

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA-

**FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
ET SCIENCES DE LA TERRE ET DE L'UNIVERS**

Département des Sciences Agronomiques



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En Vue de l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat

Spécialité : Agronomie Saharienne

Option : Mise en Valeur des Sols Sahariens

THEME

Appréciation de la valeur fertilisante de différents types de fumier

Présenté et soutenu publiquement par
SIBOUKEUR Abdallah

Devant le jury :

Président	: Mr. DADI BOUHOUN Mustapha	(Univ. Ouargla)	M .C. A
Promoteur	: Mr. HALILAT Mohamed Tahar	(Univ. Ouargla)	Professeur
Co-promotrice	: M ^{elle} OUSTANI Mabrouka	(Univ. Ouargla)	M .A. A
Examineur	: Mr. IDDER Abdelhak	(Univ. Ouargla)	M .A. A
Examineur	: M ^{me} . DERAOUI Naima	(Univ. Ouargla)	M .A. A

Année Universitaire : 2012/2013

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je remercie ALLAH de m'avoir aidé à le réaliser.

Il m'est agréable de remercier, vivement Mr. **HALILAT Mohamed Tahar** et M^{elle} **OUSTANI Mabrouka Zina**, d'avoir proposé et dirigé ce travail. Je leur atteste ma gratitude pour leur encadrement, leurs encouragements, leurs conseils, leurs orientations et leur patience.

Je remercie Monsieur **DADI BOUHOUN Mustapha**, Maître de Conférence classe A du Département des SNV, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Kasdi Merbah Ouargla, d'avoir accepté de présider ce jury.

Je tiens à exprimer mes respectueux et sincères remerciements à Monsieur **IDDER Abdelhak**, Maître –assistant classe A, du Département des SNV, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Kasdi Merbah Ouargla pour avoir accepté de porter un jugement à ce travail.

A Madame **DERAOUI Naima**, Maître – assistante classe A, du Département des SNV, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Kasdi Merbah Ouargla, je tiens à exprimer mes remerciements pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Je ne saurais oublier, Monsieur le Professeur CHEHMA Abdelmadjid, Directeur du laboratoire « Bio-Ressources » de m'avoir permis d'accéder à son laboratoire afin d'y réaliser mes analyses.

Je remercie le personnel du laboratoire pédagogique, particulièrement Monsieur BEGGARI El-Aich ainsi que le personnel du laboratoire Bioressources de recherche en particulier Madame IDDER Saida leur précieuse aide.

Je tiens également à exprimer mon respect et ma gratitude à Monsieur **BENCHABANE Ahmed**, Maître de Conférences classe A du Département de Technologie et Nutrition Humaine de l'ENASA, pour m'avoir aidé à réaliser certaines analyses.

Je saisis cette occasion pour exprimer mon profond respect et ma reconnaissance à l'ensemble des enseignants de l'université Kasdi Merbah Ouargla, pour avoir participé à ma formation graduée.






Que Monsieur **LIMAM Mohamed** professeur d'anglais, puisse trouver en ces mots l'expression de mon profond respect et ma sincère gratitude pour son aide combien précieuse.

Enfin, que tout ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, soient assurés de ma profonde gratitude.








Dédicace

Je dédie ce modeste travail

**à la mémoire de :*

-  *mes grand- parents maternels ;*
-  *mes grand- parents paternel ;*
-  *mes deux tantes maternelles Safia et Daouia ;*
-  *mon cousin Abdenacer ;*
-  *mon oncle Abdelaziz.*

**à mes très chers parents qui m'ont toujours encouragé et aidé ;*

-  *à ma sœur Amina, son mari Zoubir et à mon adorable nièce Chayma ;*
-  *à tous mes cousins et cousines ;*
-  *à mes oncles et tantes paternels et maternels ;*
-  *au reste de ma famille ;*
-  *à tous mes amis ;*
-  *à tous mes enseignants ;*
-  *à la promotion 2008-2013 des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Université Kasdi Merbah Ouargla,*

 *SIBOUKEUR Abdallah*

Résumé

Les produits organiques issus d'élevage représentent une source de fertilisation importante mais dont la valeur fertilisante reste encore difficile à évaluer avec précision. En effet, les éléments nutritifs contenus dans ces produits sont présents sous différentes formes, minérales et organiques, disponibles pour les cultures dans des délais très variables. Dans ce contexte, la présente étude vise à déterminer la valeur fertilisante de quatre types de fumier, bovins, de dromadaires, ovins et de volailles. Les principales analyses réalisées ont consisté en dosage de l'azote total, du phosphore et du potassium. Ces éléments donnent une idée précise sur la composition du fumier en éléments fertilisants. Parallèlement nous avons procédé à la détermination de la matière organique qui permet d'estimer la teneur en carbone organique permettant le calcul du rapport C/N. Ce dernier permettra d'apprécier la capacité de minéralisation de l'azote contenu dans les produits organiques. Les taux de matière sèche, de cellulose brute et la mesure de la conductivité électrique ont été également déterminés. Les résultats obtenus ont montré que le fumier de volailles a présenté les teneurs les plus élevées en azote et en potassium avec des teneurs de 2,07 et 2,51% respectivement. Alors, qu'il a enregistré une teneur moyenne en P_2O_5 avec une teneur de 0,56%. Par ailleurs, le rapport C/N le plus bas (11,39) a été enregistré par ce type de fumier. Il est donc de nature à offrir les plus grandes teneurs en éléments fertilisants pendant la saison de croissance des plantes. Cette étude précise enfin, que les teneurs en éléments fertilisants des fumiers de ferme sont variables d'un fumier à l'autre. Il importe donc de fonder les recommandations agronomiques sur une analyse précise de la valeur fertilisante pour chaque type de fumier.

Mots clefs : Fumier, Bovin, Ovin, Camelin, Volaille, Valeur fertilisante.

Summary

The animal excrement stem from breeding animals represent a source of important fertilization, However the fertilizing value of which remains still difficult to estimate exactly knowing that the organic matter liberates the mineral fertilizing elements slowly in time. The present study aims at determining the fertilizing value of the manure of bovine, dromedary, ovine and poultry.

In this study, we proceed by running two types of analyses. The first is called the principal that consists of the determination of the total nitrogen, phosphorus and potassium. These three elements provide a clear picture of the composition of the manure. The second which is called a secondary analysis is to determine the organic matter to estimate its contents of the organic carbon that allow the calculation of ration C/N. this ration with allow appreciating how fast is the mineralization of organic matter. In the secondary analysis, we determine the rates of dry matter, cellulose and the electric conductivity.

Results from analysis are ensuring that poultry manure contain the highest rate of nitrogen (2,07%), potassium (2,51%), when we compared to the other fertilizers, but the presence of P_2O_5 is with a medium average of 0,56%.

Thus, the choice of the fertilizing elements is made on the type and the nature of the manure.

Keywords: Manure, Bovine, Ovine, Camelin, Poultry, Fertilizing Value.

ملخص :

\$ % '\$ (& * + '\$ # ! "
& '\$ # ,-. / 0 '\$ 1 - 1 ' 2 3 4 3 2 ,-. 50 '\$
8 4 9 ! 2 0 0 1 6* % 27
, , 2'- 1 (& 8 : . 1 ; < = &
= & " 6* # / ,-. - ! 1 % 0 > 1 2 8
& 3 ? @ A B . ! / %
-- \$ C 1 1 8 2 / ,-. % 8 ! . .
6-30 0 -3 1 E(/ F0 #' (D 8 .
O_HP_M , , C 1 LKH#MN 0 8 LKH#IJG C 1
& \$ 0 U \$:-3 #@ A B LNN?STG 6 1 '\$ 2 KI#MR Q
#C . + ! / 8 V. (& 0
' # . -. Q - ' (& C 1 0 6-3 % W 2 .0
! 3 1 6-3 Q 3 -. 3 / + Q : \$
/ ,-. -
! 2 2 9 28 4 2 ! 2 :

Liste des abréviations

AFNOR:	Association Française de Normalisation
C /N :	Carbone/ Azote
CBM :	Composition biochimique de la matière organique
CE-K ₂ O :	Coefficient équivalent engrais de potassium
CE-N :	Coefficient équivalent engrais de l'azote
CE-P ₂ O ₅ :	Coefficient équivalent engrais de phosphore
CRAAQ :	Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec
FAO:	Food and Agriculture Organisation
FB:	Fumier de Bovins
FD :	Fumier de Dromadaire
FO :	Fumier d'Ovins
FV :	Fumier de Volailles
GFOR:	Guide de la Fertilisation Organique à la Réunion
ITCMI:	Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles
K1 :	Coefficient isohumique
K2 :	Coefficient de minéralisation
M.M :	Matière minérale
M.S :	Matière sèche
MAPAQ :	Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Agroalimentaire du Québec
MO :	Matière organique

Liste des tableaux

Tableaux	Titre	Page
Tableau 01	Caractéristiques de différents types de fumiers	18
Tableau 02	Valeur comparative des coefficients d'efficacité fertilisante pour les fumiers	23
Tableau 03	Comparaison des effets de la fertilisation minérale et organique sur les propriétés du sol	23
Tableau 04	Caractérisation agronomique analytique du fumier de bovins	36
Tableau 05	Caractérisation analytique du fumier d'Ovins	37
Tableau 06	Caractérisation analytique du fumier de Volailles	38
Tableau 07	Caractérisation analytique du fumier de dromadaires	40

Liste des figures

Figures	Titre	Page
Figure 01	Evolution de la matière organique dans le sol	08
Figure 02	Présentation de l'effet des différents amendements organiques sur la stabilité structurale	09
Figure 03	Valeurs Comparatives entre la CEC des argiles et des matières organiques	10
Figure 04	Action de l'humus sur le point de flétrissement et la capacité de rétention de l'eau pour différentes textures de sol	11
Figure 05	Variation de la teneur en Matière sèche, matière organique et matière minérale en fonction de type de fumier	43
Figure 06	Variation du pH en fonction de type de fumier	44
Figure 07	Variation de la conductivité électrique (dS/m à 25°C) en fonction de type de fumier	45
Figure 08	Variation du rapport C/N en fonction de type de fumier	46
Figure 09	Variation de la teneur en Cellulose brute en fonction de type de fumier	47
Figure 10	Variation de la teneur en azote en fonction de type de fumier	49
Figure 11	Variation de la teneur en P_2O_5 en fonction de type de fumier	50
Figure 12	Variation de la teneur en K_2O en fonction de type de fumier	51
Figure 13	Teneurs en éléments fertilisants disponibles à la plante (%)	52

Liste des photos

Photos	Titre	Page
Photo 01	Fumier de Bovins	27
Photo 02	Fumier d'Ovins	28
Photo 03	Fumier de Volailles	28
Photo 04	Crottes de Dromadaires	29

Table des matières

Problématique et objectifs	2
----------------------------------	---

PREMIERE PARTIE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA MATIERE ORGANIQUE

I.1. Définition de la matière organique	6
I.2 Formes de la matière organique dans sol	6
I.3 Evolution de la matière organique dans le sol	7
I.3.1 Minéralisation primaire (M1)	7
I.3.2 Humification	7
I.3.3 Minéralisation secondaire (M2)	8
I.4 Effets de la matière organique sur les propriétés du sol	8
I.4.1 Effets de la matière organique sur les propriétés physiques du sol	9
I.4.2 Effets de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques du sol	11
I.4.3 Effets biologiques (Effets nutritionnels et énergétiques)	12

CHAPITRE II : LA FERTILISATION ORGANIQUE

II.1 Amendements organiques.....	14
II.2 Engrais organiques	14
II.3 Les différents types d'apports organiques exogènes au sol.....	14
II.3.1 Fumier.....	14
II.3.3 Lisiers	14
II.3.2 Fientes.....	15
II.3.4 Purins	15
II.3.5 Engrais vert	15
II.3.6 Compost.....	15
II.3.7 Paille ou le Mulch.....	15
II.3.8 Déchets industriels ou urbains	15
II.3.9 Ordures ménagères et les écorces concassées	16
II.4 Variabilité de la composition chimique des fumiers	16
II.4.1 Influence des régimes alimentaires.....	16
II.4.2 Effet de l'âge des animaux	16
II.4.3 Effet de la durée d'entreposage	17
II.4.4 Effet de la couverture des andains	17

II.4.5 La date de prélèvement.....	17
II.4.6 Le niveau de paillage.....	17
II.5. Facteurs influant sur la vitesse et le degré de décomposition des apports organiques dans le sol	18
II.5.1 Rapport C/N.....	18
II.5.2 Teneur en lignine	19
II.5.3 Oxygène disponible	19
II.5.4 Température.....	19
II.5.5 pH du sol.....	19
II.5.6 Teneur en humidité.....	20
II.6 Valeur agronomique d'un intrant organique	20
II.6.1 Valeur amendante des apports exogènes des matières organiques aux sols.....	20
II.6.2 Valeur fertilisante de fumier.....	21
II.7 Effet comparé de la fertilisation organique et minérale sur les propriétés du sol	23
II.8 Les problèmes environnementaux soulevés par la mauvaise application des fertilisants organiques en agriculture	25

DEUXIEME PARTIE

CHAPITRE I: MATERIEL ET METHODES

I. Type de fumiers étudiés	27
I.1 Fumier de Bovins.....	27
I.2 Fumier d'ovins	27
I.3 Fumier de volailles.....	28
I.4 Fumier de dromadaires	29
II. Echantillonnage de fumier.....	29
IV. Méthodes utilisées pour la caractérisation analytique des fumiers	30
IV.1 Mesure du pH.....	30
IV.2 Mesure de la Conductivité électrique.....	30
IV.3 Dosage du carbone organique	30
IV.4 Evaluation de la teneur en carbone à partir de la matière organique	31
IV.5 Dosage de l'azote.....	31
IV.6 Détermination du rapport C/N	32
IV.7 Détermination de la cellulose brute	32
IV.8 Détermination de la matière sèche	32

IV.9 Détermination de phosphore et du potassium	33
---	----

CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSION

II.1. Caractérisation analytique de chaque fumier.....	35
II.1.1 Caractérisation du fumier de bovins	35
II.1.2 Caractérisation analytique de fumier d'ovins	37
II.1.3 Caractérisation du fumier de Volailles	38
II.1.4 Caractérisation du fumier de dromadaire	39
II.2. Caractérisation analytique comparée des quatre types de fumiers	41
II.2.1 Caractérisation physique et physico-chimique	41
III.2.1.1 Variation des teneurs en MS, MO et MM en fonction de type d fumier	41
III.2.1.2 Variation de pH en fonction de type de fumier	43
II.2.1.3 Variation de la Conductivité électrique en fonction de type de fumier.....	44
II.2.2 Caractérisation biochimique	45
II.2.2.1 Variation des rapports C/N en fonction de type de fumier	45
II.2.2.2 Variation des teneurs en cellulose brute en fonction de type de fumier.....	47
II.2.3 Teneurs en éléments fertilisants en fonction de type de fumier	48
II.2.3.1 Variation de la teneur en azote en fonction de type de fumier	48
I.2.3.2 Variation de la teneur en P ₂ O ₅ en fonction de type de fumier	49
II.2.3.3 Variation de la teneur en K ₂ O en fonction de type de fumier	50
II.2.3.4 Estimation de la teneur en éléments fertilisants disponible à la plante	51
II.2.3.5 Ajuster les éléments fertilisants apportés par les fumiers étudiés aux besoins en engrais minéraux d'une plante test: la pomme de terre :.....	53
Conclusion.....	56
Références bibliographiques	58
Annexe	63

Problématique et objectifs

Problématique et objectifs

Selon une estimation de la FAO, la population mondiale atteindra 9,1 milliards d'habitants en 2050 (FAO, 2009). Pour parer à une crise alimentaire et à une famine mondiale et pouvoir répondre aux besoins alimentaires de tous ses habitants en 2050, la FAO estime qu'il faut augmenter de 70% la production agricole de la planète.

Cette augmentation passe obligatoirement par l'intensification des cultures. Toutefois, cette dernière augmente l'exportation de quantités importantes d'éléments fertilisants, et elle est considérée l'une des causes de l'appauvrissement des sols, et de la baisse des rendements des cultures (CHEVERRY, 1994).

Pour pallier à la dégradation chimique des sols en matière de l'insuffisance des nutriments pour les plantes, les agriculteurs ont recours, de manière empirique, à des apports de fertilisants qui jouent un rôle important dans l'amélioration et le maintien de la fertilité des sols.

Dans ce cadre, la fumure minérale (engrais) a été longtemps considérée comme la première solution à cette préoccupation. L'accès facile aux engrais de synthèse et la spécialisation des exploitations agricoles a conduit à une diminution spectaculaire de l'utilisation des engrais de ferme dans les exploitations sans bétail.

Toutefois, si l'usage des engrais est important pour l'augmentation des rendements des cultures, leur coût élevés entravent leur utilisation par les agriculteurs (BOCKMAN *et al.*, 1990).

Par ailleurs, les récentes préoccupations sur les effets néfastes des engrais sur l'environnement, ont rendu urgent le développement d'une approche rationnelle pour s'orienter vers d'autres sources d'éléments nutritifs pour les plantes. La méthode alternative largement acceptée par les agriculteurs est l'utilisation des amendements organiques. Ce sont des substances qui, incorporées dans le sol, améliorent à la fois ses propriétés physiques, chimiques et biologiques (SOLTENER, 2003 ; GOLDBERGER, 2008). Des épandages réguliers de fumier, et en particulier de fumier solide, améliorent la capacité de rétention de l'humidité et le recyclage des éléments nutritifs, et rendent les cultures moins vulnérables aux conditions extrêmes comme l'excès d'eau ou la sécheresse.

