., Bello, M. A., & Odeniyi, O. A. (2023).** PRODUCTION OF XYLANASE BY *Aspergillus niger* GIO AND *Bacillus megaterium* THROUGH SOLID-STATE FERMENTATION.
- Gaberiel P. (2005).** Etude Structure /fonction d'hemicellulases thermostables : la xylanase GH-II et l'arbinofuranosidase GH-51 de *Thermobacillus xylanilyticus* .These de Doctorat. Universite de Reims Champagne- Ardenenne Inra umr fare 614 .p.p.350.
- Gang, G., Miedaner, T., Schuhmacher, U., Schollenberger, M., & Geiger, H. H. (1998).** Deoxynivalenol and nivalenol production by *Fusarium culmorum* isolates differing in aggressiveness toward winter rye. *Phytopathology*, 88(9), 879-884.
- Gautam, A., Kumar, A., Bharti, A. K., & Dutt, D. (2018).** Rice straw fermentation by *Schizophyllum commune* ARC-11 to produce high level of xylanase for its application in pre-bleaching. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16(2), 693-701.
- Geetha, K., & Gunasekaran, P. (2010).** Optimization of nutrient medium containing agricultural waste for xylanase production by *Bacillus pumilus* B20. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 15, 882-889.
- Gerasimova J and Kuisiene N, 2012** Characterization of the novel xylanase from the thermophilic *Geobacillus thermodenitrificans* JK1. *Microbiology.*, 81(4): 418-424.
- Gerois J., Gianotta F., De Buyl E., Garnier B., Frere J-M. (2000).** Purification and properties of three endo b-1-4 xylanases produces by *Streptomyces* sp. Strain S38. *Enzyme Microb. Technol.* 26, 178-186.
- Gervais P. & Molin P., 2003.** The role of water in solid-state fermentation. *Biochem. Eng. J.*, 13, 85-101.
- Giridhar, P. V., & Chandra, T. S. (2010).** Production of novel halo-alkali-thermo-stable xylanase by a newly isolated moderately halophilic and alkali-tolerant *Gracilibacillus* sp. TSCPVG. *Process Biochemistry*, 45(10), 1730-1737.
- Gomes, A. F. S., dos Santos, B. S. L., Franciscan, E. G., & Baffi, M. A. (2016).** Substract and temperature effect on xylanase production by *Aspergillus fumigatus* using low cost agricultural wastes. *Bioscience Journal*, 32(4), 915-921.
- Guan, G. Q., Zhao, P. X., Zhao, J., Wang, M. J., Huo, S. H., Cui, F. J., & Jiang, J. X. (2016).** Production and partial characterization of an alkaline xylanase from a novel fungus *Cladosporium oxysporum*. *BioMed Research International*, 2016.
- Guex, N. and Peitsch, M.C. (1997)** SWISS-MODEL and the Swiss-PdbViewer: an environment for comparative protein modeling. *Electrophoresis* 18, 2714–2723.

[Guide pratique pour la technologie des semences de maïs \[archive\]](#), Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1983, 216 p.

Guiraud, 1998 ; Perry et al., 2004 Walker et White, 2005).Zohra, N. F. Contribution à l'étude de la biodiversité fongique des sols salins et hypersalins (chotts) de la région d'Oued Souf et de leur activité protéolytique

Gupta S, Bhushan B and Hoondal G S, 2000 Isolation, purification and characterization of xylanase from *Staphylococcus* sp. SG-13 and its application in biobleaching of kraft pulp. *Journal of Applied Microbiology.*, 88(2): 325-334.

Haddar, A., Driss, D., Frikha, F., Ellouz-Chaabouni, S., & Nasri, M. (2012). Alkaline xylanases from *Bacillus mojavensis* A21: production and generation of xylooligosaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules*, 51(4), 647-656.

Haltrich, D., Nidetzky, B., Kulbe, K. D., Steiner, W., & Župančič, S. (1996). Production of fungal xylanases. *Bioresource Technology*, 58(2), 137-161.

Harris, A.D., Ramalingam, C., 2010. Xylanases and its Application in Food Industry: A Review 1, 11.

