Recycler le phosphore des effluents d'élevage

Introduction

Le phosphore (P) est un élément indispensable à la vie. Il est utilisé sous forme minérale pour optimiser la croissance végétale ou animale. Mal assimilé, une partie est excrétée dans l'environnement. De même, une partie du P intégré à la fabrication des détergents se retrouve dans les eaux usées. Or, un excès de P dans les eaux de surface conduit à l'eutrophisation voire au développement de cyanobactéries dans les cours d'eau et les lacs, dégradant leur état biologique et compromettant la pêche, la pisciculture, la baignade et leur utilisation pour la consommation humaine (figure 1).

Luc Brient

Efflorescence à cyanobactéries sur la pré-retenue de la Chèze (Ille et Vilaine)

Le P des eaux peut être d'origine ponctuelle comme le rejet des stations d'épuration (STEP) ou diffuse comme les particules de sols fertilisés, entraînées par le ruissellement et l'érosion.

Dans les régions de culture ou d'élevage intensif on estime que plus de la moitié du P des cours d'eau a pour origine des sources diffuses[1]. Pour éviter les risques d'eutrophisation, la réglementation sur l'épandage des produits contenant du P se renforce. Les agriculteurs sont incités à mettre en œuvre de « bonnes pratiques agricoles » limitant les apports de fertilisant à la quantité exportée par les cultures. Mais dans les zones d'élevage intensif, la quantité de fertilisant (azote et P) produite par les déjections animales est supérieure au besoin des cultures. Le traitement actuel du P consiste à le concentrer avec la phase solide des effluents contenant la matière organique (boues ou refus de centrifugation). Cependant, le taux d'humidité des boues ou la concentration en matière organique des produits de déshydratation augmentent le coût de transport, rapporté à l'unité de P, réduisant fortement la compétitivité de ces produits vis-à-vis des engrais minéraux. De plus, leur mode d'application, la disponibilité du P et l'équilibre entre les différents éléments fertilisants ne permettent pas de répondre aux besoins spécifiques de certaines cultures. Ainsi, dans les zones de production animale ou à proximité des STEP, nous sommes dans la situation paradoxale d'un excès d'effluent riche en P que l'on exporte ou que l'on immobilise par un traitement coûteux, d'une part et de la nécessité d'importer des engrais minéraux dont le P est immédiatement disponible pour les plantes, d'autre part. Le recyclage sous une forme directement substituable aux engrais chimiques permettrait de résoudre cette contradiction.

Comment ?

Quelques systèmes associent traitement et recyclage du P. Le produit obtenu est soit du phosphate de calcium utilisable dans l'industrie du P[2], soit de la struvite dont l'efficacité agronomique a été démontrée[3]. Ces procédés sont applicables lorsque le P à éliminer est sous forme dissoute. Une adaptation est nécessaire à leur transfert aux

Cemagref
Sciences, eaux & territoires

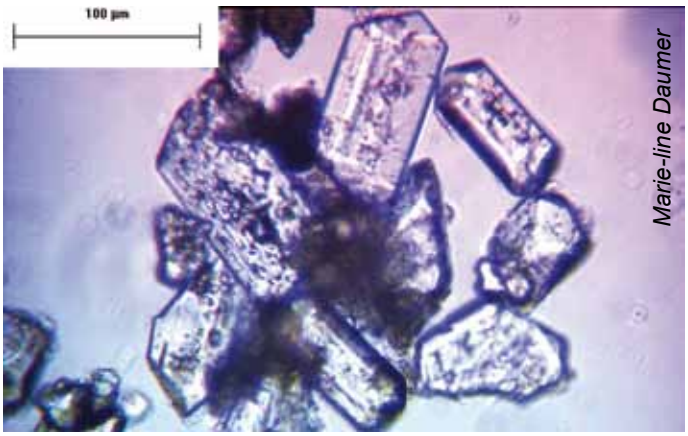
déjections animales dont le P est majoritairement sous forme particulaire, minérale, mais mêlée à la matière organique.

