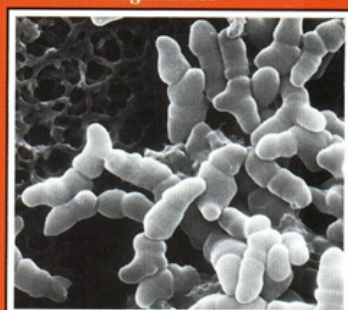
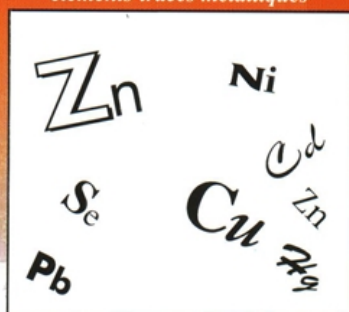


# Connaissance et maîtrise des aspects sanitaires de l'épandage des boues d'épuration des collectivités locales

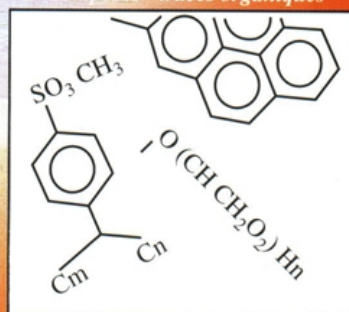
*micro-organismes*



*éléments-traces métalliques*



*composés - traces organiques*



Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau (FNDAE)

Ministère de l'agriculture et de la pêche



2<sup>ème</sup> Edition



CONNAISSANCE ET MAITRISE DES ASPECTS SANITAIRES  
DE L'EPANDAGE  
DES BOUES D'EPURATION DES COLLECTIVITÉS LOCALES

===

ADEME

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie  
2, square La Fayette - B.P. 406 49004 Angers Cédex 01

Isabelle Feix et Jacques Wiart

Cette étude a été financée par le Fonds National pour le Développement  
des Adductions d'Eau (F.N.D.A.E.)  
géré par le Ministère de l'Agriculture

et

le Fonds de Modernisation pour la Gestion des Déchets (F.M.G.D.)  
(programme Recherche et Développement)  
géré par l'ADEME

1998





## TABLE DES MATIERES

<b>INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
<b>CHAPITRE 1 : LES AGENTS PATHOGENES</b>	<b>3</b>
1.1. Les organismes pathogènes présents dans les boues	3
1.2. Traitements des boues et réduction des pathogènes	5
1.3. Devenir des agents pathogènes après épandage	7
1.4. Evaluation des risques sanitaires liés à l'épandage des boues	9
1.4.1. - L'identification des dangers	9
1.4.2. - Estimation des probabilités d'expression des dangers	9
1.4.3. - Estimation des expositions aux dangers au sein des populations considérées	9
1.4.4. - La caractérisation du risque (étape de synthèse)	10
1.5. Gestion du risque sanitaire lié à l'épandage des boues	11
1.5.1. - Notion de filières hygiénisantes. Intérêt. Transcription dans la réglementation.	11
1.5.2. - Gestion du risque sanitaire par encadrement des épandages	13
1.5.3. - Synthèse entre les deux approches	16
1.5.4. - Intérêt de la cellule de veille sanitaire vétérinaire des épandages de boues d'épuration	16
<b>CHAPITRE 2 : LES ELEMENTS-TRACES METALLIQUES</b>	<b>19</b>
2.1. Définition. Cycle biogéochimique	19
2.2. Les éléments-traces métalliques dans les boues résiduares	19
2.2.1. - Origine dans les eaux usées	19
2.2.2. - Concentration dans les eaux usées	20
2.2.3. - Concentration dans les boues	21
2.3. L'origine des éléments-traces métalliques dans les sols	22
2.3.1. - Le fonds géochimique	22
2.3.2. - Les retombées atmosphériques	23
2.3.3. - L'utilisation des matières fertilisantes et des pesticides	23
2.3.4. - L'épandage de déchets industriels et de boues de curage	24
2.3.5. - L'importance relative des différentes voies conduisant à l'enrichissement des sols en éléments-traces métalliques	25
2.4. Le comportement des éléments-traces métalliques dans les sols agricoles amendés avec des boues résiduares urbaines et transfert vers le reste de l'environnement	25
2.4.1. - Localisation dans le sol	25
2.4.2. - Transfert entre constituants du sol - concept de mobilité	26
2.4.3. - Transfert entre le sol et la plante - concept de biodisponibilité	27
2.4.4. - Transfert et accumulation dans la plante	28
2.4.5. - Transfert direct du sol vers l'animal	28
2.4.6. - Transfert direct du sol vers l'atmosphère	28
2.4.7. - Transfert par voie particulaire	28
<b>CHAPITRE 3 : LES COMPOSES-TRACES ORGANIQUES</b>	<b>33</b>
3.1. Origine des composés-traces organiques dans les eaux usées et les boues résiduares et teneurs dans les eaux usées	33
3.2. Facteurs physico-chimiques et biologiques importants quant au devenir des composés-traces organiques et à leur biodisponibilité, et devenir des composés-traces organiques au sein des filières de traitement	35
3.2.1. - Facteurs physico-chimiques et biologiques importants quant au devenir des composés-traces organiques et à leur biodisponibilité	35
3.2.2. - Devenir des composés-traces organiques au sein des filières de traitement	35



<b>3.3. Les teneurs retrouvées dans les boues</b>	36
<b>3.4. Impacts potentiels par la valorisation agricole des boues</b>	37
3.4.1. - Devenir au niveau des sols	37
3.4.2. - Transfert vers la plante et devenir dans la plante	38
3.4.3. - Exposition et bioaccumulation chez les animaux	39
3.4.4. - Transfert vers l'eau	39
3.4.5. - Risques pour l'Homme	39
3.4.6. - Les différentes démarches d'évaluation des risques. Intérêt et limites actuelles	39
<b>3.5. Place de l'épandage des boues par rapport aux autres sources de contamination des sols par des substances organiques</b>	40
<b>3.6. Réglementations et guides de bonnes pratiques internationaux concernant le contrôle des composés-traces organiques des boues résiduaire épandues en agriculture</b>	41

## **CHAPITRE 4 : STRATEGIE POUR PRODUIRE DES BOUES PROPRES ET GARANTIR LEUR QUALITE AUX AGRICULTEURS UTILISATEURS**

<b>4.1. Eviter de produire ou d'utiliser des substances potentiellement contaminantes</b>	45
4.1.1. Technologies propres	45
4.1.2. Les « éco-produits » et la marque NF ENVIRONNEMENT	46
4.1.3. Limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances	46
<b>4.2. Tri et collecte sélective des déchets toxiques ou spéciaux</b>	46
4.2.1. Les déchets des Installations Classées (ICPE)	47
4.2.2. L'action sur les DTQD	47
4.2.3. Intérêt de la marque RETOUR	48
4.2.4. Les Déchets Ménagers Spéciaux (DMS) et le rôle des déchetteries	48
<b>4.3. Diagnostic d'assainissement, police des réseaux et police des installations classées</b>	48
4.3.1 Diagnostic du système d'assainissement	49
4.3.2 Convention de déversement	49
4.3.3 Police des Installations Classées	49
<b>4.4. La question de la pollution pluviale</b>	50
<b>4.5. Cohérence avec les autres sous-produits du "cycle de l'eau"</b>	50
<b>4.6. Fixer un "plan qualité des boues" dans chaque station d'épuration</b>	51
4.6.1 Vouloir la qualité, non la subir.	51
4.6.2 Garantir la qualité des boues aux agriculteurs utilisateurs. Intérêt de la gestion par lot.	51
4.6.3 Prévoir une solution d'élimination pour les boues non conformes	53
4.6.4 Organiser les épandages. Autosurveillance.	53

## **CONCLUSIONS**

## **BIBLIOGRAPHIE**

## **ANNEXE**

Le cadre réglementaire nouveau introduit par le décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 et l'arrêté du 8 janvier 1998 pour les épandages en agriculture des boues d'épuration urbaines	59
Décret n°97-1133 du 8 décembre 1997	63
Arrêté du 8 janvier 1998	67





## Introduction

Depuis le début des années 1970, un nombre important de recherches et d'expérimentations de terrain ont été réalisées en France et en Europe sur les aspects sanitaires de l'épandage des boues d'épuration urbaines.

Le Ministère de l'Environnement a animé et soutenu financièrement, pendant une dizaine d'années, de 1973 à 1983, au sein du comité "sols-déchets", des travaux de l'INRA et de divers instituts techniques ou centres supérieurs d'enseignement agricole. Par la suite, l'effort national de recherche a également été relayé par les Agences de l'Eau et l'Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets (ANRED), devenue l'ADEME en 1992. A l'échelle européenne, un programme scientifique de grande envergure, appelé programme "COST 68/681" (Coopération Scientifique et Technique), a fonctionné pendant près de vingt ans de 1972 à 1990, et a stimulé une activité de recherche assez considérable, tout en favorisant de nombreux échanges entre spécialistes des différents pays européens. Le bilan du programme COST, publié en 1992, a dénombré plus de 65 colloques, symposiums, séminaires, ou ateliers, et plusieurs centaines de références documentaires. Il ne faut pas oublier les travaux nombreux et de grande valeur réalisés aux USA et au Canada qui ont aussi alimenté le capital des connaissances.

Face à cette masse de données, un travail de synthèse et de diffusion s'avère nécessaire. Pour un ingénieur ou un technicien de terrain, il est en effet très difficile de réunir des informations dispersées dans de nombreux centres documentaires, sous des supports divers (articles, rapports, mémoires, thèses, compte-rendu, etc.), et pour la plupart en langue étrangère. En supposant que cet ingénieur puisse collationner tous ces documents, resterait alors à les lire, à les confronter, et à produire la juste conclusion pour l'action. Clairement, une tâche bibliographique aussi lourde sort de son cadre de travail normal : on attend de lui une réponse rapide et concrète. Cette absence de synthèse et l'ignorance des informations existantes donnent alors la fausse impression, pourtant souvent exprimée, "qu'on ne sait pas grand chose", ...sans égards aux centaines de références existantes ! L'autre inconvénient de cette absence de synthèse est de recommencer des expérimentations déjà faites par ailleurs, en d'autres lieux ou d'autres temps, et de disperser l'effort de recherches et les crédits disponibles, plutôt que de les focaliser sur les points restant effectivement à approfondir.

Pour combler cet écart entre connaissance et action, et identifier les voies de recherche pour l'avenir, trois

grandes études de synthèse ont été commanditées par l'ADEME, à partir de 1993, avec le soutien financier du FNDAE, auprès du monde de la recherche et de l'enseignement supérieur :

- charge microbologique des boues et agents pathogènes : synthèse réalisée par l'Ecole Nationale de la Santé Publique de Rennes (Michèle Legeas, Rémi Demillac et Jean Carré) et l'Ecole Nationale Vétérinaire de Nantes (Jean-Pierre Ganière et Monique L'Hostis) avec la participation de Nicolas Elissalde (élève vétérinaire);
- éléments-traces métalliques : INRA - Centre de Recherches Agronomiques de Bordeaux (Christian Juste, en collaboration avec ses collègues Pierre Chassin, Alain Gomez, Monique Linères, et Bernard Mocquot);
- composés organiques en traces : IRH-Environnement de Nancy (Michel Jauzein).

Ces documents ont été édités dans le cadre de la collection "valorisation agricole des boues d'épuration" de l'ADEME, en 1994 et 1995 (voir bibliographie).

La présente brochure forme un condensé de ces publications. Elle s'adresse à un public qui désire connaître les données essentielles du volet sanitaire de l'épandage des boues, même s'il est moins impliqué techniquement que les ingénieurs de terrain dans la mise en oeuvre ou le suivi des opérations. Des éléments nouveaux, parus depuis 1995, ont été intégrés dans cette brochure, et notamment :

- les résultats principaux des travaux réalisés par le groupe d'études inter-agences des Agences de l'eau sur les composés organiques en traces ;
- les réflexions du groupe de travail "risques sanitaires de l'épandage des boues d'épuration" du Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France (CSHPPF), au sein du Ministère de la Santé.

Cette brochure comprend quatre chapitres dont les trois premiers traitent respectivement des aspects microbiologiques, des éléments-traces métalliques et des composés organiques en traces. Le quatrième chapitre insiste sur l'importance de la prévention de la contamination des boues et détaille les actions coordonnées qu'il est souhaitable de mettre en oeuvre pour améliorer, à son plus haut niveau, la qualité du produit proposé au recyclage en agriculture.



## Chapitre 1 : Les agents pathogènes

Les boues d'épuration contiennent une très grande variété d'organismes, mais la plupart d'entre eux n'ont pas d'importance médicale ou vétérinaire. Les procédés de traitement biologique des eaux usées sont fondés sur l'activité d'une biomasse épuratrice constituée d'organismes saprophytes, c'est à dire vivant et se reproduisant de manière autonome dans le milieu extérieur en y puisant leur énergie et leurs nutriments (VEDRY, 1996).

Les organismes pathogènes présents dans les boues d'épuration ne représentent qu'une infime partie des micro-organismes observés dans celles-ci. Ils appartiennent à cinq grands types : virus, bactéries, protozoaires, helminthes (vers parasites) et champignons. Leur présence dans les eaux usées, majoritairement associés aux matières en suspension, reflètent les caractéristiques épidémiologiques de la population locale. Les populations animales vivant dans le réseau (rongeurs) et les eaux de ruissellement des chaussées (déjections canines) contribuent aussi, mais de façon marginale, à la contamination des eaux usées parvenant à la station d'épuration.

En cas de raccordement au réseau collectif d'un abattoir, d'un équarrissage, d'une laiterie ou de toute autre industrie agro-alimentaire traitant des denrées d'origine animale, il peut se rajouter une charge propre aux animaux d'élevage. Des agents phytopathogènes particu-

liers peuvent être détectés ou surveillés si les eaux usées proviennent d'usines conditionnant ou transformant des produits végétaux (légumes, pommes de terre, tomates, etc.).

### 1.1. Les organismes pathogènes présents dans les boues

Les procédés de traitement des eaux usées concentrent dans les boues la charge microbiologique contenue initialement dans les effluents bruts reçus en station d'épuration. Cette concentration intervient au cours des phases de séparation eaux/boues en raison de la capacité de ces organismes à s'adsorber sur les matières particulaires ou à décanter (cas des parasites du type helminthe).

