

Effets Des Digestats Sur La Qualité Agronomique Du Sol Dans La Commune d'Abomey-Calavi Au Sud Du Bénin

[Effects Of Digestates On The Agronomic Quality Of Soil In The Town Of Calavi In South Benin]

ZINSOUKLAN Justine S.¹, TCHAKPA Cyrille², SABI LOLO ILOU Bernadette³, AKOUTE Donald⁴, Sylvain DJIBOU⁵, Euloge OGOUWALE⁶,

¹Laboratoire Pierre PAGNEY "Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement" (LACEEDE), Cotonou Bénin ;

E-mail : justinezinsoukklan1986@gmail.com

²Université d'Abomey-Calavi (UAC) / FASHS / IGATE / Laboratoire Pierre Pagney Climat, Eau, Ecosystème et Développement (LACEEDE)/ Ecole Nationale Supérieure des Biosciences et Biotechnologies appliquées (ENSBBA) / BP 14 Dassa-Zoumè. Laboratoire des génétiques, Biotechnologie et Botanique Appliquées (GEBBA)/ (ENSBBA) / UNSTIM

E-mail : cyrille.tchakpa@gmail.com

³Université d'Abomey-Calavi (UAC) / Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT) / FASHS / Laboratoire de Cartographie (LaCarto)

⁴Biogaz Bénin agronome / Responsable et Développement agricole/

E-mail : rdagroecologiebgb@gmail.com / ogkelson@yahoo.fr

⁵Docteur et Enseignant-Chercheur au Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT) et Institut National du Cadre de Vie (ICaV), Tél : (+229)0166587949 ;

E-mail : sylvaindjibou@yahoo.fr* (correspondant)

⁶Professeur Titulaire des Universités du CAMES/Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT) ;

E-mail : ogkelson@yahoo.fr.



Résumé: La dégradation progressive de la fertilité des sols maraîchers au Bénin, combinée à la dépendance croissante aux engrais minéraux importés et aux difficultés de gestion des biodéchets urbains, pose un double défi agro-environnemental qui est autant d'interrogations qui motivent le choix de la présente recherche qui vise à évaluer l'effet des digestats sur la qualité agronomique du sol dans la ville de Calavi afin de contribuer à une gestion durable des déchets organiques dans la commune d'Abomey-Calavi et au Bénin. Dans ce contexte, la valorisation agronomique des digestats s'inscrit dans une logique d'économie circulaire et de transition agroécologique durable. Pour bien mener cette recherche, une démarche méthodologique a été adoptée. Elle porte sur la collecte, l'analyse et le traitement des données. Ainsi la collecte a été faite par les enquêtes de terrain, la recherche documentaire et des essais agronomiques en dispositif expérimental. L'analyse des données agronomiques ont été effectuées grâce aux laboratoires des Sciences du Sol, Eau et Environnement (LSSEE) de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) et des sciences de sol de la FSA et aux essais agronomiques en milieu BIOGAZ – Bénin. Les résultats montrent que l'utilisation des digestats, qu'ils soient liquides, solides ou combinés, a permis d'apporter une amélioration significative de la fertilité physico-chimique du sol, notamment en

comparaison avec le sol témoin non fertilisé et le sol ayant reçu uniquement de l'engrais chimique. Les bénéfices constatés par rapport à l'usage des digestats sont multiples : augmentation du pH, enrichissement en matière organique et azote, amélioration de la disponibilité des nutriments majeurs (P, K, Ca, Mg), et accroissement de la CEC. En revanche, l'engrais chimique seul n'a pas permis d'améliorer les propriétés structurales et biologiques du sol, et a même accentué l'acidité.

Mots clés : Abomey-Calavi, valorisation, digestats, agriculture biologique, économie circulaire.

Abstract: The progressive deterioration of the fertility of market gardening soils in Benin, combined with the growing dependence on imported mineral fertilizers and the difficulties of managing urban bio-waste, poses a double agro-environmental challenge which are all questions which motivate the choice of the present research which aims to evaluate the effect of digestates on the agronomic quality of the soil in the town of Calavi in order to contribute to sustainable management of organic waste in the commune of Abomey-Calavi and in Benin. In this context, the agronomic valorization of digestates is part of a logic of circular economy and sustainable agroecological transition. To properly conduct this research, a methodological approach was adopted. It concerns the collection, analysis and processing of data. Thus the collection was made through field surveys, documentary research and agronomic tests in an experimental setup. The analysis of agronomic data was carried out using the Soil, Water and Environmental Sciences (LSSEE) laboratories of the National Institute of Agricultural Research of Benin (INRAB) and soil sciences of the FSA and agronomic tests in a BIOGAZ environment – Benin. The results show that the use of digestates, whether liquid, solid or combined, made it possible to provide a significant improvement in the physicochemical fertility of the soil, particularly in comparison with the unfertilized control soil and the soil having received only chemical fertilizer. The benefits observed in relation to the use of digestates are multiple: increase in pH, enrichment in organic matter and nitrogen, improvement in the availability of major nutrients (P, K, Ca, Mg), and increase in CEC. On the other hand, chemical fertilizer alone did not improve the structural and biological properties of the soil, and even increased the acidity.

Key words: Abomey-Calavi, valorization, digestates, organic agriculture, circular economy.

INTRODUCTION

Aujourd'hui dans le monde entier, la dégradation des sols, la raréfaction des ressources fertilisantes et la nécessité de promouvoir une agriculture biologique durable devient une réalité incontournable. Pour satisfaire les besoins alimentaires de la population des pays en développement en forte croissance, la production alimentaire devra augmenter de 60% d'ici 2050 (FAO, 2014, p.15). Ainsi, la gestion rationnelle des ressources naturelles comme les sols agricoles constitue la base indispensable pour atteindre la sécurité alimentaire (Lacour, 2012, p.35). La valorisation des résidus organiques apparaît comme une alternative prometteuse car l'utilisation du digestat dans le domaine agricole peut améliorer la fertilité chimique, biologique des sols et favoriser la croissance des cultures.

