



20690



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



, valeur phosphatée des boues résiduaires des stations d'épuration urbaines

COLLECTION
Valorisation agricole
des boues d'épuration

CONNAÎTRE POUR AGIR
Guides et cahiers techniques

Ademe



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



Institut National
de la Recherche Agronomique



ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES

Sommaire

| | |
|---------------------|----------|
| AVANT-PROPOS | 7 |
|---------------------|----------|

| | |
|---------------------|----------|
| INTRODUCTION | 9 |
|---------------------|----------|

| | |
|---|-----------|
| 1- LE PHOSPHORE DANS LES ECOSYSTÈMES CULTIVÉS | 13 |
| 1.1 - ÉTAT NATUREL ET MODES D'INTRODUCTION DU PHOSPHORE DANS L'ENVIRONNEMENT | 13 |
| 1.1.1 - Le phosphore à l'état naturel | 13 |
| 1.1.2 - Modes d'introduction dans L'environnement | 13 |
| 1.1.3 - Rôle du phosphore dans la vie | 15 |
| 1.2. LE PHOSPHORE DANS LE SOL | 15 |
| 1.2.1 - Teneur du phosphore dans les sols | 15 |
| 1.2.2 - Distribution du phosphore dans les sols | 15 |
| 1.2.3 - Les formes du phosphore dans les sols | 15 |
| 1.2.4 - Cycle du phosphore dans les sols | 17 |
| 1.3 - LE PHOSPHORE ET LES VEGETAUX | 18 |
| 1.3.1 - Fonctions du phosphore dans la plante | 18 |
| 1.3.2 - Teneur et distribution du phosphore dans la plante | 18 |
| 1.3.3 - Conséquences d'une carence ou d'un excès de phosphore pour la plante | 18 |
| 1.3.4 - Absorption du phosphore par la plante | 19 |
| 1.4 - DISPONIBILITE DU PHOSPHORE DU SOL POUR LES VEGETAUX | 20 |
| 1.4.1 - Définition et évolution des connaissances | 21 |
| 1.4.2 - Conceptualisation de la biodisponibilité du phosphore du sol | 23 |
| 1.4.3 - Modélisation de la biodisponibilité du phosphore des sols | 27 |
| 1.4.4 - Conclusion | 29 |
| 1.5 - LES PERTES DE PHOSPHORE DU SOL | 30 |
| 1.5.1 - Erosion et ruissellement | 30 |
| 1.5.2 - Drainage, lessivage | 30 |

| | |
|---|-----------|
| 2- LA FERTILISATION PHOSPHATÉE DES PLANTES DE GRANDES CULTURES | 33 |
| 2.1 - LA SITUATION ET LES ENJEUX | 33 |
| 2.2 - LES SOURCES DE PHOSPHORE UTILISABLES EN FERTILISATION | 34 |
| 2.3 - DETERMINATION DE LA DOSE D'APPORT DE PHOSPHORE | 37 |
| 2.3.1 - Base du raisonnement de la dose d'apport | 37 |
| 2.3.2 - Les critères pour moduler le raisonnement de la dose d'apport | 38 |
| 2.3.3 - Le diagnostic du comportement cultural | 39 |
| 2.3.4 - La prescription de la fumure phosphatée | 41 |

La Collection *Valorisation agricole des boues d'épuration*, lancée en 1991-1992 par l'ADEME, réunit et capitalise dans différents documents thématiques les travaux de recherche menés depuis plus de vingt ans sur ce sujet, et le savoir-faire des professionnels de terrain. Chaque fascicule traite d'un aspect particulier de la filière de valorisation, depuis l'examen approfondi de l'innocuité du produit et de sa valeur fertilisante, jusqu'aux modalités concrètes de mise en oeuvre de l'opération d'épandage : stockage, homogénéisation, reprise, épandage proprement dit et planification des opérations. Trop souvent, en effet, il existe un fossé assez large entre les connaissances accumulées, souvent considérables, et leur réelle utilisation par les opérateurs de terrain. Au total, à ce jour, douze fascicules sont programmés. Leur liste figure en dernière page de ce document.

