

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Réf :/UAMOB/FSNVST/DEP.AGRO/23

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV **Filière :** Sciences Agronomiques
Spécialité : Science du sol.

Présenté par :

IHDENE Sofiane

Thème

Conception d'une méthode innovante de la fertilisation du sol

Soutenu le :

Devant le jury composé de

Nom et Prénom

Grade

FARID LIBDIRI

MAA

Univ. de Bouira

Président

MAZARI AIT. KACI

MAA

Univ. de Bouira

Encadrant

SALIM LAMINE

MCA

Univ. de Bouira

Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciement

Tout d'abord je remercie le Bon Dieu de m'avoir donné la force, la santé et la patience, afin que je puisse accomplir ce modeste travail.

Ma profonde gratitude va :

À mon promoteur, M. Ait KACI Mazari, qui a déployé d'énormes efforts tant dans la recherche que dans l'enseignement. Je lui exprime ma gratitude pour sa confiance, son soutien, ses conseils et sa disponibilité. Ses qualités personnelles et professionnelles sont une source d'enrichissement inestimable à tous égards. Je lui adresse ici mes plus sincères remerciements et mon admiration.

Mes vifs remerciements vont également à Mr LEBDIRI Farid pour l'honneur qu'il me fait en président le jury d'examineur ;

Je suis reconnaissant aussi pour Mr LAMINE Salim par sa présence dans ce jury et pour l'intérêt qu'il a porté à mon travail.

Au terme de ce travail, il m'est très agréable d'exprimer toute ma gratitude, ma reconnaissance et mes très vifs remerciements à l'équipe du laboratoire du BNEDER.

A toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

IHDENE Sofiane

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A la mémoire de mes grands-parents ;

A mes parents ;

A ma femme et mes enfants « ALI Amayas et Adam » ;

A mes frères et sœurs et leurs familles ;

A ma belle-famille ;

A mes amis et leurs familles.

IHDENE Sofiane

Liste des figures

Figure 01 : la matière organique, clé de voûte de la fertilité du sol.....	3
Figure 02 : Dégradation de la matière organique et de ses composants au cours de l'humification.....	4
Figure 03 : courbe schématique de l'évolution de la température au cours du compostage	7
Figure 04 : Exemple d'une coupe d'un andain en phase thermophile, montrant l'hétérogénéité des températures	8
Figure 05 : Fractionnement des substances humiques.....	13
Figure 06 : collecte de déchet organique agroalimentaire et fiente de volaille	15
Figure 07 : mise en tas (petit andain) de la matière organique trié pour la compostée	16
Figure 08 : ajout des agents stimulants de l'activité bactérienne.....	16
Figure 09 : retournement des andains et vérifications de la maturation du compost	17
Figure 10 : Séparation de l'Humine (précipité) et les acides humiques et fulviques (surnageant)	18
Figure 11 : séparation entre l'Humine (photo 1) et les acides humiques et fulvique (photos 2).....	18
Figure 12 : acidification de la solution par l'un des trois acides	19
Figure 13 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur la CE	26
Figure 14 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur la CE	26
Figure 15 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur l'Azote	27
Figure 16 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur le Phosphore	27
Figure 17 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur le Phosphore	27
Figure 18 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur le Potassium	28
Figure 19 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur le Ca	28
Figure 20 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur le Ca	28
Figure 21 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur le Mg	29
Figure 22 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur le Mg	29
Figure 23 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur le Sodium	30
Figure 24 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur la M.O	30
Figure 25 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur la M.O	30
Figure 26 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur le Fer	31
Figure 27 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur le Fer	31
Figure 30 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur le Zinc	32

Liste des Tableaux

Tableau 01 : Analyse des paramètres physico-chimiques de la composition des deux composts	21
Tableau 02 : L'analyse des paramètres physico-chimiques de la composition des deux Humines	22
Tableau 03 : L'analyse des paramètres physico-chimiques des deux solutions issus des « C. Fiente » et « C.Indu. » acidifiés par l'acide nitrique	23
Tableau 04 : L'analyse des paramètres physico-chimiques des deux solutions issus des « C. Fiente » et « C.Indu. » acidifiés par l'acide phosphorique	24
Tableau 05 : L'analyse des paramètres physico-chimiques des deux solutions issus des « C. Fiente » et « C.Indu. » acidifiés par l'acide sulfurique	25

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
Chapitre I : Synthèse Bibliographique	2
I.1. La matière organique :	2
I.1.1. Le rôle de la matière organique dans le sol :	2
I.1.2. Dégradation de matière organique dans le sol :	3
I.1.3. L'Humus :	4
I.1.4. L'état de la matière organique des sols algériens :	5
I.2. le compostage et compost :	5
I.2.1. Définition du compostage	6
I.2.2. Le principe du compostage :	6
I.2.3. Les matières compostables :	6
I.2.4. Les phases du compostage :	7
I.2.5. Compost : avantages et inconvénients	9
I.3. Rôles et effets des substances humiques	11
I.3.1. Influences sur le sol	11
I.3.2. Influences sur les plantes	12
I.4. Méthode d'extraction des substances humiques	13
Chapitre II : Matérielle et méthode	15
II.1. Origine des déchets organiques compostés	15
II.2. méthodologie (Protocole expérimental)	15
II.2.1. technique de compostage	15
II.2.2 Méthode d'échantillonnage	17
II.2.3. Extraction des substances humiques :	17
II.2.4. analyse physico-chimiques :	19

II.3. Analyse des données :.....	20
Chapitre III : Résultats et discussions	21
III.1. L'analyse physico-chimique des deux composts :.....	21
III.2. L'analyse des deux Humines issus des deux composts (C. Fiente et C.Indu.)	22
III.3. L'analyse des six échantillons acidifiés	23
III.3.1. L'analyse des échantillons acidifiés par l'acide nitrique	23
III.3.2. L'analyse des échantillons acidifiés par l'acide phosphorique :.....	24
III.3.3. L'analyse des échantillons acidifiés par l'acide sulfurique :.....	24
III.3.4. L'analyse de l'effet de l'acidification par rapport aux paramètres étudiés :.....	25
III.4. Interprétation des résultats analytique :.....	32
III.4.1. Interprétation des résultats analytique des deux composts (C. Fiente et C.Indu.)	32
III.4.2. Interprétation des résultats analytique des deux Humines issus de C. Fiente et C. Indu	33
III.4.3. Interprétation de l'effet de l'acidification par rapport aux paramètres étudiés	34
Conclusion :.....	36

Introduction

Introduction

La dégradation de la matière organique, qu'elle émane de plantes ou d'animaux, représente un processus essentiel qui garantit le recyclage des composants de la matière vivante (Nicola Senesi et Loffredo 2018). Cette transformation graduelle joue un rôle crucial dans la pédogenèse et influe sur le fonctionnement global du sol à travers ses composantes physique, chimique et biologique. L'humus résulte de la décomposition de cette matière organique par les micro-organismes du sol (Insam 1996). La décomposition de la matière organique dans les sols algériens est conditionnée par les variations pédoclimatiques du nord au sud, englobant différents étages bioclimatiques. Les zones semi-arides et arides, couvrant la majeure partie du territoire algérien, présentent une activité biologique limitée et des taux de matière organique très bas (Karabi, Hamdi, et Zenkhri 2016; Mohamed et al. 2019; Karabi et al. 2015).

Les agriculteurs de ces régions recourent à des amendements organiques comme la fiente de volaille et le fumier pour remédier à cette situation, mais la formation d'humus stable est entravée par la faible activité biologique des sols. Cela soulève des préoccupations quant à la gestion de la matière organique apportée, limitant son efficacité. Afin d'optimiser l'enrichissement du sol en matière organique stable (humus), des approches alternatives comme le compost ou la matière organique maturée issue du compostage sont envisagées.

Les composés humiques, communément connus sous le nom d'humus, s'associent aux argiles pour former un complexe colloïdal appelé complexe argilo-humique (CAH) (Duchaufour, 1979). Leur fonction cruciale dans les écosystèmes se manifeste par leur contribution à la croissance des plantes et leur capacité à atténuer les fluctuations environnementales du sol (Abid et al. 2023; Aissaoui et Barkat 2020; Oustani, Halilat, et Chenchouni 2015).

Pour extraire ces composés humiques (acide humique, acide fulvique et humine), il est nécessaire de les fractionner. Ce processus de séparation repose sur la solubilité des molécules dans l'eau en fonction du pH. Cette extraction est réalisée à partir de solutions alcalines qui aboutissent à la formation d'une phase insoluble, l'humine, et d'une phase soluble, son acidification forme deux fractions : acide humique et acide fulvique (Ukalska-Jaruga et al. 2021).

L'objectif de ce travail est de séparer en premier l'Humine des acides humiques et fulvique, dans un milieu alcalin, ensuite de d'acidifier le surnageant par trois acides différents (acide nitrique, acide phosphorique et acide sulfurique) pour obtenir un produit à un pH égal à 4.

Chapitre I :

Synthèse Bibliographique

Chapitre I : Synthèse Bibliographique

I.1. La matière organique :

La matière organique, également désignée sous le nom de matière carbonée, est définie comme la matière spécifique présente chez les organismes vivants, qu'ils soient d'origine végétale ou animale (STEVENSON J., 1994). La production de la matière organique dans la biosphère est essentiellement le fruit de la photosynthèse, via le processus de la conversion de l'énergie solaire en énergie biochimique.

La décomposition de la matière organique représente le processus fondamental garantissant le recyclage des éléments constitutifs de la matière vivante (Mustin M., 1987). Dans le sol, elle dépend des caractéristiques du sol et ceux de l'environnement local comme le climat (pluie, température, ...) et les éléments minéraux du substrat géologique. Cette incorporation progressive joue un rôle important dans la pédogenèse.

I.1.1. Le rôle de la matière organique dans le sol :

La Matière Organique dans le Sol (MOS), peut être définie comme une matière carbonée provenant d'organismes vivants et de la décomposition des résidus organiques incluant ceux d'origine végétale, animale et microbienne (STEVENSON J., 1994). Cette matière organique composée d'éléments principaux (le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote) et des éléments secondaires (le soufre, le phosphore, le potassium, le calcium et le magnésium) joue un rôle important dans le fonctionnement global du sol au travers de ses composantes physique, chimique et biologique des sols (HADDADJ L. et HADDAD A., 2020) :

- A. Rôle physique :** L'association des argiles avec les matières organiques, formant ainsi le complexe argilo-humique, contribue à la création d'agrégats, renforçant ainsi la stabilité structurelle et la porosité des sols. Cette interaction améliore le régime hydrique des sols, favorisant la circulation de l'eau, la capacité de drainage, la rétention d'eau dans les horizons supérieurs, tout en réduisant leur vulnérabilité à la dégradation telle que le lessivage, la compaction, la battance et l'érosion par ruissellement.
- B. Rôle chimique :** Les matières organiques servent de source d'éléments minéraux par le biais de la décomposition et de la minéralisation, tout en améliorant le stockage de ces éléments (capacité d'échange cationique) et leur disponibilité (diffusion dans la solution du sol). Elles jouent un rôle crucial dans la prévention de l'acidification des sols. De plus, les matières organiques favorisent la complexation des éléments traces métalliques, limitant ainsi leurs

effets toxiques, et contribuent à la rétention des micropolluants organiques et des pesticides, réduisant ainsi la pollution des eaux.

C. Rôle biologique : En favorisant l'activité biologique du sol, notamment celle des vers de terre et de la biomasse microbienne, les matières organiques stimulent les processus de dégradation, minéralisation et humification (renouvellement des matières organiques), améliorant ainsi la porosité biologique des sols. À la fin du processus de compostage, les composts matures abritent une communauté diversifiée et importante de microorganismes mésophiles. Ainsi, l'apport de compost dans le sol ne se limite pas seulement à l'apport de matières humiques contenant des composés minéraux, mais inclut également l'introduction de microorganismes vivants (LARBI, M., 2006).

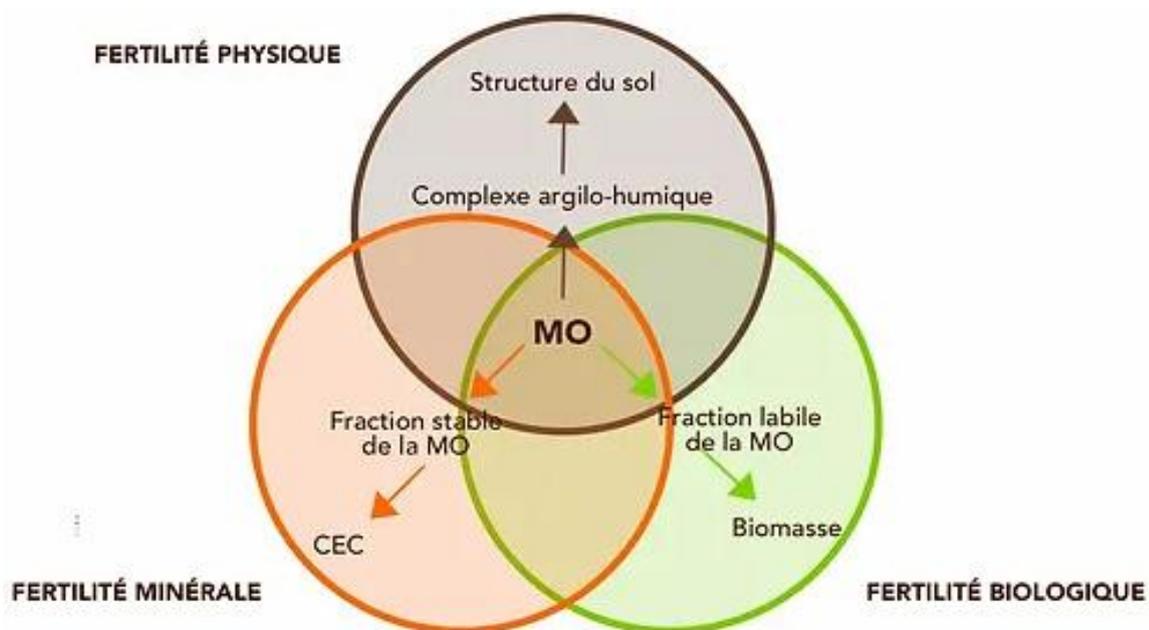


Figure 01 : la matière organique, clé de voûte de la fertilité du sol (TERREOM 2023)

I.1.2. Dégradation de matière organique dans le sol :

Les végétaux développent grâce à la photosynthèse de la matière organique et, une fois les végétaux morts, ou les feuilles mortes pour les végétaux à feuilles caduques, cette matière organique est dégradée et transformée par les micro-organismes du sol et quelques décomposeurs, notamment les vers, les arthropodes et les larves d'insectes (**Fig. 02**). Une partie de cette biomasse, souvent appelée litière en domaine forestier, est incorporée dans les sols sous forme d'humus. Cet humus à son tour va servir à la croissance des autres végétaux, en fournissant les éléments minéraux que la seule photosynthèse ne permet pas de synthétiser (François Baudin et al., 2017).

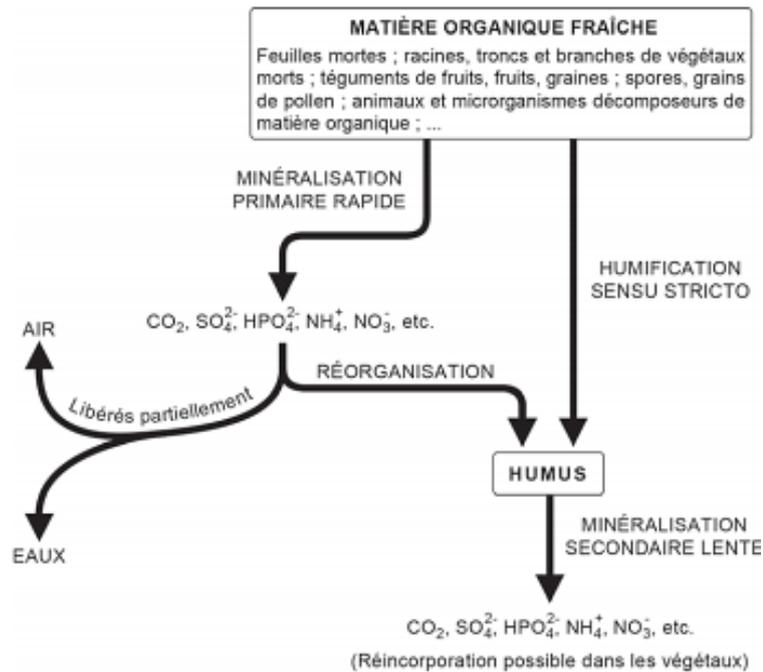


Figure 02 : Dégradation de la matière organique et de ses composants au cours de l’humification(Baudin, Tribovillard, et Trichet 2021)

I.1.3. L’Humus :

Les molécules de matière organique fraîche subissent initialement un processus de décomposition microbienne, libérant des composés souvent solubles. Une partie de ces composés subit une reminéralisation, c'est-à-dire qu'elle est transformée en composés minéraux solubles ou gazeux. Ces processus, connus sous le nom de minéralisation primaire, se déroulent assez rapidement (quelques mois) dans les sols riches en micro-organismes (Karabi, Hamdi, et Zenkhri 2016).

Une autre partie des composés organiques subit une réorganisation chimique au cours de la formation de l'humus, un processus appelé humification. Une autre fraction de ces composés n'est pas sujette à la minéralisation et agit comme une structure fondamentale pour la création de nouvelles molécules, souvent très complexes. Ces molécules organiques prédominent dans la composition de l'humus et sont fréquemment liées à des minéraux, généralement des argiles, ainsi qu'à des oxydes et hydroxydes de fer. Cela donne naissance à ce que l'on nomme des complexes organo-métalliques ou organo-minéraux. Ces complexes possèdent eux-mêmes un pouvoir complexant et adsorbant très prononcé à l'égard des métaux (François Baudin et al., 2017). Ils forment ainsi de véritables éponges à éléments chimiques. Enfin, ces composés organiques se minéralisent à leur tour, mais beaucoup plus lentement que la matière organique fraîche ; on parle alors de minéralisation secondaire, qui s'étend sur des années ou des centaines d'années, en fonction du contexte climatique et de la nature des sols.