En fait, comparés aux engrais chimiques, les fertilisants organiques de ferme sont des engrais complets. À la fois engrais et amendement, les fumiers ont des effets bénéfiques sur la fertilité et sur l'équilibre des sols (MUSTIN, 1987). La suppression des apports organiques occasionne ainsi, des pertes significatives des stocks organiques des sols, ce qui accentue de plus en plus, le processus de la détérioration de la qualité du sol, notamment lorsqu'aucune mesure de substitution n'est prise (VULLILOUD *et al.*, 2006; MALTAS *et al.*, 2011).

Par ailleurs, si la valeur amendante des déchets d'élevage est de mieux en mieux étudiée, il n'en est pas de même concernant la valeur fertilisante. Les recherches entreprises sur ce thème sont peu nombreuses et encore insuffisantes pour pouvoir en tirer des conseils pratiques. En fait, les valeurs fertilisantes des engrais de ferme ont été longtemps négligées dans les calculs de fumure, et ont été souvent considérés exclusivement comme des amendements de qualité, dont l'apport en éléments fertilisants n'est pas bien mesuré, bien que leur utilité ait toujours été reconnue par les éleveurs pour améliorer les sols (GUEYDON, 1992).

D'après FALISSE in ADDEN, 2004, environ 40 à 50% de la matière organique et de l'azote ingéré, chez les monogastriques, se retrouvent dans leurs excréments ainsi que 60 à 80 % du P_2O_5 et du K_2O . A titre d'exemple, les bovins rejettent plus de 70 % de l'azote et de phosphore, et plus de 90% du potassium qu'ils ingèrent. Alors que plus de 70 % de l'azote et du potassium consommés par les volailles se trouvent dans leur déjections (CHABALIER *et al.*, 2006).

La connaissance de la composition des fumiers en éléments fertilisants est un élément important pour leur utilisation en agriculture, notamment dans les régions sahariennes reconnues par la fragilité de leur écosystème, et par leur grande vulnérabilité à la dégradation.

Ces sols, sont caractérisés pour leur caractère « squelettique » exigeant des apports organiques exogènes. Parallèlement, d'autres élevages que ceux préexistants (camelin, ovin, caprin) ont été introduits (bovin et poulets de chair...) ces dernières années. En plus, les préoccupations environnementales rendent nécessaire une gestion très précise des déchets émanant de tous ces élevages. Potentiellement, ces différents types de fumier peuvent être utilisés pour améliorer les sols sahariens relativement pauvres en matière organique.

Les systèmes de production durable, dont nous avons besoin pour l'avenir de l'agriculture dans le milieu saharien, doivent avoir un triple objectif : fournir des produits de qualité, minimiser les impacts sur l'environnement, conserver le patrimoine sol dans toutes ses potentialités. A ce titre, il est impératif d'envisager des restitutions organiques régulières et à des doses raisonnables (CHAUSSOD, 1996). D'où l'importance de la détermination de la valeur fertilisante des déchets d'élevage. Ce genre d'information est nécessaire dans l'objectif d'optimiser la fertilisation organique dans ces régions.

La présente étude s'inscrit dans ce contexte puisqu'elle a pour principal objectif d'analyser la valeur fertilisante et d'estimer le coefficient équivalent engrais de quatre fumiers provenant de quatre espèces d'élevage : bovin, camelin, ovin et poulet de chair.

Le présent travail comporte quatre parties :

1/ Echantillonnage de fumier

2/ Analyses de fumier

3/ Appréciation de la valeur fertilisante de différents types de fumier

4/ Ajuster les éléments fertilisants apportés par les fumiers étudiés aux besoins en engrais minéraux d'une plante test: la pomme de terre.

**PARTIE I : SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE**

CHAPITRE I : Généralités sur la matière organique

I.1. Définition de la matière organique

La définition de la matière organique du sol diffère d'un auteur à un autre. D'après DUCHAUFOR (1977), la matière organique est l'ensemble des composés carbonés et azotés issus de la dégradation des produits de la faune et de la flore, de surface et du sous sol. Elle présente une gamme de substance très différents et à des stades d'évolution très variée.

Selon MUSY et al. (1991), la matière organique est le fruit de l'activité biologique tant animale que végétale du sol. Elle englobe ainsi toute substance organique, vivante ou morte, fraîche ou décomposée, simple ou complexe, à l'exclusion toutefois des animaux vivants dans le sol et des racines vivantes.

Quant au CALVET (2003), la matière organique correspond à toutes les substances organiques particulières et moléculaires contenues dans le sol, autrement dit, il s'agit de tous les constituants organiques non vivants. Les résidus végétaux font partie de la matière organique du sol quand ils lui sont incorporés mécaniquement, soit par l'action de la faune et de la microfaune, pour les litières, soit par les travaux du sol pour les sols cultivés.

I.2 Formes de la matière organique dans sol

Généralement les matières organiques se trouvent au niveau du sol sous quatre formes:

- ✓ La matière organique vivante, animale, végétale et microbienne, qui englobe la totalité de la biomasse en activité,
- ✓ Les débris d'origine végétale (résidus végétaux, exsudats), animale (déjections, cadavres) et microbienne (cadavres, exsudats) appelés «matière organique fraîche»,
- ✓ Des composés organiques intermédiaires, appelés matière organique transitoire (évolution de la matière organique fraîche),
- ✓ Des composés organiques stabilisés, les matières humiques ou humus, provenant de l'évolution des matières précédentes (DUCHOUFOUR, 1976).

I.3 Evolution de la matière organique dans le sol

I.3.1 Minéralisation primaire (M1)

La minéralisation de la matière organique est définie comme étant le processus de séparation de matériaux organiques dans le sol, de leurs constituants de base (PAUL in ABIVEN, 2004 ; MUSTIN, 1987 ; FALINIRINA, 2010). C'est le résultat d'une série de réactions chimiques qui aboutit à la transformation des composés organiques complexes en composés minéraux simples (LECLERC in FALINIRINA, 2010).

La minéralisation primaire (**M1**) concerne la minéralisation de la matière organique fraîche. Les molécules organiques de cette dernière sont transformées en éléments simples : gaz carbonique (CO₂), azote minéral et éléments minéraux (K⁺, Ca⁺⁺, NO₃⁻...etc.). La majeure partie de cette décomposition est réalisée par des microorganismes hétérotrophes. En fait, les différentes modalités influençant la décomposition de la matière organique apportée sont liées à l'activité de ces microorganismes (FELLER, 1994 ; CHAUSSOUD et HOUOT in FALINIRINA, 2010).

I.3.2 Humification

L'humification est un ensemble de synthèses, aboutissant à l'édification de molécules complexes, des composés humiques ou humus stable (CHAMAYOU et *al.*, 1984 ; SOLTNER, 2003). Cette seconde étape, est à la fois biologique et physico-chimique (influence de la dessiccation par exemple) et intervient sitôt la phase de prolifération microbienne. Selon DUCHAUFOR (1968), l'humification s'effectue en deux phases :

- La première est une transformation « biochimique » plus ou moins rapide de la matière organique fraîche qui donne naissance à un humus « labile » à liaison peu étroite avec la matière minérale, souvent faiblement polymérisée ; cette première phase paraît essentiellement conditionnée par la nature de la matière première et le composition plus ou moins favorable des débris végétaux qui tombent sur le sol (litière) (DUCHAUFOR, 1968).
- La seconde phase est au contraire une évolution lente, liée beaucoup plus étroitement aux conditions extérieures, en particulier au milieu climatique.

I.3.3 Minéralisation secondaire (M2)

La minéralisation secondaire affecte l'humus formé depuis de nombreuses années et libère des quantités annuelles d'éléments nutritifs considérables qui sont mis à disposition des plantes. Il aboutit à la libération de substances nutritives par désagrégation et dépolymérisation successives des matières organiques stabilisées (DUCHAUFOR, 1984). Il s'agit d'un processus très lent, à raison de 2 – 3 % par an. Son coefficient K_2 est en moyenne est de 1,5 à 2 % par an. Il dépend en réalité des conditions pédoclimatiques (caractéristiques du sol et climat) (FRISQUE, 2007). Dans les sols sableux, le coefficient de minéralisation K_2 peut atteindre des pourcentages élevés de l'ordre de 2 à 3% par an. Alors que dans les sols argileux, riche en limons et en calcaire, la minéralisation peut atteindre au contraire des coefficients plus faibles de l'ordre de 0,5 à 1,5% par an (SOLTENER, 2003).

L'illustration graphique des trois étapes de l'évolution de la matière organique est présentée é dans a figure 1 :

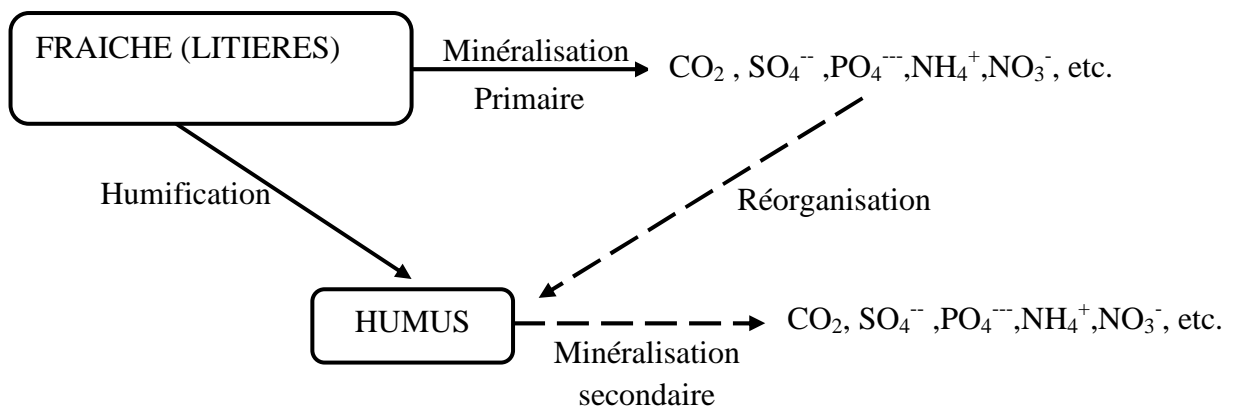


Figure 1. Evolution de la matière organique dans le sol (Minéralisation et Humification) (DUCHAUFOR, 2001).

I.4 Effets de la matière organique sur les propriétés du sol

Une fois mise, dans le sol, la matière organique a des actions : physiques ; chimiques et biologiques :

I.4.1 Effets de la matière organique sur les propriétés physiques du sol

L'apport de matière organique exogène au sol sous forme d'amendements ou d'engrais permet d'augmenter et de maintenir le stock organique du sol. Cette restauration de la teneur en matière organique est généralement associée à un changement des caractéristiques physicochimiques (agrégation, diminution de l'érosion, augmentation de la CEC, apport d'éléments fertilisants.....) et une stimulation de l'activité biologique (THURIES, 1999; ANNABI, 2002)

- **Effet sur la structure et la stabilité structurale du sol**

Les matières organiques fraîches, à la surface du sol, atténuent le choc des gouttes des pluies et permettent à l'eau pure de s'infiltrer lentement dans le sol ; l'écoulement en surface et l'érosion sont ainsi réduits (BALESDENT, 1996). Les M.O assurent la cohésion des autres constituants du sol entre eux et contribuent à la structuration du sol et à la stabilité de la structure.

Ainsi, la matière organique apportée au sol joue un rôle central dans sa structuration et participe à sa stabilité vis-à-vis des agressions extérieures (pluie, tassement...) en limitant notamment l'érosion hydrique (CITEAU et *al.*, 2008). Dans ce cadre, les résidus organiques à rapport C/N élevé favorisent davantage la genèse de la structure (ROGER et GARCIA, 1993)(Figure 2).

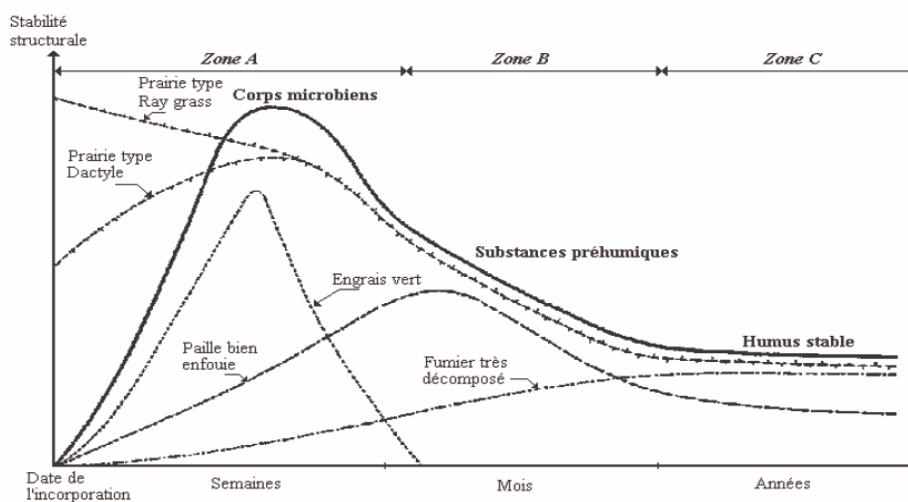


Figure 2. Présentation de l'effet des différents d'amendements organiques sur la stabilité structurale (MONNIER in ABIVEN, 2004).

- Effet sur la rétention en eau

Durant toutes les étapes de l'évolution de la matière organique, celle-ci agit comme régulateur de l'humidité du sol. Elle augmente sa porosité et favorise sa conductivité hydraulique. Grâce à son caractère hydrophile, la matière organique par le biais de son humus contribue à enrichir le sol en eau et par la suite à augmenter sa résistance à la sécheresse (DEMOLON, 1968 ; CHAREAU, 1975 ; MALLOUHI, 1980; CITEAU *et al.*, 2008).

Ainsi, à l'état d'humus, la matière organique peut retenir 15 fois son poids d'eau, selon (PFEIFRE in OUSTANI 2006). L'humus absorbe très facilement l'humidité et ne la perd que lentement de sorte que le sol reste humide longtemps pendant la période sèche. Les matières organiques sont de 2 à 5 fois plus adsorbants que les meilleures argiles (GOBAT *et al.*, 1998). Ceci est dû au fait que les composés humiques possèdent une charge négative supérieure à celle des colloïdes minéraux (SOLTNER, 2003) (Figure 3).

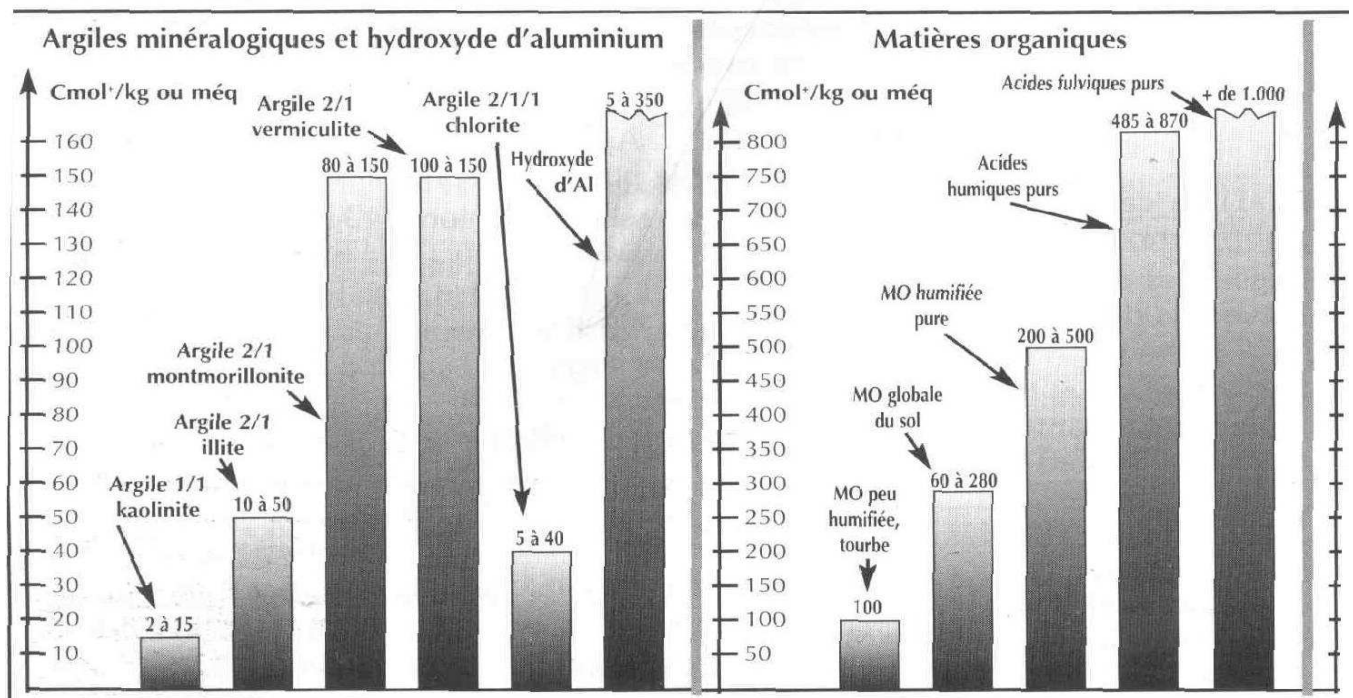


Figure 3. Valeurs Comparatives entre la CEC des argiles et des matières organiques (GOBAT *et al.*, 1998)

C'est ainsi que BALESSENT (1996), montre que dans certains agro-systèmes arides, la réserve en eau du sol est peut être insuffisante pour alimenter la production jusqu'à maturité et

seuls les amendements organiques permettent d'augmenter la réserve en eau au-delà du seuil nécessaire à une production (Figure 4).