Au Bénin en 2024 plus de 220000 tonnes d'engrais ont été importés (gouv.bj/article/2577). Or l'accroissement de la population génère des déchets qui peuvent être utilisés pour satisfaire ce besoin en engrais. Issu de processus de fermentation dans un milieu anaérobique, le digestat est le liquide obtenu après l'extraction du biogaz (Foyet, 2015, p.33). Leur richesse en éléments fertilisants (azote, phosphore, potassium) leur confère une valeur agronomique importante (Möller & Müller, 2012, p. 243). Selon Tambone *et al.* (2010, p. 405), leur valorisation agronomique fait partie des leviers de l'agriculture pour la lutte contre les changements climatiques. Au Sud du Bénin, dans le département de l'Atlantique, la commune d'Abomey-Calavi est la plus peuplée : 311.672 hbt avec un taux d'accroissement intercensitaire de 9.44 en 2002 selon le RGPH4 (INSAE, 2013). Dans ce milieu, le souci d'augmenter les rendements agricoles pour satisfaire la demande importante de produits agricoles induite par l'accroissement de la population entraîne l'usage intensif des engrais chimiques. Cette pratique appauvrit les sols, compromet la sécurité alimentaire, entraîne des effets néfastes sur l'environnement et sur la santé des consommateurs dus à la contamination des nappes phréatiques, des cours d'eau superficiels et la perte de la fertilité des sols (Awudja, 2019, p.2). Or, les digestats présentent de doubles intérêts agronomiques : contribuer au stock de carbone du sol et rendre disponible les éléments minéraux (N, P et K) pour les plantes (Reibel, 2018, p.4). Leur application est très utile pour la restauration des sols en dégradation ; elle permettra aux paysans d'assurer l'autosuffisance alimentaire et de réaliser des économies d'échelle. Ce travail s'articule autour d'un résumé,

d'une introduction, d'une approche méthodologique, des résultats, d'une discussion, d'une conclusion et d'une référence bibliographique.

Le secteur de recherche est situé entre 6°21'36" et 6°41'20" de latitude nord ; 2°12'14" et 2°25'55" de longitude est (Figure 1).

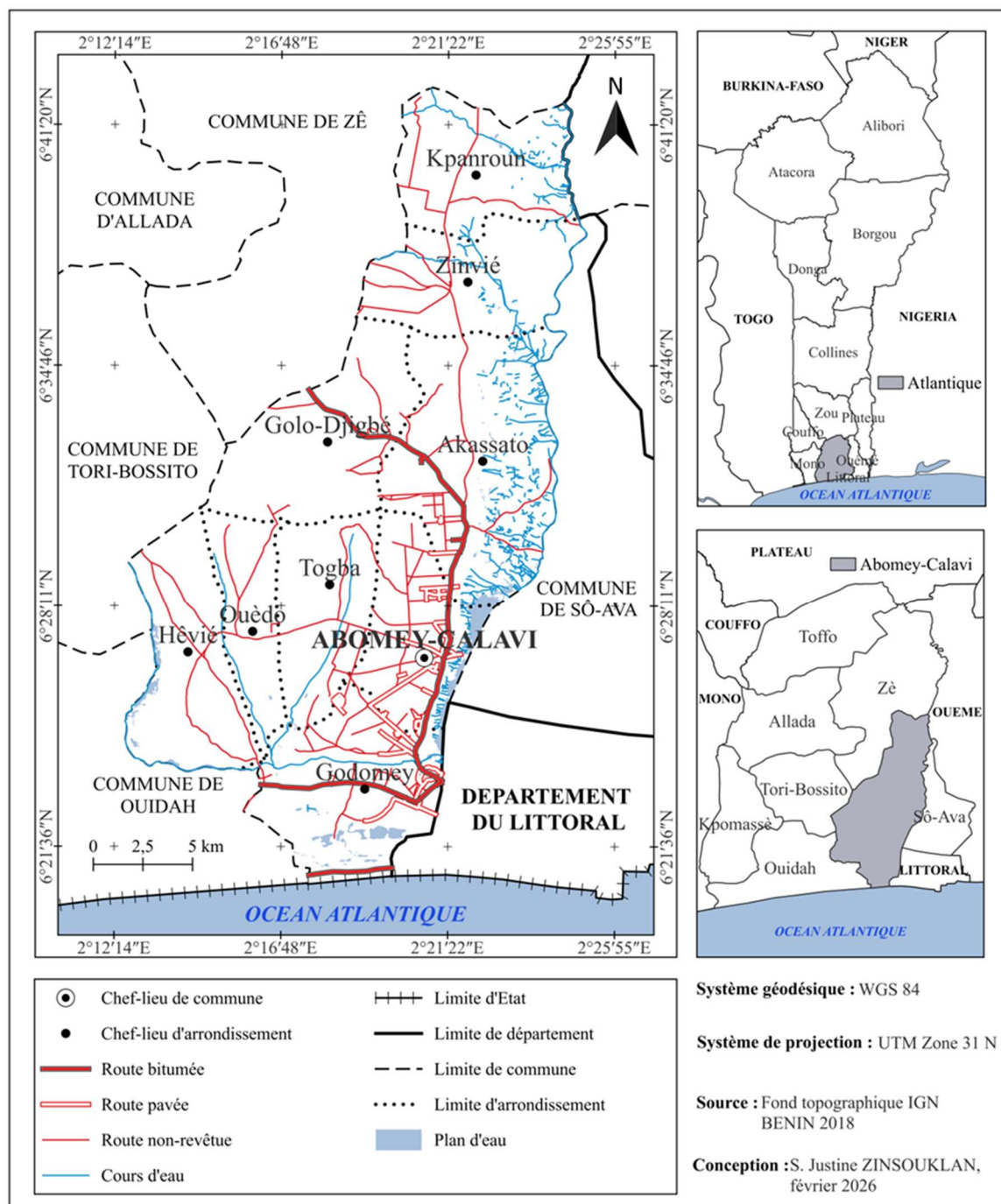


Figure 1 : Localisation de la commune d'Abomey-Calavi

Sol

La commune d'Abomey-Calavi a un relief peu accidenté. Ses principaux traits caractéristiques sont: une bande sablonneuse avec des cordons littoraux, un plateau de terre de barre et des dépressions. La partie septentrionale de la mairie est caractérisée par des dépressions rencontrées le long de la rivière Sô. La plus grande partie du territoire de la commune d'Abomey-Calavi est occupée par des sols ferrugineux tropicaux et des sols sablonneux. Les sols hydro morphes très inondables n'occupent qu'une petite partie au nord du territoire. Les terres cultivables sont estimées à 464,5 Km², mais subissent une forte pression du faite des implantations des habitations et sont en majorité peu fertile. La figure 2 présente la carte pédologique de la commune d'Abomey-Calavi.