Hebraud, M., & Fevre, M. (1990). Purification and characterization of an extracellular β -xylosidase from the rumen anaerobic fungus *Neocallimastix frontalis*. *FEMS microbiology letters*, 72(1-2), 11-16.

Henrissat, B. and Coutinho, P.M. (2001) Classification of glycoside hydrolases and glycosyltransferases from hyperthermophiles. *Methods Enzymol.* 330, 183–201.

Henrissat, B., Claeyssens, M., Tomme, P., Lemesle, L. and Mornon, J.P. (1989) Cellulase families revealed by hydrophobic cluster analysis. *Gene* 81, 83–95.

Hilpmann, G., Becher, N., Pahner, F. A., Kusema, B., Mäki-Arvela, P., Lange, R., ...& Salmi, T. (2016). Acid hydrolysis of xylan. *Catalysis Today*, 259, 376-380.

Holtz C., Kaspari H., Klemme J.H., 1991. Production and properties of xylanases from thermophilic actinomycetes. *Antonie Van Leeuwenhoek.*, 59, 1-7.

Hung K S, Liu S M, Tzou W S, Lin F P, Pan C L, Fang T Y, Sun K H and Tang S J, (2011),Characterization of a novel GH10 thermostable, halophilic xylanase from the marine bacterium *Thermoanaerobacterium saccharolyticum* NTOU1. *Process Biochemistry* ; 46(6): 1257-1263.

Iram, A.; Cekmecelioglu, D.; Demirci, A. 2021 Screening of bacterial and fungal strains for cellulase and xylanase production using distillers' dried grains with solubles (DDGS) as the main feedstock. *Biomass Conv. Bioref*, 11, 1955–1964.

Jain, K. K., Bhanja Dey, T., Kumar, S., & Kuhad, R. C. (2015). Production of thermostable hydrolases (cellulases and xylanase) from *Thermoascus aurantiacus* RCKK: a potential fungus. *Bioprocess and biosystems engineering*, 38, 787-796.

- Kamra, P., & Satyanarayana, T. (2004).** Xylanase production by the thermophilic mold *Humicola lanuginosa* in solid-state fermentation. *Applied biochemistry and biotechnology*, 119, 145-157.
- Kapoor, M., Nair, L. M., & Kuhad, R. C. (2008).** Cost-effective xylanase production from free and immobilized *Bacillus pumilus* strain MK001 and its application in saccharification of *Prosopis juliflora*. *Biochemical Engineering Journal*, 38(1), 88-97.
- Kheng, P. P., & Omar, I. C. (2005).** Xylanase production by a local fungal isolate, *Aspergillus niger* USM AI 1 via solid state fermentation using palm kernel cake (PKC) as substrate. *Songklanakarin J. Sci. Technol*, 27(2), 325-336.
- Kiddinamoorthy, J., Anceno, A. J., Haki, G. D., & Rakshit, S. K. (2008).** Production, purification and characterization of *Bacillus* sp. GRE7 xylanase and its application in eucalyptus Kraft pulp biobleaching. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24, 605-612.
- Kim, H. M., Lee, K. H., Kim, K. H., Lee, D. S., Nguyen, Q. A., & Bae, H. J. (2014).** Efficient function and characterization of GH10 xylanase (Xyl10g) from *Gloeophyllum trabeum* in lignocellulose degradation. *Journal of Biotechnology*, 172, 38-45.
- Krishna, C. (2005).** Solid-state fermentation systems—an overview. *Critical reviews in biotechnology*, 25(1-2), 1-30.
- Kshirsagar, S. D., Saratale, G. D., Saratale, R. G., Govindwar, S. P., & Oh, M. K. (2016).** An isolated *Amycolatopsis* sp. GDS for cellulase and xylanase production using agricultural waste biomass. *Journal of Applied Microbiology*, 120(1), 112-125.
- Kuhad, R. C., Manchanda, M., & Singh, A. (1998).** Optimization of xylanase production by a hyperxylanolytic mutant strain of *Fusarium oxysporum*. *Process Biochemistry*, 33(6), 641-647.
- Kumar, A. (2020).** *Aspergillus nidulans*: a potential resource of the production of the native and heterologous enzymes for industrial applications. *International Journal of Microbiology*, 2020.
- Kumar, S., et al. (2020).** Production, purification and characterization of xylanase from *Trichoderma reesei* NCIM 992 using maize cobs as substrate. *Process Biochemistry*, 91, 190-197.)
- Kumar, V., Chhabra, D., & Shukla, P. (2017).** Xylanase production from *Thermomyces lanuginosus* VAPS-24 using low cost agro-industrial residues via hybrid optimization tools and its potential use for saccharification. *Bioresource technology*, 243, 1009-1019.
- Lakshmi, G. S., Rao, C. S., Rao, R. S., Hobbs, P. J., & Prakasham, R. S. (2009).** Enhanced production of xylanase by a newly isolated *Aspergillus terreus* under solid-state fermentation using palm industrial waste: A statistical optimization. *Biochemical Engineering Journal*, 48(1), 51-57.