Dans l'absolu, les organismes pathogènes potentiellement présents dans les boues peuvent être très nombreux : ils traduisent les caractéristiques du réseau d'assainissement, des diverses activités raccordées et l'état de santé des populations. Sans prétendre à l'exhaustivité, le tableau n°1 dresse une liste raisonnée des principaux agents pathogènes d'intérêt sanitaire pouvant être retrouvés dans les boues résiduaire, et indique les pathologies correspondantes.

Organismes	Pathologie	Cible	
		Homme	Animal
Bactéries <i>Salmonella sp</i> <i>Shigella sp</i> <i>Yersinia sp</i> <i>Vibrio cholerae*</i> <i>Campylobacter jejuni</i> <i>Escherichia coli</i> (souches pathogènes)	Salmonellose Dysenterie bacillaire Gastro-entérite Choléra Gastro-entérite Gastro-entérite	+ + + + + +	+++ (veaux + autres espèces) * + - + +++ (toutes espèces)
Virus Entériques Virus de l'Hépatite A et E* Virus de Norwalk et apparentés Rotavirus Entérovirus - Poliovirus - Coxsackievirus - Echovirus Réovirus Astrovirus Calicivirus	Hépatite infectieuse Gastro-entérite Gastro-entérite  Poliomyélite Méningite, Pneumonie, Hépatite Méningite, Paralysie, Diarrhée Infection respiratoire, Gastro-entérite Gastro-entérite Gastro-entérite	+ +   + + + + +	- - + (veaux, porcelets)   - - - -

suite page suivante

Organismes	Pathologie	Cible	
		Homme	Animal
<b>Parasites</b>			
<b>. Protozoaires</b>			
<i>Cryptosporidium sp.</i>	Gastro-entérite	+	+++ (veau)
<i>Giardia intestinalis</i>	Diarrhée	+	++ (chien)
<i>Entamoeba histolytica</i>	Dysenterie	+	-
<i>Balantidium coli</i>	Diarrhée et Dysenterie	+	+ (porc)
<i>Toxoplasma gondii</i>	Toxoplasmose	+	+ (chat)
<b>. Helminthes</b>			
<i>Ascaris lumbricoïdes</i>	Troubles gastro-intestinaux	+	-
<i>Trichuris trichiura</i>	Diarrhée, Douleurs abdominales	+	-
<i>Toxocara sp.</i>	Diarrhée, Douleurs abdominales	+	+ (chien)
<i>Taenia sp.</i>	Nervosité, Insomnie, Troubles digestifs, Anorexie	+	+++ (bovin)
<i>Hymenolepis</i>	Nervosité, Insomnie, Troubles digestifs, Anorexie	+	-
<b>Champignons</b>			
<i>Aspergillus fumigatus</i>	Infection des voies respiratoires supérieures	+	

Tableau n° 1 : Principaux agents microbiologiques d'intérêt sanitaire pour l'homme et/ l'animal pouvant être retrouvés dans les boues résiduaires (d'après EPA, 1993; cité par CSHPF, 1997 ; modifié)

+++ : très sensibles

++ : moyennement sensibles

\* : sensibilité douteuse

\* DOM TOM

+ : faiblement sensibles

- : non sensibles

La charge microbiologique est également fonction des traitements subis par la boue (cf. tabl. n°2). Elle peut présenter en outre des fluctuations fortes au cours du temps (l'heure, la journée, le mois), ce qui complique les questions d'échantillonnage, d'analyses et de représentativité des résultats. L'expression souvent différente

des données selon les publications, en kilogramme de boues brutes ou de matière sèche, ou encore par litre, rend les comparaisons délicates. Les chiffres avancés dans le tableau n°2 ne sont qu'indicatifs : c'est avant tout l'ordre de grandeur qu'il convient de retenir.



	boues primaires	boues secondaires	boues mixtes	boues de lagune 1	boues de lagune 2
CT (coliformes totaux)	10 <sup>8</sup> à 10 <sup>10</sup> germes/L	-	-	10 <sup>7</sup> à 10 <sup>9</sup> germes/L	
CF (coliformes fécaux)	10 <sup>5</sup> à 10 <sup>7</sup> germes/L	-	-	10 <sup>6</sup> à 10 <sup>8</sup> germes/L	10 <sup>7</sup> à 10 <sup>8</sup> NPP/L
SF (streptocoques fécaux)	10 <sup>7</sup> à 10 <sup>9</sup> germes/L	-	-	10 <sup>6</sup> à 10 <sup>8</sup> germes/L	10 <sup>5</sup> à 10 <sup>6</sup> NPP/L
CSR (clostridies sulfito-réductrices)	10 <sup>7</sup> à 10 <sup>9</sup> germes/L	-	-	10 <sup>8</sup> à 10 <sup>10</sup> germes/L	10 <sup>7</sup> à 10 <sup>8</sup> NPP/L 10 <sup>7</sup> à 10 <sup>8</sup> NPP/L
<i>Salmonella spp.</i>	30 NPP/L	-	30 à 67 %	15 NPP/L	
<i>Legionella pneumophila</i>	-	5,6 %	-	-	absence
<i>Listeria spp.</i>	-	22 %	-	-	-
<i>Aeromonas hydrophila</i>	-	-	-	10 <sup>5</sup> à 10 <sup>6</sup> /L	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	-	-	10 <sup>5</sup> à 10 <sup>6</sup> /L	-
oeufs de cestodes	1 à 10 <sup>3</sup> oeufs/L	-	-	-	-
oeufs de nématodes	10 à 10 <sup>4</sup> oeufs/L	-	-	-	-
kystes de <i>Giardia</i>	10 <sup>2</sup> à 10 <sup>4</sup> kystes/L	-	-	-	-
oeufs d' <i>Ascaris spp.</i>	-	50 à 100 oeufs/kg	-	-	-
oeufs de <i>Toxocara spp.</i>	-	10 à 50 oeufs/kg	-	-	-
oeufs de <i>Trichuris spp.</i>	-	10 à 50 oeufs/kg	-	-	-
oeufs de <i>Hymenolepis spp.</i>	-	10 à 50 oeufs/kg	-	-	-
oeufs de <i>Taenia spp.</i>	-	5 à 10 oeufs/kg	-	-	-
virus entériques	10 <sup>3</sup> virus/L	10 <sup>2</sup> à 10 <sup>3</sup> UFP/L	10 <sup>3</sup> UFP/l	-	-
<i>Reovirus</i>	-	-	-	10 <sup>4</sup> à 10 <sup>5</sup> NPPUC/L	1 à 10 NPPUC/L
<i>Enterovirus</i>	-	-	-	10 à 10 <sup>2</sup> NPPUC/L	1 à 10 <sup>2</sup> NPPUC/L

Tableau n° 2 : données bibliographiques sur la charge des organismes pathogènes dans les boues (valeurs exprimées par rapport au produit brut)

NPP = nombre le plus probable

NPPUC = nombre le plus probable d'unités cytopathiques

UFP = unités formant plaque

les résultats qualitatifs (absence/présence) sont exprimés en % d'échantillons contenant les organismes recherchés

durée de lagunage = 70 j

## 1.2. Traitements des boues et réduction des pathogènes

Le traitement des boues a des effets variés sur les organismes pathogènes, en fonction des paramètres caractéristiques de ces traitements (cf. tabl. 3). On peut distinguer les traitements de type physique (température, irradiation, dessiccation, froid, stockage), de type biologique (selon les procédés épuratoires et la nature anaérobie ou aérobie de la stabilisation des boues) et de type

chimique (chaulage essentiellement). Ces différents traitements souvent se combinent pour une station d'épuration donnée.

TRAITEMENTS	FACTEURS INTERVENANTS	CONDITIONS POUR ÊTRE EFFICACE	EFFICACITÉ
digestion froide (lagunage, décanteurs - digesteurs)	température, temps	20 °C, 30 j	faible
stabilisation froide (aération à température ambiante)	température, temps	20 °C, 30 j	faible
compostage à faible température	température, temps	40 °C, 15-30 j	faible à moyenne
conditionnement chimique + déshydratation mécanique			faible
digestion thermophile	température, temps	55 °C, 10 j	excellente
stabilisation thermophile	température, temps	55 °C, 10 j	excellente (sauf <i>Ascaris</i> faible)
compostage bien conduit	température, temps	50-60 °C, 15-30 j	bonne à excellente
chaulage fort <ul style="list-style-type: none"> <li>chaux vive</li> <li>chaux éteinte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>température, temps, pH</li> <li>temps, pH</li> </ul>	pH 12, 20 j	excellente (sauf <i>Ascaris</i> moyenne)
pasteurisation	température, temps	70 °C, 3 h	excellente (sauf <i>Taenia</i> )
stockage <ul style="list-style-type: none"> <li>été</li> <li>hiver</li> </ul>	temps	<ul style="list-style-type: none"> <li>6 mois</li> <li>6 mois</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>bonne à excellente (sauf <i>Eimeria</i> faible et <i>Taenia</i> moyenne)</li> <li>faible à moyenne (sauf <i>Mycobacterium tuber.</i> excellente et oeufs de <i>Dictyocaulus viviparus</i>)</li> </ul>
lits de séchage	temps		? pas de données
irradiation	temps, dose		excellente

Tableau n° 3: facteurs principaux intervenant au cours des différents traitements et leur efficacité sur les germes pathogènes

Dans la majorité des cas, c'est la température qui est le paramètre prépondérant : quand elle augmente, la survie des organismes diminue. Mais c'est le couple température / temps qui est déterminant. Cela signifie qu'un traitement long à température faible peut avoir la même efficacité globale qu'un traitement bref à température élevée. Pour des raisons pratiques d'optimisation de process, c'est plutôt la seconde option qui est usuellement mise en oeuvre.

L'augmentation du pH, liée à un ajout suffisant de chaux, entraîne également une réduction élevée des agents pathogènes, surtout s'il est couplé à une durée de stockage de 2 à 4 mois avant épandage.

Irradiation et conditionnement thermique des boues (procédé Portéous) sont capables d'assurer un bon abattement de la charge microbiologique. Cependant, leur mise en oeuvre se heurte à des problèmes de coût, de dépenses énergétiques, et dans le cas de l'irradiation, de sécurité et d'élimination des sources radioactives périmées.

Les autres traitements diminuent la charge microbiologique mais, sur le strict plan sanitaire, ne donnent pas des résultats reconnus comme suffisamment efficaces. Ainsi l'activité biologique (même si elle empêche les recroissances des populations bactériennes pathogènes par antagonismes biologiques), la présence d'oxygène, la teneur en eau, en matière organique dégradable (la stabilisation de la matière organique diminue sa disponibilité pour les bactéries pathogènes), l'utilisation de désinfectants (tels l'ammonium quaternaire ou l'acide paracétique qui empêchent le développement bactérien) sont autant de facteurs atténuant la charge microbiologique, sans la réduire à des niveaux significatifs.

L'efficacité d'un traitement sur les germes pathogènes se mesure non seulement par le taux de réduction de la contamination lors du traitement et aussi par la capacité de blocage des recroissances ultérieures des populations pathogènes. Ces recroissances sont notamment favorisées par une stabilisation insuffisante des boues, c'est à dire une dégradation trop faible des matières organiques les plus labiles. Les traitements chimiques ne permettent qu'un blocage temporaire des recroissances. Ainsi le chaulage n'est efficace contre les recroissances

que si les doses de chaux sont suffisantes pour maintenir un pH élevé jusqu'à l'épandage. Les autres modes de conditionnement chimique avant déshydratation mécanique (chlorure ferrique, sulfate de fer ou d'aluminium, etc.) sont en revanche sans effet sur la maîtrise des croissances. De même, certains traitements physiques, qui suppriment l'activité biologique et ne stabilisent pas la matière organique, permettent la multiplication ultérieure de certaines bactéries (exemple : pasteurisation).

Enfin cette efficacité est, bien entendu, fonction de la résistance des organismes considérés. D'une manière générale, les oeufs et les kystes de parasites sont très résistants (*Ascaris spp.*, *Taenia spp.*, *Eimeria spp.*, *Toxoplasma sp.*, etc.), sauf peut-être les oeufs de parasites à coque fine et les kystes de certains protozoaires (*Entamoeba sp.*, etc.).

### 1.3. Devenir des agents pathogènes après épandage

Les organismes pathogènes apportés par épandage de boues se retrouvent à la surface du sol ou du végétal, ou à faible profondeur dans le sol dans le cas d'un enfouissement par labour ou d'une injection. Ils ne pénètrent pas à l'intérieur des végétaux.

Un "bruit de fond" de contamination est souvent observé, provenant sans doute des déjections d'animaux sauvages ou, sur prairie, des déjections des animaux domestiques. Il peut fausser évidemment les résultats expérimentaux en montrant des parcelles témoins en fin d'expérience plus chargées en pathogènes que la parcelle ayant reçu des boues, surtout si les déterminations taxonomiques ne descendent pas au niveau de l'espèce.

La plupart des auteurs s'accordent pour estimer que 90 à 95 % des micro-organismes s'accumulent à la surface du sol (au plus à 5 cm), le reste ne transitant que sur de faibles distances. Par exemple, 99 % des salmonelles et 99,9 % des *Escherichia coli* sont retenus par une colonne de sol de 3 cm (SMITH S.R., 1996). Le sol joue donc le rôle d'un filtre extrêmement efficace. Cette capacité reste toutefois fonction de la profondeur effective du sol, de sa texture (taux d'argile notamment), et de sa richesse en matière organique. La probabilité d'une propagation en profondeur des agents pathogènes relève en conséquence de contextes particuliers tels que la présence de fentes de retraits en cas de sécheresse prolongée, de failles, d'absence de terre végétale, etc. Lors des études agro-pédologiques accompagnant la mise en place du plan d'épandage, il convient d'identifier et de soustraire du périmètre d'épandage les parcelles présen-

tant de telles caractéristiques.

BERRON (1984), dans une synthèse documentaire, a rassemblé des données sur la survie de micro-organismes dans le milieu extérieur et sur différents supports (cf. tabl. 4). Ces données sont collationnées de plusieurs sources documentaires et s'avèrent hétérogènes : seuls les ordres de grandeur sont à considérer. Selon les organismes et les conditions de milieu, la survie varie de quelques jours à plusieurs semaines, voire même quelques mois pour certains d'entre eux. Les oeufs ou kystes de parasites présentent incontestablement les performances de survie les plus longues : une à plusieurs années dans certaines circonstances favorables mais sans doute exceptionnelles. En moyenne, la perte de viabilité, et donc d'infectiosité, est atteinte en quelques semaines.

