



# Composition des lisiers de porc, facteurs de variation et méthodes d'évaluation

Pascal Levasseur

**L**es effluents porcins sont essentiellement produits sous forme de lisier. Les deux tiers des porcs sont élevés sur caillebotis et cette tendance continue à s'accroître notamment pour des questions d'organisation et de réduction des temps de travaux.

L'importance des quantités de lisier produites incite progressivement les éleveurs à une gestion plus rationnelle de ces déjections. Cependant la détermination de la valeur fertilisante du lisier est rendue difficile par sa variabilité initiale, l'évolution de la concentration des nutriments et les difficultés d'échantillonnage (O'Dell et al., 1995, Asiegbu et Oikeh, 1995). Les différentes méthodes d'analyse, même si elles peuvent paraître coûteuses, contribuent à optimiser l'emploi des engrais minéraux pour une fertilisation raisonnée. Dans un objectif de traitement, une meilleure connaissance de la composition de l'effluent permet de déterminer plus précisément la taille de l'unité d'épuration. Les effluents ne sont cependant pas uniquement constitués d'éléments fertilisants (N, P, K), la présence de métaux lourds peut, à terme, présenter certains risques pour l'environnement.

Afin de mieux connaître le lisier de porc, Techniporc publie un dossier bibliographique qui sera présenté sous la forme de quatre articles :

- . Les constituants minéraux du lisier de porc
- . Références de volume et de composition des lisiers
- . Facteurs de variation de la composition et des volumes de lisier produit
- . Echantillonnage et méthodes d'analyses de la composition des lisiers de porc.

Le lisier est une source de multiples constituants minéraux: macro-éléments primaires (N, P, K), secondaires (Mg, Ca, Na) et oligo-éléments (Cu, Zn, Mn, Fe, S, B, Mo). La disponibilité des macro-éléments du lisier de porc pour les cultures est bonne (N, P) voire comparable aux engrais minéraux (K, Mg). Le devenir agronomique des oligo-éléments semble moins connus.

Pour une bonne adaptation des volumes de lisier épandus aux besoins des cultures, la composition du lisier doit être bien connue. Une surfertilisation ou de mauvaises conditions d'utilisation risquent d'entraîner une pollution des eaux de captage ou un enrichissement excessif des sols en certains constituants minéraux.

Bien géré, le lisier de porc constitue un fertilisant très intéressant.

Résumé

## Les constituants minéraux du lisier de porc

Le lisier de porc contient de nombreux éléments minéraux en proportions variables. Pour une bonne adéquation des apports

aux besoins des cultures, il est indispensable de bien connaître le devenir de ces éléments minéraux dans le sol et leur disponibilité par rapport aux cultures. En cas de surfertilisation, ces constituants présentent parfois des risques pour l'environnement.

## L'azote

### Forme de présentation et caractéristiques de fertilisation

L'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) représente 60 à 75 % de l'azote



total du lisier (Ziegler et Héduit, 1991; Tran et al., 1996), il est rapidement utilisé par la plante car directement assimilable. Soluble dans l'eau, il est généralement bien réparti dans le lisier. La proportion d'azote minérale dans le lisier de porc est intermédiaire entre celle du lisier de bovins (environ 40 %) et celle de la fiente de volaille (environ 70 %). L'azote organique, solide pour partie, constitue la fraction restante (Coillard, 1997). En cours de stockage, le lisier sédimente, la teneur en azote total du lisier est donc légèrement supérieure dans le fond de la fosse.

0,2 à 0,8 selon la période d'épandage, la culture et la régularité des apports (Ziegler et Héduit, 1991).

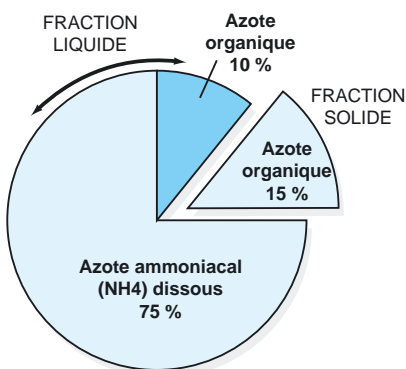
### Risques pour l'environnement, réglementation

Un épandage trop important ou en période défavorable (forte pluviosité, gel ...) entraîne des pertes d'azote par lessivage et ruissellement. La concentration en nitrate

(NO<sub>3</sub>) des nappes phréatiques peut alors dépasser 50 mg par litre d'eau soit le seuil maximal de potabilité de l'eau fixé par la communauté européenne. Les émissions d'ammoniac dans l'atmosphère constituent une autre source de pollution. Elles sont parfois incriminées dans la formation des pluies acides.

