



Phosphore et lisier de porc

Solutions et gestion des boues

L'azote et le phosphore sont deux éléments nécessaires à la synthèse des cellules végétales par le biais de la photosynthèse. Cependant, présents en excès dans une eau naturelle, ces éléments peuvent provoquer une prolifération anarchique d'algues et induire, par là même, des déséquilibres biologiques et des pollutions diverses. C'est le processus d'eutrophisation.

Depuis une dizaine d'année déjà, des efforts ont été entrepris pour limiter le transfert d'azote d'origine agricole dans les eaux souterraines et superficielles. En ce qui concerne le phosphore, les efforts se sont plutôt portés sur la maîtrise des rejets d'origine domestique et industrielle principales sources de pollution : lessives sans phosphates, traitement du phosphore en station d'épuration, etc.

Concernant les sources agricoles, le problème provient du phosphore apporté en excès par les épandages d'engrais et de déjections animales et qui n'est pas exporté par les cultures. Une partie de cet excès est transférée par ruissellement lors d'épisodes pluvieux dans les eaux de surface (ruisseaux, rivières et fleuves) tandis que l'autre partie est adsorbée dans les sols. L'accumulation de phosphore dans les sols entretient le potentiel d'eutrophisation des eaux. Il faut toutefois signaler que l'on peut estimer que seul 2% du phosphore présent dans les eaux a pour origine la production porcine.

Résumé

Cet article se propose de faire le point sur la problématique du phosphore issu des effluents de porcherie. Les voies de réduction du phosphore dans les rejets sont rapidement examinées, la majeure partie de cet article étant consacrée aux différentes solutions de gestion du phosphore du lisier.

Le phosphore dans les déjections

Nature du phosphore dans les déjections

Le phosphore du lisier provient principalement des fèces et se trouve lié à la fraction solide (tableau 1). Dans les urines, cet élément est sous forme de phosphates dissous (PO_4^{2-}). Dans les fèces, il est principalement sous la forme minérale et peu soluble de phosphates de calcium ($CaHPO_4$). Le phosphore organique provient principalement des aliments non digérés.

Le phosphore au cours du stockage

Au cours du stockage, le phosphore est transformé par voie biologique. Une partie des formes organiques se minéralise en phosphates

Tableau 1 : Répartition moyenne des différentes formes de phosphore dans le lisier (Héduit et al., 1978)

	Phase liquide	Phase solide
P organique	2 %	18 %
P minéral	10 %	70 %

Catherine GRACIAN



Encadré 1 : Un bref aperçu réglementaire

La gestion des effluents de porcherie est principalement réglementée par la législation des installations classées (arrêtés modifiés du 29/02/92). Selon cette réglementation, l'épandage des effluents de porcherie est limité par la dose d'azote apportée. Cependant, « au cas par cas, en fonction des risques d'érosion des terrains ou de ruissellement vers les eaux superficielles, le préfet peut fixer des limitations des apports phosphatés s'il apparaît nécessaire de renforcer la protection des eaux superficielles ». Ainsi, en Vendée, le Règlement Sanitaire Départemental impose un plafond d'épandage de 100 kg de P_2O_5 /ha/an.

Si cette réglementation ne fixe pas de valeurs limites en phosphore, les rejets en phosphore sont toutefois taxés puisqu'ils participent à l'assiette **redevance pollution** des Agences de l'Eau. Le forfait appliqué pour le phosphore dans le cas des élevages de porc est de 2,3 grammes de phosphore par porc charcutier produit (arrêté du 21/12/99). Toutefois, si une partie des effluents est épandue, la prime pour épuration appliquée au phosphore élimine cet élément de l'assiette redevance.

Enfin, pour inciter à une meilleure maîtrise du phosphore provenant des effluents de porcherie, les **aides des Agence de l'Eau** pour la mise en place d'un procédé de traitement du lisier ne sont effectives que sous certaines conditions :

- alimentation biphase,
- charge en phosphore épandu inférieure à 250 kg P_2O_5 /ha/an.

tandis qu'une partie des formes minérales est assimilée par la flore bactérienne du lisier. Le processus net est une légère minéralisation du phosphore organique. Mais, contrairement au cas de l'azote, la teneur totale en phosphore du lisier reste stable car cet élément n'existe pas naturellement sous forme de gaz. Le phosphore se trouvant principalement sous forme solide dans le lisier de porc, il a tendance à sédimenter au cours du stockage.

Réduction du phosphore excrété

L'influence de l'alimentation sur les rejets en phosphore a déjà été étudiée (Latimier et Pointillart, 1993). Une alimentation biphase, qui adapte les apports en phosphore à l'âge du porc, et l'ajout de phytases microbiennes dans l'aliment, qui augmente la digestibilité du phosphore, permettent de réduire sensiblement le phosphore excrété.

