



Valeur qualitative du digestat issu d'un digesteur continu des effluents de manioc

Yapi Jean Louis Fernandez OSSEPE, Anauma Casimir KOKO*,
Nazo Edith KPATA-KONAN et N'zué Benjamin YAO

Université Jean Lorougnon Guédé de Daloa, Département de Biochimie et Microbiologie, UFR
Agroforesterie, BP 150 Daloa, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant ; E-mail : anaumako@yahoo.fr ; Tel : +2250707364095

Received: 16-04-2024

Accepted: 12-08-2024

Published: 31-08-2024

RESUME

La méthanisation des effluents issus de la fabrique d'attiéké produit en plus du biogaz, du digestat qui pourrait être utilisé en agriculture. Cette étude avait pour objectif de déterminer la qualité fertilisante de ce digestat en vue de son utilisation dans la culture du manioc. Ainsi, des digestats issus de trois productions ont été caractérisés selon des méthodes conventionnelles. Les données recueillies ont été soumises à des traitements statistiques. Les résultats ont révélé que les digestats avaient un pH moyen de $8,42 \pm 0,18$, une DCO de $207,68 \pm 60,64$ mg O₂/L, une DBO de $58,83 \pm 29,02$ mg O₂/L et un COT de $35,81 \pm 22,25$ mg/L. Ils renfermaient également des matières fertilisantes dont l'azote ($1,5 \pm 0,07$ g/L), le phosphore ($0,738 \pm 0,415$ g/L) et le potassium ($1,65 \pm 0,60$ g/L). Des éléments traces métalliques ont été quantifiés avec des valeurs moyennes conformes à la réglementation. Par ailleurs, les analyses microbiologiques ont montré la présence de coliformes totaux, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* d'une part et l'absence des *E. coli*, *Salmonella* sp, *Clostridium perfringens* et des ASR d'autre part. Dans l'ensemble, les résultats de l'étude ont montré que les digestats caractérisés présentaient des potentialités pour un épandage dans les cultures.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés : Epandage, cultures, valorisation, digestat, métaux lourds.

Qualitative value of digestate from a continuous cassava effluent digester

ABSTRACT

Methanization of effluent from attiéké factory produces, in addition to biogas, digestate that could be used in agriculture. The aim of this study was to determine the fertilizing quality of this digestate, with a view to its use in cassava cultivation. Digestates from three productions were characterized using conventional methods. The data collected was subjected to statistical analyses. The results showed that the digestates had an average pH of 8.42 ± 0.18 , a COD of 207.68 ± 60.64 mg O₂/L, a BOD of 58.83 ± 29.02 mg O₂/L and a TOC of 35.81 ± 22.25 mg/L. They also contained fertilizing elements including nitrogen (1.5 ± 0.07 g/L), phosphorus (0.738 ± 0.415 g/L) and potassium (1.65 ± 0.60 g/L). Trace metallic elements were quantified with average values in accordance

with regulations. Microbiological analyses showed the presence of total coliforms, *Staphylococcus aureus* and *Bacillus cereus* on the one hand, and the absence of *E. coli*, *Salmonella* sp, *Clostridium perfringens* and RSA on the other. Overall, the results of the study showed that the digestates characterized had the potential to be spread on crops.

© 2024 International Formulae Group. All rights reserved.

Keywords: Spreading, crops, valorization, digestate, heavy metals.

INTRODUCTION

La méthanisation est un processus de décomposition de la matière organique conduisant à la formation de deux composés valorisables : le biogaz et le digestat (Doublet et al., 2004 ; Kpata-Konan et al., 2011). Une contrainte majeure dans le développement des unités de méthanisation est la gestion efficace des digestats. En effet, les grandes quantités de digestats produites peuvent contribuer à un bilan environnemental et économique négatif pour l'installation de méthanisation (Tremier et al., 2014).

Pour y remédier, il s'avère nécessaire de mettre en place des systèmes de valorisation des digestats. Parmi les procédés de valorisation, l'épandage des digestats au champ apparaît comme une alternative crédible. Il a été utilisé avec succès dans la culture de haricot vert et de concombre en Côte d'Ivoire permettant d'améliorer les rendements de 11 et 13% respectivement (NITIDAE, 2020). Toutefois, les effets du digestat sur le rendement des cultures semblent différer en fonction du type de digestat, du type de cultures et des caractéristiques du sol (Tremier et al., 2014). Par conséquent, pour une meilleure utilisation des digestats dans les cultures, leur caractérisation tant physicochimique que microbiologique s'impose. La connaissance du produit est d'ailleurs la première étape de toute recherche de développement technologique (Miche, 1973). Par ailleurs, il est admis que la qualité physicochimique du digestat dépend principalement de la qualité des intrants qui sont digérés pendant le processus de la méthanisation (Doublet et al., 2004). Parmi les effluents utilisés dans la méthanisation figurent ceux issus des fabriques d'attiéké selon Kpata-Konan et al. (2019). Ces auteurs ont utilisé dans le cadre de leur étude, un digesteur

discontinu dans lequel les différents intrants sont renouvelés à chaque production. L'aspect des digestats issus de la méthanisation des effluents de manioc dans un digesteur continu n'a pas encore été abordé. Pourtant, une utilisation efficace de ces digestats en agriculture nécessite que leurs caractéristiques physicochimiques, leurs teneurs en matières fertilisantes et leur innocuité soient investiguées.