En Bretagne, le bilan azoté montre d'importantes disparités locales. Dans les zones à forte

**Figure 1**  
Représentation graphique des différentes formes d'azote



(Coillard, 1997)

Après un épandage de lisier sur une parcelle avec couvert végétal, l'azote minéral est essentiellement absorbé par la plante. Des pertes par volatilisation, par dénitrification ou par lessivage existe cependant. Une partie est également réorganisée dans les matières organiques du sol. En pratique, il est calculé un coefficient d'équivalence engrais qui varie de 0 à 1. Il représente la fraction de la dose totale qui a le même effet sur la culture qu'un engrais minéral de référence. Pour l'azote, le coefficient d'équivalence, en effet direct, varie de

### Réglementations des épandages de lisier

La réglementation française fixe un apport maximal d'azote sur les terres faisant l'objet d'un épandage. Toutes origines confondues, les plafonds sont de 350 kg/ha/an sur prairies de graminées en place toute l'année et de 200 kg/ha/an sur les autres cultures exceptées les légumineuses où les apports sont interdits. Le préfet peut imposer localement des valeurs inférieures pour la protection des eaux souterraines et de surface.

- Dans les Zones en Excédent Structurel (1) telles que définie par l'arrêté du 2 novembre 1993, la quantité maximale d'azote épandu, contenue dans les effluents d'élevage, y compris par les animaux eux-même, ne pourra pas dépasser 170 kg/ha/an pour les nouvelles installations classées. Pour les installations antérieures, des programmes de résorption sont mis en place.
- Dans les zones vulnérables (2) définies au titre du décret n° 93-1038 du 27 août 1993 (figure 2), cette quantité maximale sera limitée à 210 kg/ha/an au 1er janvier 1999, puis 170 kg/ha/an au 1er janvier 2003. Le code des bonnes pratiques agricoles recommande par ailleurs des périodes d'épandage appropriées à chaque type d'effluent, ces recommandations seront obligatoires à partir de 1999. Le lisier de porc, considéré comme un fertilisant de type II (rapport C/N inférieur ou égale à 8) est soumis à des dates d'épandage spécifiques.

**Tableau 1**

#### Dates d'épandage inappropriées pour les fertilisants de type II.

Type de culture	Période d'épandage inapproprié
Sols non cultivés	Toute l'année
Grandes cultures d'automne	Du 1er novembre au 15 janvier
Grandes cultures de printemps	Du 1er juillet au 15 janvier
Prairies de plus de 6 mois non paturées	Du 15 novembre au 15 janvier
Cultures spéciales	A préciser localement

(1) Zones en excédents structurels : Cantons où la production d'azote de l'ensemble du cheptel est supérieur à 170 kg d'azote/ ha/ an.

(2) Zones vulnérables : Surfaces agricoles qui alimentent des ressources en eaux déjà polluées (> 50 mg NO<sub>3</sub> / l d'eau) ou susceptibles de l'être si des mesures ne sont pas prises.



densité d'élevage hors-sol, il tend à se dégrader alors que dans les zones à moyenne densité, l'augmentation de la quantité d'azote provenant des élevages est compensée par la diminution de l'utilisation des engrais minéraux (Aurousseau et al., 1996).