Le CORPEN (1996) dans l'étude qui a servi à l'établissement de valeurs de références a évalué l'impact de l'alimentation sur les

Tableau 2 : Impact de l'alimentation sur les rejets en phosphore des porcs charcutiers (CORPEN, 1996)

	P dans l'aliment (%)	Rejets (kg P_2O_5 /PCP)
Aliment unique	0,60	2,09
Biphase		
- porc en croissance (<60 kg)	0,52	1,42
- porc en finition (>60 kg)	0,45	
Biphase + phytases microbiennes		
- porc en croissance (<60 kg)	0,47	1,16
- porc en finition (>60 kg)	0,40	

rejets en phosphore pour les porcs. Le tableau 2 présente les valeurs annoncées dans le cas de porcs charcutiers ayant un indice de consommation de 2,9.

Élimination du phosphore des effluents

Contrairement à l'azote, le phosphore n'existe pas naturellement sous forme de gaz. Traiter le phosphore d'un effluent liquide revient à transférer cet élément dans une phase de plus faible volume dont la gestion s'avère plus facile. L'efficacité du traitement désigne sa capacité à éliminer le phosphore de l'effluent liquide.

La déphosphatation physico-chimique

Son principe consiste à précipiter les phosphates dissous contenus dans les effluents par ajout de réactifs puis à séparer la phase solide de la phase liquide (Agences de l'Eau, 1994). Les réactifs utilisés sont généralement des sels d'aluminium, de fer ou de calcium. Les sels de métaux (fer et aluminium) sont utilisés pour des effluents à caractère acide tandis que la chaux est préférée pour des effluents à caractère basique. Les réactifs doivent être ajoutés en excès par rapport aux phosphates pour en assurer une précipitation complète. En effet, ces produits sont susceptibles de réagir avec

Une alimentation biphase et l'ajout de phytases microbiennes dans l'aliment permettent de réduire sensiblement le phosphore excrété.



d'autres composés chimiques contenus dans l'effluent à traiter.

Une déphosphatation physico-chimique réalisée en amont d'un traitement biologique (pré-précipitation) nécessite l'usage de quantités importantes de réactifs et produit de gros volume de boues tandis qu'une déphosphatation en aval (post-précipitation) consomme moins de réactifs et produit moins de boues. La pré-précipitation possède toutefois l'avantage de soulager l'étape biologique.

La déphosphatation biologique

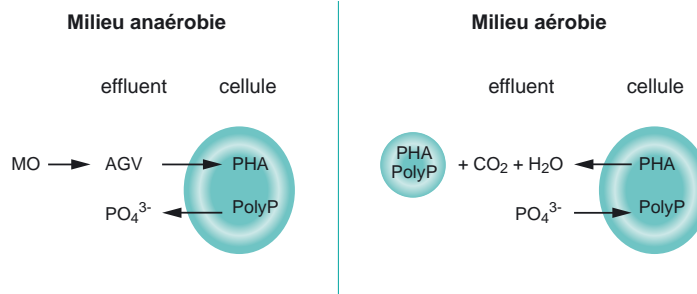
Principe

Le principe de la déphosphatation biologique repose sur la capacité de quelques micro-organismes à stocker, sous certaines conditions, du phosphore dans leur cellule. Le processus nécessite l'alternance de phases d'anaérobiose et d'aérobiose (Delgenès et al., 1999):

En milieu anaérobie (figure 1), la fraction facilement fermentescible de la Matière Organique (MO) de l'effluent est transformée en Acides Gras Volatils (AGV). Les bactéries déphosphatantes, qui sont aérobies facultatives et hétérotrophes, ont la capacité d'absorber et de stocker ces AGV dans leurs cellules sous forme de PolyHydroxy-Alcanoates (PHA). L'énergie nécessaire à cette absorption est fournie par hydrolyse de PolyPhosphates (PolyP) contenus dans les cellules de ces bactéries, en phosphates (PO_4^{3-}).

Lorsque ces bactéries déphosphatantes se retrouvent en milieu aérobie (figure 1), elles utilisent leurs stocks de PHA comme substrat carboné. Ceci leur évite de rentrer en compétition avec le reste de la biomasse hétérotrophe

Figure 1 : Accumulation par les cellules de matière organique en anaérobiose et de polyphosphates en aérobiose.



pour l'obtention du substrat carboné nécessaire à leur métabolisme (apport énergétique et synthèse cellulaire). Simultanément, elles absorbent les phosphates contenus dans le milieu pour reconstituer leurs réserves en polyphosphates.

La succession de périodes aérobies et anaérobies a pour conséquence la sélection de cette biomasse stockant le phosphore sous forme de polyphosphates. Le résultat net est un transfert du phosphore minéral contenu dans le liquide à traiter vers la matière cellulaire constituant les boues biologiques.

Les performances de la déphosphatation biologique dépendent de plusieurs paramètres opératoires. Ainsi, l'effluent doit contenir de la matière organique (MO) facilement fermentescible pour permettre la production d'acide gras volatils (AGV) en anaérobiose, les rapports DBO_5/P et DCO/P de l'effluent à traiter doivent respectivement être de l'ordre de 20 (Cooper, 1995) et 30 (ADEME, 1996). La présence de nitrites ou de nitrates dans la zone d'anaérobiose où s'effectue le relargage des phosphates est défavorable au processus de déphosphatation pour deux raisons :

- la présence de nitrates (accepteur d'électron) inhibe la fermentation de la matière organique (MO) en acide gras volatil (AGV);

- la compétition entre les bactéries dénitrifiantes et les bactéries déphosphatantes pour obtenir du substrat carboné est en faveur des dénitrifiantes.