L'humus est constamment en renouvellement, avec la formation continue de nouveaux composés tandis qu'une portion est réabsorbée par les végétaux vivants et qu'une autre est perdue, principalement par solubilisation dans les eaux de percolation. Le taux de renouvellement (ou turnover) est rapide lorsque la litière est abondante (dans des sols biologiquement actifs et en présence d'eau), entraînant un faible stock d'humus incorporé au sol, et vice versa.

I.1.4. L'état de la matière organique des sols algériens :

L'évolution ou la dégradation de la matière organique dans les sols algériens est liée aux conditions pédoclimatiques des différentes zones agro-écologiques. Ce phénomène diffère selon la diversité des étages bioclimatique du nord vers le sud, et se manifeste comme suit :

- Au niveau des étages bioclimatiques humide et subhumide : la dégradation de la matière organique est plus ou moins poussée résultant d'une activité biologique importante comparativement aux étages bioclimatiques semi-arides et arides ;
- Au niveau de ces derniers, représentant 95 % du territoire national, dont 80 % dans le domaine hyperaride (Halitim A. 1983), les sols sont caractérisés par une faible activité biologique, ce qui se traduit par des taux de matière organique très faibles.

Ces taux de matière organique très faibles ont contraint les agriculteurs de ces dernières zones à avoir recours aux amendements organiques (essentiellement la fiente de volaille et fumier) pour y remédier. Bien que ces apports contribuent à l'augmentation des taux de la matière organique et l'enrichissement du sol en éléments minéraux, ils ne contribuent pas à fournir le sol en matière organique stable (humus) consécutif à la mauvaise activité biologique de ces sols. Cela pose la problématique de la gestion de cette matière organique apportée très peu ou pas dégradée ce qui limite son efficacité.

Afin d'optimiser cette efficacité, de nouvelles méthode d'apport sont à expérimenter telles que le compost ou la matière organique mûrée issus du procédé de compostage.

I.2. le compostage et compost :

D'une manière globale, le compostage peut être décrit comme un processus biologique qui garantit la décomposition des éléments organiques présents dans les sous-produits et déchets, transformant ainsi ces matières en un produit organique stable, abondant en composés humiques, à savoir le compost.

L'intérêt premier d'un compost est d'être un amendement organique permettant d'améliorer la fertilité des sols.

I.2.1. Définition du compostage

Bien qu'il existe de nombreuses définitions scientifiques du compost et du compostage, nous retiendrons celles-ci :

Le compostage est un procédé de dégradation biologique de la matière organique en présence d'air et d'eau (aérobie). Il aboutit à la production d'un amendement organique, le compost (Mustin M., 1987).

Le compostage est un processus contrôlé de dégradation des constituants organiques d'origine végétale et animale, par une succession de communautés microbiennes évoluant en condition aérobies, entraînant une montée de température, et conduisant à l'élaboration d'une matière organique humifiée et stabilisée. Le produit ainsi obtenu est appelé compost (FRANCOU, C., 2003).

I.2.2. Le principe du compostage :

Le compostage repose sur le principe d'une transformation aérobie des matières organiques. Ainsi, les déchets à traiter doivent permettre une circulation adéquate de l'air, assurant ainsi l'apport nécessaire en oxygène pour la respiration des microorganismes jusqu'au cœur des tas. Il est important que la granulométrie des matières traitées ne soit pas trop fine. En cas de matières premières trop fines ou trop riches en eau, il est essentiel de les mélanger avec des structurants favorisant une bonne circulation de l'air et se dégradant lentement (ADEME, 2015).

I.2.3. Les matières compostables :

Le compostage est applicable à l'ensemble des matières organiques, qu'elles soient plus ou moins fermentescibles, ainsi qu'à tout déchet organique provenant des secteurs industriel, agricole et urbain, pouvant être traité par voie biologique via le compostage (N. Senesi 1989) :

- Les boues issues des stations d'épuration (STEP) : ce sont des résidus générés par le processus de traitement des eaux urbaines. Ces boues sont caractérisées par une teneur élevée en matière organique, ainsi qu'en azote et en phosphore. Elles peuvent également renfermer des éléments traces métalliques (ETM) ou des composés organiques traces (COT).
- Les déchets verts : sont des déchets organiques formés de résidus de l'entretien des espaces verts, des zones récréatives, des jardins privés, des serres, etc... il s'agit principalement des feuilles mortes, des tontes de gazon, des tailles de haies et d'arbustes etc.
- Les déchets ménagers : sont des déchets issus de l'activité domestique des ménages et pris en compte par les collectes usuelles ou séparatives :

- ✓ Déchets ménagers obtenus après séparation des papiers, cartons, verres et emballages.
- ✓ Déchets organiques biodégradables ou bio-déchets (déchets de cuisine, fleurs, etc.).
- ✓ Les effluents d'élevage : déchets agricoles (fumiers, excréments d'animaux, ...).

I.2.4. Les phases du compostage :

Le processus de compostage s'accompagne d'une production de chaleur, principalement d'origine biologique résultant de l'activité microbienne. L'évolution schématique de la température au sein du compost permet de distinguer quatre phases distinctes au cours du compostage (Francou, C., 2003).

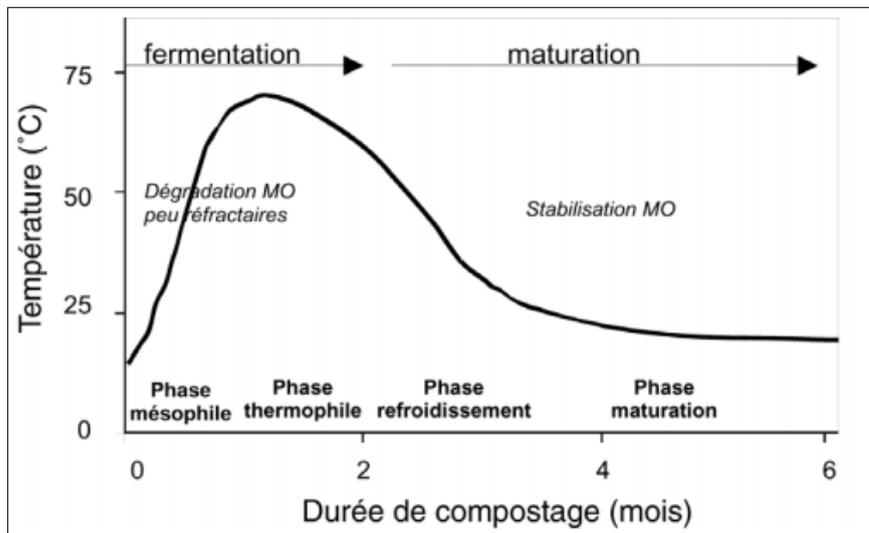


Figure 03 : courbe schématique de l'évolution de la température au cours du compostage (Tinghino 2010).

Selon Ibrahim El Akram ZNAÏDI, 2002, les quatre phases sont :

La phase mésophile (A) : Il s'agit de la phase initiale du compostage, au cours de laquelle les matières premières sont colonisées par les micro-organismes mésophiles indigènes, principalement des bactéries et des champignons. Leur activité entraîne une augmentation de la température (de 10-15°C à 30-40°C), une libération importante de CO₂ (d'où la réduction du rapport C/N) ainsi qu'une acidification du milieu. Au cours de cette phase, la dégradation de la cellulose est responsable de plus de 75% de la perte de poids sec.

La phase thermophile (B) : Elle est atteinte au centre du tas, à des températures élevées variant de 60 à 70°C pour les composts agricoles. À ces niveaux de chaleur, seuls les microorganismes thermotolérants ou thermophiles subsistent, provoquant l'arrêt de l'activité des champignons et le développement des actinomycètes ainsi que des bactéries thermophiles.

Les pertes d'azote, sous forme ammoniacale (NH_4^+), susceptible d'être volatilisé sous forme d'ammoniac (NH_3) dans certaines conditions, ainsi que l'évaporation de l'eau, sont plus prononcées au cours de cette étape. La libération de CO_2 peut entraîner, à la fin des phases thermophiles, des pertes de poids sec atteignant jusqu'à 50%. Les températures élevées caractérisant la phase thermophile se limitent au centre du monticule (Fig. 04).

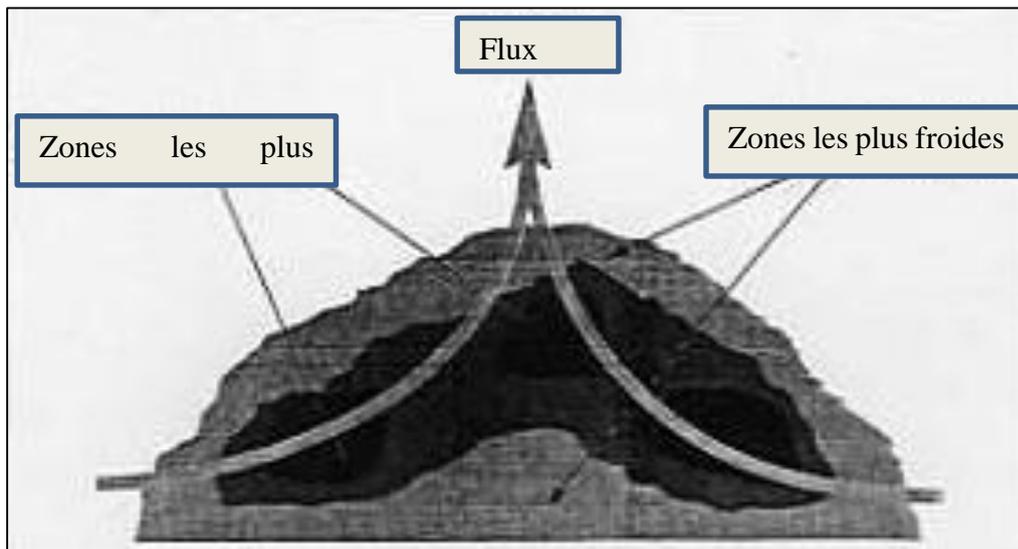


Figure 04 : Exemple d'une coupe d'un andain en phase thermophile, montrant l'hétérogénéité des températures (Gobat et al, 2010).

Les matières présentes en bordure du tas doivent être reprises par un ou deux retournements. Après un retournement on observe la succession des 3 phases (mésophile, thermophile, de refroidissement) (ITAB, 2001d); les températures atteintes en phase thermophile sont cependant de moins en moins élevées au fur et à mesure des retournements. Cette technique permet de s'assurer que tous les éléments du tas subissent les différentes phases de compostage afin que le produit final soit homogène et entièrement assaini.

La phase de refroidissement (C) : Il s'agit de la phase intermédiaire entre la phase thermophile et la phase de maturation, se concluant par le retour à la température ambiante. Le milieu est à nouveau colonisé par des micro-organismes mésophiles, qui dégradent les polymères qui sont demeurés intacts pendant la phase thermophile, tout en incorporant l'azote dans des molécules complexes.

La phase de maturation (D) : Cette étape se caractérise par une activité microbienne réduite (recolonisation par des champignons), mais elle est propice à la colonisation par la macrofaune, notamment les lombrics lorsque présents dans le milieu du monticule. Les matières organiques sont stabilisées et humifiées par rapport aux matières premières initialement compostées.

Les trois premières phases sont relativement rapides par rapport à la phase de maturation. Leur durée ainsi que l'amplitude des variations dépendent cependant des matériaux initiaux et les conditions dans lesquelles se déroule le compostage.

Les intervalles entre les retournements ne peuvent pas être définis selon un calendrier précis, mais sont plutôt dictés par la diminution de la température. En principe, la phase de maturation s'étend jusqu'à l'épandage du compost.

Il est difficile de déterminer une période de maturation, car celle-ci dépend de la composition des matières premières. Toutefois, on peut faire une distinction entre les composts issus de déchets ligno-cellulosiques tels que les fumiers, qui peuvent être utilisés après seulement 6 semaines (la phase de maturation est alors très courte, voire inexistante), et les composts provenant de déchets ligneux comme les déchets verts, qui ne sont généralement utilisés qu'après 6 mois.

I.2.5. Compost : avantages et inconvénients

Le compost s'inscrit dans le cycle naturel en tant que produit résultant de la décomposition microbienne de la matière organique morte en présence d'oxygène (conditions aérobies). Bien que l'utilisation du compost présente plusieurs avantages, elle comporte également quelques inconvénients qui doivent être pris en considération au préalable. Des facteurs tels que la matière première ou le substrat, la méthode de compostage, le stockage et l'application du compost ont tous une incidence sur les caractéristiques du produit.

Selon ALFRED Grand et al, 2020, les différents avantages et inconvénients sont :

I.2.5.1. Avantages

Matière organique du sol : Grâce à sa teneur élevée en matière organique, le compost peut aisément accroître le taux de matière organique dans les sols. Ceci conduit à une amélioration de la stabilité structurale du sol, une capacité de rétention d'eau améliorée, une augmentation du taux d'infiltration, ainsi qu'une capacité d'échange cationique accrue.

Abondance et diversité microbienne : Une des propriétés distinctives du compost réside dans son abondance et sa diversité microbienne. Étant donné que les microorganismes jouent un rôle central dans le processus de compostage, le compost englobe une vaste gamme de bactéries, d'archées et de protozoaires. Cela favorise l'activité microbienne des sols amendés avec du compost. Le vermicompost affiche une biodiversité encore plus élevée, car il ne subit pas de phase thermique,

éliminant ainsi toute perte de microbes due à des températures élevées.

Élimination des maladies du sol : Les microorganismes jouent un rôle essentiel en soutenant les plantes et en leur fournissant des nutriments, tout en contribuant à l'élimination des maladies du sol. De nombreux composts ont la capacité de réduire l'activité des agents pathogènes. Les effets directs incluent la compétition microbienne pour les nutriments, les substances humiques, les substances volatiles toxiques, ou des effets parasitaires directs. Les effets indirects des composts se traduisent par une croissance vigoureuse ou saine des plantes, une réduction du stress, une résistance induite, et une amélioration de la structure du sol. Bien que le compost ne soit généralement pas considéré comme un agent phytosanitaire en soi, il peut s'avérer d'une grande utilité pour atténuer la pression des maladies du sol.

Disponibilité des nutriments : La disponibilité des éléments nutritifs dans le compost est également attribuable à l'activité microbienne. Non seulement certains des nutriments présents dans le compost sont directement accessibles pour les plantes, mais lorsque ceux-ci sont incorporés dans le sol, les microbes issus du compost initient la mobilisation des éléments nutritifs du sol, les rendant ainsi assimilables par les plantes. Les plantes peuvent réguler ces effets grâce à leurs sécrétions racinaires.

Réactivité du sol : En général, tous ces effets positifs du compost sur le sol et les plantes augmentent la réactivité du système plante-sol. Ainsi, les impacts négatifs de l'extérieur (conditions climatiques extrêmes, contamination, compactage, etc.) sont mieux gérés et sont moins stressants pour les plantes.

I.2.5.2. Inconvénients

Disponibilité : Le compost n'est pas toujours disponible et sa disponibilité varie. Les agriculteurs et les producteurs recherchent souvent des qualités spécifiques pour le compost. En raison de son poids et de son volume, le compost ne peut pas non plus être transporté sur de longues distances, car c'est onéreux.

Qualité et contamination : Si le compost ne répond pas aux normes requises pour une application spécifique, il est préférable de réévaluer son utilisation plutôt que d'intégrer un compost de qualité inférieure dans la parcelle. Il existe différentes façons de mesurer la qualité en tenant compte de diverses caractéristiques telles qu'un déséquilibre dans la teneur en nutriments, la présence d'acides humiques, et une contamination organique et inorganique. Un test simple utilisant le cresson comme bio-indicateur peut permettre d'évaluer la compatibilité d'un compost avec la culture ciblée. Pour les agriculteurs biologiques, le choix des matières premières est crucial ; par exemple, les boues d'épuration ne sont pas autorisées dans le compost destiné à l'agriculture biologique. Un autre

problème de qualité concerne les composts mal produits qui peuvent contenir des spores viables d'agents pathogènes fongiques et bactériens, des graines de mauvaises herbes et des virus pathogènes. Dans de tels cas, l'application de compost peut compromettre la santé des sols en les contaminant avec des microorganismes pathogènes et des mauvaises herbes.

Coûts, équipement : Le compostage est devenu un processus hautement technologique. On utilise des équipements lourds pour traiter les substrats et transporter le compost jusqu'aux champs (voir figure 4), ce qui engendre des coûts élevés. Souvent, il est plus économique de recourir à des agro-entrepreneurs pour la préparation des intrants (broyage des matériaux), les retournements, le criblage, le transport et l'application.

I.3. Rôles et effets des substances humiques

Les nombreuses propriétés physico-chimiques des substances humiques, expliquent leurs impacts sur le sol et les plantes.

I.3.1. Influences sur le sol

Les substances humiques influent sur la fertilité du sol en améliorant sa structure, en augmentant l'activité biologique, la disponibilité des nutriments et en complexant les métaux toxiques (Stevenson, F. J., 1994).

Selon Balesdent (1996), les substances humiques agissent en consolidant les particules du sol sous forme d'agrégats, contribuant ainsi à améliorer la stabilité structurale du sol. À l'intérieur de ces agrégats, la présence de micro-porosités favorise une structure aérée, facilitant ainsi la circulation de l'eau et de l'air. En plus d'optimiser l'aération du sol, cela induit une augmentation de la surface d'échange gazeux entre le sol et l'atmosphère, ainsi qu'une amélioration de la capacité de rétention d'eau du sol. Par conséquent, l'infiltration de l'eau dans le sol est favorisée, réduisant ainsi les risques d'érosion et de compactage. La couleur des sols, variant du jaune au brun, est directement liée à la concentration de substances humiques dans le milieu. La présence de ces substances améliore l'activité biologique des sols en fournissant aux microorganismes hétérotrophes un substrat énergétique et carboné. La variabilité des composés organiques maintient la diversité de la population microbienne, et l'activité de ces organismes a un effet positif sur les propriétés physiques du sol.

La matière organique s'associe aux argiles pour former un complexe colloïdal appelé complexe argilo-humique (CAH). Ce complexe porte une charge électro-négative en raison de la présence de fonctions carboxyles (RCOO-) et hydroxyles acides (RO-). Les liaisons entre les substances humiques et les

cations solubles du sol s'établissent au niveau du CAH par échange cationique et protonique sur les fonctions -COOH et -OH. Ces complexes peuvent également interagir avec des ions, des oxydes, des hydroxydes métalliques et des minéraux, formant ainsi des complexes organométalliques.