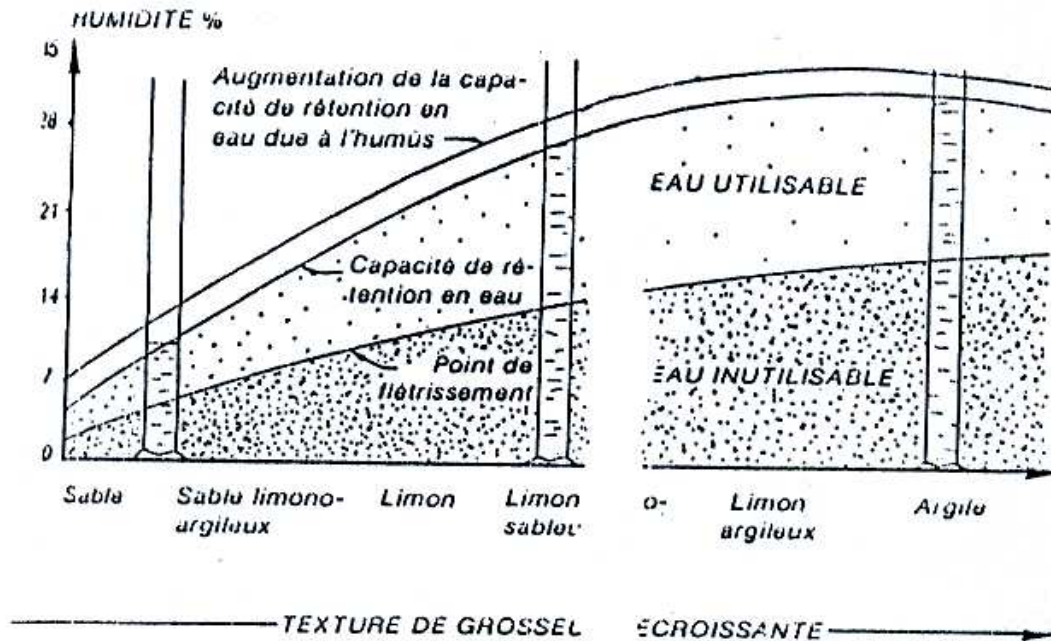


Figure 4. Action de l'humus sur le point de flétrissement et la capacité de rétention de l'eau pour différentes textures de sol (SOLTNER, 2003)

I.4.2 Effets de la matière organique sur les propriétés physico-chimiques du sol

La matière organique a un effet favorable sur les propriétés physico-chimiques du sol (capacité d'échange cationique, pouvoir tampon, etc.), effet d'autant plus marqué que l'humification de la matière organique est plus poussée (DROUET, 2010).

- **Effet sur la capacité d'échange cationique (CEC)**

D'après DROUET (2010), plus 20 à 70 % de la CEC des horizons de surface de nombreux sols est due aux composés humiques. Le rôle de la matière organique est capital dans les sols à texture grossière ou dans ceux dont le cortège argileux est pauvre en minéraux phylliteux à forte CEC. La CEC dépend essentiellement du complexe argilo-humique (CAH) du sol. Elle est élevée pour des sols argileux et/ou humifères et très basse pour des sols sableux. L'apport de MO dans un sol sableux a pour but d'augmenter cette CEC. Alors que, l'apport de matière organique dans un sol argileux vise à stabiliser les argiles, à limiter le lessivage et à augmenter la CEC (CITEAU et al., 2008).

Par ailleurs, la matière organique permet la formation de complexes (= chélates) avec les oligoéléments, ce qui augmente leur disponibilité dans le sol (DROUET, 2010). La stimulation de la croissance racinaire par les acides humiques liés aux matières organiques a été également signalée en réponse à la fertilisation organique, effet physiologique encore mal compris mais fréquemment observé (action positive des acides humiques) (DROUET, 2010).

- **Effet sur pH**

La décomposition de la matière organique maintient une certaine acidité dans le sol, celle-ci est due en particulier à la libération des acides organiques et à l'action acidifiante de CO₂ libéré par l'activité microbienne. Cette acidité est en partie responsable de la dissolution d'éléments peu assimilables (Phosphate, Fer ... etc.) en sols calcaires. D'autre part, la matière organique stabilisée évite l'acidification du sol par son effet tampon (ADAESO in OUSTANI 2006).

- **Sur la salinité du sol**

MALLOUHI (1982), montre que l'apport de la matière organique provoque un décroissement de la conductivité électrique. La matière organique s'avère d'une grande efficacité dans l'inhibition des effets de la salinité en favorisant la lixiviation des sels en excès et en augmentant la résistance des plantes aux sels (HALITIM et BENABADJI in OUSTANI, 2006).

I.4.3 Effets biologiques (Effets nutritionnels et énergétiques)

Les matières organiques assurent l'activité biologique en fournissant aux microbes hétérotrophes des matières nécessaires pour leurs propres synthèses protéiques et pour leurs besoins énergétiques, elles remplissent ces fonctions lorsqu'elles sont à l'état frais, quand à la phase de l'humification (DAVET, 1996). La matière organique stimule l'activité biologique, étant à la fois source d'énergie et d'éléments nutritifs pour les organismes du sol (CITEAU et *al.*, 2008 ; MERROUKI et *al.*, 2012).

Le carbone de la matière organique du sol est la source énergétique des microorganismes hétérotrophes, c'est-à-dire ceux qui ne tirent pas leur énergie de la lumière du soleil (c'est le cas de la majorité des microorganismes) (CHABALIER et *al.*, 2006). La matière organique joue également un rôle nutritionnel en fournissant par l'intermédiaire du

processus de minéralisation des éléments nutritifs (macro et macroéléments) nécessaires à la fois pour la croissance et le développement des microorganismes du sol et des plantes (BALESDENT, 1996 ; GOBAT *et al.*, 2003 ; CHABALIER, *et al.*, 2006 ; DROUET, 2010).

La matière organique à l'état d'humus limite la rétrogradation du potassium en permettant aux ions K^+ de se fixer sur lui, il leur évite de s'intercaler entre les feuilles des argiles, fixation qui rendrait le potassium disponible (SOLTNER, 2003).

CHAPITRE II : LA FERTILISATION ORGANIQUE

L'expression fertilisation organique, employée généralement pour les engrais organiques est synonyme de fumure organique, elle permet d'insister sur le double rôle de l'apport organique en agriculture : effet amendement et effet engrais.

II.1 Amendements organiques

Ce sont des produits qui améliorent l'état structural du sol avec des apports limités. Le but de cet apport est l'obtention d'un produit stable riche en humus. Il s'agit des matières fertilisantes composées principalement de combinaisons carbonées d'origine végétale fermentées ou fermentescibles destinées à l'entretien ou à la reconstitution du stock de la matière organique du sol. Les amendements améliorent les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols (SOLTNER, 2003).

II.2 Engrais organiques

Ce sont des produits qui apportent du carbone organique et des éléments minéraux pour les plantes. Parmi ces éléments on distingue les éléments majeurs (absorbés en grande quantités, tels que l'azote, le phosphore, le soufre, le potassium, le calcium et le magnésium), les oligoéléments (nécessaires à faible dose, tels que le fer, le manganèse, le cuivre, le zinc, le bore, le molybdène et le vanadium) et les éléments utiles à certaines espèces végétales (le cobalt, le sodium, le chlore et la silice) (MUSTIN, 1987).

II.3 Les différents types d'apports organiques exogènes au sol

II.3.1 Fumier

Le fumier est constitué par un mélange de litière et de déjections animales ayant subi des fermentations plus ou moins poussées en étable ou en tas (AMOUZOU in ADDEN, 2004; PETIT et JOBIN, 2005).

II.3.3 Lisiers

On appelle lisier le mélange des déjections solides et liquides des animaux qui ne contient pas de litière (PETIT et JOBIN, 2005). Ce sont des déjections animales, urines et

fèces, mélangées et fermentées. Ils contiennent des débris alimentaires et peuvent éventuellement être dilués par des eaux de pluie et de nettoyage.

II.3.2 Fientes

Les fientes sont les déjections des volailles, sans litière (PETIT et JOBIN, 2005).

II.3.4 Purins

Les purins ne comprennent que la partie liquide des déjections (PETIT et JOBIN, 2005). Ils peuvent être purs ou dilués par de l'eau de pluie.

II.3.5 Engrais vert

L'engrais vert correspond à une culture de végétation rapide enfouie sur place et destinée avant tout à améliorer le sol. Ce type d'engrais a un effet important sur la protection du sol, en le considérant comme une source de matières organiques jeunes; source d'éléments nutritifs pour les plantes essentiellement en azote (SOLTENER, 2003).

II.3.6 Compost

Le compost est un produit stable riche en humus issu de la décomposition rapide de toutes les matières organiques : fumiers, résidus de récolte, déchets agro-industriels, déchets animaux, déchets ménagers (MUSTIN, 1987). C'est une source importante de matière organique produite par la dégradation ou la décomposition de la matière organique fraîche par des micro-organismes (PETIT et JOBIN, 2005), d'insectes et de vers de terre (DUPLESSIS, 2002) dans des conditions bien définies.

II.3.7 Paille ou le Mulch

Il s'agit des résidus de culture (pailleux ou non), les déchets végétaux (Ligneux ou non). Une mention spéciale doit être accordée au paillis « plastique ». Il s'agira d'étendre sur le sol un film plastique de teinte blanche ou claire après une copieuse humification. Le film sera troué à chaque emplacement végétatif (Cas des Fraisiers) (KROLL in ADDEN, 2004).

II.3.8 Déchets industriels ou urbains

On notera essentiellement :

- **Les écumes de sucrerie** : L'écume fermentée n'est utilisable qu'après la disparition des Coprins (MESSIAEN in ADDEN, 2004).
- **Les boues de station d'épuration** : Elles sont particulièrement intéressantes sur sols où elles induisent une importante augmentation de la fertilité pouvant dispenser de tout apport d'engrais durant les trois ou quatre années qui suivent (MESSIAEN in ADDEN, 2004).

II.3.9 Ordures ménagères et les écorces concassées :

Les ordures peuvent être utilisées comme matière fertilisante du sol néanmoins, apportés au sol à l'état brut, elles risquent de nuire aux plantes par « rétrogradation de l'azote ». On les utilisera de préférences compostées. (MESSIAEN in ADDEN, 2004).

II.4 Variabilité de la composition chimique des fumiers

La valeur fertilisante des déjections animales et des engrais de ferme est mal connue. Ces derniers ont longtemps été négligés dans les calculs de fumure bien que leur utilité ait toujours été reconnue par les éleveurs pour améliorer les sols. Les données existantes sont des valeurs moyennes qui ne prennent pas en compte diverses sources de variabilité : l'organisation de chaque exploitation, l'alimentation des animaux et les variations liées à chaque type de produits (GUEYDON, 1992).

II.4.1 Influence des régimes alimentaires

Le régime alimentaire des animaux a une influence profonde sur la composition chimique des effluents. Généralement, 40 à 50% de la matière organique et de l'azote ingéré, chez les monogastriques, se retrouvent dans les excréments ainsi que 60 à 80 % du P_2O_5 et du K_2O (FALISSE in ADDEN, 2004).

II.4.2 Effet de l'âge des animaux

L'âge des animaux est un facteur très important pour expliquer la variabilité de la valeur fertilisante des fumiers. Par exemple dans le cas de bovins de boucherie, les animaux les plus jeunes absorbent moins d'aliments, les assimilent mieux et ont un taux de croissance élevé. La concentration des éléments nutritifs dans les fumiers est alors plus faible. La quantité de fèces + urine excrétée s'accroît avec l'âge des animaux. Comme la quantité de bran

de scie est demeurée fixe à 4 kg de bran de scie (base sèche) par animal par jours, ceci explique l'accroissement de la teneur en éléments nutritifs avec l'âge des animaux. En période de finition A4, les régimes sont plus riches en grains et moins riches en protéines de sorte que les rejets d'éléments nutritifs se stabilisent ou diminuent pour cette période (GIROUX *et al.*, 2000).

II.4.3 Effet de la durée d'entreposage

La teneur en éléments nutritifs s'accroît proportionnellement avec la durée d'entreposage en andains. L'activité biologique réduit progressivement la masse des andains, ce qui concentre les éléments. Le carbone et l'azote subissent l'effet inverse. L'activité biologique produit du CO₂, ce qui diminue la teneur en C des fumiers selon la durée d'entreposage. De même l'azote peut être exposé aux pertes atmosphériques par volatilisation. Les plus forts changements surviennent pendant la période estivale, au moment où les températures sont plus élevées. Le rapport C/N des fumiers diminue également avec la période d'entreposage. La durée de stockage des déjections au moment de l'analyse peut influe également sur la valeur fertilisante des fumiers (GUEYDON, 1992).

II.4.4 Effet de la couverture des andains

La récupération des éléments nutritifs est plus élevée dans les andains couverts que non couverts. Dans les andains couverts, elle dépasse généralement 80 % alors qu'elle varie de 60 à 80 % dans les andains non couverts. Même si le bran de scie est un des meilleurs absorbants disponibles, il ne peut assurer la totale rétention des éléments (GIROUX *et al.*, 2000).

II.4.5 La date de prélèvement : Les teneurs sont plus élevées sur fumiers et lisiers d'été (sauf pour l'azote) (GUEYDON, 1992).

II.4.6 Le niveau de paillage : La paille semble diluer les teneurs en éléments fertilisants (GUEYDON, 1992; AMOUZOU in ADDEN, 2004).

D'autres paramètres peuvent être également considérés comme facteurs de variabilité de la composition du fumier tel que: La façon dont les fermentations ont été menées et les soins apportés de manière à éviter les pertes d'éléments nutritifs notamment l'azote (AMOUZOU in ADDEN, 2004).

Le tableau ci-dessous montre la composition chimique de plusieurs types de fumiers.

Tableau 1. Caractéristiques de différents types de fumiers

Type de fumiers ou lisiers	Matière sèche (%)	Densité (t/m ³)	N (kg/t)	P ₂ O ₅ (kg/t)	K ₂ O (kg/t)	NH ₄ ⁺ (%)	C/N
Bovin laitiers -fumier solide	21	0,80	5,7	3,6	5,3	31	16,6
Bovin laitiers - lisier	5	1	3,1	1,5	3,4	52	10,8
Bovin de boucherie (élevage intensif)-fumier	27	0,75	7,1	4,4	6	–	–
Elevage vache-veau - fumier	26	0,75	4,8	2,4	4,92	–	–
Ovins-fumier solide	25	0,62	11	5	14	–	–
Porcs-engraissement, lisier	3,2	1	2,7 à 4,9	1,5 à 2,3	1,6 à 2,9	71	3,3
Volaille - fumier poulet	74	0,27	28	23	18	21	14,5
Volaille-fumier de poule pondeuse	83	0,50	31	26	16	30	15,4

Source (MAPAQ , 1997; CRAAQ, 2003 et 2007).

II.5. Facteurs influant sur la vitesse et le degré de décomposition des apports organiques dans le sol

La vitesse de décomposition substrat organique dépend essentiellement de sa nature biochimique et des propriétés physiques et chimiques du sol qui déterminent la nature du milieu pour la croissance et le métabolisme des microorganismes. Généralement de nombreux facteurs peuvent influencer la biodégradation des divers substrats organiques appliqués au sol. On peut les classer en facteurs substrat et en facteurs sol.

II.5.1. Rapport C/N

Le rapport C/N des substrats organiques apportés au sol peut servir pour prévoir leur vitesse de décomposition, il ne fournit aucune indication sur l'assimilabilité du carbone ou de

l'azote pour les microbes. Un produit organique au C/N élevé (> 15-20, compostage incomplet) peut entraîner un risque de « faim d'azote » pour les plantes, car les microorganismes du sol utiliseront l'azote du sol disponible pour la minéralisation du produit en question (HUBER *et al.*, 2011).

II.5.2. Teneur en lignine

La vitesse de décomposition du substrat est souvent proportionnelle à leur teneur en lignine. Les substrats qui en contiennent beaucoup se décomposent plus lentement que ceux qui en contiennent peu. Selon quelques chercheurs, la teneur en lignine de certains substrats est un paramètre plus fiable que le rapport C/N pour prévoir la vitesse de décomposition.

II.5.3. Oxygène disponible

Les vitesses maximales de décomposition dépendent d'un apport suffisant d'oxygène moléculaire. Le pouvoir oxydo-réducteur, étant pour une large partie dépendant des qualités texturales et structurales du sol, ainsi que de son état d'humidité (MOREL in OUSTANI, 2006).

II.5.4 .Température

Les changements de température peuvent modifier la composition spécifique de la microflore de décomposition. Les différents microorganismes exigent différentes températures optimales pour une croissance et une activité maximale. C'est à des températures de 28 à 35 °C que les substrats se décomposent le plus vite (DOMMERGUES *et al.*, 1970).

II.5.5. pH du sol

Le pH optimum correspondant à la décomposition rapide de l'ensemble des substrats se situe entre 6.5 et 8.5. Les bactéries et les actinomycètes ont leur pH optimum voisin de la neutralité ne concurrencent que faiblement les éléments nutritifs en milieu acide, ce qui expliquerait l'abondance des champignons à pH élevés (MOREL in OUSATANI, 2006).