Les populations d'agents pathogènes décroissent plus rapidement lorsque les boues sont épandues sur les sols ou sur les végétaux, qu'enfouies dans les sols où la survie est plus importante. Le rythme de décroissance dépend des capacités propres des organismes (cf. tabl. 4) mais aussi de nombreuses variables dont la plus importante est le climat (température, insolation et humidité). A titre d'exemple, certains auteurs ont montré qu'en montagne la réduction des pathogènes était plus rapide sur les versants exposés au Sud que sur les versants exposés au Nord (effet de l'insolation). La décroissance peut aussi dépendre, de façon secondaire, de la texture, la structure et des propriétés biologiques et chimiques (CEC, teneur en calcium, pH, etc.) du sol. Enfin, sur les végétaux elle peut dépendre de la hauteur et des fissures du végétal.

A l'inverse, l'enfouissement des boues dans le sol, s'il diminue la probabilité d'un contact direct boue-homme ou boue-animal, atténue l'impact récessif des facteurs climatiques et augmente donc la survie des organismes.

Les risques les plus concrets de contamination des eaux proviennent en définitive du ruissellement de surface en cas de sols nus et pentus et d'épisodes pluvieux. Les eaux de ruissellement transportent des particules de sol auxquels sont associés les micro-organismes. L'état hydrique initial du sol, l'intensité de la pluie et le couvert végétal sont alors des facteurs complémentaires jouant sur l'érosion de surface et le transport des sédiments.

ORGANISME	MILIEU	DUREE DE SURVIE
<b>BACTÉRIES :</b>		
Bactéries du charbon	eaux d'égout	19 jours
<i>Vibrio cholerae</i>	épinards- laitues concombres	22-29 jours 7 jours
Coliformes	herbe feuilles de trèfle à 40-60 % d'humidité luzerne sol (surface)	14 jours 12-14 jours 6 jours 34 jours 38 jours
<i>Salmonella</i>	herbe (eaux brutes) trèfle (eaux décantées) légumes feuilles betteraves herbe surface du sol et pommes de terre carottes choux et groseilles sol sableux et stérilisé sol sableux non stérilisé sol (surface-eaux brutes) sol (couches profondes) boues digérées séchées à l'air	6 semaines 12 jours 7-40 jours 3 semaines tout l'hiver 40 jours 10 jours 5 jours 24 semaines 5-12 semaines 46 jours 70 jours 17 semaines
<i>Shigella</i>	herbe (eaux brutes) légumes	6 semaines 7 jours
<i>Streptococi</i>	sol sol (surface)	35-63 jours 38 jours
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	herbe sol eau	10-14 jours 6 mois 1 à 3 mois
<b>VIRUS :</b>		
Enterovirus	racines de haricots sol tomates et racines de pois	4 jours 12 jours 4-6 jours
Poliovirus	eau polluée 20°C	20 jours
<b>PROTOZOAIRES :</b>		
<i>Entamoeba histolytica</i>	légumes eau	3 jours des mois
<b>HELMINTHES :</b>		
Oeufs d' <i>Ascaris</i>	légumes sols irrigués sol	27-35 jours 2-3 ans 6 ans
Kystes de la douve de foie	foin sec foin mal séché	quelques semaines plus d'un an

Tableau n° 4 : Survie des agents pathogènes dans différents milieux (d'après POUND et CRITES, 1973 ; cité par BERRON, 1984, modifié)



## 1.4. Evaluation des risques sanitaires liés à l'épandage des boues

Une démarche d'évaluation des risques comporte en général quatre étapes :

- l'identification des dangers
- l'estimation des probabilités d'expression des dangers
- l'estimation des expositions aux dangers au sein des populations considérées
- la caractérisation du risque (étape de synthèse)

Il faut souligner la différence que font les épidémiologistes entre les termes « *danger* » et « *risque* ». Le danger est l'expression d'une potentialité, tandis que le risque est la probabilité de réalisation de cette potentialité.

### 1.4.1 L'identification des dangers

Le danger lié à l'épandage des boues est la présence des organismes pathogènes dans celles-ci.

En ce qui concerne les boues urbaines on peut penser que le danger envers l'Homme et les animaux est le plus élevé pour les parasites de la famille des Taeniidés (*Taenia spp.*) qui sont relativement fréquents dans les boues. D'autres parasites peuvent être considérés (*Besnoitia spp.*, *Sarcocystis spp.*, *Toxoplasma sp.*, *Balantidium sp.*, *Entamoeba sp.*, *Strongyloides sp.*, etc.) ou certaines bactéries. *Salmonella spp.*, par exemple, est retrouvé dans les boues, mais pas systématiquement. *Mycobacterium tuberculosis* peut être présent occasionnellement dans les boues mais à des quantités difficilement estimables et vraisemblablement faibles.

Ce sont les boues d'abattoirs de mammifères qui représentent le danger le plus élevé pour les animaux d'élevage, sachant qu'il n'est toutefois pas plus élevé qu'avec les déjections animales (lisier ou purins). Ce risque tient essentiellement aux pathogènes présents de façon inapparente chez les animaux ou responsables d'affection non décelées lors de l'examen *ante mortem* à l'abattoir ou ne justifiant ni de leur hébergement dans un emplacement spécial (avec écoulement distinct), ni leur abattage dans le local sanitaire de l'abattoir. A ce danger permanent, s'ajoute, en principe, un danger occasionnel lors d'abattages sanitaires (dans le cadre des prophylaxies des maladies du bétail ou d'épizooties graves). Mais dans ce cas, les animaux sont soit abattus sur place, soit dans un clos d'équarrissage, soit encore dans un abattoir qui est alors considéré comme périmètre infecté. Dans tous les cas, pour éviter la dissémination,

des dispositions sont prises qui réduisent considérablement le risque de propagation d'une maladie contagieuse grave par l'intermédiaire des effluents d'abattoir et donc des boues.

Les boues d'abattoir de volailles induisent des dangers très faibles pour l'Homme et les animaux d'élevage (bovins, ovins, porcs, chevaux et caprins à cause de la spécificité de la plupart des organismes, et volailles domestiques parce qu'elles n'ont généralement pas accès aux terres ayant reçu des boues). De même, les dangers induits par les boues de laiterie sont sans doute faibles en raison de leur contamination très limitée.

En final, il faut souligner que la simple détection d'un agent pathogène ne renseigne en rien sur son état de virulence. Par exemple, la bactérie détectée peut être viable mais non cultivable; elle peut être non viable et non cultivable. De la même façon, la présence d'un oeuf de parasite ne préjuge pas de sa viabilité, encore moins de son infectiosité.

### 1.4.2 Estimation des probabilités d'expression des dangers

La probabilité d'expression des dangers dépendent de trois paramètres :

- la résistance dans le milieu extérieur de l'organisme pathogène, avant de pouvoir atteindre l'espèce cible (voir plus haut) ;
- la dose minimale infectante (DMI) qui représente une évaluation de l'effectif d'un pathogène qui doit être absorbé pour que les symptômes de la maladie se manifestent chez quelques sujets au moins (de l'ordre de l'unité pour les oeufs de parasites intestinaux, de la centaine pour les virus et protozoaires et du million ou plus pour les bactéries) ;
- la spécificité d'espèce cible de l'organisme pathogène qui est variable.

### 1.4.3 Estimation des expositions aux dangers au sein des populations considérées

L'examen des différentes voies de contamination imaginables (cf. fig. 1), et leur confrontation aux pratiques normales d'épandage (où notamment les recommandations sont respectées), permet de conclure que seules trois modalités de contamination peuvent avoir lieu de façon probable : la transmission aux animaux domestiques (au pâturage ou à l'étable), aux populations animales sauvages, et à l'Homme (personnel directement en contact avec les boues au cours du stockage, de la reprise ou de l'épandage).

### • Animaux domestiques

La transmission aux animaux domestiques survient par ingestion de végétaux et de terre souillée, au pâturage ou à l'étable (herbe fanée, fourrages ensilés, etc.). Les délais de mise à l'herbe à respecter sont souvent longs (trois semaines à 6 semaines, selon que les boues sont ou non hygiénisées, ainsi que le stipule la réglementation du 8 janvier 1998) et seuls les pathogènes résistants dans le milieu extérieur sont concernés. Les espèces les plus exposées sont les bovins, les ovins, les caprins, et les chevaux.

Les animaux d'élevage au pâturage peuvent aussi se contaminer par des écoulements de jus sur les prairies provenant de stockage de boues en tête de parcelle. Cette dernière éventualité n'intervient toutefois que dans des conditions particulières (topographique, climatique et de stockage). La réalisation de stockages aménagés doit interdire une telle situation.

### • Animaux sauvages

Les animaux sauvages, en se contaminant par un contact direct avec la boue, peuvent jouer un rôle de "vecteur" des agents pathogènes. Soit ils permettent la dissémination dans l'environnement par simple transport passif des pathogènes (cas des vers de terre qui peuvent héberger des bactéries et des oeufs de parasite); Soit ils entretiennent la contamination dans leur population et jouent ensuite le rôle de réservoir (cas des rats d'égout, des ragondins, des lapins de garenne, des lièvres, etc.); Soit enfin, ils sont des points de passage obligés dans le cycle évolutif de certains parasites et hébergent donc un stade de développement particulier du parasite (par exemple: le Renard est l'hôte définitif principal de *Echinococcus multilocularis*, microparasite se localisant dans le foie et dont l'issue pour l'Homme est fatal, tandis que l'hôte intermédiaire est le Campagnol terrestre). Les oiseaux et les insectes peuvent également jouer le rôle de vecteurs.

### • Hommes : personnel d'exploitation, agriculteurs et grand public

La dispersion aérienne lors de l'épandage ne se produit que si les boues sont liquides (aérospersion et donc formation d'aérosols) ou très sèches (émission de poussières : ceci suppose que la boue a été séchée thermiquement et donc hygiénisée, ce qui supprime le danger). Elle ne concerne que les bactéries et les virus car les oeufs et kystes de parasites, lourds, retombent très vite. D'autres facteurs influent sur la dispersion : le réglage de la buse d'épandage, la vitesse du vent, l'existence d'obstacles (arbres, ...), la conformation du site, etc. Dans ces configurations, le climat est déterminant sur la

survie des pathogènes : un temps chaud et ensoleillé la rendra plus difficile qu'un temps frais et nuageux (les U.V. ont une action stérilisante et la chaleur favorisera une dessiccation brutale des petites particules).

Outre l'inhalation accidentelle de poussières ou d'aérosols, la transmission aux agriculteurs et ouvriers des chantiers d'épandage peut survenir par contact direct ou indirect avec la boue. Les enquêtes épidémiologiques menées à ce jour n'ont toutefois jamais permis de mettre en évidence un risque mesurable pour les agriculteurs utilisant des boues. Celles menées sur les ouvriers des stations d'épuration, pourtant plus exposés, montrent que le risque est faible, voire nul. De plus, le respect de règles d'hygiène simples permet de réduire encore l'occurrence du risque.

L'Homme (au sens "grand public") peut être touché par la consommation de végétaux contaminés ou par celle de produits carnés provenant d'animaux ayant ingéré des végétaux ou des sols contaminés. L'organisme pathogène doit résister aux opérations de récolte, de stockage et surtout de transformation de l'aliment (dans laquelle, l'épluchage et le lavage pour les végétaux, et surtout la cuisson sont importants). En définitive, cette voie ne concerne que les aliments destinés à être mangés crus ou peu cuits. Ainsi qu'il sera vu plus loin, l'interdiction d'épandre sur des cultures destinées à être consommées crues par l'Homme, les contrôles sanitaires des viandes et les délais à respecter entre l'épandage et la l'utilisation de l'herbe (pâturage, fauchage) rendent très peu probables ces voies de contamination.

On peut aussi envisager le cas de boues épandues sur des terrains de sport (risques de pénétration par écorchures), sur des jardins publics (accessibles aux enfants) ou en forêt. Ces pratiques sont peu répandues en France, mais il convient d'en tenir compte dans l'analyse des risques.

#### 1.4.4 La caractérisation du risque (étape de synthèse)

L'évaluation finale du risque doit tenir compte de :

- l'importance médicale de l'organisme qui peut provoquer des maladies très graves ou au contraire bénignes, ou encore une maladie que dans des circonstances exceptionnelles (cas des pathogènes opportunistes) ;
- l'incidence économique (coût des soins, des baisses de production, des saisies de carcasses à l'abattoir) ;
- l'existence d'autres sources de contamination (qui peut dans certains cas révéler que la boue participe pour une part négligeable à la contamination de l'espèce cible).

Depuis le début des opérations d'épandage des boues aucune corrélation univoque entre épandage et événements pathologiques n'a pu être mise en évidence. Toutefois, ceci ne signifie pas une absence de risque, mais indique plutôt un "excès de risque" très faible, au sens des épidémiologistes. L'expression "excès de risque" désigne en effet le supplément de mortalité ou de morbidité dans une population déterminée que l'on peut relier à la présence d'un agent dangereux particulier.

Les rares études épidémiologiques, en conditions réelles ou expérimentales, qui ont réussi à mettre en évidence un excès de risque avec des degrés de certitude variables (forte présomption ou quasi-certitude) concernent *Taenia spp.* et *Sarcocystis spp.* L'infestation par *Taenia saginata* (uniquement possible à partir de boues urbaines) a peu d'impact sur la santé des animaux (porteurs des kystes larvaires) et de l'Homme (porteur des parasites adultes) mais présente une réelle importance économique pour les éleveurs en raison des saisies de carcasses infestées à l'abattoir. De même, les études concernant *Salmonella spp.* tendent à prouver qu'il y a peu de risques lorsque les recommandations d'épandage sont respectées.

L'absence de problème notable (sauf les cas cités ci-dessus) depuis que la valorisation agronomique est pratiquée avec les règles actuelles est satisfaisante. En outre, l'amélioration progressive des règles sanitaires (lutte contre les maladies, système de surveillance sanitaire, surveillance des installations classées, inspection sanitaire des abattoirs, ...), des conditions d'assainissement (augmentation du niveau global d'épuration, traitements des boues, mise en place de stations propres aux abattoirs, ...) et des épandages (organisation de plus en plus rigoureuse de la valorisation agronomique des boues) contribuent à une consolidation sans cesse accrue du niveau d'exigence et de sécurité.

