

Research Article

ETUDE DE VALEUR AGRONOMIQUE D'UN COMPOST DE DECHETS D'ALAMBICS DE BROUSSE EN VUE D'UNE UTILISATION EFFICIENTE EN AGRICULTURE: CAS DU COMPOST DE FEUILLES ISSUS DE RESIDUS DE DISTILLATION ARTISANALE D'HUILES ESSENTIELLES DE FEUILLES DE GIROFLIERS

*Christian Pierre RATSIMBAZAFY¹, Ignace RAKOTOARIVONIZAKA², Rijalalaina RAKOTOSAONA²

¹Centre de Valorisation Organique d'Ambohimahasoa de l'Entreprise IAZAFO-COMPOST

²Laboratoire de Génie Chimique de l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo (ESPA)

Received 21th November 2020; Accepted 15th December 2020; Published online 30th January 2021

ABSTRACT

The present study has demonstrated the fertilizing and amendment value of the compost from bush alembics waste, especially the leaves compost from the remainders of essential oil distillation of cloverleaves. The studies which we have carried out attest that this alembic compost fulfils with success the criteria of harmful required to composts and to organic amendments, it's to say free of undesirable elements, in particular trace metal elements (TMEs) and organic trace compounds (OTCs). The use in agriculture of this type of compost is very beneficial to agricultural soils and poses no risk to the cultivation and especially to the environment. At the same time, this leave compost provides stable organic matter in the soil which is a major factor in the functioning of agricultural ecosystem. To specify the organic matter, essential factor of fertility soil does imperfection for the majority of arable Malagasy soils.

Keywords: compost, organic amendment, fertilizer, improving, harmful.

INTRODUCTION

La Région Analanjirifo (Madagascar) dispose des nombreux alambics traditionnels appelés aussi alambics de brousse installés dans tous les villages girofliers de ladite Région pour l'opération de distillation d'essence de feuilles de girofliers. Ces installations de distillation d'essences de feuilles génèrent beaucoup de déchets, entre autres les résidus de distillation (déchets de feuilles), des cendres de bois, etc. Ces sources des matières fertilisantes d'origine résiduaire (Mafor) une fois stabilisées sous forme de compost sont potentiellement valorisables en agriculture. Ils constituent en effet, des matières fertilisantes d'origine organique servant pour amender et fertiliser les sols agricoles. D'ailleurs, cette étude a pour objectif d'examiner de façon exhaustive la valeur agronomique (valeur amendante et fertilisante) des composts issus des résidus de distillation d'essence de feuilles de girofliers.

MATERIELS ET METHODES

Compost d'alambics de brousse: Le compost à caractériser agronomiquement est un compost mûr et bien au point âgé de 4 mois provenant de la plate-forme de compostage du Centre de Valorisation Organique de l'Entreprise IAZAFO Compost, sis dans le village d'Ambohimahasoa, district de Vavatenina, Région Analanjirifo, pays Madagascar. Ce compost a été fabriqué à partir des déchets de feuilles issus des résidus de la distillation d'essence de feuilles de girofler.

Analyses physico-chimiques: Les analyses physico-chimiques à réaliser dans le cadre de cette expérimentation sont : la détermination du taux de la matière sèche (MS), de la matière organique totale (MOT), du carbone organique total (COT), de l'azote totale, du rapport C/N, le pH, de la conductivité électrique (EC), de l'azote nitrique (NO_3^-), de l'azote ammoniacale (NH_4^+), dosages des éléments fertilisants majeurs notamment le phosphore (P_2O_5), le potassium (K_2O) et secondaires CaO, MgO et Na_2O .