Les substances humiques jouent un rôle crucial dans les écosystèmes en restreignant les fluctuations environnementales du sol (pollution, exportation d'éléments, variations de pH, etc.) et en favorisant la croissance des plantes grâce à leurs impacts sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

I.3.2. Influences sur les plantes

D'après les travaux de Vaughan and Ord (1985) la nature et l'intensité des réponses peuvent varier en fonction des substances humiques, des types de plantes et des conditions expérimentales. Les origines et natures spécifiques des matières humiques conditionnent les réactions des plantes. Les substances humiques naturelles présentes dans le sol, la tourbe, le compost ou les roches sédimentaires (lignite, léonardite) ont des impacts sur les végétaux, mais induisent des réponses différentes. L'utilisation de différentes fractions de matière organique, qu'il s'agisse d'acides humiques ou fulviques, influe sur la spécificité des réponses. En pénétrant dans la plante, les particules de faible poids moléculaire (acides fulviques) agissent de manière différente des acides humiques, modifiant de manière plus prononcée le métabolisme cellulaire.

Ces variations d'effet sont étroitement liées à la composition des molécules humiques. La caractérisation des molécules humiques offre des informations sur leur poids moléculaire, la présence de groupes fonctionnels, et permet d'établir des corrélations entre leur structure et leur activité biologique. La qualité de l'extraction des fractions humiques apparaît également comme un facteur de variation, car elle influence les caractéristiques chimiques des composés, et par conséquent, leur activité (EYHERAGUIBEL B., 2004).

L'utilisation des substances humiques montre des effets différents selon les conditions expérimentales et le mode d'application (sol, substrat solide, solution nutritive ou application foliaire). L'intensité de la réponse dépend le plus souvent de la dose testée et de nombreuses études débutent par la détermination de la dose optimale (Hartwigsen and Evans, 2000). L'impact des fractions humiques augmente proportionnellement à la concentration, mais des doses excessives peuvent avoir un effet inhibiteur. La complexité et l'évolution du matériau humique en fonction des conditions expérimentales peuvent constituer une source de variabilité.

En conclusion, les réponses des espèces végétales aux stimulations des substances humiques sont diverses, et les effets observés diffèrent en termes de nature et d'intensité. Les traitements humiques ont surtout un impact sur la croissance et le développement des graines, des plantules ou des plantes entières. Des effets spécifiques se manifestent également au niveau des organes, des cellules ou du métabolisme cellulaire (Piccolo, 1993).

I.4. Méthode d'extraction des substances humiques

La caractérisation de la matière organique nécessite une étape de fractionnement de ces constituants. Cette séparation repose sur la solubilité des molécules dans l'eau en fonction du pH (Schnitzer and Khan, 1978 in EYHERAGUIBEL B., 2004).

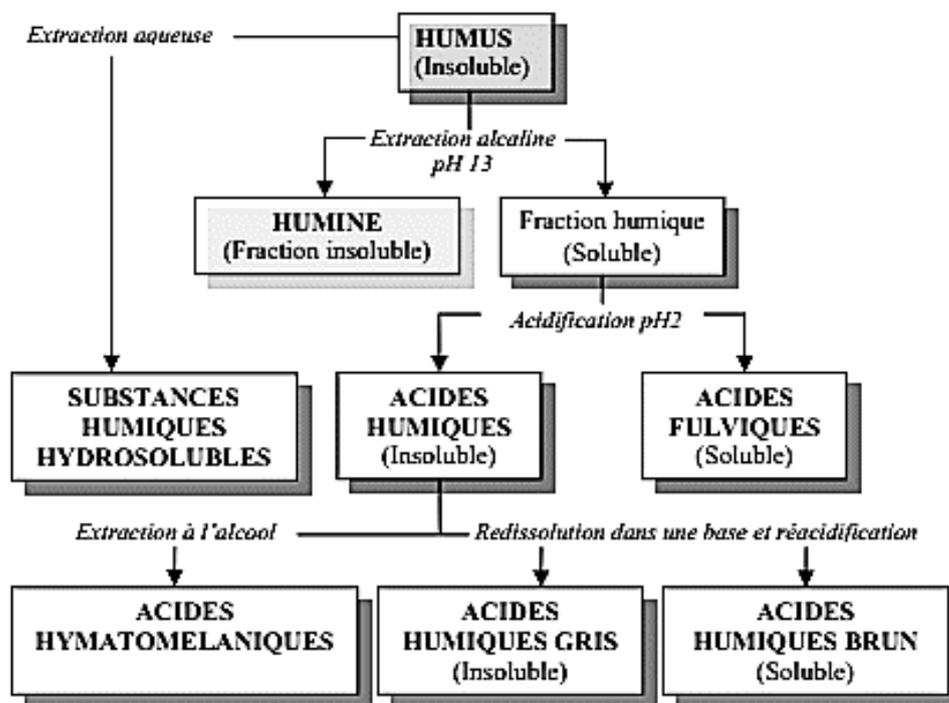


Figure 05 : Fractionnement des substances humiques

En plus des substances humiques hydrosolubles obtenues par une extraction aqueuse simple, trois fractions sont généralement identifiées : l'humine, une fraction de couleur noire insoluble dans l'eau, quel que soit le pH, les acides humiques (AH), de teinte brune ou noire, solubles en milieu basique et insolubles dans la plage des pH acides ($\text{pH} < 2$), et les acides fulviques (AF), de couleur jaune, solubles dans l'eau, indépendamment de la valeur du pH (**Fig : 05**) (Mac Carthy et al. 1990 in EYHERAGUIBEL B., 2004).

L'extraction des substances humiques s'effectue à partir de solutions alcalines (soude, pyrophosphate de sodium de 0,1 à 1N), entraînant la formation d'une phase insoluble, l'humine, et d'une phase soluble. Cette phase soluble affiche une teinte brune, et son acidification donne lieu à deux fractions distinctes

: un précipité brun floconneux (acides humiques) et un surnageant soluble (acides fulviques). Les acides humiques peuvent également être subdivisés en fractions plus ou moins condensées, comprenant les acides humatomélaniques, les acides humiques bruns (peu condensés) et les acides humiques gris (condensés) (voir Figure 05). La séparation des substances humiques peut aussi être accomplie par chromatographie de perméation, permettant de caractériser la distribution moléculaire des fractions humiques en fonction de leur taille. On distingue ainsi les acides fulviques, une fraction de faible poids moléculaire (<1000 Da), des acides humiques, une fraction de poids moléculaire élevé (de 5000 à 300 000 Da) (EYHERAGUIBEL B., 2004).

Chapitre II : Matérielle et méthode

Chapitre II : Matérielle et méthode

II.1. Origine des déchets organiques compostés

Ce travail a été réalisé en collaboration avec l'entreprise **ZS RECYCLING**, spécialisé dans le traitement et la valorisation des déchets organiques. Ce partenariat consiste en la facilitation de l'obtention de la matière organique à composter, ainsi que la mise à disposition de leur infrastructure pour la réalisation de ce travail expérimental.

Pour cela, nous avons utilisé deux types de déchets organiques, à savoir : les déchets de volaille (fiente), ainsi que les déchets organique issus de l'activité industrie agroalimentaire :

- Les déchets de volaille (fiente) : composé essentiellement de fientes de volaille collecté au niveau des élevages avicoles (poule pondeuse et poulet de chair), de la région d'Oued Amizour et ses environs, dans la wilaya de Bejaïa.
- Les déchets organiques industriels : collectés au niveau des unités de production agroalimentaires de la zone industrielle de Taharacht dans la wilaya de Bejaïa.

II.2. méthodologie (Protocole expérimental)

II.2.1. technique de compostage

Les deux types de matière première : déchets organique fiente de volaille et déchet de l'industrie agroalimentaire, ont été traités séparément par un procédé de compostage, composé de quatre étapes, qui sont les suivantes :

Etape 1 : collecte et tri des déchets :



Figure 06 : collecte de déchet organique agroalimentaire et fiente de volaille

Une fois ces derniers sont collectés, ils sont transportés et déposé dans un lieu ouvert, réservé

spécialement au stockage. Ensuite, l'opération de tri est entamé, qui consiste à éliminer les matières inorganiques et les matières difficilement compostables.

Etape 2 : mise en tas : la matière organique issue de l'opération de tri est ensuite déposée dans le hangar de compostage en rayon de tas (petit andain), et cela pour faciliter l'opération de vérification de la maturation et le retournement des andains.



Figure 07 : mise en tas (petit andain) de la matière organique trié pour la compostée

Etape 3 : l'opération d'accélération du compostage : cette étape cruciale, se résume en l'ajout des agents stimulants de l'activité bactérienne. Pour cela, et en vue d'accélérer la décomposition de la MO, et booster l'activité bactérienne nous avons ajouté de la mélasse et/ou de la poudre du lait déclassée.



Figure 08 : ajout des agents stimulants de l'activité bactérienne

Etape 4 : retournement des tas et vérifications de la maturation du compost : dès l'observation du tassement des rayons de tas, on procède au retournement de ce dernier, afin de préserver les conditions

aérobiques, pour une bonne maturation du compost.



Figure 09 : retournement des andains et vérifications de la maturation du compost

N.B : Le résultat que nous avons obtenu lors de l'opération de compostage est deux types de compost, à savoir : le compost de la fiente de volaille et le compost de la matière organique de l'industrie agroalimentaire.

II.2.2 Méthode d'échantillonnage

Le prélèvement d'échantillons est effectué en respectant la norme U44-101 (« U44-101 », s. d.) en utilisant la méthode du quartage. Divers échantillons sont collectés à différents emplacements en suivant les quatre points cardinaux et le centre des andains. Ces prélèvements sont regroupés pour former un échantillon global d'environ 1 kg, qui est homogénéisé par mélange des constituants, constituant ainsi l'échantillon destiné au laboratoire.

Pour faire une comparaison entre les deux résultats, nous avons prélevé deux échantillons de composte pour chaque types, ainsi que l'eau utilisée durant le processus de compostage, pour bien comprendre l'impact de sa composition chimique sur les caractéristiques physico-chimiques de chaque compost. En revanche, pour l'humine et le produit acidifié, les analyses en été faite directement au laboratoire, après l'obtention de ces derniers.

II.2.3. Extraction des substances humiques :

Le protocole d'extraction utilisé est la méthode adopté par IHSS (Lamar et al. 2014) (international humic substances society) avec une modification de l'auteur. L'objectif de cette opération est de séparer en premier l'Humine des acides humiques et fulvique, dans un milieu alcalain, ensuite d'acidifier le surnageant par trois acides différents (acide nitrique, acide phosphorique et acide sulfurique) pour avoir un produit avec un $\text{pH} = 4$. Et pour atteindre cet objectif, nous avons procédé comme suit :

Etape 1 : Alcalinisation de la solution (pH = 13)

Pour alcaliniser le milieu à un pH au-dessous de 13, nous avons utilisé l'hydroxyde de potassium (KOH), et ce, pour rendre l'humine insoluble, en utilisant les proportions suivantes.

La dose est de : 4g de KOH pure / 1L d'eau → pour 100 g de compost

Ensuite, nous agitons le mélange pour une durée de 4 h à une vitesse moyenne, puis nous laissons le mélange se reposer jusqu'à une bonne décantation de l'humine (entre 24 à 48 h).

La solution de base (le mélange) va se séparer en deux fraction :

- La solution : riche en Acide Humique et Acide Fulvique
- Le précipité : composé uniquement de l'Humine



Figure 10 : Séparation de l'Humine (précipité) et les acides humiques et fulviques (surnageant)



Figure 11 : séparation entre l'Humine (photo 1) et les acides humiques et fulvique (photos 2)

Etape 2 : Acidification de la solution (pH = 4)

La dose est de : 25 ml d'acide sulfurique 4 N / 1 L d'eau → pour 100 g de compost

Le surnageant récupéré pour chaque type de compost utilisé est subdivisé en trois parties. Chacune d'elle est acidifiée soit par l'acide nitrique, l'acide phosphorique ou l'acide sulfurique, pour avoir trois produits différents pour chaque compost.



Figure 12 : acidification de la solution par l'un des trois acides

Le produit final : solution riche en extraits d'acide Humiques et d'acide Fulviques à pH = 4

II.2.4. analyse physico-chimiques :

Les analyses ont été effectuées au niveau de département laboratoire des analyses d'eaux et sols du BNEDER. Elles ont porté sur :

II.2.4.1. pH (potentiel Hydrogène) et la conductivité électrique :

Nous avons mesuré le pH et la conductivité électrique par la méthode potentiométrique sur une suspension composte/liquide (eau distillée) égale à 1/5, pour le composte et l'humine. En revanche, les produits liquides ont été mesurés directement en plongeant l'électrode dans la solution. Aussi, nous avons utilisé des conductivimètre et des pH-mètres de terrain pour les mesures de manipulation, lors de l'opération d'acidification.

II.2.4.2. Le Carbone et la matière organique (MO)

Nous avons utilisé la méthode ANNE (1945), qui se base sur le principe que la mesure de la teneur en matière organique totale s'obtient généralement en dosant la teneur en carbone, on estime que le rapport matière organique/carbone est à peu près constant et égal à 1.72.

II.2.4.3. L'Azote total

La méthode utilisée est celle de Kjeldahl. Le principe de la méthode consiste à transformer l'azote des composés organiques en azote ammoniacal par H_2SO_4 concentré et à ébullition. Le dosage se fait par colorimétrie automatique (auto-analyseur).

II.2.4.4. Phosphore assimilable

La méthode utilisée est celle d'Olsen. Elle consiste à mélanger la solution préparer avec une solution de bicarbonate de sodium à pH élevé (généralement 0,5 M). Après agitation, la concentration de phosphore est ensuite mesurée par une méthode colorimétrique, avec une calibration basée sur des solutions étalons de phosphore connues.

II.2.4.5. sodium, potassium, calcium et magnésium et oligoéléments

Le dosage des cations calcium, magnésium, sodium et potassium, et des oligoéléments se fait au spectrophotomètre d'absorption atomique qui est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome. Celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre : $\Delta E = h\nu$ où h est la constante de Planck et ν est la fréquence du photon absorbé.

II.3. Analyse des données :

Dans le contexte de cette analyse comparative entre le compost de fientes de volaille et le compost industriel, diverses analyses statistiques ont été réalisées pour interpréter les résultats expérimentaux. À cet effet, le langage de programmation Python a été employé pour exécuter ces analyses.

Pour la comparaison de certaines analyses, nous avons opté pour l'application du test de Student avec un seuil de significativité (p-value) de 0.05, adapté pour comparer les moyennes de deux groupes indépendants. Ceci s'avère crucial lorsque l'objectif est d'évaluer les différences entre deux types de compost, deux types d'humines, ainsi que les solutions d'extraits humiques acidifiées avec les trois acides. Pour d'autres comparaisons, des analyses de variance (ANOVA) et un test post-hoc (test de Tukey) ont été réalisés. Ce test post-hoc permet de déterminer quelles paires de groupes présentent des différences significatives après avoir pris en compte les variations intergroupes. Cette approche complémentaire nous a permis d'identifier plus précisément les différences significatives, renforçant ainsi la fiabilité de nos conclusions.

Les résultats obtenus ont été présentés à travers des tableaux et des graphiques, offrant ainsi une visualisation claire des distinctions entre les deux types de compost. Cette approche méthodologique rigoureuse nous a permis d'évaluer de manière robuste les variations entre les échantillons étudiés et d'obtenir des conclusions significatives sur leur composition et leur potentiel d'utilisation.

Chapitre III : Résultats et discussions

Chapitre III : Résultats et discussions

Dans cette partie, nous procéderons à l'interprétation des analyses physico-chimiques des paramètres analytiques suivants :

- Carbone organique (%) et Matière Organique (%) ;
- CE (Mmhos/cm) et le pH ;
- Eléments principales : Azote total « N » (%), Phosphore « P₂O₅ » (%) et Potassium « K₂O » (%) ;
- Eléments secondaires : Calcium Ca (mg/l), Magnésium Mg (mg/l) ;
- Oligo-éléments : Fer « Fe » (mg/l), Manganèse « Mn » (mg/l), Sodium « Na » (mg/l) et Zinc « Zn » (mg/l).

Par ailleurs, les échantillons soumis à l'analyse en laboratoire comprennent les deux composts distincts obtenus à partir de la fiente de volaille (**C. Fiente**) et des déchets organiques de l'industrie agroalimentaire (**C. Indu**). A cet effet, six échantillons résultent de l'acidification des deux solutions (surnageant : acides humiques et acides fulviques) prélevées pour chaque type de compost. Ces échantillons est le résultat du traitement des dites solution avec les trois acides distincts, à savoir : l'acide nitrique, l'acide phosphorique et l'acide sulfurique, pour une évaluation approfondie.

Les résultats sont présentés sous forme de tableau qui regroupe la moyenne \pm l'écart type (**Moy. \pm σ**), le t-statistiques (**T-stat**), la P-valeurs ainsi que la significativité.

III.1. L'analyse physico-chimique des deux composts :

Tableau 01 : Analyse des paramètres physico-chimiques de la composition des deux composts

Paramètres	Moy. \pm σ (C. Fiente)	Moy. \pm σ (C. Indu.)	T-stat	P-value
Azote total (%)	2,543 \pm 0,152	2,173 \pm 0,231	2,319	0,0812 ^{ns}
CE (Mmhos/cm)	14,433 \pm 0,581	8,893 \pm 0,098	16,293	0,0001*
Calcium (mg/l)	7917,950 \pm 162,388	5152,200 \pm 233,700	16,833	0,0001*
Carbone organique (%)	20,093 \pm 0,450	15,833 \pm 0,503	10,933	0,0004*
Fer (mg/l)	16,617 \pm 0,586	45,300 \pm 0,786	-50,683	0,0000*
Matière Organique (%)	34,560 \pm 0,776	27,237 \pm 0,866	10,912	0,0004*
Magnésium (mg/l)	883,650 \pm 100,350	1273,277 \pm 48,825	-6,047	0,0038*
Manganèse (mg/l)	10,350 \pm 0,450	8,700 \pm 0,912	2,809	0,0484*
Phosphore P ₂ O ₅ (%)	2,893 \pm 0,978	0,390 \pm 0,020	4,434	0,0114*
Potassium K ₂ O (%)	2,400 \pm 0,069	1,733 \pm 0,076	11,198	0,0004*
Sodium Na (mg/l)	7917,950 \pm 162,388	5152,200 \pm 233,700	16,833	0,0001*
Zinc Zn (mg/l)	19,550 \pm 4,267	5,800 \pm 1,992	5,057	0,0072*
pH	7,720 \pm 0,098	8,313 \pm 0,086	-7,851	0,0014*

ns :Not Significant * : Significant

Les résultats des analyses physico-chimiques indiquent l'existence d'une différence entre les deux composts, des variations significatives ont été relevées dans la conductivité électrique (CE), suggérant des différences marquées dans les sels dissous. Cependant, qu'aucune différence significative n'a été observée entre les deux types de composts en termes de teneur en azote total. La teneur en calcium est significativement plus élevée dans le **C. Fiente**, de même, la teneur en carbone, fer, matière organique, manganèse, phosphore, potassium, sodium, et zinc est significativement plus élevée dans le **C. Fiente** par rapport au **C. Indu**.