## 1.5. Gestion du risque sanitaire lié à l'épandage des boues

Face à la contamination des boues et aux différentes voies possibles d'exposition aux risques, on distingue grosso modo deux approches :

- celle préconisant des exigences de traitement des boues pour supprimer leur contamination, ou la réduire à un niveau jugé acceptable : c'est la notion d'"hygiénisation" et de traitements hygiénisants. La suppression de la contamination élimine donc le danger (étape 1 de la démarche d'évaluation des risques exposée au § 1.4.1 ci-dessus);
- celle n'imposant pas ce type de traitement, mais

édicte un ensemble de règles relativement précises sur l'utilisation des boues (actions relevant de l'étape 3 de la démarche d'évaluation des risques exposée au § 1.4.3 ci-dessus). Cette approche considère en conséquence que la simple mise en œuvre de "bonnes pratiques" suffit à gérer le risque sanitaire. C'est l'approche la plus communément répandue, tant en France qu'en Union européenne (Directive du Conseil de 1986).

Certains pays ont prévu une combinaison de ces deux approches (Suisse, Danemark), mais l'intégration la plus complète a incontestablement été réalisée par les USA (1993). Avec la nouvelle réglementation française sur l'épandage des boues, on peut considérer que le dispositif français prévoyant des procédures, soit pour l'épandage, soit pour l'homologation de matières fertilisantes à base de boues, devient finalement assez proche conceptuellement du dispositif américain.

### 1.5.1 Notion de filières hygiénisantes. Intérêt. Transcription dans la réglementation.

Selon la définition proposée par le Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France (CSHPF), dans un rapport publié en 1997, l'hygiénisation "vise à réduire à des niveaux acceptables les concentrations d'agents pathogènes présents dans les boues". L'analyse de tous les micro-organismes étant impossible, des "organismes témoins d'efficacité de traitement (OTET)" sont choisis sur la base de leur résistance. Usuellement sont considérés les helminthes (surtout les nématodes), les salmonelles, et les virus entériques. En ce qui concerne les helminthes, l'analyse de viabilité est recommandée car ces organismes possèdent une coque particulièrement résistante et que l'on retrouve après traitement, même après perte de viabilité.

Ces propositions ont été retenues par la nouvelle réglementation française sur l'épandage des boues d'épuration urbaines (décret du 8 décembre 1997 et arrêté du 8 janvier 1998). Selon les articles 12 et 16 de cet arrêté, les boues hygiénisées présentent en sortie de traitement les concentrations ci-dessous qui correspondent en fait à des niveaux non détectables :

- *Salmonella* < 8 NPP / 10 g MS (NPP = nombre le plus probable)
- entérovirus < 3 NPPUC / 10 g MS (NPPUC = nombre le plus probable d'unités cytopathiques)
- oeufs d'helminthes pathogènes viables < 3 / 10 g MS (MS = matière sèche)

Cette caractérisation doit être faite lors de la mise en service de l'unité de traitement, puis être accompagnée



en routine d'un suivi des coliformes thermotolérants. Le suivi de ces organismes, dont les concentrations mesurées sont interprétées en référence à celles obtenues lors de la caractérisation du traitement, doit démontrer le bon fonctionnement de l'installation et l'absence de recontamination.

Plus que le choix d'un traitement particulier pour l'hygiénisation des boues, c'est le choix d'une filière hygiénisante qu'il faut encourager, ce choix s'appuyant sur les capacités hygiénisantes des différents traitements et leur éventuelle combinaison dans une séquence judi-



Le compostage des boues est un procédé reconnu comme hygiénisant. La bonne conduite du procédé est toutefois déterminante pour assurer une température au moins égale à 55° C, pendant cinq jours consécutifs, en tout point de la masse. La vapeur qui se dégage lors des retournements témoigne d'une intense activité thermique. Dans le cas des boues d'épuration, le compostage par ventilation forcée garantit une meilleure maîtrise des odeurs.

A titre d'exemple, citons 5 filières hygiénisantes :

- pasteurisation \* digestion mésophile \* déshydratation
- stabilisation aérobie thermophile \* digestion mésophile \* déshydratation
- irradiation \* digestion mésophile \* déshydratation
- digestion mésophile \* déshydratation \* compostage
- digestion mésophile \* déshydratation \* chaulage

D'autres solutions sont possibles du moment qu'elles satisfassent à l'objectif d'hygiénisation, ce qui suppose que celui-ci soit clairement énoncé et reconnu. En conséquence, le choix judicieux et validé de ces organismes-témoins et les valeurs-seuils à retenir sont de la plus haute importance pour juger, de façon impartiale, du caractère hygiénisant d'une filière. Ces critères doivent s'accompagner de la définition de méthodes d'échantillonnage et d'analyse.

La réglementation américaine de 1993 US EPA, (40 CFR Part 503) a ainsi défini des paramètres microbiologiques et reconnu un certain nombre de procédés hygiénisants, mais en gardant une ouverture possible sur tout procédé nouveau. En résumé, car l'énoncé exhaustif de cette réglementation serait trop long, l'articulation de cette réglementation est la suivante :

- au minimum : coliformes fécaux : < 1 000 NPP / g MS
- ou salmonelles : nombre < 3 pour 4 g MS
- et en outre :

cieuse tenant compte des compatibilités techniques entre les différents traitements (la stabilisation aérobie et la pasteurisation ont, par exemple, un effet bénéfique sur la digestion s'ils lui sont antérieurs), de la prévention des recroissances de bactéries pathogènes et des contraintes ne concernant pas l'hygiénisation (telles que l'obligation réglementaire de stabilisation des boues, les objectifs sur la valeur agronomique du produit final, volumes à stocker et transporter, le matériel d'épandage qui nécessitera une boue liquide ou au contraire solide, etc.).



Boues chaulées déposées en tête de parcelle, peu de temps avant l'épandage. Le maintien d'un pH supérieur à 12, pendant trois mois consécutifs, permet l'éradication des germes les plus résistants dans l'environnement tels les oeufs de parasites (Ascaris ou ténias).

- soit densité virus entériques < 1 PFU pour 4 g MS
- et nombre d'oeufs d'helminthes viables < 1 pour 4 g MS
- soit mise en oeuvre d'un traitement reconnu comme efficace..

La Suisse considère dans l' "Ordonnance sur les substances dangereuses pour l'Environnement" de 1992 que les "boues sont hygiénisées lorsqu'au moment de quitter la station centrale d'épuration, elles ne contiennent pas plus de 100 entérobactéries par gramme, ni d'oeufs d'helminthes susceptibles d'être contagieux". Cette ordonnance précise aussi que l'épandage des boues ou de compost mélangé à des boues n'est autorisé sur les surfaces fourragères ou maraîchères que s'il s'agit de boues hygiénisées. L'Italie, quant à elle, n'a considéré que les salmonelles, dont la charge doit être inférieure à 1 000 NPP / g MS.

L'intérêt évident de l'hygiénisation est de permettre une utilisation plus large des boues :

- dans des contextes sensibles ou particuliers (terrains de sport ou de loisir, forêts fréquentées par le public, etc.) ;
- pour la fabrication de matières fertilisantes, sous réserve de la prise en compte d'autres critères (éléments-traces métalliques ou organiques) ;
- pour des usages spécifiques (horticulture, maraîchage, etc.).



Au bénéfice strictement technique sur le plan de la santé publique, peut se rajouter un bénéfice d'ordre psycho-social non négligeable pour l'acceptation de la filière de valorisation. L'inconvénient est de nature économique : les traitements hygiénisants induisent forcément un surcoût par rapport à une installation épuratoire classique, sauf si la filière a déjà été mise en place pour d'autres raisons et qu'il s'agit d'une simple optimisation de la conduite des procédés (chaulage, compostage, séchage ou conditionnement thermique, etc.).

### 1.5.2 Gestion du risque sanitaire par encadrement des épandages

Pour définir les règles d'épandage, il convient de lister toutes les voies possibles d'exposition aux risques (figure n° 1), ainsi que cela a été défini au § 1.4.2.

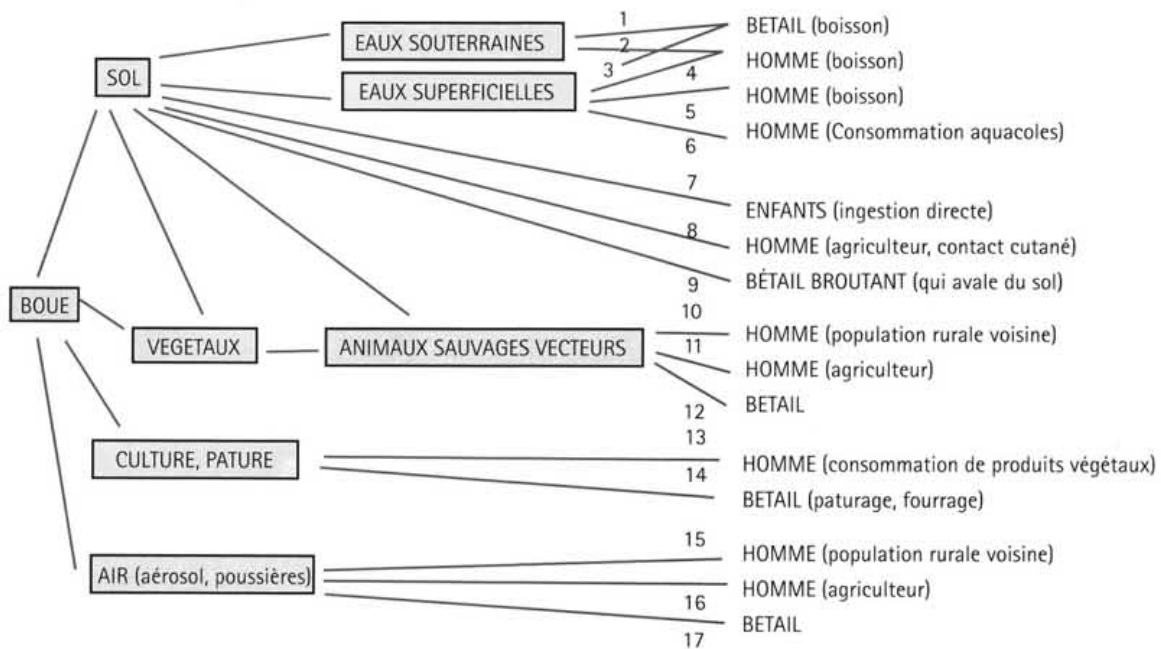


Figure n° 1: les différentes voies d'exposition menant des organismes pathogènes présents dans les boues aux cibles

Les recommandations ou obligations se traduisent par des précautions ou restrictions d'usage :

- restriction ou interdiction d'épandre sur des cultures particulières (telles que fruits et légumes en contact avec le sol et consommables crus, pâturages ou cultures fourragères) ou sur des secteurs particuliers (zone inondée ou inondable, zone à nappe aquifère affleurante, zones protégées, périmètre de protection des captages d'eau, etc.) ;
- délais à respecter entre l'épandage et l'implantation ou l'utilisation de ces cultures ;
- contraintes sur les techniques d'épandage (aéroaspersion des boues liquides interdite; injection, enfouissement dans le sol ou incorporation immédiate sous la surface du sol pour les boues non traitées; etc.), l'époque d'épandage (interdiction en période de fortes

pluies ou de gel, etc.) et enfin, sur les traitements des boues.

Cette approche justifie les dispositions de la nouvelle réglementation et du règlement sanitaire départemental-type (cf. tabl. 6), qui peuvent être adaptées selon le contexte local et le type de boues produit par la station d'épuration. Dans les grandes lignes, des dispositions du même ordre ont été reprises dans les diverses réglementations européennes.

n° voie (cf. fig. 1)	règle à respecter	réglementation concernée
1, 2, 3, 4, 5, et 6	<p>"toutes dispositions doivent être prises pour que le ruissellement en dehors du champ ou une percolation vers les nappes souterraines ne soient cause d'inconvénients pour la santé publique", ainsi l'épandage est interdit :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• à moins de 35 m des puits, forages, sources, réseaux d'eaux potables, rivages, cours d'eau, ... La distance minimale par rapport aux cours d'eau est portée à 200 m si des boues liquides sont épandues sur un terrain de pente &gt; 7 %,</li> <li>• dans des zones d'infiltration en communication reconnue avec des ressources en eau utilisées pour l'alimentation en eau potable</li> <li>• en périodes de fortes pluies</li> <li>• sur sol gelé ou enneigé</li> </ul> <p>"l'épandage doit également satisfaire aux prescriptions générales ou particulières relatives aux périmètres de protection des sources, puits, captages ou prises d'eau"</p>	Décret du 8/12/1997, arrêté du 8/01/1998 et RSD
7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• afin de protéger les riverains, il est interdit d'épandre à moins de 100 m d'habitations, de zones de loisirs, sauf si les boues sont hygiénisées.</li> <li>• stockage localisé à plus de 200 m des habitations, zones de loisir, ...</li> <li>• interdiction d'épandre sur des terrains autres que régulièrement exploités</li> </ul>	Décret du 8/12/1997, arrêté du 8/01/1998 et RSD
8	pas de prescription réglementaire : recommandations CSHPF, reprises dans ce document.	
10, 11 et 12	pas de prescription réglementaire explicite, sauf obligation d'enfouir immédiatement dans le sol des boues non traitées (matières de vidange), ou en moins de 48 heures si les boues sont non stabilisées, ce qui réduit l'attraction des vecteurs vis à vis de la boue	Décret du 8/12/1997, arrêté du 8/01/1998
9 et 14	délai de 3 semaines après l'épandage avant l'utilisation de l'herbe (pâturage, fauchage) si les boues sont hygiénisées, ou 6 semaines si les boues ne sont pas hygiénisées.	Arrêté du 8/01/1998
13	interdiction d'épandre pendant la période de végétation + délai de 10 mois (cas des boues hygiénisées) avant la récolte et pendant la récolte elle-même pour les cultures dont les produits sont en contact avec le sol et susceptibles d'être consommés à l'état cru. Délai porté à 18 mois si les boues ne sont pas hygiénisées.	Arrêté du 8/01/1998
15, 16 et 17	<ul style="list-style-type: none"> <li>• aéroaspersion des boues liquides interdite si production de brouillards fins</li> <li>• il est interdit d'épandre à moins de 100 m d'habitations, de zones de loisirs, etc, si les boues ne sont pas hygiénisées</li> <li>• si les boues sont hygiénisées la distance de 100 m devient sans objet, mais les boues doivent cependant être stabilisées et enfouies immédiatement après épandage.</li> </ul>	Décret du 8/12/1997, arrêté du 8/01/1998

Tableau n° 5 : les différentes voies de contamination et règles à respecter pour maîtriser les risques

En complément des prescriptions de type réglementaire que tout opérateur se doit de respecter, un ensemble de "bonnes pratiques" peuvent être recommandées et intégrées dans les dispositions organisationnelles du plan d'épandage. Une grande partie de ces recommandations, proposées par le CSHPF, sont désormais reprises dans la nouvelle réglementation :

a) Manipulation des boues : précautions d'hygiène du personnel d'exploitation ou de l'agriculteur utilisateur.  
- Il est recommandé de porter des vêtements spécifiques lors de l'épandage. Ces vêtements ne doivent entrer ni dans les bâtiments d'habitation, ni dans les locaux d'élevage. Ils doivent être laissés dans un vestiaire, et régulièrement lavés.