Lemos, J. L., de A. Fontes, M. C., & Pereira, N. (2001). Xylanase production by *Aspergillus awamori* in solid-state fermentation and influence of different nitrogen sources. In *Twenty-second symposium on biotechnology for fuels and chemicals* (pp. 681-689). Humana Press.

Lo Y C, Lu W C, Chen C Y, Chen W M and Chang J S, (2010) Characterization and high-level production of xylanase from an indigenous cellulolytic bacterium *Acinetobacter junii* F6-02 from southern Taiwan soil. *Biochemical Engineering Journal.*,53(1): 77-84.

Long, C.; Liu, J.; Gan, L.; Zeng, B.; Long, M.(2019) Optimization of Xylanase Production by *Trichoderma orientalis* Using Corn Cobs and Wheat Bran via Statistical Strategy. *Waste Biomass Valor* , 10, 1277–1284.

Mandal, A., Kar, S., Das Mohapatra, P. K., Maity, C., Pati, B. R., & Mondal, K. C. (2012). Regulation of xylanase biosynthesis in *Bacillus cereus* BSA1. *Applied biochemistry and biotechnology*, 167, 1052-1060.

Masui, D. C., Zimbardi, A. L. R. L., Souza, F. H. M., Guimaraes, L. H. S., Furriel, R. P. M., & Jorge, J. A. (2012). Production of a xylose-stimulated β -glucosidase and a cellulase-free thermostable xylanase by the thermophilic fungus *Humicola brevis* var. *thermoidea* under solid-state fermentation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28, 2689-2701.

Mathot P., 1996. *Modélisation d'un réacteur simplifié pour la fermentation solide de produits et sous-produits agricoles. Valorisation de l'aliment fermenté par le porc.* Thèse de doctorat : Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique).

Matrawy, A. A., Khalil, A. I., Marey, H. S., & Embaby, A. M. (2021). Use of wheat straw for value-added product xylanase by *Penicillium chrysogenum* strain A3 DSM105774. *Journal of Fungi*, 7(9), 696.

Mccarthy A A, Morris D D, Bergquist P L and Baker E N, 2000. Structure of XynB, a highly thermostable beta-1,4-xylanase from *Dictyoglomus thermophilum* Rt46B.1, at 1.8 Å resolution. *Acta Crystallographica.*, 56(11): 1367-1375.

McCarthy, A. J., Peace, E., & Broda, P. (1985). Studies on the extracellular xylanase activity of some thermophilic actinomycetes. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 21, 238-244.

Mendonça, M., Barroca, M., & Collins, T. (2023). Endo-1, 4- β -xylanase-containing glycoside hydrolase families: Characteristics, singularities and similarities. *Biotechnology Advances*, 108148.

Moharam, M. E., El-Bendary, M. A., El-Beih, F., Easa, S. M. H., Elsoud, M. M. A., Azzam, M. I., & Elgamal, N. N. (2019). Optimization of fibrinolytic enzyme production by newly isolated *Bacillus subtilis* Egy using central composite design. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 17, 43-50.

Moretti, M., Bocchini-Martins, D. A., Silva, R. D., Rodrigues, A., Sette, L. D., & Gomes, E. (2012). Selection of thermophilic and thermotolerant fungi for the production of cellulases

and xylanases under solid-state fermentation. *Brazilian Journal of Microbiology*, 43, 1062-1071.