- La détermination de la matière sèche (MS) est effectuée selon le protocole normalisé (NF ISO 11465, 1994) : séchage d'un échantillon humide à 105°C jusqu'à poids constant. La différence de masse avant et après séchage sert de mesure pour la teneur en matière sèche et en eau,
- La teneur en matière organique totale (MO en % de MS) a été déterminée par la perte en masse lors de la calcination de l'échantillon à 550°C, durant 02 heures dans un four (NF U 44-160 de novembre 1985 ; norme européenne EN 15935, 2009),
- Le carbone organique total sera déterminé par voie humide ou d'oxydation sulfochromique (NF ISO 14235, 1998),
- l'azote total par la méthode Kjeldhal (NTK) (EN 13342, octobre 2000),
- La mesure du pH, est effectuée sur des suspensions aqueuses selon la norme AFNOR NF ISO 10390 de novembre 1994 et que la mesure de pH ($\pm 0,1$ unité pH) se fait directement par lecture sur un pH-mètre à électrode combinée,
- La conductivité électrique spécifique (EC) est mesurée sur un extrait aqueux à 1/5 (masse de compost/volume de solution) à une température de (20 ± 1) °C (NF ISO 11265),
- L'azote ammoniacal et nitrique par extraction à la solution de chlorure de potassium (KCl 1M) puis dosé par méthode colorimétrique (ISO 14256-1, 2003 ; ISO 14256-2, 2005). L'absorbance est mesurée à 543nm pour les nitrates par la réaction de Griess-Ilosvay modifiée (Bremner, 1965 ; Guiot, 1975) tandis que l'absorbance de l'ammonium est mesurée à 630 nm selon la réaction de Berthelot en milieu alcalin (NF T90-015 Août 1975).
- Le rapport C/N calculé à partir de COT mesuré par oxydation sulfochromique ou oxydation chimique et de l'azote total obtenue par la méthode Kjeldhal (N-NTK),
- La détermination des phosphores présents dans l'échantillon de compost consiste à minéraliser l'échantillon dans l'auréale (1 part HNO_3 pour 3 parts HCl) puis suivie de

*Corresponding Author: Christian Pierre RATSIMBAZAFY,

Centre de Valorisation Organique d'Ambohimahasoa de l'Entreprise IAZAFO-COMPOST

dosage par colorimétrie avec molybdate d'ammonium (AFNOR NF EN 1189, 1997),

- La détermination du calcium (CaO), du magnésium (MgO) et du sodium (Na₂O) consiste à minéraliser l'échantillon dans l'auréale (mélange d'HCl et HNO₃ 3/1) durant 16 heures à température ambiante, puis à ébullition avec reflux pendant 2 heures. Les concentrations de chaque élément sont alors déterminées à l'aide de méthodes spectrométriques plus précisément par spectroscopie d'émission optique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-AES) (ISO 22036, 2008)

Analyse biochimiques

Fractionnement biochimique: Il s'agit de fractionnement biochimique des matières organiques de l'échantillon de compost en fraction soluble (SOL), fraction équivalente d'hémicellulosiques (HEM), en fraction équivalente de celluloses (CEL), et en fraction équivalente de lignine (LIC) selon la méthode Van Soest décrit dans la norme FD U44-162 (AFNOR, 2016). Cette méthode consiste à séparer successivement les 4 fractions de MO assimilées à des fractions biochimiques présentes dans les produits résiduels organiques ou PROs (fraction soluble (SOL), l'hémicellulose (HEM), la cellulose (CEL) et les lignines (LIG)) à l'aide d'un extracteur de fibres, déterminées ensuite par différence pondérale après attaque puis exprimées en % de la MO totale ou en % du C organique total des matières organiques. La matière organique soluble (dénommé SOL) est issue par une double solubilisation à l'eau chaude, suivie d'une solubilisation dans un détergent neutre (NDF ou Neutral Detergent Fiber) (dodécyl sulfate de sodium), la fraction organique obtenue après l'extraction au NDF moins celle obtenue après l'extraction au détergent acide (ADF ou Acid Detergent Fiber) correspond approximativement à la quantité d'hémicellulose (HEM), la fraction organique obtenue après l'extraction au ADF moins celle obtenue après l'extraction à l'ADL ou Acid Detergent Lignin) ou solution commerciale d'acide sulfurique à 72% qui solubilise les celluloses correspond bien évidemment approximativement à la teneur en cellulose (CEL). Enfin la fraction organique obtenue après l'extraction à l'ADL correspond à la teneur en lignine (LIC) contenue dans l'échantillon. Ainsi, cinq échantillons de 1 gramme de compost sec et broyé à 1 mm sont placés dans des creusets auxquels on ajoute 1 gramme de sable calciné.