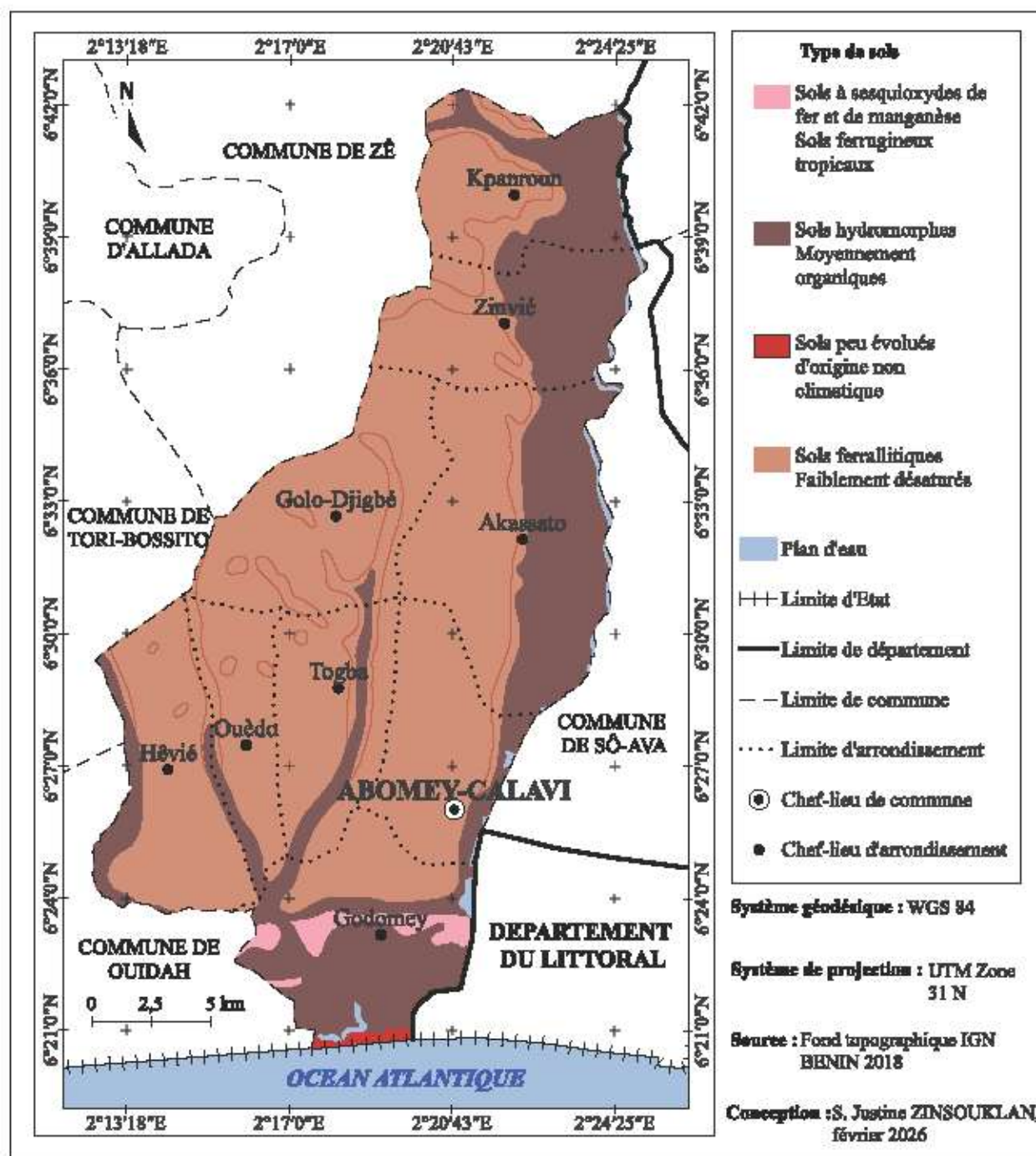


Figure 2 : Carte pédologique de la commune d'Abomey-Calavi.

1. Démarche methodologies de recherche

1.1 Analyse des effets de l'application des digestats sur la qualité agronomique du sol

1.1.1 Collecte des échantillons

La collecte a été effectuée au siège de Biogaz Bénin où les effluents de pisciculture sont drainés du bassin vers un réservoir. Deux échantillons de digestats ont été collectés dont l'un solide et l'autre liquide. Les échantillons ont été collectés en novembre 2025 autour de 14heures dans des bouteilles de collecte d'eau stériles et en respectant les conditions d'asepsie.

1.1.2 Présentation des échantillons

Le tableau I présente l'aspect des échantillons de digestat testé au cours de cette expertise. L'analyse macroscopique montre que les échantillons solides sont de couloir noir, boueux et malodorant et les échantillons liquides sont de couleur marron, trouble et malodorante.

Tableau I : Echantillons de digestats solides et liquides

Echantillons	Aspects de l'échantillon	Photos
Echantillon solide	Digestat de couleur noire, boueuse et malodorante.	
Echantillon liquide	Digestat de couleur marron, trouble et malodorante	

Source : L'analyse macroscopique des échantillons de digestat (LSSEE, 2024)

1.2 L'analyse des nutriments contenus dans les digestats

Les échantillons de digestats liquides et solides prélevés ont été analysés au Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement (LSSEE) du Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey (CRA-Agonkanmey/INRAB) et au laboratoire des sciences de la FSA. Les photos 1 et 2 présentent les digestats solide et liquide



Photo1 : digestat solide



Photo 2 : digestat liquide

Les analyses ont porté sur la Matière Sèche-Carbone et Matière organique et Acidité. Le taux de Matière Sèche (MS), de Carbone Organique Total (COT), de Matière Organique (MO), de Cendres (MS), le Rapport C/N, le Rapport MO/N, (le pH eau), les éléments fertilisants majeurs ou primaires (le taux d'Azote total (NT), de Phosphore (PO) et Potassium total (K₂O)) et les éléments fertilisants secondaires : le taux de Calcium total (CAO) et de magnésium total (MgO)) et les Oligots éléments à savoir le taux de Fer (Fe), de Cuivre (Cu) et de Manganèse (Mn) ont été analysés.

1.3. Méthode d'analyse

Le site d'essai a été Géolocalisé suivi d'une description des conditions climatiques et météorologiques de la zone. Trois points d'échantillonnage sont choisis dans l'objectif de réunir le sol pour des analyses physico chimiques.