II.5.6. Teneur en humidité

Les microorganismes sont diversement influencés par le régime hygrométrique qui peut puissamment agir sur la vitesse et le degré de décomposition des substrats organiques. C'est par exemple, dans les sols à fort potentiel hydriques que se produisent la prolifération et l'activité maximale des bactéries. Les champignons cependant peuvent, croître et survivre dans des sols à potentiel hydrique beaucoup plus faible (sols secs), où les bactéries sont moins actives.

II.6. Valeur agronomique d'un intrant organique

La valeur agronomique d'un intrant organique se définit par la valeur amendante et la valeur fertilisante.

II.6.1 Valeur amendante des apports exogènes des matières organiques aux sols.

L'évolution des matières organiques est essentiellement sous la dépendance de leurs constituants biochimiques. La valeur amendante étant la capacité à augmenter la teneur en matière organique des sols de façon à en améliorer son biofonctionnement. La valeur amendante des apports organiques au sol peut être évaluée par plusieurs paramètres :

- **Indice de Stabilité Biochimique (I.S.B)**

L'Indice de Stabilité Biochimique (I.S.B) représente la proportion de l'amendement de départ la plus résistante aux dégradations microbiennes, et donc susceptibles de se stabiliser dans le sol.

Sa valeur, exprimée par rapport à la matière sèche de l'amendement varie entre 0 et 1. Plus l'ISB est élevé, plus l'amendement est stable dans le sol (LINERES et DJAKOVITCH in HUBER et *al.*, 2011). L'indice de stabilité biologique s'appuie sur les fractions influençant la dégradation d'un amendement et permet de caractériser la facilité avec laquelle un amendement organique sera minéralisé ou encore, sa contribution à l'humus stable. La détermination de l'ISB permet d'obtenir des informations complémentaires à celles du rapport C/N.

- **Coefficient isohumique K_1**

La proportion d'humus formée dans le sol est donnée par le coefficient isohumique, K_1 fonction surtout du rapport C/N de la matière initiale (LECLERC in ADDEN, 2004). Le coefficient isohumique K_1 est l'expression de la quantité d'humus formée en fonction de la quantité de matière sèche du produit organique apportée au sol.

$$K_1 = QH/MS \text{ où :}$$

QH = Quantité d'humus générée par le produit par an

MS = Quantité de matière sèche du produit apportée par an

La détermination du K_1 est longue, et coûteuse (essai de 3 ans au champ) et sa valeur varie avec les conditions pédoclimatiques. Les coefficients K_1 qui sont proposés dans la littérature ou par des fournisseurs d'amendements organiques doivent être utilisés avec précaution car les conditions d'obtention de ces coefficients sont rarement données (climat, type de sol, etc...) (HENIN et TURC in HUBER *et al.*, 2011).

- **Composition biochimique de la matière organique (CBM)**

La CBM, ou caractérisation biochimique de la matière organique, permet de regrouper les produits par catégorie de biodégradabilité. Cette méthode est directement inspirée de l'I.S.B. C'est un procédé chimique qui sépare les constituants de la matière organique et mesure la teneur en composés ligno-cellulosiques (précurseurs d'humus). Cette caractérisation permet de classer les produits étudiés en termes d'usage agronomique et d'estimer le potentiel humique du produit.

L'ISB et la CBM ne s'appliquent qu'aux matières organiques formées à partir de matières et de résidus végétaux contenant essentiellement de la cellulose (CHABALIER *et al.*, 2006).

II.6.2 Valeur fertilisante de fumier

La valeur fertilisante, correspond à la teneur en éléments nutritifs et leurs disponibilités sous des formes assimilables par les plantes c'est-à-dire sous forme minérale. La valeur fertilisante du fumier réside dans sa teneur en substances nutritives pour les plantes ainsi que la quantité de matière organique qu'il contient. Les éléments fertilisants de fumier proviennent

essentiellement des aliments consommés par les animaux, ces derniers n'utilisent qu'environ 25% des éléments nutritifs contenus dans les aliments. Alors que 75% du contenu initial d'azote (N), du de phosphore P et de potassium (K), sont excrétés dans les fèces et les urines (FRAZER, 2001).

- **Coefficients équivalent-engrais**

La valeur fertilisante des matières organiques peut être estimée par les coefficients d'équivalence en engrais minéral. Pour un élément fertilisant contenu dans une matière organique, cette valeur correspond à la fraction de cet élément qui agit comme un engrais minéral, c'est à- dire directement disponible pour la culture. Cette proportion directement utilisable par une culture est calculée en % de la teneur totale de l'élément : c'est le coefficient d'équivalence en engrais, ou coefficient équivalent engrais (CE %) (CHABALIER et *al.*, 2006)(Tableau 02).

Selon DESVIGNES et BODET (2000), le coefficient d'équivalence permet de calculer à quelle quantité d'élément sous forme d'engrais minéral rapidement utilisable par la culture (par exemple, l'ammonitrate, le superphosphate) correspond la quantité d'élément apporté sous forme de déjection animale.

Les coefficients équivalent-engrais ont été calculés pour les principaux éléments fertilisants (N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, S) (CHABALIER et *al.*, 2006). Ces coefficients varient cependant avec de nombreux facteurs :

- Les cultures et leur capacité à absorber l'élément fertilisant au cours d'une période plus ou moins longue ;
- Les dates de l'apport organique, par rapport aux besoins de pointe de la culture ;
- Les conditions d'application (Matériel, Climat).

Les coefficients équivalent-engrais sont déterminés expérimentalement (CHABALIER, et *al.*, 2006).

Tableau 02 .Valeur comparative des coefficients d'efficacité fertilisante pour les fumiers

Coefficient d'efficacité fertilisante					
Type d'engrais	N %	P ₂ O ₅ %	K ₂ O	Arrière-effet N	
	(1ère année)			(5 à 10 ans)	(< 5 ans)
Fumier de bovins	45-55	65	80-100	15	10
Lisier de bovins	50-60	80	80-100	10	8
Lisier de porcs	60-70	80	80-100	7	5
Lisier de volailles	75-85	80	80-100	0	0
Fumier de volailles	65-75	65	80-100	/	/

Source (CRAAQ, 2003)

II.7. Effet comparé de la fertilisation organique et minérale

Représente les principaux effets de la fertilisation minérale et organique (Tableau 03)

Tableau 03. Comparaison des effets de la fertilisation minérale et organique sur les propriétés du sol

	Propriétés physiques	Propriétés chimiques	Propriétés biologiques
Fertilisation organique	<p>Amélioration des propriétés physiques du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ CR du sol (Capacité de rétention). ➤ Structure et Stabilité Structurale du sol ➤ Perméabilité ➤ Réchauffement du sol <p>Chélation :</p>	<p>Diminution du :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ pH du sol (+ de l'effet tampon) ➤ CE du sol <p>Augmentation :</p> <p>CEC (Capacité d'échange cationique).</p> <p>Amélioration de la nutrition des plantes :</p>	<p>Amélioration de l'activité biologique et microbiologique du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Source énergétique et nutritionnelle aux plantes et aux macro et microorganismes du sol. ➤ Augmentation de l'activité enzymatique du sol (uréases,

	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Fixation des métaux et des petites molécules métalliques ou organiques toxiques diminuant ainsi leur toxicité (Pesticides, Produits phytosanitaires..etc). ➤ Formation de complexes avec certains éléments traces, limitant ainsi leur perte par lessivage. <p>Limitation par l'effet de mullching de :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Erosion du sol ➤ Ruissellement du sol ➤ Tassement du sol 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apports d'éléments majeurs et mineurs ➤ Diminution des pertes des éléments nutritifs (grâce à la minéralisation progressive de MO) 	<p>protéases, phosphatases, sulfatases).</p>
Fertilisation minérale	<p>Pas d'effets sur les propriétés physiques du sol.</p> <p>Pas de rôle chélation : Près de la moitié des engrais azotés appliqués est perdu d'habitude par :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Ruissellement,</i> ➤ <i>Lessivage,</i> ➤ <i>Volatilisation.</i> <p>Risque de pollution du sol et des eaux par :</p>	<p>Utilisée essentiellement pour alimenter la plante en éléments majeurs N.P.K.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ L'excès d'azote fragilise les tissus des plantes qui deviennent ainsi vulnérables aux maladies et aux parasites. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Un rôle nutritif seulement pas de rôle énergétique. ➤ En cas d'utilisation exagérée, la fertilisation minérale peut nuire à la présence des microorganismes du sol et des plantes. ➤ La fertilisation

	<p><i>Les métaux lourds ou par l'excès de la fertilisation azotée (pollution par les NO_3^-)</i></p> <p>Risque de pollution de l'air et de réchauffement global de la terre par :</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ <i>Dénitrification (N_2)</i> ➤ <i>Volatilisation de l'ammoniac</i> 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ La décomposition de la matière organique du sol est accélérée et conduit à une dégradation de la structure du sol et une vulnérabilité plus élevée à la sécheresse 	<p>chimique réduit la colonisation des racines de la plante par les champignons utiles tels que les mycorhizes.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Une sur fertilisation azotée bloque la fixation symbiotique de l'azote par les rhizobiums.
--	--	--	--

II.8 Les problèmes environnementaux soulevés par la mauvaise application des fertilisants organiques en agriculture

L'emploi de déchets d'animaux comme engrais ou amendements organiques, présentent moins d'inconvénients par rapport aux engrais, mais risquent de soulever des problèmes en cas de l'application des quantités excessives tel que l'accumulation des éléments toxiques, présence d'agents pathogènes, accumulation des sels, pollution par les nitrates, toxicité par les métaux, volatilisation de l'ammoniac et la production de méthane CH_4 . Toutefois, un grand nombre de ces problèmes, peut être atténué par un aménagement approprié des fertilisants organiques

PARTIE : II
EXPERIMENTALE

CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES

I. Type de fumiers étudiés

I.1 Fumier de Bovins

Il s'agit d'un fumier composé d'un mélange de déjections et de paille. Il a été prélevé d'un tas de fumier transporté de la wilaya de Sétif au secteur agricole de la région de Hassi Ben Abdallah.

Ce fumier démunie de pailles se présente sous forme d'agglomérats difficiles à manipuler.



Photo 1 : Fumier de Bovins

I.2 Fumier d'ovins

Il s'agit d'un fumier d'ovins issu d'élevage ovin extensif pour la production de viande. C'est un fumier composé d'un mélange de paille et de déjections. Il a été ramené d'un tas de fumier dans une ferme dans de la région d'EL OUED.



Photo 2 : Fumier d'ovins

I.3 Fumier de volailles

C'est un fumier composé d'un mélange de fientes et de copeaux de bois. Il a été ramené d'une exploitation privée d'un élevage de poulet de chair.



Photo 3 : Fumier de volailles

I.4 Fumier de dromadaires

Il s'agit des crottes de dromadaire collectées de plusieurs zones de parcours de dromadaire dans la région d'Ouargla. Il est à mentionner qu'il s'agit d'un élevage camelin menu à l'extensif.



Photo 4 : Crottes de Dromadaire

II. Echantillonnage de fumier

L'analyse du fumier au laboratoire est une composante essentielle de la planification de la gestion des éléments nutritifs du fumier. Un bon échantillonnage et une bonne analyse du fumier au laboratoire permettent de connaître les concentrations réelles en éléments nutritifs, des données qui sont nécessaires à la planification en vue d'obtenir un rendement maximal des cultures et un impact minimal sur l'environnement. L'échantillon de fumier à soumettre au laboratoire agricole doit vraiment représenter le fumier qui sera épandu sur les champs.

Pour notre cas, des échantillons distincts ont été prélevés sur divers endroits et dans toute la profondeur de quatre tas de fumiers différents (10 prélèvements pour chaque type de fumier), après avoir écarté les couches superficielles exposés aux aléas climatiques. Par la suite, les sous échantillons ont été bien mélangés et brassés pour former à la fin des échantillons composites représentatifs pour chaque type de fumier.

III. Entreposage des échantillons

L'entreposage des échantillons de fumier à température ambiante peut déclencher la minéralisation et dénaturer le fumier échantillonné. Pour éviter ce problème, nous avons conservé nos échantillons au frais dans une glacière. Ces échantillons ont été par la suite rapidement acheminés vers le laboratoire, et réfrigérés immédiatement en attendant d'être analysés.

Afin de déterminer les caractéristiques physico-chimiques et les teneurs en éléments fertilisants, particulièrement en N, K, P; des échantillons composites de chaque type de fumier ont été broyés à 0,75 mm et soumises à l'analyse au laboratoire. Les méthodes adoptées pour la caractérisation analytique sont les suivantes:

IV. Méthodes utilisées pour la caractérisation analytique des fumiers

Les analyses physiques et physicochimiques des différents fumiers ont été effectuées au laboratoire de Bio-Ressources Sahariennes et au laboratoire pédagogique de l'Université d'Ouargla.

IV.1 Mesure du pH

La mesure du pH a été effectuée sur un extrait 1/5 de (Eau /fumier). Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH mètre.

IV.2 Mesure de la Conductivité électrique

Elle a été déterminée par un conductimètre à une température de 25°C avec un rapport sol/solution de 1/5. La conductivité est en fonction de la concentration de sels dissous dans la solution du sol.

IV.3 Dosage du carbone organique

Pour le dosage de matière organique nous avons adopté la méthode de calcination (perte au feu) dont le principe se résume comme suit:

- On pèse 10 de broyats des différents types de fumier dans de capsules en porcelaine, que l'on fait passer par la suite au four à moufle à une température

de 850 °C (DOGGAR, 1980), on attaque à feu modéré pendant deux heures et on la porte lentement et graduellement à la chaleur rouge (pendant quatre heures).

- La perte au feu représente grossièrement la masse de matière organique disparue par combustion et pyrolyse, mais l'attaque thermique donne des résultats par excès c'est à dire qu'il y a toujours départ simultanée d'eau libre résiduelle. En évaluant la quantité d'eau perdue et en la soustrayant de la masse perdue au feu, on détermine le pourcentage de matière organique.

IV.4 Evaluation de la teneur en carbone à partir de la matière organique

Pour le l'évaluation du carbone à partir de la matière organique, il y deux facteurs qu'on peut utiliser.

- Le facteur 1,724 qui signifie que la matière organique contient 58% du carbone
- Le facteur 2,0 qui signifie que la matière organique contient 50% du carbone

D'après l'étude mené par GIROUX et AUDESSE (2004) sur 11 engrais et amendements organiques ; le facteur 2,0 est plus approprié que le facteur 1,724 pour évaluer le contenu en carbone des engrais et amendements organiques à partir de leur teneur en M. O. La teneur en carbone organique et le rapport C/N sont correctement déterminés avec le facteur 2,0 mais nettement surévalués avec le facteur 1,724 (Annexe1). On se basant de ce qui précède nous avons adopté le facteur 2,0 pour l'estimation du taux de carbone organique dans nos produits organiques.

IV.5 Dosage de l'azote totale

L'azote organique est dosé par la méthode KJELDAHL modifié par MATHIEU et PIELTAIN (2009).

Le dosage de l'azote a été effectué en deux étapes :

- La première phase c'est la minéralisation ou la digestion de la matière organique par l'acide sulfurique concentré avec l'addition de l'acide salicylique pour réduire les pertes en nitrate et nitrite qui sont transformés en oxydes d'azote volatils. Dans cette phase l'azote se transforme en ammonium est capté par l'acide sulfurique.

- La deuxième phase c'est la distillation, l'ion NH_4^+ est ensuite déplacé par l'hydroxyde de sodium et entraîné à la vapeur d'eau puis fixé par l'acide borique à l'état de borate, lui-même dosé par H_2SO_4 titré (MATHIEU et PIELTAIN, 2009).

IV.6 Détermination du rapport C/N

Ce rapport est calculé après détermination des teneurs en carbone et en l'azote directement après la détermination des résultats de ces deux derniers paramètres.

IV.7 Détermination de la cellulose brute

La teneur en cellulose est déterminée par une méthode conventionnelle : la méthode de WEENDE. Les matières cellulosiques constituent le résidu organique obtenu après deux hydrolyses à chaud, l'une en milieu acide, l'autre en milieu alcalin. La teneur en cellulose exprimée en pourcentage en masse rapporté au produit sec après dessiccation 105°C pendant 2 heures puis une incinération à 525°C pendant une heure, la teneur en cellulose brute exprimée en pourcentage par rapport au sec (CIRAD,2003).

$$\% CB = \frac{(P_1 - P_2)}{PRE} \times \frac{100}{MS} \times 100$$

CB : Cellulose brute

P_1 : Masse totale du résidu sec et du creuset avant incinération, en gramme

P_2 : Masse totale du résidu sec et de l'échantillon

PRE : Masse de la prise d'essai, en grammes

MS : Teneur en matière sèche de l'échantillon exprimée en %.

IV.8 Détermination de la matière sèche

Pour déterminer la teneur en matière sèche, il faut déterminer la teneur en humidité contenue dans les différents types échantillons de fumiers.

La teneur en humidité des fumiers est déterminée par la perte de poids subie après séchage à une température de 105°C pendant 24 heures (CIRAD, 2003).

- **Teneur en Humidité :**

C'est la teneur en eau de l'échantillon après séchage dans l'étuve pendant 24 heures à 105°C.

$$\% \text{ Humidité} = \frac{PE - (P_1 - P_0)}{PE} \times 100$$

P_0 : Poids de creuset vide

P_1 : Masse totale du résidu sec et du creuset après l'incinération

PE : Prise d'essai

- **Teneur en matière sèche :**

Le pourcentage de matière sèche est le ratio entre le poids de la matière sèche et la masse de la matière non-sèche (hydratée).