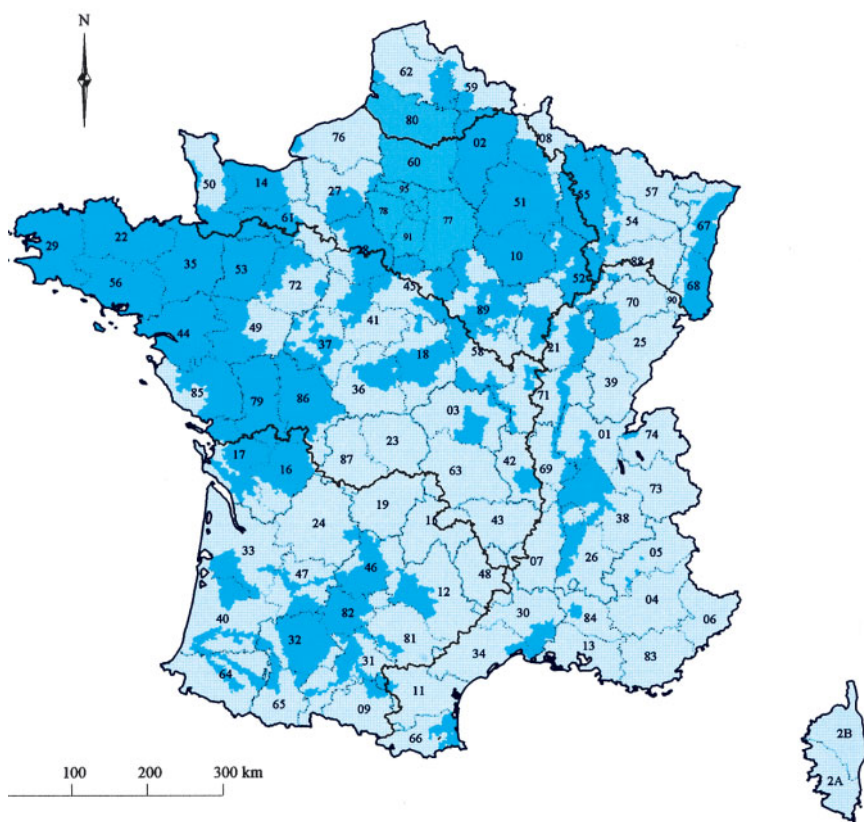
sable par les plantes. Son coefficient d'équivalence engrais est estimé à 0,85 (Ziegler et Héduit, 1991). La disponibilité du phosphore du lisier de porc est comparable à celle du lisier de bovin et supérieure à celle du lisier de volaille car pour ce dernier, le

racines des plantes cultivées car il se fixe de plus en plus fortement sur la fraction minérale du sol. Le phosphore sous forme organique, constitue 10 à 20 % du phosphore total, il provient de la fraction alimentaire non digérée. Il sera minéralisé lentement dans le sol par hydrolyse exoenzymatique.

**Figure 2**  
Zones vulnérables

**DIRECTIVE NITRATES (91-676 CEE)**  
**DELIMITATION DES ZONES VULNERABLES**

Projet version du : 6 mars 1996



- Communes classées en zone vulnérable
- Communes n'ayant pas fait l'objet d'un arrêté
- Communes non classées en zone vulnérable

Sources : Ministères de l'Agriculture & de l'Environnement  
Réalisation DERE - Cellule SIG/BARNIS

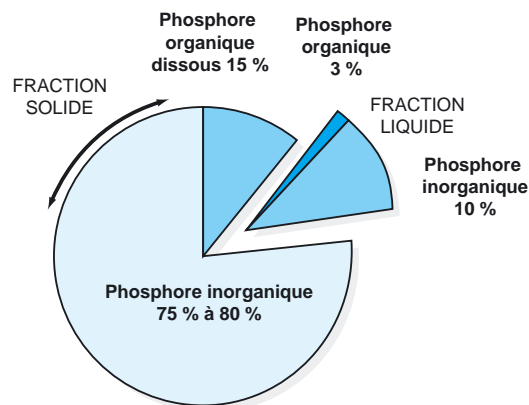
## Le phosphore

### Forme de présentation et caractéristiques de fertilisation

Pour les lisiers de porcs, environ 80 % du phosphore total se trouve sous forme minérale, ce qui en fait un élément rapidement utili-

phosphore n'est minéralisé qu'à 60 %. Le phosphore minéral non utilisé par les cultures en place sera soit fixé sur la fraction minérale du sol par adsorption ou précipitation soit réorganisé sous des formes organiques plus ou moins stables. Avec le temps, le phosphore minéral devient de moins en moins accessible aux

**Figure 3**  
Représentation graphique des différentes formes de phosphore (Coillard, 1997)



Le phosphore est surtout contenu dans les parties solides des déjections animales. Du fait de la sédimentation des particules solides, il est difficile d'obtenir un échantillon de lisier représentatif pour sa teneur en phosphore.