Pour analyser l'effet des digestats sur la qualité agronomique du sol, l'analyse du sol témoin a été effectuée suivant la méthode ci-après :

1.3.1. Méthode d'analyse au niveau du site d'expérimentation

Les échantillonnages de sols ont été prélevés au niveau de l'horizon cultural dans les couches (20cm) de profondeur sur le site expérimentation qui couvre 300 m² selon la méthode des diagonales qui consiste à fixer au hasard trois points de prélèvement sur les diagonales des parcelles de l'expérimentation. Un échantillon de sol a été pris avant l'expérimentation et six échantillons ont été pris après l'expérimentation : il s'agit d'un échantillon de sol témoin, d'un échantillon de sol traité au digestat solide, d'un échantillon de sol traité au digestat liquide, d'un échantillon de sol traité au digestat mixte (solide +liquide), d'un échantillon de sol traité au engrais conventionnel (Urée, NPK), d'un échantillon traité avec le mélange des trois engrais utilisés. Ces échantillons ont été analysés au laboratoire des Sciences du Sol de la FSA pour déterminer les caractéristiques physiques et chimiques initiales et finales du sol. L'analyse granulométrique a été faite par la méthode de la pipette de Robinson-Kohn et le pH eau déterminé, à l'aide d'un pH-mètre en papier, dans une solution de sol avec rapport sol/eau de 1/2,5.

1.3.2 Echantillonnage et caractérisation des sols agricoles

1.3.2.1 Echantillonnage et analyse de sol

Tous les échantillons de sols ont été caractérisés en termes de pH eau, pHKCl, Eh, conductivité, MO, CEC, Corg et NTK suivant différentes méthodes. En plus de ces paramètres, la granulométrie a été déterminée et les teneurs des sols en Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Mn²⁺, Fe³⁺, Al³⁺, NO₃⁻ et NH₄⁺ ont été évaluées au sein du laboratoire du sol de la FSA.

1.3.2.2 Détermination du taux de matière organique

Le taux de matière organique (MO) a été déterminé par la méthode de Bell (Bell, 1964) qui consiste à sécher le sol sec tamisé et broyé à 0,2 mm à l'étuve à 105°C puis à l'incinérer au four à 550°C. Le taux de carbone organique a été obtenu en divisant celui de la MO par 1,724.

1.3.2.2 Détermination de la texture granulométrie

La texture est déterminée à partir de l'analyse granulométrique en utilisant la méthode de la pipette de Robinson (1949) basée sur la loi de Stokes. Un premier traitement assure la destruction de la matière organique par l'eau oxygénée, ensuite en l'absence de ciments particuliers, une longue agitation dans l'eau suffit en présence d'un dispersant l'hexamétaphosphate de sodium.

1.3.2.2 Détermination du pH eau du sol

Le pH (eau) a été déterminé par la méthode potentiométrique dans un rapport sol/eau distillée de 1/2,5. Le pH (KCl) a été déterminé par la méthode potentiométrique dans un rapport sol/solution de KCl 1 N de 1/2,5.

1.3.2.3 Détermination du taux de matière organique

Le taux de matière organique (MO) a été déterminé par la méthode de Bell (Bell, 1964) qui consiste à sécher le sol sec tamisé et broyé à 0,2 mm à l'étuve à 105°C puis à l'incinérer au four à 550°C. Le taux de carbone organique a été obtenu en divisant celui de la MO par 1,724.

1.3.2.4 Détermination de l'Azote

L'azote total est déterminé par la méthode de Kjeldahl (1883) consistant en une digestion acide suivie d'une micro-distillation. Le sol est traité par l'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré en présence d'un comprimé de sélénium (servant de catalyseur). La distillation est faite par entraînement de la vapeur en présence de 50 ml de NaOH 50%. Le distillat est recueilli dans un erlenmeyer qui contient 20 ml d'acide borique (H_3BO_3) et 4 gouttes d'indicateur à base de rouge de méthyle. Le titrage est fait avec l'acide sulfurique (H_2SO_4) 0,1 N.

1.3.2.5 Détermination du phosphore assimilable

La teneur en Pass a été déterminée en utilisant la méthode de Bray 1 (Bray and Kurtz, 1945). La solution d'extraction est composée de NH_4F et de HCl. Le filtrat est coloré par le molybdate d'ammonium en présence de l'acide ascorbique et l'intensité de la coloration est déterminée par colorimétrie à la longueur d'onde de 660 nm.

1.3.2.6 Détermination de la teneur en potassium, en calcium et magnésium

Les cations échangeables ont été déterminés par la méthode de Helmke et Sparks (1996). Elle consiste à lire les cations au spectrophotomètre d'absorption atomique (SAA) après extraction avec de l'acétate d'ammonium neutre.

1.3.2.7 Détermination de la texture

La texture est déterminée à partir de l'analyse granulométrique en utilisant la méthode de la pipette de Robinson (1949) basée sur la loi de Stokes. Un premier traitement assure la destruction de la matière organique par l'eau oxygénée, ensuite en l'absence de ciments particuliers, une longue agitation dans l'eau suffit en présence d'un dispersant l'hexamétaphosphate de sodium.

- **Le phosphore total** par la méthode de Duval consistant à la calcination de l'échantillon à 550°C pendant une nuit. La cendre est recueillie dans une solution de HNO_3 1N, l'ensemble est légèrement chauffé puis filtré dans une fiole. Le filtrat est coloré avec le molybdate d'ammonium en présence de l'acide ascorbique et l'intensité de la coloration est déterminée par colorimétrie à la longueur d'onde de 660 nm ;
- **Le potassium total, le calcium total et le magnésium total** par Spectrophotométrie à Absorption Atomique. Le reste des extraits obtenus à partir de la cendre recueillie dans une solution de HNO_3 1N a été utilisé pour ces analyses.
- La capacité d'échange cationique (CEC) est déterminée par la méthode Metson. Elle consiste à extraire ces bases et les protons H^+ par saturation du complexe argilo-humique à l'aide d'une solution d'acétate d'ammonium tamponnée à pH 7. Il est alors procédé au dosage des cations échangeables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ et Na^+) par spectrophotométrie d'absorption atomique. Après cette extraction, l'excès de solution tamponnée est rejeté par lavage du sol à l'éthanol à 95°. L'échantillon est agité en présence d'une solution de Chlorures de potassium qui permet de récupérer en retour l'ammonium préalablement fixé sur le complexe et dont le dosage par distillation permet de déterminer la CEC du sol.

1.3.3 Fertilisants utilisés

Ils concernent les fertilisants minéraux et ceux organiques

- **Fertilisants minéraux**

Trois types de fertilisants minéraux ont été utilisés dans la conduite de l'essai, à savoir l'urée, le NPK 10 20 20 et le sulfate de potassium.

- **Fertilisants organiques**

Deux types de fertilisants ont été produits, le digestat solide et le digestat liquide.