Musaalbakri Abdu Manan MA, Webb C. (2017). Aspects de la conception de la fermentation à l'état solide appliqués au biotraitement microbien. *J Appl Biotechnol Bioeng*. 4 (1): 511–532. DOI: 10.15406 / jabb.2017.04.00094.

Nagar, S., Gupta, V. K., Kumar, D., Kumar, L., & Kuhad, R. C. (2010). Production and optimization of cellulase-free, alkali-stable xylanase by *Bacillus pumilus* SV-85S in submerged fermentation. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 37(1), 71-83.

Nawel B, Said B, Estelle C, Hakim H and Duchiron F, (2011). Production and partial characterization of xylanase produced by *Jonesia denitrificans* isolated in Algerian soil. *Process Biochemistry.*, 46(2): 519-525.

Nicklin J., Graeme-Cook K., Paget T., Killington R., (2000).L'essentiel en microbiologie. *Edition Berti*. pp. 210-216.

Niehaus, F., Bertoldo, C., Kähler, M., & Antranikian, G. (1999). Extremophiles as a source of novel enzymes for industrial application. *Applied microbiology and biotechnology*, 51, 711-729.

Oliveira, D. S., Meherb-Dini, C., Franco, C. M., Gomes, E., & Da-Silva, R. (2010). Production of crude xylanase from *Thermoascus aurantiacus* CBMAI 756 aiming the baking process. *Journal of food science*, 75(7), C588-C594.

Pal, A., & Khanum, F. (2010). Production and extraction optimization of xylanase from *Aspergillus niger* DFR-5 through solid-state-fermentation. *Bioresource technology*, 101(19), 7563-7569.

Panagiotou, G., Kekos, D., Macris, B. J., & Christakopoulos, P. (2003). Production of cellulolytic and xylanolytic enzymes by *Fusarium oxysporum* grown on corn stover in solid state fermentation. *Industrial crops and products*, 18(1), 37-45.

Pandey, A. et al., 2000, "Potentiel biotechnologique des résidus agro-industriels. I: bagasse de canne à sucre", *Bioresour. Technol.* 74, 69-80).

Pandey, A., Selvakumar, P., Soccol, C. R., & Nigam, P. (1999). Solid state fermentation for the production of industrial enzymes. *Current science*, 149-162.

Pandya, J.J., Gupte, A. (2012). Production of xylanase under solid-state fermentation by *Aspergillus tubingensis* JP-1 and its application. *Bioprocess Biosyst Eng* 35, 769–779 <https://doi.org/10.1007/s00449-011-0657-1>

Pathania, S., Sharma, N., & Verma, S. K. (2012). Optimization of cellulase-free xylanase produced by a potential thermoalkalophilic *Paenibacillus* sp. N1 isolated from hot springs of Northern Himalayas in India. *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 2(1), 1-24.

Pellera, F.M.; Gidakos, E.(2018). Chemical pretreatment of lignocellulosic agroindustrial waste for methane production. *Waste Manag.*71, 689–703.

Poorna, C. A., & Prema, P. (2007). Production of cellulase-free endoxylanase from novel alkalophilic thermotolerant *Bacillus pumilus* by solid-state fermentation and its application in wastepaper recycling. *Bioresource technology*, 98(3), 485-490.

Rahardjo Y.S.P., Tramper J. & Rinzema A., 2006.Modeli conversion and transport phenomena in solid-state fermentation: a review and perspectives. *Biotechnol.Adv.*,24(2), 161-179.

Rai, P., et al. (2017). Production and optimization of xylanase using *Trichoderma reesei* under solid-state fermentation from locally available lignocellulosic biomass. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48(1), 65-76.)

Ramanjaneyulu, G., & Rajasekhar Reddy, B. (2016). Optimization of xylanase production through response surface methodology by *Fusarium sp.* BVKT R2 isolated from forest soil and its application in saccharification. *Frontiers in microbiology*, 7, 1450.

Rao, M. N., & Li, W. J. (2017). Microbial cellulase and xylanase: their sources and applications. *Adv Biochem Appl Med*, 1, 20.

