

# Impact du prétraitement alcalin de la jacinthe d'eau sur le rendement de production du Biogaz

---

Amidou Singho BOLY<sup>1\*</sup>, Elie TIONO<sup>2</sup>,  
Mwintour Christelle Marie Justin SOMDA<sup>3</sup>

**Titre courant :** Prétraitement alcalin et potentiel méthanogène de la jacinthe d'eau

## Résumé

La jacinthe d'eau, connue sous le nom d'*Eichlornia crassipes* et considérée comme une plante aquatique envahissante, s'est répandue partout dans le monde. Elle constitue aujourd'hui une menace pour les écosystèmes aquatiques. Au Burkina Faso, la méthode la plus courante pour lutter contre cette plante est son arrachage mécanique pendant sa phase de croissance. Cette méthode génère une quantité considérable de matière végétale qui pourrait être convertie en biogaz, une énergie renouvelable. En outre, le digestat obtenu en fin de process pourrait être utilisé comme fertilisant sur les terres agricoles.

Toutefois, la structure lignocellulosique de la plante entrave considérablement sa biodégradabilité. Pour cette raison, la présente étude a examiné l'impact d'un prétraitement à l'hydroxyde de potassium (KOH) sur le rendement en biogaz. Après une phase de tests sur des concentrations en KOH de 2-4% pour estimer son impact sur le pH des échantillons, trois concentrations de prétraitement ont été retenues (0,6 %, 0,8 % et 1 %). Ces prétraitements ont été appliqués à la biomasse de jacinthe d'eau broyée, suivie d'une digestion anaérobie mésophile durant 22 jours. Les résultats ont révélé que l'échantillon prétraité avec 0,8 % de KOH a produit le volume maximal de biogaz, soit 3 550 ml. Toutefois, la quantité de méthane y était la plus faible (325,25 ml). Les échantillons les plus productifs en méthane ont été obtenus avec l'échantillon (témoin) non traité au KOH (607,4 ml) et avec celui prétraité à 1 % de KOH (596,7 ml).

---

<sup>1</sup> Centre National de la Recherche Scientifique et Technologique (CNRST)/Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT)/ Laboratoire des Systèmes d'Energies Renouvelable et Environnement-Génie Mécanique et Industriel (LASERE-GMI), Burkina Faso.

<sup>2</sup> OPTIMAB SARL, 10 BP 13194 Ouagadougou 10, Burkina Faso.

<sup>3</sup> UNIVERSITE DU QUEBEC À TROIS-RIVIÈRES, 3351, boulevard des Forges Trois-Rivières (Québec) G8Z 4M3, CANADA.

\***Auteur correspondant** : Amidou Singho BOLY : [singho.boly@outlook.fr](mailto:singho.boly@outlook.fr) , ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9976-7460>

**Mots clés :** Jacinthe d'eau, prétraitement alcalin, Hydroxyde de potassium (KOH), Biogaz, Burkina Faso

## **Effect of Alkaline Pretreatment on the Biogas generation efficiency of Water Hyacinth**

### **Abstract**

Water hyacinth, known as *Eichlornia crassipes* and considered an invasive aquatic plant, has spread worldwide. It now poses a threat to aquatic ecosystems. In Burkina Faso, the most common method used to fight this invasive plant is mechanical removal during its growth phase. This method produces a large amount of plant material that could be converted into biogas, a renewable energy source. Additionally, the end result of the process, referred to as digestate, has the potential to be used as a fertiliser in agriculture.

However, the lignocellulosic structure of the plant significantly hinders its biodegradability. To address this issue, the current study examines the effect of potassium hydroxide (KOH) pretreatment on biogas production. In an initial screening process, KOH concentrations of 2–4% were tested to gauge their impact on the pH of the samples. Based on these results, three pretreatment concentrations were chosen for further study: 0.6%, 0.8% and 1%. These pretreatments were applied to crushed water hyacinth biomass, followed by mesophilic anaerobic digestion for 22 days. The findings indicated that the sample treated with 0.8% KOH produced the highest volume of biogas, totalling 3,550 ml. Despite this, the methane content was surprisingly the lowest (325.25 ml). The samples that produced the most methane were the reference sample and the 1% KOH-treated sample, with methane contents of 607.4 ml and 596.7 ml, respectively.