2. Résultats

2.1 Caractérisation physico-chimique du sol avant essais (état de fertilité du sol avant l'expérimentation).

Le tableau II présente les résultats d'analyse d'échantillon de Sol

Tableau I : résultats d'analyse d'échantillon de Sol

Echantillons	pH		MO	Nt	A	L	S	Pass	K	Ca	Mg	CEC
	H ₂ O	KCl	%		%		%		ppm	méq/100g		
1	5,62	5,08	1,014	0,046	4,8	13,22	81,46	21,36	0,37	2,87	0,92	4,37

Source : Analyse au laboratoire des Sciences du Sol de la FSA, J. S. Zinsoukian, MARS 2025

L'analyse physico-chimique du sol révèle plusieurs caractéristiques importantes influençant sa fertilité et son potentiel agronomique. Le sol présente une réaction acide, avec un pH de 5,62, ce qui peut limiter la disponibilité de certains éléments nutritifs essentiels comme le phosphore, le calcium et le magnésium. Cette acidité pourrait également freiner l'activité biologique du sol, notamment celle des micro-organismes utiles à la minéralisation de la matière organique.

La matière organique (1,01 %) est très faible, ce qui reflète une faible fertilité naturelle et une capacité réduite à retenir l'eau et les éléments nutritifs. Cette pauvreté organique se traduit aussi par un taux d'azote total très bas (0,046 %), suggérant un sol incapable de satisfaire les besoins azotés des cultures sans apports extérieurs.

Sur le plan textural, le sol est très sableux (81,46 %), avec peu d'argile (4,8 %) et une faible proportion de limon (13,22 %). Cette texture favorise un drainage rapide mais induit une faible capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs, accentuant les risques de lessivage, notamment dans les zones à fortes précipitations. La teneur en phosphore assimilable (21,36 mg/kg) est moyenne à bonne, bien que sa disponibilité puisse être réduite par l'acidité du sol. En revanche, les teneurs en potassium (0,37 cmol (+)/kg), calcium (2,87 cmol(+)/kg) et magnésium (0,92 cmol(+)/kg) sont relativement faibles, en particulier dans un contexte de sol sableux où ces éléments peuvent facilement être lessivés.

Enfin, la capacité d'échange cationique (CEC) de 4,37 cmol(+)/kg est très faible, ce qui indique une capacité limitée du sol à retenir les éléments fertilisants. Cela est typique des sols sableux pauvres en matière organique.

Il s'agit d'un sol acide, léger, pauvre en matière organique et en éléments nutritifs, avec une fertilité naturellement faible. Pour améliorer sa productivité, il serait nécessaire de : corriger l'acidité par des amendements calcaires ; d'enrichir le sol en matière organique (compost, fumier, engrais verts) ; d'apporter des fertilisants azotés, potassiques et magnésiens selon les besoins des cultures et d'envisager une gestion culturale adaptée pour limiter les pertes par lessivage.

Les résultats d'analyse montrent que le sol présente une acidité marquée, avec un pH de 5,62. Ce pH, inférieur à la neutralité, peut nuire à la disponibilité de certains éléments nutritifs essentiels (comme le phosphore, le calcium et le magnésium) et limiter le bon développement des cultures. Un amendement calcaire serait donc recommandé pour corriger cette acidité et améliorer la fertilité chimique du sol. La teneur en matière organique (1,01 %) est faible, ce qui indique une faible activité biologique et une structure

peu stable du sol. Cette faiblesse se reflète aussi dans la teneur en azote total (0,046 %), elle aussi insuffisante. Ces deux paramètres sont essentiels pour la nutrition des plantes et la rétention des nutriments. Un apport important de matières organiques (comme le compost, le fumier ou les engrais verts) serait nécessaire pour améliorer ces niveaux.

La composition granulométrique montre que le sol est largement dominé par le sable (81,46 %), avec peu d'argile (4,8 %) et de limon (13,22 %). Ce type de sol sableux est généralement très perméable, avec une faible capacité de rétention en eau et en éléments nutritifs, ce qui accentue les risques de lessivage. La texture sablonneuse explique également la faible capacité d'échange cationique ($CEC = 4,37 \text{ cmol (+)/kg}$), caractéristique des sols pauvres en argile et en matière organique. Sur le plan des éléments fertilisants, le phosphore (21,36 mg/kg) est en quantité correcte, bien que son efficacité puisse être limitée par le pH acide du sol. Le potassium échangeable (0,37 cmol (+)/kg) est moyen à faible, ce qui pourrait nécessiter un apport complémentaire en fonction des besoins de la culture. Le calcium (2,87 cmol (+)/kg) est également relativement bas, ce qui justifie d'autant plus un apport de chaux, qui corrigerait à la fois l'acidité et la carence en calcium. Le magnésium (0,92 cmol (+)/kg) est quant à lui à un niveau correct.

En résumé, ce sol est pauvre, acide, sableux et peu fertile. Pour améliorer sa productivité, il est essentiel de corriger l'acidité, d'apporter de la matière organique en quantité suffisante et d'ajuster les apports en éléments nutritifs selon les exigences des cultures envisagées. Ces améliorations permettront d'optimiser la disponibilité des nutriments et de renforcer la capacité du sol à soutenir une production végétale durable.

2.2 Caractérisation physico-chimique du sol après essais (état de fertilité du sol après l'expérimentation)

- **Résultats d'analyse de sol après utilisation des différents traitements**

L'évaluation des propriétés physico-chimiques du sol ferralitique après application de différentes sources d'engrais à savoir : Urée + MPK, sans apport d'engrais, digestats solide + liquide, Digestat liquide, Digestat liquide + engrais chimique, digestats solides + engrais chimique, digestats solide, (organiques, minéraux et combinés) a permis de mettre en évidence des améliorations notables comparées au témoin non fertilisé. Les paramètres clés analysés sont le pH, la matière organique (MO), l'azote total (Nt), la texture, les éléments nutritifs majeurs (P, K, Ca, Mg) et la capacité d'échange cationique (CEC). Le tableau III présente les résultats d'analyse physico-chimique de sol après essai. Le tableau II montre les résultats d'analyse physico-chimique de sol après essai.

Tableau III : Résultats d'analyse physico-chimique de sol après essai.