En revanche, la teneur en magnésium est significativement plus élevée dans le **C. Indu**. De plus, le pH est significativement plus élevé dans le **C. Indu** par rapport au **C. Fiente**.

III.2. L'analyse des deux Humines issus des deux composts (C. Fiente et C.Indu.)

Tableau 02 : L'analyse des paramètres physico-chimiques de la composition des deux Humines

Paramètres	Moy. C. Fiente	Moy. C.Indu.	T-stat	P-value
Azote total (%)	0,810 ± 0	0,837 ± 0.035	-1,315	0,258771296 ^{ns}
CE (Mmhos/cm)	22,600 ± 0	12,440 ± 0.030	586,588	5,0677E-11 [*]
Calcium (mg/l)	112,257 ± 0.963	1412,640 ± 12.746	-176,213	6,22171E-09 [*]
Carbone organique (%)	14,033 ± 0.275	9,750 ± 0.229	20,710	3,21173E-05 [*]
Fer (mg/l)	16,637 ± 0.361	10,080 ± 0.226	26,640	1,18026E-05 [*]
Matière Organique (%)	24,140 ± 0.476	16,770 ± 0.393	20,692	3,22288E-05 [*]
Magnésium (mg/l)	73,757 ± 1.105	103,083 ± 1.992	-22,300	2,39388E-05 [*]
Manganèse (mg/l)	0,273 ± 0.371	0,100 ± 0.010	0,810	0,463610021 ^{ns}
Phosphore P2O5 (%)	0,173 ± 0.015	0,080 ± 0	10,583	0,000451125 [*]
Potassium K2O (%)	0,643 ± 0.006	0,267 ± 0.006	79,903	1,47043E-07 [*]
Sodium Na (mg/l)	1012,707 ± 6.928	666,093 ± 1.942	83,435	1,23691E-07 [*]
Zinc Zn (mg/l)	2,170 ± 0.053	0,353 ± 0.031	51,498	8,50962E-07 [*]
pH	8,910 ± 0	9,010 ± 0	-inf	0 [*]

ns : Not Significant * : Significant

Les résultats des analyses physico-chimiques des deux l'Humine issus des deux types de composts, révèlent des différences dans plusieurs paramètres.

La teneur en calcium est significativement plus élevée dans l'Humine **C. Indu**, tandis que le carbone, le fer, la matière organique, le phosphore, le potassium, le sodium et le zinc présentent des niveaux significativement supérieurs dans l'Humine du **C. Fiente**. En revanche, la teneur en magnésium est significativement plus élevée dans l'Humine du **C. Indu**. De même, la conductivité électrique (CE) présente une différence significative, suggérant des variations marquées dans les sels dissous.

Cependant, aucune variation notable n'a été observée en termes de teneur en azote total entre les deux types d'Humine. Aussi, aucune différence significative n'a été observée en termes de teneur en

manganèse. Le pH est significativement plus élevé dans l'Humine du C. Indu par rapport à l'Humine du C. Fiente.

III.3. L'analyse des six échantillons acidifiés

III.3.1. L'analyse des échantillons acidifiés par l'acide nitrique

Les résultats des analyses des extraits humiques (acides humiques et acides fulviques) issus du C. Fiente et du C. Indu. après acidification par l'acide nitrique jusqu'à un pH de 4, révèlent des différences significatives.

Tableau 03 : L'analyse des paramètres physico-chimiques des deux solutions issus des « C. Fiente » et « C.Indu. » acidifiés par l'acide nitrique

Paramètres	Moy. C. Fiente	Moy. C.Indu.	T-stat	P-value
Azote total (%)	0,4000 ± 0,020	0,1133 ± 0,0153	19,7298	0,0000*
CE (Mmhos/cm)	25,6267 ± 0,1124	13,3000 ± 1,3856	15,3579	0,0001*
Calcium (mg/l)	307,4400 ± 2,4712	372,4700 ± 2,6725	-30,9441	0,0000*
Carbone organique (%)	1,0233 ± 0,0666	0,5233 ± 0,0153	12,6773	0,0002*
Fer (mg/l)	24,1467 ± 0,2757	10,5000 ± 0,2524	63,2320	0,0000*
Matière Organique (%)	01,7600 ± 0,1179	0,9000 ± 0,0265	12,3277	0,0002*
Magnésium (mg/l)	223,0060 ± 1,329	195,6370 ± 2,0400	19,4410	0,0004*
Manganèse (mg/l)	01,5367 ± 0,0764	0,6700 ± 0,0400	17,3000	0,0001*
Phosphore P2O5 (%)	00,2000 ± 0,010	0,1100 ± 0,0100	11,0227	0,0004*
Potassium K2O (%)	01,2100 ± 0,020	0,6167 ± 0,0058	49,3683	0,0000*
Sodium Na (mg/l)	2771,9733 ± 17,6905	807,1533 ± 5,1757	184,6331	0,0000*
Zinc Zn (mg/l)	08,0333 ± 0,2663	1,8333 ± 0,0321	40,0301	0,0000*

ns :Not Significant * : Significant

La teneur en azote total est significativement plus élevée dans les extraits humiques du C. Fiente par rapport à celui du C. Indu.. Une différence notable dans la conductivité électrique (CE) entre les deux extraits humiques indique des variations importantes dans les sels dissous. La teneur en calcium est significativement plus élevée dans les extraits humiques du C. Indu, tandis que le carbone, le fer, la matière organique, le phosphore, le potassium, le sodium, et le zinc présentent des niveaux significativement supérieurs dans les extraits humiques du C. Fiente.

En revanche, la teneur en magnésium est significativement plus élevée dans les extraits humiques du C. Indu.

Ces résultats soulignent des disparités marquées dans les caractéristiques des extraits humiques, ce qui peut avoir des implications importantes pour leur utilisation en tant qu'amendements du sol ou dans d'autres applications agricoles, en fonction des besoins spécifiques des cultures.

III.3.2. L'analyse des échantillons acidifiés par l'acide phosphorique :

Les résultats des analyses physico-chimiques des extraits humiques (acide humique et fulvique) issus du C. Fiente et du C. Indu. après acidification par l'acide phosphorique jusqu'à un pH de 4, révèlent des différences significatives dans plusieurs paramètres.

La teneur en azote total est significativement plus élevée dans les extraits humiques du C. Fiente par rapport à celui du C. Indu.. Une différence extrêmement significative dans la conductivité électrique (CE) entre les deux extraits humiques indique des variations majeures dans les sels dissous.

La teneur en calcium est significativement plus élevée dans les extraits humiques du C. Indu., tandis que le carbone, le fer, la matière organique, le magnésium, le manganèse, le potassium, le sodium, et le zinc présentent des niveaux significativement supérieurs les extraits humiques du C. Fiente. Aussi, aucune différence significative n'a été observée en termes de phosphore entre les deux extraits humiques.

Tableau 04 : L'analyse des paramètres physico-chimiques des deux solutions issus des « C. Fiente » et « C.Indu. » acidifiés par l'acide phosphorique

Paramètres	Moy. C. Fiente	Moy. C.Indu.	T-stat	P-value
Azote total (%)	0,237 ± 0,006	0,073 ± 0,006	34,648	0,00000*
CE (Mmhos/cm)	22,100 ± 0,000	11,127 ± 0,025	755,237	0,00000*
Calcium (mg/l)	15,030 ± 0,621	19,537 ± 0,478	-9,962	0,00057*
Carbone organique (%)	1,177 ± 0,025	0,427 ± 0,025	36,500	0,00000*
Fer (mg/l)	20,993 ± 0,023	13,360 ± 0,080	158,783	0,00000*
Matière Organique (%)	2,023 ± 0,040	0,733 ± 0,040	39,093	0,00000*
Magnésium (mg/l)	24,797 ± 0,700	39,777 ± 2,188	-11,296	0,00035*
Manganèse (mg/l)	3,560 ± 0,101	0,060 ± 0,010	59,445	0,00000*
Phosphore P2O5 (%)	0,563 ± 0,085	0,520 ± 0,030	0,832	0,45207 ^{ns}
Potassium K2O (%)	0,940 ± 0,000	0,603 ± 0,006	101,000	0,00000*
Sodium Na (mg/l)	1908,753 ± 12,548	806,500 ± 6,795	133,792	0,00000*
Zinc Zn (mg/l)	7,720 ± 0,000	1,263 ± 0,012	968,500	0,00000*

ns :Not Significant * : Significant

Ces résultats soulignent des disparités marquées dans les caractéristiques des extraits humiques, ce qui peut avoir des implications importantes pour leur utilisation en tant qu'amendements du sol ou dans d'autres applications agricoles, en fonction des besoins spécifiques des cultures.

III.3.3. L'analyse des échantillons acidifiés par l'acide sulfurique :

Les résultats des analyses physico-chimiques des extraits humiques (acide humique et fulvique) issus du compost de fiente de volaille et du compost de matière organique agroalimentaire, après acidification jusqu'à un pH de 4 par de l'acide sulfurique, révèlent des différences significatives dans

plusieurs paramètres.

Tableau 05 : L'analyse des paramètres physico-chimiques des deux solutions issus des « C. Fiente » et « C.Indu. » acidifiés par l'acide sulfurique

Paramètres	Moy. C. Fiente	Moy. C.Indu.	T-stat	P-value
Azote total (%)	0,2433 ± 0,0058	0,0867 ± 0,0058	33,2340	0,0000*
CE (Mmhos/cm)	29,5333 ± 0,5977	23,0667 ± 0,1258	18,3378	0,0001*
Calcium (mg/l)	281,9133 ± 2,1822	355,1567 ± 3,4190	-31,2768	0,0000*
Carbone organique (%)	0,9200 ± 0,0529	0,4733 ± 0,0208	13,6056	0,0002*
Fer (mg/l)	36,5567 ± 1,0013	17,2600 ± 0,9414	24,3190	0,0000*
Matière Organique (%)	1,5833 ± 0,0945	0,8133 ± 0,0379	13,0988	0,0002*
Magnésium (mg/l)	213,4433 ± 3,5045	206,6733 ± 1,2603	3,1485	0,0346*
Manganèse (mg/l)	3,2467 ± 0,3656	0,3900 ± 0,0173	13,5200	0,0002*
Phosphore P2O5 (%)	0,2400 ± 0,0100	0,1500 ± 0,0100	11,0227	0,0004*
Potassium K2O (%)	1,1667 ± 0,1050	0,5300 ± 0,0900	7,9800	0,0038*
Sodium Na (mg/l)	2674,4267 ± 3,1249	814,8133 ± 1,1474	967,5663	0,0000*
Zinc Zn (mg/l)	11,4333 ± 1,1944	2,4200 ± 0,1229	13,0023	0,0002*

ns :Not Significant * : Significant

La teneur en azote total est significativement plus élevée dans l'acide humique et fulvique de la fiente de volaille par rapport à celui de la matière organique agroalimentaire. Une différence significative dans la conductivité électrique entre les deux extraits humiques indique des variations importantes dans les sels dissous.

La teneur en calcium est significativement plus élevée dans l'acide humique et fulvique de la matière organique agroalimentaire, tandis que le carbone, le fer, la matière organique, le magnésium, le manganèse, le phosphore, le potassium, le sodium, et le zinc présentent des niveaux significativement supérieurs dans l'acide humique et fulvique de la fiente de volaille. Aucune différence significative n'a été observée en termes de pH entre les deux extraits humiques.

Ces résultats soulignent des disparités marquées dans les caractéristiques des extraits humiques, suggérant des implications significatives pour leur utilisation potentielle dans l'amélioration des propriétés du sol ou d'autres applications agricoles spécifiques.

III.3.4. L'analyse de l'effet de l'acidification par rapport aux paramètres étudiés :

Dans cette section, nous procéderons à l'interprétation des analyses physico-chimiques réalisées sur les extraits humiques (les acides humiques et fulviques), de chaque compost (**C. Fiente** et du **C. Indu.**). Ces extraits ont été soumis à un processus d'acidification utilisant l'un des trois acides suivants : l'acide nitrique, l'acide phosphorique ou l'acide sulfurique. Les produits issus de trois traitements distincts pour chaque type de compost ont été identifiés selon les codes suivants :

- **NF** : extraits humiques issus du C. Fiente acidifié avec l'acide nitrique.

- **PF** : extraits humiques issus du C. Fiente acidifié avec l'acide phosphorique.
- **SF** : extraits humiques issus du C. Fiente acidifié avec l'acide sulfurique.
- **NI** : extraits humiques issus du C. Indu. acidifié avec l'acide nitrique.
- **PI** : extraits humiques issus du C. Indu. acidifié par l'acide phosphorique.
- **SI** : extraits humiques issus du C. Indu. acidifié par l'acide sulfurique.

Les analyses statistiques ont consisté en l'utilisation de l'analyse de variance (ANOVA) afin d'évaluer de manière approfondie les divergences significatives entre les moyennes des paramètres physico-chimiques des extraits humiques (acides humiques et fulviques) provenant de chaque compost. Ceci a été réalisé en prenant en considération les trois types d'acides utilisés dans le processus.

Par la suite, un test post-hoc (test Tukey) afin de confirmer ou infirmer la significativité entre les groupes (NF, PF, SF, NI, PI et SI).

III.3.4.1. L'analyse de l'effet de l'acidification sur la Conductivité Electrique (CE)

Les résultats des analyses de variance (ANOVA) pour les Extraits humiques du C. Fiente et du C. Indu. révèlent des différences statistiquement significatives, avec des p-values ($6.90e-07$ et $1.88e-06$). Les tests de Tukey montre des différences significatives entre toutes les paires de groupes (NF-PF, NF-SF et PF-SF) et (NI-PI, NI-SI et PI-SI), et les meandiff (différences moyennes), comme indiqué par les p-adj (ajustées) égales à zéro.

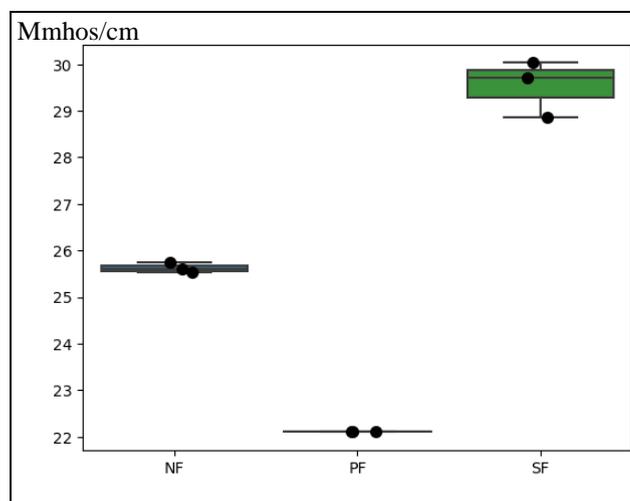


Figure 13 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur la CE.

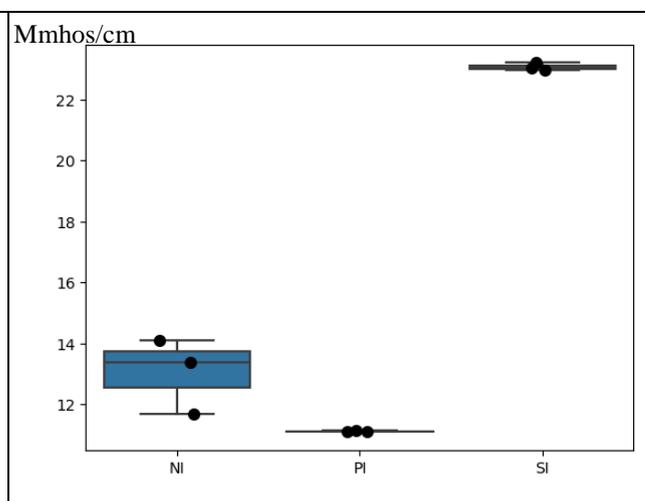


Figure 14 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur la CE.

Ces résultats suggèrent des variations statistiquement significatives entre les moyennes de la CE des extraits humiques de chaque type de compost acidifié par les trois acides différents. Les paires de groupes spécifiques (NF, PF, SF-NI, PI, SI) présentent toutes des différences significatives, soulignant des influences distinctes des différents acides sur la CE des extraits humiques.

III.3.4.2. L'analyse de l'effet de l'acidification sur l'Azote (N) :

Les résultats de l'ANOVA pour les **Extraits humiques du C. Fiente** montrent une statistique ANOVA de 0.83 avec une p-value de 0.48. Une p-value supérieure au seuil de 0.05 indique qu'il n'y a pas suffisamment de preuves pour conclure à une différence significative entre les moyennes des groupes. En revanche, les résultats de l'ANOVA pour les **Extraits humiques du C.Indu** montrent une statistique ANOVA de 12.44 avec une p-value de 0.0073, indiquant que les moyennes sont statistiquement significativement différentes.