La richesse relative du lisier de porc en phosphore par rapport aux besoins relatifs des cultures en N, P et K, peut entraîner des risques pour l'environnement (Marinova, 1978).

### Risques pour l'environnement

Les phosphates sont des éléments adhérents à des particules du sol. En situation d'excédent, ils s'accumulent dans le sol car ils ne sont pas lessivables, sauf à des taux excessifs (Bateman et al.,





1997). Le phosphore peut se retrouver dans les cours d'eau du fait de l'érosion. Il favorise alors en surface le développement d'algues (cyanophycées) dont la dégradation par les bactéries dans les couches d'eau plus profondes consomme l'oxygène dissous et crée des conditions d'anoxie.

Des campagnes d'analyse de phosphore Dyer dans les sols d'Ille-et-Vilaine, ont montré d'importantes disparités locales (Joubert et al., 1996). Pour tout un ensemble de communes, 25 % au moins des échantillons réalisés ont des teneurs en phosphore Dyer supérieures à 500 mg/kg. Inversement, plus de la moitié des communes du département présentent au moins 25 % d'échantillon en situation de faiblesse avec des teneurs inférieures à 200 mg/kg et même 150 mg/kg de  $P_2O_5$ . D'après l'Institut de l'Environnement (1997), la situation se dégrade essentiellement dans les zones d'élevage intensif. En effet, sur le département du Finistère, Coppenet et al. (1993) constatent un enrichissement de 31 mg de  $P_2O_5$  (Dyer-Demolon)/kg de terre/an pour 23 élevages spécialisés en production porcine. Cet enrichissement est d'autant plus élevé que les apports de lisiers sont importants. Cependant la responsabilité de l'agriculture dans la pollution par les phosphates est à relativiser puisque sa contribution au niveau national ne tient que la troisième place (22 % du total) derrière les pollutions domestiques (49 %) et industrielles (29 %) (Institut de l'Environnement, 1997).

Alors que la France adoptait une réglementation sur une quantité

maximale d'azote à épandre, les Pays-Bas ont préféré réglementer le phosphore. Sur la base des effectifs présents en 1986, toutes exploitations néerlandaises produisant plus de 125 kg de  $P_2O_5$  par hectare se retrouvent en situation excédentaire. L'objectif étant à l'horizon 2008/2010 de parvenir à une situation d'équilibre entre les entrées et les sorties de minéraux au niveau de la parcelle.

### Le potassium

Le potassium est presque exclusivement contenu dans les urines. Quelque soit l'espèce, il est entièrement sous forme de sels minéraux, solubles à plus de 80 % dans l'eau. En conséquence, la disponibilité par rapport aux cultures est très bonne, comparable à celle d'un engrais minéral. Son coefficient d'équivalence engrais est estimé à 1. Le potassium minéral provenant des déjections va être soit utilisé par les cultures en place, soit fixé sur les argiles par adsorption. Dans ce cas, il devient avec le temps, de moins en moins accessible aux racines des plantes cultivées.

Contrairement aux fumiers de bovins et de volailles, les lisiers de porcs contiennent du potassium en faible proportion par rapport aux concentrations d'azote et de phosphore. Cependant Coppenet et al. (1993) ont signalé de forts enrichissements sur des parcelles finistériennes recevant du lisier de porcs, l'ensemble des teneurs des parcelles étudiées avoisine les 400 mg  $K_2O$ /kg de terre, sachant qu'un sol de 250 mg/kg est considéré comme déjà bien pourvu. Les surplus sont lessivés. Les éleveurs de porcs concernés par

cette étude, cultivent beaucoup de maïs grain, faible exportateur de  $K_2O$ . Coppoolse et al. (1990) ont de plus démontré que les apports de potassium dans l'aliment se situent entre 3 et 5 fois les besoins du porc. Dans certains cours d'eau des Pays-Bas, la concentration maximale tolérable de 12 mg K/l était dépassé de 2 à 4 fois (Jongbloed et Lenis, 1991).

