

# CARACTERISATION AGRONOMIQUE DE PRODUITS ORGANIQUES A PARTIR D'UNE BASE DE DONNEES D'UN LABORATOIRE D'ANALYSES

**GUILLOTIN Marie-Laure** <sup>(1)</sup>, **JORDAN-MEILLE Lionel** <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Laboratoire LCA La Rochelle ; [marie-laure.guillotin@laboratoirelca.com](mailto:marie-laure.guillotin@laboratoirelca.com)

<sup>(2)</sup> ENITA Bordeaux ; [l-jordan@enitab.fr](mailto:l-jordan@enitab.fr)

## Résumé

Notre étude s'intéresse à la valeur agronomique de produits organiques actuellement valorisés en agriculture, à partir de résultats d'analyses du laboratoire d'analyses agro-environnementales LCA.

La base de données de départ représente 5 années d'analyses récentes (2001 – 2005). Après consolidation du jeu de données, 24539 échantillons ont été retenus pour le traitement statistique. Ils se répartissent dans 4 grandes familles de produits (boues, composts d'origine variée, lisiers et fumiers), selon les proportions suivantes : 62, 26, 6 et 6 % respectivement. Ces familles sont elles-mêmes subdivisées en sous-familles (6 à 7 par famille). Les éléments de caractérisation comportent les paramètres dits agronomiques (matière sèche, matière organique, éléments fertilisants) ainsi que l'analyse des éléments traces métalliques (ETM) et des composés traces organiques (CTO). Pour chaque paramètre de chaque sous-famille, sont déterminées des grandeurs statistiques descriptives choisies pour leur facilité d'interprétation : effectif, moyenne, écart type, premier et dernier décile.

Les références nombreuses déjà publiées sur le sujet apportent rarement des indications sur les effectifs et la valeur de dispersion, et restent générales sur les types de produits. Certaines plus rares, à l'opposé, sont très détaillées, notamment sur l'origine des produits. Notre étude se situe à mi-chemin entre ces deux extrêmes. Elle fournit parfois des informations sur des sous-familles peu abordées dans les études publiées. Les formes variées prises par les références entraînent une certaine difficulté pour établir des comparaisons entre les référentiels. Nous retenons néanmoins qu'en tendance, nos concentrations mesurées sont égales ou inférieures à celles déjà publiées. Nous remarquons que les plus gros écarts par rapport à la réglementation en vigueur concernent le non respect des seuils de teneur en matière sèche et en matière organique des lisiers. Les critères d'innocuité sont très largement respectés, une fois éliminé le dernier décile pour les ETM et les CTO.. Les concentrations en éléments des produits bruts sont principalement sous la dépendance de leur teneur en eau. Il n'y a pas d'autres corrélations significatives entre éléments chimiques. Nous avons montré également que les produits organiques possèdent un rapport N/P tel que, utilisés dans les conditions fixées par la directive nitrates dans les zones vulnérables (apport limité à 170 kg de N organique), ils contribuent 3 fois sur 4 à enrichir fortement les sols en P. Enfin, la quantification des effets du chaulage et du compostage, rendue possible par la comparaison de quelques sous-familles de produits, a montré que le chaulage, comme le co-compostage des boues, dilue les teneurs en éléments minéraux (expressions par rapport à la MS), alors que le simple compostage (fumier) les concentre. Le co-compostage améliore le taux de MO initial des boues, alors que le compostage de fumier agit inversement.

La principale limite rencontrée dans cette étude est le manque de précisions sur la nature des échantillons regroupés dans les sous-familles, entraînant une forte élimination des données lors de l'étude statistique (60%). Une meilleure valorisation de ces bases de données passerait donc par des rubriques mieux renseignées sur les produits.

## 1. Introduction

En France, les produits organiques utilisés en agriculture représentent un gisement annuel de quelques 300 millions de tonnes (ADEME). La majorité de ces produits est constituée d'engrais de ferme, auxquels s'ajoutent aussi quelques déchets issus d'activités non agricoles (boues domestiques, industrielles ...). Les produits utilisés en agriculture présentent à la fois un intérêt agronomique et respectent également certains critères d'innocuité. Leur utilisation est donc conditionnée par le respect de normes et arrêtés. La connaissance de la composition des produits organiques oriente ainsi leur devenir dans une filière de valorisation ou d'élimination, et, dans le cas de la valorisation agricole, conditionne leur taux d'utilisation. Dans ce contexte, les laboratoires d'analyses environnementales se retrouvent au cœur du processus d'acquisition de données sur ces produits.

Le laboratoire LCA a pris l'initiative de produire un document synthétique à partir de produits organiques reçus et analysés durant les années 2001 à 2005, ce qui représente une base de données considérable (67000 échantillons). Ce travail s'est fait en collaboration avec l'ENITA de Bordeaux. Le présent document présente cette synthèse, sous forme de tableaux de valeurs-références, en termes de moyenne et de dispersion des valeurs, par analyse et par type de produit. Ces références, utilisées en interne, participent à la démarche qualité de l'entreprise.

Il existe déjà un nombre important de publications faisant état de références sur la qualité des produits organiques (ADEME *et al* 1995 à 2005, ITAVI 2003, Bodet *et al.* 2001, Levasseur 2005, CORPEN 1988, COMIFER 1995, ITCF 1995, etc. ...). Mais l'originalité des références produites par le laboratoire LCA est de couvrir toute la gamme des produits organiques utilisés en agriculture, avec une qualité de données (effectifs importants, variabilité affichée) peu souvent égalée. De telles références peuvent permettre au producteur de ces produits/déchets (Levasseur 2005), de disposer de valeurs moyennes pour comparer sa propre valeur d'analyse, de disposer de valeurs moyennes pour des éléments généralement peu analysés, et d'établir des projets prévisionnels de plan de fumure. Pour l'utilisateur potentiel, ces références apportent des éléments de comparaison des différentes familles, et guident son choix en fonction de ses attentes. Pour le législateur, ce type de base de données peut être une source d'information utile pour l'établissement de valeurs guides dans l'élaboration ou la révision des normes sur les amendements organiques et les engrais organiques.

Outre la présentation de données moyennes et de leur dispersion, l'utilisation de cette base de données a permis une comparaison critique, non seulement par rapport à des références déjà publiées, mais aussi par rapport aux exigences réglementaires qui figurent principalement dans les normes NF U 44-051 (amendements organiques) et NF U 44-095 (composts contenant des Matières d'Intérêt Agronomique issues du Traitement des Eaux [MIATE]), ainsi que dans l'arrêté du 8 janvier 1998 relatif à l'utilisation des boues de stations d'épuration des eaux résiduaires. L'existence de plusieurs centaines, voire milliers d'analyses par catégories de produits a également été saisie pour réaliser un travail prospectif plus approfondi sur les aspects suivants :

- recherche de corrélation entre éléments à l'intérieur de chaque famille de produits dans le but de faire émerger quelques variables-clé de la qualité générale des produits,
- raisonnement de la fertilisation couplée N et P sur les produits organiques,
- effets du chaulage et du compostage sur les paramètres de fertilité des produits.

## **2. Matériel et méthodes**

*Dans le texte, nous qualifions de « produit » les produits organiques de l'étude, y compris ceux qui sont considérés comme déchets sur le plan réglementaire.*

### **2.1. Source des données**

L'étude porte sur des produits organiques reçus et analysés au LCA durant les années 2001 à 2005, ce qui représente initialement 67 556 échantillons répartis sur tout le territoire français. Ces produits organiques sont adressés au laboratoire le plus souvent par des bureaux d'étude en environnement, des coopératives agricoles, des exploitants de plateformes de compostage, des syndicats intercommunaux de traitement des ordures ménagères, mais aussi plus rarement par des fabricants d'engrais ou d'amendements, des éleveurs ... Généralement la demande d'analyse est motivée par une obligation d'ordre réglementaire : respect d'un plan d'épandage, conformité à une norme NF, application de la réglementation sur les ICPE...

Le laboratoire demande à ses clients d'accompagner chaque échantillon d'une « fiche de renseignements », sur laquelle sont portées notamment des informations relatives au produit à analyser : nature de l'échantillon, cahier des charges à respecter par le produit organique... Ces informations sont requalifiées à l'enregistrement de la demande d'analyse par le laboratoire en codes « Famille » et « Sous-famille ». Pour les besoins de l'étude, ces codes sont utilisés pour classer les échantillons dans des catégories, supposées composées de produits de même nature. Le libellé de l'échantillon, renseigné par le client, a parfois été utilisé pour préciser l'appartenance à telle ou telle famille (exemple : boue chaulée ou non chaulée). Le tableau de l'**annexe 1** présente, pour les 4 familles retenues (Boues, Composts, Fumiers, Lisiers), les sous-familles qui y sont rattachées, ainsi que l'abréviation retenue dans la suite de l'étude.

Seules les données sûres et complètes sont conservées pour la suite de l'étude. Lorsque la nature de l'échantillon est incertaine, nous préférons supprimer l'observation plutôt que classer l'échantillon dans une famille inadaptée. Cette opération nous amène à éliminer 60% du jeu de données initial. 27066 échantillons, répartis dans les 25 sous-familles décrites précédemment, sont retenus à l'issue de cette étape. Afin d'exclure les échantillons aberrants, nous retirons de la base de données les échantillons correspondant au dernier décile des paramètres analysés. La base de données consolidée comporte donc finalement 24539 échantillons, soit 36% de la base initiale (**figure 1**).

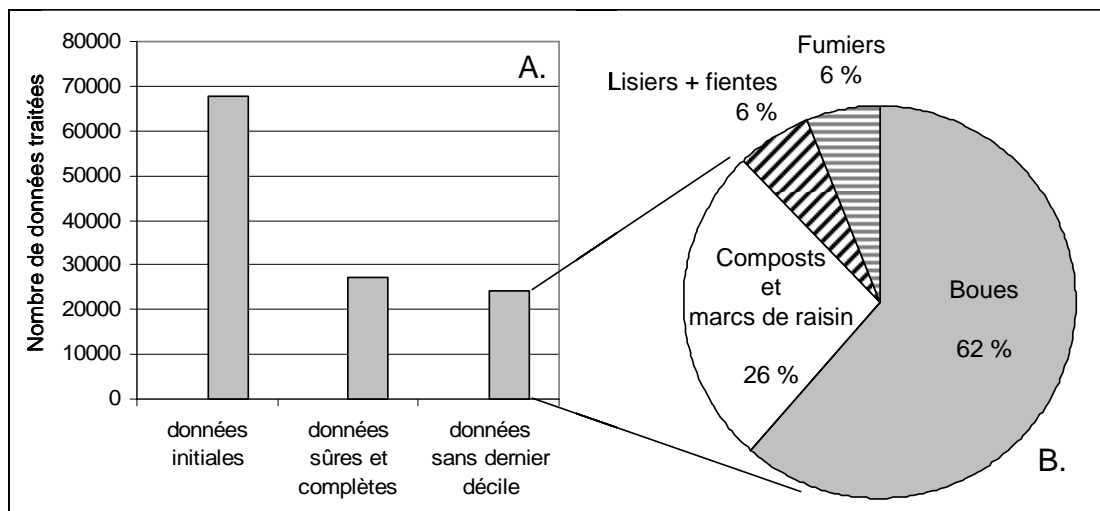
**Compte tenu du grand nombre d'analyses exploitables après les étapes de consolidation des données que nous venons de décrire, nous considérons que la description statistique du jeu de données s'applique à des échantillons représentatifs des produits organiques valorisés actuellement en agriculture.**

### **2.2. Variabilité et fiabilité des valeurs**

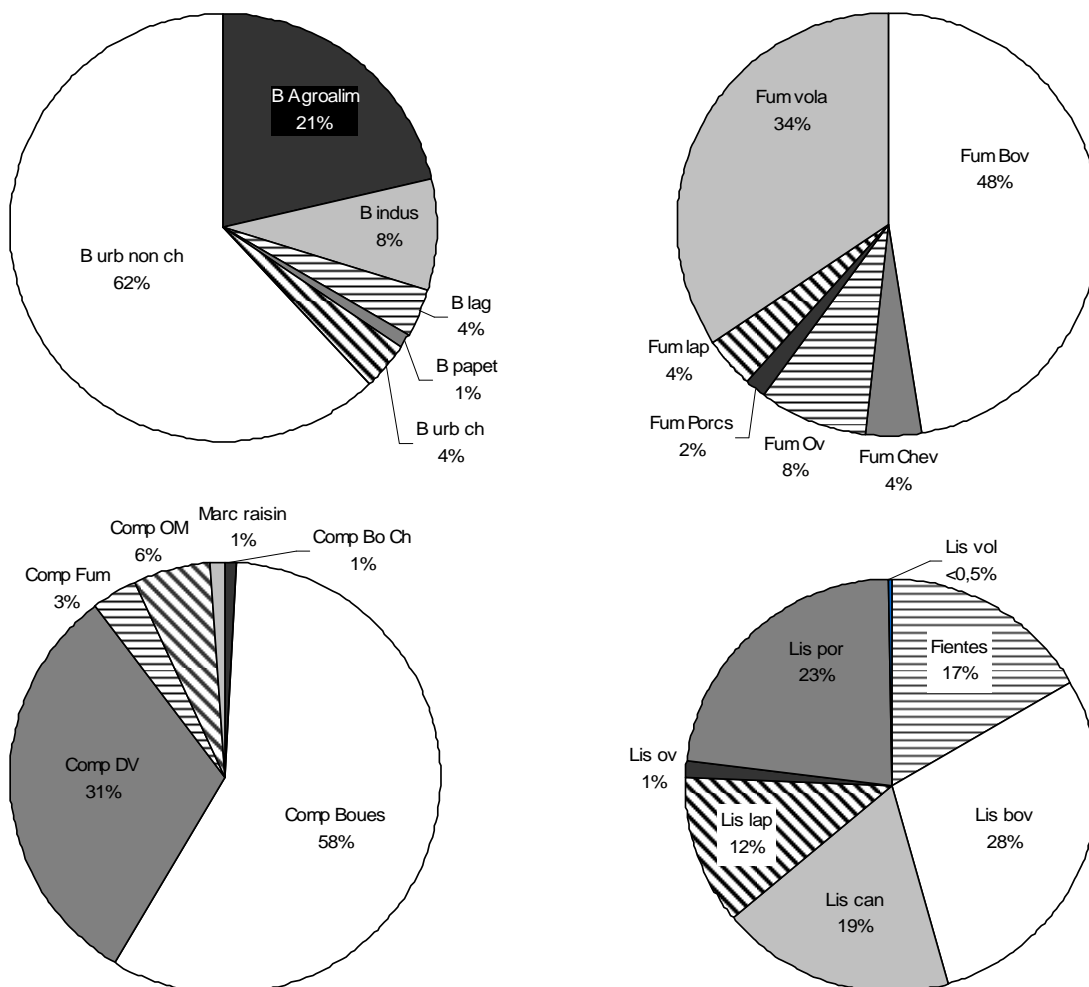
Les valeurs de composition des produits organiques analysés présentent parfois une très forte dispersion, à l'intérieur même d'une famille donnée. Celle-ci est due à la diversité des modes d'obtention des produits (filière de traitement des boues, mode d'alimentation et gestion des litières des animaux d'élevage, type de procédé de compostage...) et à la qualité de l'échantillonnage qui constitue l'un des principaux facteurs de variabilité dans l'analyse des produits organiques.

D'autre part les sous-familles peuvent regrouper de larges catégories de produits, comme dans le cas des « boues urbaines non chaulées » ou des « fumiers de bovins ». Les informations relatives à l'échantillon, communiquées par le client *via* la fiche de renseignements, sont généralement insuffisantes pour décrire plus précisément le produit et constituer des sous-familles supplémentaires. La représentativité des résultats de l'étude dépend, par ailleurs du nombre d'analyses disponibles dans la base de données finale. Les valeurs doivent être utilisées avec prudence lorsque le nombre d'observations, précisé dans les tableaux de résultats, est faible. Toutefois nous avons choisi de conserver et de présenter ces résultats car ils correspondent généralement à des déterminations ou à des familles de produits par ailleurs peu référencés dans la bibliographie.

Figure 1. Effectifs de produits organiques constituant la base de données initiale, la base de données épurée des données incertaines, et la base de données consolidée (A). Répartition des différentes familles de produits dans la base de données consolidée (B).



Figures 2. Répartition des sous-familles de produits au sein des 4 familles principales (Boues, Fumiers, Composts + mars, Lisiers + fientes).



Certains échantillons présentent des concentrations en éléments fertilisants et/ou en éléments traces inférieures au seuil de quantification du laboratoire. La valeur alors retenue est la valeur du seuil de quantification. Le cas échéant, pour les paramètres ou les catégories de produits présentant de très faibles concentrations, les valeurs moyennes sont donc légèrement surestimées par rapport à la concentration réelle. Cette observation doit toutefois être nuancée du fait de l'élimination du dernier décile, qui a pour conséquence de réduire la valeur moyenne.

A l'inverse, les produits organiques analysés étant généralement destinés à l'épandage agricole, on peut supposer que les échantillons adressés au laboratoire sont *a priori* conformes à la réglementation en vigueur. Les valeurs moyennes, en particulier sur les éléments traces dans les boues, sont donc vraisemblablement inférieures à ce qui pourrait être mesuré sur l'ensemble des boues produites en France.

### **2.3. Effectifs de données selon le type de produit**

Les **figures 2** présentent les effectifs par famille de produit organique. La proportion de **boues urbaines** est très largement prépondérante. En effet les boues de stations d'épuration urbaines, qu'elles soient non chaulées, chaulées, de lagunage ou compostées, totalisent 58% du jeu de données consolidées. Les données concernant la composition agronomique et en micropolluants sont donc abondantes. Pour ce type de produit, la réalisation d'analyses est largement encouragée par la réglementation sur l'épandage agricole des boues (arrêté du 08/01/98 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles). Une partie des **composts de boue** analysés correspond à des composts normalisés selon la norme NF U 44-095 (2002) « Amendements organiques - Composts contenant des Matières d'Intérêt Agronomiques Issues du Traitement des Eaux (MIATE) ». Sur les années 2001 à 2005 utilisées pour la collecte des données, la proportion de ces composts normalisés est supposée faible (< 10%). D'autre part la classification en « Famille » et « Sous-famille » du laboratoire ne permettait pas à l'époque de distinguer ce type de produit. Les composts de MIATE se trouvent donc intégrés à l'ensemble des composts de boue de l'étude et nous n'avons pas pu établir de caractéristiques moyennes pour ces produits normalisés. Toutefois, lorsque nous comparons les caractéristiques moyennes aux valeurs limites réglementaires pour le type de produit donné, nous utilisons les valeurs limites de la norme NF U 44-095 pour l'ensemble des composts de boue.

Les **boues agro-alimentaires** représentent aussi une proportion significative de la base de données (13%) mais les informations sur l'activité du producteur sont souvent absentes et ne permettent pas de relier davantage les caractéristiques analytiques et le type d'industrie.

Les **composts de déchets verts** forment aussi un groupe de produits bien identifiés et composent 8% de la base de données. Ces composts, dont les quantités produites augmentent d'année en année, doivent être analysés soit dans le cadre de la réglementation sur les ICPE qui les élaborent, soit parce qu'ils sont mis sur le marché conformément à la norme NF U 44-051 « Amendements organiques – Dénominations, spécifications, marquage » rendue d'application obligatoire. Les produits analysés entre 2001 et 2005 relèvent de la version de 1981 de la norme NF U 44-051, qui fixait des critères de conformité principalement agronomiques. Cette norme a été révisée en 2006 et la nouvelle version est rendue d'application obligatoire depuis le 28 août 2007. La version 2006 comporte, en plus des critères agronomiques, des valeurs limites sur les micropolluants métalliques et organiques. Dans notre étude, nous avons choisi de comparer les valeurs moyennes de ces composts, et de tous les produits pouvant relever de la norme NF U 44-051, aux critères de la norme de 2006. Toutefois, le caractère récent de la mise en application obligatoire de ce texte explique que les données relatives à certaines déterminations non demandées dans la précédente norme (HAP,...), soient en nombre relativement limité par rapport aux données concernant la valeur agronomique par exemple.

Les **fumiers et lisiers** constituent deux autres groupes homogènes, totalisant chacun 6% des données. Les fientes de volailles sont rattachées au groupe des lisiers, car elles ne comportent pas de litière. Les bovins représentent la majorité des fumiers. Il est à noter que l'on peut rattacher à ces fumiers de bovin, les composts de fumier (dans le groupe « compost ») dont ils constituent une proportion jugée prépondérante. Les fumiers de volailles sont également bien représentés, avec plus de 500 échantillons. Pour les lisiers, comme pour les fumiers, les bovins sont majoritaires. Les lisiers de porcs sont également très présents, ainsi que les lisiers de canard et les fientes de volailles.

Pour ces effluents d'élevage, la réalisation d'analyses est encouragée par la réglementation accompagnant le développement des stations de traitement et par l'obligation réglementaire de la réalisation de plans de fumure et de tenue d'un cahier d'épandage. Certains fumiers peuvent aussi relever de la norme NF U 44-051, et certaines fientes de la norme NF U 42-001 (« Engrais –

Dénominations, spécifications, marquage »). Les analyses réalisées concernent principalement la valeur fertilisante de ces produits, voire les concentrations en éléments traces métalliques ETM (une analyse semestrielle des ETM étant demandée par ces deux normes).

**Les autres sous-familles de produits se partagent les 10% restant du jeu de données :** boues industrielles, boues papetières, composts de fumier, composts d'ordures ménagères (OM), marcs de raisin. Il s'agit de groupes de produits d'origine bien définie et bien identifiés sur les fiches de renseignements adressées au laboratoire. Nous pouvons donc décrire de façon fiable les caractéristiques analytiques moyennes de ces produits. Dans ces cas, les demandes d'analyses sont motivées par le respect de la réglementation sur les ICPE, sur les plans d'épandage ou par la vérification de la conformité à la norme NF U 44-051 (composts de fumier, composts d'OM, marcs de raisin).

#### **2.4. Effectif de données selon le type de détermination analytique**

Compte tenu de la réglementation en vigueur et de leurs rôles dans la fertilisation, les concentrations en **macroéléments** (azote Kjeldahl, phosphore, potassium) et en matière organique sont bien renseignées dans le jeu de données (**annexes 2**). Pour toutes les catégories de produits, les déterminations analytiques de la valeur agronomique sont généralement présentes pour 90% de l'effectif, voire davantage. Les 10% restant correspondent aux cas où un paramètre isolé est demandé (analyse de contrôle), ou aux cas où seuls les ETM sont demandés par exemple.