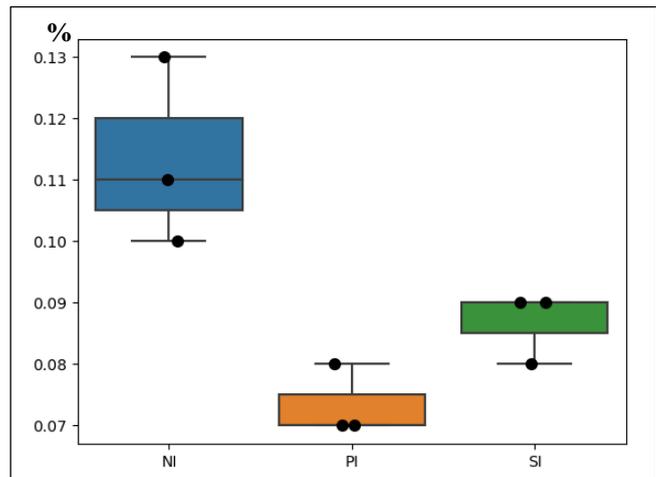


Figure 15 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur l'Azote.

Aussi, les résultats du test de Tukey montrent des différences significatives entre les groupes NI-PI et NI-SI, car les valeurs p-adj (ajustées) pour ces paires sont inférieures au seuil de 0.05. Cela signifie que les moyennes entre ces groupes sont statistiquement différentes. Les différences moyennes (meandiff) entre ces groupes sont également présentées, avec des valeurs négatives indiquant une diminution moyenne.

III.3.4.3. L'analyse de l'effet de l'acidification sur (P_2O_5) :

Les résultats des analyses de variance (ANOVA) pour les **le Phosphore** extraits humiques du **C. Fiente** et pour les extraits humiques du **C. Indu** présentent des différences statistiquement significatives, avec des p-values (0.0002 et 3.62e-07).

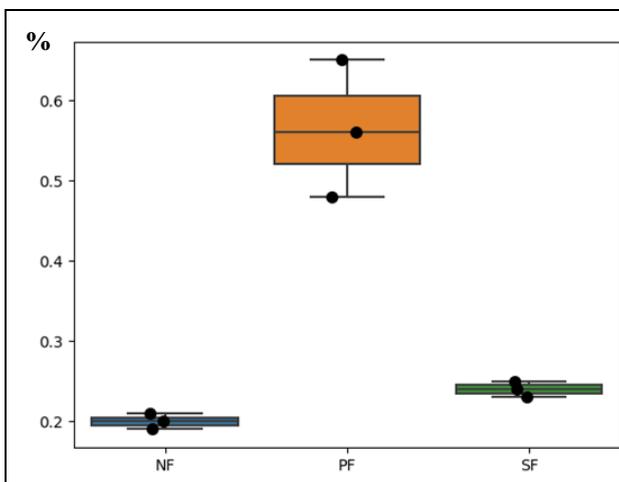


Figure 16 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur le Phosphore.

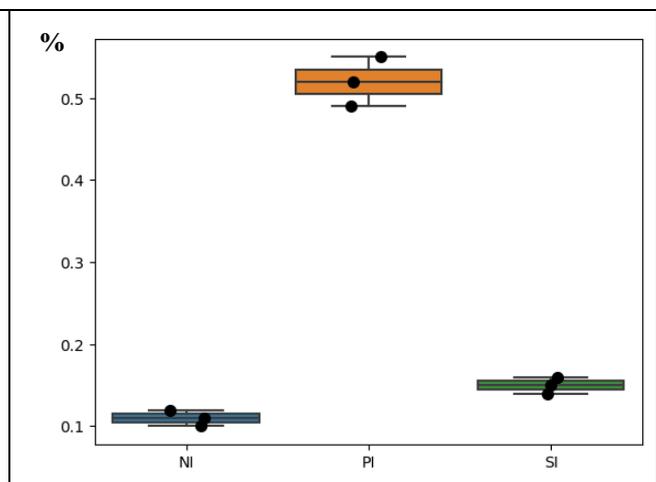


Figure 17 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur le Phosphore.

Le test de Tukey pour les extraits humiques du **C. Fiente** confirme des distinctions entre les groupes NF-PF et PF-SF, mais aucune différence statistiquement significative entre NF et SF. En revanche, le test de Tukey des extraits humiques du **C. Indu** confirme des différences significatives entre NI-PI et PI-SI, mais aucune entre NI et SI. Ces résultats soulignent des profils distincts entre les deux types d'extraits, mettant en lumière des différences significatives dans la nature des variations observées au sein des groupes étudiés.

III.3.4.4. L'analyse de l'effet de l'acidification sur le Potassium (K₂O) :

L'analyse de variance (ANOVA) menée sur le paramètre **K₂O** a révélé des résultats divergents. Dans le premier cas, une statistique ANOVA avec une p-value de 0.00293 indique des différences statistiquement significatives entre les moyennes des groupes NF, PF et SF. En revanche, dans le second cas, une statistique ANOVA avec une p-value de 0.1369 suggère qu'il n'y a pas suffisamment de preuves pour conclure à une différence significative entre les moyennes des groupes.

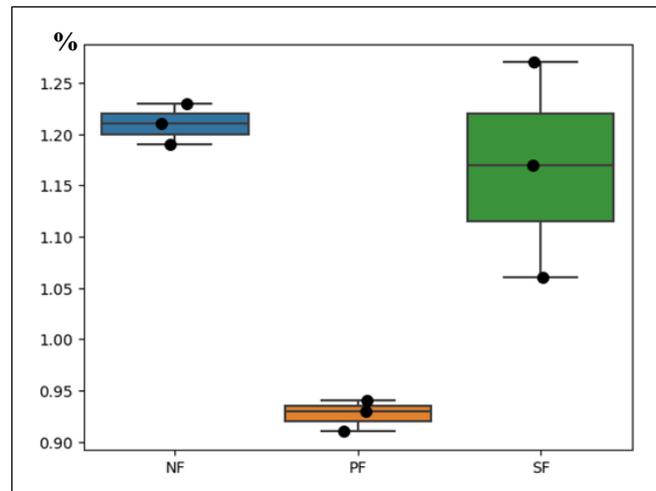


Figure 18 : Effet de l'acidification des extraits humiques du *C. Fiente* sur le Potassium

tests de Tukey HSD ont confirmé des différences spécifiques entre les groupes NF-PF et PF-SF, mais n'ont pas révélé de différence significative entre NF et SF. Les différences moyennes significatives et les intervalles de confiance confirment la nature spécifique de ces variations.

III.3.4.5. L'analyse de l'effet de l'acidification sur le Calcium (Ca) et le Magnésium (Mg)

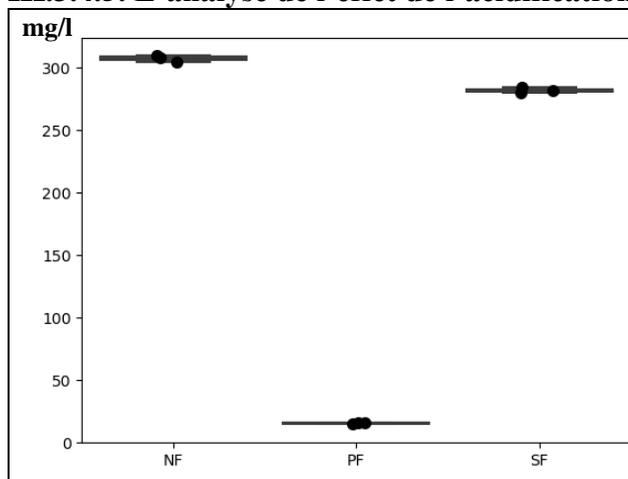


Figure 19 : Effet de l'acidification des extraits humiques du *C. Fiente* sur le Ca.

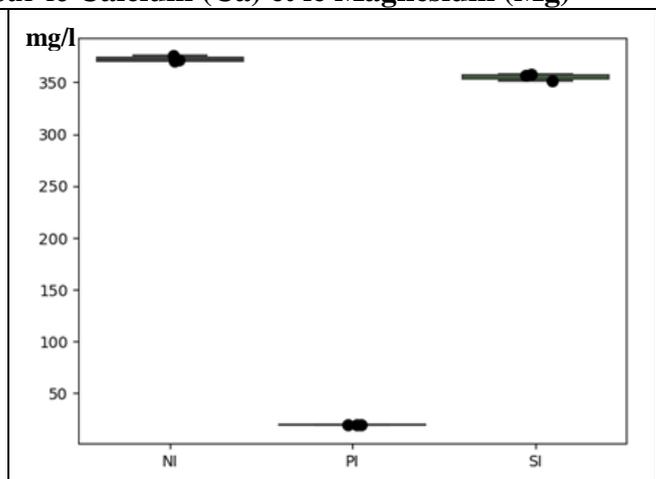


Figure 20 : Effet de l'acidification des extraits humiques du *C. Indu* sur le Ca.

Les analyses de variance (ANOVA) réalisées sur les données de type **Ca** et **Mg** pour les deux types de composts, NF, PF et SF d'une part, et NI, PI et SI d'autre part, ont toutes révélé des différences statistiquement significatives entre les moyennes des groupes.

Pour le paramètre **Ca**, les statistiques ANOVA, avec des p-values de (2.92e-12 et 4.13e-12), confirmant des variations substantielles entre les moyennes des groupes NF, PF, SF d'une part, et NI, PI, SI d'autre part. Les tests de Tukey HSD ont mis en évidence des différences significatives entre toutes les paires de groupes, avec des différences moyennes importantes et des intervalles de confiance excluant zéro, soulignant la significativité de ces variations.

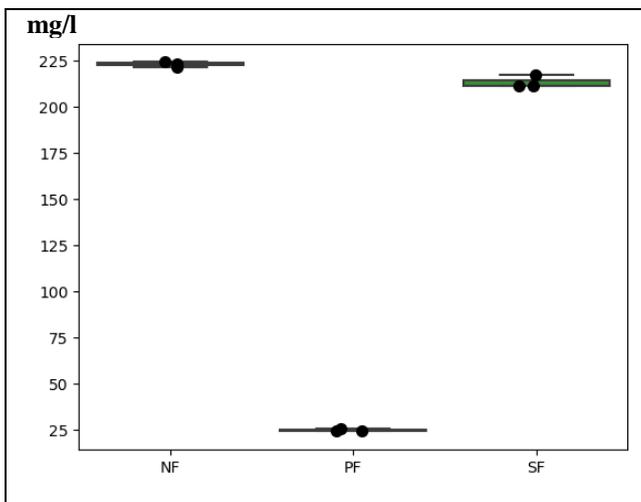


Figure 21 : Effet de l'acidification des extraits humiques du *C. Fiente* sur le Mg.

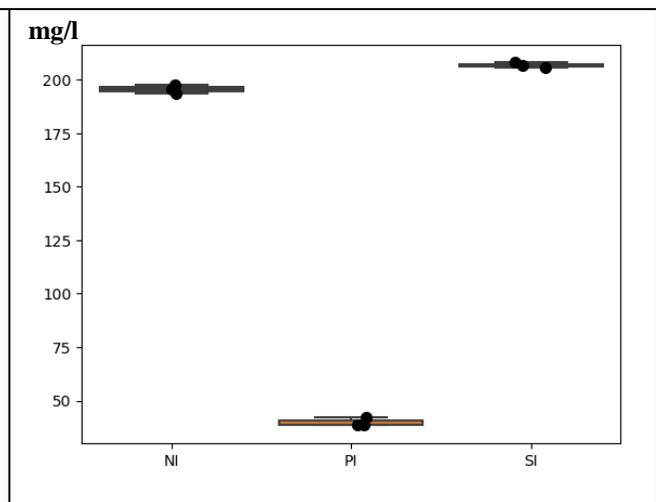


Figure 22 : Effet de l'acidification des extraits humiques du *C. Indu* sur le Mg.

De même, pour le type de données **Mg**, les statistiques ANOVA, avec des p-values (5.83e-11 et 6.54e-11), indiquant des différences statistiquement significatives entre les moyennes des groupes NF, PF, SF d'une part, et NI, PI, SI d'autre part. Les résultats du test de Tukey HSD ont confirmé des différences significatives entre toutes les paires de groupes, mettant en évidence des variations importantes entre les moyennes.

III.3.4.7. L'analyse de l'effet de l'acidification sur le Sodium (Na)

L'analyse de variance (ANOVA) des données de type **Na** révèle des résultats significatifs, avec une statistique ANOVA de 4188.90 et une p-value (3.67e-10), indiquant des différences statistiquement significatives entre les moyennes des groupes NF, PF et SF. Les résultats du test de Tukey HSD confirment ces différences, révélant des différences moyennes significatives entre les paires de groupes spécifiques (NF-PF, NF-SF et PF-SF), avec des intervalles de confiance ne contenant pas

zéro, confirmant la significativité de ces différences.

En revanche, une autre analyse de variance du paramètre **Na** montre une statistique ANOVA de 2.59 avec une p-value de 0.1546, indiquant l'absence de preuves suffisantes pour conclure à une différence significative entre les moyennes des groupes.

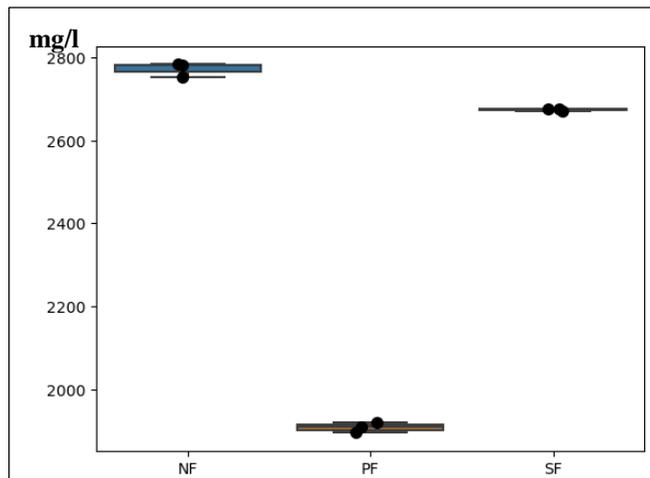


Figure 23 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur le Sodium.

III.3.4.6. L'analyse de l'effet de l'acidification sur la Matière organique (M.O)

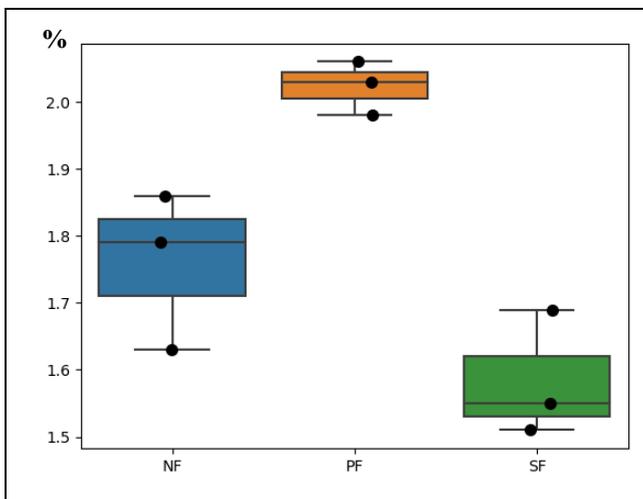


Figure 24 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur la M.O.

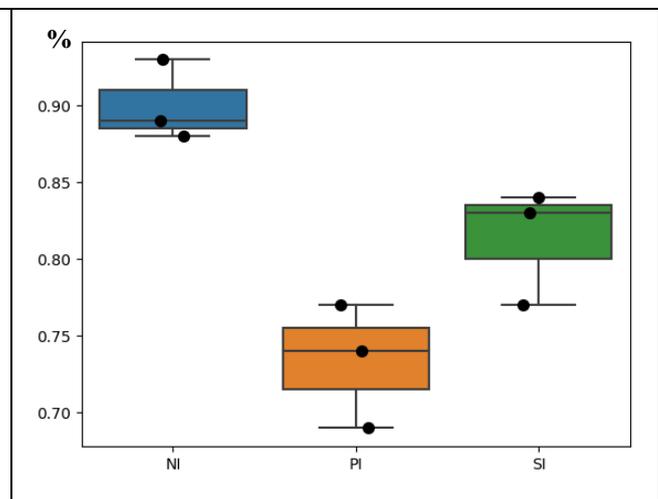


Figure 25 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur la M.O.

Les analyses de variance (ANOVA) effectuées sur les données de type **MO** démontrent des résultats significatifs, avec des statistiques ANOVA de 18.03 et 16.60 et des p-values respectives de 0.00290 et 0.00358, indiquant des différences statistiquement significatives entre toutes les moyennes (NF-PF-SF, et NI-PI-SI). Les tests de Tukey HSD confirment ces différences en identifiant des paires spécifiques de groupes présentant des différences moyennes significatives.

Les groupes NF-PF et PF-SF affichent des différences moyennes de 0.26 et -0.44, respectivement, suggérant des variations significatives entre ces groupes. En revanche, la paire NF-SF ne montre pas de différence statistiquement significative. De même, pour les groupes NI-PI et NI-SI présentent des différences moyennes de -0.17 et -0.09, indiquant des variations significatives entre ces groupes, tandis que la paire PI-SI ne montre pas de différence statistiquement significative.

III.3.4.8. L'analyse de l'effet de l'acidification sur le Fer (Fe)

L'analyse de variance (ANOVA) réalisée sur les données de type **Fe** dévoile des résultats significatifs, avec une statistique ANOVA de 564.59 et une p-value très basse ($1.48e-07$), indiquant des différences statistiquement significatives entre les moyennes des groupes NF, PF et SF. Les résultats du test de Tukey HSD corroborent ces différences en identifiant des paires spécifiques de groupes présentant des différences moyennes significatives.

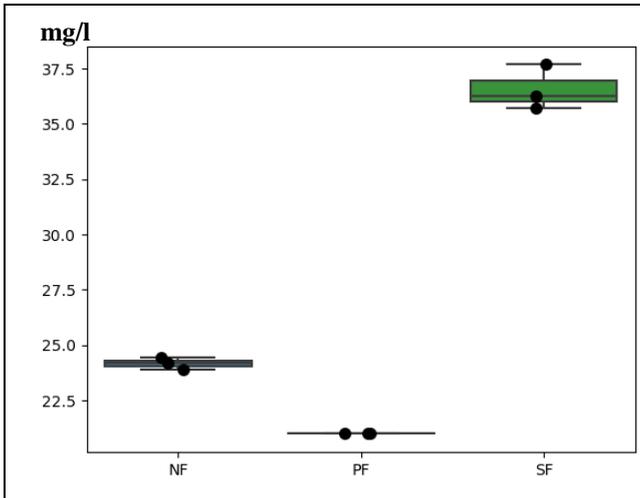


Figure 26 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur le Fer.