### Le magnésium

Bien que partiellement soluble dans l'eau, on considère son efficacité à moyen terme comme équivalente à celle d'un engrais: coefficient d'équivalence engrais du MgO estimé à 1. Le magnésium a un comportement proche du potassium, en cela il existe un rapport  $K_2O/MgO$  souhaitable dans le sol qui devrait se situer entre 1 et 3. Dans le lisier de porc, ce rapport se situe, d'après Tran et al. (1996), entre 4 et 6. L'alimentation joue dans ce domaine, un rôle prépondérant puisqu'avec de la farine,  $r = 3,7$  et avec une alimentation à base de sérum,  $r = 0,8$  (Ziegler et Héduit, 1991). Le rééquilibrage dans le sol à partir des apports de lisier dépend ensuite des exportations par les cultures et des restitutions par le sol. Sur une parcelle recevant 60 tonnes de lisier de porc/ha/an, le maïs ensilage exporte 8 fois plus de potassium que de magnésium (Tran et al., 1996) ce qui contribue à rééquilibrer le rapport  $K_2O/MgO$ . En pratique, il ne semble pas exister de risque d'apports excessifs de MgO avec du lisier de porc.

### Le calcium

Comme le phosphore, le calcium est surtout contenu dans les parties solides des déjections. Cet



élément est considéré pour ces propriétés d'amendement (entretien calcique des sols). Les lisiers de porc contiennent moins de calcium et d'une manière générale, moins de bases échangeables (Ca, Mg, K, Na) par rapport aux autres engrais de ferme, ils luttent moins efficacement contre l'effet acidifiant de l'ammonium. Selon les auteurs, des épandages successifs de lisier n'affectent pas le pH des sols (Wang et Fang, 1978; Ziegler et Héduit, 1991) ou les acidifient (Stadelman et al., 1988 ; Warman, 1990).

## Les oligo-éléments

### Caractéristiques de fertilisation

Les apports alimentaires en oligo-éléments notamment cuivre et zinc sont généralement très supérieurs aux besoins des porcs. Ils se retrouvent en proportions importantes dans le lisier. En conséquence, on observe souvent une augmentation des teneurs en oligo-éléments du sol dans les situations à fortes restitutions. Il est difficile de dire dans quelle mesure les oligo-éléments ainsi apportés au sol sont disponibles pour la plante, mais on peut penser qu'ils sont accessibles au moins en partie. De fait, il est rare d'observer des phénomènes de carences en oligo-éléments dans des parcelles recevant des engrais de ferme. Des références Belges (Meeus-Verdinne, cité par Ziegler et Héduit, 1991) indiquent qu'environ 70 % du cuivre total des lisiers sont assimilables et le restent après mélange avec des sols de culture.

Par ailleurs, le lisier contient beaucoup d'autres oligo-éléments: manganèse, fer, soufre, bore, molybdène mais leur devenir agronomique semble avoir été assez peu étudié. Des niveaux de concentration de ces oligo-éléments dans le lisier de porc seront toutefois présentés dans le prochain article.

### Risques pour l'environnement

Dans les zones recevant de fortes doses de lisiers de porcs, des phénomènes de toxicité risqueront d'apparaître. Jongbloed et Lenis (1993) rapportent que pour le cuivre et le zinc, 8 à 9 porcs/ha suffisent pour maintenir une bonne fertilité du sol alors que par exemple la législation néerlandaise a fixé le seuil maximal de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> épandu à 125 kg/ha soit l'équivalent de 67 porcs/ha. En Ecosse, le règlement permet une application maximale de 3 kg de Cu et 5 kg de Zn/ha/an et ce, pour une période limite de 50 ans (Tran et al., 1996).