C'est pourquoi un traitement de l'azote par nitrification/dénitrification est généralement conjoint au traitement du phosphore. Le temps de séjour dans le réacteur anaérobie est généralement de l'ordre de 1 à 3 heures. Celui-ci doit être ajusté avec précision aux caractéristiques de l'effluent et à la charge à traiter pour éviter tout relargage de phosphates sans accumulation conjointe de PHA, le substrat carboné étant épuisé. L'âge des boues ne doit pas être élevé.

Cas du lisier de porc

L'étude de l'élimination du phosphore des lisiers par voie biologique est récente. Elle a commencé suite à des observations réalisées par Bortone et al. (1992) sur le devenir du phosphore dans un procédé de traitement classique du lisier par nitrification/dénitrification. Ces auteurs ont mis en évidence une accumulation des phosphates sous forme de polyphosphates intracellulaires témoignant de la mise en place d'une déphosphatation biologique. Suite à ces observations, un procédé à l'échelle laboratoire éliminant l'azote et le phosphore du lisier de porc a été développé et étudié par les mêmes

L'efficacité du traitement désigne sa capacité à éliminer le phosphore de l'effluent liquide.



80 à 90 % du phosphore du lisier se trouve sous forme solide. Aussi, la séparation des phases liquide et solide du lisier constitue une solution de traitement.

auteurs (Bortone et al., 1994). Ce procédé discontinu utilise deux réacteurs biologiques : l'un a biomasse libre, l'autre à biomasse fixée. Les efficacités observées sont supérieures à 90% sur le carbone organique total, l'azote et le phosphore.

D'autres études expérimentales ont été par la suite effectuées sur le sujet afin de simplifier le procédé. Ainsi, Lee et al. (1997) ont montré que la déphosphatation biologique pouvait être réalisée par simple ajout de lisier au préalable fermenté (10 jours) au démarrage de la phase d'anoxie (pas d'aération) dans un procédé classique de traitement biologique du lisier de porc. Ces auteurs annoncent eux aussi des efficacités sur l'azote et le phosphore supérieures à 90%. Ra et al. (1998), ont ensuite mis en évidence que de tels procédés discontinus réalisant simultanément la nitrification/dénitrification et la concentration du phosphore dans les boues biologiques pouvaient être conduits par mesure du potentiel d'oxydo-réduction.

Les techniques de séparation de phase

80 à 90 % du phosphore du lisier se trouve sous forme solide. Aussi, la séparation des phases liquide et

solide du lisier constitue une solution de traitement. Il existe trois grands principes de séparation liquide - solide : la décantation, la filtration et le pressage. En traitement du lisier, ces trois principes peuvent être appliqués.

Décantation

La décantation des matières solides peut se faire par gravité, par centrifugation, par flottation ou par application d'une force électromagnétique. Dans le cas du lisier, seules les décantations gravitaire et centrifuge sont actuellement utilisées. Les mécanismes de la décantation font intervenir la taille et le poids spécifique des matières solides en suspension. La décantation gravitaire se décline en différentes versions : simple (procédé discontinu), avec racleur et en lit de boue (procédés continus).

Filtration

La filtration consiste en un passage du mélange liquide-solide à séparer au travers d'un milieu poreux (filtre) qui retient les solides et laisse passer les liquides (filtrats). Lorsque la taille des particules est supérieure à celle des pores, la filtration est dite de surface. Dans le cas contraire, les particules sont arrêtées à l'intérieur de la masse poreuse et la filtration est dite de volume ou sur lit filtrant.

Parmi les équipements de filtration de surface utilisés pour le traitement des lisiers, on trouve les tamis vibrants, les tables d'égouttage et les filtres à bande (Figure 2). Les lits filtrants sont la plupart du temps constitués de sable, de roseaux, voire de terre et de pailles.

