

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITÉ SALAH BOUBNIDER, CONSTANTINE 03**  
**FACULTÉ DE GÉNIE DES PROCÉDÉS**  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE DE L'ENVIRONNEMENT**

N° d'ordre :... ..

Série :... ..

## **Mémoire**

**PRÉSENTÉ POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER**  
**EN GÉNIE DES PROCÉDÉS**  
**OPTION : GÉNIE DES PROCÉDÉS DE L'ENVIRONNEMENT**

# **Effet du cuivre sur le sur le rendement en biogaz**

**Présenté par :**

**DRIDI HOUNEIDA SERINE**

**Dirigé par :**

**DR :KHEIRELINE BANI**

**Année universitaire**

**2024-2025**

**Session : Juin**

## **PLAN DE MATIERES**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Introduction générale.....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>Chapitre I. Déchets Urbains .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>I.1 Définition des Déchets : .....</b>   | <b>12</b> |
| <b>I.2 Composition et Caractéristiques des Déchets Urbains : .....</b>              | <b>12</b> |
| <b>I.2.1 Les Déchets Industriels : .....</b>  | <b>12</b> |
| <b>I.2.2 Les Déchets Municipaux : .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>I.3 Principes Relatifs à la Gestion des Déchets : .....</b>                      | <b>13</b> |
| <b>I.4 Épluchure de Pommes de Terre : .....</b>                                     | <b>14</b> |
| <b>I.4.1 Composition Épluchure de Pommes de Terre : .....</b>                       | <b>14</b> |
| <b>Chapitre II. La digestion anaérobie et les prétraitements : .....</b>            | <b>17</b> |
| <b>II.1 Introduction : .....</b>  | <b>17</b> |
| <b>II.2 La digestion anaérobie : .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>II.2.1 Définition : .....</b>  | <b>18</b> |
| <b>II.3 Principe de la digestion anaérobie : .....</b>                              | <b>18</b> |
| <b>II.4 Le processus biologique de la digestion anaérobie : .....</b>               | <b>19</b> |
| <b>II.4.1 Les étapes successives : .....</b>  | <b>19</b> |
| <b>II.5 Applications de la digestion anaérobie : .....</b>                          | <b>20</b> |
| <b>II.6 Avantages et inconvénients de la digestion anaérobie : .....</b>            | <b>20</b> |
| <b>II.6.1 Avantages : .....</b>   | <b>20</b> |
| <b>II.6.2 Inconvénients : .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>II.7 Les prétraitements de la digestion anaérobie : .....</b>                    | <b>21</b> |
| <b>II.7.1 Prétraitement mécanique : .....</b>                                       | <b>22</b> |
| <b>II.7.2 Prétraitement thermique : .....</b>                                       | <b>22</b> |
| <b>II.7.3 Prétraitement biologique : .....</b>                                      | <b>22</b> |
| <b>II.7.4 II.7.4 Prétraitement chimique : .....</b>                                 | <b>22</b> |
| <b>II.8 Paramètres influençant la digestion anaérobie : .....</b>                   | <b>23</b> |
| <b>Chapitre III. Inhibition dans la Digestion Anaérobie : .....</b>                 | <b>25</b> |
| <b>III.1 Effets des Métaux Lourds sur la Digestion Anaérobie : .....</b>            | <b>25</b> |
| <b>III.2 Mécanismes d'Inhibition : .....</b>  | <b>25</b> |
| <b>III.3 Optimisation du Processus en Présence de Métaux Lourds : .....</b>         | <b>26</b> |
| <b>III.3.1 Ajout de Nutriments Trace : .....</b>                                    | <b>26</b> |
| <b>III.4 III.3 Facteurs Influent dans l'Interaction Métaux-Microorganismes.....</b> | <b>27</b> |
| <b>Chapitre IV. Méthodes et Analyse .....</b>                                       | <b>29</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>IV.1 Introduction.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>IV.2 Préparation du Substrat et de l'inoculum :.....</b>                                    | <b>32</b> |
| <b>IV.2.1 Substrat : Épluchures de pommes de terre :.....</b>                                  | <b>32</b> |
| <b>IV.2.2 L'inoculum : Boues anaérobies .....</b>  | <b>32</b> |
| <b>IV.3 compositions de la solution nutritive.....</b>   | <b>34</b> |
| <b>IV.4 Description des échantillons.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>IV.5 Présentation des protocoles expérimentale : .....</b>                                  | <b>36</b> |
| <b>IV.5.1 Mesure du volume de biogaz : .....</b>   | <b>36</b> |
| <b>IV.5.2 Détermination de la composition du biogaz : .....</b>                                | <b>36</b> |
| <b>IV.5.2.1 Méthode de mesure du méthane (CH<sub>4</sub>) :.....</b>                           | <b>36</b> |
| <b>IV.5.3 Analyse des matières solides : .....</b>   | <b>37</b> |
| <b>IV.5.3.1 Matières en suspension (MES) et matières volatiles en suspension (MVS) : .....</b> | <b>37</b> |
| <b>IV.5.3.2 Matières sèches totales (TS) et matières volatiles totales (TVS) : .....</b>       | <b>37</b> |
| <b>IV.5.4 Alcalinité et Demande Chimique en Oxygène (DCO) : .....</b>                          | <b>38</b> |
| <b>IV.5.4.1 Alcalinité partielle (TA) et totale (TAC) : .....</b>                              | <b>38</b> |
| <b>IV.5.4.2 Demande Chimique en Oxygène (DCO) :.....</b>                                       | <b>38</b> |
| <b>Chapitre V. Résultats et discussions.....</b>   | <b>40</b> |
| <b>V.1 Introduction .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>V.1.1 Rôle du substrat (épluchures de pommes de terre) dans la méthanisation .....</b>      | <b>40</b> |
| <b>V.1.2 Présentation des différents résultats de la biodégradabilité.....</b>                 | <b>40</b> |
| <b>V.1.3 Caractérisation d'inoculum et du substrat .....</b>                                   | <b>40</b> |
| <b>V.1.4 Caractérisation de la phase liquide avant incubation .....</b>                        | <b>41</b> |
| <b>V.1.5 Effets du CuSO<sub>4</sub> sur la production de biogaz :.....</b>                     | <b>42</b> |
| <b>V.1.6 Impact présumé sur la production de méthane .....</b>                                 | <b>44</b> |
| <b>V.2 Caractérisation de la phase liquide après incubation en phase mésophile :.....</b>      | <b>45</b> |
| <b>V.2.1 Evolution de l'alcalinité et PH :: .....</b>  | <b>46</b> |
| <b>V.2.1.1 Evolution de PH : .....</b>   | <b>46</b> |
| <b>V.2.2 Evolution de l'alcalinité : .....</b>   | <b>46</b> |
| <b>V.2.3 Rendement d'élimination des solides totaux et volatils (ST et SVT) :.....</b>         | <b>46</b> |
| <b>V.2.4 Rendement d'élimination de DCO totale et soluble :.....</b>                           | <b>47</b> |
| <b>V.3 Conclusion .....</b>  | <b>48</b> |
| <b>CONCLUSION GENERALE : .....</b>   | <b>50</b> |
| <b>Références : .....</b>  | <b>52</b> |