Rathinam, S., & Vigneshwari, R. (2019). Improved Xylanase Production by Mutated Fungal Strains Enhanced by Soc (Sesame Oil Cake). *International Journal of Agricultural and Life Sciences*.

Rezende, M. I., Barbosa, A. D. M., Vasconcelos, A. F. D., & Endo, A. S. (2002).Xylanase production by *Trichoderma harzianum* rifai by solid state fermentation on sugarcane bagasse. *Brazilian Journal of Microbiology*, 33, 67-72.

Robinson, P.K (2015). Enzymes: Principles and biotechnological applications. *Essays Biochem*, 59, 1.

Robledo, A., Aguilar, C. N., Belmares-Cerda, R. E., Flores-Gallegos, A. C., Contreras-Esquivel, J. C., Montañez, J. C., & Mussatto, S. I. (2016). Production of thermostable xylanase by thermophilic fungal strains isolated from maize silage. *CyTA-Journal of Food*, 14(2), 302-308.

Ryu, K.G., Kim, Y.G., 1997.Effects of surfactants on the enzymatic bleaching of kraft pulp by xylanase. *Biotechnol. Bioprocess Eng.* 2, 94–96. <https://doi.org/10.1007/BF02932332>

Sadaf, A., & Khare, S. K. (2014). Production of *Sporotrichum thermophile* xylanase by solid state fermentation utilizing deoiled *Jatropha curcas* seed cake and its application in xylooligosachharide synthesis. *Bioresource technology*, 153, 126-130.

Sakthiselvan, P.; Naveena, B.; Partha, N (2014). Molecular characterization of a Xylanase-producing fungus isolated from fouled soil. *Braz. J. Microbiol.*45, 1293–1302.

Sanghi, A., Garg, N., Sharma, J., Kuhar, K., Kuhad, R. C., & Gupta, V. K. (2008). Optimization of xylanase production using inexpensive agro-residues by alkalophilic *Bacillus*

subtilis ASH in solid-state fermentation. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 24, 633-640.

Setati, M. E. (2010). Diversity and industrial potential of hydrolase-producing halophilic/halotolerant eubacteria. *African Journal of Biotechnology*, 9(11), 1555-1560.

Shah, A. R., & Madamwar, D. (2005). Xylanase production under solid-state fermentation and its characterization by an isolated strain of *Aspergillus foetidus* in India. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21, 233-243.

Shahi, S. S., Aalemzadeh, I., Khanahmadi, M., & Roostaazad, R. (2011). Xylanase production under solid state fermentation by *Aspergillus niger*.

Shahryari, Z., Fazaelpoor, M. H., Ghasemi, Y., Lennartsson, P. R., & Taherzadeh, M. J. (2019). Amylase and xylanase from edible fungus *Neurospora intermedia*: production and characterization. *Molecules*, 24(4), 721.

Sharma, A., Adhikari, S., & Satyanarayana, T. (2007). Alkali-thermostable and cellulase-free xylanase production by an extreme thermophile *Geobacillus thermoleovorans*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23, 483-490.

Shashirekha, M. N., et al. (2011). Production of xylanase under solid-state fermentation using lignocellulosic waste and its potential application in biobleaching of kraft pulp. *Journal of Microbiology and Biotechnology Research*, 1(1), 37-45.

Soliman, H. M., Sherief, A. A., & EL-Tanash, A. B. (2012). Production of xylanase by *Aspergillus niger* and *Trichoderma viride* using some agriculture residues. *Int J Agric Res*, 7(1), 46-57.

Sonia, K. G., Chadha, B. S., & Saini, H. S. (2005). Sorghum straw for xylanase hyper-production by *Thermomyces lanuginosus* (D2W3) under solid-state fermentation. *Bioresource Technology*, 96(14), 1561-1569.

Soumaya, H. (2014). *Production, optimisation et étude de xylanases chez une nouvelle souche d'Actinomycète thermophile isolée du compost de poulet* (Doctoral dissertation, Université Badji Mokhtar-Annaba).