La détermination de la teneur en eau conditionne la précision des divers résultats analytiques qui sont rapportés à la matière sèche.

$$\% \text{ MS} = 100 - \% \text{ Humidité}$$

IV.9 Détermination de phosphore et du potassium

La détermination de la teneur en potassium et en phosphore a été réalisée au niveau de laboratoire de département des Sciences du sol de l'ENSA d'El-Harrach. Le principe de la méthode repose sur deux phases :

- La digestion par l'incinération à sec et la dissolution

Les échantillons sont chauffés sous des conditions atmosphériques normales à des températures très élevées pour l'oxydation des structures carbonées. Le carbone, le nitrogène, le soufre et l'eau sont volatilisés. L'échantillon incinéré est acidifié pour assurer la dissolution des éléments restants.

- La concentration de potassium et du phosphore a été déterminée par le spectrophotomètre à adsorption atomique (SAA) (PETERS et al. , 2003).

II : PARTIE

Résultats et discussion

II. RESULTATS ET DISCUSSION

La caractérisation agronomique du fumier comporte une série d'analyses qui sert à évaluer la valeur amendante et la valeur fertilisante des fumiers. Dans ce travail, à cause de problème de non disponibilité du matériel et de produits pour la caractérisation de la valeur amendante (dosage de l'hémicellulose, de la lignine...etc.) d'une part, et dans le but de répondre directement au objectif principal fixé par cette étude d'autre part, on s'est limité à la caractérisation de la valeur fertilisante de quatre types de fumier à savoir : le fumier de bovins, volailles, ovins et du dromadaire. Toutefois, cela ne nous a pas empêché à apprécier la valeur amendante de ces fumiers, en se basant sur le rapport C/N_{totale} et sur la teneur en cellulose brute des quatre produits organiques cités ci-dessus.

Ainsi, la valeur fertilisante des fumiers étudiés a été évaluée par trois types de caractéristiques :

- Les caractéristiques physiques et physico-chimiques des fumiers (MS, MM, pH, CE...etc.).
- Des caractéristiques biochimiques comprenant la teneur en matière organique, la détermination du rapport C/N et la détermination du pourcentage de la cellulose brute. Les deux derniers paramètres ont retenus pour avoir une idée sur le rythme de la minéralisation de la matière organique des différents types de fumier.
- La composition en éléments fertilisants en se basant sur des coefficients théoriques (Coefficient d'équivalent engrais). Ce genre d'estimation permet d'apprécier la valeur fertilisante des fumiers et ce ci, par la détermination de la fraction disponible en azote, phosphore et potassium dans ces fumiers (c'est-à-dire la fraction directement utilisables par les plantes).

II.1. Caractérisation analytique de chaque fumier

II.1.1 Caractérisation du fumier de bovins

Les résultats analytiques de fumier de bovins sont présentés dans le tableau 4

Tableau 4. Caractérisation du fumier de bovins

Caractéristiques	Fumier de bovins	
Caractéristiques biochimiques	MO%	65,14
	C%	32,57
	C/N	34,90
	CB%	13,20
Caractéristiques physiques et physico-chimiques	pH	8,33
	CE (dS/m) à 25°C	12,17
	MS%	94,67
	MM%	29,52
	Humidité%	5
Composition en éléments fertilisants	N _{total} %	0,93
	P%	0,38
	K%	0,99
	P ₂ O ₅ %	0,88
	K ₂ O%	1,19

On se basant sur la classification adoptée par le « Guide de fertilisation organique à la Réunion (GFOR) (CHABALIER et *al.*, 2006) (ANNEXE 1), le fumier de bovins ayant fait l'objet de la présente étude peut être caractérisé par :

- Un taux de matière sèche de l'ordre de 94,67%, ce qui nous renseigne sur la nature solide de ce type de fumier.
- Une teneur en azote total de 0.93% indiquant une richesse moyenne en cet élément. Cette teneur dépasse la moyenne enregistrée par les 46 échantillons mentionné dans le guide de fertilisation à la Réunion (Moy = 0,62%).
- Une teneur du fumier de bovins en P₂O₅ de 0.88 %, ce qui montre que ce fumier à une teneur moyenne en P₂O₅. Cette teneur dépasse largement celle de la moyenne de 46 échantillons mentionnée dans le (GFOR) guide de fertilisation à la Réunion (Moy = 0,3%).

- Une teneur en K_2O de 1.19 % présentant ainsi, une teneur appréciable de ce fumier en potassium. Cette teneur dépasse le double de la moyenne enregistrée par de guide de fertilisation à la Réunion fixée à une teneur de K_2O (Moy = 0, 7%).
- Le pH déterminé sur un extrait (1/5) a montré un pH de 8.38 désignant ainsi la réaction basique de ce type de fumier.
- Le rapport C/N de fumier de bovins retenu est de l'ordre de (34.90). Ce rapport est largement supérieur aux valeurs de la fourchette du rapport C/N des 46 échantillons analysés par le guide (GFOR) (avec un rapport C/N allant de 14 et 18).

II.1. 2 Caractérisation analytique de fumier d’ovins

Le tableau 5 résume les principaux résultats obtenus de la caractérisation analytique de fumier d'ovins.

Tableau 5. Caractérisation analytique de fumier d'Ovins

Caractéristiques	Fumier d'ovins	
Caractéristiques biochimiques	MO%	51,86
	C%	21,65
	C/N	40.51
	CB%	45,53
Caractéristiques physiques et physico-chimiques	N_{total} %	0,64
	CE (dS/m) à 25°C	6,18
	MS%	95.17
	MM%	43,31
	Humidité%	5
	P%	0,37
	K%	0,97
	P_2O_5 %	0,86
	K_2O %	1,17

La comparaison des résultats analytiques de fumier d'ovins obtenus dans le cadre de notre étude, par les valeurs moyennes enregistrées par le guide de fertilisation organique (CHABALIER et *al.*, 2006) (ANNEXE 1) a permis de faire ressortir ce qui suit :

- Un taux de MS de 95.17 % montrant qu'il s'agit d'un fumier solide.
- Ce type de fumier est moyennement riche en azote total avec une teneur de 0.64 %, toutefois, cette teneur est inférieure à la valeur moyenne présentée dans le guide de fertilisation organique (GFOR) (Moy = 0,86 %).
- Une teneur en P₂O₅ de ce fumier est de 0.86% révélant, de ce fait, une richesse moyenne en cet élément. Cette teneur est plus élevée à la teneur moyenne de 46 échantillons enregistrée dans le guide de fertilisation organique (GFOR) (Moy = 0,4%) et considérée comme une teneur faible en P₂O₅.
- La teneur en K₂O de fumier d'ovin est de 1.17% indiquant que ce fumier est riche en cet élément. Cette teneur est proche à la teneur moyenne mentionnée dans le guide (1,33%).
- Le rapport C/N de fumier d'ovin est de 40,51. Ce rapport est presque le triple du rapport moyen obtenu par le guide de fertilisation organique à la Réunion (GFOR) et qui correspond à un rapport de 13.
- Le pH déterminé sur un extrait (1/5) a montré un pH de 7.34 désignant ainsi la réaction neutre de ce type de fumier.

II.1. 3 Caractérisation du fumier de Volailles

Les résultats analytiques de fumier de Volailles sont illustrés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Caractérisation analytique du fumier de volailles

Caractéristiques	Fumier de volailles	
Caractéristiques biochimiques	MO%	47.17
	C%	23.58
	C/N	11,39
	CB%	6,22
Caractéristiques physiques et physico-chimiques	pH	7,85
	CE (dS/m) à 25°C	5,39
	MS%	96,50

	MM%	51.33
	Humidité%	1.42
Composition en éléments fertilisants	N _{total} %	2,07
	P%	0,24
	K%	2,09
	P ₂ O ₅ %	0,56
	K ₂ O%	2.51

En se référant aux résultats moyens relatifs à la caractérisation analytique de fumier de volailles obtenus par le guide de fertilisation organique à la Réunion (CHABALIER *et al.*, 2006) (ANNEXE 1) ; le fumier de volailles retenu par notre étude peut être caractérisé comme suit :

- Un taux de MS de 96,50 % indiquant le caractère solide de ce type de fumier.
- Une teneur en azote total de l'ordre de 2,07 % marquant, ainsi, une notable supériorité par rapport aux fumiers cités ci dessus. Cette teneur est similaire à la moyenne enregistrée par la guide (2,03 %).
- Le fumier de volailles est moyennement riche en P₂O₅. La teneur enregistrée est de 0,56 %. Néanmoins, cette teneur est inférieure à la teneur moyenne enregistrée dans le guide (Moy =1,99%).
- Une teneur en K₂O est de 2.51 % signalant ainsi une richesse appréciable du fumier de volailles en K₂O. Par ailleurs, cette teneur dépasse la teneur Moyenne de guide (Moy =1,87%) .
- Un rapport C/N de 11.39. Ce rapport est relativement inférieur à ceux obtenus par les trois autres fumiers. Toutefois, il s'apparente au rapport moyen obtenu par le guide de fertilisation (Moy =12,6).
- Le pH déterminé sur un extrait (1/5) a montré un pH de 7.85 désignant ainsi la réaction légèrement basique de ce type de fumier.

II.1.4 Caractérisation du fumier de dromadaire

Les résultats analytiques de fumier du dromadaire sont consignés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Caractérisation analytique de fumier de dromadaires

Caractéristiques	Fumier de dromadaire	
Caractéristiques biochimiques	MO%	80,37
	C%	40,19
	C/N	27,56
	CB%	31,27
Caractéristiques physico-chimiques	pH	8,33
	CE (dS/m) à 25°C	2,61
	MS%	94,33
	MM%	13,96
	Humidité%	6
Composition en éléments fertilisants	N _{total} %	1,46
	P%	0,34
	K%	1,09
	P ₂ O ₅ %	0,77
	K ₂ O%	1,31

La caractérisation analytique de fumier de dromadaire a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Un taux de matière sèche de 94,33 % indiquant ainsi, qu'il s'agit d'un fumier solide.
- Une teneur en azote total de 1.46 % ce qui renseigne d'une richesse moyenne de ce fumier en cet élément.
- Une teneur en P₂O₅ de 0.77 %, ce qui indique que le fumier de dromadaire est moyennement riche en phosphore.
- Une teneur en K₂O de 1.31 % montrant, ainsi, que ce fumier est riche en potassium.
- La mesure de pH déterminé sur un extrait de (1/5), permet une lecture d'une valeur de pH de 8.38, révélant la nature basique de ce fumier.
- Un rapport C/N de 27,56. Ce rapport est proche à celui obtenu par OUSTANI (1996) pour même type de fumier.

II.2. Caractérisation analytique comparée des quatre types de fumiers

II.2.1 Caractérisation physique et physico-chimique

Les caractéristiques physiques, physico-chimiques des différents types de fumiers étudiés, à savoir la matière sèche (MS), Matière minérale (MM), Matière organique (MO), pH et la conductivité électrique (CE) sont illustrées dans les figures 5, 6, 7, 8,9.

III.2.1.1 Variation des teneurs en MS, MO et MM en fonction de type d fumier

La comparaison des teneurs en **MS, MO et MM** en fonction de type de fumier est présentée dans la figure 5.

La relation entre ces trois paramètres s'exprime par la formule suivante :

$$MS = MM + MO$$

Les résultats mentionnés dans la figure 5, montrent que le taux de matière sèche est élevé pour l'ensemble des fumiers analysés. Les taux enregistrés sont de 96.50, 95.17, 94.67 et 94.33 % respectivement pour le fumier de volailles (FV), fumier d'ovins (FO), fumier de bovins (FB), et fumier de dromadaires (FD). Il est claire, d'après les résultats obtenus que le taux le plus élevé en MS a été enregistré par le fumier de volailles, soit un taux d'augmentation de 1.4 ,1.93 et 2.3 % respectivement pour le fumier d'ovins (FO), fumier de bovins (FB) et le fumier de dromadaires (FD).

La faible différence pour le taux de MS enregistrée entre les 4 fumiers peut être expliquée par le fait, que ces produits ont été séchés avant analyses. En fait, les différentes analyses ont été réalisées sur des produits séchés. Toutefois, cette différence peut avoir son importance au champ.

D'après COLLIGNON (2004), il peut y avoir des différences importantes entre produits organiques frais et les produits séchés (COLLIGNON, 2004).

Par ailleurs, le stockage des fumiers peut également jouer un rôle dans la détermination de MS. Etant donné que, le taux de MS augmente avec la durée de stockage.

Selon ROUDAUT et *al.*, (2011), il faut tenir compte de la teneur en MS et de l'aspect visuel du fumier pour choisir un matériel d'épandage adapté.

D'une façon générale, plus les teneurs en matières sèches sont élevées, plus le produit est concentré et donc riche en éléments fertilisants (CHABALIER et *al.*, 2006). Ces observations sont en concordance les résultats de notre étude, dans la mesure, où, nous avons enregistré une certaine proportionnalité entre la richesse en minéraux (MM) et le taux de (MS). En fait, les teneurs **matière minérale** varient entre un minimum de 13.96 % pour le fumier de dromadaire (FD) et un maximum de 51, 33 pour le fumier de volailles (FV). Alors que les autres fumiers enregistrent des valeurs intermédiaires de 29,52 et 43.31 % respectivement pour le fumier de bovins et d'ovins.

Les teneurs en **matière organique** des différents échantillons de fumiers analysés varient fortement entre une valeur minimale de 45.17 % enregistrée par le fumier de volailles (FV) et une valeur maximale de 80.37 enregistrée par le fumier de dromadaire (FD). Ces notables variations dans la teneur en MO peuvent être expliquées d'une part de la nature des intrants, et d'autre part par le degré de minéralisation du fumier au moment de l'analyse. Dans ce cas, le fumier de volailles grâce, à sa forte minéralisation a affiché la teneur en matière organique la plus basse (45.17%).

Toutefois, la présence d'une quantité de terre dans le fumier peut également contribuer à la diminution du taux de matière organique.

En revanche, la teneur la plus élevée en matière organique enregistrée dans le cas de fumier de dromadaires, est certainement due à sa richesse en composés ligneux par rapport aux autres types de fumiers.

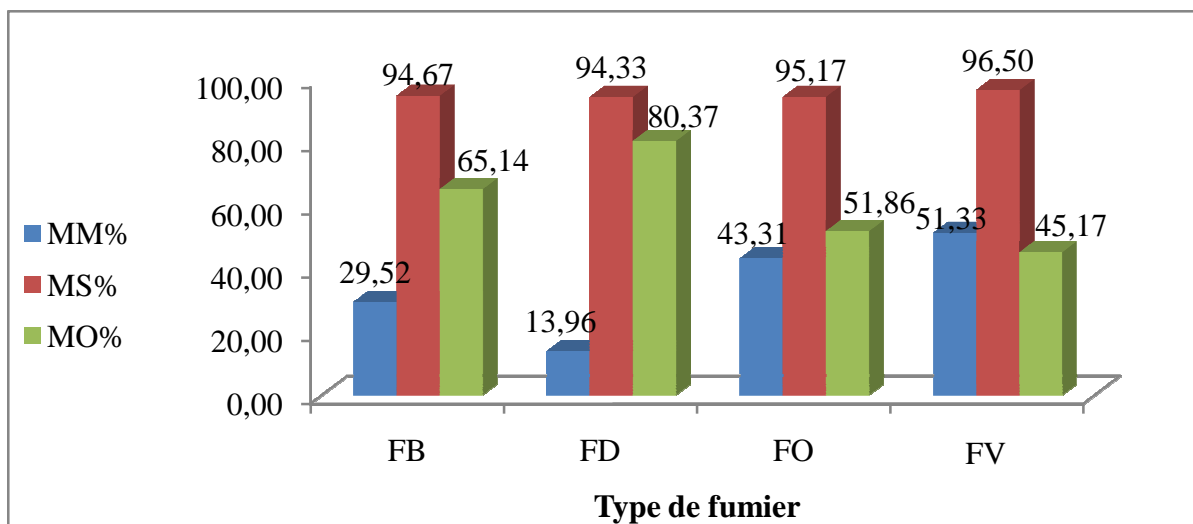


Figure 5. Variation de la teneur en Matière sèche, matière organique et matière minérale en fonction de type de fumier

FB : Fumier de Bovins ; FD : Fumier de Dromadaires ; FO : Fumier d'Ovins ; FV: Fumier de Volailles

III.2.1.2 Variation de pH en fonction de type de fumier

Les valeurs de pH oscillent entre des valeurs neutres à légèrement basiques avec des pH de 7.85 à 7.34 respectivement pour le fumier de volaille (FV) et le fumier d'ovin (FO), et des pH basiques de 8.33 et 8.38 respectivement pour fumier de dromadaires (FD) et le fumier de bovins (FB) (Figure 6).

D'après KROGMANN (1994), la valeur de pH des déchets organiques n'est pas stable. Elle dépend de la composition des intrants, de la teneur en azote et de l'intensité de nitrification pendant le stockage. C'est ainsi, que le pH neutre de fumier de volailles a favorisé une bonne ambiance microbienne favorable à la microflore de minéralisation et de nitrification. D'après MUSTIN (1982), l'activité microbienne de décomposition de la matière organique, notamment celle de la nitrification est optimale à la neutralité.