Du fait de la composition des menus analytiques du laboratoire, qui propose le dosage de certains **éléments fertilisants dits secondaires** (calcium, magnésium, soufre) et du sodium avec les éléments fertilisants majeurs, ces éléments sont également très bien renseignés. L'azote ammoniacal n'étant pas demandé systématiquement, on observe un nombre d'analyses de ce paramètre inférieur aux autres éléments fertilisants. L'azote nitrique, très peu analysé sur les produits organiques, n'est pas retenu dans notre étude.

Les effectifs d'analyses comprenant les **éléments traces métalliques** (Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb, Hg, Se, As, B) sont inférieurs à ceux de la valeur fertilisante, et surtout très dépendants du type de produit. On observe que les analyses relatives à l'innocuité sont fréquentes pour les produits organiques relevant d'un plan d'épandage (boues) ou sur les produits « à risque » (composts d'OM), un peu moins fréquentes sur les produits normalisés (composts de DV, marcs de raisin), et rares sur les effluents d'élevage. Dans le premier cas, les ETM sont analysés sur plus de 50% des échantillons, dans le second cas sur environ 40% des échantillons, alors que dans le troisième cas ce pourcentage est inférieur à 25 %.

Des données peuvent être absentes pour certains effluents, comme les fumiers de porcs, les lisiers d'ovin et les lisiers de volailles. Cette observation est à relier au fait que le laboratoire a reçu peu de ces types de produits en 5 ans (inférieur à 20 échantillons par produit). Les analyses d'ETM sont peu représentées, et nos résultats doivent donc être utilisés avec prudence, pour les fumiers de caprin, de lapin, de volaille et pour les lisiers de canard, de lapin, de porcs ainsi que pour les fientes. En effet, pour toutes ces catégories de produits le nombre d'observations est inférieur à 20.

D'autre part, on constate que tous les ETM ne présentent pas le même effectif. Un premier groupe, correspond aux ETM communs à la réglementation sur les boues de stations d'épuration et aux normes NF U 44-051 et NF U 44-095 (Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb, Hg).

As, Se, B et Mo sont moins renseignés car tous les textes ne le demandent pas. Pour les effluents d'élevage on peut remarquer une prépondérance de l'analyse de Cu et Zn, qui constituent par ailleurs les éléments à plus fort risque de non conformité par rapport à la réglementation.

**Les oligoéléments** (Fe, Mn, Mo, B) sont demandés pour certaines analyses réglementaires (arrêté du 08/01/98) ou pour leur intérêt agronomique dans les effluents d'élevage. Leur fréquence d'analyse est inférieure à celle des ETM.

Les **micropolluants organiques** (HAP et PCB) présentent les fréquences de demandes les plus faibles. Ces analyses sont le plus souvent demandées sur les boues, dans le cadre des plans d'épandage, mais elles sont 2 fois moins demandées que les ETM. Pour les composts de DV, elles sont réalisées 5 fois moins souvent que les ETM, et 10 fois moins souvent sur les composts d'ordures ménagères. Quant aux marcs de raisins et aux effluents d'élevage, aucune donnée consolidée n'est disponible sur 5 années d'analyses...

Le jeu de données montre que les effectifs des paramètres analytiques sont finalement très dépendants à la fois de la réglementation à laquelle les produits analysés se rattachent, et à l'usage qui est envisagé pour ces produits organiques.



Enfin, l'étude se limite aux déterminations purement chimiques. Les données relatives aux résultats de fractionnement biochimique de la matière organique, aux cinétiques de minéralisation de ces produits ou aux résultats d'analyses microbiologiques sont volontairement écartées du champ de l'étude. Elles constitueraient à elles seules un sujet d'étude.

## 2.5. Méthodes d'analyses

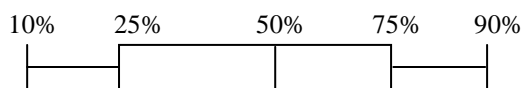
Les méthodes d'analyses du laboratoire n'ayant pas changé depuis 2001, les résultats d'analyses sont comparables entre années et entre produits. Les méthodes utilisées sont celles généralement utilisées par la plupart des laboratoires d'analyses. Certaines déterminations sont réalisées sous accréditation Cofrac (Programme 156 – Boues et sédiments).

Le tableau de l'annexe 3 présente les références des méthodes utilisées pour les différentes déterminations analytiques de l'étude.

## 2.6. Outils statistiques retenus

Le logiciel de statistique utilisé est Jump (SAS Institute), version 5. Les descripteurs statistiques utilisés sont la moyenne, l'écart-type, le coefficient de variation (écart-type/moyenne), le premier et dernier décile. En deçà de 5 analyses sur un produit, l'écart-type n'est pas mentionné.

Les box-plots sont souvent utilisés comme descripteurs de position (médiane) et de dispersion (quartiles, déciles).



Les comparaisons de moyennes sont réalisées avec le test t de Student à 5%. La corrélation entre des séries de données s'exprime par le coefficient de corrélation (r) ou le coefficient de régression (r<sup>2</sup>). Une classification ascendante hiérarchique est utilisée pour créer des classes de produits ; elle utilise la méthode Ward, avec des données standardisées.

## 2.7. Abréviations utilisées

As	Arsenic	Moy	Moyenne
B	Bore	MS	Matière sèche
C	Carbone (= MO/2)	n	Nombre d'observations
CaO	Oxyde de calcium	N	Azote
Cd	Cadmium	Ntot	Azote « total » Kjeldahl
Cr	Chrome	Na2O	Oxyde de sodium
Cu	Cuivre	NH4	Azote ammoniacal
CV	Coefficient de variation	Ni	Nickel
DV	Déchet vert	OM	Ordures ménagères
E.T	Ecart type	P2O5	Anhydride phosphorique
Fe	Fer	Σ4ETM	Somme Cr + Cu + Ni + Zn
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Pb	Plomb
Hg	Mercur	PCB	Polychlorobiphényles
K2O	Oxyde de potassium	pH	Potentiel hydrogène
MB	Matière brute	r	Coefficient de corrélation
MgO	Oxyde de magnésium	SO3	Oxyde de soufre
Mn	Manganèse	Se	Sélénium
Mo	Molybdène	STEP	Station d'épuration
MO	Matière organique	Zn	Zinc





## **2.8. Unités et coefficients de conversion**

Le choix du mode d'expression des résultats d'analyses s'est volontairement porté vers un mode d'expression usuel, à savoir en g/kg de MB pour les macroéléments et en mg/kg de MS pour les micropolluants et les oligoéléments (annexes 2 et 4).

Toutefois, afin de s'affranchir de l'effet de dilution lié à l'humidité très variable des produits, les concentrations en éléments fertilisants ont également été exprimées en % de MS.

*Mise en garde : pour tous les produits, le mode d'expression des résultats est massique (g/kg) et non volumique (g/L). Pour les produits liquides, comme les lisiers ou les boues liquides, le passage des concentrations massiques aux concentrations volumiques se fait en multipliant par la masse volumique du produit.*

L'azote ammoniacal est exprimé sous forme d'élément azote (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) et non sous forme d'ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. Conventionnellement les concentrations en éléments fertilisants des matières fertilisantes sont exprimées en oxydes (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O...), alors que le résultat d'analyse donne une teneur en élément (P, K, ...). Les formules de conversion permettant de revenir à la concentration en élément sont les suivantes :

$$P_2O_5 = 2,29 \times P$$

$$MgO = 1,66 \times Mg$$

$$NH_4^+ = 1,29 \times N-NH_4^+$$

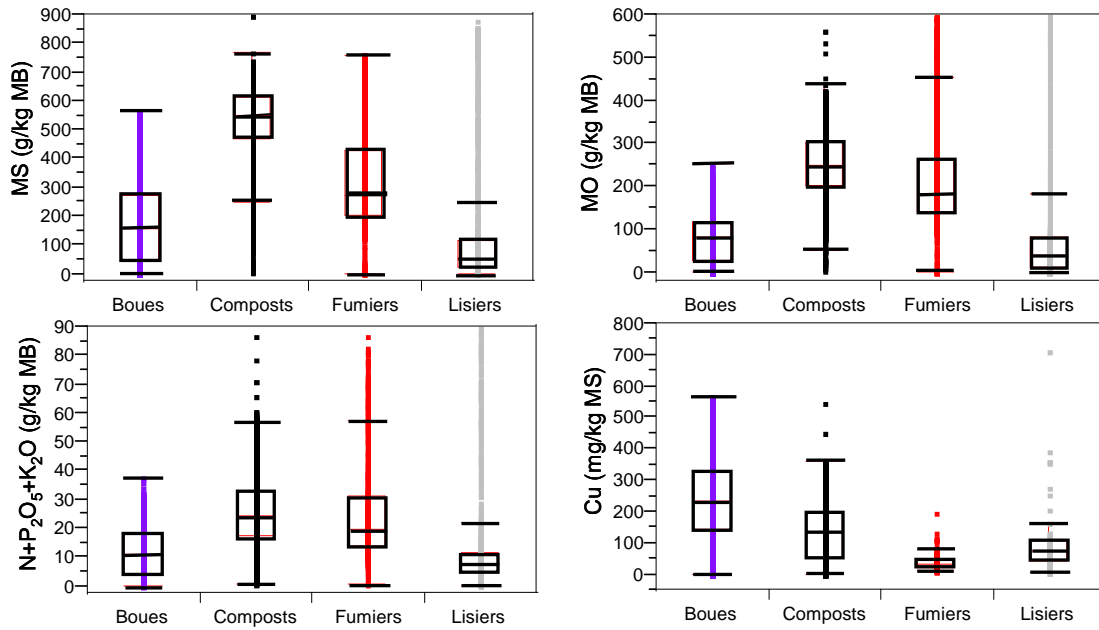
$$K_2O = 1,20 \times K$$

$$Na_2O = 1,35 \times Na$$

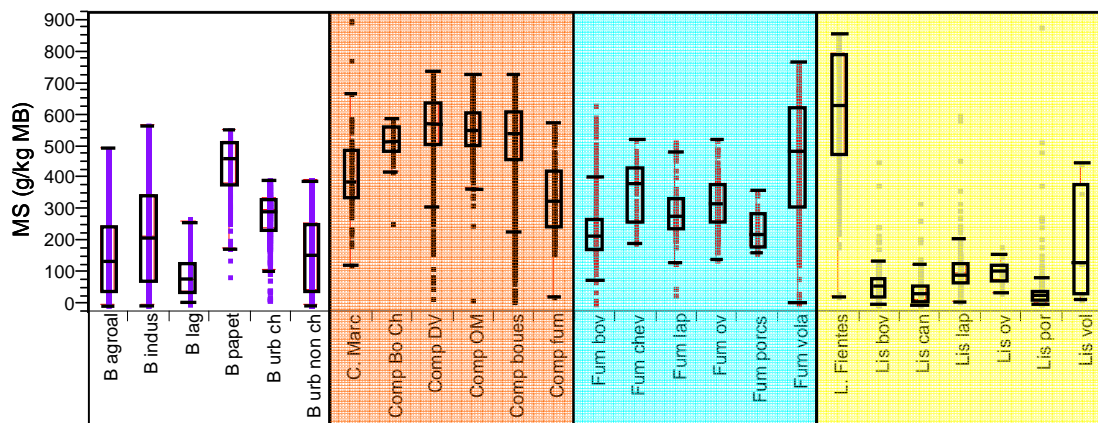
$$CaO = 1,40 \times Ca$$

$$SO_3 = 2,50 \times S$$

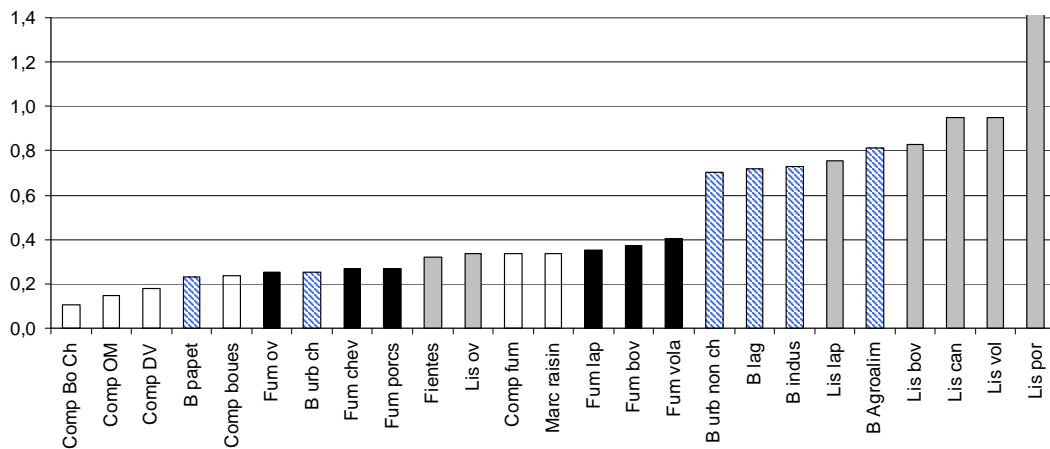
**Figure 3.** Teneur en matière sèche (MS), matière organique (MO), minéraux Ntot+P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>+K<sub>2</sub>O et cuivre (Cu) dans les différentes familles de produits par rapport à la matière brute ou sèche



**Figure 4.** Teneurs en matière sèche des différentes sous-familles de produits



**Figure 5.** Coefficients de variation de la teneur en matière sèche des différentes sous-familles de produits



## **3. Résultats**

### **3.1. Vue générale des résultats**

#### **3.1.1. Moyennes et dispersion**

L'ensemble des résultats d'analyse figure en **annexe 2**. Pour chaque paramètre chimique mesuré, les données de concentrations relatives aux 4 familles principales se chevauchent plus ou moins selon le type d'analyse (**figure 3**). A de rares exceptions près, les moyennes concernant l'ensemble des éléments analysés sont cependant toujours significativement différentes, entre les familles, lorsque les concentrations sont exprimées par rapport à la matière brute, et, dans une moindre mesure, lorsqu'elles le sont par rapport à la matière sèche.

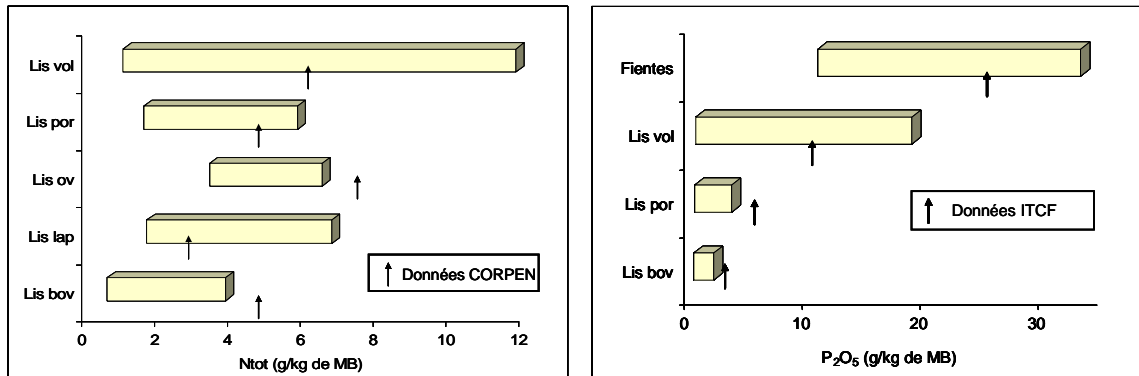
La variabilité importante qui apparaît sur les diagrammes de la **figure 3** est en partie liée au fait que les familles sont elles-mêmes constituées de plusieurs catégories distinctes (6 ou 7), comme l'illustre la **figure 4** avec l'exemple des teneurs en matières sèches. Par exemple, dans le cas des composts, l'écart de teneur en matière sèche entre le premier et le dernier décile (250 – 750 g /kg MB) s'explique par l'existence de catégories fortement distinctes comme les composts de fumiers et de déchets verts dont les valeurs moyennes évoluent pratiquement du simple au double (340 à 565 g/kg MB respectivement). Etendus à l'ensemble des sous-familles composant chaque famille, les tests de comparaison de moyennes reconnaissent généralement au moins 4 groupes significativement différents (données non montrées) au sein de chaque famille, y compris lorsque les concentrations sont exprimées par rapport à la matière sèche. L'ensemble de ces comparaisons valide *a posteriori* la classification réalisée par le laboratoire en familles et sous-familles clairement discernables sur le plan chimique.

L'analyse de la variabilité des teneurs en éléments sur les produits bruts permet également de distinguer les familles de produit ; à l'image des teneurs en matière sèche (**figure 5**), on peut approximativement classer par ordre de variabilité croissante les composts, les fumiers, les boues et les lisiers, dont les coefficients de variation (écart-type/moyenne) évoluent respectivement de 0.1 à plus de 1. Les coefficients de variations concernant les teneurs en éléments, ramenés à la matière brute, sont du même ordre de grandeur. Ceci témoigne de la forte influence de la teneur en eau sur les concentrations en éléments minéraux.

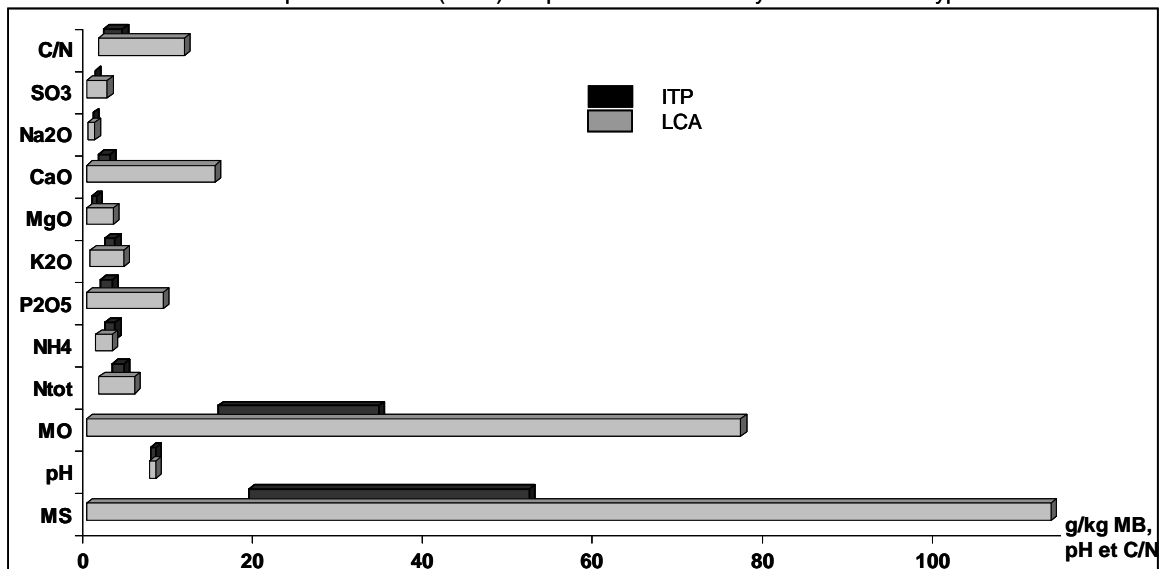
La même analyse de variabilité, appliquée aux concentrations d'éléments par rapport à la matière sèche, ne permet plus d'obtenir un classement par famille. Les différentes sous-familles de produits se répartissent de manière hétérogène et différente selon l'analyse considérée.

Les paramètres chimiques (exprimés par rapport à la matière sèche) donnant lieu au maximum de variabilité au sein des catégories de produits sont l'ammonium et le potassium, tandis que la matière organique et l'azote total sont les paramètres les moins variables, pour un produit donné. Les deux premiers sont essentiellement liés à la phase liquide des produits, tandis que matière organique et azote total sont essentiellement liés à la phase solide.

**Figure 6.** Comparaison de nos résultats (du 2<sup>ème</sup> au 9<sup>ème</sup> décile) obtenus sur les lisiers avec les moyennes données par l'ITCF (1995) et le CORPEN (1988)



**Figure 7.** Comparaison de nos résultats de concentrations, pH et C/N obtenus sur les lisiers de porcs avec les données fournies par Levasseur (2005). Représentation des moyennes +/- écart-type



### 3.1.2. Positionnement du jeu de données par rapport à des références déjà publiées

La comparaison de nos valeurs avec des références plus anciennes peut mettre en lumière d'éventuelles évolutions dans la composition des produits ; elle nous permet également de positionner notre base de données sur le plan qualitatif (quels produits, quelles analyses, quels traitements de données, quels effectifs utilisés pour les calculs, etc. ...).

Une recherche bibliographique, même succincte, sur des concentrations en éléments minéraux et teneurs en eau dans les produits organiques donne lieu à une abondante littérature, dans des ouvrages spécialisés (Levasseur 2005, ITAVI 2003, ADEME *et al.* 1995 à 2005, Bodet *et al.* 2001, COMIFER 1995, ITCF 1995, Ziegler et Héduit 1991, CORPEN 1988), ou généralistes (Vilain 1989, Leclech, 1995, etc. ...).

Cependant, les comparaisons sont souvent rendues difficiles, pour au moins trois raisons :

- 1) Les valeurs moyennes citées sont le plus souvent données sans indication d'écart type, ni ne font référence à l'effectif ayant servi à leur calcul. Dès lors, il est difficile d'établir une comparaison, tant sur la qualité de la donnée (comparaison des effectifs) que sur la valeur prise par la moyenne.
- 2) Le second obstacle à la comparaison des données tient à la définition des catégories. Par exemple, la brochure "Fertiliser avec les engrais de ferme" (Bodet *et al.* 2001), définit 4 catégories de fumiers de bovins, alors que nous n'en présentons qu'une seule, ce qui nous oblige à dégrader une partie des informations.
- 3) Les concentrations des produits solides sont parfois exprimées en kg/m<sup>3</sup> de produit brut, sans indication de la densité, ce qui ajoute encore une part d'erreur lors des comparaisons, ou, inversement, en g/kg de matière sèche sans information sur le taux de MS, ce qui ne permet pas de revenir aux concentrations sur le produit brut.