Echantillons	pH		MO	Nt	A	L	S	Pass	K	Ca	Mg	CEC
	H2O	KCl	%		%			ppm	méq/100g			
TC	5,13	4,63	0,949	0,04	4,11	14,18	80,86	19,939	0,285	1,994	0,855	4,047
T	5,46	4,88	1,096	0,058	4,09	13,82	81,61	23,019	0,329	2,302	0,987	5,042
TSL	6,02	5,62	1,867	0,09	4,06	14,41	80,92	28,208	0,560	3,921	1,680	8,588
TL	5,88	5,08	1,271	0,08	4,82	13,12	81,21	26,682	0,381	2,668	1,144	5,845
TLE	5,78	5,13	1,13	0,06	4,12	13,78	81,18	25,612	0,312	3,09	1,09	6,812
TSE	5,89	5,12	1,428	0,077	3,9	14,06	81,24	29,996	0,429	3,000	1,286	6,571
TS	6,07	5,82	1,769	0,075	4,78	13,89	80,46	27,145	0,531	3,714	1,592	8,137

Source : Travaux de terrain, mars 2025

Il ressort de l'analyse de ce tableau que la parcelle témoin sans apport présente un pH eau de 5,46, montrant une acidité modérée. L'application de digestats (solide et/ou liquide), seuls ou en combinaison avec des engrais chimiques, a permis d'améliorer considérablement le pH du sol, allant jusqu'à 6,07 avec le digestat solide seul, ceci traduit une réduction de l'acidité du sol. Cette neutralisation partielle de l'acidité constitue un avantage agronomique important, car elle favorise la disponibilité des éléments nutritifs. Par contre l'engrais chimique seul n'a pas permis d'améliorer le pH (5,13) du sol, mais plutôt à réduire par rapport au témoin, ce qui peut s'expliquer par son effet acidifiant sur le sol. Par conséquent, il y a une amélioration de la réaction du sol (pH).

Pour ce qui concerne l'enrichissement en matière organique et en azote, la teneur en matière organique est significativement améliorée avec l'apport des digestats, notamment : 1,87 % pour le digestat solide + liquide 1,77 % pour le digestat solide seul. Ces valeurs montrent une amélioration importante par rapport au témoin (1,096 %) et à l'engrais chimique seul (0,949 %), traduisant une régénération structurée du sol (amélioration progressive de la structure du sol) et une amélioration de l'activité biologique. L'azote total suit la même tendance, avec les teneurs les plus élevées dans les traitements à base de digestats, indiquant une transformation accrue de la matière organique en éléments minéraux et un accroissement de la disponibilité des nutriments pour les plantes.

Quant à l'évolution de la fertilité chimique (P, K, Ca, Mg) ; les apports organiques (digestats) ont intensément enrichi le sol en éléments nutritifs :

- Phosphore assimilable (Pass) : Le digestat solide + engrais chimique et le digestat solide + liquide ont abouti à des niveaux très élevés (près de 30 ppm), contre 23 ppm dans le témoin et 19,9 ppm avec engrais chimique seul.
- Potassium échangeable (K) : Des valeurs doublées ou triplées dans les sols amendés avec digestats (jusqu'à 0,560 méq/100g) par rapport au témoin (0,329).
- Calcium et Magnésium : Les traitements à base de digestats ont nettement amélioré la richesse du sol en bases échangeables, notamment le digestat solide + liquide (Ca = 3,92 méq/100g, Mg = 1,68 méq/100g), consolider la structure chimique du complexe absorbant (complexe argilo humide).

A propos de l'amélioration de la Capacité d'Échange Cationique (CEC) ; la CEC, indice principal de la capacité du sol à retenir les éléments nutritifs (référence centrale pour l'évaluation du pouvoir tampon du sol), a également montré une nette progression. Elle passe de : 5,04 méq/100g dans le sol témoin, à 8,58 méq/100g avec le digestat solide + liquide, Et 8,13 méq/100g avec le digestat solide seul. Cela confirme un renforcement de la capacité du sol à nourrir durablement les cultures, induit par l'apport organique.

3. Discussion

3.1 Qualité agronomique des digestats

La qualité agronomique d'un digestat est définie par la composition en éléments fertilisants qu'il contient, par l'efficacité de ces éléments lorsqu'ils sont apportés au système sol/plante par le digestat et par ses propriétés d'amélioration potentielles des qualités physiques, biologiques et structuraux sur le sol

3.1.1 Propriétés physiques des digestats

L'application du digestat solide sur le sol améliore la capacité d'échange cationique (CEC), le pH et augmente les teneurs en N, P, K, Mg et matière organique du sol. D'après nos résultats, le sol témoin sans apport présente un pH eau de 5,46 montrant une acidité modérée. Mais l'application de digestats (solide et/ou liquide), seuls ou en combinaison avec des engrais chimiques a permis d'améliorer considérablement le pH du sol, allant jusqu'à 6,07 avec le digestat solide seul, ceci traduit une réduction de l'acidité du sol. Donc, après l'application des digestats, si le pH a connu une légère augmentation on peut dire que ces résultats témoignent que les digestats souvent basiques peuvent neutraliser l'acidité des sols améliorant la disponibilité des éléments nutritifs (Soumaré et al, 2003).

Concernant l'enrichissement de la matière organique, les résultats obtenus montrent que l'application de digestats a induit une augmentation significative de la teneur en matière organique (MO) du sol, atteignant 1,87 % pour le digestat solide + liquide et 1,77 % pour le digestat solide seul. Ces valeurs sont nettement supérieures à celles du témoin (1,096 %) et de l'engrais chimique seul (0,949 %). Cette hausse témoigne d'un renforcement de la fertilité organique et d'une amélioration durable de la structure du sol. Ces observations sont en lien avec ceux de Möller et Müller (2012) qui ont indiqué que les digestats issus de la méthanisation fournissent une matière organique plus stabilisée que les effluents bruts. Les travaux de Thomsen, Olesen, Moller et *al.* (2013) ont confirmé que jusqu'à 58 % du carbone contenu dans le digestat peut être retenu dans le sol pendant plusieurs mois ou années, selon les conditions pédoclimatiques. Cette capacité de rétention du carbone explique la croissance plus élevée de la MO observée dans les traitements intégrant des digestats, notamment le mélange solide + liquide. La fraction solide du digestat étant particulièrement riche en composés organiques résistants à la décomposition, son apport contribue fortement à la construction du stock humique.

La teneur en azote total suit la même tendance que la MO, avec des valeurs plus grandes dans les traitements contenant des digestats. Ce résultat cadre avec les propriétés biochimiques des digestats dans lesquels l'azote est présent à la fois sous forme minérale (NH_4^+) et sous forme organique. Cette double présence explique l'élévation de l'azote total dans les sols. Quant aux Möller & Müller (2015), la fraction ammoniacale du digestat est immédiatement disponible pour les plantes, tandis que la fraction organique subit une progression minérale permettant un apport d'azote plus régulier dans le temps. La fraction solide du digestat étant plus riche en azote organique résistant. Il est normal que le traitement "digestat solide seul" se distingue également du témoin, bien qu'il soit légèrement inférieur à la combinaison solide plus liquide. Cette dernière incorporant davantage d'azote ammoniacal rapidement assimilable.