Selon DOMMERGUES et MANGENOT (1977), la nitrification est un processus microbien générateur d'acidité au niveau du sol.

Alors que, les autres types de fumiers notamment ceux de bovins et de dromadaires, à cause de leur pH relativement plus élevés, n'ont pas pu constituer des substrats favorables à la microflore de décomposition. Et c'est probablement pour cette raison, que ces deux fumiers ont montré des teneurs élevées en matières organiques au détriment des matières minérales.

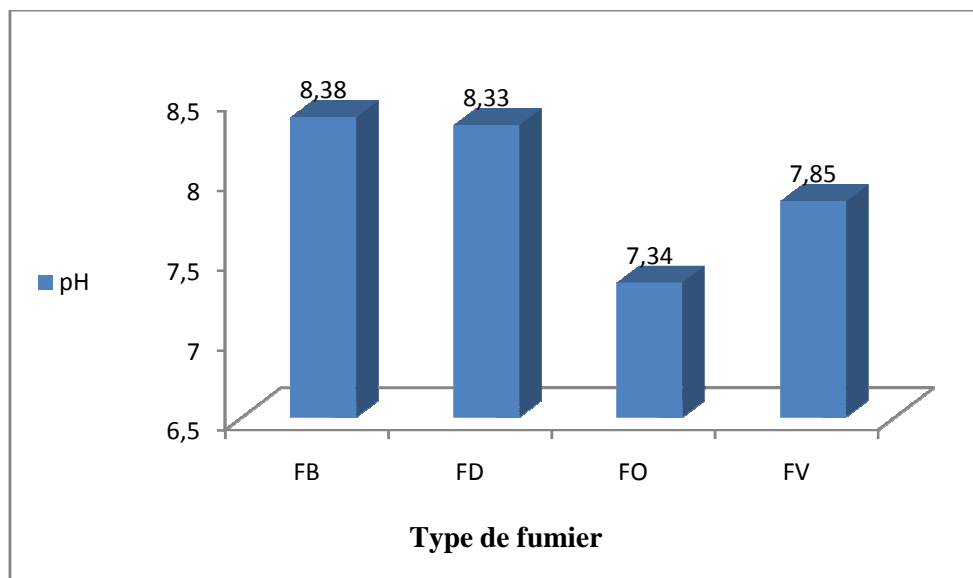


Figure 6. Variation du pH en fonction de type de fumier

FB : Fumier de Bovins ; FD : Fumier de Dromadaires ; FO : Fumier d'Ovins ; FV: Fumier de Volailles

II.2.1.3 Variation de la Conductivité électrique en fonction de type de fumier

La figure 3 illustre la variation de la conductivité en fonction des quatre types de fumier étudiés. Le classement des quatre types de fumiers en fonction de leur conductivité électrique mesurée sur des extraits (1/5) a obéi à l'ordre croissant suivant: fumier de dromadaire (CE: 2.61 dS/m) < fumier de volailles (CE: 5.39 dS/m) < Fumier d'ovins (CE: 6.18 dS/m) < fumier de bovins (CE: 12.17 dS/m) (figure 7).

Selon CHANG et *al.*, 1991 in PETERS et *al.*, (2003), le fumier peut avoir des hauts niveaux de CE dus aux grandes quantités de sels de minéraux ajoutés aux rations alimentaires des animaux. Ainsi, l'application excessive de fumier à fortes concentrations en sels, à long terme peut conduire à une accumulation des sels solubles dans le sol.

La faible conductivité électrique enregistrée par le fumier de dromadaires est probablement due à sa nature biochimique. En fait, c'est principalement la composition biochimique des matières premières qui influence leur conductivité électrique (LARBI, 2006). D'après ce dernier, plus le fumier contient de la matière ligneeuse, plus sa salinité est basse.

Par ailleurs, l'alimentation du dromadaire conduit en extensif, basée sur la consommation des plantes naturelles permet d'obtenir un fertilisant organique intéressant de point de vue agronomique, et ce ci, grâce à sa faible conductivité électrique. De ce fait, ce type de fumier ne contribuera donc pas à augmenter la salinisation du sol.

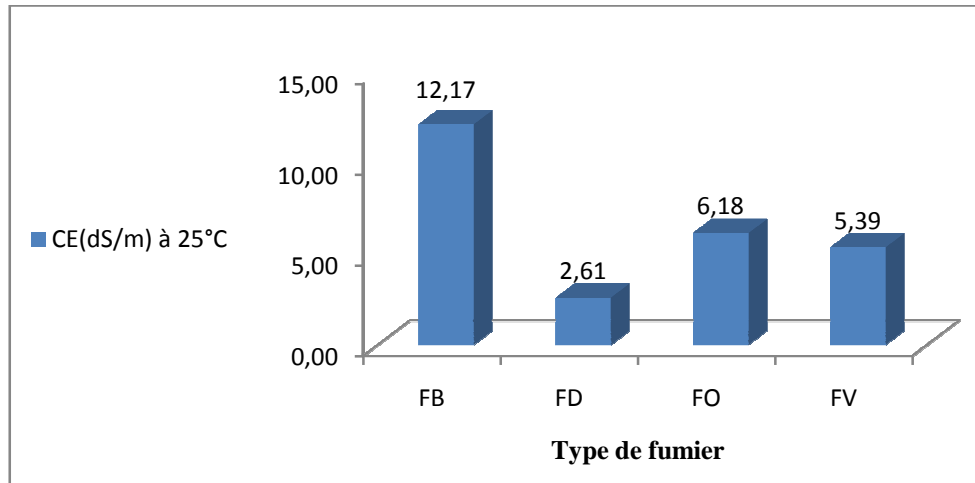


Figure 7. Variation de la conductivité électrique (dS/m à 25°C) en fonction de type de fumier

FB : Fumier de Bovins ; FD : Fumier de Dromadaires ; FO : Fumier d'Ovins ; FV: Fumier de Volailles

II.2.2 Caractérisation biochimique

La caractérisation biochimique des différents types de fumiers étudiés, à savoir le rapport C/N et la teneur en Cellulose sont présentés illustrés dans les figures 8 et 9.

II.2.2.1 Variation des rapports C/N en fonction de type de fumier

Le rapport C/N est fréquemment utilisé pour évaluer le processus de minéralisation de la matière organique (N'DAYEGAMIYE et ISFAN, 1991; BERNAL *et al.*, 1998). Il peut être d'autre part, indirectement utilisé pour apprécier la stabilité d'un produit organique. A ce sujet, il est couramment admis que, plus le rapport C/N d'un produit est élevé plus ce dernier se dégrade lentement dans le sol et fournit de l'humus stable (ROUDAUT *et al.*, 2011).

Le rapport C/N des différents fumiers est présenté dans la figure 4. D'après cette figure le rapport C/N des différents fumiers suit l'ordre croissant suivant : Fumier volailles (11,39) < Fumier bovins (34,9) < Fumier dromadaires (27,56) < Fumier d'ovins (40,51) (figure 8).

La variation du rapport C/N entre les différents fumiers s'explique par la variabilité des intrants, par l'intensité des opérations effectuées dans chaque système d'élevage, par leur degré de minéralisation et surtout par la teneur en azote. Le fumier de volailles se distinguant nettement des autres types de fumier par un rapport C/N beaucoup plus bas. Ce qui, est en relation avec sa teneur élevée en azote.

Grâce à sa richesse en azote; ce type de fumier, une fois apporté au sol, il va être rapidement minéralisé en fournissant beaucoup d'azote minéral. Cependant, les trois autres fumiers à C/N plus élevé vont à l'inverse provoquer l'immobilisation de l'azote par les microorganismes telluriques. Ces derniers, ont besoin d'azote pour élaborer leurs propres molécules protéiques. L'azote ainsi, réorganisé est temporairement non disponible pour la plante (AFNOR, 2011). Ce qui provoque un risque de **faim d'azote** au niveau du sol. En fait, l'azote immobilisé n'est disponible immédiatement pour la plante. Il est progressivement libéré en petites quantités par minéralisation biologique (CHABALIER, et al ., 2006).

Ces résultats rejoignent ceux de CULOT (2005), qui indique qu'une matière organique ayant un C/N bas se décompose presque 50 % plus vite que celles déficientes en azote et à rapport C/N élevé.

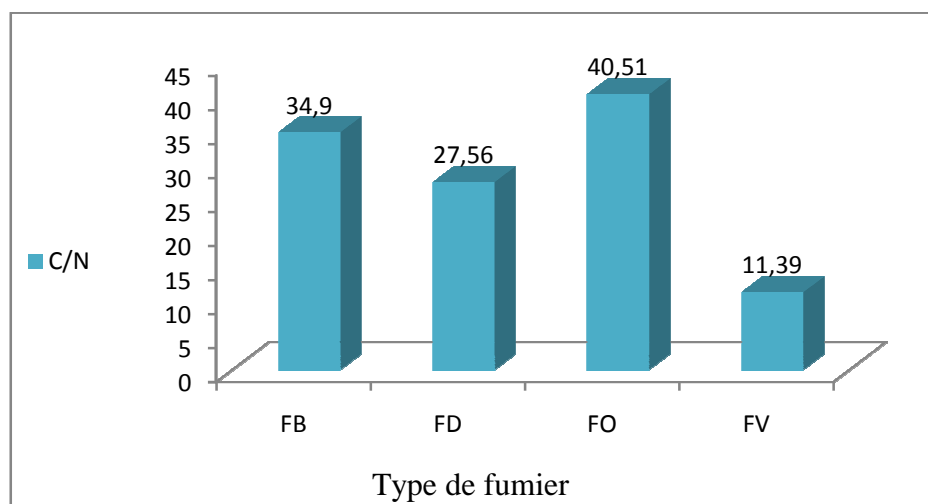


Figure 8 .Variation du rapport C/N en fonction de type de fumier

FB : Fumier Bovins ; FD : Fumier de Dromadaires ; FO : Fumier d' Ovins ; FV: Fumier Volailles

II.2.2.2 Variation des teneurs en cellulose brute en fonction de type de fumier

A partir des résultats obtenus par le dosage de la cellulose brute (Figure 9), les teneurs obtenus en fonction de type de fumier sont 45,53, 31,27, 13,20, 6,22 % respectivement pour le fumier d'ovins, fumier de dromadaire et le fumier de bovins.

Etant donné que, l'alimentation des monogastriques est basée sur la consommation de végétaux, il est possible qu'il s'agisse de la faculté de chaque espèce animale à dégrader la cellulose. Les résultats obtenus indiquent que les bovins métabolisent mieux la cellulose par rapport autres espèces.

Par ailleurs, la richesse relative du fumier de dromadaires et d'ovins en composés difficilement biodégradables tel que, la celluloses brute, suggère que leur action fertilisante s'étalera à long terme, et que ces matériaux seront donc sujets à une biodégradation plus lente. A ce niveau d'informations, les résultats obtenus, nous amènent à apprécier la valeur agronomique de ces deux fumiers, surtout en fonction de leur valeur amendante.

Toutefois, la faible teneur en cellulose brute enregistrée par le fumier de volailles (6.22 %), par suite de sa richesse en substances hydrocarbonées facilement biodégradables en détriment des composés ligneux; nous amène à apprécier la valeur agronomique de ce type de fumier, surtout en fonction de sa valeur fertilisante.



Figure 9. Variation de la teneur en Cellulose brute en fonction de type de fumier
Fumier Bovins ; FD : Fumier de Dromadaires ; FO : Fumier d'Ovins ; FV: Fumier de Volailles

II.2.3 Teneurs en éléments fertilisants en fonction de type de fumier

La connaissance de la **valeur fertilisante** d'un produit organique repose sur la détermination de sa composition (teneurs en azote total, en P_2O_5 , K_2O) et des **coefficients d'équivalence engrais minéral**.

L'analyse comparative en éléments fertilisants des quatre fumiers, ainsi que l'appréciation de leur valeurs fertilisante sont illustrés dans les figures 10, 11, 12, 13.

II.2.3.1 Variation de la teneur en azote total en fonction de type de fumier

La comparaison entre les différents fumiers pour la teneur en azote (Figure 10) a révélé que la teneur plus élevée a été enregistrée par le fumier de volailles (FV) avec une teneur de 2.07 %.

Le fumier de dromadaire (FD) a été classé en deuxième position avec une teneur de 1.46 %. Alors que, les plus faibles teneurs en cet élément ont été enregistrés par le fumier de bovins secondé par le fumier d'ovins avec des teneurs de 0.93 et 0.64 % respectivement.

Ces résultats confirment ceux d'ADENAWOOLA et al. (2005), qui montrent que le fumier de volailles est très concentré en éléments fertilisants, azote, potasse et phosphore.

Selon FIGAROL (2001); AUBERT (2011), 70 % de l'azote ingéré par les volailles se retrouvent dans leurs déjections.

Le fumier de dromadaire a été classé en deuxième position avec une teneur de 1.46%. Paradoxalement aux résultats obtenus par ALHADHRAMI et YOUSIF (1994) et OUSTANI (1994), qui ont montré que les excréments fécaux du dromadaire sont pauvres en azote ; nous avons enregistré une teneur moyenne en cet élément. Ce qui peut être expliqué par la variation du régime alimentaire de cet animal, par suite, de la variation de la composition en azote des espèces végétales au niveau des parcours camelins.

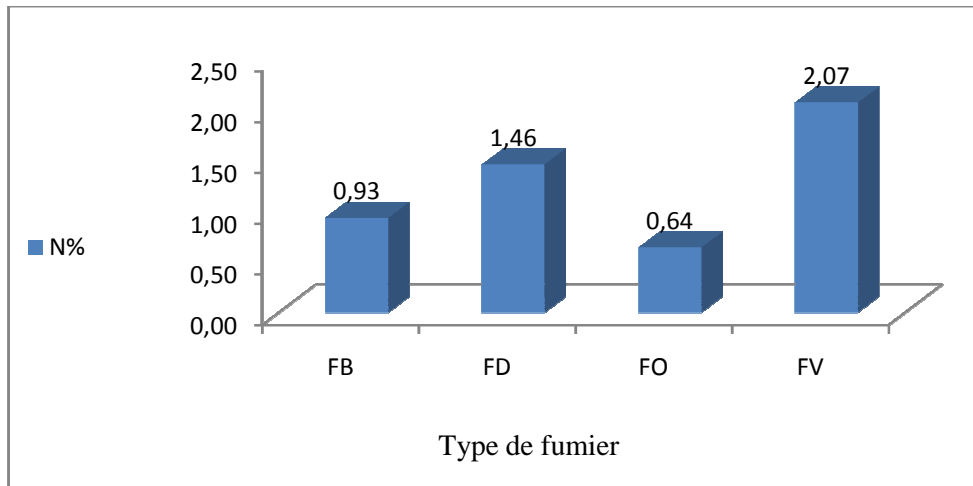


Figure 10. Variation de la teneur en azote en fonction de type de fumier

FB : Fumier de Bovins ; FD : Fumier de Dromadaires ; FO : Fumier d'Ovins ; FV: Fumier de Volailles

I.2.3.2 Variation de la teneur en P_2O_5 en fonction de type de fumier

Les résultats mentionnés dans la figure 11, permet de constater que la teneur du fumier de bovins et celle d'ovin est sensiblement la même, quoique une certaine supériorité a été notée au profit du fumier de bovins. Les autres fumiers enregistrent des teneurs moins élevées de 0,78 et 0,56 % respectivement pour le fumier de dromadaire et le fumier de volaille.

L'alimentation des ovins s'effectuée à base de foin et d'ensilage, ce qui, produit des fumiers plus riches en phosphore (CRAAQ, 2002).

Selon ZIGLER et HEDAIT (1991), la fraction du phosphore minérale dans un fumier de ferme varie selon l'espèce animale. Elle présente 80 % du phosphore total pour le fumier de bovins et 60 % pour le fumier de volailles.

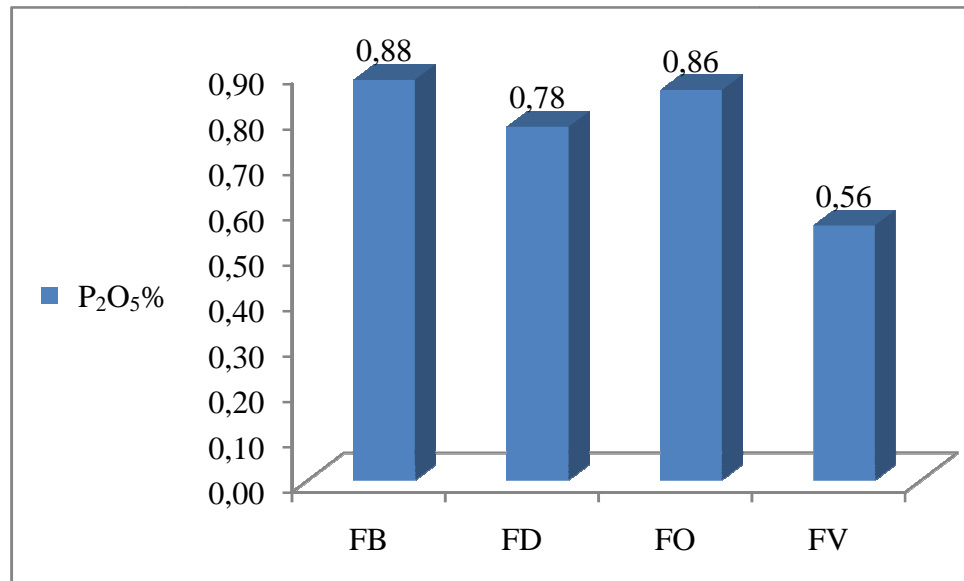


Figure 11. Variation de la teneur en P₂O₅ en fonction de type de fumier

Fumier Bovins ; FD : Fumier de Dromadaires ; FO : Fumier d'Ovins ; FV: Fumier de Volailles

II.2.3.3 Variation de la teneur en K₂O en fonction de type de fumier

La figure 12, montre que la teneur la plus importante en K₂O a été enregistrée par le fumier de volailles avec une teneur de 2.51 %. Les autres fumiers enregistrent des teneurs de 1.32 ,1.2 et 1.17 % respectivement pour le fumier de dromadaire, fumier de bovins et fumier d'ovins.