**Key words:** Water hyacinth, Alkaline pretreatment, Potassium hydroxide (KOH), Biogas, Burkina Faso

### **Introduction**

La jacinthe d'eau, également connue sous le nom de *Eichlornia crassipes*, est une plante aquatique invasive originaire du bassin amazonien qui s'est propagée dans le reste du monde (Khotsa et al. 2025). Elle prospère rapidement dans des eaux riches en nutriments, comme l'azote et le phosphore. Au Burkina Faso, plusieurs cours d'eau ont été envahis par cette plante, ce qui met en danger l'écosystème des réservoirs et, parfois, la stabilité des barrages (Almoustapha et al. 2008). L'arrachage mécanique des plantes pendant leur phase de croissance est l'instrument principal de lutte utilisé par l'Agence de l'eau du Nakambé. Celle-ci organise régulièrement des campagnes d'arrachage sur les barrages 1, 2 et 3 de Ouagadougou. Toutefois, la gestion de la quantité considérable de matière végétale récoltée demeure un défi actuel. L'une des solutions possibles à ce défi serait de

valoriser la biomasse collectée en produisant du biogaz. Cette option présente l'avantage de résoudre les problèmes environnementaux liés à la gestion de ces déchets, tout en produisant une source d'énergie renouvelable qu'est le biogaz. De plus, le digestat obtenu à la fin du processus de méthanisation est riche en éléments nutritifs et peut être utilisé comme engrais sur les terres agricoles.

Toutefois, la structure de la plante, composée de cellulose, d'hémicellulose et de lignine, entrave l'action des enzymes et rend difficile la décomposition des polysaccharides en sucres fermentescibles. En effet, la jacinthe d'eau contient principalement de l'eau à près de 91% (Akendo et al. 2008). Tandis qu'une fois séchée, les proportions sont de 18 à 43% d'hémicellulose, 18 à 31% de cellulose et 7 à 26 % de lignine (Lahon et al. 2023). Ces caractéristiques confèrent à la jacinthe d'eau un potentiel de valorisation en biogaz intéressant à condition de surmonter la barrière lignocellulosique.

Bien qu'un prétraitement mécanique par broyage soit couramment utilisé pour réduire la taille des particules, il ne permet pas la solubilisation de la lignine. Cette dernière est un polymère aromatique complexe qui est un frein à la production de biogaz, car les bactéries anaérobies ne la digèrent pas. Dans ce contexte, il semble pertinent de chercher à mettre au point des méthodes de prétraitement complémentaires, en particulier chimiques, qui permettraient d'améliorer la désorganisation de la matrice lignocellulosique et d'optimiser la libération des sucres fermentescibles. Ce travail vise donc à mesurer l'influence de l'utilisation d'un prétraitement chimique associé à un prétraitement mécanique sur la quantité et la qualité du biogaz généré à partir de la jacinthe d'eau.

De nombreux travaux dans la littérature font cas de l'utilisation de prétraitement alcalin pour améliorer la production de biogaz à partir de biomasses lignocellulosique. (Show et al. 2023) ont évalué les performances d'un prétraitement alcalin à base de soude caustique (NaOH) pour améliorer la production de biogaz à partir de la jacinthe d'eau. Deux prétraitements ont été effectués sur deux concentrations différentes de soude caustique (2 % et 5 %), en combinaison avec un prétraitement thermique dans un autoclave à 121°C et 2 bars de pression. Les résultats de ces travaux montrent une amélioration de la production de biogaz avec un rendement de production plus élevé dans le prétraitement à un niveau de 5 % de NaOH. En effet, dans ce cas-ci, la quantité de biogaz produite était de 142,61 L/kg de matière volatile,

avec une teneur en méthane de 64,59 %. L'inoculum utilisé pour amorcer la méthanogenèse était la bouse de vache. (Carlini et al. 2018) ont mené des recherches sur l'impact de deux méthodes de prétraitement sur la digestion anaérobie de la jacinthe d'eau, à savoir la méthode thermique à 70°C et la méthode alcaline associée à une température de prétraitement basse de 35°C.