Quatre extractions sont réalisées successivement :

- Extraction de la fraction soluble dans l'eau chaude (SOL eau) (extraction dans 100 ml d'eau bouillante pendant 30 minutes).
- Extraction de la fraction soluble dans l'eau + détergent neutre (SOL_{NDF}) (extraction dans 100 ml d'eau bouillante pendant 30 minutes puis dans 100 ml de détergent neutre chaud pendant une heure, NDF).
- Extraction de la fraction hémicellulosique (HEM) (1 heure dans 100 ml dans un détergent acide chaud, ADF).
- Extraction de la fraction cellulosique (CEL) (3 heures dans une solution d'acide sulfurique concentrée, ADL).

Le résidu est considéré comme étant la fraction lignine (LIC).

Après chaque extraction, la fraction organique résiduelle a été calculée en fonction de la perte en masse de l'échantillon (l'échantillon est séché à 105°C pendant au moins 16 heures puis calciné à 480°C durant 6 heures). Les calculs des différentes fractions se font selon :

$$\text{SOL}_{\text{eau}} (\% \text{MO}) = 100 - \text{MO}_{\text{eau}}$$

$$\text{SOL}_{\text{NDF}} (\% \text{MO}) = \text{MO}_{\text{eau}} - \text{MO}_{\text{NDF}}$$

$$\text{HEM} (\% \text{MO}) = \text{MO}_{\text{NDF}} - \text{MO}_{\text{ADF}}$$

$$\text{CEL} (\% \text{MO}) = \text{MO}_{\text{ADF}} - \text{MO}_{\text{ADL}}$$

$$\text{LIC} (\% \text{MO}) = \text{MO}_{\text{ADL}}$$

Avec MO_{eau} , MO_{NDF} , MO_{ADF} , MO_{ADL} , les proportions de MO mesurée dans les résidus après extraction

Cinétique de minéralisation du carbone:

Des essais en incubations en Conditions Contrôlées (ICC) ont été menés durant trois (03) jours afin d'apprécier la minéralisation du carbone du compost en question une fois apporté au sol. Ces ICC ont été réalisées suivant la norme FD U44-163 (AFNOR, 2019). Ainsi, 25 grammes de sol sec à 105°C, et une masse de compost telle que l'apport de carbone organique représente 0,2% de la masse de sol sec (soit apport de 2.000 mg de carbone/ kg de terre sèche) sont incubés dans l'obscurité, à une température de 28°C pendant 03 jours, les échantillons sont humidifiés à hauteur de 65% de la capacité au champ (soit 8,12 g d'eau pour 25 g de sol), conditions optimales de minéralisation. Le témoin (sol sans aucun apport organique) a été également incubé. Chaque traitement est répété 3 fois. Le C-CO₂ minéralisé a été prélevé après 1, 2, et 3 jours d'incubation. La minéralisation du C est mesurée par piégeage de CO₂ dans de la soude (Freijer et Bouten, 1991). Des tubes contenant 20 ml de NaOH 1M sont placés dans les bouches d'incubation. La soude ayant réagi avec le CO₂ précipite en présence de 5 ml de BaCl₂. La soude restante est titrée avec du HCl 0,1M jusqu'à virage d'un indicateur coloré (thymolphtaleine)