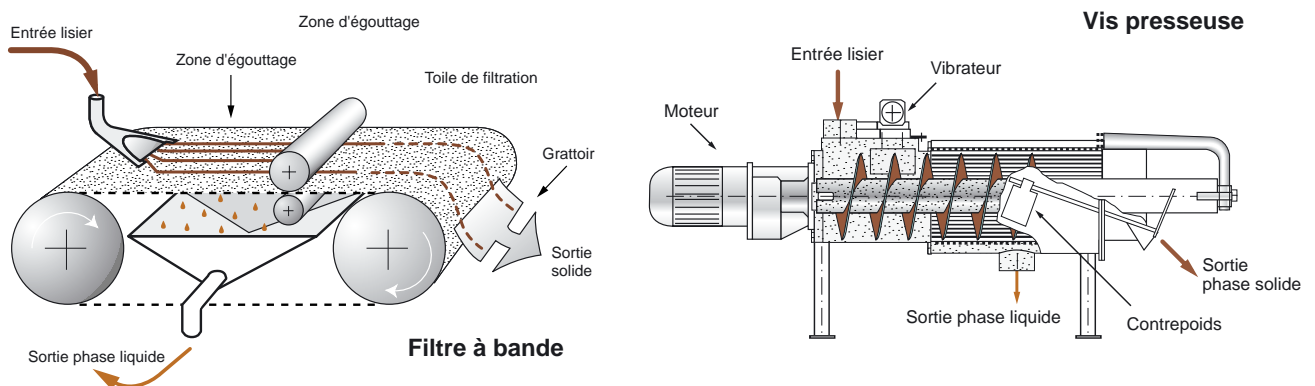
Pressage

Le pressage permet d'éliminer la phase liquide contenue dans un solide par action mécanique, en exerçant une pression sur ce solide. Cette opération peut se faire en continu ou en discontinu selon le type d'équipement utilisé. Parmi les procédés de pressage en continu, on distingue les vis presseuses, les presses à disques, à bandes, ... (Figure 2). En traitement des lisier, les vis presseuses sont largement utilisées.

Coagulation-Floculation

En traitement des eaux résiduaires, la coagulation-floculation est principalement utilisée pour le traitement non pas des eaux mais des boues biologiques (épaississement). En traitement des lisiers, la coagulation-floculation est utilisée pour augmenter les performances de la séparation de phase. L'ajout de coagulants dans le lisier permet de déstabiliser les colloïdes présents dans l'effluent liquide en agissant sur les différents facteurs

Figure 2 : Schéma de principe d'un filtre à bande et d'une vis presseuse





qui les maintiennent en suspension (solvation, forces électrostatiques répulsives entre colloïdes). En présence d'une agitation douce, ces particules déchargées vont rentrer en collision les unes avec les autres et s'agglomérer. Les coagulants les plus usités sont des sels de fer et d'aluminium, produits qui sont aussi utilisés pour la déphosphatation chimique.

La floculation est assurée par l'ajout de polymères. Ce sont des molécules à longue chaîne carbonée qui piègent les particules et qui par des mécanismes successifs d'adsorption et de réticulation forment des floccs solides (figure 3). Le choix d'un polymère se fera non seulement d'après la nature de l'effluent mais aussi d'après la technique avale de séparation de phase qui nécessite, pour être optimale, des conditions précises de viscosité, de résistance mécanique et de taille des floccs.

Retours d'expérience en traitement du lisier de porcs
Pieters et al. (1999) ont testé différents équipements de séparation de phase du lisier. Le tableau 3 présente les résultats obtenus : débit pouvant être traité par le séparateur et efficacités d'élimination de la matière sèche et du phosphore de l'effluent liquide. Ces résultats montrent que la vis presseuse étudiée a une plus grande capacité de traitement que les deux autres séparateurs mais que son efficacité vis à vis de l'élimination des matières sèches et du phosphore est moindre.

Figure 3 : Formation des floccs

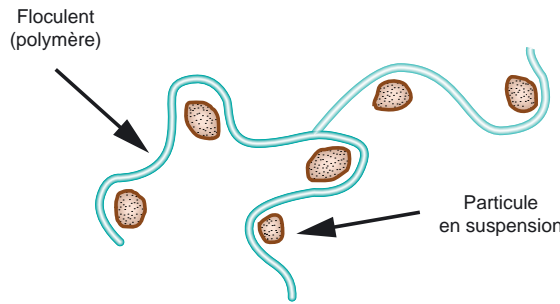


Tableau 4 : Efficacités d'une centrifugeuse avec et sans floculants (Coillard et Texier, 1994).

	MS (mg/l)	P (mg/l)
Entrée (lisier + boues)	36 103	836
Sortie sans polymère	17 695	350
Sortie avec polymère		
dose 1 : 0,5 kg/h	10 321	120
dose 2 : 0,3 kg/h	12 696	196

D'autres auteurs, ont mis en évidence le bénéfice de l'utilisation de floculants lors d'une séparation de phase par décantation centrifuge (Coillard et Texier, 1994). Dans cette étude, des essais de centrifugation ont été effectués sur un mélange lisier- boues biologiques avec ou sans ajout de floculant. Le débit traité est de 7m³/h. Les résultats obtenus quant à la matière sèche et au phosphore sont présentés dans le tableau 4.

Deux procédés actuellement développés sont à distinguer car ils réalisent à la fois une filtration de volume et une dégradation biologique des matières contenues dans le lisier. Il s'agit des procédés de biofiltration sur tourbe (Buelna et al., 1997) et de filtration sur sol (Martinez, 1995).