Les comparaisons s'avérant multiples et souvent incomplètes, nous les avons réduites aux références principales actuellement utilisées par la profession : COMIFER (1995) pour les valeurs P et K des engrais de ferme, CORPEN (1988) pour l'azote total des engrais de ferme, et ADEME *et al.* (2001, 2005) pour la composition des boues d'épuration et des composts. Lorsque l'effectif des analyses utilisées et/ou les données de dispersion n'étaient pas précisés, nous avons limité la comparaison aux moyennes, sans pouvoir comparer la représentativité des résultats. Le tableau de synthèse ([annexe 4](#)) présente nos résultats, comparés aux références principales et indique la source bibliographique utilisée.

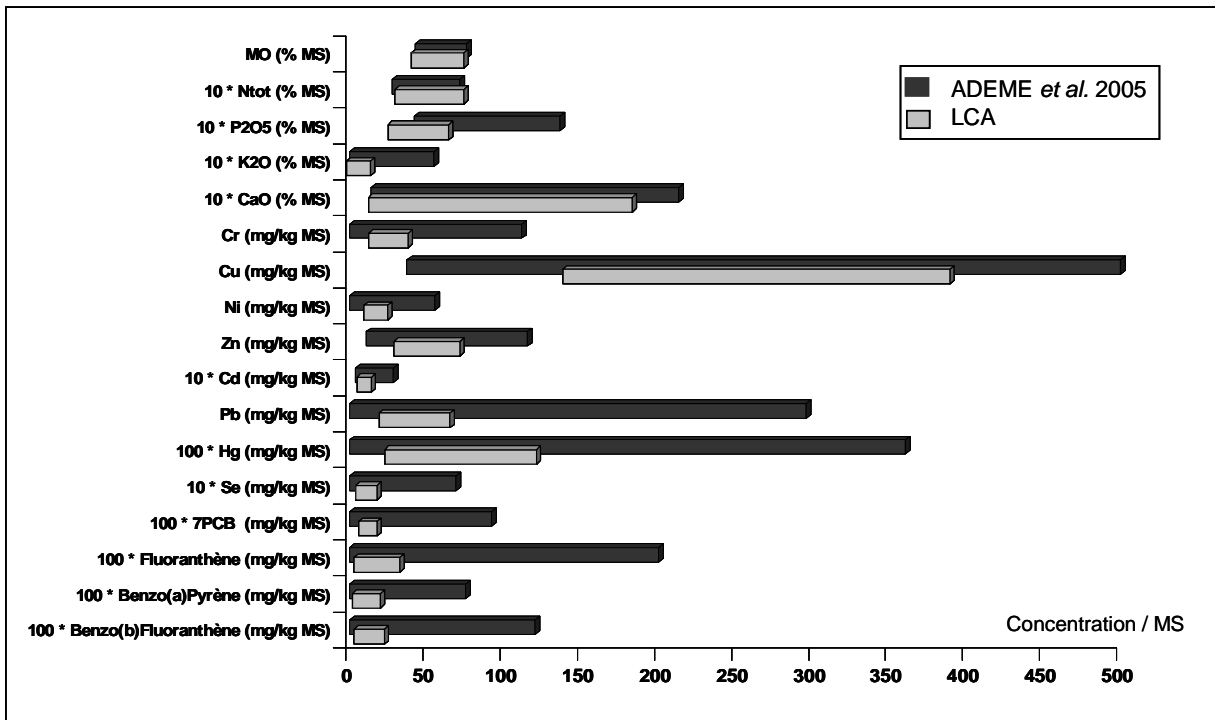
#### Engrais de ferme :

Le positionnement de nos résultats, sous la forme d'une fourchette incluant 80% des données, montre que les teneurs en N<sub>tot</sub> et P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> des engrais de ferme (lisiers et fumiers) sont généralement équivalentes ou inférieures à celles des références ([figure 6](#)). Pour les teneurs en K<sub>2</sub>O, nous ne relevons pas de tendance. Les valeurs inférieures trouvées pourraient s'expliquer par une évolution de la qualité des aliments pour le bétail.

A notre connaissance, la seule étude publiée, faisant état d'informations comparables aux nôtres (taille de la base de données, valeurs centrales, dispersion) est celle de Levasseur (2005) sur la composition des **effluents porcins**. La comparaison des deux études met en évidence deux bases de données de taille globalement équivalente (plusieurs centaines de produits analysés), des valeurs centrales plus importantes dans notre cas, associées à une dispersion nettement plus importante ([figure 7](#)). Ceci est à mettre en relation avec le fait que les catégories de l'étude de Levasseur choisies pour la comparaison (lisier mixte, fumier d'engraissement à base de paille) sont définies beaucoup plus précisément que les nôtres.

Au final, nos résultats se situent donc, qualitativement, à mi chemin entre des références détaillées portant sur des types de produits très précis (restreintes à un faible nombre de produits organiques utilisables en agriculture) et des études plus globales (les plus nombreuses) ne donnant qu'une composition indicative moyenne pour la plupart des produits organiques.

Figure 8. Comparaison de nos résultats obtenus sur les boues urbaines non chaulées avec les données fournies par ADEME *et al.* (2005). Résultats exprimés par rapport à la MS. Représentation des moyennes +/- écart-type.



## Boues et composts :

Dans un certain nombre de cas, le positionnement de nos résultats par rapport aux valeurs de référence (ADEME) n'a pas été possible, pour trois raisons principales :

- 1) Nos familles sont parfois trop imprécises pour être comparées aux données disponibles dans des études plus détaillées (exemple : boues industrielles).
- 2) Pour certains produits, comme les boues chaulées, les composts de boues chaulées ou les marcs de raisin, les références n'étaient pas disponibles ou difficilement exploitables (valeurs sous forme de « fourchettes »).
- 3) Certains paramètres analytiques sont parfois absents des études : il est regrettable que la teneur en matière sèche soit si rarement indiquée. Nos comparaisons ont donc été réalisées sur la base des résultats rapportés à la matière sèche.

En revanche, pour quelques sous-familles comme les boues urbaines non chaulées et la plupart des composts, l'ensemble des informations est disponible et une comparaison approfondie de nos résultats avec les statistiques descriptives publiées a été possible. En portant une attention particulière sur les sources bibliographiques disponibles, on constate que la majorité des résultats publiés par l'ADEME sur les boues et composts sont issus des résultats d'une enquête menée en 1998 (ADEME, 2001) et portent sur une synthèse de résultats d'analyses réalisées sur les années 1993 à 1997. Ces résultats sont repris dans les publications de 2000 et 2005 de l'ADEME. Nous trouvons ici une explication de l'homogénéité des informations disponibles sur les produits organiques concernés par l'enquête effectuée en 1998. Deux types de produits font exception à ce cas général :

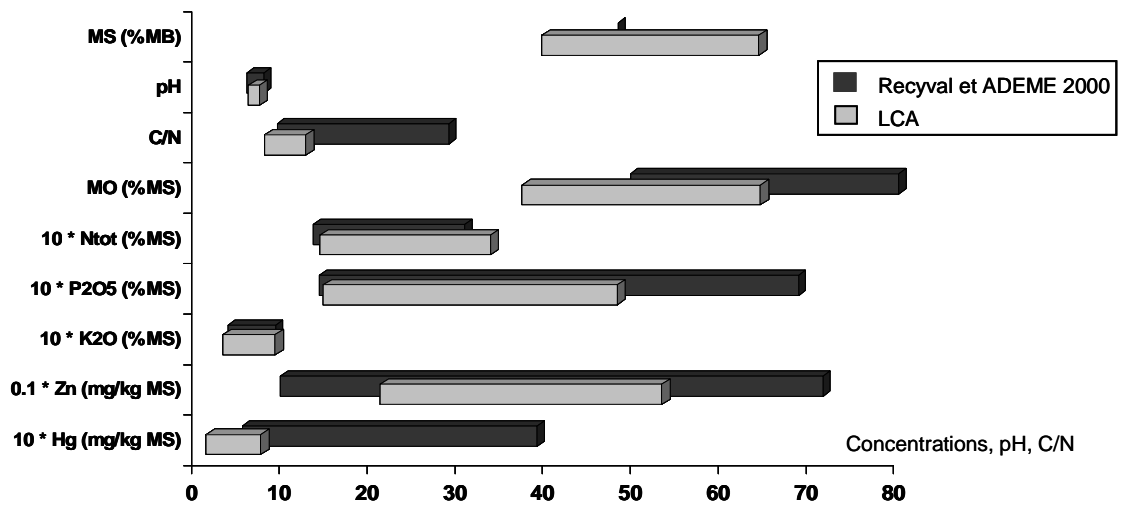
- Les composts d'ordures ménagères pour lesquels l'étude ADEME de 2005 cite une étude plus récente menée par Houot et Chauvin.
- Les boues urbaines non chaulées pour lesquelles des données actualisées ont été fournies par le SYPREA lors d'une synthèse menée en 2003 (analyses de 2002).

Hormis pour les composts d'ordures ménagères et les boues urbaines non chaulées, nous pouvons donc considérer que les données de référence sont relativement anciennes, eu égard à l'évolution rapide de la qualité des produits organiques et des procédés. On sait en particulier que les concentrations en ETM et en CTO des déchets ont connu une réduction importante ces 10-15 dernières années, en relation directe avec le développement de Polices des Réseaux et des collectes sélectives de déchets.

Boues urbaines non chaulées : Le positionnement de nos résultats par rapport aux références disponibles, sous forme d'une fourchette représentant la moyenne plus ou moins l'écart type (figure 8) met en évidence des écarts significatifs, alors que les bases de données sont de taille équivalente et que les périodes concernées se recouvrent. Par rapport aux données ADEME 2005, nos résultats se caractérisent par une réduction importante des teneurs en phosphore, potassium, micropolluants mais aussi de la dispersion des données. Pour les ETM, nous observons globalement une réduction de 20 à 60% des concentrations. Les plus fortes baisses concernent Cd, Pb et Hg, tandis que les concentrations en Cu restent stables (-7%). Pour les composés traces organiques, la réduction des teneurs est très importante : -50 à -75% selon les composés. L'amélioration de la qualité des eaux traitées explique cette évolution, mais on ne peut pas exclure aussi l'effet de l'élimination du dernier décile de notre base de données, dont l'effet devrait être faible sur la moyenne mais qui pourrait expliquer la moindre dispersion de nos données.



**Figure 9.** Comparaison de nos résultats obtenus sur les composts de boues avec les données fournies par RECYVAL et ADEME, 2000. Représentation des moyennes +/- écart-type.



**Composts** : La base de données du LCA sur les **composts de boue** se caractérise par un nombre d'observations 20 fois supérieur à celui utilisé dans la publication de référence (RECYVAL et ADEME, 2000, **annexes 4b et c**), et par des données plus récentes d'une dizaine d'années. La dispersion de nos données est équivalente ou inférieure à celle des données de l'étude citée en référence.

Il ressort de la comparaison de ces données (**figure 9**) :

- 1) Une tendance à l'augmentation de la matière sèche (+10%)
- 2) Une baisse sensible du rapport C/N (-40%). Cette baisse est expliquée en partie par la réduction, en moyenne, des teneurs en matière organique (-25%). Ces évolutions traduisent vraisemblablement une modification du comportement agronomique de ces produits sur ces 10 dernières années.
- 3) Une concentration moyenne en phosphore inférieure (-20%) aux valeurs publiées. Enfin 4), les teneurs en ETM suivent une forte tendance à la baisse mais la proportion de réduction dépend des éléments ; ainsi la baisse des concentrations en Zn est de -7% alors qu'elle atteint -75% pour Hg. La diminution des teneurs en phosphore et en ETM des boues, évoquées précédemment, et/ou des pratiques de compostage, peuvent expliquer ces tendances.

Pour les **composts de déchets verts**, les grandes tendances sont comparables à celles détaillées pour les composts de boue (**annexes 4b et c**) : nos résultats présentent des valeurs moyennes inférieures à l'étude de référence (ADEME *et al*, 2005) pour les critères C/N, concentration en phosphore et en ETM. La réduction des concentrations en ETM est particulièrement importante (-80% pour Hg). Par contre la teneur en matière organique n'est pas significativement différente, du point de vue agronomique, entre les valeurs moyennes du LCA et celles données par l'ADEME.

Pour des raisons déjà évoquées dans la partie « matériel et méthodes », principalement liées à des difficultés d'identification de la nature exacte des produits par le laboratoire, la base de données du LCA pour les **composts de fumier** nous semble moins représentative que celle utilisée comme référence (ADEME *et al*, 2005). De fait, nos résultats diffèrent légèrement des valeurs moyennes citées par cette étude : augmentation des teneurs en matière organique, mais réduction des valeurs concernant le phosphore et les ETM. La dispersion des données est variable, parfois inférieure et parfois supérieure à celle de l'ADEME.

Enfin, pour les **composts d'ordures ménagères**, la concordance de nos résultats relatifs à la valeur agronomique, partant d'un effectif 5 fois supérieur, avec ceux de Houot et Thauvin (in ADEME *et al*, 2005) est remarquable (**annexes 4b et c**). En revanche nos concentrations en ETM sont inférieures (-30% pour Zn et -75% pour Hg), avec une moindre dispersion. L'élimination du dernier décile de nos résultats constitue, là encore, une partie de l'explication mais difficile à quantifier.

Nous avons représenté séparément les résultats concernant les micropolluants organiques. L'**annexe 5** illustre les moyennes et écarts types des concentrations en PCB (somme des 7 PCB) et en HAP, mesurées par le LCA ou relatées par les sources bibliographiques, dans les composts de boues, de déchets verts ou d'ordures ménagères. Pour les autres produits, les données ne sont pas suffisantes. Notre base de données permet de fournir des valeurs moyennes et de dispersion pour les teneurs en HAP et en PCB, dans des matrices pour lesquelles les données de référence sont lacunaires comme les composts de déchets verts par exemple. Cette synthèse révèle la grande dispersion des concentrations, en particulier pour le fluoranthène, pour des valeurs restant cependant globalement faibles. De ce fait, il est difficile de faire ressortir une tendance à la hausse ou à la baisse des concentrations en HAP et PCB dans les produits concernés par l'étude.

D'une façon générale, nos résultats fournissent des valeurs moyennes et de dispersion :

- Pour des produits sur lesquels les références n'étaient pas disponibles. Exemple : composts de boues chaulées, marcs de raisins, ...
- Pour des paramètres non abordés par les études de référence sur les matrices ayant déjà fait l'objet d'études. Exemples : micropolluants organiques dans les boues de lagune et les composts de déchets verts ; oligoéléments dans les boues urbaines chaulées et non chaulées ; teneur en matière sèche des composts de déchets verts ou des composts de fumier, ...

Contrairement au choix généralement fait dans les études de l'ADEME, nous exprimons les concentrations en éléments fertilisants sur le produit brut. Il nous semble que ceci correspond davantage au mode d'utilisation des résultats d'analyse des matières fertilisantes sur le terrain.

Enfin, notre étude fait ressortir quelques besoins, certes limités, d'acquisition de données de références : micropolluants organiques sur les effluents de ferme et les marcs de raisins. La récente définition de valeurs limites en HAP pour les produits relevant de la norme NF U 44-051 (dont les marcs et certains effluents de ferme) devrait faire évoluer cette situation.

Figure 10. Fréquence de dépassement des normes (NFU 44-095 et NFU 44-051) et de l'arrêté du 8 janvier 1998 par rapport aux types de produits. Eléments traces métalliques (A) et variables d'intérêt agronomique (B)

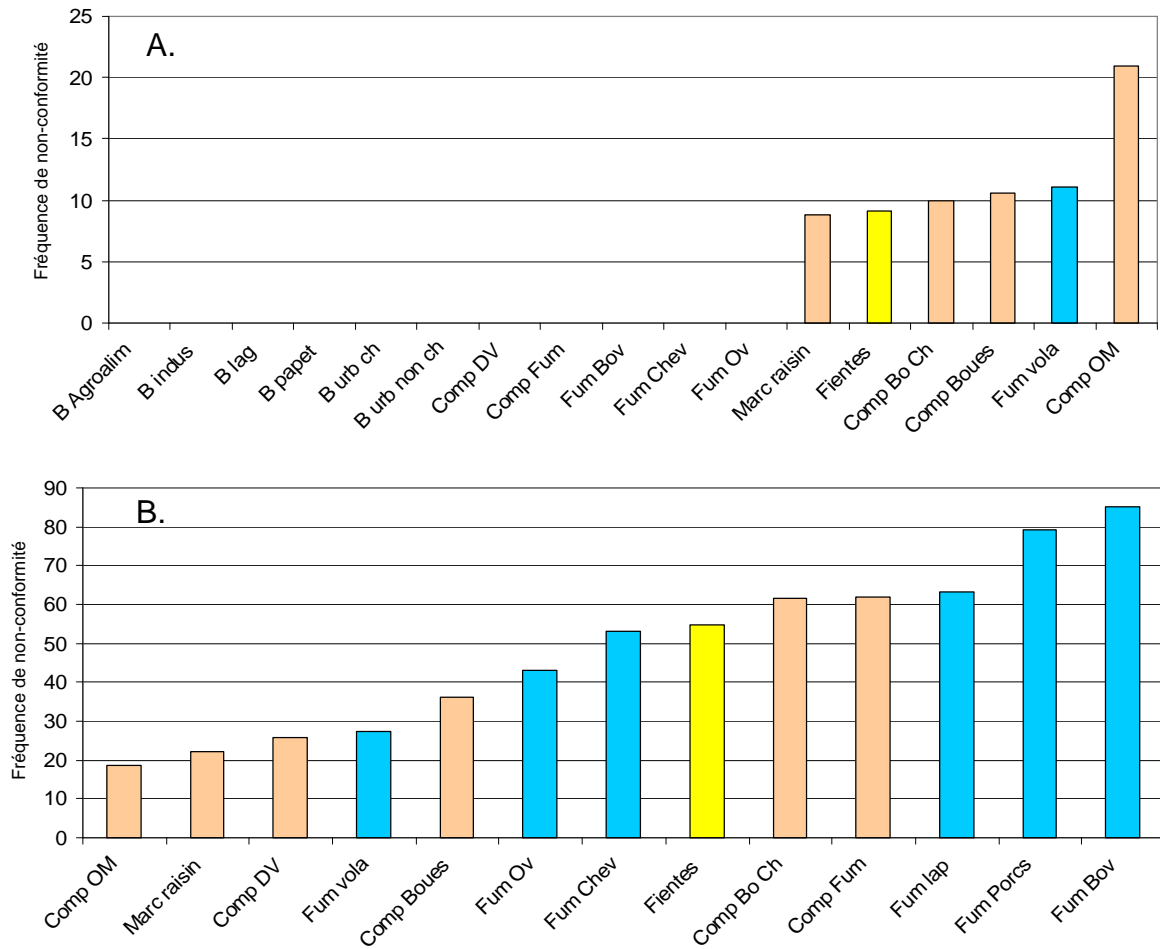
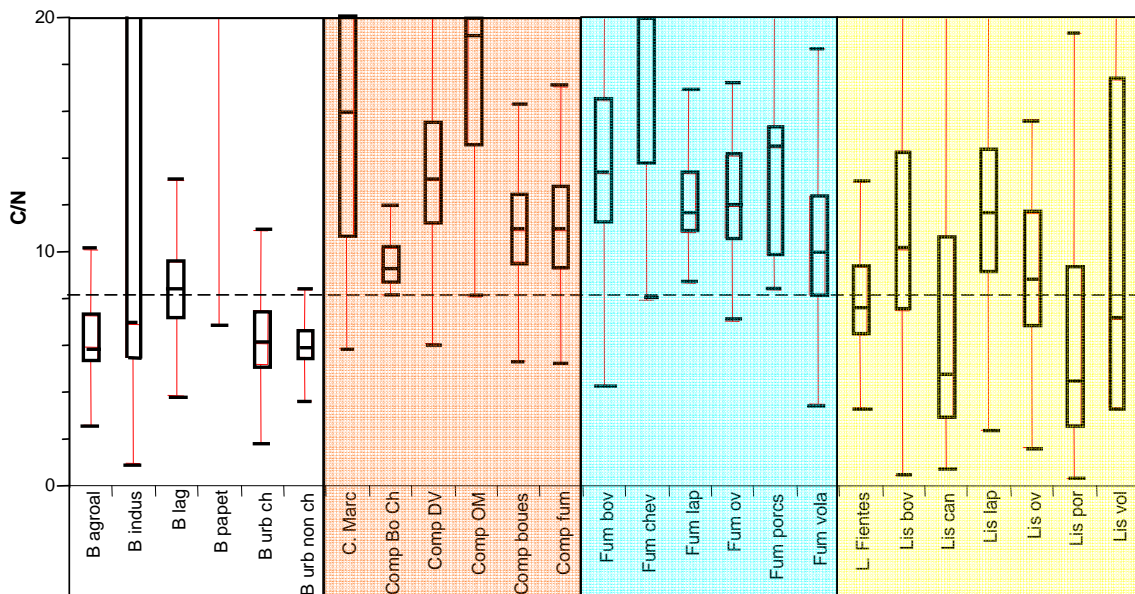


Figure 11. Positionnement du C/N des différents produits par rapport au seuil réglementaire lié aux autorisations d'épandage



## 3.2. Exploitation des résultats

### 3.2.1. Positionnement du jeu de données par rapport à la réglementation

*Rappel : le traitement des données s'effectue après élimination du dernier décile. Cette opération a eu pour effet d'éliminer du jeu de données les échantillons aberrants et en particulier les plus pollués par les ETM ou les CTO.*

L'analyse de la base de données fournit l'occasion de vérifier le respect des normes ou arrêtés pour les produits qui y sont soumis. Les lisiers ne sont donc pas pris en compte. Les normes et arrêtés qui fixent des valeurs seuils pour des variables d'intérêt agronomique (matière sèche, matière organique, rapport C/N, éléments majeurs) et des variables d'innocuité environnementale et sanitaire (éléments traces métalliques, composés traces organiques) sont les suivantes :

- NF U44-051 portant sur les amendements organiques.
- NF U44-095 portant sur les composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux.
- Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles.

Les teneurs limites correspondent, pour la matière sèche (MS), la matière organique (MO) et le rapport C/N, à des valeurs minimum (composts et amendements), tandis que les seuils cités pour les éléments majeurs et traces (ETM), ainsi que pour les composés traces organiques (CTO), représentent des valeurs à ne pas dépasser ([annexe 6](#)). Les concentrations sont exprimées par rapport à la matière brute pour la MO, la MS, les éléments majeurs, et par rapport à la matière sèche pour les ETM et les CTO.