Indice de stabilité de la Matière Organique

L'indicateur ISMO (Indice de Stabilité de la Matière Organique) est calculé sur la base des fractions biochimiques et du C minéralisé en 3 jours au cours d'incubations dans un sol (Ct3) soit :

$$\text{ISMO} (\% \text{MO}) = 44.5 + 0.5 \text{ SOL} - 0.2 \text{ CEL} + 0.7 \text{ LIC} - 2.3 \text{ MinC}_3 (1)$$

Avec SOL, CEL et LIC les fractions biochimiques (% MO) et MinC₃, la proportion de C organique minéralisée pendant les 3 premiers jours d'incubation. L'indicateur ISMO représente un bon estimateur de la valeur amendante (Lashermes, et al, 2009). L'ISMO est une appréciation rapide en laboratoire du coefficient K1 (Coefficient Iso-humique) d'un produit organique, coefficient obtenu habituellement à partir d'expérimentation plein champ de moyenne à longue durée (Lionel Jordan-Meille, Christian Morel, Xavier Salducci, Julien Michaud, 2018)

Tests d'innocuités : dosages des ETMs et CTOs

L'innocuité de compost objet de cette étude est appréciée principalement par sa teneur en ETMs, en CTOs.

Dosages des ETMs

La détermination des éventuelles présences des ETMs consiste préalablement à extraire à l'auréale (1 part HNO₃ pour 3 parts HCl) conformément à la norme ISO 11466, 1995, puis suivi de dosage d'éléments extraits par cette auréale par spectrométrie d'émission atomique avec plasma couplé par induction (ICP-AES) suivant la méthode normalisée (ISO 22036, 2008). Les éléments concernés dans le cadre de cette étude sont les suivants : arsenic (As), cadmium (Cd), chrome (Cr), cobalt (Co), cuivre (Cu), nickel (Ni), plomb (Pb), zinc (Zn).

Dosages des composés de traces organiques (CTOs)

Les CTOs objet de vérification et contrôle strict dans l'échantillon de compost sont : (i) les hydrocarbures aromatiques monocycliques (H.A.Ms) et halogénés volatils comme le Benzène, le Toluène, l'Éthylbenzène, o-Xylène, m-Xylène, p-Xylène, Styène, etc.

(ii) quelques Hydro Carbures Aromatiques Polycycliques (HAPs) comme le Fluoranthène, Benzo (b) fluoranthène, Benzo (a) pyrène et total des 7 PCBs congénères classés polluants organiques persistants (POPs).

- les hydrocarbures aromatiques monocycliques (Benzène, Toluène, Ethylbenzène, o-Xylène, m-Xylène, p-Xylène, Styène) sont dosés par technique de chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG/SM) conformément à la norme internationale ISO 22155, 2011 ;
- les hydrocarbures aromatiques polycycliques (Fluoranthène, Benzo (b) fluoranthène, Benzo (a) pyrène) sont déterminés par méthode chromatographique en phase liquide à haute performance (HPLC) (Norme ISO 13877, 1998),
- les 7 PCBs congénères en l'occurrences PCB n°28, 52, 101, 138, 153 et 180 sont dosés par chromatographie gazeuse et détection par capture d'électrons (Norme ISO 10382, 2002 ; AFNOR XPX33-012, 2000)

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Analyse physico-chimique

Le tableau ci-après nous récapitule les résultats d'analyse physico-chimique effectuée sur ce compost de feuille issu des résidus de distillation d'huiles essentielles de feuilles de girofliers.