Pour réaliser cette brochure sur la valeur phosphatée des boues d'épuration, l'ADEME a sollicité les compétences de l'École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires de Nancy (ENSAIA), dont le Laboratoire "Sol et Environnement", sous la direction scientifique de Jean-Louis Morel. Celui-ci réalise depuis de nombreuses années des travaux de recherche sur la fertilisation phosphatée, en particulier sur les déchets organiques valorisés en agriculture. Une collaboration a également été nouée avec Christian Morel, du Département Agronomie de l'INRA, et Jean-Claude Fardeau, du CEN Cadarache, en raison des recherches fondamentales qu'ils réalisent en France sur le rôle du phosphore en agriculture, en utilisant notamment des méthodes de marquage isotopique. Un recensement des publications sur la valeur phosphatée des boues d'épuration, faites en France, en Europe et aux USA depuis le début des années soixante-dix, a été réalisé par Laurence Sommellier. Ceci a ensuite permis d'étayer un texte de synthèse accompagné de 9 fiches résumant des études en laboratoire ou aux champs.

Dans la mesure où le traitement de déphosphatation des eaux usées tend à se développer en France dans les bassins versants dits "sensibles" à l'eutrophisation, en application de la Directive Européenne de mai 1991, la production de boues d'épuration enrichies en phosphore tend à croître. Il s'ensuit la nécessité de modifier les doses d'épandage à l'hectare et de gérer les apports de boues davantage sur le critère phosphore que sur l'azote dans les plans de fumure. Ce document refait le point sur la fourniture de phosphore par les boues d'épuration "classiques" et intègre les données récentes acquises sur les boues de déphosphatation. Notre vœu est qu'il soit une aide utile aux prescripteurs qui conseillent les agriculteurs en matière de fertilisation.

I Introduction

Constituant de l'ADN (Acide Désoxyribo-Nucléique), de l'ARN (Acide Ribo-Nucléique) et de l'ATP (Adénosine Triphosphate), supports de l'hérédité et de l'énergie, le phosphore est un élément indispensable à la vie. Il représente un des facteurs essentiels de l'élaboration du rendement et de la qualité des produits agricoles.

Naturellement présent dans les sols, le phosphore est surtout prélevé dans l'horizon supérieur par les plantes et exporté avec les récoltes. Afin de conserver la fertilité du sol, il convient de compenser ces exportations avec des engrais minéraux ou organiques. Après un très fort accroissement, la consommation des engrais phosphatés au niveau européen s'est stabilisée depuis les années 90 à environ 3,7 millions de tonnes de P_2O_5 et tend à légèrement décroître sous l'effet des politiques agricoles et environnementales. Le marché mondial des engrais minéraux phosphatés connaît, par contre, une lente expansion continue, en dépit d'inévitables fluctuations cycliques. Il s'est élevé en 1994 à plus de 28 millions de tonnes de P_2O_5 (Isherwood *et al.*, 1995). Les déjections animales constituent également une masse considérable d'éléments fertilisants estimée, par exemple pour la France, à 280 millions de tonnes brutes, soit l'équivalent de 850 000 tonnes de P_2O_5 (Leroy, 1994). Cette quantité est à comparer au million de tonnes de P_2O_5 consommées sous forme d'engrais minéraux par l'agriculture française au cours de la campagne 1992-93 (Maréchal, 1993).

Les boues des stations d'épuration contiennent des quantités substantielles de phosphore qui justifient, notamment, leur recyclage en agriculture. La production de boues d'épuration en Europe est estimée actuellement à 7 millions de tonnes de matière sèche et devrait approximativement doubler au cours des dix années à venir (Bébin, 1993). La part recyclée en agriculture représente en moyenne 37 % à l'échelle européenne. Sur ce total, la France produit 850 000 tonnes de matière sèche dont 58 % sont utilisées en agriculture (Ministère de l'Environnement, 1992).