Le prétraitement thermique à 70°C a duré trois heures, tandis que le prétraitement alcalin, qui a nécessité l'utilisation de soude caustique, a pris 72 heures. Les auteurs ne se sont pas concentrés sur la production de biogaz, mais ont plutôt analysé la composition de la biomasse avant et après prétraitements, en particulier sa teneur en cendres et en matières volatiles. Les résultats indiquent que le prétraitement thermique à 70°C a considérablement accru la teneur en matières volatiles, qui est passée de 46,76 % à 86,08 %, tout en réduisant la teneur en cendres de 14,59 % à 11,48 %. En revanche, le prétraitement alcalin a entraîné une hausse des cendres (36,63 %) et une baisse des matières volatiles (41,95 %), ce qui laisse croire à un effet réducteur sur la digestibilité de la biomasse. Ces observations suggèrent que le prétraitement thermique à 70°C améliore la biodégradabilité de la jacinthe d'eau et favorise la production potentielle de biogaz. En revanche, le prétraitement alcalin, dans les conditions expérimentales, semble moins efficace, voire néfaste pour le processus de méthanisation. Dans leurs travaux (Bray et al. 2022) ont cultivé des jacinthes d'eau dans des bacs de 350 L enrichis en nutriments provenant du fumier de vache. Ils ont ensuite étudié la codigestion anaérobie de la jacinthe d'eau obtenue avec du fumier de vache dans le but de produire du biogaz. Les résultats montrent que les jacinthes obtenues ont une teneur moyenne en eau de 90-95 %, un rapport C/N (Carbone/Azote) favorable de 20-35. Les expérimentations de codigestion ont été réalisées dans un digesteur de 200 L avec un ratio de 20/80 (jacinthe/ fumier). Trois méthodes de prétraitement ont été évaluées : mécanique (broyage pour réduire la taille des particules), chimique (hydroxyde de potassium, KOH à 3 %) et combinée (broyage suivi d'un prétraitement au KOH à 3 %). Les rendements en biogaz ont fluctué entre 251 et 339,5 L/kg de matière volatile. Le prétraitement combiné (broyage suivi d'un prétraitement au KOH à 3 %) a donné lieu à la plus grande production de biogaz (339,5 L/kg de matière volatile) avec un taux de méthane de 58 %.

Les résultats des travaux ci-dessus montrent que le prétraitement de la biomasse lignocellulosique est une étape importante pour garantir une bonne digestion anaérobie et la production de biogaz. De plus,

l'utilisation de prétraitement alcalin, tel que l'hydroxyde de sodium ou l'hydroxyde de potassium, s'est révélée efficace pour désagréger la matrice lignocellulosique. Par ailleurs, lorsqu'un prétraitement alcalin est combiné à un broyage, cela a pour effet d'augmenter les surfaces de contact de la biomasse et faciliter l'attaque bactérienne. Cela entraîne des effets positifs plus importants sur la production de biogaz.

En tenant compte de ce qui précède, il semble opportun d'étudier davantage l'efficacité du prétraitement alcalin combiné au broyage de la jacinthe d'eau. Dans le cadre de nos travaux, nous avons choisi l'hydroxyde de potassium comme agent chimique de prétraitement. Ce choix est motivé, d'une part, par les travaux de (Zheng et al. 2014) montrant que l'hydroxyde de potassium a une action similaire à celle de l'hydroxyde de sodium. D'autre part, il permet d'obtenir un digestat plus riche en potassium, ce qui aura un impact positif sur son usage comme fertilisant. En outre, nous avons décidé de ne pas intégrer de prétraitement thermique pour des raisons économiques et en raison de sa complexité d'application à grande échelle dans un contexte énergétique difficile au Burkina Faso. Cet article est structuré en trois parties : une section « Matériel et Méthode », une section « Résultats et discussions » et une dernière section intitulée « Conclusion et perspectives des travaux ».