La présente étude vise donc à caractériser les digestats d'effluents de manioc produits dans un procédé de méthanisation en fonctionnement continu. La connaissance de la composition physicochimique, des teneurs en éléments traces métalliques et de la qualité microbiologique des digestats permettra d'envisager leur utilisation dans la culture du manioc sous forme d'engrais biologique.

MATERIEL ET METHODES

Matériel biologique

Le matériel biologique est un digestat liquide composé d'effluents de manioc, de l'urine humaine et de la bouse de vache (Figure 1). Ce digestat a été obtenu grâce à un digesteur continu dans lequel seul l'effluent est renouvelé, sur un site du projet VECDA à Daloa (Centre-ouest de la Côte d'Ivoire).

Méthodes

Production du digestat

Pour la production du digestat, des effluents de manioc, de l'urine humaine et de la bouse de vache ont été collectés. L'effluent de manioc provenait de l'activité des productrices installées sur le site du projet VECDA. Il était composé d'eau de lavage de la pulpe obtenue après l'épluchage des racines de manioc et du jus issu du pressage de la pâte de manioc fermenté. L'urine a été collectée à

travers les urinoirs et les toilettes sèches à déviation d'urine (TSDU) installés dans la ville (au niveau des marchés, des maquis, des restaurants et de l'Université). Concernant la bouse de vache, elle provenait du centre d'abattage de la ville de Daloa. Une fois les intrants collectés, s'en est suivie l'alimentation du digesteur.

Initialement, le digesteur a été alimenté avec de la bouse de vache et de l'eau pour ensemer le milieu réactionnel et amorcer la production du biogaz. Ensuite, de l'urine humaine a été ajoutée aux effluents de manioc collectés pour neutraliser leur pH. Pour ce faire, une quantité d'urine équivalant à 2/3 du volume de l'effluent à traiter a été utilisée. Une fois la neutralisation achevée, un volume de 200 L du mélange obtenu est pompé à l'aide d'une motopompe et introduit au fond du digesteur au moyen d'un tuyau. Le mélange ajouté pousse le digestat produit vers la sortie à travers le chemin des fosses dédiées à sa réception. Le renouvellement de l'effluent neutralisé a été effectué tous les 3 jours avec un même volume de 200 L.

Echantillonnage des digestats

Trois productions de digestat ont été faites au bout de trois mois à intervalle d'un mois chacune. Par production, trois échantillons de digestat de 25 L chacun ont été prélevés dans des bidons d'une capacité de 25 L et entreposés dans un hangar à la température ambiante. Ces échantillons soigneusement étiquetés ont été utilisés pour les analyses ultérieures tant physico-chimiques que microbiologiques.

Analyses physico-chimiques des digestats produits.

Les paramètres tels que le pH, la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biochimique en oxygène (DBO), la teneur en carbone organique total (COT) et la teneur en azote total (NTK) ont été déterminés sur les échantillons de digestats issus des trois productions. Ainsi, le pH a été mesuré avec un pH-mètre numérique (Consort P107, Belgique) selon la méthode AOAC (1990). Le dosage de la DCO a été réalisé selon la norme française

T90-101. Pour la mesure de la DBO, c'est la méthode manométrique basée sur le principe du respiromètre de WARBURG au cours duquel la respiration de la biomasse est directement mesurée par un OXITOP, qui a été utilisée. Le dosage du COT dans les échantillons a été effectué selon la norme française T90-102. Quant à la détermination de la teneur en azote total (NTK), la norme AFNOR NF T90-015 a été suivie.

Dosage des minéraux

Les éléments minéraux dosés comprenaient le phosphore (P), le potassium (K), le fer (Fe), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le plomb (Pb), le mercure (Hg), le chrome (Cr), l'arsenic (As), le cadmium (Cd) et le nickel (Ni). Les teneurs en ces éléments minéraux ont été déterminées suite à une analyse par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif (ICP-MS) (Coulibaly et al., 2023). Les résultats étaient obtenus directement avec le logiciel et calculés à l'aide d'une régression linéaire de la réponse des étalons.

Analyses microbiologiques

L'analyse microbiologique a consisté à la recherche et au dénombrement des Salmonelles, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Bacillus cereus*, coliformes totaux, *Staphylococcus aureus* et des aérobies sulfite-réducteurs (ASR). Des méthodes conventionnelles ont été utilisées pour ces analyses.

Analyses statistiques

L'exploitation statistique des résultats a été effectuée à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1. L'analyse de la variance (ANOVA) à un facteur et le test de LSD de Fisher ont été réalisés pour comparer les moyennes des variables analysées. Les différences sont considérées significatives pour les valeurs de $p < 0,05$. Par ailleurs, toutes les mesures ont été répétées trois fois. Pour l'étude des différenciations entre les digestats issus de trois productions, une analyse en composantes principales (ACP) a été effectuée en prenant en compte l'ensemble des paramètres physicochimiques et microbiologiques déterminés.



Figure 1: Echantillons de digestats.