Les Objectifs du Cemagref

L'objectif des travaux du Cemagref est d'améliorer les connaissances sur les formes du P des effluents et leur évolution au cours des traitements pour développer des procédés de recyclage sous une forme substituable aux engrais minéraux phosphatés, réduisant ainsi les risques d'eutrophisation et préservant la ressource.

Les travaux en cours

La caractérisation des formes du P des lisiers a montré que 60 à 80 % du P est sous forme minérale particulaire composée principalement d'une forme amorphe de phosphate calcique et de cristaux de struvite (figure 2). Le reste se répartit entre les formes dissoutes et les formes organiques particulaires.



Cristaux de struvite observés dans le culot de centrifugation d'un lisier de porc

Pour séparer le P minéral de la matière organique un procédé en 4 étapes a été conçu[4] :

- dissolution du P minéral particulaire,
- séparation de la phase liquide enrichie en P de la phase solide contenant la matière organique,
- précipitation chimique du P,
- filtration directe dans les sacs de transports de l'engrais obtenu.

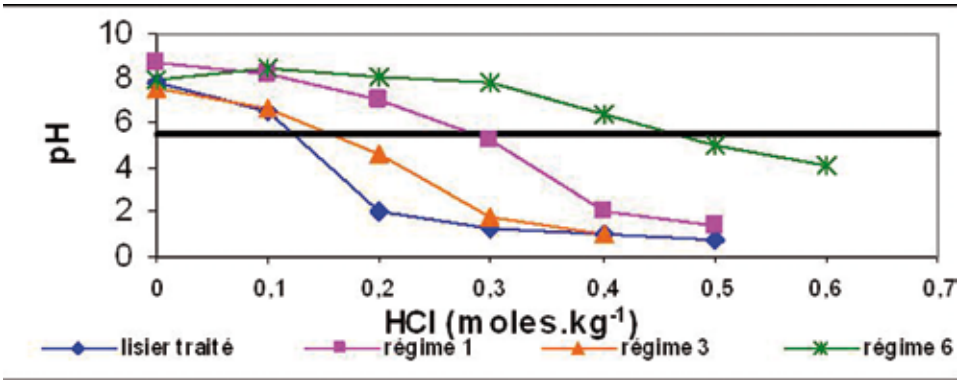
Les travaux menés par le Cemagref, en collaboration avec l'INRA, ont montré que la modification du régime alimentaire des porcs[5] ou le traitement biologique par nitrification dénitrification des lisiers[6-7] pouvaient contribuer à la dissolution du P. Cependant, aucune de ces deux pratiques n'est suffisamment efficace à elle seule. Une acidification chimique est nécessaire.

L'acide formique (HCOOH) permet de dissoudre le phosphore sans augmenter la concentration en sels ni la charge carbonée. Plus de 98 % du phosphore dissous est ensuite précipité par ajout de magnésie (MgO) (sous-produit de la fabrication des aliments). Le produit obtenu est un mélange de phosphate calcique et magnésique (struvite).

Les étapes de séparation en amont et en aval de la précipitation déterminent le taux de recyclage du procédé. Lorsque la décantation est utilisée pour séparer le liquide enrichi en P dissous en amont de la précipitation, environ 50 % du P initial peut être précipité et les cristaux formés par l'ajout de magnésie ont une taille suffisante pour être retenus par le sac filtrant. Lorsque la séparation amont est réalisée sur une table d'égouttage avec ajout de polymère 80 % du P initial peut ensuite être précipité mais les cristaux sont petits et ne sont pas retenus par le sac.