## **I. Matériel et Méthodes**

### **a) Caractérisation de la jacinthe d'eau**

Dans le cadre de ces travaux, les substrats utilisés ont été préparés à partir de la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*), récoltée dans un canal d'évacuation des eaux pluviales de Kossodo (Ouagadougou). La jacinthe collectée a été caractérisée avant de passer aux procédures expérimentales. Les éléments suivants ont été déterminés :

- la matière sèche (MS), déterminée selon la norme ISO 6496; par séchage à 105°C pendant 24 heures jusqu'à masse constante ;
- la matière volatile (MV), déterminée selon la norme NF EN 12880 :2001; par calcination du résidu sec à 550°C pendant deux heures.
- le pH, en utilisant un pH-mètre ;

### **b) Procédures expérimentales**

Dans une première série d'échantillonnage et de tests, la jacinthe a été broyée en fine particule et répartie dans quatre bocaux de 1 litre. Dans chaque bocal une quantité de jacinthe de 140 grammes a été insérée et complétée avec 600 ml d'eau distillée. Un substrat a été maintenu sans prétraitement chimique, tandis que les trois autres ont été traités avec une solution alcaline d'hydroxyde de potassium (KOH) à des concentrations de 2 %, 3 % et 4 %. Cette première phase d'expérimentations visait à évaluer l'influence de la concentration en KOH sur le pH du substrat après une période d'exposition de 24 heures. Les mesures de pH obtenues ont permis d'identifier la zone de neutralité du milieu (pH compris entre 5,5 et 8,5), considérée comme favorable à la méthanogenèse dans un système mésophile (Prasanna Kumar et al. 2024). En conséquence, le taux maximal de prétraitement a été établi à 1 % d'hydroxyde de potassium (KOH), garantissant un pH initial favorable à une production optimale de biogaz. Les résultats détaillés de cette première série d'expériences sont résumés dans le **tableau II**.

Une seconde série de quatre autres échantillons a ainsi été préparée. Dans chaque bocal, une quantité de 140 grammes de jacinthe broyée a été ajoutée, puis complétée avec 600 ml d'eau distillée. L'un des substrats a été maintenu sans prétraitement chimique, tandis que les trois autres ont été traités avec une solution alcaline d'hydroxyde de potassium (KOH) à des concentrations de 0,6 %, 0,8 % et 1%. Ces substrats ont été préparés pour les tests de méthanisation. Ils sont présentés à la **figure 1**. Après 24 heures, les différents échantillons ont été additionnés à un inoculum provenant d'un bioréacteur principalement alimenté par un mélange de fumier de vache, de levure de brasserie et de jacinthe d'eau broyée. Le mélange a été réalisé en maintenant un ratio de 85 % de substrat pour 15 % d'inoculum.

Les quatre récipients ont ensuite été méticuleusement scellés pour simuler un environnement sans oxygène propice à la digestion. Ils sont maintenus dans un bain-marie réglé à une température constante de 37 °C et agités manuellement deux fois par jour. Les bocaux hermétiquement fermés sont connectés grâce à des tuyaux en PVC transparent à des éprouvettes graduées et remplies d'eau. La production de biogaz provoque le déplacement de l'eau dans les éprouvettes, permettant ainsi de mesurer la quantité de gaz produite. Le dispositif expérimental est présenté à la **figure 2**. La composition du biogaz produit est évaluée grâce à un analyseur de gaz Multitec 540, présenté à la **figure 3**.



**Figure 1:** Les Quatre substrats destinés à la méthanisation



**Figure 2:** Dispositif expérimental



**Figure 3:** Analyseur de gaz Multitec 540

## II. Résultats et discussion

### a) Matières sèches et volatiles

Le **tableau I** présente les résultats de la détermination de la matière sèche ainsi que la matière volatile sur deux échantillons de jacinthe.

**Tableau I:** Matière sèche et volatile

Échantillon	MS (%)	MV (%)
1	7,35	60,95
2	6,71	58,52
Moyenne	7,03±0,45	59,73±1,72

Selon les données du **tableau I**, la jacinthe possède une teneur en matière sèche d'environ 7 %, ce qui équivaut à une humidité élevée d'environ 93 %. Ce résultat est confirmé de nombreuses études, y compris (Akendo et al. 2008; Rahmawati et al. 2018).

Les composés organiques volatiles représentent environ 60 % de la matière sèche, ce qui est très favorable à la production de biogaz. Cette affirmation est soutenue par les travaux de (Achinas et Euverink 2019), qui ont permis d'établir une corrélation entre la proportion de matière volatile et la production de biogaz.

### b) Détermination des pH

Les résultats de l'impact du KOH sur le pH de la première série d'échantillons prétraités sont présentés dans le **tableau II**.