## Résumé

Une étude approfondie a été menée pour évaluer l'effet inhibiteur du  $\text{CuSO}_4$  à différentes doses, allant de 7,8 à 88,4 mg, dans des réacteurs batch appelés tests BMP. Les résultats ont révélé que la dose optimale de 14,1 mg permet une stimulation microbienne maximale sans engendrer de toxicité. En revanche, lorsque la concentration de  $\text{CuSO}_4$  atteint 35,54 mg, une diminution progressive de la production de biogaz est observée par rapport aux tests ne contenant pas de  $\text{CuSO}_4$ . Cette baisse devient encore plus marquée avec des doses plus élevées, telles que 70,7 mg et 88,4 mg.

Concernant la production de méthane ( $\text{CH}_4$ ), elle suit une tendance similaire à celle du volume global de biogaz. À faibles doses de  $\text{Cu}^{2+}$ , la production de méthane augmente, ce qui indique une activité optimale des bactéries méthanogènes. En revanche, à des doses élevées, la concentration en méthane diminue, ce qui est attribué à une inhibition biologique.

Ces résultats soulignent l'importance de contrôler la concentration de métaux lourds dans les systèmes de digestion anaérobie afin d'optimiser la production de biogaz et de méthane, tout en garantissant l'efficacité du processus de traitement des déchets organiques.

## ملخص:

تم إجراء دراسة معمقة لتقييم التأثير المثبط لكبريتات النحاس ( $\text{CuSO}_4$ ) بجرعات مختلفة تتراوح بين 7.8 و 88.4 ملغ، وذلك باستخدام مفاعلات دفعة تُعرف باختبارات BMP. أظهرت النتائج أن الجرعة المثلى، وهي 14.1 ملغ، تُحفّز النشاط الميكروبي إلى الحد الأقصى دون التسبب في أي سمية. ومع ذلك، عند وصول تركيز  $\text{CuSO}_4$  إلى 35.54 ملغ، لوحظ انخفاض تدريجي في إنتاج الغاز الحيوي مقارنةً بالاختبارات التي لم يُضف فيها  $\text{CuSO}_4$ ، ويصبح هذا الانخفاض أكثر وضوحاً عند الجرعات الأعلى مثل 70.7 ملغ و 88.4 ملغ.

أما بالنسبة لإنتاج غاز الميثان ( $\text{CH}_4$ )، فقد اتبع نمطاً مشابهاً لحجم الغاز الحيوي الكلي. ففي تركيزات منخفضة من أيون النحاس ( $\text{Cu}^{2+}$ )، يرتفع إنتاج الميثان، مما يدل على نشاط مثالي للبكتيريا المولدة للميثان. لكن عند الجرعات العالية، ينخفض تركيز الميثان بشكل ملحوظ نتيجة التثبيط البيولوجي.

تُبرز هذه النتائج أهمية مراقبة تركيزات المعادن الثقيلة في أنظمة الهضم اللاهوائي من أجل تحسين إنتاج الغاز الحيوي والميثان، وضمان كفاءة عمليات معالجة النفايات العضوية.

## Abstract:

An in-depth study was conducted to evaluate the inhibitory effect of copper sulfate ( $\text{CuSO}_4$ ) at various doses, ranging from 7.8 to 88.4 mg, in batch reactors known as BMP tests. The results showed that the optimal dose of 14.1 mg allows for maximum microbial stimulation without causing toxicity. However, when the  $\text{CuSO}_4$  concentration reaches 35.54 mg, a gradual decrease in biogas production is observed compared to the tests without  $\text{CuSO}_4$ .

This decline becomes even more pronounced at higher doses, such as 70.7 mg and 88.4 mg. Regarding methane ( $\text{CH}_4$ ) production, it follows a similar trend to the overall biogas volume. At low  $\text{Cu}^{2+}$  concentrations, methane production increases, indicating optimal activity of methanogenic bacteria. In contrast, at higher doses, the methane concentration drops significantly, which is attributed to biological inhibition.

These findings highlight the importance of monitoring heavy metal concentrations in anaerobic digestion systems to optimize biogas and methane production while ensuring the efficiency of organic waste treatment processes.