- Lors du soutirage de boues liquides, il est recommandé d'utiliser des gants de travail si la connexion entre la tonne à lisier et les tuyauteries de soutirage se fait manuellement. Pour éviter cette connexion manuelle et le contact direct avec la boue, l'équipement des tonnes à lisier avec un bras de pompage à branchement automatique est fortement conseillé.
- Le port d'un masque est recommandé, si les conditions de l'épandage sont susceptibles de créer des aérosols. Toute dispositions doivent être prises par ailleurs pour éviter la formation d'aérosols.
- En fin de journée, ou en cours de journée si nécessaire, le lavage du matériel d'épandage est recommandé.

#### b) Stockage des boues :

- Le stockage des boues, entre chaque campagne d'épandage et sur une longue période, doit être réalisé dans des dispositifs étanches, interdisant tout rejet dans le milieu naturel (arrêté du 8/01/1998, article 5). Il peut être couvert pour limiter la production d'eaux de ruissellement, voire fermé pour maîtriser s'il y a lieu les nui-

sances olfactives et collecter les odeurs en vue de leur traitement.

- Les zones de reprise des boues stockées (aire de soutirage ou aire de chargement) doivent être conçues de façon à permettre un nettoyage aisé. Une prise d'eau et une évacuation des eaux de nettoyage sont à prévoir.
- Le dépôt temporaire des boues à même le sol, en tête de parcelle, n'est possible que si les boues sont solides et stabilisées (arrêté du 8/01/1998, article 5), et que toutes dispositions soient prises pour prévenir des écoulements de boues ou de lixiviats dans le milieu naturel.
- A défaut d'être solides ou stabilisées, les boues ne peuvent être déposées à même le sol plus de 48 heures.
- La localisation de ces dépôts temporaires doit respecter les distances légales d'implantation prévues par l'arrêté du 8/01/1998 et le RSD, et plus généralement être judicieusement choisie pour éviter toute gêne, quelle qu'elle soit, vis à vis du voisinage. La configuration physique du site de stockage (pente), la nature des sols, l'impact paysager et le respect du RSD constituent des éléments de la prise de décision.



*Bras de pompage latéral sur tonne à lisier, avec entonnoir récepteur. Ce dispositif évite le contact manuel avec la boue. L'hygiène du travail s'en trouve fortement améliorée.*

#### c) Transport

- Les matériels de transport doivent être parfaitement étanches pour éviter les pertes sur la voirie. Les dispositifs de fermeture et d'ouverture doivent garantir toute sécurité.
- En cas de salissement accidentel, le matériel de transport doit être lavé avant d'accéder à la voirie commune.
- Le cas échéant le matériel de transport peut être fermé pour limiter les nuisances olfactives tout au long du transport, notamment lors de la traversée d'agglomérations.
- Les déversements accidentels de boues sur la voirie doivent être nettoyés dans les plus brefs délais.

#### d) Epandage

- Les matériels d'épandage utilisés doivent être rigoureusement étanches, et régulièrement entretenus et lavés.

- Les dispositifs suivants permettent de réduire la production d'odeurs et d'aérosols, tout en améliorant la précision des épandages :

- . pour les boues liquides : tonnes à lisier ou appareils automoteurs équipés de dispositifs d'épandage localisés au ras du sol (rampe d'épandage classique; ou rampe équipée d'un dispositif basse pression avec pendillards) ou avec enfouissement direct (socs enfouisseurs) ;

- . pour les boues pâteuses : appareils de dispositifs d'épandage à plateaux surbaissés limitant les projections de boue en hauteur ;

- . pour les boues solides : épandeurs équipés de dispositifs d'émiettement et de tables d'épandage assurant un bon fractionnement des gâteaux de boue et une dispersion régulière sur une grande largeur.

- En cas d'épandage sur cultures en place (cultures pérennes ou annuelles), toutes dispositions doivent être prises pour éviter d'épandre de la boue sur la végétation. Le recours à des dispositifs d'épandage localisé, amenant la boue directement au pied des végétaux ou au ras du sol, est à préconiser.

- L'épandage par aspersion avec des canons haute pression est interdit en raison des risques de production d'aérosols (brouillards fins) et de leur transport possible sur une longue distance.

- Un enfouissement rapide des boues après épandage, même superficiel, est à préconiser (sauf si épandage sur prairies) pour limiter notamment la possibilité d'un contact direct des boues avec l'Homme ou l'animal, et réduire les éventuelles nuisances olfactives. Cet enfouissement intervient le jour même ou le lendemain de l'épandage.

#### e) Cas d'utilisation sur prairie permanente ou temporaire

- Le circuit de manutention des boues doit toujours se faire hors de l'enceinte d'élevage (respect de la distinction circuits propres/circuits sales).

- Les épandages sont à pratiquer sur herbe rase, immédiatement après un ensilage, une coupe ou un pâturage. L'épandage sur herbe haute est déconseillé dans toutes les situations, pour conserver l'appétence de l'herbe ou pour prévenir un transfert d'éléments-traces métalliques ou organiques par ingestion directe de boues.

- Dans le cas d'épandage de boues liquides, la remise à l'herbe des animaux se fera au plus tôt trois semaines après l'épandage si les boues sont hygiénisées, ou six semaines si les boues ne sont pas hygiénisées. Des dispositifs particuliers d'enfouissement adaptés aux prairies (coutres incisant le tapis prairial) peuvent être préconisés pour réduire encore davantage la probabilité de risques d'un contact boues-animal.

- Dans le cas de boues solides ou pâteuses, en raison de leur plus lente vitesse de dégradation à la surface du sol, l'épandage sur prairie est conseillé uniquement en fin de saison de végétation ou après le départ des animaux.

### 1.5.3 Synthèse entre les deux approches

Les deux approches, présentant mutuellement avantages et inconvénients, peuvent avantageusement se combiner dans un dispositif réglementaire donné. Ainsi la réglementation américaine a retenu ces deux approches en classant dans les boues du type "A" celles ayant subi un traitement d'hygiénisation, et dans les boues du type "B" celles épandues dans le cadre d'une organisation d'épandage soumise à des règles précises. Les boues de type A peuvent être utilisées sans contrainte aucune, à la façon de n'importe quelle matière fertilisante commerciale. Il s'agit en quelque sorte d'un

encouragement, ou "prime à la qualité", pour la station d'épuration réalisant un effort particulier de traitement. Sans avoir perfectionné aussi loin sa réglementation, le même esprit a été repris par les textes danois (Statutory order n° 736 du 26 octobre 1989) : certains usages ne sont autorisés qu'après certains traitements nettement spécifiés (pasteurisation, compostage, etc.).

Au delà d'une stricte exigence réglementaire, un traitement d'hygiénisation peut être mis en oeuvre sur une seule base volontaire par le maître d'ouvrage de la station d'épuration, en vue de créer un climat de confiance propice à la sérénité de l'opération d'épandage envisagée, tant vis à vis des agriculteurs, que des entreprises de transformation des produits agricoles ou des populations locales.

Toutefois, il faut souligner que dans la plupart des opérations d'épandage, très généralement sur terres labourées et en grande culture, le simple respect des règles d'épandage offre une maîtrise tout à fait suffisante des risques sanitaires. La mise en oeuvre d'un traitement hygiénisant constitue presque toujours un surcoût qu'il convient en conséquence de justifier à chaque fois dans le contexte précis de l'opération envisagée.

### 1.5.4 Intérêt de la cellule de veille sanitaire vétérinaire des épandages de boues d'épuration

Ce cadre sanitaire étant fixé, il demeure important de maintenir une veille nationale pour évaluer la pertinence des mesures de précaution édictées : il s'agit également d'une des conclusions fortes des travaux européens, réaffirmée par le CSHPF en 1997. Dans le domaine vétérinaire, le Centre d'informations toxicologiques vétérinaires (CNITV) et l'ADEME ont décidé de relancer la cellule de veille sanitaire qui avait fonctionné de 1986 à 1990 et n'avait recensé qu'un seul cas d'accident. Sa relance apparaît nécessaire pour maintenir la vigilance dans les opérations d'épandage.

L'objectif de cette cellule est de recenser les accidents pouvant être reliés à une mauvaise utilisation des boues d'épuration épandues sur prairies ou sur cultures fourragères en général. L'autre intérêt de cette cellule est d'aider au diagnostic des vraies causes sanitaires lorsqu'il s'avère que la responsabilité de l'utilisation des boues peut être écartée. A défaut de réaliser une telle enquête, l'erreur subsisterait sur l'origine véritable de l'accident, ce qui continuerait à être dommageable sur le plan sanitaire, car on attribuerait à tort aux boues les problèmes observés. Cette cellule doit donc jouer un rôle "d'objectivation" dans la surveillance sanitaire vétérinaire des épandages.

Enfin, cette cellule peut remplir un rôle précieux pour le « retour d'expériences » en capitalisant les enseignements liés à la pratique de terrain. Conseils ou prescriptions d'épandage peuvent alors être modulés selon la diversité des contextes d'application.

La cellule de veille sanitaire est installée à Lyon mais fonctionne en réseau avec les autres CNITV des écoles vétérinaires de Toulouse, Nantes et Maisons-Alfort. Ces quatre Centres, en raison de leur localisation dans les Ecoles Nationales Vétérinaires, sont fréquemment consultés par les vétérinaires ou par des particuliers, en tant que Centres Antipoison Vétérinaires.

Les CNITV sont en relation avec les Laboratoires Vétérinaires Départementaux, les Directions des Services Vétérinaires, et avec des laboratoires d'analyses toxico-

logiques, microbiologiques, ou parasitologiques. Chaque cas fait l'objet d'un dialogue avec le vétérinaire ou la personne contactée, généralement par téléphone, plus rarement par courrier, ce qui permet d'évaluer la possibilité de la suspicion, et d'apporter des informations sur la conduite à tenir (fiche-type avec renseignements complémentaires, prélèvements, etc.). Après validation, chaque cas est transcrit sur une fiche, puis transféré dans une base de données informatique.

La cellule de veille sanitaire effectue régulièrement, une fois par an, une synthèse des cas recensés, notamment pour mettre en évidence certains facteurs de risques, et proposer des mesures préventives nouvelles, plus précises ou mieux adaptées. Dans tous les cas, même en l'absence d'accident sanitaire au cours de l'année écoulée, un compte-rendu annuel est publié.



## Chapitre 2 : Les éléments-traces métalliques

### 2.1. Définition. Cycle biogéochimique

On appelle micro-éléments métalliques, ou éléments-traces métalliques, les métaux et métalloïdes que l'on retrouve à l'état de traces dans les organismes biologiques (concentration < 100 mg/kg MS). Ceux-ci peuvent avoir un rôle indispensable, néfaste ou nul sur les processus vitaux. Les éléments indispensables sont les oligo-éléments (B, Cl, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Na, Ni et Zn pour les végétaux; As, Cl, Cu, Co, Cr, F, Fe, I, Mn, Mo, Ni, Se, Sn, V et Zn pour les animaux). Ceux-ci deviennent toutefois toxiques dès que leur concentration dans l'organisme dépasse un seuil, variable en fonction de la nature de l'élément et du tissu de l'organisme considérés. D'autres éléments, dont la caractéristique indispensable n'a jamais été démontrée, deviennent aussi toxiques au-delà d'un certain seuil (Pb, Cd, Hg, ...).

Le terme « métaux lourds » est volontairement banni de ce document car il s'agit d'une expression chimiquement impropre, sans véritable définition officielle, et possédant une évidente connotation dramatique. De plus, l'usage courant nomme « métaux lourds » indistinctement tous les métaux et métalloïdes présents dans les boues, les sols, les déjections animales, etc. La nécessité d'objectiver les débats sur ces questions et de recadrer les faits avec sérénité et précision oblige à cette rigueur terminologique. Si l'expression « éléments-traces métalliques » apparaît trop longue à écrire ou à dire, on peut lui substituer l'acronyme ETM.

À l'état naturel, les roches contiennent des micro-éléments métalliques à des concentrations variables en fonction de la nature de la roche, de son âge, de son origine, de sa localisation et, bien sûr, de la nature de l'élément. Les sols formés aux dépens des roches de surface hériteront d'une partie des micro-éléments initialement disséminés dans les roches. D'autres phénomènes naturels permettent une redistribution des micro-éléments métalliques dans l'environnement (lixiviation et lessivage vers les eaux souterraines, ruissellement et érosion vers les eaux superficielles, volcanisme capable de rejeter dans l'atmosphère des éléments métalliques sous forme de poussières qui iront se déposer à la surface des eaux et des sols, hydrothermalisme sous-marin ou terrestre, érosion éolienne, ...etc.). Enfin les organismes vivants participent aussi à ces grands cycles biogéochimiques en puisant dans les sols, les eaux et l'air les éléments métalliques et en les restituant en partie ou en totalité (déjections animales et organismes morts).

L'Homme, depuis l'antiquité, perturbe ces cycles biogéochimiques en intensifiant les processus de redistribution à partir des roches. En effet, l'exploitation des gisements miniers où sont concentrés les métaux permet la redistribution sous forme de produits finis, de déchets, de rejets atmosphériques et d'effluents. La contribution de l'Homme à la mise en circulation et à la dissémination des éléments métalliques varie d'environ 35 % pour le zinc à 85 % pour le cadmium.