**Tableau II:** Impact du prétraitement sur le pH après une exposition de 24h sur la première série d'échantillons

Echantillons	pH
Témoin (sans prétraitement au KOH)	5,46
Prétraité avec du KOH à 2%	11,96
Prétraité avec du KOH à 3%	12,33
Prétraité avec du KOH à 4%	12,54

Les résultats du **tableau II** montrent que les différents prétraitements ont un impact significatif sur le pH des différents échantillons, entraînant une hausse du pH des substrats jusqu'à des niveaux basiques. Ces niveaux de pH s'éloignent des recommandations visant à favoriser la digestion anaérobie. En effet, plusieurs études ont proposé des plages de valeurs optimales pour la digestion anaérobie, qui se situeraient entre [5,5 ; 8,5], selon les travaux de (Kumar et al. 2024). D'autres recherches suggèrent des intervalles plus étroits [6,3 ; 7,8] (Sarker et al. 2019; Singh et al. 2020). Les valeurs de pH obtenues après prétraitement lors de la première série de test s'éloignant de ces recommandations, nous avons choisi de limiter le prétraitement maximal à 1 % de KOH pour la seconde série d'échantillons.

Les pH obtenus pour la seconde série d'échantillons sont présentés au **tableau III**.

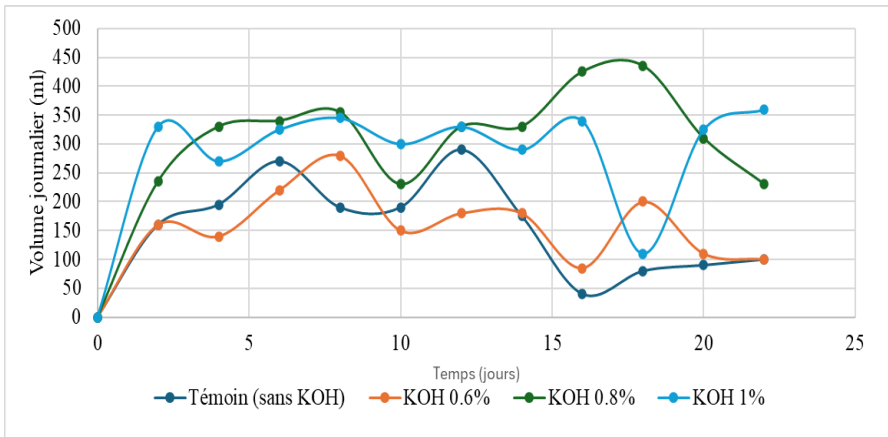
**Tableau III:** Impact du prétraitement sur le pH après une exposition de 24h sur la seconde série d'échantillons

Echantillons	pH
Témoin (sans prétraitement au KOH)	6,66
Prétraité avec du KOH à 0,6%	7,32
Prétraité avec du KOH à 0,8%	7,52
Prétraité avec du KOH à 1%	8,32

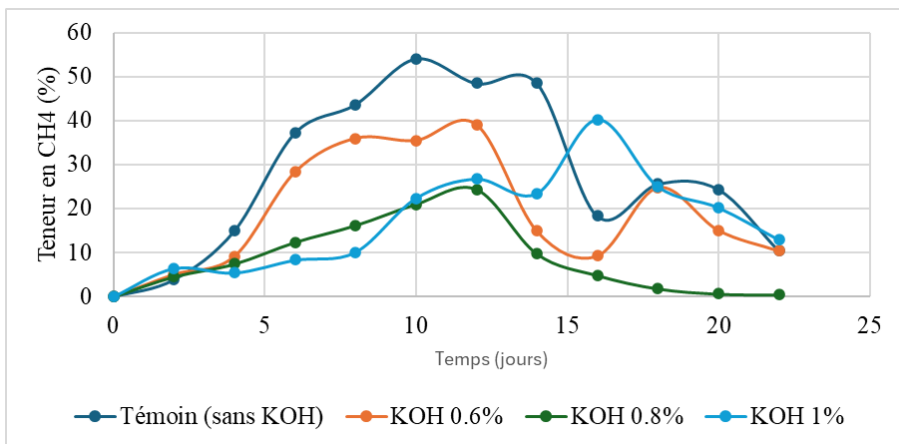
Les différents pH obtenus sont plus acceptables et favorisent une bonne digestion anaérobie. Il est à noter que le prétraitement à 1 % de KOH présente un pH légèrement basique de 8,32. Cependant le pH obtenu reste acceptable comme indiqué par les travaux de (Kumar et al. 2024).