P1 : Echantillon de digestat issu d'une première production et recueilli après un mois de fonctionnement ; P2 : Echantillon de digestat issu d'une deuxième production et recueilli après deux mois de fonctionnement ; P3 : Echantillon de digestat issu d'une troisième production et recueilli après trois mois de fonctionnement.

RESULTATS

Composition physicochimique des digestats

L'analyse statistique a montré que les valeurs du pH et de DCO restent statistiquement identiques pour les trois échantillons de digestat (Tableau 1). Les valeurs du pH ont oscillé de $8,28 \pm 0,05$ pour Production 1 (P1) à $8,62 \pm 0,47$ (Production 3 (P3)) avec une moyenne d'environ $8,42 \pm 0,18$. Celles du DCO sont comprises entre $165,30 \pm 58,26$ mg O₂/L (P3) et $228,87 \pm 0,05$ mg O₂/L (P1), avec une valeur moyenne de $207,68 \pm 60,64$ mg O₂/L.

Quant aux DBO, COT et NTK, les analyses statistiques ont révélé une différence significative entre les trois productions. Les valeurs de DBO ont varié entre $27,33 \pm 0,76$ (P3) et $84,5 \pm 0,5$ mg O₂/L pour Production 2 (P2) avec une moyenne de $58,83 \pm 29,02$ mg O₂/L. Celles du COT ont oscillé de $18,84 \pm 0,02$ (P2) à $61 \pm 0,01$ mg/L (P1) avec une moyenne de $35,81 \pm 22,25$ mg/L. Les valeurs de NTK sont comprises entre $0,8 \pm 0,01$ et $2,2 \pm 0,01$ g/L avec une moyenne de $1,5$ g/L.

Par ailleurs, les teneurs en phosphore ont varié de $0,326 \pm 0,002$ g/L (P3) à $1,157 \pm 0,003$ (P1) avec une moyenne de $0,738 \pm 0,415$ g/L. Cette variation a été révélée comme significative ($p < 0,05$) par l'analyse statistique. Il en est de même pour la teneur en potassium des échantillons de digestats. Avec une moyenne de $1,65 \pm 0,6$ g/L, les valeurs du potassium ont varié significativement entre $0,99 \pm 0,01$ (P1) et $2,16 \pm 0,01$ g/L (P3). Pour ces digestats, le rapport C/N est compris entre $0,019 \pm 0,001$ (P3) et $0,027 \pm 0,001$ (P1). Ces rapports sont tous inférieurs à 8 (Tableau 1).

Composition en éléments traces métalliques

Les teneurs en éléments traces métalliques sont consignées dans le Tableau 2. L'analyse statistique a révélé une différence significative entre les concentrations en fer des digestats produits. Les valeurs sont comprises entre $7,814 \pm 0,004$ (Production 3) et $23,707 \pm 0,003$ mg/L (Production 1). Tout comme pour le fer, les concentrations en chrome, mercure, arsenic, cadmium, nickel, cuivre, zinc et en plomb ont varié significativement d'une

production à l'autre. Les valeurs étaient comprises entre $0,014 \pm 0,001$ et $0,026 \pm 0,001$ pour le chrome, entre $0,002 \pm 0,001$ et $0,003 \pm 0,002$ pour le mercure, entre $0,011 \pm 0,001$ et $0,033 \pm 0,001$ pour l'arsenic, entre $0,005 \pm 0,001$ et $0,023 \pm 0,001$ pour le cadmium, entre $0,016 \pm 0,002$ et $0,043 \pm 0,004$ mg/L pour le nickel, entre $0,337 \pm 0,002$ et $0,906 \pm 0,020$ mg/L pour le cuivre, et entre $0,853 \pm 0,003$ et $3,190 \pm 0,001$ mg/L pour le zinc. Au niveau du plomb, les teneurs ont oscillé entre $0,010 \pm 0,001$ mg/L et $0,041 \pm 0,001$ mg/L. Par ailleurs, les teneurs de ces éléments traces métalliques étaient conformes à la norme NFU 44-051.

Caractéristiques microbiologiques des digestats

Les échantillons de digestats issus des trois productions analysées renfermaient des coliformes totaux ($1,3 \times 10^8$ - $1,5 \times 10^8$ UFC/mL), des *Staphylococcus aureus* ($2,4 \times 10^8$ - $2,6 \times 10^8$ UFC/mL) et des *Bacillus cereus* ($1,4 \times 10^8$ - $1,6 \times 10^8$ UFC/mL) (Tableau 3). Par ailleurs, la recherche et le dénombrement des microorganismes effectués sur ces échantillons de digestat ont révélé une absence de *Salmonella* sp., d'*E. Coli*, *Clostridium perfringens* et des Anaérobies Sulfito-Réducteurs.