Une importante activité de recherche sur la valeur fertilisante des boues d'épuration a été encouragée, au début des années soixante-dix en France, par le Ministère de l'Environnement, essentiellement dans le cadre du Comité "Sols-Déchets" de 1973 à 1983 sous la présidence de S. Hénin, et au sein du programme européen "COST 68/68 1" (Coopération Scientifique et Technique) de 1972 à 1990. La fin

de la décennie soixante-dix fut assez fertile en travaux de recherche et de nombreux symposiums se sont tenus en Europe sur le thème de la valorisation agricole des boues (Cadarache en 1979, Bâle en 1980, etc.). Au séminaire de Groningue (Pays-Bas) en juin 1980, 15 interventions sur 25 furent consacrées au phosphore des boues. Un premier livret de synthèse sur les valeurs azotée et phosphatée des boues d'épuration fut édité en 1982 par la Communauté Européenne (maintenant Union Européenne), puis remis à jour en 1985. Dès 1983, la question des déjections animales fut introduite dans le programme de travail du COST, en parallèle avec celle concernant les boues (phase " COST 681 " de 1983 à 1990). Le nombre des publications relatives au phosphore des boues a, par la suite, nettement diminué. Le dernier symposium du programme COST, organisé à Athènes en 1990, ne contenait qu'une seule publication sur le phosphore dans les boues d'épuration.

Plus récemment, au début des années quatre-vingt dix, les Agences de l'Eau et l'ADEME ont pris le relais et permis des travaux complémentaires afin de préciser la valeur phosphatée des boues urbaines en relation avec la filière de traitement des eaux et des boues, notamment en raison du développement des procédés de déphosphatation des eaux usées.

Au total, le nombre de références sur la valeur fertilisante des boues d'épuration, tant en France qu'à l'étranger, s'avère très élevé même s'il est inférieur à celui des publications relatives à l'azote des boues. Dans le cadre de cette brochure, 150 références ont été utilisées et répertoriées en bibliographie. En raison même du nombre de données disponibles, il est apparu nécessaire de réaliser une synthèse des connaissances acquises sur la valeur phosphatée des boues d'épuration, afin de satisfaire la demande croissante et légitime des agriculteurs et des techniciens agricoles, qui attendent une information claire et concrète pour une bonne intégration agronomique des boues dans les calculs de fertilisation.

Cette synthèse se présente en cinq parties. La première concerne les notions essentielles de la dynamique du phosphore dans les écosystèmes cultivés. Elle est suivie d'une deuxième partie, traitant des conceptions les plus récentes en matière de fertilisation phosphatée. Ces développements ont semblé utiles en raison des données nouvelles apparues ces dernières années (ITCF, 1993 ; COMIFER, 1995), et qui ont assez sensiblement modifié les prescriptions de fumure phosphatée. La composition des boues d'épuration en phosphore, variable selon la conception des stations d'épuration et les procédés de traitement mis en œuvre, est détaillée dans la troisième partie. Le devenir du phosphore apporté dans le sol et sa valorisation effective par les plantes font, respectivement, l'objet de la quatrième et de la cinquième partie. La bibliographie est accompagnée de différents index thématiques (types de boues, de sols, de cultures, etc.) pour aider les agronomes de terrain dans la recherche de documents les plus pertinents répondant à leurs préoccupations.

Le document comprend également des annexes destinées à apporter des informations pratiques sur quelques points : description de la méthode des

cinétiques de dilution isotopique, rappel des méthodes d'analyse du phosphore, et lexique français-anglais sur le vocabulaire technique propre au thème de cette brochure. Il a semblé utile de présenter également la politique danoise en matière de phosphore et de recyclage agricole des boues d'épuration en raison de la démarche ambitieuse affichée.

Sur le modèle de la brochure consacrée à la " valeur azotée des boues d'épuration ", ce document inclut 9 fiches résumant certains travaux parmi les plus significatifs.

Avertissement

En France, les agronomes de terrain et les laboratoires d'analyse des sols expriment le phosphore sous sa forme P_2O_5 (anhydride phosphorique, appelé improprement "acide phosphorique" dans le langage courant), alors que la littérature étrangère mentionne le phosphore sous sa forme I? Dans la lecture de la documentation technique et scientifique, il convient d'être vigilant sur ce point et de savoir quelle expression est utilisée. Les coefficients de conversion entre les deux expressions sont les suivants :

$$(P) = (P_2O_5) \times 0,43$$

$$(P_2O_5) = (P) \times 2,30$$

Dans le présent document, nous avons à chaque fois précisé de quelle expression il s'agissait, et parfois cité les résultats sous leurs deux valeurs.