Des résultats similaires ont été obtenus par ADEYEMO (2008), qui a indiqué la richesse relative de fumier de volailles en potassium par rapport aux autres fumiers.

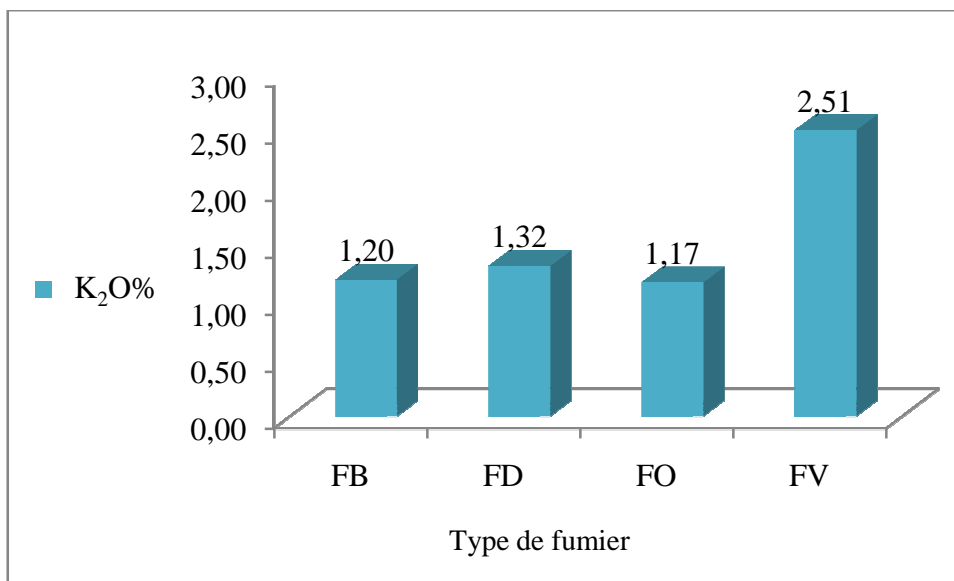


Figure 12 .Variation de la teneur en K₂O en fonction de type de fumier

Fumier Bovins ; FD : Fumier de Dromadaires ; FO : Fumier d'Ovins ; FV: Fumier de Volailles

II.2.3. 4 Estimation de la teneur en éléments fertilisants disponible à la plante

En pratique, on calcule la fourniture réelle en élément fertilisant à la culture, en multipliant la dose totale d'élément fertilisant apportée par le coefficient d'équivalence engrais minéral.

Il est à mentionner que les coefficients équivalents engrais, utilisés dans le cadre de cette étude ont été obtenus par la bibliographie.

Il est à noter également, que par manque de la valeur du Coefficient équivalent-engrais relatif au fumier de dromadaire dans la bibliographie, on n'a pas pu apprécier la valeur fertilisante de ce type de fumier (Annexe 2).

Les résultats des l'estimation de la valeur fertilisante des quatre types de fumier en utilisant les Coefficients équivalent-engrais pour chaque type d'élément fertilisant sont illustrés dans la figure 13.

On observe que le fumier de volailles se classe en tête en ce qui concerne la teneur en N assimilable pendant la saison de croissance (1,55%), soit 75% de l'azote total, secondé par le fumier de bovins avec une teneur de (0,51%), soit 55% de l'azote total. Alors que le fumier

d'ovins se classe en dernière position avec une teneur en N assimilable de (0,13%), soit 20 % de l'azote total.

Concernant la teneur en P₂O₅ disponible pendant la saison de croissance, on remarque que le fumier d'ovins enregistre la teneur la plus élevée (0,86%), soit 100% de P₂O₅ total, suivis par le fumier bovin avec une teneur de (0,57%), soit 65% de P₂O₅ total. Enfin, la dernière classe a été occupée par le fumier de volailles enregistrant ainsi, la plus faible teneur en P₂O₅ de (0,36%), soit 65% du P₂O₅ total.

Quant à la teneur en K₂O, les résultats obtenus montrent que le fumier de volailles enregistre la plus grande teneur en K₂O (2,26 %), soit 90% de la teneur en K₂O total, suivis par le fumier d'ovins avec une teneur de 1,17%, soit 100% de la teneur en K₂O total. En dernière position, se classe le fumier de bovins par un teneur de 1,08%, soit 90% de la teneur en K₂O total.

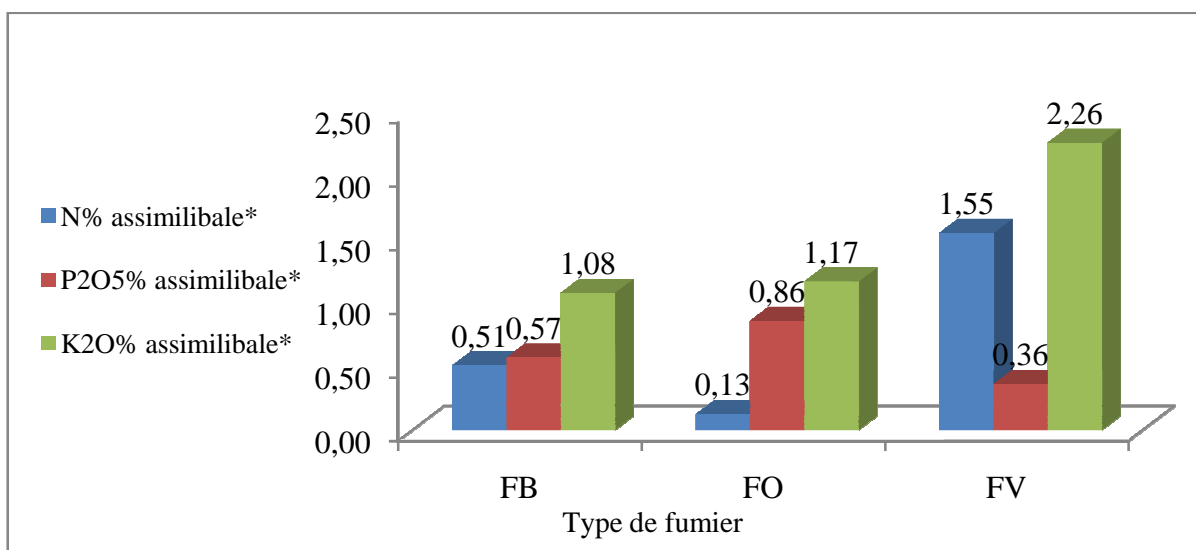


Figure 13. Teneurs en éléments fertilisants disponibles à la plante (%)

Fumier Bovins ; FD : Fumier de Dromadaires ; FO : Fumier d'Ovins ; FV:

*Fumier de Volailles ; * : élément relâché pendant la saison de croissance*

II.2.3.5 Ajuster les éléments fertilisants apportés par les fumiers étudiés aux besoins en engrais minéraux d'une plante test: la pomme de terre :

La pomme de terre est l'une des cultures maraichères les plus consommatrices en éléments fertilisants. Selon l'ITCMI, les besoins de la pomme de terre en éléments fertilisants sont :

Fumure de fond

Organique :

- ✓ 25 à 30 t / ha (Bovins ou Ovins).
- ✓ 30 t / ha (Fumier de volailles).

Minérale :

Période d'apport : Avant plantation 11-15-15 : 10 qx / ha.

- ✓ 80 à 100 unités de N / ha.
- ✓ 100 à 120 unités de P_2O_5 / ha.
- ✓ 200 à 240 unités de K_2O / ha.

Fumure d'entretien

Période d'apport : Deux mois après plantation :

- ✓ 1,5 qx d'urée 46%.
- ✓ 2 qx de sulfate de potasse.

Calcul de la valeur fertilisante d'un engrais organique apporté pour la pomme de terre

En multipliant la Va (Valeur fertilisante) par la quantité d'engrais organique apporté, on obtient la quantité d'élément "E" apporté par le produit organique et qui a la même efficacité que l'engrais minéral. (Valeur apparaissant dans les bilans N, P, K).

Va = Valeur Fertilisante par effet direct pour l'élément E = **Teneur** en élément E x **Keq** pour l'élément E

* $E = N; P_2O_5; K_2O$ ou MgO .

* $Keq =$ Coefficient d'Equivalence Engrais minéral

- **Valeur fertilisante du fumier de volailles apporté à la pomme de terre (Avec l'utilisation d'un apport de 30 t/ha du fumier de volailles):**

$$N = 15,5 \text{ Kg/t} ; P_2O_5 = 3,6 \text{ Kg/t} ; K_2O = 22,6 \text{ Kg/t}$$

- Azote disponible fourni par l'apport organique = $15,5 \times 30 = 465 \text{ Kg/ha}$
- Phosphore fourni par l'apport organique = $3,6 \times 30 = 108 \text{ Kg/ha}$
- Potassium fourni par l'apport organique = $22,61 \times 30 = 678,3 \text{ Kg/ha}$

Le surplus en éléments fertilisants : Fumure de fond

- Azote = $465 - 100 = 365 \text{ Kg/ha}$;
- Phosphore = $108 - 120 = - 12 \text{ Kg/ha}$;
- Potassium = $678,3 - 240 = 438,3 \text{ Kg/ha}$.

Le surplus en éléments fertilisants : Fumure d'entretien

- Azote = $365 - 69 = 296 \text{ Kg/ha}$.
- Potassium = $438,3 - 200 = 238,3 \text{ Kg/ha}$.

- **Valeur fertilisante du fumier de bovins apporté à la pomme de terre (Avec l'utilisation d'un apport de 30 t/ha du fumier de bovins) :**

$$N=5,51 \text{ Kg/t}; P_2O_5 = 5,7 \text{ Kg/t} ; K_2O = 10,8 \text{ Kg/t}$$

- Azote fourni par l'apport organique = $5,51 \times 30 = 165,3 \text{ Kg/ha}$;
- Phosphore fourni par l'apport organique = $5,7 \times 30 = 171 \text{ Kg/ha}$;
- Potassium fourni par l'apport organique = $10,8 \times 30 = 324 \text{ Kg/ha}$.

Le surplus en éléments fertilisants :

- Azote = $165 - 100 = 65 \text{ Kg/ha}$
- Phosphore = $171 - 120 = 51 \text{ Kg/ha}$
- Potassium = $324 - 240 = 84 \text{ Kg/ha}$

Le surplus en éléments fertilisants : Fumure d'entretien :

- Azote = $65 - 69 = - 4 \text{ Kg/ha}$.

- Potassium = $84 - 200 = -116$ Kg/ha.
- **Valeur fertilisante du fumier d'ovins apporté à la pomme de terre (Avec l'utilisation d'un apport de 30 t/ha du fumier d'Ovins):**

$$N=1,3 \text{ Kg/t}; \text{ P}_2\text{O}_5 = 8,6 \text{ Kg/t}; \text{ K}_2\text{O} = 11,7 \text{ Kg/t}$$

- Azote fourni par l'apport organique = $1,3 \times 30 = 39$ Kg/ha;
- Phosphore fourni par l'apport organique = $8,6 \times 30 = 258$ Kg/ha;
- Potassium fourni par l'apport organique = $11,7 \times 30 = 351$ Kg/ha.

Le surplus en éléments fertilisants :

- Azote = $39 - 100 = -61$ Kg/ha;
- Phosphore = $258 - 120 = 138$ Kg/ha;
- Potassium = $351 - 240 = 111$ Kg/ha.

Le surplus en éléments fertilisants : Fumure d'entretien

- Azote = $0 - 69 = -69$ Kg/ha
- Potassium = $111 - 200 = -89$ Kg/ha

A travers ces résultats, il semblerait que le fumier de volaille peut couvrir les besoins de la pomme de terre en éléments fertilisant.

Conclusion

Au terme de cette étude qui vise à apprécier les teneurs en éléments fertilisants majeurs aux plantes à savoir : la teneur en azote, phosphore et en potassium de 4 types de fumiers, bovin, de dromadaire, ovin et de volailles, nous avons arrivé au conclusions suivantes :

Le fumier de volailles présente les teneurs les plus élevées en azote (soit 2,07%) et en potassium (soit 2,51%). Par ailleurs, sa teneur en P_2O_5 , est moyenne et égale à 0,56%, ce qui rehausse d'avantage sa valeur fertilisante pour ces trois éléments N_2 , P_2O_5 et K_2O .

Le fumier de dromadaire vient en deuxième position puisque ses teneurs en N (1,46%) et en K_2O (1,32%) sont plus proches de celles du fumier de volailles. Il possède par conséquent une valeur fertilisante plus intéressante par rapport aux fumiers bovin et ovin. En plus sa teneur en P_2O_5 égale à 0,77% est plus élevée que celle du fumier de volaille.

Le fumier bovin vient en troisième position avec une valeur fertilisante que l'on peut juger intéressante puisqu'elle est caractérisé par des teneurs en N, P_2O_5 et K_2O respectivement égales à 0,93%, 0,88% et 1,19%.

Enfin le fumier ovin présente des teneurs les plus faibles égales à 0,64%, 0,86 % et 1.17 % respectivement pour l'N, le P_2O_5 et K_2O .

Le rapport C/N du fumier de volaille égale à 11.39 relativement plus faible, indique qu'il sera sujet à un rythme minéralisation rapide par rapport aux autres fumiers. Il offre par conséquent le maximum d'éléments fertilisants au végétal durant sa phase de croissance.

Il est suivi du fumier de dromadaires (27,56). Alors que, les rapports C/N les plus élevés ont été enregistrés par le fumier de bovin et d'ovin avec des rapports de 38,74 et 40.52 respectivement.

Selon le rapport C/N on peut dire que le fumier de volaille peut être utilisé pour les cultures à cycle végétatif court, les trois autres pour les cultures à cycle long. De qui précède, nous préconisons l'utilisation du fumier de volailles pour les cultures maraichères comme la pomme de terre, la tomate ...etc., et celui des trois autres espèces pour l'arboriculture.

Avec l'utilisation du "Coefficient Equivalent-Engrais", le fumier de volaille semble offrir la plus grande teneur en N (1,55%) et en K_2O (1,88%), mais une teneur en P_2O_5 plus faible par rapport aux trois autres fumiers (0,36%). Le fumier bovin vient en deuxième position avec un teneur en azote égale à 0,51% et une teneur en P_2O_5 égale à 1,08%, très proche de celle du fumier ovin. Ce dernier présente la plus faible teneur en azote (0,13%), une teneur en P_2O_5 la plus importante (0,86%) et une teneur importante en K_2O (1,17%).

Enfin, pour une bonne valorisation du fumier choisi, il est indispensable de réaliser une analyse des éléments fertilisants majeurs avant chaque épandage ainsi, aux analyses complémentaires en oligoéléments.

Dans le contexte Saharien, et devant le manque d'informations sur la valeur fertilisante du fumier de dromadaire, il semble nécessaire d'établir des « coefficients équivalent engrais » spécifiques pour ce type de fumier. Ces derniers nécessitent de multiplier les essais d'incubation in vitro (sous paramètres contrôlées) et in situ, pour étudier le rythme de la biodégradation de ce type de fumier, tout en tenant compte des particularités édapho-climatiques de la région saharienne.

A l'heure actuelle, non seulement le respect de la législation et des normes environnementales, mais encore et surtout le renchérissement très sensibles du coût des engrais minéraux imposent de considérer les déchets de ferme d'élevage comme des engrais de ferme, de véritables engrais, qui ont constitué pendant des millénaires la principale source de matières fertilisantes.

Références bibliographiques

ABIVEN S., 2004. Relation entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol. L'agrocompus. Rennes. Thèse de Doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes Option : Biologie et Agronomie INRA. France. 262p.

ADDEN A.K., 2004. Evaluation quantitative ce composts de biomasses diverses et leur phytotoxycite. Maîtrise .Université de Lomé.44p.

ADENAWOOLA A. R., ADEJORO S. A., 2005. Residual effects of poultry manure and NPK fertilizer residues on soil nutrient and performance of jute (*Corchorus olitorius*L). Nigerian J. Soil Sci. pp133-135.

ADEYEMO C., 2008. Effect of poultry manure on soil physical and chemical properties, growth and grain yield of sorghum insouthwest Nigeria. Am. Eur. J. Sust. Agric. 2(1):72-77.

ANNABI M., 2001- Effets des apports d'origine urbaine sur les propriétés physiques des sols limoneux. Thèse de doctorat INA, Paris, 122p.

AUBERT C ., DOLE J.B., GUINGAND N., 2010. Bonne pratiques environnementales en productions avicole, bovine et porcine : les choix techniques. pp 194

BALESDENT J., 1996. Un point sur l'évolution des réserves organiques des sols en France, INRA, Paris, pp 245-260.

BOCKMAN O.C., KARSTED O., LIE O.H. et RICHARD I., 1990. Agriculture et fertilisation-les engrais leur avenir. Edit. Taugen Grafiste. Centre. Oslo.258p.