Concernant les éléments traces métalliques, la plupart des produits de l'étude apparaissent entièrement conformes ([figure 10a](#)). Cinq catégories de produits présentent environ 10% de non-conformité, et seul les composts d'ordures ménagères présente un taux plus important de 20% de conformité (produits non épandables). L'écart à la norme concerne les éléments Zn, Cd et Pb. Les teneurs seuils en composés traces organiques ne sont jamais dépassées.

Le non respect des normes par rapport aux variables d'intérêt agronomique est beaucoup plus important et généralisé à l'ensemble des produits ([figure 10b](#)). Dans le détail, ce non respect est essentiellement imputables aux seules variables MS et MO. Pour les éléments majeurs, seuls les marcs de raisin et les fientes dépassent le seuil de 7% en  $N+P_2O_5+K_2O$  (calculés en éléments totaux et non limités aux éléments déclarables).

Finalement, les écarts aux normes des produits analysés se cantonnent principalement à deux paramètres d'intérêt agronomique; les critères d'innocuité sont très largement respectés. Aucun dépassement sur les CTO n'a été noté, de même que la somme des 4 ETM (Cr, Cu, Ni, Zn) est toujours restée inférieure au seuil réglementaire des 4000 ppm.

Le paramètre C/N est également utilisé dans le cadre de la réglementation sur les épandages (règlement sanitaire départemental). En effet, il est considéré que des amendements dont le C/N est inférieur ou égal à 8 (amendements de type II) présentent des risques d'évolution rapide après leur épandage, et doivent par conséquent être soumis à des restrictions supplémentaires vis-à-vis des périodes d'épandage autorisées ([annexe 7](#)). Par soucis de simplification, les fumiers sont affectés à la classe I (C/N >8), et les lisiers à la classe II. Cette catégorisation trouve pleinement sa justification au regard des valeurs mesurées sur les produits que nous avons analysés ([figure 11](#)).



### 3.2.2. Corrélation entre éléments à l'intérieur de chaque famille de produits

L'existence de plusieurs centaines d'analyses par catégories de produits est l'occasion de mettre en évidence d'éventuelles relations entre les paramètres mesurés. De telles relations sont recherchées afin de montrer, par exemple, que certains paramètres (teneur en eau, teneur en MO, pH) contrôlent le niveau de concentrations d'éléments chimiques et permettent d'en prédire les valeurs. Des corrélations entre éléments pourraient également témoigner d'une utilisation couplée de ces éléments en amont du processus d'élaboration des produits organiques (alimentation du bétail, co-produits du compostage, etc. ...).

Après calcul de corrélations linéaires simples entre tous les paramètres, la meilleure relation est celle liant les teneurs en matière sèche avec les éléments majeurs et la MO, exprimés par rapport à la matière brute (annexe 8). Le lien entre une teneur en matière sèche et une concentration en éléments par rapport à la matière brute peut apparaître comme une évidence, compte tenu de la prise en compte de l'eau dans chaque paramètre. Cette relation est excellente dans le cas des lisiers ( $r > 0.9$ ), et, à l'opposé, très mauvaise pour les composts. L'influence de la teneur en eau sur les concentrations en éléments, pour les différentes catégories de produits, est importante au point d'ordonner de la même manière les catégories de produits par rapport à leur teneur en éléments que par rapport à leur teneur en matière sèche (test du coefficient de corrélation des rangs positif). La dépendance, même partielle, des concentrations en éléments (sur le produit brut) des différents produits à leur teneur en eau limite l'intérêt des études de corrélation. Dès lors, il apparaît plus pertinent de chercher des corrélations pour les paramètres exprimés par rapport à la matière sèche.

Les corrélations entre éléments exprimés sur la base de la matière sèche sont rarement bonnes; on parvient à identifier, pour certains produits, une influence de la teneur en matière organique (exprimée par rapport à la MS) sur les éléments majeurs (également exprimés par rapport à la MS); les meilleures relations sont celles portant sur les teneurs en  $K_2O$  des lisiers, avec des relations négatives (figure 12). Ceci est à mettre en relation avec le fait que le potassium est un élément non constitutif de la matière organique, donc inversement corrélée à elle. Dans les autres cas, les mauvaises corrélations des éléments (notamment N et  $P_2O_5$ ) avec la MO ( $r = 0.50$  pour les boues, et  $r < 0.1$  pour les fumiers) témoignent d'une spéciation variable des éléments au sein de chaque catégorie de produit, tout se passant comme si la fraction minérale de P ou de N était totalement imprévisible, avec comme conséquence une incertitude sur les coefficients d'équivalence engrais.

Figure 12. Corrélations entre la teneur en matière organique des lisiers (MO) et leur teneur en potassium ( $K_2O$ )

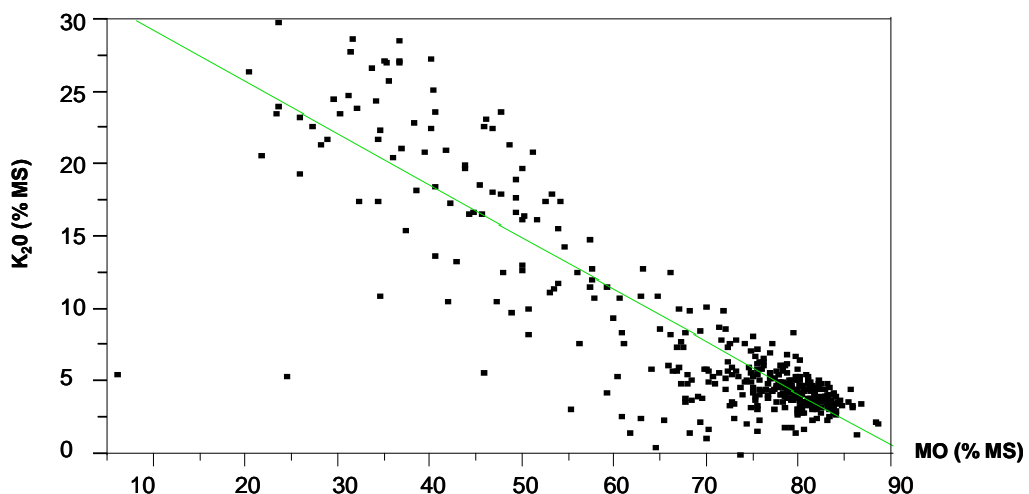


Figure 13. Teneurs en  $P_2O_5$  (%) par rapport à la matière sèche des familles de produits

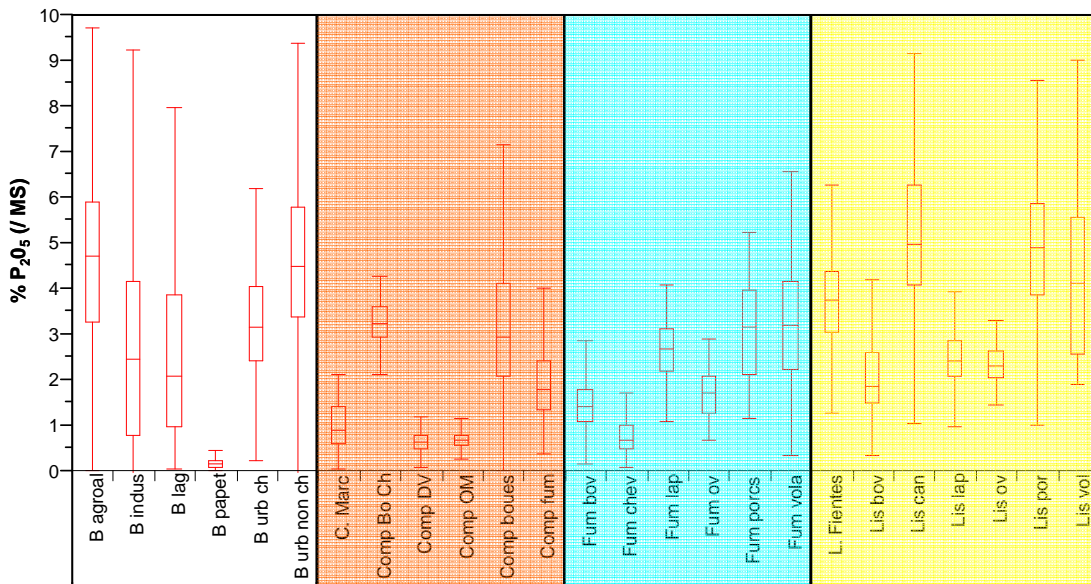


Figure 14. Valeurs du rapport N/P pour les familles de produits, comparaison avec la teneur dans les plantes

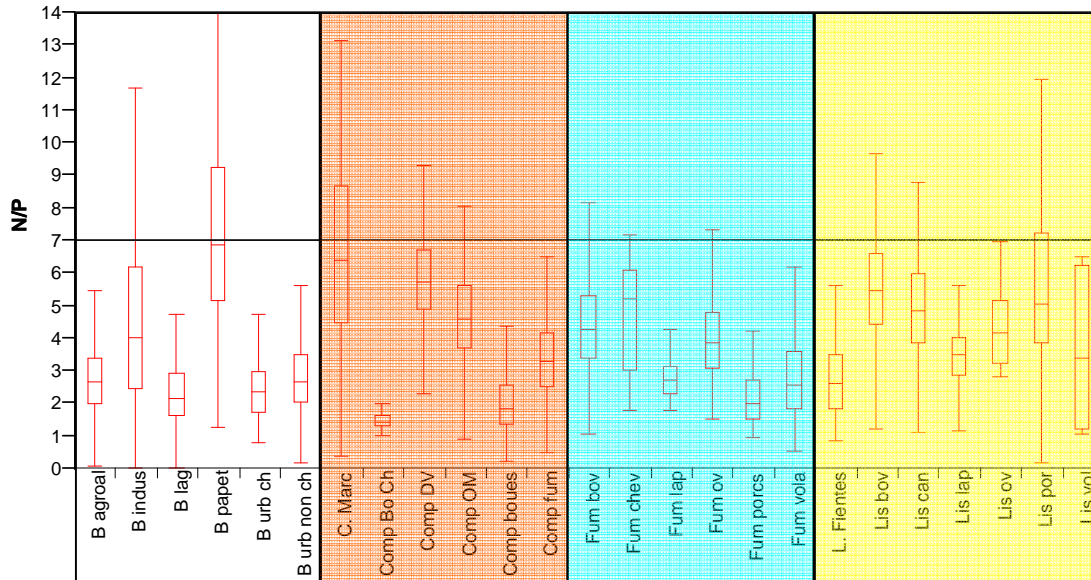
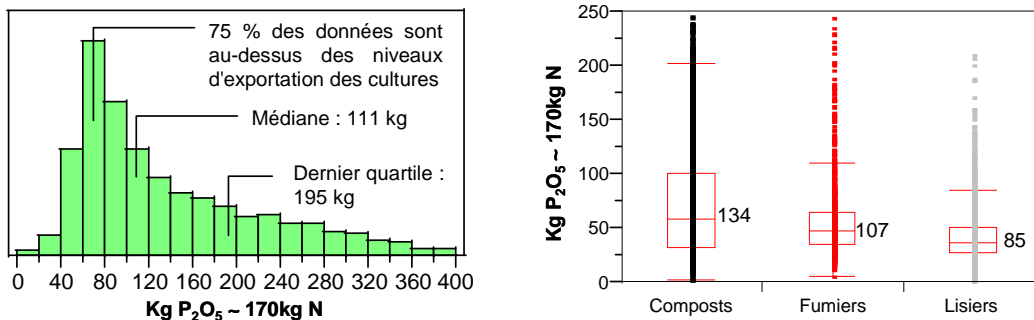


Figure 15. Distribution des quantités de  $P_2O_5$  apportées lors d'un apport de N limité à 170 kg, pour les produits concernés par la limitation (tous sauf boues).





### **3.2.3. La problématique du rapport N/P**

L'utilisation des amendements organiques pour redresser la fertilisation chimique des sols se heurte toujours au problème des proportions de minéraux qu'ils contiennent, qui diffèrent d'avec celles des végétaux, notamment sur le rapport N/P. En cas d'excès relatif de l'un ou l'autre des éléments, les conséquences potentielles peuvent être une atteinte sur les milieux lenticulaires pour les excès de P (risques d'eutrophisation) ou une dégradation de la ressource en eau potable lorsque l'azote est en excès (seuil de potabilité à 50 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L). L'analyse détaillée de ces contenus relatifs montre cependant que le problème se pose systématiquement avec le phosphore.

Un survol des teneurs en P (par rapport à la matière sèche) des différentes catégories de produits montre de forts écarts (0,5 à 6%, **figure 13**). La matière sèche des lisiers est la plus concentrée (> 4% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), notamment pour les porcs et tous les types de volailles, animaux naturellement peu aptes à dégrader le phosphore organique. Les fumiers de ces catégories d'animaux sont également deux fois plus concentrés en P que les autres. Certaines boues sont également très riches en P, du fait des processus de déphosphatation au cours de l'épuration des eaux. Dès lors, les valeurs relatives N/P sont comprises, pour ces produits, dans des fourchettes variant de 2 à 4 (**figure 14**), ce qui est largement inférieur aux proportions trouvées chez les végétaux (variations sur une plage allant de 6 à 10).

Pour l'ensemble de ces produits, seuls des apports raisonnés sur leur valeur phosphatée, avec compléments minéraux pour N, permettent d'éviter des accumulations de P dans les sols. Un tel raisonnement est en principe rendu obligatoire pour des plans d'épandage (boues) ; il est également abordé au chapitre "Epandage des fertilisants" du cahier des charges de l'Agriculture Raisonnée pour les seules situations en zones vulnérables (exigence 21). Dans la même exigence, le seuil d'apport maximum d'azote d'origine animale de 170 kg fait l'objet d'un bien plus long développement. Or, nous montrons que l'application de ce seuil réglementaire est en opposition avec le raisonnement basé sur les besoins des plantes.

Par la suite, on ne considère que les catégories des produits non soumis à plan d'épandage (normalisés), c'est-à-dire potentiellement soumis à l'application du seuil des 170 kg de N. Nous avons calculé, pour chaque produit, la quantité de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> présente dans un apport basé sur la valeur de ce seuil. L'histogramme de la **figure 15** montre que, dans 75% des cas, l'apport en phosphore dépasse le niveau d'exportation de la culture (basé sur un rendement blé de 80 quintaux/ha, pailles restituées, 0,9 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/quintal, soit 72 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Le premier décile de cette distribution se situe à 58 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et dans 10% des cas, les apports excèdent 195 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Les composts (notamment de boues) sont les produits qui présentent les risques d'excès les plus importants (médiane à 134 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pour un apport équivalent à 170 kg de N), et les lisiers le moindre risque (85 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pour un apport équivalent à 170 kg de N, **figure 15**). L'ensemble de ces valeurs montrent à quel point la stricte application d'un règlement, censé améliorer un paramètre de la qualité de l'eau, peut contribuer à en détériorer un autre. La confusion devient alors totale lorsque l'on justifie la délimitation d'une zone vulnérable comme un moyen de lutte à la fois contre les excès de nitrates et les risques d'eutrophisation !

Tableau 1. Effets du chaulage sur la composition des boues urbaines et du compostage sur la composition des boues urbaines et des fumiers

effet chaulage sur boues	pH	C/N	g/kg MB		% MS						mg/kg MS			
			MS	MO	Ntot	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Cu	Σ 4 ETM	Σ 7 PCB	Fluoran
Boue urbaine non chaulée	7,6	6,2	161	59	5,4	0,6	4,7	0,6	0,7	10,0	267	856	0,14	0,20
Boue urbaine chaulée	11,7	6,4	285	42	3,3	0,1	3,3	0,3	0,5	24,7	153	521	0,14	0,12
<b>Rapport concentration ou dilution (-)</b>	<b>1,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,8</b>	<b>-1,4</b>	<b>-1,6</b>	<b>-4,7</b>	<b>-1,4</b>	<b>-2,1</b>	<b>-1,3</b>	<b>2,5</b>	<b>-1,7</b>	<b>-1,6</b>	<b>1,0</b>	<b>-1,7</b>

effet compostage sur boues *	pH	C/N	MS	MO	Ntot	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Cu	Σ 4 ETM	Σ 7 PCB	Fluoran
Boue urbaine (non chaulée)	7,6	6,2	161	59	5,4	0,6	4,7	0,6	0,7	10,0	267	856	0,14	0,20
Compost de boue urbaine( non chaulée)	7,5	11,0	525	51	2,5	0,2	3,2	0,7	0,7	8,2	178	607	0,16	0,39
<b>Rapport concentration ou dilution (-)</b>	<b>1,0</b>	<b>1,8</b>	<b>3,3</b>	<b>-1,2</b>	<b>-2,2</b>	<b>-3,1</b>	<b>-1,5</b>	<b>1,2</b>	<b>1,0</b>	<b>-1,2</b>	<b>-1,5</b>	<b>-1,4</b>	<b>-0,9</b>	<b>2,0</b>

effet compostage sur fumiers	pH	C/N	MS	MO	Ntot	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Cu	Σ 4 ETM
Fum Bov	8,0	13,8	236	71	2,7	0,2	1,5	3,8	0,9	3,0	37	231
Comp Fum	8,1	11,0	340	58	2,6	0,3	2,0	3,5	1,1	4,6	96	334
<b>Rapport concentration ou dilution (-)</b>	<b>1,0</b>	<b>-1,3</b>	<b>1,4</b>	<b>-1,2</b>	<b>1,0</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	<b>-1,1</b>	<b>1,2</b>	<b>1,5</b>	<b>2,6</b>	<b>1,4</b>

\* les boues utilisées pour compostage doivent être conformes à l'arrêté du 8 janvier 1988.

### **3.2.4. Effets de quelques procédés de traitement sur la qualité des produits**

La base de données permet de comparer l'effet de certains traitements (compostage et chaulage) que peuvent subir quelques catégories de produits, comme les boues ou les engrais de ferme. Bien que les données ne soient pas appariées (on ne compare pas le même produit avant et après traitement), le fort effectif nous permet de tenter cette comparaison, entre les valeurs moyennes. Pour le chaulage, nous comparons les boues urbaines chaulées (n = 559) et non chaulées (n = 9250). Pour **l'effet du compostage**, nous confrontons les boues urbaines non chaulées (N = 9250) avec les boues non chaulées compostées (n = 3714), ainsi que le fumier de bovin (n = 705) avec le compost de fumier (n = 216). Pour étudier l'effet des processus de chaulage et de compostage, nous calculons les rapports d'augmentation/concentration ou de réduction/dilution de la manière suivante : si le paramètre augmente lors du processus, nous calculons le taux de d'augmentation/concentration comme le rapport du chiffre le plus élevé sur le chiffre le plus faible. Si, au contraire, le paramètre subit une réduction, nous calculons également le taux de réduction/dilution comme le rapport du chiffre le plus élevé sur le plus faible, mais lui affectons arbitrairement le signe (-) pour ne pas le confondre avec les concentrations. La comparaison de ces taux nous apparaît plus pertinente pour la discussion que des calculs d'écart relatifs.

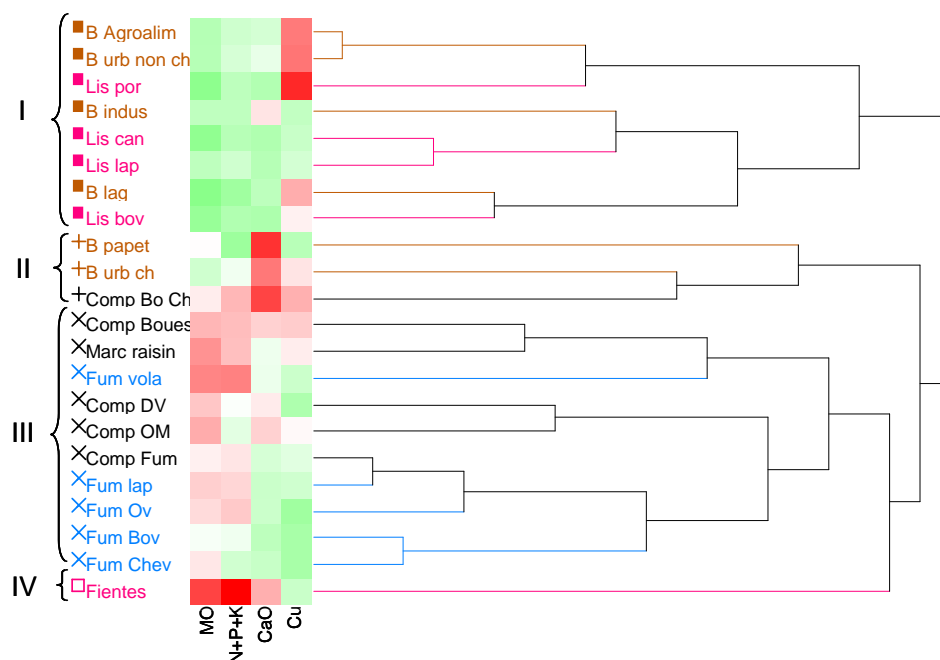
Le principal **effet du chaulage**, outre la forte remontée du pH, est l'effet de dilution entraîné sur la plupart des éléments (exprimés par rapport à la matière sèche), du fait de l'apport de chaux et de l'augmentation du taux de matière sèche que cela engendre (**tableau 1**). L'augmentation du taux de CaO (2.5 fois plus après chaulage) explique la dilution correspondant à la plupart des éléments chimiques, y compris les éléments traces métalliques, et de la MO. Se distinguent l'ammonium, dont la baisse spectaculaire (4,7 fois moins concentré après chaulage) ne peut pas s'expliquer par le seul effet de dilution, et le magnésium qui, au contraire, reste relativement trop concentré vis-à-vis de l'effet de dilution. Le chaulage semble donc avoir pour effet de volatiliser l'ammonium du produit brut. Quant au magnésium, sa présence en quantité plus forte que prévu ne s'explique pas.

Le **compostage des boues** est en réalité un co-compostage, le produit final résultant du mélange entre la boue brute et un structurant de type ligneux fragmenté. Par conséquent, on peut s'attendre, comme lors du processus de chaulage, à un effet de dilution sur les éléments présents initialement dans les boues. Les résultats du **tableau 1** montrent un très fort effet du compostage sur la teneur en matière sèche (multipliée par plus de trois); en effet, à l'ajout d'un co-produit pauvre en eau s'ajoute des pertes d'eau au cours du procédé (phase thermophile notamment). Les teneurs en éléments étant déjà exprimées par rapport à la MS dans le **tableau 1**, les rapports de dilution mesurés ne sont imputables qu'à l'ajout du co-produit et aux éventuels effets des processus de compostage. Si l'on considère le phosphore et les ETM comme des éléments beaucoup moins concentrés dans le co-produit que dans les boues, et conservatifs, on peut dire que l'effet du co-produit est de diminuer de 1,5 fois les concentrations. Nous voyons que les formes azotées (N<sub>tot</sub> et surtout NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) diminuent plus que ce que la simple dilution prévoyait. Le rapport C/N augmente du fait du co-produit. Le taux de matière organique "résiste" légèrement à la dilution, sous l'effet probable de la qualité des co-produits, de même que le calcium, le magnésium et le potassium qui s'y trouvent souvent plus concentrés.