Tableau 1 : Principales caractéristiques physico-chimiques du compost d'alambic

Analyses	Unités	Sur brut	Sur sec
Matière sèche	%	57,8	-
pH _{eau}	Unité de pH	7	
Conductivité électrique	mS.cm ⁻¹ à 20°C	2	
Matière Organique (MO)	%	50,88	88,02
Carbone Organique Total (COT)	%	24,69	42,71
Azote kjeldahl	%	1,731	2,99
Rapport C/N	Sans unité	14,26	
Azote nitrique	g N/Kg	1,89	3,26
Azote ammoniacal	g N/Kg	0,44	0,76
Phosphore (P ₂ O ₅)	%	0,87	1,5
Potassium (K ₂ O)	%	1,45	2,5
Calcium (CaO)	%	2,68	4,63
Magnésium (MgO)	%	1,10	1,90
Sodium (Na ₂ O)	%	0,5	0,86

Conformément à la norme NFU 44-051, ce compost d'alambic de brousse est un amendement organique. En effet, la somme des éléments fertilisants majeurs est inférieure à 7% de produit brut (MB) (N+K+P < 7% de MB). En outre, chaque élément fertilisant majeur enregistre respectivement une valeur inférieure à 3% de MB (soient respectivement N < 3% de MB, P₂O₅ < 3% de MB et K₂O < 3% de MB).

Le taux de MS est supérieur à 30% de MB (MS ≥ 30% de MB).

De même, la matière organique est largement supérieure à 25 % de MB. Subséquemment, ce compost de feuille présente un léger avantage en terme de valeur fertilisante comparé aux composts de déchets verts classiques, c'est-à-dire enregistre un taux beaucoup plus élevé en élément fertilisant notamment avec un taux assez important en calcium.

Résultats d'analyse biochimique

Fractionnement biochimique

Le tableau 2 nous renseigne les pourcentages en lignine, en cellulose, en hémicellulose et en substances solubles de cet échantillon de compost, résultat exprimé en pourcentage de la MO.

Tableau 2. Résultats de fractionnement biochimique exprimé en pourcentage de MO

Fractionnement biochimique de MO	Résultat en % MO
Composés organiques insolubles dans le détergent neutre NDF (% de la MO)	81,68
Composés organiques insolubles dans le détergent acide ou ADF (% de la MO)	67,27
Lignine sulfurique ADL (% de la MO)	35,58
Composés organiques solubles "SOL"	18,32
Hémicellulose "HEM"	14,41
Cellulose "CEL"	31,69
Lignine et cutine "LIC"	35,58

Fibre au détergent neutre (NDF); Fibres aux détergents acides (ADF); Lignes aux détergents acides (ADL); avec respectivement Cellulose: CELL = ADF - ADL; Hémicellulose: HEMI = NDF - ADF; Lignine: LIGN = ADL; Fraction soluble: SOLU = 100 - NDF

D'une manière générale, la matière organique de compost de feuilles d'alambic de brousse est plus riche en fibre (cellulose et lignine) et relativement pauvre en substance labiles (sucre, etc.). Ce compost présente probablement un atout majeur du fait de sa teneur élevée en fibre à caractère plus ou moins récalcitrant à la biodégradation.

Cinétique de minéralisation du carbone

La figure 1 représente les cinétiques de minéralisation apparente du carbone du compost testé pendant les trois (3) jours d'incubation, calculées par différence entre le dégagement de CO₂ du traitement et celui du sol seul

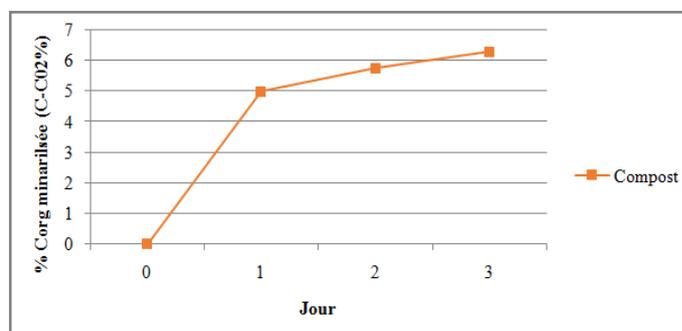


Figure 1. Cinétiques de minéralisation cumulée du carbone exprimé en % de C initial

En trois jours (03j), près de 6,3% de carbone organique ont été minéralisés.