### 2.2. Les éléments-traces métalliques dans les boues résiduaires

#### 2.2.1 Origine dans les eaux usées

Les eaux usées qui parviennent en tête des stations d'épuration ont une teneur en éléments-traces métalliques très supérieure à celle qui caractérise les eaux de rivière ou de mer. Cette surcharge est due au déversement dans le réseau de collecte des eaux usées urbaines de toute une série de produits issus d'activités diverses (cf. tabl. 6) :

- activités domestiques (fèces, produits cosmétiques, médicaux et de nettoyage, auxquels s'ajoutent tous les déchets plus ou moins liquides déversés dans l'évier) ;
- activités urbaines (corrosion des conduites d'eau individuelles et collectives, responsable d'une part importante de la charge en Cu et Pb, et ruissellement des eaux pluviales sur les toitures, les chaussées et d'une manière générale sur l'ensemble des surfaces imperméabilisées de la cité, responsable d'une part importante de la charge en Pb, Zn et Ni) ;
- activités commerciales (déversement de rejets liquides en provenance de centres commerciaux, de garages, de blanchisseries et teintureries, de restaurants, de laboratoires médicaux, d'ateliers de développement de photos, d'hôpitaux, etc.) ;
- activités industrielles (déversement d'effluents liquides, non ou partiellement traités par des entreprises industrielles; dans les centres urbains importants et pour certains éléments, ce type d'activité joue un rôle essentiel dans la contamination des eaux usées; on notera cependant que dans le cas de petites agglomérations, une seule activité à caractère industriel peut contribuer à accroître brutalement la concentration en métaux des effluents de la cité si le volume de ces derniers est modeste; enfin on notera aussi que l'activité industrielle a surtout un impact sur la contamination en Cd, Hg, Cr et Ni).



Origine de la pollution (en % du total mesuré dans l'effluent)				
Élément	Domestique	Pluviale	Industrielle	Non identifiée
Cadmium	20	3	61	16
Cuivre	62	6	3	29
Zinc	28	10	5	57
Nickel	17	9	27	47
Mercuré	4	1	58	37
Chrome	2	2	35	61
Plomb	26	29	2	43

Tableau n°6 : Contribution moyenne des différentes activités urbaines à l'enrichissement en éléments-traces métalliques des eaux usées

### 2.2.2 Concentration dans les eaux usées

La concentration en éléments-traces métalliques des eaux usées urbaines est en partie fonction de l'importance de la population raccordée au réseau d'assainissement. Elle est plus faible dans les effluents d'origine uniquement domestique que dans les effluents mixtes (domestiques et industriels). Dans les grandes agglomérations, les rejets des activités artisanales et industrielles finissent par masquer l'influence de l'activité domestique. Toutefois, sous l'effet de la réglementation "installations classées" et d'une police des réseaux plus sévère, la différence entre grandes et petites ou moyennes stations d'épuration tend à s'estomper. Les éléments-traces les plus abondants, en terme de concentration, dans une eau usée "moyenne" se situent dans l'ordre décroissant suivant : Fer > Zinc > Manganèse > Cuivre.

Les autres micro-éléments existent à l'état de traces, ou

à la limite du seuil de détection de la technique analytique la plus fine dans le cas du mercure.

Les éléments-traces évoluent sous trois états physiques dans les eaux usées :

- état dissous ,
- état colloïdal (matière solide non décantable),
- état particulaire (matière solide décantable).

45 à 70 % du plomb, du nickel, du cobalt, du zinc, du cuivre, du cadmium, du manganèse et du chrome se trouvent à l'état dissous dans les eaux usées ; toutefois une fraction non négligeable du chrome et du cuivre mais surtout du zinc (40 %) et du fer (34 %) est également présente dans la matière solide décantable.

La destinée des éléments-traces métalliques dans la station d'épuration est étroitement liée à celle des eaux usées qui y parviennent et qui y subissent toute une série de traitements (cf. fig. 2).

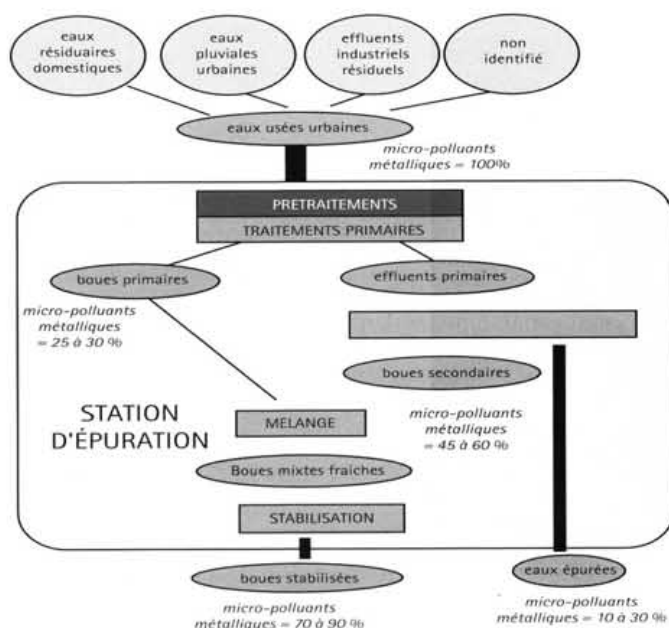


Figure n°2 : origine et devenir des éléments-traces métalliques au cours des traitements des eaux usées dans la station d'épuration

A l'issue des différentes phases de traitement des eaux usées, les éléments-traces qu'elles renfermaient vont se trouver, pour partie, dans les boues produites (en moyenne 70 à 90 %, cf. tabl. 7) et, pour partie, dans les eaux épurées. L'efficacité de cette rétention dépend de la nature des métaux : d'une façon générale, Ni et Mn sont moins facilement fixés, alors que Hg est, la plupart

du temps, retenu à plus de 90 % par la matière organique de la boue. La fixation des éléments a lieu majoritairement lors de la production des boues biologiques de décantation secondaire, les boues primaires de décantation ne retenant que 25 à 30 % des éléments-traces qui parviennent en tête de station (moins de 5 % dans le cas de Ni).

Métal	pourcentage du métal entrant fixé par les boues
Zinc	74
Cuivre	85
Manganèse	40
Plomb	85
Chrome	77
Nickel	32
Cobalt	65
Cadmium	75
Mercure	> 92
Fer	77

Tableau n° 7 : Rendement moyen global de l'épuration métallique dans une station d'épuration d'eaux usées urbaines

### 2.2.3 Concentration dans les boues

La fixation des éléments-traces par les boues, lors de leur obtention, met en jeu divers mécanismes dont l'importance relative est fonction de la nature chimique du métal ou métalloïde :

- formation et précipitation de sels métalliques insolubles dues aux modifications internes du milieu, qui résultent elles-mêmes de l'activité microbienne intense régnant dans les bassins d'aération (augmentation du pH, changement du potentiel d'oxydo-réduction, production de carbonates, ...)

- absorption du métal en solution ou suspension par les organismes microbiens ;

- adsorption des particules colloïdales présentes dans les eaux usées sur le floc microbien ;

- fixation des éléments-traces en solution sur les composés extra-cellulaires insolubles (essentiellement polysaccharides de type acides uroniques) élaborés par

la flore microbienne épuratrice (notamment par les micro-organismes du genre *Zooglea*) et précipitation des complexes organo-métalliques ainsi formés ;

- coagulation-précipitation par les réactifs minéraux (sels de fer ou d'aluminium, chaux) lors de la mise en oeuvre d'un traitement physico-chimique.

Un groupe de travail de l'A.G.H.T.M. a réalisé en 1992, avec un financement du FNDAE, une enquête nationale sur un certain nombre de stations d'épuration pour connaître la teneur moyenne en éléments-traces métalliques des boues résiduelles françaises. Les résultats de cette enquête (cf. tabl. 8) portent sur 237 stations dont la part de l'effluent domestique est supérieure ou égale à 80 %. Il apparaît que pour 90 % des stations étudiées (9e décile supérieure), les concentrations observées sont à moins de 60 % des teneurs limites de l'arrêté du 8/01/1998.

Élément	Nombre de données	Moyenne (mg/kg MS)	Médiane (mg/kg MS)	9e décile supérieur (mg/kg MS)	arrêté du 8/01/1998 Limite (mg/kg MS)
Cadmium	224	5,3	4,5	8	20
Chrome	235	80	64	111	1 000
Cuivre	236	334	286	504	1 000
Mercure	227	2,7	2,1	6	10
Nickel	236	39	35	60	200
Plomb	234	133	107	223	800
Sélénium	35	7,4	3,2	19	100
Zinc	237	921	761	1 366	3 000

Tableau n° 8 : Concentrations moyennes en éléments-traces métalliques des boues résiduaires "domestiques" françaises

Les éléments-traces peuvent avoir un effet négatif sur les processus biologiques intervenant dans le traitement des eaux usées dans la station : on considère qu'il peut y avoir une diminution de l'oxydation des matières organiques dissoutes et de la nitrification dès que la concentration d'un élément-trace excède 1 mg/l d'eau usée; des concentrations plus importantes de Mn et Zn sont tolérées (de 1 à 10 mg/l), alors qu'Ag déprime l'activité épuratrice dès 0,03 mg/l. La digestion anaérobie des boues est beaucoup plus sensible que le traitement aérobie à l'excès de toxiques minéraux, Zn et Ni se singularisant par leur action négative marquée sur les processus anaérobies.

### 2.3. L'origine des éléments-traces métalliques dans les sols

Les éléments-traces métalliques présents dans les sols peuvent avoir plusieurs origines:

- le fonds géochimique;
- les retombées atmosphériques;
- l'utilisation des matières fertilisantes et des pesticides;
- l'épandage de déchets à des fins d'élimination et d'épuration.

#### 2.3.1 – Le fonds géochimique

A l'état naturel le sol contient des micro-éléments métalliques (cf. tabl. 9) qui ont pour origine la roche-mère sur laquelle le sol s'est formé. Le sol sera d'autant plus riche en éléments traces que la roche-mère en contiendra elle-même beaucoup. Par exemple les sols développés sur des sables quartzeux renferment des quantités extrêmement faibles de micro-éléments métalliques alors que ceux qui se sont formés sur des sédiments calcaires ou marneux ou des schistes sont plus riches. Parmi les roches cristallines, ce sont les plus basiques, qui contiennent davantage de micro-éléments (Cu, Co, Mn et Zn), celles qui sont acides, se signalent par des teneurs plus élevées en Mo. Les roches sédimentaires voient leurs teneurs s'accroître dans le cas d'accumulation concomitante de carbone fossile (schistes bitumineux, lignites, tourbe, ...).

Malgré leur abondance relative dans les sols qui se sont développés sur roches calcaires, les micro-éléments de ces formations sont assez peu mobiles en raison du pH élevé du milieu. En revanche, la mobilité des micro-éléments des sols qui se développent sur sables siliceux très pauvres, est importante en raison de l'acidité du milieu.

Élément	Valeurs extrêmes des moyennes
Cadmium	0,08 - 0,53
Chrome	2 - 220
Cuivre	13 - 30
Mercure	0,03 - 0,80
Nickel	19 - 100
Plomb	2 - 44
Sélénium	0,01 - 2
Zinc	50 - 90
Fer	38 000 - 40 000
Aluminium	700 - 84 000 *
Manganèse	270 - 1 000
Arsenic	4,4 - 9,3
Molybdène	1 - 2
Cobalt	7,9 - 10,5
Bore	2 - 200
Thallium	0,1 - 0,2

\* = Valeurs extrêmes dans différents types de sols

Tableau 10 : Teneurs moyennes en micro-éléments métalliques dans les sols (mg/kg de sol sec)

### 2.3.2 - Les retombées atmosphériques

Elles représentent la source essentielle d'enrichissement en éléments-traces métalliques à proximité des zones industrielles ou au voisinage des fortes concentrations urbaines. Pour Zn, Pb et Cu, elles peuvent représenter plusieurs kg/ha/an. Les rejets de Pb par les gaz d'échappement des véhicules sont aussi une cause reconnue de contamination des sols situés à proximité immédiate des grands axes routiers. Les particules qui résultent de l'usure des pneus sont aussi une cause d'accroissement des teneurs en Zn et Cd des sols et de la végétation situés en bordure des axes routiers, le Zn entrant en effet dans la composition des charges de pneumatiques où Cd l'accompagne comme impurété.

Une étude française le long de l'autoroute A 36 (15 000 véhicules par jour) a été menée sur deux transects, l'un en remblai, l'autre en déblai. Elle montre des teneurs en plomb dans les sols allant de 50 à 200 mg.kg<sup>-1</sup> MS. Les teneurs sont symétriques par rapport à l'axe de l'autoroute pour le site en déblai, et elles diminuent avec la distance à l'autoroute (environ 180 mg.kg<sup>-1</sup> MS à 2 m de l'autoroute et 60 mg.kg<sup>-1</sup> MS à 10-15 m). Elles sont par contre dissymétriques pour le site en remblai et les teneurs en plomb sont encore les mêmes (100 mg.kg<sup>-1</sup>

MS ou plus) à 2 m et à 10 m pour un même côté.

Outre ces cas de contamination aiguë, les retombées atmosphériques de micro-particules ou d'aérosols transportés à très longue distance et à haute altitude, participent pour l'essentiel au "bruit de fonds" continu de l'enrichissement en éléments-traces métalliques des terres émergées. Ces transports à longue distance ont pour origine l'activité industrielle et urbaine des grands centres, même très lointains, mais aussi des accidents naturels tels que les vents de sable, les grands incendies de forêt et surtout les éruptions volcaniques.

### 2.3.3 - L'utilisation des matières fertilisantes et des pesticides

Selon la réglementation en vigueur, les matières fertilisantes regroupent :

- les engrais ;
- les amendements ;
- tous les autres produits dont l'emploi est destiné à assurer ou à améliorer la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols ;
- certains des produits qui résultent de l'association des produits entrant dans les catégories précédentes ;
- les supports de culture.

Certains types d'engrais, obtenus à partir de la transformation de produits de gisements miniers tels que les phosphates renferment, en fonction de la localisation géographique de ces derniers, des teneurs en micro-éléments souvent très supérieures à celles de la matrice de la majorité des sols. La teneur en Cd des phosphates varie ainsi de 5 à 25 mg/kg, voire davantage. Leur épandage provoquera donc à terme un enrichissement inéluctable du sol. C'est aussi le cas du Cr, du Zn, du Ni, du Mn, ou du Co qui, à l'état d'impuretés dans les engrais, représentent une source d'apport notable aux sols.