Le **compostage du fumier** est un peu plus facile à appréhender, les seules variations mesurées n'étant liées qu'à des processus physico-chimiques tels que la minéralisation du carbone (entraînant une concentration relative des éléments minéraux), la volatilisation de l'ammonium, la stabilisation de la matière organique. La perte de carbone, visible sur la réduction du rapport C/N ou de la matière organique (1,3 fois moins) entraîne une augmentation de concentration du même ordre de grandeur du phosphore, du magnésium, du calcium, et de la somme des 4 ETM. Cette diminution de MO cache probablement une augmentation relative de sa fraction stable, qui n'est pas mesurée en routine (Indice de Stabilité Biologique). Du potassium semble disparaître pendant le compostage, probablement par lixiviation. La concentration en ammonium est étonnante, tout se passant comme s'il était conservatif. La concentration en Cu ne s'explique pas par la seule disparition de matière organique. Une explication serait que certains fumiers compostés figurant dans cette sous-famille seraient d'origine porcine.

Finalement, nous pouvons retenir de ces comparaisons que le chaulage, comme le co-compostage des boues, réduit les teneurs en éléments minéraux (expressions par rapport à la MS), alors que le simple compostage (fumier) les augmente. Dans les deux types de procédés de traitement, la teneur en MO (exprimée par rapport à la MS) a tendance à diminuer. Toutes ces tendances sont conformes à ce qui est généralement décrit dans la littérature.

**Figure 16.** Regroupement des familles de produits selon 4 catégories selon leur degré de ressemblance (classification ascendante hiérarchique) sur les critères suivants :  $MO_{(MB)}$  ,  $N+P+K_{(MB)}$  ,  $Ca_{(MB)}$  et  $Cu_{(MS)}$ . Les couleurs des carrés correspondent à des valeurs faibles (vert), moyennes (blanc) et fortes (rouge) des différents paramètres.



**Tableau 2.** Regroupement des sous-familles de produits en 2 catégories selon leur degré de ressemblance (classification ascendante hiérarchique) sur des critères relatifs à leur valeur fertilisante.

N, P, K, Mg, S exprimés / MS	Groupes (pourcentage)	
	classe 1	classe 2
B Agroalim	30	70
B indus	51	49
B lag	64	36
B papet	100	0
B urb ch	92	8
B urb non ch	37	63
Comp Bo Ch	100	0
Comp Boues	86	13
Comp DV	100	0
Comp Fum	33	66
Comp OM	100	0
Marc raisin	50	50
Fum Bov	28	73
Fum Chev	100	0
Fum Ov	0	100
Fum Porcs	57	43
Fum vola	55	44
Lis bov	0	100
Lis can	22	78
Lis lap	5	95
Lis ov	0	100
Lis por	3	97
Lis vol	63	36
Fientes	24	76

## 4. Discussion

### 4.1. Typologie des produits

En guise de synthèse, nous proposons à présent d'analyser les différentes sous-familles de produits vis-à-vis de propriétés globales, telles que la fertilité chimique, la valeur amendante, ou l'innocuité. Nous cherchons à créer des regroupements entre les 25 sous-familles de départ. L'outil mathématique choisi pour créer ces regroupements est la classification ascendante hiérarchique. Cette méthode agrège entre eux des produits sur la base d'un certain nombre de variables indépendantes les caractérisant.

Pour aborder cette question, deux points de vues peuvent être considérés :

- 1) Le point de vue du producteur qui souhaite positionner la valeur globale de son produit organique par rapport à d'autres produits organiques, tous critères confondus (innocuité, valeur fertilisante, amendantes, ...)
- 2) Le point de vue de l'utilisateur qui recherche dans un produit organique une propriété particulière (entretien du statut organique du sol, valeur fertilisante, hausse du pH, etc. ...) et souhaite connaître les types de produits répondant à son attente. Dans le premier cas, les variables choisies se rapportent au produit brut, dans le second cas on analyse plutôt la qualité « intrinsèque » au produit, c'est-à-dire ce qu'il reste dans le sol après ressuyage de l'eau contenue (raisonnement par rapport à sa matière sèche).

Pour le point de vue du producteur, nous choisissons d'utiliser des variables indicatrices à la fois de potentialités agronomiques (MO,  $N+P_2O_5+K_2O$ , CaO, exprimés par rapport au produit brut) et d'innocuité environnementale (Cu, exprimé par rapport à la MS). La **figure 16** présente les agrégations des sous-familles, celles-ci étant définies par les valeurs moyennes caractérisant chaque variable. Nous faisons le choix de retenir 4 classes « homogènes ». Le premier regroupement (I) concerne des produits dont les valeurs fertilisante, amendante organique et calcique sont faibles et présentant des risques moyens à forts vis-à-vis des contaminations en ETM. Il s'agit principalement des produits les plus liquides, lisiers et boues (non chaulées), dans lesquels les éléments « utiles » sont dilués. La seconde catégorie présente les mêmes risques environnementaux, mais possède un intérêt vis-à-vis des teneurs en Ca. Elle regroupe les produits chaulés et les boues papetières. La troisième catégorie de produits (III) présente une valeur agronomique double, puisqu'à la fois intéressante sur le plan de l'entretien du statut humique et du statut minéral des sols. Cette catégorie, large, ne comporte que des fumiers et des composts. Enfin, les fientes sont considérées comme une famille à part, eu égard à leurs très fortes concentrations en MO, éléments majeurs et dans une moindre mesure en Ca.

Pour le point de vue de l'utilisateur, la base de données peut être utilisée pour faire émerger des groupes de produits présentant des propriétés particulières. Par exemple, si la priorité de l'utilisateur est de relever, au moyen de produits organiques, le niveau moyen de la fertilité chimique du sol, le même outil statistique que précédemment peut être utilisé, avec comme variables d'entrée des indicateurs de richesse minérale (par exemple N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , MgO et  $SO_3$ ). Nous avons appliqué le calcul de la classification non pas aux 25 sous-familles, mais aux produits eux-mêmes (dont seule la moitié a été considérée pour des raisons de vitesse de réalisation des classifications). Le **tableau 2** montre deux catégories de produits, la classe 2 jugée intéressante vis-à-vis des critères interrogés, et la classe 1 jugée sans intérêt. Les chiffres du tableau expriment le pourcentage de chaque produit représenté dans chaque classe. Ce tableau donne donc deux niveaux d'informations : d'une part, il classe globalement les 25 sous-familles selon les deux classes d'intérêt, mais aussi exprime le risque que l'on prend en attribuant un produit d'une sous-famille à une classe particulière. Ainsi, tous les fumiers d'ovin présentent un intérêt vis-à-vis de la fertilisation minérale (100% dans la classe 2), alors que seulement 66% des composts de fumiers présentent un intérêt vis-à-vis des minéraux. Globalement, cet exemple montre que les lisiers sont les produits les plus susceptibles de renforcer la fertilité chimique du sol, ainsi que quelques autres produits dispersés dans chaque famille (boues urbaines non chaulées, compost de fumiers, etc. ...). Cette classification n'intègre cependant pas les contraintes liées à leur épandage, le raisonnement ne portant que sur les fractions d'éléments exprimées par rapport à la MS.

## **4.2. Limites et perspectives de l'étude**

Les limites rencontrées dans cette étude sont de trois ordres : 1) manque de données relatives aux ETM et CTO sur plusieurs déjections animales, 2) non prise en compte de la biodisponibilité des éléments fertilisants, des cinétiques de minéralisation des produits, de la présence d'agents pathogènes, etc. ...). et 3) manque de précisions sur la nature des échantillons regroupés dans les sous-familles, entraînant une forte élimination des données lors de l'étude statistique (60%). Ce dernier point est le plus problématique, car il induit sur les résultats une forte variabilité, que l'on sait plus réduite lorsque les classes sont mieux définies (figure 7). Une part de variabilité peut aussi être imputable aux méthodes de prélèvement et de conservation des échantillons, pour lesquelles nous ne possédons aucune information. Une meilleure valorisation de ces bases de données passerait donc par des rubriques mieux renseignées sur les produits, à l'image du questionnaire proposé en annexe 9 (Hacala, com. pers.), et par des méthodes d'échantillonnage et de conservation irréprochables. Les agriculteurs sont-ils prêts à y consacrer de leur temps ? Dans ces conditions, on se prend à rêver de l'édition, au niveau national, de références régionales, sur le modèle de ce travail, dont la mise à jour continue permettrait entre autres de mieux adapter les pratiques de fertilisation aux besoins des plantes, et au législateur une veille sur la validité des normes entourant l'utilisation de ces produits organiques. Les laboratoires sont-ils prêts à y consacrer de leurs ressources ?

## **Remerciements**

Mmes LINERES (UMR TCEM INRA/ENITAB) et HACALA (Institut de l'Elevage) sont chaleureusement remerciées pour l'intérêt porté à ce travail et pour leurs remarques constructives

Les auteurs remercient également les étudiants de la 3<sup>ème</sup> année « Gestion Intégrée des Agrosystèmes et des Forêts » de l'ENITA de Bordeaux (ASENSIO Rémi, BATLLE Marjorie, CAZEAUX Fabien, DUFOUR Jérémy, ROMÉYER Jean-Damien, SIRVENT Aude, promotion 2006-2007) qui ont débroussaillé les données brutes du laboratoire et en ont fait une première synthèse.

## **5. Bibliographie**

ADEME, IRH, 1995. Les micro-polluants organiques dans les boues résiduaires urbaines. ADEME Editions, Paris, 228p.

ADEME, INRA, 1995. Les micro-polluants métalliques dans les boues résiduaires urbaines. ADEME Editions, Paris, 209p.

ADEME, INA-PG, ADEPRINA, 1996. La valeur azotée des boues résiduaires urbaines. ADEME Editions, Paris, 336p.

ADEME, INRA, ENSAIA, INPL de Nancy, 1996. La valeur phosphatée des boues résiduaires urbaines. ADEME Editions, Paris, 172p.

ADEME 1996. Valeur fertilisante des boues d'épuration. Bases de références pour leur intégration agronomique. Journées techniques ADEME des 4 et 5 décembre 1996, APCA à Paris. Communications des conférenciers. 186p.

ADEME, ANJOU VALORISATION, 2001. Approche de la qualité des composts de déchets en France ; résultat d'une enquête en 1998. ADEME Editions, Paris, 133p.

ADEME, OIE, Chambre d'agriculture de Saône et Loire, 2001. Les boues chaulées des stations d'épurations municipales ; production, qualité et valeur agronomique. ADEME Editions, Paris, 224p.

ADEME et al, 2005. Impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets ; bilan des connaissances. ADEME Editions, Paris, 331p.

Bodet JM, Hacala S., Aubert C, Texier C. 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme. Institut de l'élevage, ITAVI, ITCF, ITP. 104 pp

COMIFER. 1995 Guide PK.

CORPEN 1988 Bilan de N à l'exploitation. 36pp

CORPEN. Normes pour l'estimation des quantités d'azote produit sur l'exploitation. Annexe 6, 1pp

ITAVI 2003. Caractérisation des fumiers, lisiers et fientes de volailles. Etude OFIVAL 2001. 41 pp

ITCF 1995 Fertilisation PK Guide pédagogique Brochure ITCF, 75 p

Leclech B. 1995 Environnement et Agriculture. Ed Références, Synthèse Agricole. 163

Levasseur P. 2005. Composition des effluents porcins et de leurs co-produits de traitement. Quantités produites. ITP. 68pp

Recyval et ADEME 2000. Composts de boues de stations d'épuration municipales : qualité, performances agronomiques et utilisations. ADEME Editions, Paris, 423p.

Vilain M. 1989 La production végétale. Vol. 2 : La maîtrise technique de la production. Ed Tec&Doc, 130-144

Ziegler D. et Héduit M. 1991 Engrais de ferme Valeur fertilisante, gestion, environnement, brochure ITCF, 35p



## **6. Annexes**

### Liste des annexes

Annexe 1. Classification des échantillons par nature et abréviation utilisée

Annexe 2.a. Résultats analytiques sur les boues et composts, concernant les éléments majeurs

Annexe 2.b. Résultats analytiques sur les engrais de ferme, concernant les éléments majeurs

Annexe 2.c. Résultats analytiques sur les boues et composts, concernant les ETM et CTO

Annexe 2.d. Résultats analytiques sur les engrais de ferme, concernant les ETM

Annexe 3. Méthodes d'analyses et abréviations utilisées

Annexe 4.a. Comparaison des concentrations en éléments majeurs entre les engrais de ferme mesurés par le laboratoire LCA et d'autres références

Annexe 4.b. Comparaison des concentrations en éléments majeurs entre les mesures du laboratoire LCA et d'autres références sur les boues et les composts

Annexe 4.c. Comparaison des concentrations sur ETM et les CTO entre les mesures du laboratoire LCA et d'autres références sur les boues et les composts

Annexe 5. Résultats analytiques sur les CTO des composts

Annexe 6. Teneurs limites en matière sèche, matière organique, éléments majeurs, éléments traces et composés traces organiques dans les amendements organiques (NF U 44-051), composts de boues (NF U 44-095) et boues (Arrêté du 8/01/98).

Annexe 7. Périodes d'interdiction d'épandage des fertilisants azotés

Annexe 8. Coefficients de corrélation (r) de chaque relation linéaire entre (tableau de gauche) le taux de matière sèche (MS) d'une part, et la matière organique (MO) et les éléments majeurs exprimés par rapport à la matière brute d'autre part et entre (tableau de droite) le taux de matière organique (MO) d'une part, et les éléments majeurs d'autre part exprimés par rapport à la matière sèche. Le signe (-) indique une relation linéaire négative.

Annexe 9. Exemple de fiche de renseignement relative à une demande d'analyse sur une déjection animale (Hacala, comm. pers.).

Annexe 1. Classification des échantillons par nature et abréviation utilisée

PRODUIT	FAMILLES	ABREVIATION
BOUE	Boue d'origine agro-alimentaire	B Agroalim
	Boue industrielle	B indus
	Boue de lagunage	B lag
	Boue de papeterie	B papet
	Boue urbaine chaulée	B urb ch
	Boue urbaine non chaulée	B urb non ch
COMPOST	Compost de boue chaulée	Comp Bo Ch
	Compost de boue	Comp Boues
	Compost de déchets verts	Comp DV
	Compost de fumier	Comp Fum
	Compost d'ordures ménagères	Comp OM
	Marc de raisin	Marc raisin
FUMIER	Fumier de bovin	Fum Bov
	Fumier de cheval	Fum Chev
	Fumier d'ovin	Fum Ov
	Fumier de porcine	Fum Porcs
	Fumier de lapin	Fum Lap
	Fumier de volaille	Fum vola
LISIER / FIENTE	Fientes	Fientes
	Lisier de bovin	Lis bov
	Lisier de canard	Lis can
	Lisier de lapin	Lis lap
	Lisier d'ovin	Lis ov
	Lisier de porcine	Lis por
	Lisier de volailles	Lis vol

Annexe 2.a. Résultats analytiques sur les boues et composts, concernant les éléments majeurs

		en g/kg de MB											en % de MS									
		pH	C/N	MS	MO	Ntot	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	MO ms	Ntot ms	NH <sub>4</sub> ms	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ms	K <sub>2</sub> O ms	MgO ms	CaO ms	Na <sub>2</sub> O ms	SO <sub>3</sub> ms
<b>B Agroalim</b>	<i>n</i>	2484	2593	3191	2684	2626	2510	2663	2630	2705	2630	2647	2621	2684	2626	2510	2663	2630	2705	2630	2647	2621
	<i>Moy</i>	7,2	6,8	159	77	5,7	0,4	5,4	0,7	0,9	14,5	0,2	2,1	60	5,3	0,6	4,6	0,7	0,7	8,1	0,3	2,621
	<i>E.T.</i>	1,1	2,3	129	55	3,9	0,3	4,2	0,5	0,8	20,0	0,1	1,5	16	2,4	0,8	2,2	0,7	0,4	5,8	0,5	0,7
	<i>10%</i>	6,3	5,0	22	14	1,2	0,0	0,9	0,1	0,1	0,9	0,1	0,4	36	2,0	0,0	1,8	0,2	0,4	2,9	0,1	0,9
	<i>90%</i>	8,0	10,1	354	152	10,9	0,9	11,6	1,4	2,1	47,9	0,4	4,3	76	7,9	1,3	7,2	1,0	1,0	17,6	0,7	2,6
<b>B indus</b>	<i>n</i>	989	1016	1265	1046	1011	932	1033	1014	1005	1039	978	1021	1046	1011	932	1033	1014	1005	1039	978	1021
	<i>Moy</i>	7,7	18,3	229	90	4,1	0,2	4,4	0,6	1,0	36,7	0,6	2,4	54	3,9	0,3	3,0	0,7	0,6	12,8	0,7	1,5
	<i>E.T.</i>	1,9	23,7	166	62	3,2	0,2	5,3	0,5	1,0	42,8	0,6	1,7	25	3,6	0,6	2,9	1,6	0,5	14,1	1,3	1,0
	<i>10%</i>	5,7	4,9	28	20	0,6	0,0	0,4	0,1	0,1	0,5	0,1	0,5	18	0,2	0,0	0,2	0,0	0,2	1,1	0,0	0,4
	<i>90%</i>	11,2	46,7	492	190	9,1	0,6	11,7	1,4	2,5	108,5	1,4	5,0	86	9,0	0,8	6,5	1,4	0,9	29,4	2,0	2,8
<b>B lag</b>	<i>n</i>	464	449	544	465	467	439	451	473	476	467	451	465	465	467	439	451	473	476	467	451	465
	<i>Moy</i>	7,1	8,6	96	24	1,4	0,1	1,7	0,4	0,7	7,0	0,2	1,6	35	2,4	0,3	2,7	0,7	0,8	9,0	0,4	2,3
	<i>E.T.</i>	0,4	2,1	69	13	0,8	0,1	1,2	0,3	0,6	6,7	0,1	1,0	18	2,2	0,8	2,1	2,0	0,4	7,3	0,7	1,5
	<i>10%</i>	6,8	6,2	23	7	0,4	0,0	0,3	0,1	0,1	0,7	0,1	0,4	13	0,6	0,0	0,6	0,2	0,4	1,3	0,1	1,1
	<i>90%</i>	7,5	11,5	206	41	2,4	0,2	3,4	0,9	1,7	17,3	0,3	3,2	58	4,7	0,4	5,8	0,9	1,3	20,6	0,6	3,3
<b>B papet</b>	<i>n</i>	126	126	143	125	125	122	123	125	128	129	128	125	125	125	122	123	125	128	129	128	125
	<i>Moy</i>	7,4	47,2	436	170	1,9	0,0	0,8	0,3	2,2	94,6	0,3	2,2	41	0,5	0,0	0,2	0,1	0,5	21,0	0,1	0,5
	<i>E.T.</i>	0,7	25,0	101	34	0,9	0,0	0,4	0,2	1,6	49,1	0,2	1,1	14	0,2	0,0	0,1	0,1	0,3	9,4	0,1	0,4
	<i>10%</i>	6,9	22,7	288	126	0,7	0,0	0,2	0,0	0,5	8,6	0,1	0,8	28	0,2	0,0	0,1	0,0	0,2	4,9	0,0	0,2
	<i>90%</i>	8,0	80,2	538	215	3,3	0,1	1,4	0,6	4,5	161,9	0,7	3,5	63	0,8	0,0	0,3	0,1	0,9	32,1	0,2	0,8
<b>B urb ch</b>	<i>n</i>	401	411	559	432	420	420	425	418	425	445	427	427	432	420	420	425	418	425	445	427	427
	<i>Moy</i>	11,7	6,4	285	109	8,6	0,3	8,7	0,7	1,5	71,8	0,3	4,0	42	3,3	0,1	3,3	0,3	0,5	24,7	0,1	1,5
	<i>E.T.</i>	1,8	1,7	72	31	2,5	0,2	3,0	0,4	0,6	29,3	0,1	1,6	12	1,2	0,2	1,1	0,2	0,2	7,0	0,1	0,5
	<i>10%</i>	8,1	4,5	193	73	5,0	0,1	4,8	0,2	0,8	30,6	0,1	2,2	28	1,8	0,0	2,1	0,1	0,4	15,3	0,1	1,0
	<i>90%</i>	12,7	8,7	366	148	11,5	0,6	12,6	1,3	2,3	106,9	0,4	6,4	59	4,9	0,3	4,8	0,5	0,8	32,7	0,2	2,1
<b>B urb non ch</b>	<i>n</i>	6792	7106	9250	7483	7390	6708	7396	7303	7439	7319	7288	7380	7483	7390	6708	7396	7303	7439	7319	7288	7380
	<i>Moy</i>	7,6	6,2	161	78	6,6	0,5	6,2	0,6	1,0	20,9	0,2	2,5	59	5,4	0,6	4,7	0,6	0,7	10,0	0,3	1,8
	<i>E.T.</i>	1,7	1,3	114	50	4,0	0,4	4,4	0,4	0,7	27,8	0,1	1,8	17	2,2	0,9	2,0	0,8	0,3	8,6	0,6	0,5
	<i>10%</i>	6,3	5,0	22	14	1,3	0,1	1,0	0,1	0,2	0,9	0,1	0,4	35	2,6	0,1	2,4	0,2	0,4	2,8	0,1	1,2
	<i>90%</i>	11,1	8,0	327	144	11,8	1,2	12,4	1,2	2,0	70,8	0,3	5,0	78	8,0	1,4	7,1	1,0	1,0	24,7	0,7	2,4