Différenciation entre les digestats issus de trois productions successives

L'analyse du cercle de corrélation entre les variables caractérisant les digestats montre que les paramètres microbiologiques (*Bacillus cereus*, coliformes, Staphylocoques), le pH, les taux de plomb, de cuivre, de chrome, de mercure, d'arsenic, de cadmium, de phosphore, de potassium, de zinc, de fer, de COT, la DCO et le rapport C/N contribuent significativement à la composante 1. Pour la composante 2, ce sont les variables DBO, taux de nickel et taux d'azote qui y contribuaient significativement (Figure 2). Par ailleurs, les trois productions analysées ont été visualisées dans espace plan (Figure 3). A l'analyse, cette représentation dans le plan F1-F2 prend en compte 100% des différenciations entre les digestats issus des trois productions. Dans ce plan, les productions sont bien distinctes. La production 1 est caractérisée par les taux d'azote, de plomb, de cuivre et de COT élevés. La production 2 se différencie par la DBO élevée. Pour le digestat issu de la production 3, le taux de potassium, le taux de nickel, le pH et les charges de coliformes élevés le caractérisent.

Tableau 1 : Composition physicochimique de trois productions successives de digestat.

Paramètres	Production 1	Production 2	Production 3	MOYENNE
pH	$8,28 \pm 0,05^a$	$8,37 \pm 0,30^a$	$8,62 \pm 0,47^a$	$8,42 \pm 0,18$
DCO (mg O ₂ /L)	$228,87 \pm 38,14^a$	$228,87 \pm 76,29^a$	$165,30 \pm 58,26^a$	$207,68 \pm 60,64$
DBO (mg O ₂ /L)	$64,67 \pm 0,58^a$	$84,5 \pm 0,5^b$	$27,33 \pm 0,76^c$	$58,83 \pm 29,02$
COT (mg/L)	$61 \pm 0,01^a$	$18,84 \pm 0,02^b$	$27,58 \pm 0,01^c$	$35,81 \pm 22,25$
NTK (g/L)	$2,2 \pm 0,01^a$	$0,8 \pm 0,01^b$	$1,4 \pm 0,01^c$	$1,5 \pm 0,07$
Phosphore (g/L)	$1,157 \pm 0,003^a$	$0,73 \pm 0,002^b$	$0,326 \pm 0,002^c$	$0,738 \pm 0,415$
Potassium (g/L)	$0,99 \pm 0,01^a$	$0,178 \pm 0,03^b$	$2,16 \pm 0,01^c$	$1,65 \pm 0,6$
C/N	$0,027 \pm 0,001^a$	$0,022 \pm 0,001^b$	$0,019 \pm 0,001^c$	$0,023 \pm 0,004$

Les valeurs portant les mêmes lettres sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (Test LSD de Fisher). DCO : Demande chimique en oxygène ; DBO : Demande biochimique en oxygène ; COT : Carbone organique total ; NTK : Azote total ; C/N : Rapport carbone/azote.

Tableau 2 : Composition en éléments traces métalliques de trois productions successives de digestat.

Paramètres (mg/L)	Production 1	Production 2	Production 3	Moyenne	NORME NFU 44-051.
Fer	23,707 ± 0,003 ^a	16,103 ± 0,002 ^b	7,814 ± 0,004 ^c	15,875 ± 7,945	-
Chrome	0,026 ± 0,001 ^a	0,021 ± 0,001 ^b	0,014 ± 0,001 ^c	0,020 ± 0,006	< 120 mg/kg MS
Mercure	0,002 ± 0,001 ^a	0,003 ± 0,001 ^b	0,003 ± 0,002 ^c	0,003 ± 0,001	<2 mg/kg
Arsenic	0,033 ± 0,00 ^a	0,021 ± 0,001 ^b	0,011 ± 0,001 ^c	0,021 ± 0,01	< 18 mg/kg MS
Cadmium	0,023 ± 0,001 ^a	0,014 ± 0,001 ^b	0,005 ± 0,001 ^c	0,014 ± 0,008	< 3 mg/kg MS
Nickel	0,024 ± 0,001 ^a	0,016 ± 0,002 ^b	0,043 ± 0,004 ^c	0,028 ± 0,014	< 60 mg/kg MS
Cuivre	0,906 ± 0,020 ^a	0,337 ± 0,002 ^b	0,465 ± 0,002 ^c	0,569 ± 0,298	< 300 mg/kg MS
Zinc	3,190 ± 0,001 ^a	2,059 ± 0,001 ^b	0,853 ± 0,003 ^c	2,034 ± 1,168	< 600 mg/kg MS
Plomb	0,041 ± 0,001 ^a	0,010 ± 0,001 ^b	0,020 ± 0,001 ^c	0,024 ± 0,015	< 180 mg/kg MS

Les valeurs portant les mêmes lettres sur la même ligne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% (Test LSD de Fisher). MS : Matière sèche.

Tableau 3 : Charges microbiennes des digestats issus de la co-digestion d'effluents de manioc, d'urine humaine et de bouse de vache de trois productions successives.

Germes	Résultat en UFC/mL				Normes digestat
	Production 1	Production 2	Production 3	Moyenne	
Coliformes totaux à 37°C/24 h	1,3 x 10 ⁸	1,4 x 10 ⁸	1,5 x 10 ⁸	1,4 x 10 ⁸	<10 ³ UFC/mL
<i>E. coli</i> à 44°C/24 h	0	0	0	0	<5.10 ³ UFC/mL
<i>Salmonella</i> sp. à 37°C/24 h	0	0	0	0	Absence dans 25 g
<i>Staphylococcus aureus</i> à 37°C/24 h	2,6 x 10 ⁸	2,5 x 10 ⁸	2,4 x 10 ⁸	2,5 x 10 ⁸	
<i>Bacillus cereus</i> à 37°C/24 h	1,4 x 10 ⁸	1,6 x 10 ⁸	1,6 x 10 ⁸	1,53 x 10 ⁸	
<i>Clostridium perfringens</i> à 37°C/24 h	0	0	0	0	
ASR à 46°C/24 h	0	0	0	0	

UFC/mL : Unité Formant Colonie par millilitre ; ASR : Anaérobie Sulfite-Réducteurs.