Les observations de Coppenet et al. (1993) sur des parcelles du Finistère recevant tous les ans du lisier de porc, montre des enrichissements en cuivre et zinc EDTA de 0,22 et 0,37 ppm/an. De plus, le cuivre EDTA ne représente que 28 à 43 % du cuivre total (Hadlich, 1993 cité par Vertes, 1995) donc les teneurs en cuivre et zinc totaux ne sont pas connues. Le seuil de phytotoxicité est de l'ordre de 120 mg/kg de terre pour le cuivre et le zinc EDTA, l'effet des deux étant cumulatif. Pour arriver à cette teneur, il faut apporter environ 500 kg de Cu + Zn / ha. On pourrait donc voir apparaître des phé-

mènes de toxicité irréversibles dans un délai de 50 à 150 ans selon les situations et les hypothèses retenues (Coppenet, 1974; Coppenet et al., 1993). Le risque de phytotoxicité est accentué dans le cas des sols acides (pH < 6) car la disponibilité des métaux augmente lorsque le pH diminue. Outre ces risques de phytotoxicité, l'accumulation de cuivre affecte également la vie biologique des sols. La population de vers de terre est très affectée pour des concentrations en cuivre supérieure à 50 mg/ kg de terre et devient critique au-dessus de 150 mg/ kg (Wei-Chun, 1988). Le cuivre et le zinc constituent également une source de toxicité pour les invertébrés des sédiments de milieux aquatiques (Bateman et al., 1997).

Cependant, sur les parcelles du Finistère suivies par l'INRA de Quimper, la dernière campagne d'analyse indique un léger fléchissement de la progression des taux de cuivre (Vertes, 1995). Mais les informations sont insuffisantes pour expliquer cette évolution avec certitude.

La présence de macroéléments secondaires et d'oligo-éléments indispensables à la productivité des sols font du lisier de porc un fertilisant intéressant (Warman, 1990; Asiegbu et Oikeh, 1995; Tran et al., 1996). Cependant, pour une fertilisation raisonnée dans le respect de l'environnement, son utilisation doit être judicieusement gérée en terme de volumes utilisés et de complémentarité avec l'utilisation d'engrais minéraux en fonction du type de couvert végétal.



## Valeur économique du lisier de porc

**Estimation de la valeur et du coût à l'épandage de 1 m<sup>3</sup> de lisier.** Hypothèse d'une concentration de 5 unités d'N, 4 unités de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 3 unités de K<sub>2</sub>O, 0,7 unités de MgO et 2,4 unités de CaO/m<sup>3</sup> de lisier.

- Prix hors taxe des engrais aux 100 kg (octobre 1997). Ces prix, donnés à titre indicatif par un groupement de producteur breton, peuvent varier selon les fournisseurs et les régions.

Ammonitrate 33 % : 108 F . . . . .	.3,27 F/kg d'N
Superphosphate 46 % : 140 F . . . . .	.3,04 F/kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Chlorure de potassium 60 % : 99 F . . . . .	.1,65 F/kg de K <sub>2</sub> O
MgO : . . . . .	.2,00 F/kg de MgO
CaO : . . . . .	.0,60 F/kg de CaO

Donc un lisier contiendra:

2,5 x 3,27 = 8,17 F d'N . . . . .	.si 50 % de l'azote est efficace
0,85 x 4 x 3,04 = 10,34 F de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
3 x 1,65 = 4,95 F de K <sub>2</sub> O	
0,7 x 2,00 = 1,4 F de MgO	
2,4 x 0,6 = 1,44 F de CaO	

**Soit par mètre cube de lisier, un apport total de 26,30 FHT et un coût à l'épandage de 9,60 F (\*).**

(\* Prix 1989-1990 pour un épandage de 4 000 m<sup>3</sup>/ an avec une tonne (1 essieu) de 8 000 litres et un temps de transport de 12 mn. Ce coût à l'épandage varie selon les situations de 7 à 21 F/m<sup>3</sup>, il est d'autant plus faible que le temps de transport est court et que le volume annuel de lisier épandu est élevé (Chevallier et Wiart, 1992).