<b>Comp B Ch</b>	<i>n</i>	42	42	54	47	42	27	42	42	42	42	42	42	47	42	27	42	42	42	42	42	42
	<i>Moy</i>	7,8	9,6	511	190	10,6	0,5	16,9	4,5	4,3	88,8	0,7	6,9	37	2,1	0,1	3,3	0,9	0,8	17,2	0,1	1,3
	<i>E.T.</i>	0,2	1,0	54	27	1,6	0,4	3,2	1,4	0,7	18,9	0,7	1,3	5	0,2	0,1	0,5	0,2	0,1	3,3	0,1	0,3
	<i>10%</i>	7,5	8,5	452	152	8,6	0,0	12,8	2,8	3,3	66,6	0,3	5,1	31	1,8	0,0	2,7	0,6	0,7	14,3	0,1	1,0
	<i>90%</i>	8,2	11,3	568	221	13,3	1,2	22,7	6,3	5,2	110,8	2,0	8,6	43	2,4	0,2	4,1	1,2	1,0	21,0	0,4	1,7
<b>Comp Boues</b>	<i>n</i>	2715	2825	3714	3014	2936	2458	2785	2787	2793	2783	2755	2751	3014	2936	2458	2785	2787	2793	2783	2755	2751
	<i>Moy</i>	7,5	11,0	525	260	12,2	1,0	16,1	3,6	3,7	43,0	0,6	6,7	51	2,5	0,2	3,2	0,7	0,7	8,2	0,1	1,3
	<i>E.T.</i>	0,6	2,3	123	75	4,1	0,6	8,1	1,6	1,4	25,4	0,3	2,6	14	1,0	0,2	1,7	0,3	0,2	4,5	0,1	0,5
	<i>10%</i>	6,7	8,4	365	164	6,9	0,1	5,5	1,5	1,8	16,4	0,2	3,4	35	1,5	0,0	1,3	0,3	0,4	3,7	0,1	0,8
	<i>90%</i>	8,1	14,3	669	356	17,9	1,8	28,0	5,8	5,6	84,2	1,0	10,4	68	3,3	0,3	5,5	1,1	1,0	14,9	0,2	1,9
<b>Comp DV</b>	<i>n</i>	1388	1606	1991	1703	1655	767	1430	1436	1384	1370	1368	1269	1703	1655	767	1430	1436	1384	1370	1368	1269
	<i>Moy</i>	7,8	13,6	565	240	8,6	0,1	3,6	7,1	3,3	34,4	0,5	3,0	44	1,6	0,0	0,7	1,3	0,6	6,1	0,1	0,5
	<i>E.T.</i>	0,9	3,1	102	58	2,4	0,1	1,3	2,7	1,1	18,4	0,3	1,0	11	0,4	0,0	0,2	0,5	0,2	3,2	0,1	0,2
	<i>10%</i>	6,7	9,9	445	165	5,5	0,0	2,0	3,4	1,8	13,1	0,2	1,8	31	1,1	0,0	0,4	0,7	0,4	2,5	0,0	0,3
	<i>90%</i>	8,5	18,3	694	319	11,6	0,3	5,4	10,7	4,8	62,4	0,9	4,4	57	2,0	0,1	0,9	1,9	0,8	11,2	0,2	0,8
<b>Comp Fum</b>	<i>n</i>	70	192	216	203	200	61	187	186	185	185	182	75	203	200	61	187	186	185	185	182	75
	<i>Moy</i>	8,1	11,0	340	187	8,4	0,5	6,5	11,2	3,4	15,0	1,1	3,7	58	2,6	0,3	2,0	3,5	1,1	4,6	0,3	1,2
	<i>E.T.</i>	0,4	2,7	115	68	3,8	0,7	3,9	6,0	1,5	9,3	0,7	2,1	14	0,9	0,9	1,6	0,4	2,4	0,2	0,4	
	<i>10%</i>	7,4	7,4	201	119	4,5	0,0	2,7	4,4	1,8	5,0	0,3	1,7	39	1,5	0,0	1,0	1,6	0,7	2,2	0,1	0,7
	<i>90%</i>	8,6	14,8	528	292	15,4	1,3	12,4	20,8	5,5	30,9	2,3	7,0	75	3,5	0,5	3,2	5,8	1,5	8,3	0,6	1,8
<b>Comp OM</b>	<i>n</i>	311	317	375	335	344	299	313	319	321	312	309	335	344	299	313	319	321	312	309	312	309
	<i>Moy</i>	7,2	20,4	553	272	7,4	0,8	3,8	4,1	4,0	42,9	3,5	4,6	50	1,4	0,1	0,7	0,7	0,7	7,8	0,6	0,8
	<i>E.T.</i>	0,6	6,9	82	69	1,6	0,5	1,1	1,3	1,2	12,9	1,2	1,3	14	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2	2,1	0,2	0,2
	<i>10%</i>	6,5	11,6	463	176	5,6	0,2	2,4	2,6	2,6	27,2	1,8	3,1	31	1,1	0,0	0,5	0,5	0,5	5,4	0,3	0,6
	<i>90%</i>	7,9	30,4	655	362	9,9	1,5	5,3	5,9	5,8	60,5	4,8	6,7	69	1,7	0,3	1,0	1,0	1,0	10,6	0,9	1,1
<b>Marc raisin</b>	<i>n</i>	50	62	72	63	62	46	61	62	59	54	51	41	63	62	46	61	62	59	54	51	41
	<i>Moy</i>	7,4	15,9	417	304	10,8	0,2	7,9														

Annexe 2.b. Résultats analytiques sur les engrais de ferme, concernant les éléments majeurs

		en g/kg de MB											en % de MS									
		pH	C/N	MS	MO	Ntot	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	MO ms	Ntot ms	NH <sub>4</sub> ms	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ms	K <sub>2</sub> O ms	MgO ms	CaO ms	Na <sub>2</sub> O ms	SO <sub>3</sub> ms
Fum Bov	n	176	661	705	688	696	216	665	638	647	652	634	176	688	696	216	665	638	647	652	634	176
	Moy	8,0	13,8	236	160	6,0	0,3	3,4	8,1	2,0	6,9	0,7	2,5	71	2,7	0,2	1,5	3,8	0,9	3,0	0,3	1,1
	E.T.	0,5	3,5	88	50	2,3	0,4	1,8	3,6	0,9	5,3	0,5	1,1	13	0,8	0,3	0,6	1,9	0,3	2,0	0,3	0,4
	10%	7,3	9,4	156	114	3,8	0,0	1,7	3,9	1,0	2,4	0,2	1,5	52	1,8	0,0	0,8	1,9	0,5	1,3	0,1	0,7
	90%	8,5	18,8	348	218	8,9	0,9	5,9	13,7	3,3	13,5	1,4	3,9	85	3,7	0,5	2,3	5,5	1,3	5,0	0,6	1,5
Fum Chev	n	24	47	63	49	48	21	38	38	37	34	38	21	49	48	21	38	38	37	34	38	21
	Moy	7,6	20,4	354	199	4,8	0,0	2,5	4,5	1,6	10,3	0,5	2,3	61	1,5	0,0	0,8	1,5	0,5	3,2	0,1	0,7
	E.T.	0,9	7,5	94	53	1,4	0,0	0,9	1,9	0,6	5,5	0,2	1,1	16	0,6	0,0	0,5	0,8	0,2	1,4	0,1	0,3
	10%	6,6	10,5	218	129	3,6	0,0	1,4	2,1	1,0	4,1	0,3	1,6	36	0,9	0,0	0,4	0,6	0,3	1,4	0,1	0,4
	90%	8,3	31,9	464	277	6,3	0,1	3,7	7,6	2,5	20,5	0,7	3,0	79	2,5	0,0	1,6	2,8	0,9	5,0	0,3	0,9
Fum lap	n	1	49	57	55	53	6	51	50	32	32	31	2	55	53	6	51	50	32	32	31	2
	Moy	7,8	12,0	296	228	8,9	0,9	7,5	10,5	4,2	11,2	1,7	4,9	79	3,2	0,3	2,7	3,7	1,4	3,9	0,6	1,2
	E.T.		2,5	104	80	2,9	0,3	2,4	4,5	1,3	4,3	0,8	1,8	6	0,6	0,1	0,7	1,2	0,4	1,3	0,2	0,0
	10%	7,8	9,0	204	164	5,1	0,4	4,0	5,1	2,1	5,5	0,3	3,7	71	2,4	0,1	1,8	2,0	0,9	2,0	0,2	1,2
	90%	7,8	16,5	482	368	13,1	1,1	10,9	17,2	5,9	18,0	2,8	6,2	87	3,9	0,4	3,5	5,1	1,9	5,7	0,9	1,2
Fum Ov	n	46	111	123	118	116	49	115	113	112	110	108	43	118	116	49	115	113	112	110	108	43
	Moy	8,3	12,3	322	214	8,9	0,7	5,4	15,3	3,1	11,5	1,3	4,1	68	2,9	0,2	1,7	4,9	1,0	3,7	0,4	1,3
	E.T.	0,4	2,5	81	56	2,4	0,8	1,8	5,7	1,0	5,6	0,7	1,3	12	0,7	0,2	0,6	1,7	0,3	1,5	0,2	0,3
	10%	7,8	8,8	215	141	5,6	0,0	3,4	7,5	1,8	5,7	0,5	2,5	50	2,1	0,0	1,1	2,9	0,7	2,0	0,2	0,9
	90%	8,8	16,0	428	288	12,1	2,2	8,1	23,4	4,5	20,8	2,1	5,5	81	3,7	0,7	2,6	7,0	1,4	5,5	0,7	1,7
Fum Porcs	n	8	23	26	24	26	8	23	23	24	23	22	9	24	26	8	23	23	24	23	22	9
	Moy	7,6	14,2	240	168	6,6	0,5	7,0	6,1	2,8	11,3	1,1	2,1	73	2,8	0,2	3,1	2,6	1,2	5,0	0,5	1,1
	E.T.	0,3	4,6	64	40	2,5	0,4	3,0	3,6	1,4	5,3	0,5	0,6	10	0,8	0,1	1,1	1,3	0,5	2,1	0,2	0,3
	10%	7,1	8,6	170	121	3,6	0,0	2,9	2,6	1,5	5,5		1,2	57	1,6	0,0	1,5	1,1	0,7	2,6	0,7	0,7
	90%	7,8	23,2	349	245	9,8	1,0	10,7	13,1	5,4	20,6		2,9	85	4,0	0,5	4,3	4,8	2,0	9,0		1,5
Fum vola	n	101	447	510	484	466	140	434	441	433	427	428	101	484	466	140	434	441	433	427	428	101
	Moy	7,6	10,5	461	321	15,3	1,6	14,7	14,1	4,3	22,3	1,9	5,6	70	3,4	0,4	3,3	3,2	1,0	5,0	0,4	1,3
	E.T.	0,7	3,2	186	148	8,5	1,5	8,3	7,3	2,0	11,9	1,1	3,3	14	1,3	0,6	1,6	1,5	0,4	2,6	0,2	0,5
	10%	6,8	6,7	208	131	4,6	0,1	3,1	4,4	1,5	5,7	0,4	1,1	50	1,8	0,0	1,3	1,7	0,6	2,4	0,2	0,6
	90%	8,4	15,3	711	528	27,1	3,9	26,3	24,0	6,9	38,1	3,5	10,5	83	5,1	0,7	5,1	4,4	1,4	8,4	0,7	1,9

Lis bov	n	129	426	432	427	431	124	405	405	399	400	399	115	427	431	124	405	405	399	400	399	115
	Moy	7,4	11,5	55	42	2,3	1,0	1,1	2,8	0,6	1,8	0,4	0,6	69	5,5	3,2	2,3	8,3	1,3	3,3	1,5	1,3
	E.T.	0,5	8,5	46	36	1,7	0,9	1,4	1,9	0,5	2,1	0,3	0,4	17	3,3	3,3	1,5	7,2	0,7	2,6	2,2	0,6
	10%	6,8	3,3	7	3	0,5	0,2	0,2	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1	40	2,9	0,6	1,2	3,2	0,7	1,6	0,2	0,8
	90%	7,8	19,3	94	73	3,8	1,9	1,9	4,6	1,1	3,2	0,8	1,0	83	10,1	8,9	4,3	21,2	2,1	5,0	4,4	2,0
Lis can	n	70	272	278	273	275	91	270	268	268	268	268	70	273	275	91	270	268	268	268	268	70
	Moy	6,4	7,8	43	32	3,6	2,3	2,1	1,7	0,6	2,7	0,3	0,7	70	11,7	8,3	5,6	5,5	1,8	6,3	1,4	1,8
	E.T.	1,0	7,8	41	33	2,0	1,3	2,0	1,2	0,4	3,2	0,2	0,5	11	5,6	6,2	2,8	3,5	1,0	3,7	1,4	0,7
	10%	5,5	1,9	8	4	1,5	0,8	0,6	0,5	0,2	0,4	0,1	0,2	53	5,6	1,9	3,0	1,8	0,9	3,0	0,4	1,1
	90%	7,5	17,1	87	69	5,7	4,0	4,3	3,0	1,0	5,8	0,6	1,5	81	19,7	16,7	9,5	10,1	3,1	11,1	3,0	2,6
Lis lap	n	24	176	176	176	176	36	172	172	160	160	159	22	176	176	36	172	172	160	160	159	22
	Moy	7,4	12,1	113	88	4,0	1,2	2,9	4,6	1,5	4,6	0,8	1,9	76	4,0	1,6	2,5	5,7	1,5	4,1	1,0	1,4
	E.T.	0,6	5,2	85	68	2,8	0,9	2,4	2,1	1,1	4,2	0,4	1,2	13	1,3	1,5	0,8	4,7	0,4	1,7	0,8	0,6
	10%	6,9	6,5	30	18	1,6	0,4	0,7	2,3	0,5	1,4	0,4	0,7	57	2,7	0,2	1,9	2,7	1,0	2,8	0,4	0,9
	90%	8,5	18,2	193	153	6,7	1,8	4,9	7,2	2,6	7,3	1,4	4,3	84	6,0	4,2	3,4	11,1	2,0	5,7	2,5	2,2
Lis ov	n	5	20	20	20	20	3	20	20	20	20	20	3	20	20	3	20	20	20	20	20	3
	Moy	7,7	9,2	104	70	4,5	2,4	2,5	7,9	1,1	3,9	0,7	1,4	67	4,8	2,2	2,3	8,8	1,0	3,6	0,7	1,5
	E.T.	0,2	3,4	35	23	1,3		1,0	2,1	0,4	2,2	0,6		11	2,1		0,5	5,7	0,3	1,1		0,4
	10%	7,4	5,5	54	31	3,3	2,0	1,2	4,8	0,6	1,9	0,3	1,0	43	3,1	1,9	1,5	4,2	0,6	2,6		1,5
	90%	7,9	14,1	157	107	6,4	2,8	3,5	10,9	1,8	7,3	1,3	1,7	75	6,4	2,6	3,1	13,6	1,4	5,9		1,6
Lis por	n	101	331	339	331	337	100	318	317	311	313	311	94	331	337	100	318	317	311	313	311	94
	Moy	7,8	6,5	43	28	3,5	2,0	2,5	2,4	1,0	3,3	0,6	0,8	62	12,0	8,3	4,9	9,4	2,0	5,9	2,2	1,9
	E.T.	0,4	5,1	71	49	2,1	0,9	6,5	2,0	2,2	11,9	0,4	1,6	11	5,5	4,8	1,9	6,0	0,9	3,3	1,4	0,4
	10%	7,3	1,5	9	4	1,5	0,9	0,3	1,2	0,1	0,3	0,3	0,2	44	6,5	2,6	2,7	3,4	0,9	3,1	0,8	1,3
	90%	8,1	12,9	70	45	5,7	3,3	3,4	3,7	1,5	4,2	0,9	1,2	74	18,9	13,9	6,8	18,6	3,0	8,3	4,4	2,3
Lis vol	n	3	6	6	6	6	2	6	6	6	6	6	3	6	6	2	6	6	6	6	6	3
	Moy	7,8	10,0	185	96	6,5	1,5	7,5	6,0	2,1	20,6	0,8	3,7	56	6,0	0,4	4,4	5,9	1,5	10,9	0,8	1,3
	E.T.		8,0	176	91	3,8		6,9	5,5	1,6	22,1	0,6	1,6	14	3,7		2,5	5,5	0,7	8,1	0,5	
	10%	7,3	3,3	12	7	1,0	1,3	0,3	2,0	0,2	0,5	0,2	1,9	37	2,0	0,3	1,9	1,8	0,6	3,0	0,4	1,1
	90%	8,4	23,3	445	243	11																

Annexe 2.c. Résultats analytiques sur les boues et composts, concernant les ETM et CTO

		En mg/kg de MS																	
		Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	Zn	Σ 4 ETM	Cd	Pb	Hg	Se	Mo	B	As	Σ 7 PCB	Fluoranthène	Benzo(a)P	Benzo(b)F
<b>B Agroalim</b>	n	765	781	1826	1840	1819	1850	1906	1829	1820	1817	178	760	330	49	988	969	969	969
	Moy	11729	153	30	262	21	520	851	1,2	43,8	1,1	0,5	3,5	40,1	4,2	0,21	0,18	0,16	0,18
	E.T.	9677	69	13	127	7	214	338	0,5	20,3	0,7	0,4	1,3	18,1	2,4	0,004	0,141	0,102	0,120
	10%	3332	77	17	84	13	234	369	0,5	18,4	0,2	0,1	1,7	18,9	1,2	0,210	0,050	0,050	0,050
	90%	27413	257	49	441	31	802	1310	1,8	72,9	2,1	1,1	5,1	65,5	7,9	0,210	0,410	0,300	0,350
<b>B indus</b>	n	207	182	629	657	638	639	665	551	553	592	110	209	207	33	380	374	374	374
	Moy	10440	123	20	64	13	206	324	0,3	11,2	0,2	0,5	1,9	28,0	2,1	0,10	0,06	0,05	0,05
	E.T.	13407	129	14	56	11	202	260	0,3	9,7	0,1	0,3	1,7	27,5	1,8	0,057	0,027	0,011	0,013
	10%	449	12	5	11	2	19	62	0,1	2,5	0,1	0,1	0,1	1,8	0,5	0,070	0,050	0,050	0,050
	90%	33179	325	41	157	31	525	765	0,7	27,4	0,3	1,0	4,4	73,3	5,3	0,210	0,100	0,060	0,062
<b>B lag</b>	n	228	225	336	334	341	332	341	322	327	314	42	207	32	10	250	250	250	250
	Moy	17949	250	35	210	23	486	768	1,2	46,6	0,5	1,0	2,9	43,8	3,7	0,09	0,24	0,12	0,14
	E.T.	9798	134	15	134	9	265	408	0,6	23,7	0,4	0,4	2,2	20,4	1,7	0,039	0,201	0,089	0,108
	10%	5549	88	17	44	12	122	218	0,4	16,6	0,1	0,5	0,4	17,7	0,6	0,070	0,050	0,050	0,050
	90%	32375	455	55	423	35	847	1338	2,1	81,3	1,2	1,7	5,9	80,7	5,6	0,154	0,531	0,260	0,300
<b>B papet</b>	n	20	21	89	89	86	76	89	75	74	67	32	26	39	9	39	39	39	39
	Moy	1656	66	13	53	6	98	159	0,2	10,7	0,1	0,4	1,2	6,1	1,0	0,16	0,06	0,05	0,05
	E.T.	746	38	9	53	4	119	131	0,2	8,5	0,0	0,2	0,6	3,8	0,5	0,071	0,026	0,017	0,021
	10%	781	18	3	9	1	7	18	0,1	2,2	0,1	0,1	0,1	0,9	0,4	0,070	0,050	0,050	0,050
	90%	2778	128	28	139	13	315	375	0,4	26,6	0,1	0,8	1,9	11,9	2,0	0,220	0,070	0,050	0,050
<b>B urb ch</b>	n	185	181	401	405	402	404	406	396	392	399	18	182	31	4	239	224	224	224
	Moy	19051	116	20	153	13	307	521	0,8	28,2	0,5	0,9	2,0	37,1	4,5	0,14	0,12	0,11	0,11
	E.T.	16244	59	14	69	5	130	211	0,3	15,3	0,4	0,6	1,3	22,2	3,6	0,068	0,073	0,055	0,061
	10%	3178	40	8	59	7	160	255	0,4	11,8	0,1	0,1	0,2	15,3	1,7	0,070	0,050	0,050	0,050
	90%	47082	205	37	243	20	506	826	1,2	51,3	1,1	1,9	3,9	78,3	9,7	0,210	0,240	0,190	0,200
<b>B urb non ch</b>	n	1632	1608	5427	5614	5465	5508	5715	5373	5399	5407	436	1746	849	235	3200	3143	3143	3143
	Moy	15213	144	27	267	19	527	856	1,2	44,4	0,7	1,3	3,4	49,6	4,4	0,14	0,20	0,13	0,15
	E.T.	14194	85	13	126	8	213	329	0,5	23,0	0,5	0,7	1,7	20,9	3,8	0,064	0,147	0,086	0,101
	10%	3118	46	12	117	9	246	400	0,6	17,4	0,2	0,4	1,2	22,7	1,3	0,070	0,050	0,050	0,050
	90%	38558	272	46	455	30	820	1286	1,8	78,7	1,5	2,3	5,7	80,1	10,5	0,210	0,420	0,263	0,301
<b>Comp B Ch</b>	n		18	30	30	30	18		30	30	30		16	19		14	15	15	15
	Moy		358	34	206	19	467	0,9	54,5	0,3			5,8	68,4		0,11	0,32	0,15	0,22
	E.T.		83	8	92	5	96	0,4	24,0	0,1			11,9	8,5		0,104	0,295	0,100	0,128
	10%		237	23	132	13	299	0,6	33,7	0,1			0,8	54,3		0,070	0,150	0,100	0,138
	90%		477	47	317	24	575	1,2	62,3	0,5			25,8	77,5		0,135	0,590	0,207	0,306
<b>Comp Boues</b>	n	682	666	1956	1975	1962	1982	2007	1942	1950	1899	577	915	241	619	1576	1569	1568	1569
	Moy	17989	247	29	178	18	378	607	1,0	53,6	0,5	0,9	2,5	51,3	4,2	0,16	0,39	0,13	0,16
	E.T.	11658	95	12	83	7	160	247	0,4	27,3	0,3	0,5	1,5	17,2	1,9	0,152	0,613	0,250	0,248
	10%	5009	111	14	63	9	165	262,8	0,4	20,5	0,1	0,1	0,6	27,7	1,7	0,070	0,071	0,050	0,050
	90%	35823	379	46	293	28	605	931,2	1,5	93,1	1,0	1,6	4,5	74,9	6,9	0,220	0,740	0,225	0,300
<b>Comp DV</b>	n	46	41	852	862	862	857	864	807	855	665	634	651	41	777	182	179	179	179
	Moy	6547	227	17	44	12	130	209	0,4	33,3	0,1	0,4	0,9	35,1	3,7	0,14	0,43	0,19	0,20
	E.T.	3070	103	8	19	6	51	74	0,2	17,5	0,0	0,2	0,8	10,1	1,7	0,086	1,142	0,378	0,288
	10%	2394	36	8	20	5	63	108	0,2	10,1	0,1	0,1	0,1	22,6	1,6	0,070	0,050	0,050	0,050
	90%	10110	346	28	70	21	201	309	0,6	57,7	0,1	0,7	1,9	51,3	6,1	0,210	0,560	0,270	0,367
<b>Comp Fum</b>	n			6	12	7	10	12	7				8						
	Moy			15	96	11	262	334	0,4				2,9						
	E.T.			6	60	5	134	189	0,2				1,8						
	10%			8	20	3	89	61	0,1				0,2						
	90%			22	179	16	466	621	0,7				5,2						
<b>Comp OM</b>	n	11		296	296	300	295	296	300	300	298	248	279	19	289	37	37	37	37
	Moy	8006		36	131	29	440	650	1,3	135,5	0,4	0,4	2,1	36,8	2,8	0,20	0,39	0,15	0,22
	E.T.	3479		13	57	10	142	214	0,5	72,3	0,2	0,2	1,0	11,0	1,3	0,108	0,206	0,125	0,157
	10%	4165		19	65	16	279	411	0,6	57,1	0,1	0,1	0,7	24,9	1,3	0,074	0,159	0,050	0,087
	90%	14667		54	215	43	657	959	2,0	246,5	0,7	0,7	3,4	54,8	4,7	0,296	0,640	0,269	0,424
<b>Marc raisin</b>	n			29	34	30	31	34	30	30	29	22	25		23				
	Moy			9	143	9	68	222	0,2	6,5	0,1	0,4	0,6		1,2				
	E.T.			13	93	20	107	185	0,3	7,2	0,1	0,3	0,5		1,0				
	10%			1	10	0	10	32	0,1	1,1	0,1	0,1	0,2		0,3				
	90%			17	294	12	213	438	0,5	21,3	0,4	1,0	1,5		2,9				