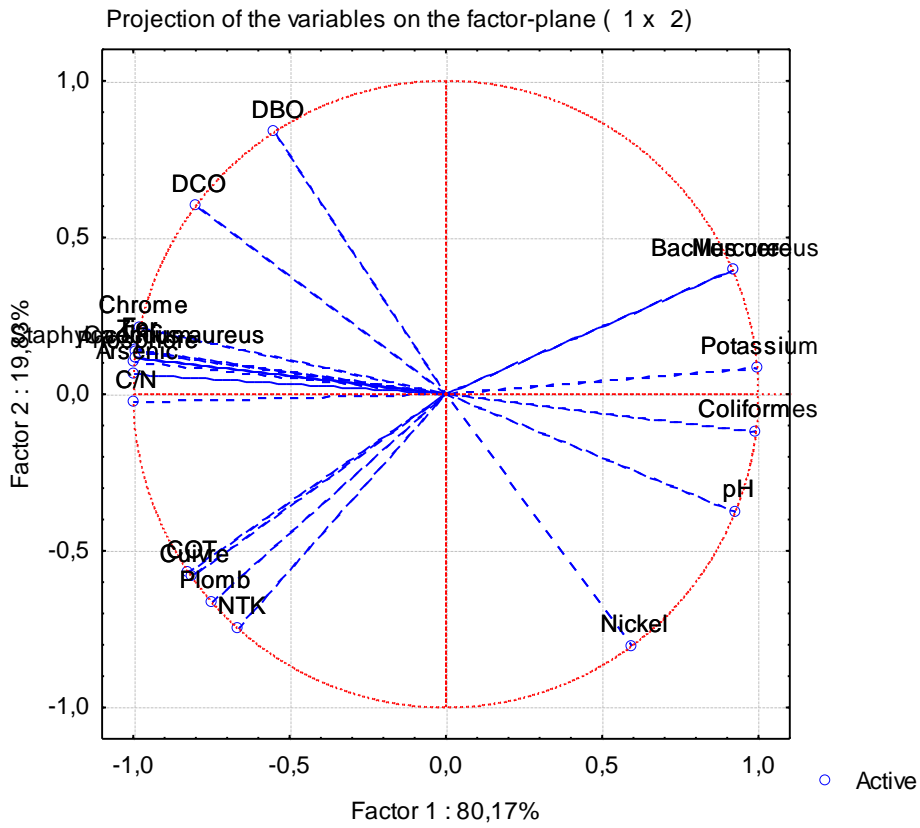


Figure 2 : Cercle de corrélation des variables caractérisant les digestats produits par ACP.

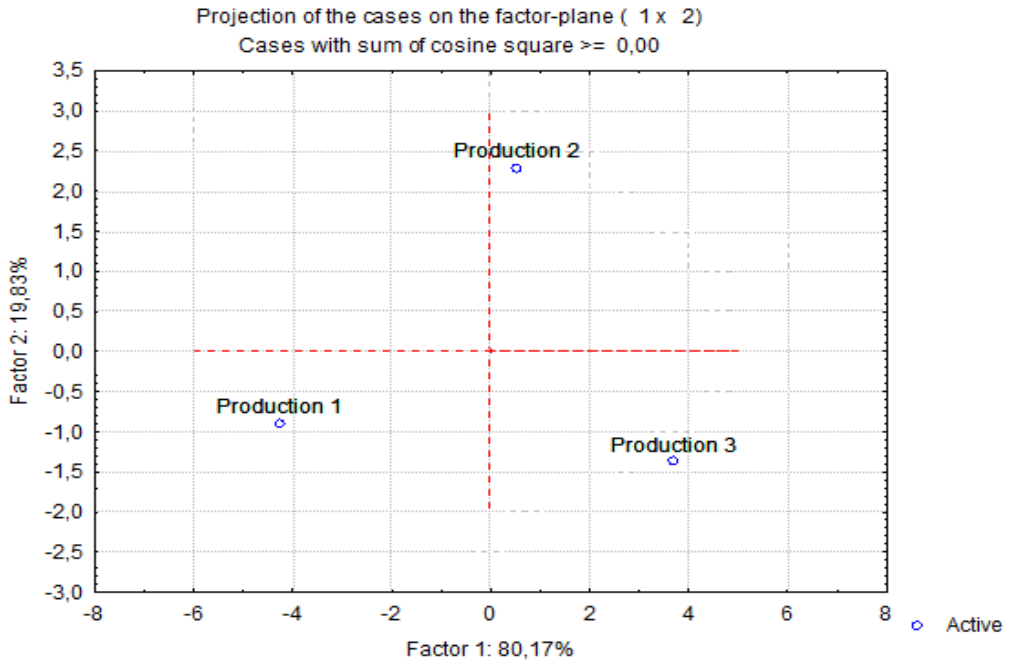


Figure 3 : Représentation des productions de digestat dans le plan F1 x F2 par ACP.