Donc une minéralisation relativement lente du fait probablement de la stabilité de la matière organique de compost examiné.

Indice de Stabilité de la Matière Organique (ISMO)

L'ISMO est calculé à partir de la formule (1) citée plus haut. Ainsi, la valeur d'ISMO de notre échantillon de compost est :

ISMO en % de la matière organique 58%
 ISMO en kg / T de produit brut 510,51
 ISMO en kg / T de produit brut 295,10

Ce compost de feuilles d'alambic adonc une valeur amendante satisfaisante possédant un bon potentiel humigène.

Résultats des tests d'innocuités

Les résultats d'examen de critères d'innocuité sont indiqués dans le tableau 3 suivant:

Bremner J.M., 1965. Inorganic forms of nitrogen. In : Black C.A. et al. (eds). *Methods of soil analysis. Part 2*. Madison, WI, USA : American Society of Agronomy, 1179-1237,
Freijer, J.I. & Bouten W., 1991. *Plant Soil*. 135 :133-142

Tableau n 03. Résultats d'analyse de critères d'innocuité

Éléments à surveiller	Concentration (mg/Kg de MS)	Concentration (mg/kg de PB)	Valeurs limites acceptables (mg/Kg de MS) Référence SAQ-TERROM	Valeurs limites acceptables (mg/Kg de MS) NFU 44-051
ETMs				
Arsenic (As)	0,07	0,040	≤16	18
Cadmium (Cd)	0,084	0,048	≤ 2,7	3
Cuivre (Cu)	153	88,43	≤ 270	300
Nickel (Ni)	3	1,73	≤ 54	60
Plomb (Pb)	2	1,15	≤162	180
Zinc (Zn)	34	19,65	≤540	600
Chrome (Cr)	11	6,35	≤108	120
CTOs				
H.A.Ms (benzène, toluène, éthylbenzène, o-Xylène, m-Xylène, p-Xylène, styrène)	<0,09	<0,052	≤5	
Fluoranthène	0,02	0,0115	≤3,6	4
Benzo (b) fluoranthène	< 0,01	<0,00578	≤ 2,3	2,5
Benzo (a) pyrène	< 0,01	<0,00578	≤ 1,4	1,5
Total H.A.Ps	0,081	0,0468	≤3	
P.C.B.'s Totaux (n° 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)	<0,0067	<0,0038	-	0,8

Le lot de compost examiné montre des taux d'éléments indésirables (ETMs et CTOs) conformes aux seuils autorisés, c'est-à-dire conformes aux normes NF U 44-051 et à la référence qualité SAQ-TERROM. On pourra en conclure donc que son usage en agriculture n'occasionne pas des effets indésirables sur les composantes environnementales (sol, eaux, atmosphère) et à la santé humaine.

CONCLUSION

Sous valorisés depuis longtemps voire même tombés dans l'oubli, les composts de feuilles d'origine alambics de brousses sont très riches en éléments fertilisants majeurs et secondaires, et voués d'une excellente qualité amendante et surtout exempts des éléments indésirables pour l'environnement. Leurs usages en agriculture ont été très prometteurs spécialement en vue de restaurer et d'augmenter la qualité agronomique des terres agricoles (amélioration des propriétés biologiques et physico-chimiques). D'ailleurs, les sols agricoles mal gérés sont majoritairement pauvres en matière organique et souffrent de carences chroniques en éléments fertilisants à cause certainement des pratiques agricoles basées sur l'agriculture itinérante sur brûlis et sans restitution organique (bilan humique négatif) et absence fréquente des cultures de couvertures. Les composts d'alambics de brousse pourraient donc être utilisés comme alternatives et/ou complément aux engrais chimiques de synthèse.