### c) Suivi de la production de Biogaz

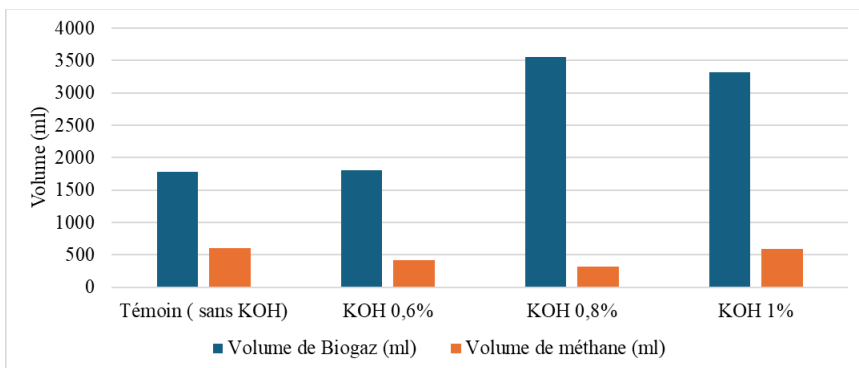
La seconde série d'échantillons, installée dans le dispositif de suivi de la production de biogaz (**figure 2**), a été surveillée pendant une période de 22 jours. Elle a permis de suivre la production de biogaz et de mesurer la quantité de méthane produite. Le volume de biogaz ainsi que la proportion de méthane dans le biogaz étaient mesurés tous les deux jours. Les résultats de ce suivi sont présentés aux **figures 4 à 6**



**Figure 4:** Production journalière de biogaz



**Figure 5:** teneur en méthane de la production journalière de biogaz



**Figure 6:** production cumulée de biogaz et de méthane

La **figure 4** illustre l'évolution de la production de biogaz pour la deuxième série d'échantillons. Dès le deuxième jour, on observe la présence de gaz dans le dispositif expérimental, ce qui indique le début de l'activité bactérienne. On note une production relativement stable de biogaz entre le 6<sup>e</sup> et le 15<sup>e</sup> jour. Cependant, à partir du quinzième jour, on observe une baisse graduelle de la production de biogaz dans tous les échantillons, sauf dans celui qui a été prétraité avec du KOH à 1 %.

La **figure 5** illustre la concentration en méthane du biogaz généré tout au long du processus de méthanisation. On observe une augmentation constante de la production de méthane jusqu'au douzième jour pour l'ensemble des échantillons. Après le douzième jour, on remarque une tendance à la baisse de la proportion de méthane dans le biogaz produit. À la fin du 22<sup>e</sup> jour, l'échantillon témoin (non prétraité au KOH) présente des signes d'épuisement. En parallèle, des traces de production de méthane sont encore observables au niveau des échantillons prétraités au KOH. Le biogaz produit par la jacinthe non traitée est de meilleure qualité, en effet la proportion de méthane y a culminé à 54% le 10<sup>e</sup>me jour. Parmi les échantillons prétraités au KOH, la jacinthe d'eau prétraitée avec 1% de KOH a la plus grande teneur en méthane qui y a culminé à 40% le 16<sup>e</sup>m jour.

La **figure 6** illustre le cumul de production de biogaz et de méthane pour la seconde série d'échantillons. On y observe que la production de biogaz est plus importante dans le cas de l'échantillon prétraité au KOH à 0,8 %, avec 3 550 ml de biogaz produits, mais que ce même échantillon a produit la plus faible quantité de méthane, soit 325,25 ml.

L'échantillon non prétraité a permis d'obtenir la plus grande quantité de méthane parmi ceux suivis, soit 607,43 ml pour 1780 ml de biogaz. L'échantillon prétraité à 1% de KOH a fourni la deuxième meilleure performance avec une quantité de biogaz et de méthane respectivement de 3325 ml et 596.66 ml.