Les techniques membranaires

Principe

Une membrane est une barrière qui sous l'effet d'une force de transfert va permettre ou interdire, selon ses caractéristiques de sélectivité, le passage de certains composants entre deux milieux qu'elle sépare. Le perméat désigne le flux de matière qui traverse la membrane et le rétentat le flux qui est retenu par la membrane. La force motrice ou la force de transfert de cette séparation est généralement induite par une différence de pression entre l'amont et l'aval de la membrane. Les membranes peuvent être poreuses ou denses. Trois types de mécanismes sont mis en jeu selon les séparations membranaires:

- **la filtration** : les molécules de dimensions élevées (encombrement stérique) sont stoppées tandis que les autres passent à travers les micropores de la membrane;
- **la perméation** qui implique un changement en phase vapeur du perméat;

Deux procédés actuellement développés réalisent à la fois une filtration de volume et une dégradation biologique des matières contenues dans le lisier : la biofiltration sur tourbe et la filtration sur sol

Tableau 3 : Performances de différents séparateurs de phase testés expérimentalement

	Filtre presse	Tamis vibrant	Vis presseuse
Débit traité (m ³ /h)	0,20-0,35	1,0	6,5
Efficacité MS (%)	51	17	26
Efficacité P (%)	42	3	7



Les procédés membranaires possèdent l'avantage de conserver la valeur fertilisante du lisier en concentrant les éléments N, P et K dans un faible volume

• **l'osmose inverse** : en appliquant en amont de la membrane une pression supérieure à la pression osmotique de l'effluent, l'eau contenue dans cet effluent va traverser la membrane vers le milieu le plus dilué.

Cas du lisier de porc

Les procédés membranaires possèdent l'avantage de conserver la valeur fertilisante du lisier en concentrant les éléments N, P et K dans un faible volume (le rétentat). Ils sont moins énergivores que les procédés de déshydratation mais demandent des équipements pouvant résister à de très fortes pressions. Du fait

de leur technicité, ils ont été peu développés pour le traitement du lisier.

En France, le procédé Lisikit utilise les techniques membranaires pour traiter du lisier de porc après un prétraitement par coagulation-floculation. Les performances rapportées quant à l'épuration du P et du N de la phase liquide sont respectivement de 98 % et 90 % (Texier, 1998). Le refus de tamis et le rétentat, qui contiennent les éléments fertilisants, sont ensuite stabilisés et compostés.

Cependant, aucune réalisation de ce procédé à l'échelle d'un élevage n'existe.

Une étude récente (Pieters et al., 1999) démontre les bonnes performances d'une filière de traitement du lisier de porc utilisant successivement une séparation de phase par filtration, une étape de microfiltration et une étape d'osmose inverse. Les auteurs annoncent une concentration en phosphore de l'effluent épuré comprise entre 2 et 9 mg/l, l'effluent épuré représentant 77 % du volume initial de lisier traité. Cependant aucune solution n'est proposée pour la gestion des phases concentrées (refus de tamis, rétentat).

Une autre étude (Thörneby et al., 1999) portant sur un procédé de

Encadré 2 : Performances des procédés commercialisés en France

Le tableau A présente les performances d'élimination du phosphore de la phase liquide annoncées par les principaux constructeurs de procédés de traitement physico-chimique des lisiers en France.

Tableau A : Efficacités de différents procédés de traitement physico-chimique du lisier (d'après plaquettes commerciales constructeurs)

Procédé	Principe	Efficacité P (%)
Sirven	Déshydratation	100
Smelox	Séparation de phase (non précisée) Stripping NH ₃ Oxydation NH ₃	20
Balcopure	Stripping NH ₃ Lavage acide NH ₃	0*
Ecoliz	Filtre presse avec floculants	90
AVDA	Floculation et filtration Précipitation	98
Agrifiltre	Filtration sur paille	80

* une séparation de phase en amont du procédé est possible et permet d'éliminer une partie du phosphore

Dans les procédés biologiques de traitement du lisier commercialisés en France, l'élimination du phosphore ne dépend que des séparations de phase amont et/ou aval du réacteur biologique. Le tableau B présente leur efficacité quant à l'élimination du phosphore de l'effluent liquide.

Tableau B : Efficacités de différents procédés biologiques de traitement du lisier (d'après plaquette commerciale constructeur)

	Type de séparation de phase	Efficacité P(%)
Val Epure	Vis presseuse	15
	Centrifugation avec polymère	75 à 85
Bio Armor	Vis presseuse	20
	Traitement physico chimique	90
Technolyse	Centrifugation et décantation	70 à 85



traitement du lisier par osmose inverse montre les avantages d'une séparation fèces - urine à la source plutôt qu'une séparation de phase classique du lisier en amont de la membrane. En effet, une séparation la plus amont possible réduit la dissolution des produits non digérés tels que la cellulose contenus dans les fèces et par là même la pression osmotique du liquide à traiter. Ces auteurs annoncent eux aussi de bonnes performances techniques quant à la concentration du phosphore et de l'azote par osmose inverse.

Valorisation agricole des boues phosphatées

Tous les procédés de traitement du phosphore produisent un co-produit riche en phosphore. Rejeter dans le milieu naturel ce co-produit sans ce soucier de son devenir équivaut à un simple transfert de pollution. Il convient donc de définir des filières de gestion des boues riches en phosphore. La valorisation agricole apparaît être la meilleure solution pour des boues issues du traitement des effluents de porcherie. Selon les cas, les co-produits sont épandus par l'éleveur ou sont exportés hors de l'exploitation. Afin de minimiser les coûts, les filières d'exportation devront réduire au maximum les volumes à transporter.

