

Nom et prénom	Etablissement	Grade	Qualité
Pr TALEB Mustapha	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Président
Pr ZAHIR Ilham	Faculté Polydisciplinaire, Béni Mellal	MCH	Rapporteur & Examineur
Pr AINANE Tarik	Ecole Supérieure de Technologie, Khénifra	MCH	Rapporteur & Examineur
Pr MERZOUKI Mohammed	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	PES	Rapporteur & Examineur
Pr CHERROUD Sanaa	Ecole Supérieure de Technologie, Khénifra	MCH	Examineur
Pr BENZIANE OUARITINI Zineb	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	MCH	Examineur
Pr LAHKIMI Amal	Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès	MCH	Directeur de thèse
Pr ELOUTASSI Nouredine	Centre Régional des Métiers de l'Education et de la Formation. Fès	PES	Co-Directeur de thèse



Résumé :

La bioconversion de la biomasse lignocellulosique (BLC) en bioéthanol représente l'une des alternatives les plus prometteuses visant à réduire notre dépendance aux combustibles fossiles et à lutter contre le changement climatique. Cependant, la récalcitrance du complexe lignocellulosique nécessite un prétraitement préalable avant de pouvoir les soumettre à l'étape de valorisation.

Cette étude s'est focalisée sur trois axes de recherche. Le premier axe consistait (i) à évaluer dans quelle mesure les entreprises marocaines sont impliquées dans la valorisation des déchets verts et (ii) d'identifier parmi celles-ci celles qui présentent une grande valeur énergétique. L'enquête a été menée à travers des questionnaires auprès de divers secteurs. Deuxièmement, des analyses chimiques ont été réalisées sur les échantillons de déchets, révélant une diversité de résidus solides représentant 68,4 % des déchets verts, dont 98 % ne sont pas traités. En particulier, les résidus forestiers (RF), les déchets de parties extraites (DPE) et les déchets de parties non utilisées (DPNU) de plantes aromatiques et médicinales (DPAM) ont des teneurs élevées en cellulose (Ce) et hémicellulose (He), et contient peu de lignine (Li) et de composés phénoliques (CPT) par rapport aux résidus d'oliviers (RO), aux grignons d'olive (GO) et aux déchets ménagers (DM). De plus, la plupart des résidus, à l'exception des déchets ménagers, présentent des caractéristiques favorables à la production de bioéthanol, telles qu'une faible humidité, une faible teneur en cendres, ainsi qu'un pourcentage significatif de carbone et d'hydrogène, avec un pouvoir calorifique (PCI) compris entre 14,5 et 21,6 MJ/kg.

Le deuxième axe a pour objectif est de déterminer la meilleure méthode de prétraitement. Un mélange de RF et DPAM a été soumis à deux approches de traitement : un simple (TS) appliquant chaque méthode individuellement, et l'autre combine (TC) intégrant deux méthodes ou plus. Les principales méthodes utilisées étaient l'hydrolyse chimique (Ac), l'explosion à la vapeur (EV) et l'hydrolyse biologique par des enzymes (E). Les résultats ont montré que les traitements TS (Ac) et TC (EV, Ac et E) sont les plus efficaces par rapport aux traitements EV et E dans l'hydrolyse de (Ce), avec des taux respectifs de 90,5 % et 77,6 %, et de (He), avec des taux respectifs de 80,63 % et 87,14 %. De plus, les deux méthodes précédentes libèrent un taux important de CPT. Le TC nécessite un temps considérable mais est respectueux de l'environnement (environ 1 jour), tandis que le TS Ac est moins chronophage (environ 25 minutes) mais nocif pour l'environnement et provoque la corrosion de l'équipement.

Quant au dernier axe, l'objectif était d'étudier l'activité enzymatique de certains champignons et bactéries connus pour leurs applications dans ce domaine, sur un mélange de RF et DPAM, ainsi que de déterminer leur rendement en éthanol. L'influence de divers facteurs physico-chimiques " température, pH et concentration en inoculum " sur l'activité enzymatique a également été étudiée. Les résultats ont montré que la souche d'*Aspergillus niger* présentait une bonne activité enzymatique ($29,78 \pm 0,15$ U/gds) et une efficacité dans la production d'éthanol à partir de RF et DPAM prétraités avec un taux de 10,78 g/100 g de substrat. Malgré cette efficacité évidente dans la production d'éthanol à partir de ces déchets végétaux, l'optimisation de ce processus est nécessaires pour permettre son application à l'échelle industrielle.

Mots clés :

Biomasse lignocellulosique ; Bioéthanol ; Cellulose ; Prétraitement ; Fermentation.



Valorization of Lignocellulosic Waste through Biotechnological Processes: Production of Lignocellulolytic Enzymes and Bioethanol

Abstract :

The bioconversion of lignocellulosic biomass (BLC) into bioethanol represents one of the most promising alternatives to reduce our dependence on fossil fuels and combat climate change. However, the recalcitrance of the lignocellulosic complex requires pretreatment before it can be subjected to valorization.

This study focused on three research axes. The first axis aimed (i) to evaluate the extent to which Moroccan companies are involved in the valorization of green waste and (ii) to identify among them those with high energy value. The survey was conducted through questionnaires across various sectors. Secondly, chemical analyses were performed on waste samples, revealing a diversity of solid residues representing 68.4% of green waste, of which 98% are untreated. In particular, forest residues (RF), extracted parts waste (DPE), and unused parts waste (DPNU) from aromatic and medicinal plants (DPAM) have high cellulose (Ce) and hemicellulose (He) contents and low lignin (Li) and phenolic compound (CPT) contents compared to olive residues (RO), olive pomace (GO), and municipal waste (DM). Furthermore, most residues, except municipal waste, exhibit favorable characteristics for bioethanol production, such as low moisture, low ash content, and a significant percentage of carbon and hydrogen, with a calorific value (PCI) ranging from 14.5 to 21.6 MJ/kg.

The second axis aims to determine the best pretreatment method. A mixture of RF and DPAM was subjected to two treatment approaches: a single-step (TS) applying each method individually, and the other combined (TC) integrating two or more methods. The main methods used were chemical hydrolysis (Ac), steam explosion (EV), and enzymatic hydrolysis (E). The results showed that the TS Ac and TC treatments were the most effective compared to EV and E treatments in the hydrolysis of Ce, with respective rates of 90.5% and 77.6%, and He, with respective rates of 80.63% and 87.14%. Additionally, both previous methods release a significant rate of CPT. TC requires considerable time but is environmentally friendly (about 1 day), while TS Ac is less time-consuming (about 25 minutes) but environmentally harmful and also causes equipment corrosion.

Regarding the last axis, the objective was to study the enzymatic activity of certain fungi and bacteria known for their applications in this field, namely *Aspergillus niger*, *Trichoderma longibrachiatum*, and *Zymomonas mobilis*, on a mixture of RF and DPAM, as well as to determine their ethanol yield. The influence of various physico-chemical factors "temperature, pH and inoculum concentration" on enzyme activity was also investigated. The results showed that the strain *Aspergillus niger* exhibited good enzymatic activity (29.78 ± 0.15 U/gds) and efficiency compared to other strains in ethanol production from pretreated RF and DPAM at a rate of 10.78 g/100 g substrate. Despite this clear efficiency in ethanol production from these plant wastes, optimization of this process is necessary to enable its industrial-scale application

Key Words:

Lignocellulosic Biomass; Bioethanol ; Cellulose ; Pretreatment ; Fermentation