La faible teneur en méthane dans les échantillons prétraité peut s'expliquer par deux raisons principales. La première est la formation probable d'inhibiteur pendant le prétraitement, qui a perturbé les activités microbiennes nécessaires à la production de méthane. Cette possibilité est avancée dans les recherches de (Taherzadeh et al. 2008), qui indiquent que le prétraitement alcalin peut aboutir à la formation d'inhibiteurs tels que le furfural. Ces produits empêchent la méthanogenèse. De même (Hendriks et al. 2009), indiquent dans leurs travaux que le prétraitement peut dans certains cas aboutir à des

composés, tels que le furfural qui entrave la digestibilité de la biomasse lignocellulosique.

La seconde raison est le faible ratio carbone azote de la jacinthe. En effet, selon (Su et al. 2018) celui de la jacinthe d'eau est de 20. Ce ratio C/N relativement faible de la jacinthe d'eau ne favorise pas la production optimale de méthane. Il devrait être compris entre 20 et 30 selon (Dioha et al. 2013) pour favoriser la méthanogenèse. Au regard de ces résultats il conviendrait de ne pas s'orienter vers une production de biogaz uniquement basée sur la jacinthe d'eau, mais plutôt vers une codigestion. Cette codigestion doit se faire avec de la biomasse riche en carbone comme du fumier de vache. En effet, cette assertion se confirme lorsque l'on s'intéresse aux travaux de (Bray et al. 2022) qui ont obtenu des résultats plus intéressants grâce à la codigestion du fumier et de la jacinthe.

### **III. Conclusion et perspectives**

Le prétraitement alcalin a produit un résultat nettement perceptible sur la production de biogaz. Cependant, la teneur en méthane dans les différents échantillons prétraités montre une teneur en méthane et, dans l'absolu, une quantité de méthane plus faible que pour l'échantillon n'ayant pas subi de prétraitement chimique.

Ces concentrations faibles en méthane peuvent être expliquées par deux facteurs. D'une part, la présence de composés qui entravent la méthanogenèse. D'autre part, la faible valeur du rapport C/N, qui est relativement bas (20).

Bien que la production de méthane n'ait pas été améliorée par le prétraitement chimique, l'on note tout de même que, dans le cas du prétraitement à 1 % de KOH, la production de méthane est sensiblement égale à celle sans prétraitement. Cet aspect est important, surtout que le digestat obtenu en fin de réaction est potentiellement enrichi en potassium. Cet enrichissement pourrait augmenter sa valeur du point de vue agronomique.

En tenant compte des résultats obtenus dans ces travaux, nous souhaitons d'une part approfondir la caractérisation des échantillons traités pour mieux comprendre les raisons des faibles taux de méthane, et d'autre part nous orienter vers une codigestion de la jacinthe d'eau. Cela permettrait d'améliorer son ratio C/N et d'impacter positivement la proportion de méthane contenue dans le biogaz. Cette approche vise

à augmenter la proportion de méthane pour que le biogaz puisse être utilisé à des fins telles que la production d'électricité ou de chaleur.

## Contribution des auteurs

**ASB** : a supervisé les travaux, rédigé le premier projet de manuscrit et révisé le manuscrit. **ET** : a conçu le projet, supervisé les travaux et révisé le manuscrit. **MCMJS** : a effectué les analyses et rassemblé les données. Tous les auteurs ont examiné et approuvé le manuscrit final.

## Conflit d'intérêt

L'ensemble des auteurs déclarent qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts.

## Références bibliographiques

- Achinas, Spyridon, et Gerrit Jan Willem Euverink. 2019. « Elevated Biogas Production from the Anaerobic Co-Digestion of Farmhouse Waste: Insight into the Process Performance and Kinetics ». *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy* 37 (12): 1240-49. <https://doi.org/10.1177/0734242X19873383>.
- Akendo, Innocent C O, Lawrence O Gumbe, et Ayub N Gitau. 2008. *Dewatering and Drying Characteristics of Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes) Petiole. Part II. Drying Characteristics*.
- Almoustapha, Oumarou, Jeanne Millogo-Rasolodimby, et Siméon Kenfack. 2008. « Production de biogaz et de compost a partir de la jacinthe d'eau pour un développement durable en Afrique sahéenne ». *Vertigo* 8-1. <https://doi.org/10.4000/vertigo.1227>.
- Bray, Douglas G., Gaurav Nahar, Oliver Grasham, et al. 2022. « The Cultivation of Water Hyacinth in India as a Feedstock for Anaerobic Digestion: Development of a Predictive Model for Scaling Integrated Systems ». *Energies* 15 (24): 9599. <https://doi.org/10.3390/en15249599>.
- Carlini, M., S. Castellucci, et A. Mennuni. 2018. « Water Hyacinth Biomass: Chemical and Thermal Pre-Treatment for Energetic Utilization in Anaerobic Digestion Process ». *Energy Procedia* 148 (août): 431-38. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.106>.