Biodisponibilité du phosphore des différents types de boues

Une étude bibliographique de l'ADEME (1996) rapporte que la biodisponibilité du phosphore dans les différents types de boues issues du traitement des eaux usées domestiques peut être classée selon :

Boues Flocculées
Boues Physico-chimiques

< Boues Activées classiques

< Boues Activées de déphosphatation biologiques

Lors d'une déphosphatation biologique, les polyphosphates accumulés dans les cellules des micro-organismes sont facilement hydrolysés en ions orthophosphates. Ceux-ci sont directement assimilables par les végétaux alors que le phosphore contenu dans des boues activées classiques se trouve principalement sous forme d'acides nucléiques non assimilables à court terme.

Caractéristiques des co-produits du lisier

Dans le tableau 5, les caractéristiques moyennes de co-produits issus du traitement de 1 m³ de lisier sont donnés (EDE 29, 1999). Le coefficient d'équivalent engrais représente l'efficacité du phosphore contenu dans le co-produit par rapport à un engrais mono-phosphaté.

Simulation

L'objectif de cette simulation est de calculer les volumes d'effluents de porcherie (lisier, boues, com-

post) à épandre sur une terre cultivée pour répondre aux besoins en phosphore des cultures. Les résultats obtenus permettront de comparer les différents co-produits.

La simulation est effectuée pour répondre à un besoin de 70 kg de P₂O₅ assimilable par hectare.

Méthodes de calcul

Le volume de co-produit à épandre sur un hectare pour satisfaire le besoin en phosphore, V_{cp} et le volume de lisier correspondant, V_{lcp} sont :

$$V_{cp} = \frac{70}{[P_2O_5]_{cp}} (2 - E_{cp}) \text{ m}^3/\text{ha}$$

$$V_{lcp} = \frac{V_{cp}}{R} \text{ m}^3/\text{ha}$$

[P₂O₅]_{cp} : concentration en acide phosphorique dans le co-produit (g/l)

E_{cp} : efficacité du phosphore contenu dans le co-produit par rapport à un engrais phosphaté monocalcique

R : Facteur de concentration du volume (volume de co-produit par unité de volume de lisier brut)

Tableau 5 : Caractéristiques des boues et co-produits Ordres de grandeurs (EDE 29, 1999).

	Volume (m ³ /m ³ lisier brut)	MS (%)	P ₂ O ₅ (g/l)	N (g/l)	K ₂ O (g/l)	Eq. engrais phosphaté
Lisier brut	1	5	3	4	3	0,85 ⁽¹⁾
Lisier composté	0,3	30	8	6	11	0,85 ⁽²⁾
Lisier déshydraté	0,06	90	43	67	43	0,3 ⁽³⁾
Refus de tamis	0,1	30	6	6	4	0,85 ⁽²⁾
Boues biologiques	0,4	5	6	3	4	0,9 ⁽⁴⁾

(1) Héduit et Ziegler, 1991

(2) supposé identique au lisier brut en l'absence de références

(3) valeur pour des boues déshydratées de stations d'épuration urbaine, ADEME, 1996

(4) valeur pour des boues biologiques de stations d'épuration urbaine, ADEME, 1996



Les quantités de phosphore, d'azote et de potasse apportés par le co-produit sont :

$$QP_{2O_5} = V_{cp} [P_{2O_5}]_{cp}$$

$$QN = V_{cp} [N]_{cp}$$

$$QK_2O = V_{cp} [K_2O]_{cp}$$

$[P_{2O_5}]_{cp}$: concentration en phosphore dans le co-produit (g/l)

$[N]_{cp}$: concentration en azote dans le co-produit (g/l)

$[K_2O]_{cp}$: concentration en potasse dans le co-produit (g/l)

Afin de minimiser les coûts, les filières d'exportation devront réduire au maximum les volumes à transporter.

Résultats

Le tableau 6 présente les résultats de la simulation : les volumes de co-produits à épandre pour satisfaire aux besoins en phosphore de la culture le volume de lisier brut équivalent aussi les charges en phosphore, en azote et en potasse réellement apportées.

Ces résultats permettent de comparer les différents effluents entre eux :

- Le **lisier brut** est un engrais relativement bien équilibré. Cependant, un gros volume est nécessaire pour satisfaire aux besoins en phosphore. Le transport de ce produit sur de longues distances n'est donc pas rentable.
- Le **compostage** du lisier avec de la paille permet une réduction de un tiers des volumes à

épandre tout en ne multipliant pas les co-produits à gérer.

Le compost produit contient toutefois peu d'azote par rapport au phosphore. Bien que les volumes restent importants, le compost peut être exporté hors de l'exploitation car il est directement utilisable en tant que support de culture.

- La **déshydratation** du lisier aboutit à la production de deux effluents : une eau déminéralisée et un produit sec contenant la totalité des minéraux du lisier. L'utilisation de ce co-produit sur l'élevage s'avère problématique pour deux raisons :
 - La première est que les faibles volumes nécessaires pour répondre aux besoins des cultures engendrent des difficultés techniques d'épandage de ce produit avec du matériel classique (épandeur à fumier).
 - La seconde raison est la diminution de la biodisponibilité des nutriments dans ce produit, si l'on se base sur les coefficients donnés par l'ADEME dans le cas de boues urbaines déshydratées. Cette diminution peut induire un dépassement des charges en nutriments permises. Ainsi dans cette simulation, la charge en azote de 170 kg/ha est dépassée pour satisfaire les besoins en phosphore. Par contre, ce procédé permet d'optimiser l'exportation du lisier hors de l'élevage.