Annexe 2.d. Résultats analytiques sur les engrais de ferme, concernant les ETM

		En mg/kg de MS													
		Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	Zn	Σ 4 ETM	Cd	Pb	Hg	Se	Mo	B	As
Fum Bov	n	61	64	73	76	74	73	77	73	72	71	63	80	65	68
	Moy	2529	293	8	37	8	172	231	0,2	5,4	0,1	0,2	1,5	23,3	1,4
	E.T.	1690	97	6	21	6	80	114	0,1	6,5	0,0	0,2	0,8	7,5	1,2
	10%	925	180	3	18	3	83	112	0,1	0,3	0,1	0,1	0,6	12,5	0,2
	90%	4660	421	19	65	17	302	408	0,4	14,6	0,1	0,5	2,7	33,0	3,1
Fum Chev	n			15	15	14	13	15	13	14		11	11		11
	Moy			20	37	6	102	180	0,3	12,9		0,4	0,9		1,8
	E.T.			23	16	3	43	85	0,1	12,5		0,2	0,5		1,1
	10%			2	12	1	40	46	0,1	1,9		0,1	0,1		0,2
	90%			73	62	12	165	302	0,5	39,8		0,8	1,5		3,5
Fum lap	n				2	1		2							
	Moy				77	2		77							
	E.T.				5			4							
	10%				74	2		74							
	90%				80	2		80							
Fum Ov	n	27	27	30	30	29	30	30	28	31		30	31	27	29
	Moy	1705	227	6	29	6	156	208	0,2	3,6		0,2	1,7	32,4	0,9
	E.T.	806	89	3	13	2	57	66	0,1	3,3		0,2	0,8	9,3	0,8
	10%	892	106	2	16	4	91	137	0,1	0,5		0,1	0,8	19,7	0,1
	90%	3010	357	11	51	10	232	316	0,4	10,5		0,5	3,0	47,5	2,2
Fum Porcs	n														
	Moy														
	E.T.														
	10%														
	90%														
Fum vola	n			8	15	8	14	15	9	10	9	8	22	3	9
	Moy		415	10	73	9	259	305	43,2	45,8	0,1	0,4	3,1	12,1	2,0
	E.T.			6	52	4	135	220	128,6	119,8	0,0	0,4	1,9		1,4
	10%		399	4	13	4	67	13	0,1	1,2	0,1	0,1	0,4	1,7	0,1
	90%		431	22	150	17	466	629	386,3	349,8	0,1	1,0	5,9	17,6	4,1

Lis bov	n	25	26	27	29	27	28	29	27	27	26	23	45	22	22
	Moy	2293	233	6	139	15	423	552	0,3	3,6	0,1	1,1	1,7	37,8	1,3
	E.T.	3482	161	9	357	36	366	500	0,4	4,5	0,1	1,0	1,8	21,8	1,2
	10%	25	22	1	11	2	41	52	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	15,3	0,1
	90%	6649	476	12	254	34	905	1491	0,7	10,4	0,2	2,6	4,1	70,3	3,4
Lis can	n			2	2	2	4	3	3	2	2	10	2	2	
	Moy		449		70	9	545	382	576,3	1038,0	0,3	8,8	2,1	0,6	4,2
	E.T.		93		65	7	443	8	500,2	627,0	0,2	4,9	0,1	0,4	3,7
	10%		383		75	11	1124	898	630,6	1770,0	0,3	12,7	5,1	0,7	4,7
	90%		514												
Lis lap	n	3		2	5	2	2	5	2	2	2	2	11	2	
	Moy	1602		1	81	1	69	109	0,2	2,7	0,1	1,3	0,3	0,3	
	E.T.	850			52			109					0,4		
	10%	1086		1	23	0	3	25	0,2	2,7	0,1	0,9	0,2	0,3	
	90%	2583		1	164	1	135	299	0,2	2,7	0,1	1,7	1,1	0,3	
Lis ov	n														
	Moy														
	E.T.														
	10%														
	90%														
Lis por	n			4	10	3	11	8	8	8	3	2	20	1	2
	Moy			730	345	12	954	1403	645,8	948,2	0,1	1,2	5,1	84,4	1,2
	E.T.				260		741	1131	770,8	1112,0			3,3		
	10%			0	46	8	89	135	0,3	2,7	0,1	0,6	1,5	84,4	0,3
	90%			2890	836	16	2211	3054	2240,9	3181,0	0,1	1,8	11,2	84,4	2,1
Lis vol	n														
	Moy														
	E.T.														
	10%														
	90%														
Fientes	n		4	18	33	18	33	33	16	18		15	14	2	16
	Moy		450	9	71	6	413	503	0,3	2,3		0,9	3,6	37,8	0,7
	E.T.			7	32	4	147	170	0,2	1,3		0,9	1,7		0,4
	10%		299	0	25	1	196	266	0,1	0,5		0,1	1,6	35,1	0,2
	90%		645	19	118	11	607	714	0,6	3,9		2,8	6,5	40,4	1,2

Annexe 3. Méthodes d'analyses et abréviations utilisées

ABREVIATION	DETERMINATION	ANALYSE SUR BRUT	ANALYSE DE L'EXTRAIT	ACCREDITATION (C = accrédité)
MS	Matière sèche	NF EN 12880		C
PH	pH	NF EN 12176		C
MO	Matière organique	NF EN 12879		C
Ntot	Azote Kjeldahl	NF EN 13342		C
NH4	Azote ammoniacal	Mise en solution eau	Colorimétrie	-
P2O5, MgO, SO3	Phosphore, magnésium, soufre	Mise en solution eau régale NF EN 13346	ICP-AES NF EN ISO 11885	C
K2O, CaO	potassium, calcium			
Na2O	Sodium	Mise en solution eau régale NF EN 13346	ICP-AES NF EN ISO 11885	-
Fe, Mn, Cr, Cu, Ni, Zn, Cd, Pb, Se, As	Eléments métalliques (ETM) traces	Mise en solution eau régale NF EN 13346	ICP-AES NF EN ISO 11885	C
Hg, Mo	Eléments métalliques (ETM) traces	Mise en solution eau régale NF EN 13346	ICP-AES NF EN ISO 11885	-
HAP	Fluoranthène, Benzo(b)fluoranthène, Benzo(a)pyrène	XP X 33012		C
PCB	PCB 028, 052, 101, 118, 138, 153, 180	XP X 33012		C

Le rapport C/N résulte du calcul :  $C/N = (MO/2) / N_{tot}$ .

La somme Cr+Cu+Ni+Zn, libellée «  $\Sigma$  4 ETM », est calculée à partir de l'analyse de chaque élément de la somme.



Annexe 4.a. Comparaison des concentrations en éléments majeurs entre les engrais de ferme mesurés par le laboratoire LCA et d'autres références

		en g/kg de MB												en % de MS												
		pH	C/N	MS	MO	Ntot	NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	MO ms	Ntot ms	NH <sub>4</sub> ms	P2O5 ms	K2O ms	MgO ms	CaO ms	NaO ms	SO3 ms				
Fumier de bovins	LCA	n Moy E.T.	176 8,0 0,49	661 13,8 3,5	705 236 88	688 160 50	696 6,0 2,3	216 0,3 0,4	665 3,4 1,8	638 8,1 3,6	647 2,0 0,9	652 6,9 5,3	634 0,7 0,5	176 2,5 1,1												
	Bodet et al 2001 corpen 1988 COMIFER 1995	Moy Moy Moy			182-221 148-180	4,9-5,8 5,5			1,7-2,3 2,6 3,6	6,2-9,6 7,2 6,0																
	LCA	n Moy E.T.	46 8,3 0,37	111 12,3 2,5	123 322 81	118 214 56	116 8,9 2,4	49 0,7 0,8	115 5,4 1,8	113 15,3 5,7	112 3,1 1,0	110 11,5 5,6	108 1,3 0,7	43 4,1 1,3												
Fumier d'ovins	LCA	n Moy E.T.	8 7,6 0,26	23 14,2 4,6	26 240 64	24 168 40	26 6,6 2,5	8 0,5 0,4	23 7,0 3,0	23 6,1 3,6	24 2,8 1,4	23 11,3 5,3	22 1,1 0,5	9 2,1 0,6												
	Bodet et al 2001 corpen 1988 COMIFER 1995	Moy Moy Moy			300 230	6,7 7,7			4,0 4,2	12,0 11,2																
	LCA	n Moy E.T.	27 8,40 0,30	22 15,5 4,1	59 308 49	24 236 34	61 9,4 1,7	46 3,0 1,5	62 7,7 2,3	60 14,0 4,8	12 3,4 0,8	12 12,8 2,4	12 2,3 0,6	12 5,0 1,3												
Fumier de volaille	LCA	n Moy E.T.	101 7,6 0,68	447 10,5 3,2	510 461 186	484 321 148	466 15,3 8,5	140 1,6 1,5	434 14,7 8,3	441 14,1 7,3	433 4,3 2,0	427 22,3 11,9	428 1,9 1,1	101 5,6 3,3												
	Bodet et al 2001 corpen 1988 COMIFER 1995	Moy Moy Moy			650-750	22-32 26,0			16-27 23,0	15-20 21,0																
	LCA	n Moy E.T.	70 6,4 0,97	272 7,8 7,8	278 43 41	273 32 33	275 3,6 2,0	91 2,3 1,3	270 2,1 2,0	270 1,7 1,2	268 0,6 0,4	268 2,7 3,2	268 0,3 0,2	70 0,7 0,5	273 70 11	275 11,7 5,6	91 8,3 6,2	270 5,6 2,8	270 5,5 3,5	268 1,8 1,0	268 6,3 3,7	268 1,4 1,4	70 1,8 0,7			
Lisier de canard	LCA	n Moy E.T.	24 7,4 0,57	176 12,1 5,2	176 113 85	176 88 68	176 4,0 2,8	36 1,2 0,9	172 2,9 2,4	172 4,6 2,1	160 1,5 1,1	160 4,6 4,2	159 0,8 0,4	22 1,9 1,2	176 76 13	176 4,0 1,3	36 1,6 1,5	172 2,5 0,8	172 5,7 4,7	160 1,5 0,4	160 4,1 1,7	159 1,0 0,8	22 1,4 0,6			
	ITAVI 2003 Bodet et al 2001	Moy Moy			125 100	100	7,7 4,4	3,1	5,4 1,7	5,1 2,5					80	6,2	2,5	4,3	4,1							
	LCA	n Moy E.T.	5 7,7 0,19	20 9,2 3,4	20 104 35	20 70 23	20 4,5 1,3	3 2,4 0,4	20 2,5 1,0	20 7,9 2,1	20 1,1 0,4	20 3,9 2,2	20 0,7 0,6	3 1,4 0,4	20 67 11	20 4,8 2,1	3 2,2 0,3	20 2,3 0,5	20 8,8 5,7	20 1,0 0,3	20 3,6 1,1	20 0,7 0,4	3 1,5 0,1			
Lisier d'ovins	LCA	n Moy E.T.	101 7,8 0,37	331 6,5 5,1	339 43 71	331 28 49	337 3,5 2,1	100 2,0 0,9	318 2,5 6,5	317 1,0 2,2	311 3,3 2,2	313 0,6 11,9	311 0,8 0,4	94 0,8 1,6	331 62 11	337 12,0 5,5	100 8,3 4,8	318 4,9 1,9	317 9,4 6,0	311 2,0 0,9	313 5,9 3,3	311 2,2 1,4	94 1,9 0,4			
	Levasseur 2005 corpen 1988 COMIFER 1995	Moy Moy Moy			647 36 17	377 25 10	829 3,5 0,7	509 2,5 0,6	960 2,1 0,7	631 2,5 0,6	7 0,6 0,3	7 1,8 0,7	4 0,5	3 0,7												
	LCA	n Moy E.T.	3 7,8 0,55	6 10,0 8,0	6 185 176	6 96 91	6 6,5 3,8	2 1,5 0,3	6 7,5 6,9	6 6,0 5,5	6 2,1 1,6	6 20,6 22,1	6 0,8 0,6	3 3,7 1,6	6 56 14	6 6,0 3,7	2 0,4 0,1	6 4,4 2,5	6 5,9 5,5	6 1,5 0,7	6 10,9 8,1	6 0,8 0,5	3 1,3 0,2			
Lisier de volaille	LCA	n Moy E.T.	46 7,6 0,84193	193 7,9 2,0	250 609 194	216 403 150	222 25,0 9,7	60 2,3 1,3	210 22,2 8,2	201 20,3 7,6	179 6,4 2,6	188 54,0 28,3	179 2,7 1,0	57 7,4 3,2	216 67 11	222 4,5 1,7	60 0,7 1,6	210 3,8 1,2	201 3,5 1,0	179 1,1 0,4	188 9,3 4,3	179 0,5 0,1	57 1,4 0,4			
	OFIVAL 2001 corpen 1988 COMIFER 1995	Moy Moy Moy			200 177	17,2 6,2	8,3	9,7 9,5 11,0	7,9 5,5 8,0	2,2					89	8,6	4,2	4,9	3,9	1,1	9,0					
	LCA	n Moy E.T.	46 7,6 0,84193	193 7,9 2,0	250 609 194	216 403 150	222 25,0 9,7	60 2,3 1,3	210 22,2 8,2	201 20,3 7,6	179 6,4 2,6	188 54,0 28,3	179 2,7 1,0	57 7,4 3,2	216 67 11	222 4,5 1,7	60 0,7 1,6	210 3,8 1,2	201 3,5 1,0	179 1,1 0,4	188 9,3 4,3	179 0,5 0,1	57 1,4 0,4			
Fientes	LCA	n Moy E.T.	46 7,6 0,84193	193 7,9 2,0	250 609 194	216 403 150	222 25,0 9,7	60 2,3 1,3	210 22,2 8,2	201 20,3 7,6	179 6,4 2,6	188 54,0 28,3	179 2,7 1,0	57 7,4 3,2	216 67 11	222 4,5 1,7	60 0,7 1,6	210 3,8 1,2	201 3,5 1,0	179 1,1 0,4	188 9,3 4,3	179 0,5 0,1	57 1,4 0,4			
	OFIVAL 2001 corpen 1988 COMIFER 1995	Moy Moy Moy			720-770	31,8-42,7 18,1			35 26	20 20					4,5-5,5											
	LCA	n Moy E.T.	46 7,6 0,84193	193 7,9 2,0	250 609 194	216 403 150	222 25,0 9,7	60 2,3 1,3	210 22,2 8,2	201 20,3 7,6	179 6,4 2,6	188 54,0 28,3	179 2,7 1,0	57 7,4 3,2	216 67 11	222 4,5 1,7	60 0,7 1,6	210 3,8 1,2	201 3,5 1,0	179 1,1 0,4	188 9,3 4,3	179 0,5 0,1	57 1,4 0,4			

Annexe 4.b. Comparaison des concentrations en éléments majeurs entre les mesures du laboratoire LCA et d'autres références sur les boues et les composts

		n	pH	C/N	en g/kg de MB										en % de MS								
					MS	MO	Ntot	N-NH <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	MO ms	Ntot ms	NH <sub>4</sub> ms	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ms	K <sub>2</sub> O ms	MgO ms	CaO ms	Na <sub>2</sub> O ms	SO <sub>3</sub> ms
Boues agricoles	LCA	n Moy E.T.	2484 7,2 1,14	2593 6,8 2,3	3191 159 129	2684 77 55	2626 5,7 3,9	2510 0,4 0,3	2663 5,4 4,2	2630 0,7 0,5	2705 0,9 0,8	2630 14,5 20,0	2647 0,2 0,1	2621 2,1 1,5	2684 60 16	2626 5,3 2,4	2510 0,6 0,8	2663 4,6 2,2	2630 0,7 0,7	2705 0,7 0,4	2630 8,1 5,8	2647 0,3 0,5	2621 1,8 0,7
	ADEME et al, 2005 (1)	n Moy E.T.	7,00	7,0	120										58	3,5	0,5	2,3	1,4	0,7	9,8	0,9	1,5
Boues lagunage	LCA	n Moy E.T.	464 7,1 0,36	449 8,6 2,1	544 96 69	465 24 13	467 1,4 0,8	439 0,1 0,1	451 1,7 1,2	473 0,4 0,3	476 0,7 0,6	467 7,0 6,7	451 0,2 0,1	465 1,6 1,0	465 35 18	467 2,4 2,2	439 0,3 0,8	451 2,7 2,1	473 0,7 2,0	476 0,8 0,4	467 9,0 7,3	451 0,4 0,7	465 2,3 1,5
	ADEME, 1996	n Moy E.T.			40-120											39114,0		<0,2 - 7,6					
Boues pépétières	LCA	n Moy E.T.	126 7,4 0,66	126 47,2 25,0	143 436 101	125 170 34	125 1,9 0,9	122 0,0 0,0	123 0,8 0,4	125 0,3 0,2	128 2,2 1,6	129 94,6 49,1	128 0,3 0,2	125 2,2 1,1	125 41 14	125 0,5 0,2	122 0,0 0,0	123 0,1 0,1	125 0,1 0,1	128 0,5 0,3	129 21,0 9,4	128 0,1 0,1	125 0,5 0,4
	ADEME et al, 2005 (2)	n Moy E.T.	7,00	78,0	320										64	1,3	0,0	0,7	0,2	1,0	12,6		1,3
Boues urbaines chauffées	LCA	n Moy E.T.	401 11,7 1,77	411 6,4 1,7	559 285 72	432 109 31	420 8,6 2,5	420 0,3 0,2	425 8,7 3,0	418 0,7 0,4	425 1,5 0,6	445 71,8 29,3	427 0,3 0,1	427 4,0 1,6	432 42 12	420 3,3 1,2	420 0,1 0,2	425 3,3 1,1	418 0,3 0,2	425 0,5 0,2	445 24,7 7,0	427 0,1 0,1	427 1,5 0,5
	ADEME, 1996	n Moy E.T.			230-350											2,5-5		3,9					
Boues urbaines non chauffées	LCA	n Moy E.T.	6792 7,6 1,70	7106 6,2 1,3	9250 161 114	7483 78 50	7390 6,6 4,0	6708 0,5 0,4	7396 6,2 4,4	7303 0,6 0,4	7439 1,0 0,7	7319 20,9 27,8	7288 0,2 0,1	7380 2,5 1,8	7483 59 17	7390 5,4 2,2	6708 0,6 0,9	7396 4,7 2,0	7303 0,6 0,8	7439 0,7 0,3	7319 10,0 8,6	7288 0,3 0,6	7380 1,8 0,5
	ADEME2005 ADEME, 1996 (pour la MS)	n Moy E.T.			20-900										6568 59 17	6550 5,0 2,2		6573 8,9 4,7	6572 1,9 3,5		6320 11,3 10,0		