- Dioha, I J, C H Ikeme, T Nafi'u, et N I Soba. 2013. *EFFECT OF CARBON TO NITROGEN RATIO ON BIOGAS PRODUCTION*. 1 (3).
- Hendriks, A.T.W.M., et G. Zeeman. 2009. « Pretreatments to Enhance the Digestibility of Lignocellulosic Biomass ». *Bioresource Technology* 100 (1): 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.05.027>.
- Khotsa, Matlhase Daisy, Nqobile Monate Mkolo, Mmei Cheryl Motshudi, Mukhethwa Micheal Mphephu, Mmamudi Anna Makhafola, et Clarissa Marcelle Naidoo. 2025. « A Comprehensive Review of the Biology, Ecological Impacts, and Control Strategies of Eichhornia Crassipes ». *Diversity* 17 (8): 564. <https://doi.org/10.3390/d17080564>.
- Lahon, Durlov, Dhruvajyoti Sahariah, Jatan Debnath, et al. 2023. « Growth of Water Hyacinth Biomass and Its Impact on the Floristic Composition of Aquatic Plants in a Wetland Ecosystem of the Brahmaputra Floodplain of Assam, India ». *PeerJ* 11 (février): e14811. <https://doi.org/10.7717/peerj.14811>.
- Prasanna Kumar, D.Jaya, Ranjeet Kumar Mishra, Sampath Chinnam, Prakash Binnal, et Naveen Dwivedi. 2024. « A Comprehensive Study on Anaerobic Digestion of Organic Solid Waste: A Review on Configurations, Operating Parameters, Techno-Economic Analysis and Current Trends ». *Biotechnology Notes* 5: 33-49. <https://doi.org/10.1016/j.biotno.2024.02.001>.
- Rahmawati, Winda, Agus Haryanto, et Siti Suharyatun. 2018. « Development of Biodegradable Board Using Water Hyacinth (Eichornia Crassipes) ». *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* 3 (1): 170-74. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.1.21>.
- Sarker, Shiplu, Jacob J. Lamb, Dag R. Hjelme, et Kristian M. Lien. 2019. « A Review of the Role of Critical Parameters in the Design and Operation of Biogas Production Plants ». *Applied Sciences* 9 (9): 1915. <https://doi.org/10.3390/app9091915>.
- Show, Binoy Kumar, Gaayathri Shivakumaran, Apurba Koley, et al. 2023. « Effect of Thermal and NaOH Pretreatment on Water Hyacinth to Enhance the Biogas Production. » *Environmental Science and Pollution Research International (Germany)* 30 (57): 120984-93. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30810-3>.

- Singh, Buta, Zoltán Szamosi, et Zoltán Siménfalvi. 2020. « Impact of Mixing Intensity and Duration on Biogas Production in an Anaerobic Digester: A Review ». *Critical Reviews in Biotechnology* 40 (4): 508-21. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1731413>.
- Su, Weiping, Qingping Sun, Meisheng Xia, Zhengshun Wen, et Zhitong Yao. 2018. « The Resource Utilization of Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes* [Mart.] Solms) and Its Challenges ». *Resources* 7 (3): 46. <https://doi.org/10.3390/resources7030046>.
- Taherzadeh, Mohammad J., et Keikhosro Karimi. 2008. « Pretreatment of Lignocellulosic Wastes to Improve Ethanol and Biogas Production: A Review ». *International Journal of Molecular Sciences* 9 (9): 1621-51. <https://doi.org/10.3390/ijms9091621>.
- Zheng, Yi, Jia Zhao, Fuqing Xu, et Yebo Li. 2014. « Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Enhanced Biogas Production ». *Progress in Energy and Combustion Science* 42 (juin): 35-53. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2014.01.001>.