DISCUSSION

La détermination de la valeur agronomique d'un digestat est une importante étape pour sa valorisation en agriculture. Cela passe par sa caractérisation physicochimique et l'évaluation de son innocuité. C'est donc à cette fin que certains paramètres entre autres le pH, le COT, la DCO, la DBO, l'azote total, le potassium et le phosphore ont été déterminés dans des échantillons de digestats. Généralement, le pH des digestats est compris entre 6,5 et 8,5 (ADEME, 2011 ; Tremier et al., 2014 ; Tampio et al., 2016). Dans la présente étude, les valeurs de pH enregistrées pour les digestats issus des différentes productions se situent bien dans cette gamme. Selon Mosquera et al. (2010), un fertilisant dont le pH est proche de la neutralité est idéal pour baisser l'alcalinité des sols, favorisant ainsi l'assimilation du calcium et du magnésium par les plantes.

Par ailleurs, l'analyse statistique a révélé une variation significative des teneurs en COT entre les productions. Les valeurs moyennes de ce paramètre étaient largement inférieures à celles de la littérature (10 à 354 g C/L), rapportées par Reibel et al. (2018). Cette différence serait due à une importante perte de la quantité de carbone sous forme de biogaz au cours de la méthanisation (Tambone et al., 2009 ; Reibel et al., 2018). En effet, la méthanisation est un processus de dégradation de la matière organique. Aussi, de nombreux facteurs dont la nature des intrants, le temps de séjour et la technologie employée ont une influence sur le taux de dégradation de la matière organique (Carton et Bulcke, 2021). En outre, des indications sur la biodégradabilité des digestats produits ont été recherchées à travers la détermination de la DCO et la DBO. A ce propos, les valeurs enregistrées dans cette étude sont largement inférieures à celles respectives de 7290 mg/L et 2916 mg/L rapportées par Kpata-Konan et al. (2019) qui produisaient du digestat selon un processus discontinu. Les faibles valeurs observées seraient dues à une différence au niveau du procédé de méthanisation des effluents notamment le dispositif, le mode de fonctionnement et le temps de séjour du substrat dans les digesteurs. Aussi, ces

différences de valeurs peuvent être dues à l'activité des microorganismes présents dans le digestat. Le rapport moyen de DCO/DBO proche de 3 montre bien que les digestats produits sont biodégradables (IRE, 2007).

Par ailleurs, ces digestats contiennent des matières fertilisantes comme l'azote dont les teneurs étaient comprises entre les valeurs de 1,10 et 240 g/kg, rapportées par ADEME (2011). Les teneurs en azote total varient selon la nature et le mélange des intrants. Les valeurs les plus élevées sont observées dans les digestats provenant des lisiers de porc et des sous-produits animaux, tandis que les concentrations les plus faibles sont issues de la méthanisation des biodéchets (ADEME, 2011). Avec leur teneur moyenne en azote de 1,5 g/L, les digestats produits peuvent être utilisés en agriculture. Aussi, le rapport C/N inférieur à 8, permet de classer ces digestats dans la catégorie de fertilisants de type II selon la Directive Nitrate (91/676/CEE). Ainsi, l'azote libéré sera utilisable très rapidement par les cultures.

Outre l'azote, d'autres éléments fertilisants sont indispensables à la plante. C'est le cas du phosphore qui agit sur le développement des racines et intervient dans la multiplication cellulaire (GARONNE, 2021). Les teneurs en phosphore des digestats analysés sont accord avec celles comprises entre 0,5 et 50 g de phosphore /kg de MS rapportées par SOLAGRO-IRSTEA (2015) qui travaillaient sur les digestats issus de biodéchets et de déjections animales. En plus de l'azote et du phosphore, les digestats renferment d'autres matières fertilisantes notamment le potassium avec une valeur moyenne de 1,65 g/L. Ces valeurs sont en accord avec celles indiquées par Müller et Möller (2012), qui ont révélé qu'un digestat ayant une concentration en potassium comprise entre 1,5 et 11,5 g/L est idéal pour être utilisé comme engrais biologique.

A côté de ces matières fertilisantes, l'innocuité des digestats a été appréciée entre autres à travers la quantification des éléments traces métalliques (ETM). Le dosage de ces ETM dans les digestats qui seront par la suite épandus est indispensable puisqu'ils sont

d'importants contaminants d'écosystèmes et de chaînes alimentaires (Franconi et al., 2001 ; Yé et al., 2020). Selon ces auteurs, les fortes concentrations d'ETM entraînent des phénomènes de phytotoxicité chez les plantes, ont des effets négatifs sur la flore et la faune du sol et contaminent l'eau. Les problèmes liés aux ETM sont bien documentés (Dan-Badjo et al., 2014 ; Tremier et al., 2014 ; Fares et Sédaira, 2021 ; Dossou et al., 2022). Fort heureusement, dans la présente étude, les valeurs moyennes enregistrées dans les digestats sont conformes à la norme NF U 44-051 homologuée par AFNOR sur les ETM.

