



21291 RM



Agence de l'eau  
Artois Picardie



# La valeur azotée 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



I N A P G

Institut National Agronomique  
Paris-Grignon

**A**  
ADEPRINA

Association pour le développement de l'enseignement  
du perfectionnement et de la recherche  
à l'institut national agronomique

# Sommaire

---

AVANT-PROPOS	5
--------------	---

---

INTRODUCTION	7
--------------	---

---

<b>1 - CARACTÉRISTIQUES AZOTÉES DES DIFFÉRENTS TYPES DE BOUES</b>	<b>11</b>
1-1. LES DIFFÉRENTS TYPES DE BOUES PRODUITS PAR LES STATIONS D'ÉPURATION	11
i-1.1. Production des boues	11
1-1.2. Stabilisation des boues	11
1-1.3. Réduction de la teneur en eau des boues	13
1-1.4. Désignation des différents types de boues	14
1-2. LA TENEUR EN AZOTE DES BOUES D'ÉPURATION	14
1-2.1. Variations de composition liées au traitement des boues	16
1-2.2. Variations de composition liées à la gestion de la station d'épuration	20
1-2.3. Variations de composition liées au stockage des boues	20

---

<b>2 - FACTEURS INFLUENÇANT LA DISPONIBILITÉ DE L'AZOTE DES BOUES</b>	<b>23</b>
2-1. ÉVOLUTION DANS LE SOL DE L'AZOTE APPORTÉ PAR LES BOUES	23
2-2. INFLUENCE DES FACTEURS INTRINSÈQUES	23
2-2.1. Influence du type d'effluent	25
2-2.2. Influence de la stabilisation biologique des boues	25
2-2.3. Influence du conditionnement	26
2-2.4. Influence de l'épaississement, de la déshydratation et du séchage des boues	27
2-2.5. Influence du compostage	27
2-3. INFLUENCE DES FACTEURS EXTRINSÈQUES	29
2-3.1. Caractéristiques pédo-climatiques	29
2-3.2. Modes d'épandage	30
2-4. CONCLUSION	34

---

<b>3 - ESTIMATION DE LA VALEUR AZOTÉE DES BOUES</b>	<b>35</b>
3-1. DÉFINITIONS DES TERMES RENCONTRES CONCERNANT LA VALEUR AZOTÉE DES BOUES	35
3.2 MÉTHODES UTILISÉES	35
3-2.1. Tests en laboratoire ou sous serre	35
3-2.2. Essais au champ	37
3-3. RÉSULTATS	40
3-3.1. Valeur azotée des boues estimée au laboratoire	40
3-3.2. Efficacité de l'azote des boues estimée au champ et en serre	42

3-4. CONCLUSION	7
3-4.1. Constat de la situation	47
3-4.2. Voies de recherche et d'expérimentations	48

---

<b>4 - CONSEILS ET RECOMMANDATIONS</b>	<b>51</b>
4.1. DÉTERMINER LE COEFFICIENT D'EFFICACITÉ DE L'AZOTE APPORTÉ	53
4.2 CHOIX DES CULTURES	53
4.3 CALCUL DE LA DOSE DE BOUES : MÉTHODE DU BILAN	55
4.4 DATE D'ÉPANDAGE ET PRÉVENTION DES FUITES DE NITRATES	57
4.5 RAISONNER PAR LOT DE BOUES À ÉPANDRE	59
4.6 CHOIX ET RÉGLAGE DU MATÉRIEL D'ÉPANDAGE	61
4.7 GESTION DES ARRIÈRE-EFFETS AZOTÉS DE L'ÉPANDAGE DES BOUES	63
4.7.1 Gestion de l'interculture	63
4.7.2 Arrière-effets pour les cultures suivantes	66
4.8 CONCLUSION	66

---

<b>CONCLUSION</b>	<b>67</b>
-------------------	-----------

---

<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>73</b>
1. Bibliographie générale	73
2. Index bibliographique par type de boues	87
3. Index bibliographique par type de cultures	91
4. Index bibliographique par localisation géographique des essais au champ	95
5. Index bibliographique des essais en laboratoire ou sous serre	99

---

<b>ANNEXE 1</b>	
Echantillonnage et analyse des boues d'épuration urbaines	101

<b>ANNEXE 2</b>	
Politique française en matière de réduction de la pollution des eaux par les nitrates provenant des activités agricoles	107

<b>ANNEXE 3</b>	
Tableaux des exportations par culture	113

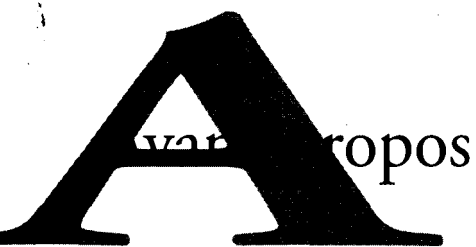
<b>ANNEXE 4</b>	
Conseil pour un essai au champ "valeur azotée des boues"	117