3.1.2 Effets biologiques et structuraux sur le sol

Les améliorations observées dans la MO et l'azote total ont aussi un impact majeur sur la biologie du sol. En effet, les digestats stimulent l'activité microbienne grâce à l'apport de substrats organiques fermentescibles. Sadet-Bourgeteau, Maron & Ranjard (2020) expliquent que l'application de digestats modifie la structure et la densité des communautés microbiennes, favorisant souvent les bactéries hétérotrophes responsables de la formation d'agrégats et de la minéralisation de l'azote. L'amélioration structurale observée dans nos sols traduits par une teneur en MO plus élevée peut ainsi être attribuée à la stimulation microbienne, qui renforce l'agrégation des particules et la stabilité structurale du sol.

Concernant l'évolution de la fertilité chimique ; le potassium contenu dans le digestat est presque totalement sous forme soluble. Leur épandage des sols agricoles présente un grand nombre d'avantages liés à la spécificité de la réaction de méthanisation (Tchatom, 2019). Au cours de la digestion, les 2/3 de la matière organique biodégradable (lipides, protides, glucides, cellulose, hémicellulose) est transformée en biogaz (CH_4 et CO_2). Cette transformation minéralise l'azote et le phosphore organique, diminue la teneur en matière sèche et diminue la phytotoxicité des substrats. La méthanisation améliore les critères d'efficacité du digestat traité. Les effets fertilisants sont améliorés : amélioration des rendements, conservation et meilleure utilisation des nutriments (et donc diminution des pertes et des pollutions sous forme NH_3 , N_2O , nitrates). Le potentiel d'humification des substrats n'est pas altéré par la méthanisation : la lignine et les autres molécules intervenant dans ce processus complexe ne sont que très peu dégradées lors de la digestion. En ce qui concerne l'innocuité des produits, la méthanisation permet d'obtenir un taux élevé d'élimination des polluants organiques et des germes pathogènes. Certains points de la valorisation agronomiques sont encore très peu connus (concernant les digestats mais aussi de façon générale). Il est donc nécessaire de raisonner par filière en fonction d'objectifs de valorisation agronomique et d'intégrer la méthanisation comme un moyen d'optimisation du retour au sol des matières organiques type d'effluents (ADEME, 2011). Toutefois, les effets des polluants peuvent être isolés par extraction de la fraction organique du digestat et en utilisant l'extrait de tests microbiennes du sol (Nyberg et al, 2004).

Les résultats obtenus prouvent que les apports organiques (digestats) ont intensément enrichi le sol en éléments nutritifs. Ainsi, au niveau du Potassium échangeable (K), noté des valeurs doublées ou triplées ont été notées dans les sols amendés avec digestats (jusqu'à 0,560 méq/100g) par rapport au témoin (0,329). D'autres auteurs ont prouvé que l'application de digestats peut enrichir les sols en potassium échangeable. Par exemple (Slepetiene et *al.*, 2019) ont montré que l'amendement par fraction solide de

digestat, à 170 kg N / ha a modifié le statut de fertilité (P_2O_5) et a augmenté le K_2O dans le sol (0–40 cm). Elle appuie l'idée qu'un digestat solide peut conduire à des gains substantiels de K disponible. Dans cet même ordre d'idée, (Hoffmann et *al.*, 2019) ont montré que l'apport de digestat + biochar a augmenté le potassium de +73.4 % par rapport au témoin. Cela correspond à presque un doublement ; ce qui est semblable à nos résultats car dans votre expérimentation les valeurs de K échangeables sont multipliées par 2 ou 3 après amendement avec digestats, ce qui indique un potentiel important de valorisation des digestats comme amendement potassique, surtout sur des sols carencés ou modérément pourvus en K échangeable. Alors, le digestat apporte directement du potassium sous forme échangeable (K^+) échangeable, ce qui augmente le pool K disponible pour les plantes ou l'adsorption. Par exemple, l'étude Agronomy (2020) a montré que l'application de digestat + paille a donné le plus haut contenu de K disponible par rapport au témoin. De même les résultats obtenus prouvent que les traitements à base de digestats ont nettement amélioré la richesse du sol en bases échangeables, notamment du calcium et du magnésium. En effet, il a été constaté que les teneurs enregistrées dans le sol amendé avec le digestat solide + liquide ($Ca = 3,92$ méq/100 g ; $Mg = 1,68$ méq/100 g) sont nettement supérieures à celles du témoin non amendé ; ce qui révèle une amélioration traduisant la forte teneur en éléments minéraux basiques du digestat, issus de la décomposition de la matière organique et des effluents agricoles utilisés pour sa production. En effet, ces résultats concordent bien ceux trouvés par beaucoup d'autres auteurs. Pour Möller et Müller (2012), le digestat issu de la méthanisation contient des quantités importantes de calcium, magnésium, potassium et sodium, sous des formes facilement assimilables par le sol, participent ainsi à élever la capacité d'échange cationique (CEC) et à corriger l'acidité. Ces auteurs ont soutenu que l'application régulière de digestat améliore la saturation en bases et la structure du sol grâce à une meilleure floculation des argiles. De plus, Tambone et *al.* (2010) ont observé, lors d'une étude comparative sur différents types de digestats, que les traitements combinant les fractions solides et liquides sont plus efficaces pour accroître les teneurs en Ca^{2+} et Mg^{2+} échangeables. Cette efficacité est attribuée à la libération progressive des éléments nutritifs provenant de la décomposition lente de la fraction solide, tandis que la fraction liquide fournit des éléments immédiatement disponibles. Ces observations expliquent la supériorité du traitement digestat solide + liquide dans la présente étude. Ces auteurs ont constaté également que l'épandage de digestat augmente significativement les teneurs en Ca^{2+} et Mg^{2+} échangeables, en particulier lorsque le digestat est utilisé sous forme solide combinée à la fraction liquide, car cette combinaison permet une libération progressive des nutriments.