## Références bibliographiques

- . ASIEGBU J.E., OIKEH S., 1995. Evaluation of the chemical composition of manure from different organic wastes and their potential for supply of nutrients to tomato in a tropical ultisol. *Biological Agriculture and Horticulture*, 12: 1, 47-60.
- . AUROUSSEAU P., BAQUE M.C., SQUIVIDANT H., 1996. Les bassins versants de Bretagne et leur charge polluante. Rapport DRAF de Bretagne, 3ème éd., sept. 1996.
- . BATEMAN G., BARDEN A., SMITH R., 1997. Environmental impact of pollutants from pig farming. 58 th Easter school In Agricultural Science. *Progress In Pig Science*, p 61-64.
- . CHEVALLIER D. et WIART J., 1992. Valorisation agricole des boues d'épuration et autres engrais de fermes: les matériels d'épandage. Ed: Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, Groupe inter-agences des agences de l'eau, Ministère de l'agriculture et de la forêt, 50 p.
- . COILLARD J., 1997. Procédés de traitement des lisiers de porc étudiés en France. *Ingénieries-EAT*, 10: 17-33.
- . COPPENET M., 1974. L'épandage du lisier de porcherie. Ses conséquences agronomiques. *Ann. agron.*, 25 (2-3): 403-423.
- . COPPENET M., GOLVEN J., SIMON J.C., LE CORRE L, LE ROY M., 1993. Evolution chimique des sols en exploitations d'élevage intensif: exemple du Finistère. *Agronomie*, 13: 77-83.



- . COPPOOLSE J., VUUREN A.M. van, HUISMAN J., JANSSEN W.M.M.A., JONGBLOED A.W., LENIS N.P., SIMONS P.C.M., 1990. The excretion of nitrogen, phosphorus and potassium by farm animals, now and tomorrow. DLO, Wageningen, 131 p.
- . Institut Français de l'Environnement, 1997. Agriculture et environnement: les indicateurs, 72 p.
- . JONGBLOED A.W., LENIS N.P., 1991. Nutrition as a means to reduce environmental pollution by pigs. Nutrition, Management and pig Production. 42 nd Annual Meeting of EAAP, Berlin, 8-12 september 1991.
- . JONGBLOED A.W., LENIS N.P., 1993. Excretion of nitrogen and some minerals by livestock. Proceedings of the 1rt international symposium on nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Wageningen, NL. 8-11 June 1993. EAAP Publication n° 69.
- . JOUBERT A., AUROUSSEAU P., DUPONT C., WALTER C., 1996. Les sols d'Ille-et -Vilaine. Laboratoire d'analyse agricole de Combourg. 46 p.
- . MARINOVA S., 1978. Characteristics of liquid and solid excrements from large-scale piggeries and a study of some processes during their storage and use. Pochvoznanie i Agrokimiya, 13: 3, 75-82.
- . O'DELL J.D., ESSINGTON M.E., HOWARD D.D., 1995. Surface application of liquid swine manure: chemical variability. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 26: 19-20, 3113-3120.
- . STADELMAN F.X., FROSSARD R., FURRER O.J., LEHMANN V., MOERI P.B., 1988. Effect and cumulative effect of long term application of high doses of sewage sludge and pig slurry on quality of celeriac. Proceeding of the 99th VDLUFA congress, september 1987, Koblenz, RFA. VDLUFA Schriftenreihe, 23: 857-882.
- . TRAN (SEN) T., COTE D., N'DAYEGAMIYE A., 1996. Effet des apports prolongés de fumier et de lisier sur l'évolution des teneurs du sol en éléments nutritifs majeurs et mineurs.
- . VERTES F, 1995. Accumulation en phosphore et métaux lourds dans les sols d'exploitation intensif en Bretagne occidentale. Ingénierie. EAT, 45-50.
- . WANG C.C., FANG I.J., 1978. The effect of the long term application of hog wastes on the soil properties of TSC's sugarcane fields. Taiwan Sugar. 25: 6, 196-204.
- . WARMAN P.R., 1990. Fertilization with manures and legume intercrops and their influence on Brassica and tomato growth, and on tissue and soil Copper, Manganese and Zinc. Biological Agriculture and Horticulture, Vol 6: 325-335.
- . WEI-CHUN M., 1988. Toxicity of copper to lumbricid earthworms in sandy agricultural soils amended with Cu enriched organic waste material. Ecological Bulletins, 39: 53-56.
- . ZIEGLER D., HEDUIT M., 1991, Engrais de ferme: valeur fertilisante, gestion, environnement. éd. ITP, ITCF, ITEB.