• Le **tamissage** du lisier conduit à deux effluents contenant les éléments N, P et K qu'il faut gérer séparément. Le refus de tamis, qui contient trop de phosphore par rapport à l'azote et la potasse est facilement exporté hors de l'exploitation tandis que le lisier tamisé est géré comme du lisier brut.

• De même, dans le cas d'un **traitement biologique** par nitrification/dénitrification sans séparation de phase, deux produits sont à gérer : l'effluent liquide et les boues biologiques. Ces deux produits ont de faibles teneurs en azote comparées à leur teneur en phosphore et sont agronomiquement déséquilibrés. Les volumes de boues produits sont relativement importants. Aussi, un épaissement, voire une déshydratation, des boues biologiques s'impose en vue de leur exportation. Dans le cas d'un traitement biologique avec séparation de phase, il faut rajouter la gestion du refus de tamis aux deux autres produits (boues, lisier traité).

Conclusion

Les réserves de phosphore dans le sol sont des sources potentielles de pollution des eaux par cet élément, principal facteur de l'eutrophisation. L'épandage de lisier, lorsqu'il apporte plus de phosphore que ce

Tableau 6 : Résultats de la simulation : Volume à épandre et charge en N, P, K

	Volume à épandre V_{cp} (m ³ /ha)	Volume lisier équivalent V_{lcp} (m ³ /ha)	Charge en phosphore QP_{2O_5} (kg/ha)	Charge en azote QN (kg/ha)	Charge en potasse QK_2O (kg/ha)
Lisier brut	27	27	81	107	81
Lisier composté	10	34	80	60	110
Lisier déshydraté	3	50	129	201	129
Refus de tamis	13	130	78	78	52
Boues biologiques	13	33	78	39	52



qui est exporté par les cultures, participe à l'augmentation des stocks de phosphore dans les sols.

Deux solutions complémentaires existent pour maîtriser le phosphore issu de l'élevage de porcs : diminution des rejets par la voie alimentaire, concentration du phosphore du lisier dans une phase plus ou moins solide. Il existe différents procédés pour éliminer le phosphore des eaux usées : déphosphatation biologique, précipitation, osmose inverse. Dans le

cas particulier du lisier de porc où le phosphore se trouve essentiellement sous forme particulaire, les procédés de séparation de phases constituent des solutions à part entière.

Le traitement du phosphore aboutit donc à la production de deux produits : l'un liquide, normalement exempt de phosphore et l'autre, le plus souvent solide où est concentré le phosphore. Contrairement à l'épuration de l'azote, il reste à gérer après traitement ces

boues phosphatées. La meilleure solution consiste bien sûr à les recycler en agriculture en respectant la réglementation en vigueur.

Cette étude bibliographique laisse plusieurs questions en suspens sur la problématique du phosphore du lisier de porc et de l'environnement. Il reste notamment à déterminer les filières de valorisation des boues riches en phosphore issues du traitement des lisiers. Cela implique de définir les meilleurs conditionnements de ces produits

Deux solutions complémentaires existent pour maîtriser le phosphore issu de l'élevage de porcs : diminution des rejets par la voie alimentaire, concentration du phosphore du lisier dans une phase plus ou moins solide.

Encadré 3 : Quelques définitions relatives à l'eau, la pollution et l'assainissement

Pollutions diffuses : qui contaminent indirectement les milieux aquatiques par ruissellement ou infiltration.

Pollutions ponctuelles : qui contaminent les milieux aquatiques à partir d'un point d'émission.

Eaux de surface ou eaux superficielles : qui s'écoulent ou qui stagnent à la surface de l'écorce terrestre (lithosphère).

Eaux souterraines : qui se trouvent sous la surface du sol en contact direct avec le sol ou le sous-sol et qui transitent plus ou moins rapidement (jour, mois, année, siècle, millénaire) dans les fissures et les pores en milieu saturé ou non.

Eaux résiduaires : issues des activités humaines, industrielles ou agricoles et rejetées après usage.

DBO₅ : la demande biologique en oxygène à 5 jours représente la fraction de l'effluent oxydé par voie biologique en 5 jours.

DCO : la demande chimique en oxygène représente la fraction de l'effluent oxydé en présence d'un oxydant chimique puissant (bichromate de potassium).

MES : les matières en suspension représentent la fraction solide d'un effluent.

MS : les matières sèches sont constituées du résidu sec après évaporation de l'eau, c'est à dire des matières en suspension et des matières solubles.

Colloïdes : particules généralement chargées électriquement qui restent en suspension dans l'effluent.

Réacteur à biomasse fixée : les micro-organismes responsables de l'épuration sont fixés sur un support (biofiltre, lits bactériens, disques biologiques).