L'innocuité des digestats a été appréciée également par la détermination des caractéristiques microbiologiques. Pour celles-ci, les charges moyennes des germes inclus dans les digestats doivent être inférieures aux valeurs limites en microorganismes d'intérêt sanitaire. L'absence de germes pathogènes ou à potentialité pathogène (Salmonelles, *E. coli*, *Clostridium perfringens* et ASR) est donc un gage d'innocuité des digestats produits. Toutefois, des coliformes totaux, des *Bacillus cereus* et des *Staphylococcus aureus* y ont été dénombrés. Il est bien admis que les charges en microorganismes des digestats sont dépendantes des matières méthanisées et des conditions de méthanisation (Besson, 2010 ; ADEME, 2011). Aussi, selon Cuny (2015) une recontamination par des pathogènes au cours du stockage pourrait expliquer les charges de microorganismes dénombrés. En outre, il a été révélé que d'une production à l'autre, certaines caractéristiques du digestat varient. Cela peut s'expliquer par une variation dans la composition des matières méthanisées (ADEME, 2011). Toutefois, ces variations restent dans les limites recommandées. Au regard des paramètres microbiologiques globalement satisfaisants, des teneurs en ETM conformes aux normes et de la présence de matières fertilisantes, l'épandage des digestats dans des champs sous forme d'engrais biologique peut être envisagé.

Conclusion

Cette étude a été menée en vue de déterminer les caractéristiques

physicochimiques et microbiologiques des digestats issus de la digestion anaérobie des effluents de manioc pour une utilisation éventuelle sous forme d'engrais biologique. Il ressort de l'étude que les digestats ont un pH moyen de $8,42 \pm 0,18$, une DCO de $207,68 \pm 60,64$ mg O₂/L, une DBO de $58,83 \pm 29,02$ mg O₂/L et un COT de $35,81 \pm 22,25$ mg/L. Ils renferment également de l'azote (1,5 g/L), du phosphore (0,738 g/L) et du potassium (1,6 g/L). Des éléments traces métalliques ont été quantifiés avec des valeurs moyennes conformes à la réglementation. En outre, les analyses microbiologiques des digestats ont montré l'absence de germes pathogènes tels que *E. coli*, *Salmonella* sp, *Clostridium perfringens*, des ASR. Des coliformes totaux ($1,4 \times 10^8$ UFC/mL), *Staphylococcus aureus* ($2,5 \times 10^8$ UFC/mL) et *Bacillus cereus* ($1,53 \times 10^8$ UFC/mL) y ont été dénombrés. Au regard des valeurs observées et du rapport C/N < 8, le digestat liquide issu de la digestion anaérobie des effluents de manioc est classé comme un fertilisant de type II et présente des potentialités pour un épandage dans les cultures. Pour une meilleure utilisation dans la culture du manioc, la dose optimale d'épandage devra être déterminée.

CONFLITS D'INTERETS

Les auteurs déclarent qu'ils n'ont aucun conflit d'intérêts.

CONTRIBUTIONS DES AUTEURS

Les auteurs YJLFO, ACK, NEK et NBY ont contribué à la rédaction, à la lecture et à la correction du manuscrit. YJLFO a collecté les données et produit l'ossature du document. ACK a traité les données. NEK et NBY ont contribué à l'interprétation des résultats.

REFERENCES

ADEME. 2011. Qualité agronomique et sanitaire des digestats. Rapport final réalisée par RITTMO Agroenvironnement, Uteam, FIBL, INERIS, LDAR pour le compte de l'ADEME et le Ministère de