Steiner, J., Socha, C., & Eyzaguirre, J. (1994). Culture conditions for enhanced cellulase production by a native strain of *Penicillium purpurogenum*. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 10, 280-284.

Stutzenberger F.J., and Bodinel A.B., 1992. Xylanase production by *Thermomonospora curvata*. *Journal of Applied Bacteriology*, 72, pp. 504-511.

Subramaniyan S., Prema P. 2002. Biotechnology of microbial xylanases: Enzymology, molecular biology, and application. *Critical Reviews in Biotechnology*. 22(1):33-64.

Subramaniyan, S., Sandhia, G. S., & Prema, P. (2001). Control of xylanase production without protease activity in *Bacillus* sp. by selection of nitrogen source. *Biotechnology Letters*, 23(5), 369-371.

Sun, X., et al. (2013). Production and Characterization of Xylanase from *Aspergillus niger* and its Application in Xylooligosaccharides Production. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 23(1), 79-88.)

Sunna A., Antranikian G., 1997. Xylanolytic enzymes from fungi and bacteria. *Crit Rev Biotechnol.*, 17, 39-67.

Taibi, Z., Saoudi, B., Boudelaa, M., Trigui, H., Belghith, H., Gargouri, A., & Ladjama, A. (2012). Purification and biochemical characterization of a highly thermostable xylanase from *Actinomadura* sp. strain Cpt20 isolated from poultry compost. *Applied biochemistry and biotechnology*, 166, 663-679.

Techapun, C., Charoenrat, T., Poosaran, N., Watanabe, M., & Sasak, K. (2002). Thermostable and alkaline-tolerant cellulase-free xylanase produced by thermotolerant *Streptomyces* sp. Ab106. *Journal of bioscience and bioengineering*, 93(4), 431-433.

Tenkanen, M., Puls, J., & Poutanen, K. (1992). Two major xylanases of *Trichoderma reesei*. *Enzyme and microbial technology*, 14(7), 566-574.

Tsujibo, H., Miyamoto, K., Kuda, T., Minami, K., Sakamoto, T., Hasegawa, T., & Inamori, Y. (1992). Purification, properties, and partial amino acid sequences of thermostable xylanases from *Streptomyces thermoviolaceus* OP 520. *Applied and Environmental Microbiology*, 58(1), 371-375.

Tursi, A. A review on biomass: Importance, chemistry, classification, and conversion. *Biofuel Res. J.* 2019, 6, 962–979.

Umsza-Guez, M. A., Díaz, A. B., Ory, I. D., Blandino, A., Gomes, E., & Caro, I. (2011). Xylanase production by *Aspergillus awamori* under solid state fermentation conditions on tomato pomace. *Brazilian Journal of Microbiology*, 42, 1585-1597.

Van Dyk J S, Sakka M, Sakka K, Pletschke B I. 2009. The cellulolytic and hemi-cellulolytic system of *Bacillus licheniformis* SVD1 and the evidence for production of a large multi-enzyme complex. *Enzyme and Microbial Technology.*, 45(5): 372-378.

Van P F, Collins T, Meuwis M A, Gerday C, Feller G and Van B J, 2002 .Crystallization and preliminary X-ray analysis of a xylanase from the psychrophile *Pseudoalteromonas haloplanktis*. *Acta Crystallographica.*, 58(9): 1494-1496.

Wang S L, Yen Y H, Shih I L, Chang A C, Chang W T, Wu W C and Chai Y D, 2003 Production of xylanases from rice bran by *Streptomyces actuosus* A-151. *Enzyme and Microbial Technology.*, 33(7): 917-925.

Wong K.K.Y., Tan L.U.L., Saddler J.N., 1988. Multiplicity of α -1,4-xylanase in microorganisms: Functions and applications. *Microbiol Rev.*, 52, 305-17.

Xu Z H, Bai Y L, Xu X, Shi J S and Tao W Y, Production of alkali-tolerant cellulase-free xylanase by *Pseudomonas* sp. WLUN024 with wheat bran as the main substrate. *World Journal of Microbiology and Biotechnology.*, 2005; 21(4): 575-581.