REFERENCES

AFNOR NFU 44-051. Norme française NFU 44-051. Amendements organiques - Dénominations spécifiques et marquage
AFNOR NF EN 1189, 1997. Qualité de l'eau - Dosage du phosphore - Dosage spectrométrique à l'aide du molybdate d'ammonium,
AFNOR, Ed. Juin 2019. Norme Française FD U44-163. Amendements organiques et supports de culture - Caractérisation de la matière organique par la minéralisation potentielle du carbone et de l'azote,
AFNOR, Ed. 2006. Norme Française NFU 44-051. Amendements organiques. Dénominations, spécifications et marquage, AFNOR, Paris, 2006,
AFNOR, Ed. Novembre, 1985. Norme française U 44-160. Dosage de la matière organique totale (MOT) dans les amendements organiques et les supports de culture- Méthode par calcination,

Lashermes, G., Nicolardot, B., Parnaudeau V., Thuriès L., Chaudos R., Guillotin M.L., Linères M., Mary B., Metzger L., Morvan T., Tricaud A., Villette C., Houot S. 2009. Indicator of potential residual carbon in soils after exogenous organic matter application. *European Journal of Soil Science*. 60:297-310.
Guiot J., 1975. Estimation des réserves azotées du sol par détermination de l'azote minéral. *Rev. Agric.*, 28, 1117-1132.
Norme européenne EN 15935, 2009. Méthode de détermination de la perte au feu de la matière sèche à 550°C.
Norme ISO 10382, 2002. Qualité du sol - Détermination de la teneur en biphényles polychlorés (PCB) et pesticides organochlorés (OCP) par chromatographie gazeuse,
Norme ISO 10390, 2005. Qualité du sol - Détermination du pH.
Norme ISO 11466, 1995. Qualité du sol - Extraction des éléments en traces solubles dans l'eau régale.
Norme ISO 13877, 1998. Qualité du sol- Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques - Méthode par chromatographie en phase liquide à haute performance,
Norme ISO 14256-1, 2003. Qualité du sol - Dosage des nitrates, des nitrites et de l'ammonium dans les sols bruts par extraction au moyen d'une solution de chlorure de potassium - Partie 1 : Méthode manuelle.
Norme ISO 14256-2, 2005. Qualité du sol - Dosage des nitrates, des nitrites et de l'ammonium dans les sols bruts par extraction au moyen d'une solution de chlorure de potassium - Partie 2 : Méthode automatisée avec analyse en flux segmenté.
Norme ISO 22036, 2008. Qualité du sol - Dosage des éléments traces dans des extraits de sol par spectrométrie d'émission atomique avec plasma induit par haute fréquence (ICP-AES)
Norme ISO 22155, 2011. Qualité du sol - Dosage des hydrocarbures aromatiques et halogénés volatils et de certains éthers par chromatographie en phase gazeuse - Méthode par espace de tête statique,
Norme NBN EN 13342, 2000. Caractérisation des boues - Détermination de l'azote Kjeldahl, 1e éd., octobre 2000.
Norme NF ISO 11265, 1994. Qualité du sol - Détermination de la conductivité électrique spécifique,
Norme NF ISO 11465, 1994. Qualité du sol - Détermination de la teneur pondérale en matière sèche et eau - Méthode gravimétrique
Norme NF ISO 14235, 1998. Qualité du sol - Dosage du carbone organique par oxydation sulfochromique,
Norme NF-T-90-015, Août 1975. Méthode spectrophotométrique au bleu d'indophénol (méthode de Berthelot) sur www.freepatentsonline.com
TERROM, 2016. Référentiel de certification d'un système d'assurance qualité pour les composts issus de tri-compostage ou de tri-méthanisation-compostage. *Version SAQ-TERROM v01-2016*,

Norme XP X 33-012, 2000. Caractérisation des boues - Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et des polychlorobiphényles (PCB).

Van Soest, P.J., Wine, R.H., 1967. *Journal of Association of Official Agricultural Chemists*. 50 :55,