Réacteur à biomasse libre : les micro-organismes responsables de l'épuration sont en suspension dans l'eau à traiter (boues activées).

Milieu aérobie : qui contient de l'oxygène sous forme dioxygène dissous.

Milieu anaérobie : qui ne contient pas d'oxygène.

Milieu anoxie : qui contient de l'oxygène sous toute autre forme que du dioxygène dissous.

Hétérotrophe : qui utilise le carbone sous forme organique pour son métabolisme.

Autotrophe : qui utilise le carbone sous forme minérale pour son métabolisme.



Des orientations qui prendraient en compte la problématique environnementale dans son ensemble, restent à poursuivre.

pour une utilisation sur l'élevage ou pour une exportation sur un site de transformation.

La sensibilisation de l'opinion publique aux problèmes des nitrates a permis le développement des procédés de traitement par nitrification/dénitrification,

avec comme conséquences négatives un déséquilibre NPK des engrais de ferme produits et une perte de richesse fertilisante. A l'heure actuelle, on se focalise sur la concentration et l'exportation du phosphore. Demain, ce seront de nouveaux enjeux : sanitaire, métaux lourds.

Aussi, plutôt que de résoudre les problèmes environnementaux un à un, il serait souhaitable d'avoir une vision plus globale de la gestion des effluents de porcherie. Des orientations qui prendraient en compte la problématique environnementale dans son ensemble, restent à poursuivre. ■

Référence bibliographiques

- ADEME (1996) La valeur phosphatée des boues résiduelles des stations d'épuration urbaines, 172 pages.
- Agences de l'Eau (1994) La lutte contre la pollution des eaux usées domestiques par le phosphore, In L'assainissement des agglomérations : techniques d'épuration actuelles et évolutions, 170 pages.
- Bortone G, Gemelli S, Rambaldi A, Tilche A (1992) Nitrification, dénitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treating piggery wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, 26 : 5-6, 977-985.
- Bortone G, Malaspina F, Stante L, Tilche A (1994) Biological nitrogen and phosphorus removal in an anaerobic/anoxic sequencing batch reactor with separated biofilm nitrification, *Wat. Sci. Tech.*, 30 : 6, 303-313.
- Buelna G., Dubé R., Lessard P., Cotte F., Gracian C., Fanlo J.L. (1997) Désodorisation du lisier de porc par le procédé de biofiltration sur support organique BIOSORMC, 4ème Congrès International sur la Caractérisation et le Contrôle des Emissions d'Odeurs et de COV, 20-22 Octobre, Montréal.
- Coillard J, Texier C (1994) Le traitement à la ferme des lisiers de porcs excédentaires, Journées de la recherche porcine en France, Paris, 141-150.
- Cooper P, Day M, Thomas V (1994) Process option for phosphorus and nitrogen removal from wastewater, *J.IWEM*, 8, 84-92.
- CORPEN (1996) Estimation des rejets d'azote et de phosphore des élevages de porcs. Impact des modifications de conduite alimentaire et des performances techniques, 23 pages.
- Delgenès JP, Bernet N, Dabert P, Moletta R (1999) Phosphorus removal from waste waters, *Biodépol'99 - Les biotechnologies au secours de l'environnement*, 26 et 27 octobre, Rennes.
- EDE 29 (1999) Tout savoir sur le traitement du lisier, Guernévez, 13 avril, 28 mai, 24 juin.
- Héduit M, Roustan JL, Lefevre B, Bernard CR (1978) Valorisation et dégradation des effluents d'élevage porcin, Journées de la recherche porcine en France, Paris, 335-362.
- Latimier P, Pointillart A (1993) Influence de l'apport en phosphore (0.4 - 0.5 - 0.6%) sur les performances, les rejets de phosphore et la minéralisation osseuse chez le porc charcutier, Journées de la recherche porcine en France, Paris, 277-286.
- Lee SI, Park JH, Ko KB, Koopman B (1997) Effect of fermented swine wastes on biological nutrient removal in sequencing batch reactors, *Wat. Res.*, 31 : 7, 1807-1812.
- Martinez J (1996) Traitement des déjections animales (lisiers) en France : Bref aperçu, *Ingénieries-EAT*, hors série « Déjections animales en Europe », 31-38.
- Pieters JG, Neukermans GGJ, Colanbeen MBA (1999) Farm Scale Membrane Filtration of Sow Slurry, *J. Agric. Engng Res.*, 73, 403-409.
- Ra CS, Lo KV, Mavinic DS (1998) Real time control of two-stage sequencing batch reactor system for the treatment of animal wastewater, *Environmental Technology*, 19, 343-356.
- Texier C (1998) Traitement des lisiers : descriptif des procédés français, ITP, Paris, 23 pages.
- Thörneby L, Persson K, Trägårdh G (1999) Treatment of liquid effluents from dairy cattle and pigs using reverse osmosis, *J. Agric. Engng Res.*, 73, 159-170.
- Ziegler D, Héduit M (1991) Engrais de ferme, Valeur fertilisante, gestion, environnement, 35 pages.

Contact :
catherine.gracian@itp.asso.fr