L'optimisation du procédé passe par l'obtention de cristaux de grande taille. Une meilleure compréhension des mécanismes biologiques, physiques et chimiques qui régissent la cristallisation aidera à déterminer les conditions optimales pour la croissance des cristaux. Ces travaux, plus fondamentaux, s'appuient sur des projets réunissant les compétences disciplinaires internes et externes et les outils analytiques d'équipes spécialisées en Génie des Procédés, Chimie, Modélisation des processus chimiques et biologiques et en Agronomie[8].

Une première évaluation économique a montré que le coût de l'engrais recyclé, principalement imputable à l'étape de dissolution le rend peu compétitif par rapport aux engrais chimiques importés. Cependant, la tendance pourrait s'inverser d'ici quelques années du fait de l'évolution du prix des engrais, liée à la raréfaction de la ressource et à l'augmentation du coût de l'énergie[9].



Quantité de réactif nécessaire pour atteindre pH 5.5 (régime 1 : 13 % d'azote dans la ration + phytase ; régime 3 : 13 % d'azote dans la ration + acide benzoïque + phytase ; régime 6 : standard

Bibliographie

1 - Crittenden S., Daumer M-L., 2008, T*raitement et Valorisation du Phosphore issu des effluents agro-alimentaires, en particulier laitiers*. Etude bibliographique, Cemagref, BBA (confidentiel)

2 - Ueno, Y., and M. Fujii (2001). *«Three years experience of operating and selling recovered struvite from full-scale plant.»* Environmental Technology 22: 1373-1381

3 - Battistoni, P., B. Paci, F. Fatone., and P. Pavan. (2006). *«Phosphorus Removal from Anaerobic Supernatants: Start-Up and Steady-State Conditions of a Fluidized Bed Reactor Full-Scale Plant.»* Ind. Eng. Chem. Res. 45(2): 669

4 - Daumer, M.-L., Béline, F., Sperandio, M. (2007) a. *Relevance of a perchloric acid extraction scheme to determine mineral and organic phosphorus in swine slurry.* Bioresource technology

5 - Daumer M-L, Guiziou F., Dourmad, J-Y.(2007). *Influence de la teneur en protéines de l'aliment et de l'addition d'acide benzoique et de phytase microbienne sur les caractéristiques de l'effluent chez le porc à l'engraissement.* 39emes journées de la Recherche Porcine, Paris

6 - Daumer, M. -L, Béline, F., Guiziou F., Sperandio, M. (2007)b. *«Influence of pH and biological metabolism on dissolved phosphorus during biological treatment of piggery wastewater.»* Biosystems Engineering 96(3), 379-386

7 - Daumer, M. -L., Béline, F., Guiziou, F. Sperandio, M. (2007)c. *«Effect of nitrification on phosphorus dissolving in a piggery effluent treated by a sequencing batch reactor.»* Biosystems Engineering 96(4), 551-557

8 - Principaux partenaires institutionnels : LISBP, Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Biologiques et des Procédés , INSA Toulouse ; LGC, Laboratoire de Génie Chimique UMR CNRS 5503 , Université Paul Sabatier, Toulouse ; LBE, Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement INRA, Narbonne ; TCEM, INRA UMR 1220 *Transfert sol-plante et cycle des éléments minéraux dans les écosystèmes cultivés,* Bordeaux ; UMR SENAH, Systèmes d'élevage, nutrition animale et humaine, INRA, Rennes

9 - M.-L. Daumer, S. Picard, P. Saint-Cast, P. Dabert (2010). *"Technical and economical assessment of formic acid to recycle phosphorus from pig slurry by a combined acidification–precipitation process".* J.of Hazardous material, 180 (1-3), 361-365

Contact scientifique *(http://cemadoc.cemagref.fr)*

Marie-Line Daumer – marie-line.daumer@cemagref.fr

UR Gestion environnementale et traitement biologique des déchets
Cemagref 17 avenue de Cucillé CS 64427 35044 Rennes Cedex
Tél. 02 23 48 21 29

Cemagref
Sciences, eaux & territoires
www.cemagref.fr