<b>ANNEXE 5</b>	
Lexique anglais-français et français-anglais concernant le vocabulaire technique essentiel associé à la valeur azotée des boues de stations d'épuration	121

<b>ANNEXE 6</b>	
Adresses utiles	125

---

<b>FICHES 1 À 30</b>	
Liste des fiches. Titre des références documentaires utilisées.	129
Index des fiches	131
Fiches 1 à 30	133
Titres de la collection "valorisation agricole des boues d'épuration urbaines"	233



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, l'Ademe a sollicité les compétences de l'Institut National Agronomique de Paris-Grignon (INA-PG). Sous la direction scientifique de Serge Bourgeois, du Laboratoire de Sciences des Sols et d'Hydrologie, et en collaboration étroite avec Joël Michelin, ingénieur à l'ADEPRINA, un recensement des travaux réalisés sur ce thème en France, en Europe et aux USA a été réalisé par Hervé Fumery. L'analyse documentaire a permis d'aboutir en final à la rédaction de 30 fiches synthétiques résumant des essais en laboratoire ou au champ. Sur la base de cette documentation, un texte de synthèse a ensuite été rédigé pour proposer une approche structurée, la plus actuelle possible, de la valeur azotée des boues d'épuration.

Les documents pré-finaux ont été relus en France par différents spécialistes, et l'Ademe tient à remercier très sincèrement toutes les personnes qui ont ainsi gracieusement contribué, par leurs remarques constructives et judicieuses, à la réalisation de cette brochure.

Dans le contexte présent de mobilisation des acteurs publics et professionnels pour prévenir la pollution des eaux par les nitrates - et tout particulièrement dans les zones dites "vulnérables" vis à vis de la ressource hydrique - ce document sera, nous l'espérons, une base utile pour piloter l'exacte intégration agronomique des boues d'épuration dans les plans de fertilisation. Il pourra également être une aide précieuse pour la définition des orientations réglementaires visant à encadrer les apports d'azote total à l'hectare, ainsi que les bonnes pratiques à recommander.

# I Introduction

Les premières études expérimentales publiées dans la littérature scientifique sur la valeur azotée des boues d'épuration remontent vers la fin des années soixante et concernent essentiellement des travaux anglais et nord-américains. En France, une forte activité de recherche a été encouragée au début des années soixante-dix, notamment dans le cadre du comité "sols-déchets" mis en place par la Mission des Etudes et Recherches du Ministère de l'Environnement, pendant une dizaine d'années de 1973 à 1983. En 1985, une synthèse des résultats les plus significatifs de cette période fut publiée par l'Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des déchets (ANRED, devenue Ademe en 1992).

Cette période coïncide assez logiquement avec le fort développement du parc français de stations d'épuration, conséquence de la loi de 1964 qui a, notamment, créé les Agences de Bassin et installé progressivement un système financier incitatif d'aides aux investissements pour les ouvrages de traitement des eaux usées urbaines et industrielles. Ce traitement produisant des boues résiduelles, il a alors fallu s'intéresser, avec un certain décalage dans le temps par rapport à la question des eaux usées, au problème nouveau posé par l'élimination de ces boues, dont celui d'une valorisation en agriculture. Avant cette période, il faut bien reconnaître qu'en matière d'eaux usées on se satisfaisait souvent d'un réseau souterrain collectant et rejetant eaux usées et eaux de pluie dans le milieu aquatique, avec tout au plus un dégrillage grossier préalable ou une décantation sommaire des matières en suspension. Certaines villes cependant utilisaient le pouvoir épurateur du sol en pratiquant l'épandage des eaux usées brutes sur des "champs d'épandage", tels les célèbres champs d'épandage de la ville de Paris qui, à Achères, occupaient plus de 5000 hectares dès le XIX<sup>ème</sup> siècle. Le fort développement démographique et économique qui a suivi la seconde guerre mondiale, la concentration urbaine et, parallèlement, la nécessité de maîtriser les nuisances fortes ainsi générées et concentrées, ont justifié l'instauration en France d'une véritable politique d'assainissement, à l'instar des autres pays occidentaux.