Outre ces apports non intentionnels, l'utilisation en tant qu'engrais de sels de Cu, de Zn, de Mn, de Fe, de B, de Mo, pour lutter contre des déficiences du sol en ces éléments, constitue une voie évidente d'enrichissement des sols en éléments-traces.

Les résidus des activités urbaines (tels que composts d'ordures ménagères non triées à la source et boues résiduelles des stations d'épuration, qui sont utilisées comme matières fertilisantes) représentent aussi une source connue d'éléments métalliques. Il convient de remarquer cependant que des amendements minéraux ou organiques plus traditionnels (lisiers et du fumier pour Zn, Cu et Cd) peuvent contribuer aussi à la longue à l'accroissement de la teneur en micro-éléments du sol (cf. tabl. 10). En outre, dans le cas général des amendements organiques, la disparition à terme, par dégradation microbienne de la matrice organique de ces derniers, se traduit par un accroissement net de la concentration en éléments-traces métalliques du sol.

Elément	Teneur (mg/kg MS)
Cd	0,70
Cr	11
Cu	28
Ni	21
Pb	10
Zn	150

Tableau 10 : Teneurs moyennes en éléments-traces métalliques du fumier de ferme

De nombreux pesticides –anciennement ou encore utilisés– ont contribué ou contribuent de manière importante à la contamination des sols par les éléments-traces métalliques. L'exemple le plus fréquemment cité est celui de l'enrichissement en Cu des sols de vignoble (souvent plus de 300 mg/kg MS de Cu total) et de vergers résultant des traitements anti-cryptogamiques.

Les composés à base d'As (principalement l'arséniat de plomb), employés à des doses variant de 1 à 5 kg As/ha/an durant des décennies pour contrôler, entre autres, les parasites des sols de vergers et de vignobles, sont également à l'origine des très fortes teneurs en ces éléments que l'on peut rencontrer dans certains sols (plus de 25 à 50 mg/kg MS alors qu'en l'absence de contamination les teneurs sont la plupart du temps inférieures à 10 mg/kg MS).

De même, les sels de Hg et les organo-mercuriques employés comme fongicides sur les terrains de golf ou dans certains sols de rizières peuvent donner lieu à la longue à des élévations significatives de la teneur du sol en Hg total et cela malgré des pertes de métal par vola-

tilisation qui représentent 30 à 50 % de la quantité appliquée. On notera toutefois que les sels de mercure et les organo-mercuriels ne sont plus autorisés en France.

#### 2.3.4 – L'épandage de déchets industriels et de boues de curage

Il s'agit le plus souvent de micro-éléments que renferment des déchets industriels (rebuts métallurgiques), miniers (par exemple, composés de l'As dans les terrils des sites d'extraction d'or) ou pétroliers (Ni, Co et V dans les boues issues des activités de raffinage) stockés sur d'anciennes friches industrielles, ou encore de ceux existant dans des effluents liquides qui proviennent de l'industrie agro-alimentaire (conserveries, vinasses de distilleries, sucreries,...) et qui font l'objet d'un épandage à des fins de recyclage et d'épuration. L'irrigation par des eaux usées traitées peut ponctuellement amener aussi des éléments-traces métalliques.



Une autre source importante de dissémination de éléments-traces est représentée par l'étalement de boues de curage de ports et de cours d'eaux. Ces dernières sont constituées en effet de sédiments dans lesquels se sont accumulés les éléments-traces rejetés par les industries et les agglomérations des bassins versants. En France, dans le département du Nord, près de 4 000 km de cours d'eau doivent être ainsi curés chaque année, ceci implique le régalage sur les terres avoisinantes de 200 000 t de matière sèche de vases, dont beaucoup ont des teneurs très élevées en éléments-traces (jusqu'à 55 000 mg/kg MS de Zn, 3 000 mg/kg MS de Pb, 25 mg/kg MS de Cd) en raison de la forte industrialisation de ce département.

2.3.5 - L'importance relative des différentes voies conduisant à l'enrichissement des sols en éléments-traces métalliques

Pour un site donné, elle est bien entendu très dépendante du type d'activité qui existe au voisinage. A proximité des centres urbains et industriels, la voie atmosphérique sera prépondérante alors que, dans les zones rurales où se pratique une agriculture intensive, l'impact des apports de matières fertilisantes sera déterminant.

Elle est aussi fonction (cf. tabl. 11) de la nature des métaux ou plus exactement de l'usage qui en est fait et qui détermine les voies privilégiées de leur dissémination dans l'environnement.

A l'échelle du territoire français, on notera que la contribution des boues d'épuration à la pollution cadmiée des sols est assez modeste : 2 % à 5 %, contre 54 à 58 % pour les engrais. Les valeurs sont inverses de celles observées globalement au niveau mondial.

Éléments				
	Cu	Zn	Cd	Pb
<b>Total (10<sup>3</sup> t)</b>	<b>216</b>	<b>760</b>	<b>20</b>	<b>382</b>
Déchets agricoles	55 %	61 %	20 %	12 %
Déchets urbains et industriels	28 %	20 %	38 %	19 %
Engrais	1 %	1 %	2 %	1 %
Retombées atmosphériques	16 %	18 %	40 %	68 %

Tableau 11 : Contribution de différentes sources à l'enrichissement moyen annuel des terres émergées en éléments-traces métalliques (Monde)

## 2.4. Le comportement des éléments-traces métalliques dans les sols agricoles amendés avec des boues résiduaires urbaines et transfert vers le reste de l'environnement

### 2.4.1 - Localisation dans le sol

Dans le sol, les micro-éléments métalliques sont distribués entre la phase solide et la solution du sol qui le constituent. Le plus souvent, la quantité existant dans la solution du sol ne représente qu'un infime pourcentage de la totalité du polluant. Les micro-éléments se concentrent donc dans la fraction solide du sol, où ils se répartissent dans les différentes fractions organiques et minérales (cf. fig. 3):

- c'est surtout dans la phase argileuse que l'on trouve les micro-éléments du sol : ils sont soit inclus dans les réseaux silicatés sous une forme très peu accessible, soit à l'état adsorbé à la périphérie des cristallites;
- les carbonates de calcium sont les constituants majeurs qui interviennent (en sol calcaire) dans la fixation soit par absorption ou précipitation d'hydroxydes ou de carbonates, ou encore par insertion de l'élément dans le réseau de CaCO<sub>3</sub>;
- dans la majorité des sols, les oxydes de fer et de manganèse représentent cependant la phase de rétention privilégiée de beaucoup de micro-éléments métalliques;
- la matière organique est aussi un piège efficace pour la rétention des éléments-traces qui peuvent être retenus sous forme échangeable (donc assez facilement mobilisables) ou à l'état de complexes dans lesquels ils sont plus énergiquement fixés.

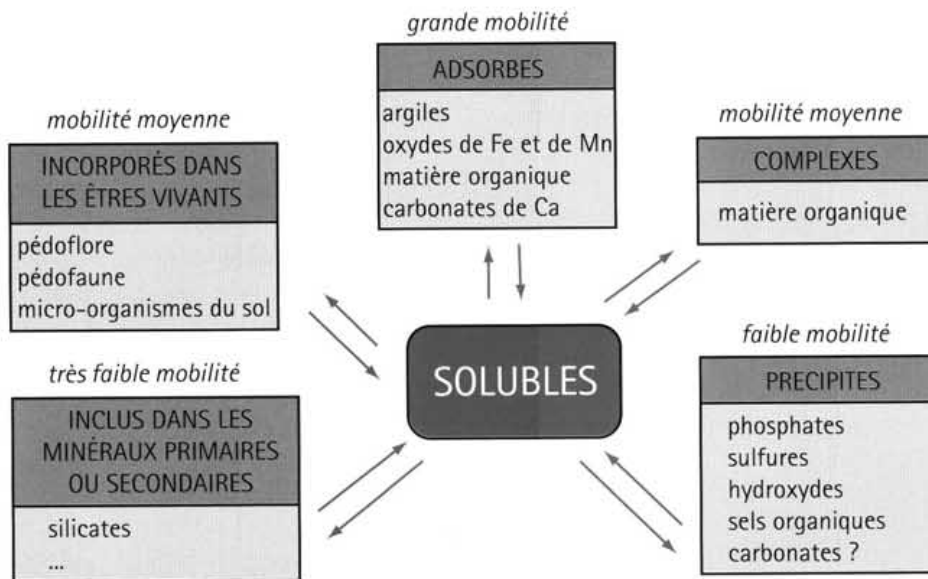


Figure n° 3 : localisation des micro-éléments métalliques dans le sol

Les éléments-traces métalliques peuvent aussi donner naissance à des composés chimiques bien définis, peu ou pas solubles, tels que phosphates, sulfures, hydroxydes, sels organiques, ... qui précipitent au voisinage des constituants du sol (argile, matière organique, oxydes de Fe, d'Al et de Mn).

La nature des matériaux auxquels est associé l'élément-trace métallique dans les déchets organiques joue un rôle considérable sur son devenir dans le sol. Dans le cas des boues résiduaires, par exemple, les métaux peuvent demeurer inclus dans le matériau constitutif de la boue et donc rester fortement liés à cette dernière longtemps après la cessation de l'apport du résidu dans le sol. En d'autres termes, la nature de la source d'apport de l'élément-trace métallique dans un sol détermine, en partie, les possibilités ultérieures de son transfert entre compartiments du sol, entre le sol et la plante et entre le sol et la nappe phréatique.

Dans le sol, la concentration en un micro-élément métallique donné varie avec la profondeur, le long du profil. En raison de leur très forte liaison avec les différentes phases solides énumérées ci-dessus, les micro-éléments issus d'apports extérieurs vont s'accumuler en surface, de sorte que leur concentration va très rapidement décroître avec la profondeur et marquer, dans le cas des sols cultivés, une nette discontinuité au dessous de la couche travaillée. Il faut noter cependant que même en l'absence d'apports extérieurs, il peut se produire, comme cela a pu être observé dans la litière des sols forestiers des Landes de Gascogne, une recharge de la couche de surface due à la remontée des éléments par l'intermédiaire de la végétation. A l'inverse, dans le cas de sols qui se sont formés à partir de roches-mères par-

ticulièrement riches en certains éléments métalliques, on pourra constater un accroissement de la teneur de ces derniers avec la profondeur. Dans le cas particulier des podzols les métaux fortement liés à la matière organique comme Hg et Cu peuvent accompagner cette dernière au cours de sa migration et s'accumuler avec elle dans les horizons illuviaux.

Ces variations importantes de la teneur en éléments métalliques en fonction de la profondeur doivent être prises en compte lors de l'échantillonnage des sols destinés à l'analyse : si cette dernière vise uniquement à apprécier le risque d'absorption des métaux par la culture, on pourra se contenter de n'effectuer un échantillonnage que dans la couche labourée du profil ; par contre, si l'on veut mettre en évidence le degré de pollution du site et en rechercher l'origine, il sera nécessaire de procéder à des prélèvements par tranches successives du profil.

#### 2.4.2 - Transfert entre constituants du sol concept de mobilité

Naturelles ou induites par l'Homme, les variations des conditions du milieu modifient en permanence la distribution des éléments-traces entre les phases constitutives du sol. La mobilité des éléments est leur aptitude à être transférés vers d'autres compartiments. Dans certaines situations, la mobilité se manifeste par le passage dans des compartiments du sol où ils sont de moins en moins énergiquement retenus, le compartiment ultime étant représenté par la solution du sol.



Pour des concentrations données en éléments-traces dans les différents constituants du sol, les flux entre compartiments seront déterminés par un certain nombre de facteurs et de conditions du milieu :

- le pH du sol ;
- l'aération du sol et le potentiel rédox ;
- la température du sol ;
- l'humidité du sol ;
- la dose d'apport des matières fertilisantes.

De tous ces facteurs, c'est le pH qui a l'action la plus déterminante sur la mobilité des métaux. L'abaissement du pH favorise généralement la mobilisation du métal par échange protonique, la mise en solution de sels insolubles ou encore la destruction de la phase de rétention.

Inversement, l'augmentation du pH provoque l'immobilisation par formation de composés insolubles ou l'accroissement de la capacité d'échange cationique. On notera cependant que certains éléments-traces minéraux comme B obéissent moins strictement à ce type de comportement ou, au contraire, comme Mo, As et Se, présentent un comportement opposé : leur mobilité augmente avec le pH qui est plus élevé en sols calcaires. En l'état actuel des connaissances, la maîtrise du pH demeure toutefois l'une des voies efficaces utilisables pour le contrôle de la mobilité des éléments-traces du sol (cf. tabl. 12). Ceci a d'ailleurs conduit le législateur à fixer, dans le cas d'épandages de boues résiduaires, des valeurs limites de pH en deçà desquelles une telle pratique n'est pas autorisée.

Matière Fertilisante	pH sol	Éléments (en mg/kg sol sec)			
		Mn	Zn	Cd	Ni
Témoin	5,5	4,5	7,9	10,3	11,8
Chaux	7,4	1,9	1,7	7,3	4,7
N ammoniacal	4,9	11,1	13,9	12,0	15,9

Tableau 12 : Influence de l'addition de matières fertilisantes à un sol contenant des boues résiduaires sur la variation de la teneur en éléments-traces métalliques extractibles par CaCl<sub>2</sub> 0,1 N

L'aération du sol joue également dans le sens d'une immobilisation des métaux car favorisant la formation d'oxydes de fer et de manganèse insolubles, sur lesquels se fixe une fraction notable de éléments-traces métalliques.

La température et l'humidité jouent un rôle indirect en activant la vie biologique du sol et la production de substances acides susceptibles de mobiliser les micro-éléments. Ces facteurs interviennent aussi sur la modification du potentiel rédox.

L'apport de matières organiques favorisent aussi le blocage des métaux, mais la minéralisation ultérieure de la gangue organique peut les remettre en solution : il ne s'agit donc que d'une immobilisation temporaire, uniquement valable pour certaines applications très précises (réhabilitation de friches industrielles par exemple).

#### 2.4.3 – Transfert entre le sol et la plante – concept de biodisponibilité

Dans le système sol-plante, la biodisponibilité des éléments-traces métalliques est leur aptitude à être transférés d'un compartiment quelconque du sol vers le sys-

tème racinaire du végétal. En fait, ce dernier puisant préférentiellement dans la solution du sol, la probabilité de transfert de l'élément entre cette dernière et le végétal est un bon indicateur de sa biodisponibilité.