Yan Q, Hao S, Jiang Z, Zhai Q and Chen W, 2009 Properties of a xylanase from *Streptomyces matensis* being suitable for xylooligosaccharides production. *Journal of Molecular Catalysis B Enzymatic.*, 58(1-4): 72-77.

Yang, S. Q., Yan, Q. J., Jiang, Z. Q., Li, L. T., Tian, H. M., & Wang, Y. Z. (2006). High-level of xylanase production by the thermophilic *Paecilomyces thermophila* J18 on wheat straw in solid-state fermentation. *Bioresource Technology*, 97(15), 1794-1800.

Zaccarim, B. R., de Oliveira, F., Passarini, M. R., Duarte, A. W., Sette, L. D., Jozala, A. F., ... & de Carvalho Santos-Ebinuma, V. (2019). Sequencing and phylogenetic analyses of *Talaromyces amestolkiae* from amazon: A producer of natural colorants. *Biotechnology Progress*, 35(1), e2684.

Zhang J, Moilanen U, Ming T and Viikari L, 2013. The carbohydrate-binding module of xylanase from *Nonomuraea flexuosa* decreases its non-productive adsorption on lignin. *Biotechnology for Biofuels*. 6(1): 18.

Zhang, M., et al. (2019). Optimization of Solid-state Fermentation Conditions for Xylanase Production from Lignocellulosic Substrates by *Aspergillus niger*. *Food Science and Technology Research*, 25(1), 155-162.)

Zimbardi, A. L., Sehn, C., Meleiro, L. P., Souza, F. H., Masui, D. C., Nozawa, M. S., ... & Furriel, R. P. (2013). Optimization of β -glucosidase, β -xylosidase and xylanase production by *Colletotrichum graminicola* under solid-state fermentation and application in raw sugarcane trash saccharification. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(2), 2875-2902.

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Mycologie et Biotechnologie fongique

Production de xylanase par les moisissures en fermentation solide

Résumer

Dans cette étude, nous avons étudié théoriquement la capacité des moisissures à produire de la xylanase à travers les résultats des expérimentations sur certaines souches utilisant un groupe de déchets organiques en fermentation solide. Pour cela, on a sélectionné de souches d'*Aspergillus niger* présentant un potentiel de production de xylanase. La souche d'*Aspergillus niger* a été cultivée sur 15 g de tourteau de sésame mélangés avec 25 ml du milieu de Mandel. Les Erlenmeyer ont été ensemencés avec les spores des champignons et incubés pendant 6 jours à température ambiante. Pour l'amélioration des souches, des cultures sauvages ont été soumises à une irradiation aux ultraviolets et les souches mutées ont été soumises aux mêmes analyses. (Rathinamet *al.*,2019). La souche *Aspergillus niger* GIO a été inoculée pendant 5 à 10 jours sur de la paille de maïs, de la paille de riz, de la sciure de bois, de l'épi de maïs, bagasse de canne à sucre, litières de conifères, paille de maïs (Samuel et *al.*, 2023), Les résultats des deux études (Rathinamet *al.*,2019 ;Samuel et *al.*,2023), ont montrés que la souche mutante UV d'*Aspergillus niger* produit de manière plus efficace de la xylanase (0,0415 UI/ml) lorsqu'elle est cultivée sur un milieu de tourteau de sésame (SOC) par rapport à la souche sauvage (0,0039 UI/ml). De plus, *Aspergillus niger* GIO a montré des activités de xylanase variables (allant de 1,35 U/mL à 3,18 U/mL) lorsqu'il était cultivé sur différents substrats d'agro-déchets, avec la plus haute activité obtenue en utilisant de la paille de maïs traitée à l'alcali. L'utilisation de matériaux de déchets comme source de carbone rentable pour la production de xylanase suscite de l'intérêt, car les déchets lignocellulosiques peuvent servir de substrat bon marché et facilement disponible.

Mot clés : *Aspergillus niger*, xylanase, déchets agroalimentaires, fermentation solide

Membre du jury :

Président : DAFFRI A (MCA Université Frères Mentouri, Constantine 1).

Encadreur : BOUCHERIT Zeyneb (MAA – Université Frères Mentouri Constantine1).

Examineur : ALMI H (MCB Université Frères Mentouri, Constantine 1).