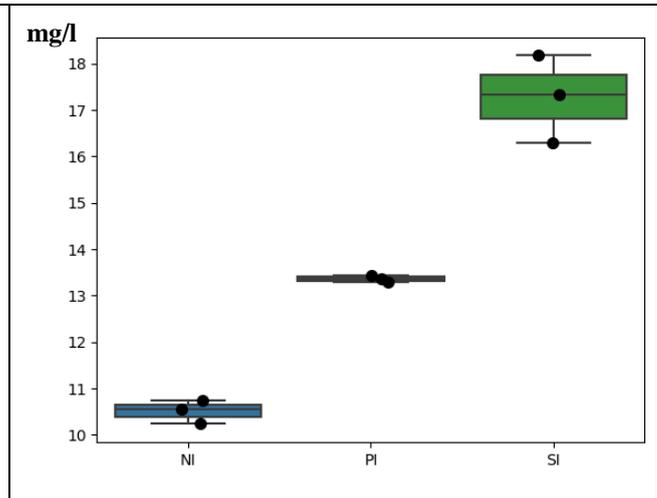


Figure 27 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur le Fer.

D'un autre côté, l'analyse de variance (ANOVA) des données de type **Fe** révèle également des résultats significatifs, avec une statistique ANOVA de 108.36 et une p-value très basse ($1.96e-05$), indiquant des différences statistiquement significatives entre les moyennes des groupes NI, PI et SI. Les résultats du test de Tukey HSD confirment ces différences en identifiant des paires spécifiques de groupes présentant des différences moyennes significatives.

III.3.4.9. L'analyse de l'effet de l'acidification sur le Manganèse (Mn)

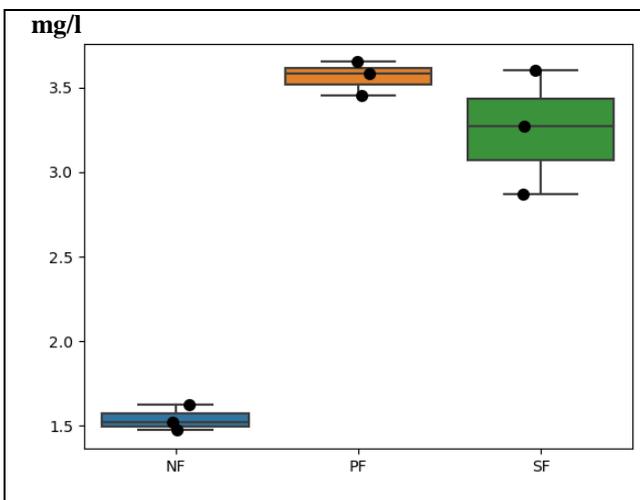


Figure 28 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Fiente sur le Manganèse.

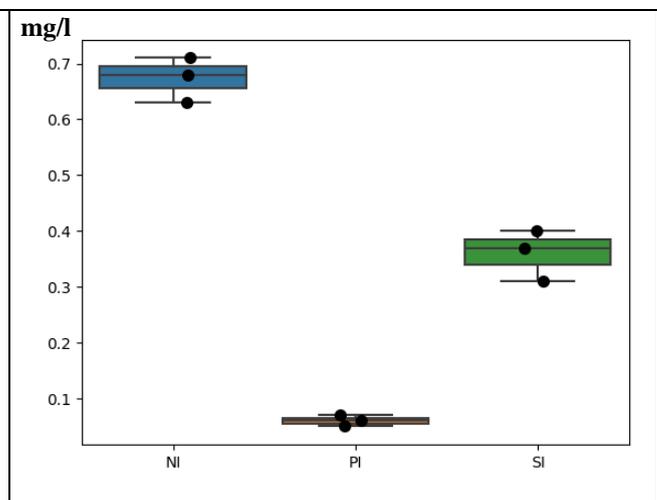


Figure 29 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur le Manganèse.

L'analyse de variance (ANOVA) effectuée sur les données de type **Mn** révèle des différences statistiquement significatives entre les moyennes des groupes (NF, PF, SF et NI, PI, SI) avec une statistique ANOVA de (71.27 et 220.83) et une p-value de (6.59e-05 et 2.41e-06).

Le test de Tukey HSD confirme ces différences, mettant en évidence des variations spécifiques entre les groupes, et des intervalles de confiance ne contenant pas zéro. Cependant, la paire PF-SF ne montre pas de différence statistiquement significative.

III.3.4.10. L'analyse de l'effet de l'acidification sur le Zinc (Zn)

L'analyse de variance (ANOVA) du paramètre Zn montre des résultats contradictoires. Dans un premier cas, la statistique ANOVA est de 1.82 avec une p-value de 0.24, indiquant qu'il n'y a pas suffisamment de preuves pour conclure à une différence significative entre les moyennes des groupes. En revanche, dans le second cas, la statistique ANOVA est de 197.33 avec une p-value très basse (3.36e-06), indiquant des différences statistiquement significatives entre les moyennes des groupes NI, PI et SI.

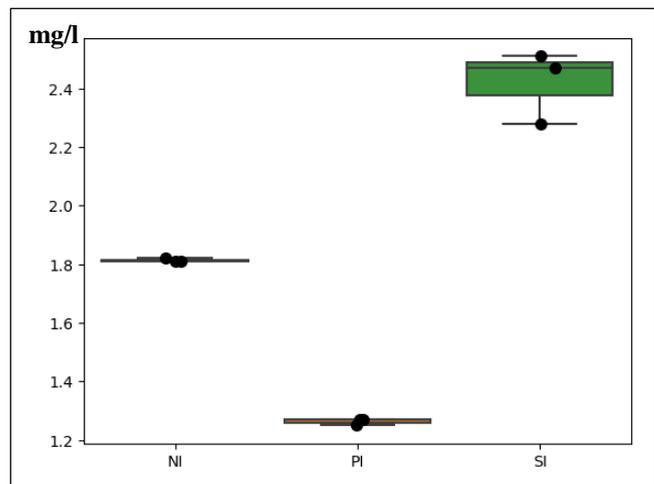


Figure 30 : Effet de l'acidification des extraits humiques du C. Indu sur le Zinc.

Les résultats du test de Tukey HSD confirment des différences significatives entre toutes les paires de groupes examinées. Les moyennes des groupes présentent des variations significatives, mettant en évidence des différences spécifiques entre NI-PI, NI-SI et PI-SI.

III.4. Interprétation des résultats analytique :

III.4.1. Interprétation des résultats analytique des deux composts (C. Fiente et C.Indu.)

Les résultats indiquent des différences significatives entre les deux types de composts pour plusieurs paramètres, y compris la teneur en éléments nutritifs, la matière organique et le pH. Ces résultats peuvent également être utiles pour orienter les pratiques de compostage et améliorer la gestion des déchets organiques. Ces différences peuvent avoir des implications importantes pour la valorisation agricole de ces composts, en fonction des besoins spécifiques des cultures.

La fiente de volaille exhibe une conductivité électrique plus élevée, suggérant une potentialité accrue en sels solubles par rapport au compost industriel, ce qui concorde avec les niveaux élevés de sodium

présents dans les deux composts. Cette salinisation peut être attribuée à l'utilisation d'aliments pour bétail particulièrement riches en sel dans le cas du compost de volaille, tandis que dans le cas du compost industriel, elle résulte du traitement de la matière organique avec des eaux salées.

La fiente de volaille est caractérisée par une concentration plus élevée en matière organique, attribuable à l'utilisation de litière dans les étables d'élevage, particulièrement riche en lignine et hémicellulose.

Les deux composts affichent des concentrations élevées d'azote total, indiquant une importante source nutritive, avec une légère prédominance en faveur de la fiente de volaille. Cette augmentation est due aux déjections de volaille riches en ammoniac, résultant de la dégradation des protéines présentes dans leur alimentation.

En outre, la fiente de volaille affiche des quantités significativement plus élevées de phosphore et de potassium, ainsi qu'une concentration plus élevée en calcium. Le compost industriel présente une concentration légèrement supérieure en magnésium.

En termes de micronutriments, le compost industriel surpasse la fiente de volaille en fer, tandis que cette dernière se distingue par une teneur plus élevée en zinc. Les niveaux de manganèse demeurent comparables entre les deux composts.

En final, la fiente de volaille semble être un amendement plus riche en éléments nutritifs, notamment en azote, phosphore, potassium, calcium, fer, zinc, et matière organique, comparativement au compost industriel. Cependant, le choix entre les deux dépend des besoins spécifiques du sol et des cultures visées.

III.4.2. Interprétation des résultats analytique des deux Humines issus de C. Fiente et C. Indu

L'analyse des résultats physico-chimiques des Humines issues de deux composts, l'un à base de fiente de volaille (H. Fiente) et l'autre à base de la matière organique de l'industrie agro-alimentaire (H. Indu.), révèle plusieurs différences significatives. Ces différences sont dû probablement soit ; à la nature physico-chimique du compost ou au comportement de la réaction chimique, lors de l'alcalinisation du compost par le KOH.

L'Humine Fiente présente une teneur plus élevée en matière organique par rapport à celle issue de la matière organique industrielle. Cette différence corrobore avec les concentrations de matière

organique des deux composts.

La conductivité électrique (CE) est plus élevée chez l'Humine de fiente de volaille (H. Fiente) par rapport à l'Humine de matière organique industrielle (C. Indu), suggère une concentration accrue en sels solubles, principalement de sodium.

En ce qui concerne les éléments nutritifs essentiels (azote total, phosphore, potassium), les deux Humines présentent des niveaux comparables. En revanche, les minéraux secondaires révèlent une concentration plus élevée en calcium dans H. Indu, tandis que l'Humine Fiente affiche une concentration plus faible en magnésium. Concernant les oligo-éléments, l'Humine de fiente de volaille présente des concentrations plus élevées en fer, zinc et manganèse par rapport à l'Humine Indu.

Ces variations dans la composition des Humines soulignent l'influence des matières premières sur les propriétés des composts, ce qui peut avoir des implications sur leur utilisation en tant qu'amendements du sol.

III.4.3. Interprétation de l'effet de l'acidification par rapport aux paramètres étudiés

Les résultats des analyses physico-chimiques de six solutions obtenues après l'acidification des extraits humiques des composts issus de la fiente de volaille (C. Fiente) et de la matière organique industrielle (C. Indu) avec trois acides différents : acide nitrique (N), acide phosphorique (P), et acide sulfurique (S), révèle plusieurs différences significatives.

À l'exception des niveaux de matière organique, qui demeurent relativement constants indépendamment de l'acide utilisé, l'acidification des extraits humiques a des effets significatifs sur la composition chimique, avec des variations notables en fonction de l'acide utilisé et du type de compost.

Les valeurs de conductivité électrique fluctuent en fonction de l'acide employé et du type de compost. Les solutions acidifiées avec de l'acide sulfurique (SF et SI) présentent des valeurs plus élevées, suggérant une concentration accrue en ions solubles. En revanche, les solutions acidifiées avec de l'acide phosphorique (PF et PI) affichent des valeurs plus basses, probablement en raison de la formation de complexes chimiques (sels) et de leur précipitation dans les solutions.

Les teneurs en éléments essentielles (N, P, K) varient également en fonction de l'acide utilisé. Les solutions acidifiées avec l'acide phosphorique (PF et PI) montrent souvent des valeurs plus élevées, suggérant une solubilisation ou libération de ces éléments.

Les concentrations en éléments secondaires (Ca, Mg) présentent des variations entre les diverses solutions, dénotant des réactions distinctes à l'acidification. En général, les solutions acidifiées avec de l'acide nitrique (NF et NI) exhibent des valeurs plus élevées. En revanche, les solutions acidifiées avec de l'acide phosphorique (PF et PI) affichent des valeurs plus basses, résultant de la formation de complexes chimiques entre ces éléments et le phosphore, ainsi que de leur précipitation dans les solutions.

Aussi, les concentrations en oligo-éléments (Fe, Zn, Mn) varient en fonction de l'acide utilisé. Les solutions acidifiées avec l'acide sulfurique (SF et SI) montrent souvent des valeurs plus élevées, indiquant une possible mobilisation accrue de ces oligo-éléments.

Conclusion

Conclusion :

La matière organique, propre aux organismes vivants, provient principalement de la photosynthèse, convertissant l'énergie solaire en énergie biochimique. Sa décomposition, influencée par les caractéristiques du sol, génère de l'humus qui contribue à la croissance des plantes en fournissant des éléments minéraux.

En Algérie, les taux de matière organique dans les sols sont faibles, conduisant les agriculteurs à utiliser des amendements tels que la fiente de volaille et le fumier pour augmenter ces taux. Cependant, la stabilité de l'humus est compromise en raison d'une activité biologique déficiente, posant des défis dans la gestion de la matière organique ajoutée.

Afin d'améliorer l'efficacité, de nouvelles méthodes d'apport telles que le compost ou la matière organique mûrie issue du compostage doivent être expérimentées. Le compost, en tant qu'amendement organique, se distingue par sa capacité à enrichir la fertilité des sols grâce à sa teneur élevée en substances humiques, notamment les acides humiques et fulviques.

En collaboration avec l'entreprise ZS RECYCLING spécialisée dans le traitement des déchets organiques, cette étude vise à extraire les substances humiques, en séparant initialement l'humine des acides humiques et fulviques dans un milieu alcalin. Par la suite, le surnageant est acidifié avec trois acides différents (acide nitrique, acide phosphorique et acide sulfurique) pour obtenir un produit final avec un pH de 4. L'extraction des substances humiques a suivi le protocole de l'International Humic Substances Society (IHSS) avec une modification apportée par l'auteur. Deux types de composts ont été utilisés pour cette extraction : le compost issu de fiente de volaille et le compost issu des déchets organiques agroalimentaire.

Des analyses ont été effectuées au niveau de département laboratoire des analyses d'eaux et sols du BNEDER. Elles ont porté sur le pH, la conductivité électrique, la matière organique (M.O), les éléments essentiels (NPK), les éléments secondaires (Ca et Mg) ainsi que les oligoéléments.

Les analyses physico-chimiques révèlent des différences entre les composts de fiente (C. Fiente) et industriels (C. Indu), ainsi que les extraits d'humine issus de ces deux types de composts. Les analyses des extraits humiques (acides humiques et acides fulviques) provenant du C. Fiente et du C. Indu, après acidification avec de l'acide nitrique, de l'acide phosphorique ou de l'acide sulfurique jusqu'à un pH de 4, révèlent des distinctions significatives. Ce qui corrobore avec les résultats des analyses de variance (ANOVA) pour les Extraits humiques du C. Fiente et du C. Indu.

En final, ces résultats soulignent des différences notables dans les propriétés des extraits humiques, ce qui pourrait avoir des conséquences significatives quant à leur utilisation en tant qu'amendements du sol ou dans d'autres applications agricoles, en fonction des exigences spécifiques des cultures. Ils pourraient également guider les pratiques de compostage et améliorer la gestion des déchets organiques. Ces distinctions revêtent une importance capitale pour l'optimisation de la valorisation agricole de ces composts, en prenant en compte les besoins particuliers des cultures.

En tant que perspectives, il serait pertinent de réaliser des expérimentations in situ pour évaluer la valeur fertilisante de ces produits obtenus par la méthode modifiée d'extraction des substances humiques. Ceci permettrait d'établir leur efficacité sur diverses cultures.

Références bibliographiques :

Références bibliographiques :

ADEME, novembre 2015. Fiche technique : le compostage, 19p.

ALFRED Grand et al, 2020. Fiche technique : Compost « Avantages et inconvénients », Best 4 Soil, 2p.

Balesdent, J., 1996. "Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols de France." Etude et Gestion des sols 3(4) : 245-260pp.

Baudin, François, Nicolas Tribovillard, et Jean Trichet. 2021. « Chapitre 2 • Mécanismes et milieux de dégradation et de préservation des matières organiques naturelles : l'étape oxydative et microbienne de leur évolution ». In Chapitre 2 • Mécanismes et milieux de dégradation et de préservation des matières organiques naturelles : l'étape oxydative et microbienne de leur évolution, 57-90. EDP Sciences.

<https://doi.org/10.1051/978-2-7598-2192-1.c005>.

BERNAL, M., et al, 1998. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic waste. Bioressance Tecgnology, 91-99.

Duchaufour Philippe, 1979. Pédologie : constituants et propriétés du sol. Edition Masson, Paris, 458 p.

EYHERAGUIBEL Boris, 2004, caractérisation des substances humiques : Biomimetiques - effets sur les végétaux. Titre de Docteur, Institut national polytechnique de Toulouse, 230p.

FRANÇOIS Baudin et al., 2017. Géologie de la matière organique. EDP Sciences, 2e édition, 323p.

FRANCOU, C., 2003. Stabilisation de la matière organique au cours du compostage de déchets urbains : influence de la nature des déchets et du procédé de compostage. Thèse de doctorat, à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, 217p.

GOBAT Michel, 2010. Le sol vivant : bases de pédologie - biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes, 3^{ème} édition, 628p.

HALITIM A., 1983. Contribution à l'étude des sols des zones arides (hautes plaines steppiques de l'Algérie) : morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse de doctorat, à l'Université de RENNES, 164p.

HADDADJ L. et HADDAD A., 2020. Caractérisation par Infrarouge des acides humiques et des acides fulviques formés au cours du compostage. Mémoire d'ingénieur, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou, 37p

HARTWIGSEN, J. A. et EVANS M. R. 2000. "Humic acids seed and substrate treatments promote seedling root development." Hort Science. 35(7) : 1231-1233pp.

Insam, H. 1996. « Microorganisms and humus in soils ». In Humic substances in terrestrial ecosystems, 265-92. Elsevier.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444815163500074>.

Karabi, Mokhtar, Baelhadj Hamdi Aissa, Salah Zenkhri, Abdellah Kemassi, et Nouredine Bouras. 2015. « Seasonal variations affect microbiocenose arid soils in the Ouargla basin (Algerian sahara) ». Ciência e Técnica Vitivinícola 30 (8): 176-87.

Karabi, Mokhtar, Aissa Baelhadj Hamdi, et Salah Zenkhri. 2016. « Microbial diversity and organic matter fractions under two arid soils in Algerian Sahara ». In AIP Conference Proceedings. Vol. 1758. AIP Publishing.