CALVET R., 2003. Le sol propriétés et fonctions. Constitution et structure, phénomènes aux interfaces, Tome 1. Edit. France Agricole. 455p.

CHEVERRY C., 1994. Dégradation chimique des sols en Bretagne. étude de gestion des sols, 1.7-21p

CHABALIER F.P., DE KHERCHOVE V et MARCARY H. S., 2006. Guide de la fertilisation organique à la réunion. 301p.

CHAMAYOU H. et LEGROS J.P., 1989. Les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Technique vivante. Presses universitaires de France. Paris. pp 212-213.

CHANG C., SOMEMERFELDT T.G et ENTZ T., 1991. Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure. J. ENVIRON. Qual. 20 :475-480

CHAREAU C., 1975. Matière organique et propriétés biochimiques du sol dans la zone tropicale sèche d'Afrique occidentale, Bul, pédologique de la FAO, n^o 27, Rome, pp 305-323.

CHAUSSOD., 1996. La qualité biologique des sols : Evaluation et implication. Laboratoire de Microbiologie des sols, INRA.18p

CITEAU L., BISPO A., BARDY et KING D., 2008. Gestion durable des sols. Edit. Quae, 336p.

CRAAQ., 2003. Guide de référence en fertilisation. 1ère édition. 294 p.

CRAAQ, 2002. Guide production ovine, 2002.

CRAAQ., 2007. Caractérisation des effluents d'élevage- validées – (porc et poule pondeuses), 7 p.

DAVET P., 1996. Vie microbienne du sol et production végétale. INRA. Paris. 383p.

DEMOLON A., 1968. Principe d'agronomie, croissances des végétaux cultivés. Edit: Dunod, Paris, 576 p.

DESVIGNES P et BODET J.M., 2000. La fertilisation du maïs fourrage dans les exploitations d'élevage. Travail présenté aux Journées d'information de l'A.F.P.F."Fourrages annuels et environnement". 6p.

DOMMERCUES Y.R et MANGENOT., 1970. Écologie microbienne du sol. Edit. Masson et Cie. 796p.

DROUET T., 2010. Pédologie. 137p.

DUCHAUFOR P., 1968. L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils. Edit. Masson et Cie.93p.

DUCHAUFOR P., 1976. Atlas écologique des sols du monde. Masson, Paris. 178 p.

DUCHAUFOR P., 1977. Pédologie. Pédogenèse et classification. Edit. Masson. Paris. Tome 1. 477p.

DUCHAUFOR P., 1984. Abrège de pédologie. Edit. Masson. France. 220p.

DUCHAUFOR P., 2001. Introduction à la science du sol. Sol, végétation, environnement. Edit. DUNOD, Paris. 352p.

DUPLESSIS J., 2002. Le compostage facilité: guide sur le compostage domestique, NOVA Envirocom, Québec. 110 p.

EL-TANTAWY, I.M., A.M. EL-GHAMRY., A.H. HABIB., 2009. Effect of chicken manure and manure compost tea on potato yield and soil fertility. J. Agric. Sci. Mansoura Univ., 34(1): 659-668.

FALINIRINA M.V., 2010. Valorisation en agriculture des apports organiques contenus dans les déchets urbains: qualité des matières organiques et service écosystémique. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. Ecole supérieure des sciences agronomiques Antananarivo. 162p.

FAO., 2009. Comment nourrir le monde en 2050

FELLER C., 1994. La matière organique dans les sols tropicaux à argile 1 :1 : recherche de compartiments organiques fonctionnels. Une approche granulométrique. Thèse de Doctoral. Univ. Strasbourg (ULP).190p.

FIGAROL M., 2001. Bien valoriser les fumiers de volailles. La France Agricole numéro 2916.

FRASER H., 2001. Les caractéristiques du fumier ministère de l'agriculture. Fiche technique, 7p.

FRISQUE M., 2007. Gestion des matières organiques dans les sols cultivés en Région wallonne, Université Libre de Bruxelles, Institut de Gestion de l'Environnement et d'Aménagement du Territoire, Master en Sciences et Gestion de l'Environnement, 96p.

GIROUX M., GREGOIRE S.F.R et DESCHAMBAULT., 2000. Études de différents facteurs affectant la composition des fumiers de bovins de boucherie entreposés en andains au champ.

GOBAT J.M., ARAGNO M et MATTHEY W., 2003. Le sol vivant. Bases de pédologie. Biologie des sols. Edit. Presses polytechniques et universitaires romandes. 571P.

GOLDBERGER, J.R., 2008. Diffusion and adoption of non-certified organic agriculture: a case study from semi-arid Makueni District, Kenya. J. Sustain. Agric. 32 (4), 597–609.

GUEYDON C., 1992. Variations de la valeur fertilisante des fumiers et lisiers de bovins. Influence de la complémentation, du niveau de production et du type de déjections animales. 71p.

HUBER G et SCHAUB C., 2011. La fertilité des sols : L'importance de la matière organique. Service Environnement-Innovation.42p.

ITCMI., 2010. Fiche techniques valorisée des cultures maraîchères et Industrielles, La culture de pomme de Terre.10p.

IZEGLER D., HEDUIT M., 1991. Engrais de ferme : valeur fertilisante, gestion environnement, Rapport ITP, ITCF, ITEB 35p.

JALALI, M., RANJBAR F., 2009. Effects of sodic water on soil sodicity and nutrient leaching in poultry and sheep manure amended soils. Geoderma 153, 194–204

LARBI M L., 2006. Influence de la qualité des composts et de leurs extraits sur la protection des plantes contre les maladies fongiques. These Doc . Université de Neuchatel .138 P.

MALLOUHI N., 1982. Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur l'évolution de la matière organique. Thèse d'oct. INPL, Nancy. 127 p.

MALTAS A., OBERHOLZER H, CHARLES R, BOVET V et SINAJ S., 2011. Effet à long terme des engrais organiques sur les propriétés du sol. Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon.8p

MAPAQ., 1997. Guide régional sur la composition des fumiers et lisiers sur les fermes de la montagne-Est, Bureau des renseignements agricole de Saint-Hyacinthe

MERROUKI K., CHEFOUH R., BOUBRIT B et SIDI H., 2012. Influence de la matière organique sur la stabilité structurale et sur la conductivité hydraulique.

MUSTIN M., 1987. Le composte, gestion de la matière organique. Edit. François Dubusc. Paris. 954p.

MUSY A et SOUTTER M., 1991. Physique du sol. Edit. Presses polytechniques et universitaires romandes. 331p.

OUSTANI M., 2006. Contribution à l'étude de l'influence des amendements organiques (fumier de volailles et fumier de bovins) sur l'amélioration des propriétés microbiologiques des sols sableux non salés et salés dans les régions Sahariennes (Cas de Ouargla), Mémoire de Magister en Agronomie Saharienne, Université Kasdi Merbah, Ouargla, 187p.

PETIT J et JOBIN P., 2005. La fertilisation organique des cultures. 48p.

ROGER P. ; GARCIA J.L., 2001. Microbiologie du sol. Institut Fédératif de Recherche en Biotechnologie Agro-Industrielle de Marseille. 193pp.

SOLTNER D., 2003. Les bases de la production végétale. Tome I. Le sol et son amélioration. Collection Sciences et Techniques Agricoles. 23^{ème}. Ed. Paris. 472p.

THURIES L., PANSU M., LARRÉ-LARROUY M.C., FELLER C., 2002. Biochemical composition and mineralization kinetics of organic inputs in a sandy soil. Soil Biology and Biochemistry, pp 239-250.

VULLIOUD P., NEYROUD J.A., MERCIER E., 2006. Résultats de 35 ans de culture sans labour à Changins. Revue suisse d'agriculture, Volume 38 (1), pp 1-16.

YAAKOUBI A., CHAHLAOUI A., ELYACHIOUI M., CHAOUCH A., 2010. Traitement des margines à pH neutre et en conditions d'aérobies par la microflore du sol avant épandage. Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 43-56p.

Annexe1.

Méthode de calcul du rapport C/N voir l'article concerné :

La connaissance des teneurs en carbone (C %) et en azote (N %) permet le calcul du rapport C/N. Ce rapport est largement utilisé pour caractériser et classer les types de matières organiques contenues dans un sol.

C'est une fraction de la teneur en carbone organique déterminé à partir de la matière organique avec un facteur 2,0 et la teneur en azote totale analysée par la méthode de Kjeldahl est représentée.

Annexe 2.

Tableau 1. Classement des fumiers en fonction du taux de matière sèche en %

Teneur en MS en %	Solide	Pâteuse	Liquide
0 > MS < 14			X
14 > MS < 35		X	
35 > MS < 85	X		

(CHABELIER *et al.*, 2006)

Tableau 2. Classement des fumiers en fonction de la teneur en N en %

Teneur en N en %	Riche à très riche	Moyenne	Pauvre
0 > MS < 0,4			X
0,5 > MS < 1,4		X	
1,5 > MS < 5	X		

(CHABELIER *et al.*, 2006)

Tableau 3. Classement des fumiers en fonction de la teneur en P₂O₅ en %

Teneur en P ₂ O ₅ en %	Riche	Moyenne	Pauvre
0 > MS < 0,4			X
0,5 > MS < 1,5		X	
1,6 > MS < 3,2	X		

(CHABELIER *et al.*, 2006)

Tableau 4. Classement des fumiers en fonction de la teneur en K₂O en %

Teneur en K ₂ O en %	Très riche	Riche	Moyenne	Pauvre
0 > MS < 0,4				X
0,5 > MS < 1			X	
1,1 > MS < 1,4		X		
1,5 > MS < 2,6	X			

(CHABELIER *et al.*, 2006)

La démarche à suivre pour le calcul de coefficient équivalent-engrais:

Ce calcul nécessite l'utilisation du coefficient équivalent-engrais de la matière organique pour l'élément considéré. Ce calcul est particulièrement intéressant pour les engrais organiques très riches en un élément, par exemple en azote (fiente de poule), et pour des produits plus dilués (lisiers) dans lesquels l'azote est disponible très rapidement.

On a utilisé des coefficients équivalents engrais spécifique pour les sols sableux qui sont les sols abondants dans les régions sahariennes.

$$N \text{ assimilable (Kg/t)} = (CE - N(\%) \times N_{\text{total}} \text{ (Kg/t)})/100$$

$$P_2O_5 \text{ assimilable (Kg/t)} = (CE - P_2O_5(\%) \times P_2O_5 \text{ total (Kg/t)})/100$$

$$K_2O \text{ assimilable (kg/t)} = (CE - K_2O(\%) \times K_2O \text{ total (kg/t)})/100$$

Tableau 11. Teneurs en éléments fertilisants disponible à la plante

	CE-N	CE-P	CE-K	N assimilable*	P ₂ O ₅ assimilable*	K ₂ O assimilable*
FB	55	65	90	0,51	0,57	1,08
FD	nd	nd	nd	nd	nd	nd
FO	20	100	100	0,13	0,86	1,17
FV	75	65	90	1,55	0,36	0,864

nd : non déterminé

(CHABELIER *et al.*,

2006)

Pour convertir le phosphore et le potassium en forme oxydée :

$$P \times 2,291 = P_2O_5$$

$$K \times 1,205 = K_2O$$

Tableau 12. Coefficients d'équivalence engrais CE-N et CE-S, CE-P₂O₅, CE-K₂O, CE-MgO, CE-CaO selon les types de matière organique.

CE	Gamme des valeurs CE	Explication de la variation
CE-N et CE-S (mêmes valeurs)	10 à 60 % 10 % : composts et fumiers 60 % : lisiers	La dynamique du soufre (cycle du soufre dans le sol) suit des processus identiques à celle de l'azote. C'est pourquoi leurs CE sont identiques.
CE-P ₂ O ₅	65 à 100 % 100 % : fumiers de bovin, caprin, porc, cheval - Lisier de bovin, purin 85 % : lisier de porc et composts dérivés - Boue d'épuration 65 % : lisier de volailles - Lisier de lapin - Fientes, fumiers, composts de volailles	Dans le cas de certaines matières, les formes organiques sont assez stables et ne libèrent pas complètement P ₂ O ₅ sous des formes directement assimilables par la plante.
CE-K ₂ O CE-MgO CE-CaO	100 % pour toutes les matières organiques	K ₂ O, MgO et CaO se comportent comme des engrais minéraux quelle que soit la matière organique. Ces éléments sont facilement solubles et se retrouvent rapidement dans la solution du sol.

(CHABELIER *et al.*, 2006)

Tableau 13 .rapport C/N

C/N	Rythme de minéralisation de la MO
4 > C/N < 12	Minéralisation rapide
> 15	Minéralisation lente

(CHABELIER *et al.*, 2006)

Résumé

Les produits organiques issus d'élevage représentent une source de fertilisation importante mais dont la valeur fertilisante reste encore difficile à évaluer avec précision. En effet, les éléments nutritifs contenus dans ces produits sont présents sous différentes formes, minérales et organiques, disponibles pour les cultures dans des délais très variables. Dans ce contexte, la présente étude vise à déterminer la valeur fertilisante de quatre types de fumier, bovins, de dromadaires, ovins et de volailles. Les principales analyses réalisées ont consisté en dosage de l'azote total, du phosphore et du potassium. Ces éléments donnent une idée précise sur la composition du fumier en éléments fertilisants. Parallèlement nous avons procédé à la détermination de la matière organique qui permet d'estimer la teneur en carbone organique permettant le calcul du rapport C/N. Ce dernier permettra d'apprécier la capacité de minéralisation de l'azote contenu dans les produits organiques. Les taux de matière sèche, de cellulose brute et la mesure de la conductivité électrique ont été également déterminés. Les résultats obtenus ont montré que le fumier de volailles a présenté les teneurs les plus élevées en azote et en potassium avec des teneurs de 2,07% et 2,51% respectivement. Alors, qu'il a enregistré une teneur moyenne en P_2O_5 avec une teneur de 0,56%. Par ailleurs, le rapport C/N le plus bas (11,39) a été enregistré par ce type de fumier. Il est donc de nature à offrir les plus grandes teneurs en éléments fertilisants pendant la saison de croissance des plantes. Cette étude précise enfin, que les teneurs en éléments fertilisants des fumiers de ferme sont variables d'un fumier à l'autre. Il importe donc de fonder les recommandations agronomiques sur une analyse précise de la valeur fertilisante pour chaque type de fumier.

Mots clefs : Fumier, bovin, ovin, camelin, volaille, valeur fertilisante.

Summary

The animal excrement stem from breeding animals represent a source of important fertilization, However the fertilizing value of which remains still difficult to estimate exactly knowing that the organic matter liberates the mineral fertilizing elements slowly in time. The present study aims at determining the fertilizing value of the manure of bovine, dromedary, ovine and poultry.

In this study, we proceed by running tow types of analyses. The first is called the principal that consists of the determination of the total nitrogen, phosphorus and potassium. These three elements provide a clear picture of the composition of the manure. The second which is called a secondary analysis is to determine the organic matter to estimate its contents of the organic carbon that allow the calculation of ration C/N. this ration with allow appreciating how fast is the mineralization of organic matter. In the secondary analysis, we determine the rates of dry matter, cellulose and the electric conductivity.

Results from analysis are ensuring that poultry manure contain the highest rate of nitrogen (2,07%), potassium (2,51%), when we compared to the other fertilizers, but the presence of P_2O_5 is with a medium average of 0,56%.

Thus, the choice of the fertilizing elements is made on the type and the nature of the manure.

Keywords: fertilizer, bovine, ovine, camelin, poultry, fertilizing value.

ملخص :

الأسمدة العضوية المنتجة من طرف المزارع تمثل مصدرا هاما من مصادر التسميد ولكن لا يزال من الصعب تقدير قيمتها السمادية بدقة. في الواقع إن العناصر الغذائية الموجودة في هذه المواد العضوية متوفرة في أشكال مختلفة، عضوية وغير عضوية، وهي متاحة للمحاصيل في أوقات مختلفة جدا. في هذا السياق، تهدف هذه الدراسة إلى تحديد قيمة أربعة أنواع من الأسمدة، سماد الأبقار والإبل والأغنام والدواجن وذلك بإجراء تحاليل مخبرية لأهم العناصر الغذائية لتحديد نسبة النيتروجين الكلي، الفوسفور و البوتاسيوم، حيث أن هذه العناصر مهمة لتحديد القيمة السمادية للمخلفات العضوية. إلى جانب ذلك هذه الدراسة تطرقت لتقدير كل من المادة العضوية ونسبة الكربون للنيتروجين باعتبار هذا الأخير خطوة مهمة لتقييم قدرة تمعدن هذه المخلفات، كما تم تحديد محتوى المادة الجافة و السليلوز الخام وقياس التوصيل الكهربائي. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن سماد الدواجن سجل أعلى محتوى من النيتروجين (2.07%) و البوتاسيوم (أو 2.51%) ومحتوى متوسط من الفوسفور P_2O_5 0.56%، في حين سجل ادنى نسبة C / N (11,39). و عليه فمن المرجح أن يوفر هذا السماد أكبر قدر من العناصر الغذائية خلال موسم نمو النباتات بالمقارنة مع الأسمدة الأخرى. و أخيرا، تنص هذه الدراسة أن المحتوى الغذائي للسماد العضوي يختلف من سماد لأخر. و بالتالي فإنه من الضروري وضع توصيات زراعية لكل مخلف عضوي على حدة عند دراسة القيمة السمادية للمخلفات العضوية.

الكلمات الرئيسية: الأسمدة، الأبقار، الأغنام، الإبل، الدواجن، قيمة التسميد