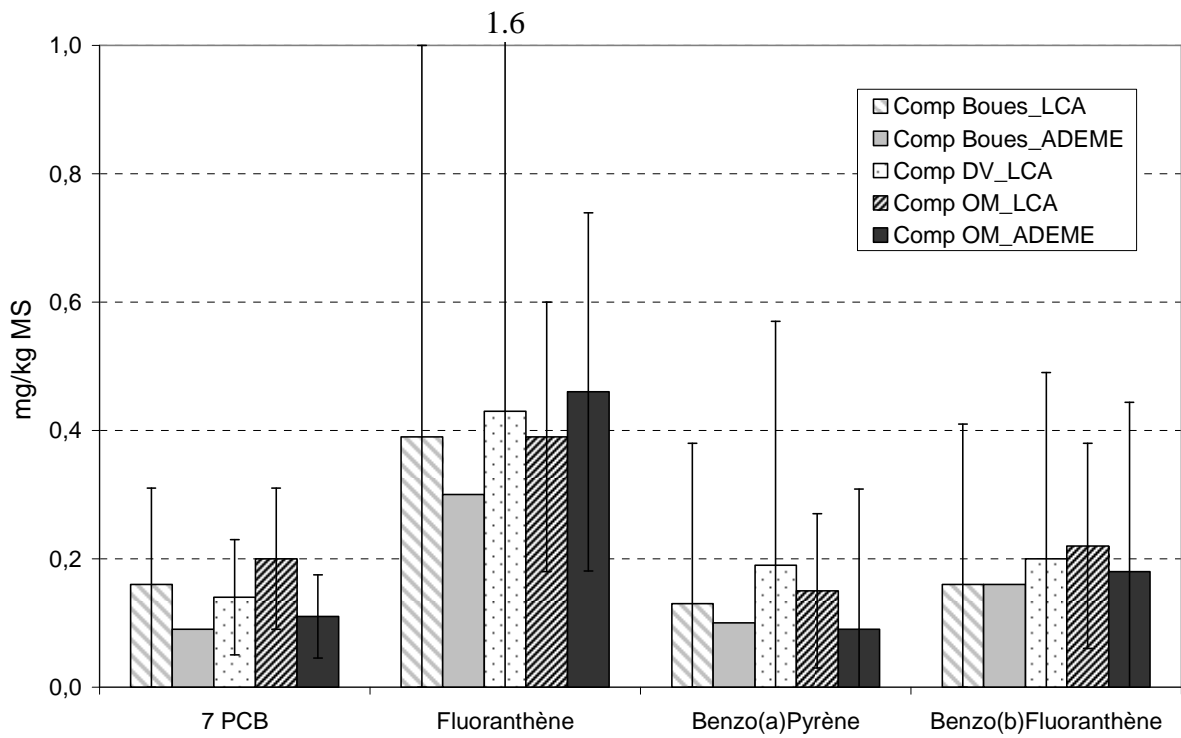
Compost de boues	LCA	n Moy E.T.	2715 7,5 0,60	2825 11,0 2,3	3714 525 123	3014 260 75	2936 12,2 4,1	2458 1,0 0,6	2785 16,1 8,1	2787 3,6 1,6	2793 3,7 1,4	2783 43,0 25,4	2755 0,6 0,3	2751 6,7 2,6	3014 51 14	2936 2,5 1,0	2458 0,2 0,2	2785 3,2 1,7	2787 0,7 0,3	2793 0,7 0,2	2783 8,2 4,5	2755 0,1 0,1	2751 1,3 0,5
	RECYVAL et ADEME, 2000 ADEME et ANJOU VALORISATION, 2001	n Moy E.T.	142 6,70 0,98	139 19,0 9,8	158 480										154 68 19	158 2,2 0,9	66 0,3 0,3	153 4,1 2,7	152 0,6 0,3	141 0,6 0,2	132 7,8 6,8	17 0,1 0,05	17 0,6 0,4
Composts de déchets verts	LCA	n Moy E.T.	1388 7,8 0,86	1606 13,6 3,1	1991 565 102	1703 240 58	1655 8,6 2,4	767 0,1 0,1	1430 3,6 1,3	1436 7,1 2,7	1384 3,3 1,1	1370 34,4 18,4	1368 0,5 0,3	1269 3,0 1,0	1703 44 11	1655 1,6 0,4	767 0,03 0,02	1430 0,65 0,22	1436 1,3 0,5	1384 0,6 0,2	1370 6,1 3,2	1368 0,1 0,1	1269 0,5 0,2
	RECYVAL et ADEME, 2000 ADEME et al, 2005 ADEME et ANJOU VALORISATION, 2001	n Moy E.T.	263 7,99 0,72	280 18,0 8,2											304 47 15	299 1,5 0,6	68 0,1 0,1	272 0,75 0,82	272 1,4 1,1	268 0,6 0,3	278 5,5 3,3	58 0,1 0,3	21 0,7 0,8
Composts de fumiers	LCA	n Moy E.T.	70 8,1 0,41	192 11,0 2,7	216 340 115	203 187 68	200 8,4 3,8	61 0,5 0,7	187 6,5 3,9	186 11,2 6,0	185 3,4 1,5	185 15,0 9,3	182 1,1 0,7	75 3,7 2,1	203 58 14	200 2,6 0,9	61 0,3 0,9	187 2,0 0,9	186 3,5 1,6	185 1,1 0,4	185 4,6 2,4	182 0,3 0,2	75 1,2 0,4
	ADEME et ANJOU VALORISATION, 2001	n Moy E.T.	16 7,87 0,51	17 10,3 2,2											27 51 17	27 2,2 0,6		27 3,1 2,1	27 3,2 1,4	26 1,4 0,8	22 6,4 4,0		
Composts d'ordures ménagères	LCA	n Moy E.T.	311 7,2 0,59	317 20,4 6,9	375 553 82	335 272 69	344 7,4 1,6	299 0,8 0,5	313 3,8 1,1	319 4,1 1,3	321 4,0 1,2	312 42,9 12,9	312 3,5 1,2	309 4,6 1,3	335 50 14	344 1,4 0,3	299 0,1 0,1	313 0,7 0,2	319 0,7 0,2	321 0,7 0,2	312 7,8 2,1	312 0,6 0,2	309 0,8 0,2
	RECYVAL et ADEME, 2000 ADEME et al, 2005 ADEME et ANJOU VALORISATION, 2001	n Moy E.T.	47 7,77 0,74	18 20,4 4,3	62 580 99										62 47 13	62 1,3 0,3	62 0,2 0,1	62 0,7 0,2	62 1,0 0,3	53 0,8 3,1	54 6,1 0,3	21 0,5 0,3	9 1,4 0,8

Annexe 4.c. Comparaison des concentrations sur ETM et les CTO entre les mesures du laboratoire LCA et d'autres références sur les boues et les composts

		En mg/kg de MS																		
		Fe	Mn	Cr	Cu	Ni	Zn	Σ 4 ETM	Cd	Pb	Hg	Se	Mo	Bo	As	Σ 7 PCB	Fluoranthène	Benzo(a)P	Benzo(b)F	
Boues Agroalimentaires	LCA	n	765	781	1826	1840	1819	1850	1906	1829	1820	1817	178	760	330	49	988	969	969	969
	Moy	11729	153	30	262	21	520	851	1,17	43,82	1,10	0,52	3,45	40,14	4,24	0,21	0,18	0,16	0,18	
	E.T.	9677	69	13	127	7	214	338	0,50	20,31	0,67	0,39	1,28	18,06	2,40	0,00	0,14	0,10	0,12	
ADEME et al, 2005 (1)	n	1042	32	28	57	14	199		0,80	10,00	0,20	3,70	15,00	23,00		0,07	0,20	0,04	0,04	
	Moy																			
	E.T.																			
Boues lagunage	LCA	n	228	225	336	334	341	332	341	322	327	314	42	207	32	10	250	250	250	250
	Moy	17949	250	35	210	23	486	768	1,20	46,62	0,52	1,02	2,92	43,84	3,67	0,09	0,24	0,12	0,14	
	E.T.	9798	134	15	134	9	265	408	0,64	23,73	0,41	0,45	2,20	20,45	1,74	0,04	0,20	0,09	0,11	
Wiar et Verdier, 1994 in ADEME et INRA 1995	n			235	236	236	237		224	234	227	35								
	Moy			80	334	39	921		5,3	133	2,7	7,4								
	E.T.																			
Boues papetières	LCA	n	20	21	89	89	86	76	89	75	74	67	32	26	39	9	39	26	26	26
	Moy	1656	66	13	53	6	98	159	0,22	10,69	0,10	0,38	1,15	6,11	0,98	0,16	0,06	0,05	0,05	
	E.T.	746	38	9	53	4	119	131	0,21	8,54	0,00	0,24	0,63	3,76	0,52	0,07	0,03	0,02	0,002	
ADEME et al, 2005 (2)	n			34	61	12,0	135		1,00	13,00	0,20				<8	< 0,5	< 0,05	< 0,02	< 0,02	
	Moy																			
	E.T.																			
Boues urbaines chauffées	LCA	n	185	181	401	405	402	404	406	396	392	399	18	182	31	4	239	224	224	224
	Moy	19051	116	20	153	13	307	521	0,78	28,18	0,54	0,92	1,96	37,07	4,50	0,14	0,12	0,11	0,11	
	E.T.	16244	59	14	69	5	130	211	0,29	15,29	0,36	0,59	1,30	22,24	3,61	0,07	0,07	0,05	0,06	
Wiar et Verdier, 1994 in ADEME et INRA 1995	n			235	236	236	237		224	234	227	35								
	Moy			80	334	39	921		5,3	133	2,7	7,4								
	E.T.																			
Boues urbaines non chauffées	LCA	n	1632	1608	5427	5614	5465	5508	5715	5373	5399	5407	436	1746	849	235	3200	3143	3143	3143
	Moy	15213	144	27	267	19	527	856	1,15	44,35	0,74	1,32	3,43	49,59	4,38	0,14	0,20	0,13	0,15	
	E.T.	14194	85	13	126	8	213	329	0,47	23,03	0,49	0,68	1,66	20,90	3,83	0,06	0,15	0,09	0,10	
ADEME et al, 2005 Wiar et Verdier, 1994 in ADEME et INRA 1995	n			4186	4307	4209	4288		4218	4212	4272	853				2039	1909	2049	1909	
	Moy			41	287	25	630		1,6	83	1,7	3,1				0,38	0,80	0,25	0,50	
	E.T.			70	250	28	523		1,22	212,42	1,90	3,81				0,54	1,20	0,50	0,70	

Compost de boues	LCA	n	682	666	1956	1975	1962	1982	2007	1942	1950	1899	577	915	241	619	1576	1569	1568	1569
	Moy	17989	247	29	178	18	378	607	0,98	53,64	0,51	0,93	2,50	51,29	4,16	0,16	0,39	0,13	0,16	
	E.T.	11658	95	12	83	7	160	247	0,43	27,33	0,31	0,51	1,46	17,24	1,92	0,15	0,61	0,25	0,25	
RECYVAL et ADEME, 2000 ADEME et ANJOU VALORISATION, 2001	n	25	26	96	99	95	99		91	97	84	12	10	13	12	15	15	15	15	
	Moy	19580	303	51	152	26	405		1,62	61,81	2,20	4,02	2,24	25,25	3,30	< 0,09	< 0,3	< 0,1	< 0,16	
	E.T.	19950	162	39	106	25	309		1,88	65,23	1,68	3,39	1,16	11,50	1,93					
Composts de déchets verts	LCA	n	46	41	852	862	862	857	864	807	855	665	634	651	41	777	182	179	179	179
	Moy	6547	227	17	44	12	130	209	0,40	33,28	0,10	0,41	0,91	35,10	3,70	0,14	0,43	0,19	0,20	
	E.T.	3070	103	8	19	6	51	74	0,15	17,46	0,001	0,25	0,78	10,08	1,74	0,09	1,14	0,38	0,29	
RECYVAL et ADEME, 2000 ADEME et al, 2005 ADEME et ANJOU VALORISATION, 2001	n	27	32	102	120	120	119		106	123	89	32	19	15	22					
	Moy	8140	293	46	51	22	186		1,37	87,33	0,52	1,14	3,15	113,82	8,94					
	E.T.	6590	150	37	34	15	110		2,09	75,99	0,78	2,24	4,40	137,90	4,87					
Composts de fumiers	LCA	n			6	12	7	10	12	7				8						
	Moy				15	96	11	262	334	0,39				2,94						
	E.T.				6	60	5	134	189	0,18				1,84						
ADEME et ANJOU VALORISATION, 2001 ADEME et al, 2005	n			17	22	16	22		18	23	10			15						
	Moy			54	250	35	626		1,00	45,17	0,20			5,49						
	E.T.			41	189	22	414		0,40	82,56	0,17			2,8						
Composts d'ordures ménagères	LCA	n	11		296	296	300	295	296	300	300	298	248	279	19	289	37	37	37	
	Moy	8006		36	131	29	440	650	1,29	135,52	0,38	0,38	2,13	36,76	2,85	0,20	0,39	0,15	0,22	
	E.T.	3479		13	57	10	142	214	0,53	72,34	0,25	0,25	0,98	11,02	1,28	0,11	0,21	0,12	0,16	
RECYVAL et ADEME, 2000 ADEME et al, 2005 ADEME et ANJOU VALORISATION, 2001	n	27		62	62	62	62		62	62	62	62	5	22	62	62	62	62	62	
	Moy	10620		153	275	37	639		2,20	425	1,50	0,10	2,95	40,24	3,00	0,11	0,46	0,09	0,18	
	E.T.	4830		127	660	57	735		1,67	331,50	4,91	0,31	0,82	12,55	2,82	0,06	0,61	0,16	0,30	

Annexe 5. Résultats analytiques sur les CTO des composts



Annexe 6. Teneurs limites en matière sèche, matière organique, éléments majeurs, éléments traces et composés traces organiques dans les amendements organiques (NF U 44-051), composts de boues (NF U 44-095) et boues (Arrêté du 8/01/98).

	MS	MO	Ntot	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + K <sub>2</sub> O	C/N	MO
	g/kg MB							mg/kg MS
<b>NF U 44-095</b>	> 500	> 200	< 30	< 30	< 30	< 70	< 20	> 300
<b>NF U 44-051</b>	> 300	> 200*	< 30	< 30	< 30	< 70	> 8	

	Cr	Cu	Ni	Zn	Σ 4 ETM	Cd	Pb	Hg	Se	As	Σ 7 PCB	Fluorant	Benzo(a)	Benzo(b)
	mg/kg MS													
<b>Arrêté 8/01/98</b>	< 1000	< 1000	< 200	< 3000	< 4000	< 10	< 800	< 10			< 0,8	< 5	< 2	< 2,5
<b>NF U 44-095</b>	< 120	< 300	< 60	< 600		< 3	< 180	< 2	< 12	< 18	< 0,8	< 4	< 1,5	< 2,5
<b>NF U 44-051</b>	< 120	< 300	< 60	< 600		< 3	< 180	< 2	< 12	< 18		< 4	< 1,5	< 2,5

\* : 250 dans le cas des marcs de raisin, lisiers, fientes

## Annexe 7. Périodes d'interdiction d'épandage des fertilisants azotés (en région Bretagne).

Tout fertilisant azoté d'origine organique est minéralisé plus ou moins rapidement en fonction de la présence ou non d'azote minéral (ammonium essentiellement) ou de formes proches (urées, acide urique,...). Le rapport entre le carbone et l'azote du fertilisant (appelé C/N), est le principal facteur d'évolution.

Les produits à C/N bas tels que les déjections sans litières évoluent rapidement alors que ceux à C/N élevés comme les déjections avec litières sont minéralisés moins rapidement en fonction de la forme des matières carbonées qui peuvent être plus ou moins dégradables.

### 1. Les éléments fertilisants sont classés en trois types :

<b>Fertilisant de type I</b>	Fertilisant organique à C/N élevé (supérieur à 8), en dehors des déjections de volaille et de palmipède Exemple : fumier pailleux
<b>Fertilisant de type II</b>	Fertilisant organique à C/N faible (inférieur ou égal à 8) et déjections de volaille et de palmipèdes. Exemple : lisiers de bovins et de porcins, engrais du commerce d'origine organique animale...
<b>Fertilisant de type III</b>	Fertilisants minéraux et uréiques de synthèse.

Le classement des boues (au sens du décret 97-1133 du 8 décembre 1997) et composts mélangés s'effectue à partir d'une analyse.

Les effluents peu chargés sont assimilés à des effluents type II au même titre que lisiers et fientes (C/N faible). On désigne par effluents peu chargés : les eaux issues du lavage du matériel de traite (eaux blanches), les eaux issues du lavage des quais, de la fosse et de l'aire d'attente (eaux vertes), les eaux souillées des aires d'exercice (eaux brunes), le mélange des eaux pluviales et du purin sur la fumière (lixiviats).

2. Le calendrier des épandages fixe les périodes minimales pendant lesquelles l'épandage des divers types de fertilisants, y compris les boues ou composts divers, est interdit sur les parcelles dont la prochaine récolte concernera les occupations du sol mentionnées.

### On distingue les situations suivantes :

- Les sols non cultivés, surface non utilisées en vue d'une production agricole. Sont comprises dans cette catégorie les surfaces non cultivées en application des directives ou règlements nationaux ou communautaires.
- Les cultures intermédiaires pièges à nitrates (CIPAN)
- Les grandes cultures de printemps ou d'automne installées. Ce sont les céréales, les oléagineux, les cultures industrielles (pomme de terre, lin, chanvre, jachère industrielle) ainsi que leurs cultures de semence et de reproduction. La période à prendre en compte commence dès la mise en œuvre du processus cultural, voire quelques jours avant le semis.
- Les pommes de terre primeurs de Noirmoutier cultivées dans le cadre d'un assolement maraîcher (légumes sur légumes) sont classées avec les grandes cultures de printemps. Cependant, elles bénéficient d'une dérogation précisée sur le tableau ci-joint.
- Les prairies et les cultures dérobées.
- Les colza d'automne.

### Cas particuliers :

- Les périodes d'interdiction ne s'appliquent pas à l'épandage de déjections réalisé par les animaux eux mêmes.
- L'épandage est interdit toute l'année – et pour tout type de déjection - sur les sols non cultivés.
- L'épandage est interdit sur les Cultures Intermédiaires Pièges A Nitrates (= CIPAN) jusqu'à la fin de la période de maintien obligatoire du couvert.
- Le traitement et l'élimination des effluents peu chargés peut se faire grâce aux systèmes validés dans le cadre du PMPOA par le Comité de Pilotage National selon les cahiers des charges en vigueur. Il est rappelé que tout épandage est subordonné à des conditions pédoclimatiques satisfaisantes.

## Calendrier des épandages – Tableau synoptique

- Interdiction d'épandage
- Interdit en général mais toléré sur chaumes si enfouissement sous 24h (Règlement sanitaire départemental)
- Autorisé mais veiller à respecter l'équilibre de la fertilisation azotée : la bonne quantité au bon moment (Attention aux fertilisations décalées).
- Autorisé avec restriction dans la limite des capacités d'absorption des plantes qui sont faibles à cette époque de l'année
  - 1) respect des doses du plan de fumure
  - 2) en l'absence d'un plan de fumure, respect d'un plafond d'azote d'origine organique de :  
150 u N / ha pour tout type d'effluent sauf le lisier de canard.  
(soit par exemple 5 Tonnes de fumier de volailles/ha ou 25-30 tonnes/ha de fumier bovin ).  
100 u N / ha pour le lisier de canard. (Soit par exemple, 15m<sup>3</sup>/ha de lisier de canard).

### Avant et sur grandes cultures d'automne (sauf colza)

	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Type I												
Type II												
Type III												

### Avant et sur grandes cultures de printemps

	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Type I												
Type II												
Type III *												

\* Sur pommes de terre primeurs de Noirmoutiers, l'épandage d'engrais minéral est autorisé à partir du 15 janvier sous réserve d'analyser les reliquats azotés et d'adapter la fumure en conséquence. L'utilisation d'engrais retard est fortement conseillé.

### Avant et sur prairies ou cultures fourragères dérobées (sauf CIPAN)

	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Type I												
Type II *												
Type III												

\* Sur prairies, l'épandage des effluents peu chargés après traitement selon un procédé validé dans le cadre du PMPOA est possible du 15 novembre au 15 janvier dans le respect des cahiers des charges en vigueur.

### Avant et sur colza d'automne

	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Type I												
Type II												
Type III												

Sur sol non cultivé : épandage interdit toute l'année pour tout type de déjection.

Sur Cultures Intermédiaires Pièges à Nitrates : épandage interdit jusqu'à la fin de la période de maintien obligatoire du couvert.

Annexe 8. Coefficients de corrélation (r) de chaque relation linéaire entre (tableau de gauche) le taux de matière sèche (MS) d'une part, et la matière organique (MO) et les éléments majeurs exprimés par rapport à la matière brute d'autre part et entre (tableau de droite) le taux de matière organique (MO) d'une part, et les éléments majeurs d'autre part exprimés par rapport à la matière sèche. Le signe (-) indique une relation linéaire négative.

<i>MS</i>	<i>MO</i>	<i>Ntot</i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<i>K<sub>2</sub>O</i>
<b>mg / g MB</b>				
<b>B Agroalim</b>	0,82	0,56	0,58	0,57
<b>B indus</b>	0,66	<0,1	<0,1	<0,1
<b>B lag</b>	0,50	0,32	<0,1	0,70
<b>B papet</b>	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>B urb ch</b>	0,56	0,32	0,49	<0,1
<b>B urb non ch</b>	0,82	0,73	0,77	0,48
<b>Comp Bo Ch</b>	0,51	0,73	0,51	0,48
<b>Comp Boues</b>	0,54	0,49	<0,1	0,41
<b>Comp DV</b>	0,41	0,47	0,39	0,40
<b>Comp Fum</b>	0,69	0,69	0,58	0,51
<b>Comp OM</b>	<0,1	0,40	0,51	0,50
<b>Fum Bov</b>	0,75	0,64	0,59	0,48
<b>Fum Chev</b>	0,48	<0,1	0,32	<0,1
<b>Fum lap</b>	0,97	0,82	0,65	0,63
<b>Fum Ov</b>	0,69	0,51	0,36	0,42
<b>Fum Porcs</b>	0,84	0,64	0,57	0,36
<b>Fum vola</b>	0,90	0,77	0,69	0,81
<b>Marc raisin</b>	0,74	0,70	<0,1	0,44
<b>Lis bov</b>	0,99	0,85	0,75	0,79
<b>Lis can</b>	0,98	0,82	0,78	0,62
<b>Lis lap</b>	0,96	0,93	0,93	0,72
<b>Lis ov</b>	0,79	0,32	0,79	<0,1
<b>Lis por</b>	0,96	0,73	0,85	0,69
<b>Lis vol</b>	0,90	0,65	0,79	0,88
<b>Fientes</b>	0,92	0,62	0,70	0,79

<i>MO</i>	<i>Ntot</i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<i>K<sub>2</sub>O</i>
<b>mg / g MS</b>			
	0,75	0,44	<0,1
	0,72	<0,1	<0,1
	0,69	0,67	<0,1
	<0,1	<0,1	<0,1
	0,68	0,37	0,39
	0,76	0,41	<0,1
	<0,1	<0,1	<0,1
	0,54	0,33	<0,1
	0,37	<0,1	<0,1
	0,35	<0,1	0,39
	<0,1	<0,1	<0,1
	<0,1	<0,1	<0,1
	<0,1	0,35	0,32
	<0,1	0,40	0,69
	0,54	<0,1	<0,1
	<0,1	0,46	<0,1
	<0,1	<0,1	<0,1
	<0,1	0,40	<0,1
	0,62	0,44	-0,86
	0,66	0,49	-0,62
	0,53	<0,1	-0,70
	<0,1	0,48	-0,47
	0,61	<0,1	-0,79
	0,51	0,51	<0,1
	0,32	<0,1	<0,1

0,9 < r

0,9 > r > 0,79