<https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/1758/1/030006/690493>.

Lamar, Richard T, Daniel C Olk, Lawrence Mayhew, et Paul R Bloom. 2014. « A New Standardized Method for Quantification of Humic and Fulvic Acids in Humic Ores and Commercial Products ». Journal of AOAC INTERNATIONAL 97 (3): 721-30.

<https://doi.org/10.5740/jaoacint.13-393>.

LARBI, M. .2006. Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. Th7se de doctorat, Université de Neuchatel, 116p.

Mohamed, Zouidi, Borsali Amine Habib, Allam Ayoub, et Gros Raphael. 2019. « Microbial activities and physicochemical properties of coniferous forest soils in two forest areas (arid and semi-arid) of western Algeria ». Revista Bosque 40 (2): 163-71.

MUSTIN M., 1987. Le compost : gestion de matière organique. Edition François Dubusc, Paris, 954 p.

PICCOLO, A. (1993). Humic Substances in Terrestrial Ecosystems. Amsterdam, Elsevier.

RODIER J., 2005. Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduares, eau de mer. 8ème édition. Dunod, Paris, 1383p.

Senesi, N. 1989. « Composted materials as organic fertilizers ». Science of The Total Environment, Advances in Humic Substances Research, 81-82 (juin): 521-42.

[https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90161-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90161-7).

Senesi, Nicola, et Elisabetta Loffredo. 2018. « The chemistry of soil organic matter ». In Soil physical chemistry, 239-370. CRC press.

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780203739280-6/chemistry-soil-organic-matter-nicola-senesi-elisabetta-loffredo>.

STEVENSON, F. J., 1994. Humus chemistry: Genesis, composition, reaction. 2 ème edition, New York : Jonh Wiley & sons, INC, 485p.

TERREOM. 2023. « Mesurer la Fertilité du Sol : Indicateurs, Outils et Méthodes ». TERREOM. 16 septembre 2023.

<https://www.terreom.fr/post/mesurer-fertilite-sol>.

Tinghino, Virginie. 2010. « Mise au point d'un banc d'imprégnation et compostage de matières organiques ».

In . <https://www.semanticscholar.org/paper/Mise-au-point-d'un-banc-d'impr%C3%A9gnation-et-de-Tinghino/0bc927e2310eeda01f1531b71a3bbd95e3909fef>.

ZNAÏDI Ibrahim El Akram, 2002. Etude et évaluation du compostage de différents types de matières organiques et des effets des jus de composts biologiques sur les maladies des plantes. Master of science degree, C.I.H.E.A.M, 104p.

Ukalska-Jaruga, Aleksandra, Romualda Bejger, Guillaume Debaene, et Bożena Smreczak. 2021. « Characterization of soil organic matter individual fractions (fulvic acids, humic acids, and humins) by spectroscopic and electrochemical techniques in agricultural soils ». Agronomy 11 (6): 1067.

« **U44-101** ». s. d. Afnor EDITIONS. Consulté le 27 janvier 2024.

<https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/u44101/produits-organiques-amendements-organiques-supports-et-milieus-de-culture-e/fa010521/56692>.

Annexe :

Tableau : analyse de la composition des deux composts (fiente de volaille et déchets organique de l'industrie agroalimentaire).

Parametres	Moy. C. Fiente	Std_C. Fiente	Moy. C.Indu.	Std_C. Indu.	T-stat	P-value	Significativité
Azote total	2,543	0,152	2,173	0,231	2,319	0,0812	Not Significant
CE	14,433	0,581	8,893	0,098	16,293	0,0001	Significant
Calcium	7917,950	162,388	5152,200	233,700	16,833	0,0001	Significant
Carbone	20,093	0,450	15,833	0,503	10,933	0,0004	Significant
Fer (Fe)	16,617	0,586	45,300	0,786	-50,683	0,0000	Significant
MO	34,560	0,776	27,237	0,866	10,912	0,0004	Significant
Magnésium	883,650	100,350	1273,277	48,825	-6,047	0,0038	Significant
Manganèse	10,350	0,450	8,700	0,912	2,809	0,0484	Significant
Phosphore	2,893	0,978	0,390	0,020	4,434	0,0114	Significant
Potassium	2,400	0,069	1,733	0,076	11,198	0,0004	Significant
Sodium	7917,950	162,388	5152,200	233,700	16,833	0,0001	Significant
Zinc	19,550	4,267	5,800	1,992	5,057	0,0072	Significant
pH	7,720	0,098	8,313	0,086	-7,851	0,0014	Significant

Tableau : analyse de la composition des deux Humines issu deux composts

Parametres	Moy. C. Fiente	Std_C. Fiente	Moy. C.Indu.	Std_C. Indu.	T-stat	P-value	Significativité
Azote total	0,810	0,000	0,837	0,035	-1,315	0,258771296	Not Significant
CE	22,600	0,000	12,440	0,030	586,588	5,0677E-11	Significant
Calcium	112,257	0,963	1412,640	12,746	-176,213	6,22171E-09	Significant
Carbone	14,033	0,275	9,750	0,229	20,710	3,21173E-05	Significant
Fer	16,637	0,361	10,080	0,226	26,640	1,18026E-05	Significant
MO	24,140	0,476	16,770	0,393	20,692	3,22288E-05	Significant
Magnésium	73,757	1,105	103,083	1,992	-22,300	2,39388E-05	Significant
Manganèse	0,273	0,371	0,100	0,010	0,810	0,463610021	Not Significant
Phosphore	0,173	0,015	0,080	0,000	10,583	0,000451125	Significant
Potassium	0,643	0,006	0,267	0,006	79,903	1,47043E-07	Significant
Sodium	1012,707	6,928	666,093	1,942	83,435	1,23691E-07	Significant
Zinc	2,170	0,053	0,353	0,031	51,498	8,50962E-07	Significant
pH	8,910	0,000	9,010	0,000	-inf	0	Significant

Tableau : analyse des paramètres physico-chimiques des deux solutions issus des « C. Fiente » et « C.Indu. » acidifiés par l'acide nitrique (NF vs NI)

Parametres	Moy. C. Fiente	Std_C.Fiente	Moy. C.Indu.	Std_C. Indu.	T-stat	P-value	Significativité
Azote total	0,4000	0,0200	0,1133	0,0153	19,7298	0,0000	Significant
CE	25,6267	0,1124	13,3000	1,3856	15,3579	0,0001	Significant
Calcium (Ca)	307,4400	2,4712	372,4700	2,6725	-30,9441	0,0000	Significant
Carbone	1,0233	0,0666	0,5233	0,0153	12,6773	0,0002	Significant
Fer (Fe)	24,1467	0,2757	10,5000	0,2524	63,2320	0,0000	Significant
MO	1,7600	0,1179	0,9000	0,0265	12,3277	0,0002	Significant
Magnésium	223,0060	1,3290	195,6370	2,0400	19,4410	0,0004	Significant
Manganèse	1,5367	0,0764	0,6700	0,0400	17,3000	0,0001	Significant
Phosphore	0,2000	0,0100	0,1100	0,0100	11,0227	0,0004	Significant
Potassium	1,2100	0,0200	0,6167	0,0058	49,3683	0,0000	Significant
Sodium	2771,9733	17,6905	807,1533	5,1757	184,6331	0,0000	Significant
Zinc	8,0333	0,2663	1,8333	0,0321	40,0301	0,0000	Significant
pH	4,0000	0,0000	4,0000	0,0000			Not Significant

Tableau : analyse des paramètres physico-chimiques des deux solutions issus des « C. Fiente » et « C.Indu. » acidifiés par l'acide phosphorique (PF vs PI)

Parametres	Moy. C. Fiente	Std_C.Fiente	Moy. C.Indu.	Std_C. Indu.	T-stat	P-value	Significativité
Azote total	0,237±	0,006	0,073	0,006	34,648	0,00000	Significant
CE	22,100	0,000	11,127	0,025	755,237	0,00000	Significant
Calcium	15,030	0,621	19,537	0,478	-9,962	0,00057	Significant
Carbone	1,177	0,025	0,427	0,025	36,500	0,00000	Significant
Fer	20,993	0,023	13,360	0,080	158,783	0,00000	Significant
MO	2,023	0,040	0,733	0,040	39,093	0,00000	Significant
Magnésium	24,797	0,700	39,777	2,188	-11,296	0,00035	Significant
Manganèse	3,560	0,101	0,060	0,010	59,445	0,00000	Significant
Phosphore	0,563	0,085	0,520	0,030	0,832	0,45207	Not Significant
Potassium	0,940	0,000	0,603	0,006	101,000	0,00000	Significant
Sodium	1908,753	12,548	806,500	6,795	133,792	0,00000	Significant
Zinc	7,720	0,000	1,263	0,012	968,500	0,00000	Significant
pH	4	0	4	0			Not Significant

Tableau : analyse des paramètres physico-chimiques des deux solutions issus des « C. Fiente » et « C.Indu. » acidifiés par l'acide sulfurique (SF vs SI)

Parametres	Moy. C. Fiente	Std_C.Fiente	Moy. C.Indu.	Std_C. Indu.	T-stat	P-value	Significativité
Azote total	0,2433	0,0058	0,0867	0,0058	33,2340	0,0000	Significant
CE	29,5333	0,5977	23,0667	0,1258	18,3378	0,0001	Significant
Calcium (Ca)	281,9133	2,1822	355,1567	3,4190	-31,2768	0,0000	Significant
Carbone	0,9200	0,0529	0,4733	0,0208	13,6056	0,0002	Significant
Fer (Fe)	36,5567	1,0013	17,2600	0,9414	24,3190	0,0000	Significant
MO	1,5833	0,0945	0,8133	0,0379	13,0988	0,0002	Significant
Magnésium (Mg)	213,4433	3,5045	206,6733	1,2603	3,1485	0,0346	Significant
Manganèse (Mn)	3,2467	0,3656	0,3900	0,0173	13,5200	0,0002	Significant
Phosphore (P2O5)	0,2400	0,0100	0,1500	0,0100	11,0227	0,0004	Significant
Potassium (K2O)	1,1667	0,1050	0,5300	0,0900	7,9800	0,0038	Significant
Sodium (Na)	2674,4267	3,1249	814,8133	1,1474	967,5663	0,0000	Significant
Zinc (Zn)	11,4333	1,1944	2,4200	0,1229	13,0023	0,0002	Significant
pH	4	0	4	0			Not Significant

1. L'analyse comparative de la Conductivité Electrique (CE) pour les trois solutions de chaque compost :

Extraits humiques du C. Fiente	Extraits humiques du C. Indu.																																																								
<p>CE : ANOVA Statistic: 336.420692141312 P-value: 6.904763692800688e-07 The means are statistically significantly different.</p> <p>Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <p>=====</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>group1</th> <th>group2</th> <th>meandiff</th> <th>p-adj</th> <th>lower</th> <th>upper</th> <th>reject</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NF</td> <td>PF</td> <td>-3.5267</td> <td>0.0</td> <td>-4.4063</td> <td>-2.647</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>NF</td> <td>SF</td> <td>3.9067</td> <td>0.0</td> <td>3.027</td> <td>4.7863</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>PF</td> <td>SF</td> <td>7.4333</td> <td>0.0</td> <td>6.5537</td> <td>8.313</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table> <p>=====</p>	group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject	NF	PF	-3.5267	0.0	-4.4063	-2.647	True	NF	SF	3.9067	0.0	3.027	4.7863	True	PF	SF	7.4333	0.0	6.5537	8.313	True	<p>CE : ANOVA Statistic: 240.08160128171923 P-value: 1.8797820510488533e-06 The means are statistically significantly different.</p> <p>Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <p>=====</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>group1</th> <th>group2</th> <th>meandiff</th> <th>p-adj</th> <th>lower</th> <th>upper</th> <th>reject</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NI</td> <td>PI</td> <td>-1.9433</td> <td>0.0367</td> <td>-3.738</td> <td>-0.1486</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>NI</td> <td>SI</td> <td>10.0</td> <td>0.0</td> <td>8.2053</td> <td>11.7947</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>PI</td> <td>SI</td> <td>11.9433</td> <td>0.0</td> <td>10.1486</td> <td>13.738</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table> <p>=====</p>	group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject	NI	PI	-1.9433	0.0367	-3.738	-0.1486	True	NI	SI	10.0	0.0	8.2053	11.7947	True	PI	SI	11.9433	0.0	10.1486	13.738	True
group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject																																																			
NF	PF	-3.5267	0.0	-4.4063	-2.647	True																																																			
NF	SF	3.9067	0.0	3.027	4.7863	True																																																			
PF	SF	7.4333	0.0	6.5537	8.313	True																																																			
group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject																																																			
NI	PI	-1.9433	0.0367	-3.738	-0.1486	True																																																			
NI	SI	10.0	0.0	8.2053	11.7947	True																																																			
PI	SI	11.9433	0.0	10.1486	13.738	True																																																			
<p>Mmhos/cm</p> <p>Detailed description: A box plot showing the distribution of electrical conductivity (Mmhos/cm) for three treatments: NF, PF, and SF. The y-axis ranges from 22 to 30. NF has a median around 25.5, PF around 22.2, and SF around 29.5. Individual data points are overlaid on the boxes.</p>	<p>Mmhos/cm</p> <p>Detailed description: A box plot showing the distribution of electrical conductivity (Mmhos/cm) for three treatments: NI, PI, and SI. The y-axis ranges from 12 to 22. NI has a median around 13.5, PI around 11.5, and SI around 23.5. Individual data points are overlaid on the boxes.</p>																																																								

2. L'analyse comparative de l'Azote (N) pour les trois solutions de chaque compost :

Extraits humiques du C. Fiente	Extraits humiques du C. Indu.
<p>N : ANOVA Statistic: 0.8290909090909092 P-value: 0.48092431169678923 There is not enough evidence to conclude a significant difference in means.</p>	<p>N : ANOVA Statistic: 12.444444444444446 P-value: 0.007329036620607761 The means are statistically significantly different. Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <pre>===== group1 group2 meandiff p-adj lower upper reject NI PI -0.04 0.0065 -0.0651 -0.0149 True NI SI -0.0267 0.0393 -0.0517 -0.0016 True PI SI 0.0133 0.3037 -0.0117 0.0384 False</pre>

3. L'analyse comparative du Phosphore (P₂O₅) pour les trois solutions de chaque compost :

Extraits humiques du C. Fiente	Extraits humiques du C. Indu.
<p>P₂O₅ : ANOVA Statistic: 48.05829596412556 P-value: 0.00020284523717106553 The means are statistically significantly different. Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <pre>===== group1 group2 meandiff p-adj lower upper reject NF PF 0.3633 0.0003 0.2386 0.488 True NF SF 0.04 0.6124 -0.0847 0.1647 False PF SF -0.3233 0.0005 -0.448 -0.1986 True</pre>	<p>P₂O₅ : ANOVA Statistic: 418.09090909090247 P-value: 3.6160644921860025e-07 The means are statistically significantly different. Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <pre>===== group1 group2 meandiff p-adj lower upper reject NI PI 0.41 0.0 0.362 0.458 True NI SI 0.04 0.0948 -0.008 0.088 False PI SI -0.37 0.0 -0.418 -0.322 True</pre>

4. L'analyse comparative du Potassium (K₂O) pour les trois solutions de chaque compost :

Extraits humiques du C. Fiente	Extraits humiques du C. Indu.																												
<p>K₂O : ANOVA Statistic: 17.968571428571437 P-value: 0.002928580957316704 The means are statistically significantly different.</p> <p>Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <p>=====</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>group1</th> <th>group2</th> <th>meandiff</th> <th>p-adj</th> <th>lower</th> <th>upper</th> <th>reject</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NF</td> <td>PF</td> <td>-0.2833</td> <td>0.0034</td> <td>-0.4396</td> <td>-0.1271</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>NF</td> <td>SF</td> <td>-0.0433</td> <td>0.6878</td> <td>-0.1996</td> <td>0.1129</td> <td>False</td> </tr> <tr> <td>PF</td> <td>SF</td> <td>0.24</td> <td>0.0078</td> <td>0.0838</td> <td>0.3962</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>	group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject	NF	PF	-0.2833	0.0034	-0.4396	-0.1271	True	NF	SF	-0.0433	0.6878	-0.1996	0.1129	False	PF	SF	0.24	0.0078	0.0838	0.3962	True	<p>K₂O : ANOVA Statistic: 2.820788530465949 P-value: 0.13690468151125168 There is not enough evidence to conclude a significant difference in means.</p>
group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject																							
NF	PF	-0.2833	0.0034	-0.4396	-0.1271	True																							
NF	SF	-0.0433	0.6878	-0.1996	0.1129	False																							
PF	SF	0.24	0.0078	0.0838	0.3962	True																							

5. L'analyse comparative du Calcium (Ca) et Magnésium (Mg) pour les trois solutions de chaque compost :

Extraits humiques du C. Fiente	Extraits humiques du C. Indu.																																																								
<p>Ca : ANOVA Statistic: 20976.364328103864 P-value: 2.9240634292972682e-12 The means are statistically significantly different.</p> <p>Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <p>=====</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>group1</th> <th>group2</th> <th>meandiff</th> <th>p-adj</th> <th>lower</th> <th>upper</th> <th>reject</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NF</td> <td>PF</td> <td>-292.41</td> <td>0.0</td> <td>-297.2623</td> <td>-287.5577</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>NF</td> <td>SF</td> <td>-25.5267</td> <td>0.0</td> <td>-30.3789</td> <td>-20.6744</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>PF</td> <td>SF</td> <td>266.8833</td> <td>0.0</td> <td>262.0311</td> <td>271.7356</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>	group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject	NF	PF	-292.41	0.0	-297.2623	-287.5577	True	NF	SF	-25.5267	0.0	-30.3789	-20.6744	True	PF	SF	266.8833	0.0	262.0311	271.7356	True	<p>Ca : ANOVA Statistic: 18690.418741454065 P-value: 4.133306021084945e-12 The means are statistically significantly different.</p> <p>Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <p>=====</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>group1</th> <th>group2</th> <th>meandiff</th> <th>p-adj</th> <th>lower</th> <th>upper</th> <th>reject</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NI</td> <td>PI</td> <td>-352.9333</td> <td>0.0</td> <td>-359.2481</td> <td>-346.6186</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>NI</td> <td>SI</td> <td>-17.3133</td> <td>0.0004</td> <td>-23.6281</td> <td>-10.9986</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>PI</td> <td>SI</td> <td>335.62</td> <td>0.0</td> <td>329.3052</td> <td>341.9348</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>	group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject	NI	PI	-352.9333	0.0	-359.2481	-346.6186	True	NI	SI	-17.3133	0.0004	-23.6281	-10.9986	True	PI	SI	335.62	0.0	329.3052	341.9348	True
group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject																																																			
NF	PF	-292.41	0.0	-297.2623	-287.5577	True																																																			
NF	SF	-25.5267	0.0	-30.3789	-20.6744	True																																																			
PF	SF	266.8833	0.0	262.0311	271.7356	True																																																			
group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject																																																			
NI	PI	-352.9333	0.0	-359.2481	-346.6186	True																																																			
NI	SI	-17.3133	0.0004	-23.6281	-10.9986	True																																																			
PI	SI	335.62	0.0	329.3052	341.9348	True																																																			

Mg : ANOVA Statistic: 7734.909404612095
P-value: 5.827641697400256e-11
The means are statistically significantly different.