- l'Agriculture. Marché ADEME n° 0906C0053, p. 250.
- AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis* (15th Edition). Association of Official Analytical Chemist: Washington DC.
- Besson M. 2010. La méthanisation en zone AOC Savoyardes, Connaissance et maîtrise des aspects sanitaires liés à l'épandage de digestat. Rapport de stage, Licence Professionnelle COMESA, Université de Savoie, p. 37.
- Carton S, Bulcke Q. 2021. L'utilisation des digestats en agriculture – Les bonnes pratiques d'utilisation. Guide. ENGIE-AgroParisTech, France, p. 25.
- Coulibaly M, Yoboue BA, Soro D, Assidjo NE. 2023. Assessment Of Heavy Metals Content In Fresh And Dried Pepper Grown In Côte d'Ivoire. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, **17**(7) : 06-12. DOI: 10.9790/2402-1707010612
- Cuny A. 2015. Etude de la dynamique de bactéries pathogènes lors du stockage de produits résiduels organiques issus de la méthanisation : influence de déterminants biotiques (activité microbienne) et de la biodisponibilité de la matière organique. Master BioMANE, 2ème année, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (LBE), INRA, Narbonne (France), p. 55.
- Dan-Badjo TA, Tidjani AD, Idder T, Guero Y, Lamso DN, Matsallabi A, Ambouta KJM, Feidt C, Sterckeman T, Echevarria G. 2014. Diagnostic de la contamination des eaux par les éléments traces métalliques dans la zone aurifère de Komabangou – Tillabéri, Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **8**(6): 2849-2857. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i6.41>
- Dossou D, Bokossa KHJ, Adanlokonon SAE, Zounon Y, Adanlokonon IMS, Johnson CR, Fiogbe DE, Edorth P. 2022. Evaluation de la contamination métallique des sédiments et des crabes (*Callinectes amnicola*) du Lac Ahémé au sud Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **16**(5): 2424-2435. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v16i5.47>
- Doublet S, Leclerc B, Couturier C, Berger S. 2004. La qualité agronomique des digestats. Rapport final SOLAGRO. Etude réalisée pour l'ADEME : C/568 - N°2 – 12/04, p. 180.
- Fares R, Sédaira L. 2021. Stress abiotique sur *Atriplex halimus* L : Effet des métaux lourds et caractérisation des biomarqueurs. Mémoire Master, Ecophysiologie végétale, Université Larbi Tébessi –Tébessa, République Algérienne Démocratique et Populaire, p. 119.
- Franconi A, Cordeau E, Poitevin J, Camard J-P, Faytre L. 2001. La pollution des sols : impact sur l'environnement et la santé. *Note Rapide sur l'Environnement et la Santé*, **286**(1) : 1-6. Disponible sur : <https://www.institutparisregion.fr/nos-travaux/publications/la-pollution-des-sols-impact-sur-lenvironnement-et-la-sante/>
- GARONNE. 2021. Valorisation agronomique du digestat : étude préalable à l'épandage. GARONNE/BIOGAZ, p. 92.
- IRE. 2007. Pollution organique. Eau. Edition DRIRE/IRE, Nord-Pas-de Calais (France): 190-195.
- Kpata-Konan NE, Konan KF, Kouamé KM, Kouamé YF, Gnagne T, Tano K. 2011. Optimisation de la biométhanisation des effluents de manioc issus de la filière de fabrication de l'attiéké (semoule de manioc). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **5**(6): 2330-2342. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v5i6.13>
- Kpata-Konan NE, Kouamé YF, Kouamé KM, Konan KF. 2019. Characterization of Digestats from Anaerobic Co-Digestion of Manioc Effluent, Human Urine and Co Dung. *Journal of Water Resource and Protection*, **11**(6): 777-788. DOI: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2019.116047>.
- Miche JC. 1973. Amélioration des caractéristiques technologiques et nutritionnelles de quelques végétaux

- alimentaires. In : Réunion des Sélectionneurs de l'IRAT. Nogent-sur-Marne : GERDAT-IRAT, France, p. 10.
- Mosquera-Losada MR, Munoz-Ferreiro N, Rigueiro-Rodriguez A. 2010. Agronomic caractérisation of différent types of sexage slug: Policy implications. *Waste Manage*, **30**(3): 492-503. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.021>
- Müller T, Möller K. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestat nutrient availability and crop growth. *Engineering in Life Sciences*, **3**: 242-257. DOI : <https://doi.org/10.1002/elsc.201100085>
- NITIDAE. 2020. Valorisation du digestat liquide issu de la biodigestion de jus de manioc. https://www.nitidae.org/files/6ff5049c/rapport_de_valorisation_du_digestat_liquide_issu_de_la_biodigestion_de_jus_de_manioc.pdf.
- Reibel A, Geres, Leclerc B. 2018. Valorisation agricole des digestats : Quels impacts sur les cultures, le sol et l'environnement ? Revue de littérature. La méthanisation en Provence – Alpes – Côte d'azur, p. 63. Disponible sur : https://www.geres.eu/wp-content/uploads/2019/10/ARE1805.201.ENV_.VALOMOII.Etude_Digestats_VF.pdf
- SOLAGRO-IRSTEA. 2015. Etat de l'art des digestats et de leurs procédés de post-traitement. Rapport final février 2012-juin 2015, p. 76. Disponible sur : https://methasynergie.fr/wp-content/uploads/2020/03/Etat-de-lart-des-digestats-et-post-traitements_2015.pdf
- Tambone F, Genevini P, D'Imporzano G, Adani F. 2009. Assessing amendment properties of digestat by studying the organic matter composition and the degree of biological stability during the anaerobic digestion of the organic fraction of MSW. *Bioresource Technology*, **100**(12): 3140-3142. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.012>
- Tampio E, Martinen S, Rintala J. 2016. Liquid fertilizer products from anaerobic digestion of food waste: Mass, nutrient and energy balance of four digestat liquid treatment systems. *Journal of Cleaner Production*, **125**: 22–32. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.03.127>
- Tremier A, Buffet J, Picard S, Saint-Cast P. 2014. Caractérisation Physico Chimique Des Digestats Bruts Solides Et Liquides Et Stabilité Biologique Résiduelle. DIVA Livrables Tâche 3a. IRESTEA RENNES 17 avenue de Cucillé, ANR, p. 96. Disponible sur : <https://fr.scribd.com/document/334530705/DIVA-Livrables-Tache-3a-Characterisation-Physico-Chimique-Des-Digestats-Bruts-Solides-Et-Liquides-Et-Stabilite-Biologique-Residuelle>.
- Yé L, Lompo JPD, Sako A, Nacro BH. 2020. Evaluation des teneurs en éléments traces métalliques des sols soumis à l'apport des déchets urbains solides. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **14**(9): 3361-3371. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v14i9.31>