Au niveau européen, le groupe PRESETT (Politique de Recherche Scientifique et Technique), réunissant des experts de différents pays, soulignait dès 1967 la nécessité de développer des études sur le traitement et l'élimination des boues d'épuration. Cette recommandation débouchait sur le grand programme européen "COST 68" (Coopération Scientifique et Technique) qui, de 1972 à 1990, a encouragé financièrement les travaux de recherche ainsi que les échanges au sein de

la communauté scientifique, sous forme de séminaires, colloques, congrès, pu symposiums. Un bilan détaillé de ce programme a été publié en 1992 par la Communauté européenne (Hall et al., 1992). C'est essentiellement dans la seconde phase de ce programme (COST 68 bis), à partir de 1977, qu'un volet entier a été consacré à la valeur fertilisante des boues, au sein du "Working Party 4 : Utilisation of sludge" (groupe de travail 4 : utilisation des boues). Le premier séminaire tenu par ce groupe à Paris, en octobre 1978, dénombrait pas moins de 90 travaux de recherche menés sur ce thème dans les différents pays européens ! Un nombre important de communications scientifiques furent présentées aux séminaires qui suivirent : à Dijon et Cadarache en 1979, Munich en 1981, As (Norvège) en 1982, puis Uppsala (Suède) et Brighton (GB) en 1983. Un premier livret de synthèse sur la valeur azotée et phosphatée des boues d'épuration fut édité en 1982 par la Communauté européenne, et remis à jour en 1985 après le congrès de Vienne (Autriche).

L'examen des références documentaires produites au cours de ces vingt années de recherche permet d'identifier nettement deux périodes : une première période (environ 1973-1984) au cours de laquelle sont réalisés un ensemble de travaux scientifiques fondamentaux, menés essentiellement en laboratoire (études en vases de végétation, tests d'incubation) ou sur des dispositifs expérimentaux sophistiqués avec micro-parcelles, et portant sur la diversité des boues d'épuration produites ; puis une seconde période (de 1984 à 1995) où sont testées en vraie grandeur les conclusions issues des études précédentes, par la mise en place d'un certain nombre d'essais au champ suivis sur plusieurs années, souvent avec l'assistance technique des ingénieurs des Chambres d'agriculture. Au total, le nombre de références sur la valeur fertilisante des boues d'épuration, tant en France qu'à l'étranger, s'avère tout à fait impressionnant et bien supérieur aux quelques 220 références documentaires listées dans la bibliographie de cette brochure. En effet, s'il est relativement aisé, en procédant avec méthode, d'identifier les références documentaires, il est infiniment plus difficile et long de les recueillir physiquement pour les lire et les analyser. Il s'agit sans doute d'une des difficultés fortes rencontrées au cours de ce travail de synthèse. C'est la raison pour laquelle l'Ademe invite instamment toute personne publiant ou réalisant des travaux sur ce thème à lui adresser une copie de sa publication pour l'entrer dans la base de données bibliographiques et ne pas perdre la trace du travail ainsi réalisé et alimenter le capital de connaissances scientifiques. Avant de lancer des travaux, la consultation de cette base de données permet alors de vérifier que l'information n'est pas déjà disponible.

Le premier chapitre de cette brochure présente les différents types de boues produits par les stations d'épuration et l'impact des traitements sur la composition en azote des boues finales obtenues. Toutefois, la simple teneur en azote de la boue, mesurée par l'analyse en laboratoire, ne préjuge pas de sa disponibilité réelle dans le sol pour l'alimentation de la plante. Au chapitre deux sont alors examinés les facteurs tant intrinsèques (c'est à dire propres aux boues, selon les traitements qu'elles ont subis), qu'extrinsèques (caractéristiques pédo-climatiques, influence du

mode et de la période d'épandage) influençant cette disponibilité. Les résultats essentiels des travaux de recherche sur la valeur azotée des boues sont synthétisés et récapitulés au chapitre trois en distinguant les données de laboratoires de celles obtenues par les essais au champ. Auparavant, un rappel terminologique basé sur le glossaire proposé par le COMIFER (1993) redéfinit précisément les termes utilisés concernant la valeur azotée des boues. Force est de reconnaître qu'il n'a pas toujours été facile de bien identifier le bon vocabulaire à retenir dans l'utilisation des données issues des différentes publications. Enfin, le chapitre quatre propose une synthèse opérationnelle de l'ensemble de ces résultats sous forme de recommandations utilisables par les opérateurs de terrain, et en premier lieu les personnes en charge de l'encadrement et du conseil des opérations d'épandage. La bibliographie comprend des index thématiques qui classent les références des essais agronomiques par type de cultures, type de boues, et localisation géographique. De tels index aideront les agronomes de terrain dans la recherche des documents les plus pertinents répondant à leurs préoccupations.

Conformément au style de la collection valorisation agricole des boues d'épuration et sur le modèle des autres brochures déjà éditées, le présent document comprend également un certain nombre d'annexes destinées à renseigner le lecteur de façon pratique sur différents points : méthodes d'analyse, Directive azote et action du CORPEN, besoins de fertilisation des cultures, conseils pour mener un essai aux champs, lexique français-anglais sur le vocabulaire technique propre au thème de cette brochure, et un certain nombre d'adresses utiles.

Enfin, pour ne pas perdre, par un texte trop synthétique, la richesse des informations contenues dans les travaux de recherche et d'expérimentation, 30 fiches ont été rédigées afin de couvrir de façon représentative la diversité des travaux de recherche réalisés.