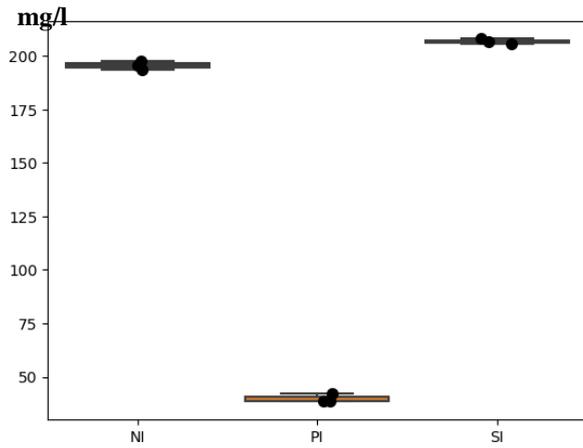
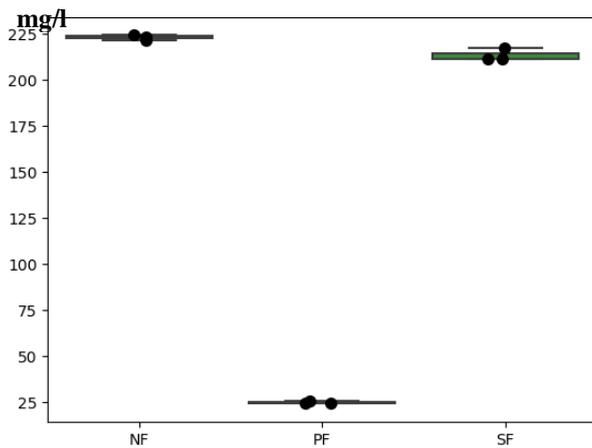
Tukey HSD Results:
Multiple Comparison of Means - Tukey HSD,
FWER=0.05

group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject
NF	PF	-198.21	0.0	-203.7249	-192.6951	True
NF	SF	-9.5633	0.0043	-15.0782	-4.0484	True
PF	SF	188.6467	0.0	183.1318	194.1616	True

Mg : ANOVA Statistic: 7441.464973128133
P-value: 6.544301382915526e-11
The means are statistically significantly different.

Tukey HSD Results:
Multiple Comparison of Means - Tukey HSD,
FWER=0.05

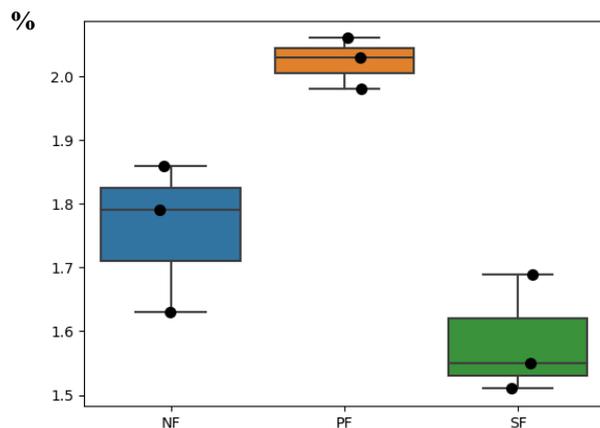
group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject
NI	PI	-155.8967	0.0	-160.592	-151.2013	True
NI	SI	11.0	0.0009	6.3046	15.6954	True
PI	SI	166.8967	0.0	162.2013	171.592	True



6. L'analyse comparative de la Matière organique (M.O) pour les trois solutions de chaque compost :

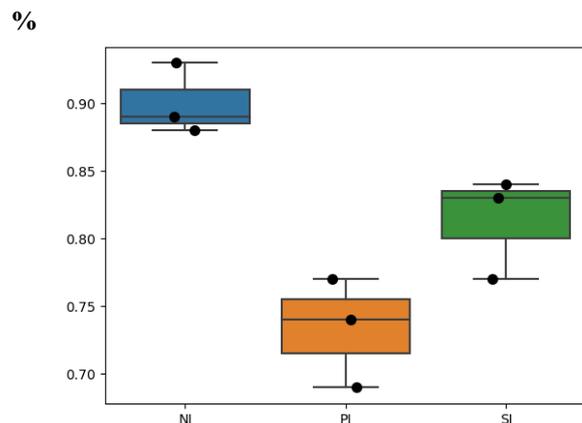
Extraits humiques du C. Fiente
MO : ANOVA Statistic: 18.034059945504065
P-value: 0.0029013120534623843
The means are statistically significantly different.
Tukey HSD Results:
Multiple Comparison of Means - Tukey HSD,
FWER=0.05

group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject
NF	PF	0.2633	0.0273	0.0371	0.4896	True
NF	SF	-0.1767	0.1166	-0.4029	0.0496	False
PF	SF	-0.44	0.0024	-0.6662	-0.2138	True



Extraits humiques du C. Indu.
MO : ANOVA Statistic: 16.601769911504427
P-value: 0.0035849070766929008
The means are statistically significantly different.
Tukey HSD Results:
Multiple Comparison of Means - Tukey HSD,
FWER=0.05

group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject
NI	PI	-0.1667	0.0029	-0.2554	-0.0779	True
NI	SI	-0.0867	0.0547	-0.1754	0.0021	False
PI	SI	0.08	0.0729	-0.0088	0.1688	False



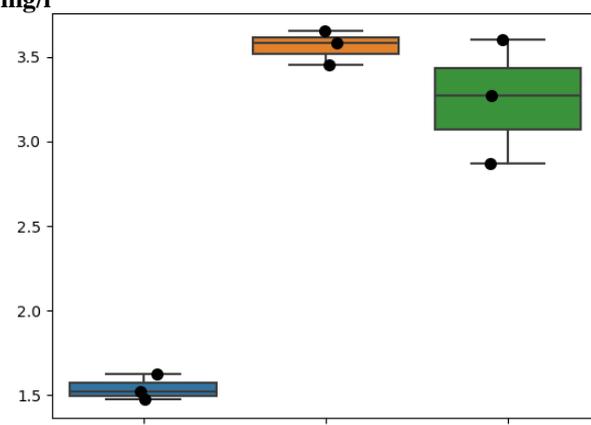
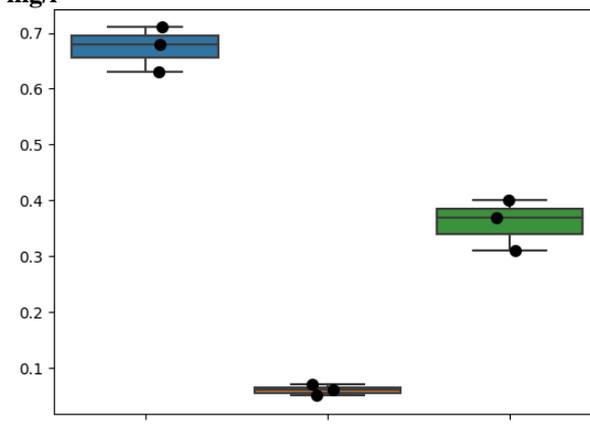
7. L'analyse comparative du Sodium (Na) pour les trois solutions de chaque compost :

Extraits humiques du C. Fiente	Extraits humiques du C. Indu.																												
<p>Na : ANOVA Statistic: 4188.901196691424 P-value: 3.665478284060996e-10 The means are statistically significantly different. Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th>group1</th> <th>group2</th> <th>meandiff</th> <th>p-adj</th> <th>lower</th> <th>upper</th> <th>reject</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NF</td> <td>PF</td> <td>-863.22</td> <td>0.0</td> <td>-894.9146</td> <td>-831.5254</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>NF</td> <td>SF</td> <td>-97.5467</td> <td>0.0002</td> <td>-129.2412</td> <td>-65.8521</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>PF</td> <td>SF</td> <td>765.6733</td> <td>0.0</td> <td>733.9788</td> <td>797.3679</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>	group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject	NF	PF	-863.22	0.0	-894.9146	-831.5254	True	NF	SF	-97.5467	0.0002	-129.2412	-65.8521	True	PF	SF	765.6733	0.0	733.9788	797.3679	True	<p>Na : ANOVA Statistic: 2.589338150321446 P-value: 0.15462603141548445 There is not enough evidence to conclude a significant difference in means.</p>
group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject																							
NF	PF	-863.22	0.0	-894.9146	-831.5254	True																							
NF	SF	-97.5467	0.0002	-129.2412	-65.8521	True																							
PF	SF	765.6733	0.0	733.9788	797.3679	True																							

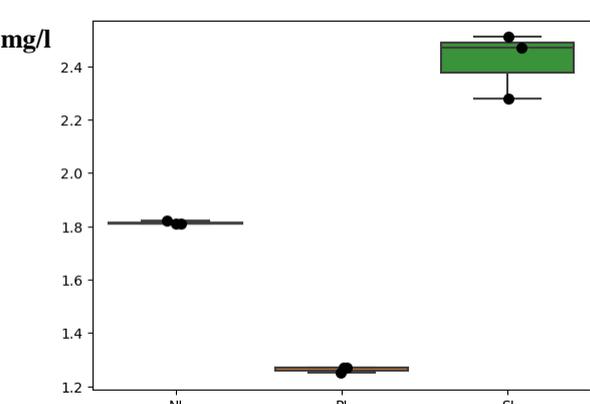
8. L'analyse comparative du Fer (Fe) pour les trois solutions de chaque compost :

Extraits humiques du C. Fiente	Extraits humiques du C. Indu.																																																								
<p>Fe : ANOVA Statistic: 564.5940444197416 P-value: 1.4765571959416235e-07 The means are statistically significantly different. Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th>group1</th> <th>group2</th> <th>meandiff</th> <th>p-adj</th> <th>lower</th> <th>upper</th> <th>reject</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NF</td> <td>PF</td> <td>-3.1533</td> <td>0.0016</td> <td>-4.6558</td> <td>-1.6508</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>NF</td> <td>SF</td> <td>12.41</td> <td>0.0</td> <td>10.9075</td> <td>13.9125</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>PF</td> <td>SF</td> <td>15.5633</td> <td>0.0</td> <td>14.0608</td> <td>17.0658</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>	group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject	NF	PF	-3.1533	0.0016	-4.6558	-1.6508	True	NF	SF	12.41	0.0	10.9075	13.9125	True	PF	SF	15.5633	0.0	14.0608	17.0658	True	<p>Fe : ANOVA Statistic: 108.35508155583416 P-value: 1.955391140577418e-05 The means are statistically significantly different. Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <hr/> <table border="1"> <thead> <tr> <th>group1</th> <th>group2</th> <th>meandiff</th> <th>p-adj</th> <th>lower</th> <th>upper</th> <th>reject</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>NI</td> <td>PI</td> <td>2.86</td> <td>0.002</td> <td>1.4455</td> <td>4.2745</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>NI</td> <td>SI</td> <td>6.76</td> <td>0.0</td> <td>5.3455</td> <td>8.1745</td> <td>True</td> </tr> <tr> <td>PI</td> <td>SI</td> <td>3.9</td> <td>0.0004</td> <td>2.4855</td> <td>5.3145</td> <td>True</td> </tr> </tbody> </table>	group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject	NI	PI	2.86	0.002	1.4455	4.2745	True	NI	SI	6.76	0.0	5.3455	8.1745	True	PI	SI	3.9	0.0004	2.4855	5.3145	True
group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject																																																			
NF	PF	-3.1533	0.0016	-4.6558	-1.6508	True																																																			
NF	SF	12.41	0.0	10.9075	13.9125	True																																																			
PF	SF	15.5633	0.0	14.0608	17.0658	True																																																			
group1	group2	meandiff	p-adj	lower	upper	reject																																																			
NI	PI	2.86	0.002	1.4455	4.2745	True																																																			
NI	SI	6.76	0.0	5.3455	8.1745	True																																																			
PI	SI	3.9	0.0004	2.4855	5.3145	True																																																			

9. L'analyse comparative du Manganèse (Mn) pour les trois solutions de chaque compost :

Extraits humiques du C. Fiente	Extraits humiques du C. Indu.
<p>Mn : ANOVA Statistic: 71.27242377030952 P-value: 6.589932619386151e-05 The means are statistically significantly different. Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <pre>===== group1 group2 meandiff p-adj lower upper reject NF PF 2.0233 0.0001 1.4636 2.5831 True NF SF 1.71 0.0002 1.1502 2.2698 True PF SF -0.3133 0.2742 -0.8731 0.2464 False</pre>	<p>Mn : ANOVA Statistic: 220.8347826086944 P-value: 2.407581743392308e-06 The means are statistically significantly different. Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <pre>===== group1 group2 meandiff p-adj lower upper reject NI PI -0.6133 0.0 -0.7029 -0.5238 True NI SI -0.3133 0.0001 -0.4029 -0.2238 True PI SI 0.3 0.0001 0.2104 0.3896 True</pre>
<p>mg/l</p> 	<p>mg/l</p> 

10. L'analyse comparative du Zinc (Zn) pour les trois solutions de chaque compost :

Extraits humiques du C. Fiente	Extraits humiques du C. Indu.
<p>Zn : ANOVA Statistic: 1.8244774232877587 P-value: 0.24044343788433425 There is not enough evidence to conclude a significant difference in means.</p>	<p>Zn : ANOVA Statistic: 197.33406113536992 P-value: 3.3581444940406647e-06 The means are statistically significantly different. Tukey HSD Results: Multiple Comparison of Means - Tukey HSD, FWER=0.05</p> <pre>===== group1 group2 meandiff p-adj lower upper reject NI PI -0.55 0.0002 -0.7287 -0.3713 True NI SI 0.6067 0.0001 0.428 0.7854 True PI SI 1.1567 0.0 0.978 1.3354 True</pre>
	<p>mg/l</p> 

Résumé

La décomposition limitée de la matière organique dans les sols algériens entraîne une diminution de la fertilité du sol en humus. Pour remédier à cette situation, les agriculteurs utilisent des amendements organiques tels que la fiente de volaille et le fumier. Cependant, la faible activité biologique entrave la formation d'un humus stable. Les composés humiques, tels que l'acide humique et l'acide fulvique, se combinent avec les argiles pour former un complexe colloïdal appelé complexe argilo-humique (CAH). Afin d'améliorer l'enrichissement du sol en matière organique stable, des approches alternatives telles que le compost sont envisagées. Pour extraire ces composés humiques, une opération de fractionnement est réalisée à l'aide de solutions alcalines, entraînant la formation d'une phase insoluble, l'humine, et d'une phase soluble. L'acidification de cette dernière produit deux fractions distinctes : l'acide humique et l'acide fulvique. Dans ce contexte, nous avons réalisé ce travail dont l'objectif est d'acidifier le surnageant (phase soluble) en utilisant trois acides différents (acide nitrique, acide phosphorique et acide sulfurique) afin d'obtenir un produit final à un pH égal à 4.

Mots clés : Matière organique, Humus, Humine, Acide humique, Acide fulvique, Phase soluble et Phase insoluble.

الملخص

التحلل المحدودة للمواد العضوية في التربة الجزائرية تؤدي إلى انخفاض خصوبة هذه التربة من الناحية العضوية. للتغلب على هذا الوضع، يضطر الفلاحون لاستخدام مواد عضوية مثل فضلات الدواجن والابقار. ومع ذلك، ونظرا للنشاط البيولوجي المنخفض يستحيل تكوين مواد عضوية مستقر داخل التربة. المركبات العضوية، مثل حمض الهيوميك وحمض الفولفيك تتحد مع الطين لتشكيل مركبات كولويدية. من أجل تحسين تثريب التربة بالمواد العضوية المستقرة، يتم التفكيك بواسطة حلاوة بواسطة محاليل قاعدية، مما يؤدي إلى تكوين مرحلة غير قابلة للذوبان، الهومين، ومرحلة قابلة للذوبان. تحمض هذه الأخيرة لتشكيل جزئين متميزين: الحمض العضوي والحمض الفولفي. ومع ذلك، يكمن هدف هذه الدراسة في حمضية الطفح (المرحلة القابلة للذوبان) باستخدام ثلاثة حموض مختلفة (حمض النيتريك، وحمض الفوسفوريك، وحمض الكبريتيك) للحصول على منتج نهائي بتركيز يساوي 4

كلمات مفتاحية: المادة العضوية، الهيوموس، الهومين، حمض الهيوميك، حمض الفولفيك، المرحلة القابلة للذوبان والمرحلة غير القابلة للذوبان.

Abstract :

The limited decomposition of organic matter in Algerian soils results in a decrease in soil fertility in terms of humus. To address this situation, farmers use organic amendments such as poultry manure and dung. However, low biological activity hinders the formation of stable humus. Humic compounds, such as humic acid, fulvic acid, and humin, combine with clays to form a colloidal complex known as the clay-humus complex (CAH). In order to enhance soil enrichment with stable organic matter, alternative approaches such as composting are considered. To extract these humic compounds, a fractionation operation is carried out using alkaline solutions, leading to the formation of an insoluble phase, humin, and a soluble phase. Acidification of the latter results in two distinct fractions: humic acid and fulvic acid. However, the objective of this study is to acidify the supernatant (soluble phase) using three different acids (nitric acid, phosphoric acid, and sulfuric acid) to obtain a final product with a pH of 4.

Keywords : Organic matter, Humus, Humic acid, Fulvic acid, Soluble phase, Insoluble phase.