Par ailleurs, les résultats de Rimena R. Domingues et *al.* (2020) portant sur l'amendement par biochar de sols très lessivés (Oxisols au Brésil) ont montré que l'ajout de biochar issu de résidus (coque de café, bagasse de canne, litière de volaille) à des taux de 2 – 20 % a significativement augmenté la CEC des sols (jusqu'à, par exemple, passage de 7,41 à 10,8 cmol c kg^{-1}) selon la source de biochar et la température de pyrolyse. Dans cette même logique (Domingues et *al.*, 2020) ont prouvé que l'augmentation de la CEC améliore le stockage des nutriments échangeables, réduit les pertes par lessivage et augmente la réserve d'ions indispensables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) sur le complexe argilo-humique ; ce qui traduit donc une meilleure capacité à nourrir durablement les cultures. De même Tesfaw, T., et *al.* (2024) ont confirmé d'après leurs travaux que les amendements organiques basés sur du biochar + fumier de bovin ou fumier de poulet composta ont permis des augmentations de CEC de 22 % à 53 % selon le traitement (et jusqu'à 26-87 % lorsque les fumiers de poulet étaient utilisés) par rapport au traitement témoin. Ils ont montré à travers leurs recherches que cette forte amélioration de la CEC est attribuée à la porosité et à la surface spécifique élevée du biochar, à ses groupes fonctionnels (carboxyle, phénol...), et à l'association avec matière organique minérale du fumier ; ce qui amplifie les sites d'échange de cations. Dans cette étude, les auteurs ont utilisé des composts issus de résidus agricoles + biochar et ont observé que la CEC était « significativement améliorée », l'explication mise en avant étant que « les groupes fonctionnels (carboxyle, phénol, alcool) des constituants organiques améliorent la rétention des cations non-acides (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+) ». Ces auteurs ont constaté que même sur des sols sableux peu fertiles, l'apport organique via compost et biochar permet d'augmenter la capacité d'échange cationique ; ce qui favorise la rétention des nutriments et donc la fertilité à long terme.

CONCLUSION

La présente recherche est menée pour évaluer la qualité agronomique des digestats solides et liquides issus des déchets organiques produits dans la commune d'Abomey-Calavi. Cette évaluation permet de confirmer que l'usage des digestats dans le maraîchage constitue une source d'amendement, de fertilisants indispensables et une alternative aux engrais minéraux. Cet usage raisonnable

dans le domaine agricole permettra de développer l'agriculture biologique et de protéger l'environnement d'une part et d'autre part contribuera à la réduction des émissions de gaz à effet de serre liés à la présence du méthane et du dioxyde de carbone. Il constitue aussi un levier très important pour améliorer la productivité agricole tout en préservant l'environnement. Il serait intéressant aussi de mener des études additionnelles pour savoir l'effet des digestats sur le rendement des cultures.

Références bibliographiques

- [1]. **Awudja K. W., 2019**, « Valorisation des déchets fermentescibles en agriculture urbaine dans la ville de Porto-Novo au Bénin », Université Senghor, master, 82 p.
- [2]. **Adifon, F. H., Yabi, I., Balogoun, I., Dossou, J., & Saïdou, A. , 2019**, « Impacts agronomiques des pratiques de fertilisation en maraîchage intensif sur la fertilité chimique des sols sableux du cordon littoral de Grand-Popo (Bénin) ». Mémoire, Université d'Abomey-Calavi.
- [3]. **Chidikofan, D. M. G. F., et al., 2023**, « Valorisation du digestat de méthanisation des déchets organiques dans le maraîchage au Bénin ». *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologie*, **41**, 11–29
- [4]. **Domingues, R. R., Sánchez-Monedero, M. A., Spokas, K. A., Melo, L. C. A., Trugilho, P. F., Valenciano, M. N., & Silva, C. A., 2020**, Enhancing Cation Exchange Capacity of Weathered Soils Using Biochar: Feedstock, Pyrolysis Conditions and Addition Rate. *Agronomy*, 10(6), Article 824. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060824>
- [5]. **FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture, 2014**. Les jeunes et l'agriculture, principaux enjeux et solutions concrètes en collaboration avec (CTA) et (FIDA), p.129
- [6]. **Foyet G. A. D., 2015**, « Valorisation par méthanisation-compostage des déchets solides des établissements hôteliers. » cas de la commune de Yaoundé 1^{er} au Cameroun à l'Université Senghor, Master en Gestion de l'environnement, 65p.
- [7]. **Hoffmann, A., et al. (2019)**. The effect of digestate from biogas plants alone and with the addition of biochar and zeolite on soil properties and sorghum yield. *BioResources*. (article details)
- [8]. **Möller, K., Müller T., 2012**, « Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability. » *Engineering in Life Sciences*, vol. 12, no 3, p. 242-257.
- [9]. **MÖLLER, K., 2015**, « Effects of anaerobic digestion on soil fertility. » *Agronomy for Sustainable Development*, vol. **35**, 1021-1041
- [10]. **REIBEL G. A., 2018**, « Valorisation agricole des digestats : Quels impacts sur les cultures, le sol et l'environnement ? *Revue de littérature Groupe Energies Renouvelables, Environnement et Solidarités* » Provence- d'Azur ALPES d'azur, 63 p.
- [11]. **Sadet-Bourgeteau, S., Maron, P.-A., & Ranjard, L., 2020**, « Impact des digestats de méthanisation sur la qualité biologique des sols agricoles ». *Agronomie Environnement & Société*, 10(1), 13–24.
- [12]. **Sadet-Bourgeteau, S., Ranjard, L., Maron, P.-A., & INRAE, 2024**, « Projet Métha-BioSol : Impact des digestats sur la qualité biologique des sols ». INRAE, Dijon
- [13]. **Slepetiene, A., Volungevicius, J., Jurgut is, L., Ceseviciene, J., et al., 2019**, The potential of digestate as a biofertilizer in eroded soils of Lithuania. *Waste Management*, 102, 441-451. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.008>
- [14]. **Tambone, F., Scaglia, B., D'Imporzano, G., Schievano, A., Orzi, V., Salati, S., & Adani, F, 2010**,. « Assessing amendment properties of digestate. *Chemosphere* », 81, 577–583. 7 p
- [15]. **Tesfaw, T., et al. , 2024**, Sustainable soil health and agricultural productivity with biochar-based indigenous organic fertilizers in acidic soils: insights from Northwestern Highlands of Ethiopia. *Discover Sustainability*, Article 3. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00380-6>
- [16]. **Tcha-thom Maglwa 2019**, THO Recherche d'une filière durable pour la méthanisation des déchets de fruits et d'abattoirs du Togo : Evaluation du potentiel agronomique des digestats sur les sols de la Rfaso ARWA/AE, 76, Thèse de Doctorat à l'Université De Lomé en Co - tutelle Avec l'Université de Limoges, 204p.
- [17]. **Tilman, D., Cassman, K., Matson, P., Naylor, R., & Polasky, S., 2002**, Agricultural sustainability. *Nature*, 418, 671-677
- [18]. **Thomsen, I. K., Olesen, J. E., Moller, H. B., Sorensen, P., & Christensen, B. T., 2013**, Carbon dynamics and retention in soil after anaerobic digestion of dairy cattle feed and faeces. *Soil Biology & Biochemistry*, 58, 82–87.