Les facteurs et les conditions du milieu qui agissent sur la mobilité des micro-éléments, et donc sur leur transfert vers la solution du sol, interviennent également sur leur transfert vers la plante :

- pH du sol : il diminue fortement la biodisponibilité des éléments-traces métalliques, à l'exception notable du cadmium qui voit au contraire sa biodisponibilité multipliée par deux entre pH 5,7 et pH 7,5, sans que les raisons en soient clairement élucidées à l'heure actuelle.
- Température, humidité et aération du milieu racinaire, toutes participent à la biodisponibilité des métaux ;
- Effet du temps de séjour des boues dans le sol : un apport massif de boues s'accompagne souvent à court terme d'un pic d'absorption. A plus long terme, on assiste généralement à une diminution progressive de la biodisponibilité des métaux, assimilable à une "rétrogradation" ou "reversion".

Outre les facteurs d'ordre strictement physico-chimique énumérés ci-dessus, des facteurs étroitement liés au comportement physiologique de la plante jouent aussi un rôle prépondérant sur la biodisponibilité :

- Influence de l'espèce et de la variété : les plantes à croissance rapide comme les cultures légumières (laitue, épinard, carotte) accumulent plus particulièrement les métaux, ce qui justifie, entre autres raisons, que les boues ne puissent être épandues sur ce type de cultures (cf. tabl. 13).
- Phénomènes d'antagonisme et de synergie : l'exemple Zn/Cd est couramment cité, un rapport supérieur à 100 limitant le transfert du cadmium.

Aptitude à l'accumulation	Cd	Zn	Pb	Cr	Cu	Ni
Fortement accumulatrices	Carotte Laitue Epinard	Carotte Laitue Epinard			Carotte	Chou vert
Moyennement accumulatrices	Chou Céleri	Maïs Betterave			Laitue Betterave	Betterave
Faiblement accumulatrices	Betterave Poireau	Céréales Poireau Céleri		Chou vert	Pomme de terre Chou vert Epinard	Céréales Maïs Poireau Pomme de terre
Très faiblement accumulatrices	Céréales Maïs Pomme de terre	Pomme de terre	Toutes espèces	Toutes espèces sauf Chou vert		

Tableau n° 13 : Aptitude à l'accumulation des éléments-traces métalliques par diverses espèces végétales

#### 2.4.4 - Transfert et accumulation dans la plante

Les éléments-traces métalliques sont absorbés passivement par la racine, simplement entraînés par diffusion ou par le "mass-flow", mais le plus souvent par un processus métabolique mettant en jeu des transporteurs dotés d'une certaine spécificité. Ils sont ensuite, pour partie, véhiculés par la sève brute (xylème) vers les parties aériennes, soit à l'état ionique (cas de Cd, Zn, B, Se et Mo notamment), soit sous forme de complexes orga-

no-métalliques : c'est le cas du Fe qui est véhiculé associé à l'acide citrique et à l'acide malique ainsi que du Cu et du Ni liés à des acides aminés. La quantité de l'élément transférée vers les parties aériennes est la plupart du temps assez faible ; elle est fonction à la fois de sa nature et de l'espèce végétale considérée. Il existe donc une barrière physiologique, dont le mécanisme de fonctionnement est assez mal connu, qui limite le transfert de la majorité des éléments-traces vers les parties aériennes des végétaux (cf. tabl. 14).

Métal	Racines	Feuilles	Grain
Cd	130	18	0,75
Ni	400	5	3,00
Cu	35	9	1,50
Zn	65	68	28
Fe	460	150	30
Mn	12	15	2

Tableau n° 14 : Concentrations moyennes en éléments-traces métalliques de divers organes de maïs issu d'une parcelle enrichie par des boues résiduelles à forte charge en Ni et Cd (mg/kg MS)

Dans les parties aériennes, les éléments traces se localisent principalement dans les organes végétatifs où ils demeurent difficilement remobilisables.

#### 2.4.5 – Transfert direct du sol vers l'animal

L'accumulation à la surface du sol des éléments-traces métalliques, qui résulte par exemple de l'application continue de boues résiduaires, peut représenter un risque de contamination directe de la chaîne alimentaire dans le cas particulier des pâtures, si les animaux absorbent un peu de terre en broutant l'herbe. Les quantités de terre ingérées sont inversement proportionnelles à l'offre alimentaire fourragère. Selon des données anglaises, la quantité de terre ainsi absorbée peut représenter 14 % de la matière sèche ingérée par l'animal et jusqu'à 40 % durant les mois d'hiver en période de végétation ralentie. Ces chiffres demanderaient à être vérifiés dans le contexte français.

L'absence d'efficacité de la "barrière sol-plante" est également évidente quand les animaux consomment des fourrages souillés par des applications récentes de boues dont des particules sont susceptibles d'adhérer pendant plusieurs semaines aux feuilles. C'est la raison pour laquelle il est recommandé d'éviter l'épandage des boues sur herbe haute et de lui préférer systématiquement l'application sur herbe rase (recommandations du CSHPF, 1997).

Un risque comparable existe pour les humains, notamment chez les jeunes enfants atteints de pica (tendance morbide à absorber des substances non consommables) quand la fraction ingérée contient plus de 1 000 mg/kg MS de Pb.

#### 2.4.6 – Transfert direct du sol vers l'atmosphère

Il concerne principalement Se et Hg dont les composés

peuvent être réduits dans le sol soit directement par des micro-organismes, soit par des enzymes extra cellulaires ; cette réduction conduit ainsi à des formes extrêmement volatiles telles que le métal à l'état élémentaire (SeO et HgO) ou le métal lié à des groupes méthyles par biométhylation. Dans cet état, ils peuvent être directement fixés par la partie aérienne des végétaux couvrant le sol où se produit la volatilisation: on a pu ainsi montrer que la plus grande partie du Hg retrouvée dans les parties aériennes d'une luzerne cultivée sur un sol fortement contaminé par du mercure provenait de vapeurs de métal émises par le sol au cours de la culture et non pas d'un transfert à partir de la racine.

#### 2.4.7 – Transfert par voie particulière

Les éléments-traces métalliques apportés aux sols agricoles, notamment par les boues résiduaires, peuvent avoir les destinées suivantes :

- exportation par les récoltes ;
- lessivage vers les horizons profonds du profil ;
- entraînement par érosion éolienne ou hydrique hors de la parcelle ;
- accumulation dans le sol.

La mesure directe de l'accumulation dans le sol des traces métalliques et sa comparaison avec les quantités totales apportées par la boue autorisent une estimation de l'une des trois fractions perdues si les deux autres sont connues.

Les exportations par les récoltes mesurées dans des dispositifs de longue durée situés en France et en Angleterre (cf. tabl. 15) mettent en évidence leur caractère insignifiant (toujours < 1 % de l'apport cumulé des métaux par les boues durant la période considérée). Cet élément du bilan est donc à considérer comme négligeable.

Élément	Market Garden (Angleterre)	Couhins (France)
Zn	0,57	0,19
Cu	0,16	0,10
Ni	0,37	0,05
Cd	0,28	0,02
Cr	0,03	0,22
Pb	0,06	0,00
Durée de l'expérimentation (années)	20	15

Tableau n° 15 : Quantités cumulées d'éléments-traces métalliques exportées par les cultures successives issues de dispositifs de longue durée amendés par des apports de boues résiduaires (en % de la quantité totale d'éléments apportée par les boues)

La majorité des expériences de longue durée mettant en oeuvre des boues résiduaires montrent que c'est essentiellement l'horizon de surface (0-15 cm) qui s'enrichit en éléments-traces métalliques en raison du fort pouvoir mobilisateur du sol vis à vis de ces éléments. L'horizon situé immédiatement au-dessous de celui dans lequel ont été incorporées les boues (15-40 cm) donne lieu aussi à un enrichissement essentiellement attribuable à son mélange avec la couche de surface lors des opérations de travail du sol. Ce dernier peut donc être a priori considéré comme un piège efficace à éléments-traces métalliques, propriété dont on cherche d'ailleurs à tirer parti quand on met en oeuvre des techniques de traitement direct des eaux usées telles que le ruissellement contrôlé ou l'infiltration-percolation.

On observe cependant, dans le cas des sols sableux, un enrichissement significatif des couches plus profondes (jusqu'à l'horizon 60-80 cm) quand on applique des doses très importantes des boues à forte charge métallique. Ces mouvements, qui résultent de la saturation du faible pouvoir de fixation de ce type de sol pour les métaux, affectent plus spécialement Zn, Cd, Ni, Mn et Cu. Ils ne représentent qu'un faible pourcentage, inférieur à 10 % la plupart du temps, de la quantité totale d'éléments présente dans l'ensemble du profil. La modicité des transferts vers les horizons profonds effectivement observés sur le terrain, à l'occasion d'expérimenta-

tions de longue durée, est confirmée, d'une part, par de nombreuses études de lysimétrie conduites au laboratoire et, d'autre part, par l'impossibilité de rendre compte de l'importance des pertes mesurées sur le terrain par des calculs de drainage. En résumé, ce terme du bilan est donc à considérer également comme peu important, voire négligeable.

L'accumulation des éléments-traces métalliques a été mesurée dans quelques dispositifs de longue durée traités pendant plusieurs années, voire plusieurs décennies, par des apports importants de boues. Les variations de stock sont d'autant plus facilement décelables que la recharge en micro-éléments a été massive. La comparaison des quantités d'éléments retrouvées dans la totalité du profil avec celles, connues, apportées par les boues fait apparaître, compte tenu de la faiblesse des exportations par les cultures ou le drainage profond, un défaut très important du bilan pouvant aller jusqu'à 70 % dans des expérimentations faites en Angleterre et en France (cf. tabl. 16). Des déficits plus modestes, de l'ordre de 30 à 35 %, ont été signalés dans des dispositifs, moins anciens il est vrai, situés aux USA. Il apparaît que les défauts de bilan observés sont d'autant plus importants que les apports de boues ont été massifs et qu'une longue période sépare l'interruption des apports de la réalisation du bilan.

Élément	Market Garden (Angleterre)	Couhins (France)
Zn	35	40
Cu	32	64
Ni	40	57
Cd	40	45
Pb	42	25
Cr	42	60
Pb	-	60
Temps (années)*	20	9

\* Temps = intervalle de temps séparant le dernier apport de boues de la réalisation du bilan

Tableau n° 16 : Quantités cumulées d'éléments-traces métalliques apportées par des boues résiduaires retrouvées dans les sols de dispositifs de longue durée (en % de la quantité totale d'éléments incorporée)

Les défauts de bilan observés après plusieurs années d'expérience ne peuvent s'expliquer que si l'on fait intervenir une exportation des éléments-traces métalliques hors de la parcelle par érosion ou entraînement du sol lors de l'exécution des façons culturales (labour, hersage, etc.). L'accumulation de la boue dans la couche superficielle favorise ce type de transfert dû principalement à l'entraînement, par l'eau de ruissellement ou les outils de travail, de particules solides (fragments de matières organiques, argiles et limons fins, etc.) sur lesquelles sont concentrés les métaux. L'existence de ce phénomène était encore récemment assez peu soupçonnée. Sa mise en évidence effective demeure délicate en raison des faibles quantités d'éléments-traces métalliques apportés par les épandages de boues.

Enfin, il est possible que dans certaines formations de texture grossière (sols sableux à faible contenu en matière organique), existe également une possibilité de déplacement latéral de métaux en solution par l'intermédiaire d'une nappe très superficielle (circulation "hypodermique"). Ce pourrait être, entre autres, le cas du cadmium, comme l'ont montré des expériences récentes qui font état de l'accroissement continu des teneurs en Cd dans des cultures de maïs situées à proximité de parcelles expérimentales recevant des apports "massifs" de boues (10 à 30 fois supérieurs aux maximum permis) caractérisées par une forte teneur en ce métal.





## Chapitre 3 : Les composés-traces organiques

### 3.1. Origine des composés-traces organiques dans les eaux usées et les boues résiduaires et teneurs dans les eaux usées

Les composés-traces organiques présents dans les eaux usées et les boues résiduaires urbaines peuvent avoir des origines variées (cf. tabl. 16) :

- source domestique (détergents essentiellement, mais aussi "restes" de solvants et de peinture, etc.),
- éventuellement effluents industriels ou artisanaux,

- eaux de ruissellement (qui peuvent entraîner des dépôts atmosphériques contaminés, des résidus de substances utilisées en construction et en voirie, des produits spécifiques des véhicules motorisés et des pesticides utilisés dans les jardins publics (en ville) ou privés, en voirie ou en agriculture (en milieu rural)) lorsque le réseau de collecte des eaux usées est unitaire,

- néoformation de substances par chloration (essentiellement domestique et exceptionnellement dans les stations d'épuration) ou par évolution physico-chimique ou biologique au cours des traitements (nonylphénols provenant de l'évolution des détergents par exemple),
- produits utilisés dans les filières de traitement (poly-électrolytes par exemple).

familles physico-chimiques	origines et utilisations principales	Usage domestique	Eaux pluviales urbaines	Eaux pluviales rurales	Effluents industriels-artisanaux	Stations épuration urbaines
hydrocarbures aliphatiques	source énergétique, réactifs de synthèse, naturels (pétrole)	++	++	+	++	(+)
hydrocarbures monocycliques aromatiques	solvants, réactifs de synthèse, naturels (phénols de la matière organique des sols)	+	+	+	++	0
hydrocarbures polycycliques aromatiques	sous-produits de transformation du pétrole et du charbon, insecticides	+	+	(+)	+	0
hydrocarbures aliphatiques halogénés	solvants, réactifs de synthèse (plastiques, résines, fibres) fluides caloporteurs, néoformation par chloration	++	+	(+)	++	(+)
chlorobenzènes et chlorophénols	solvants, pesticides, réactifs de synthèse, néoformation par chloration	+	+	+	++	(+)
hydrocarbures polycycliques aromatiques chlorés	fluides isolants, fluides hydrauliques, lubrifiants ou caloporteurs et plastifiants encres (PCB), sous produit de synthèse et néoformation thermique (PCDD)	(+)	+	+	++	(+)
substances chlorées pesticides	pesticides	+	+	++	++	0
autres substances pesticides	pesticides	+	+	++	++	0
esters de phtalates	plastifiant	+	+	0	++	0
nitrosamines	sous-produits industriels (caoutchouc, huiles de coupe)	0	+	0	++	0
organostanniques	stabilisants de plastiques, pesticides	+	+	+	+	0
hétérocycles	intermédiaires de synthèse	0	0	0	+	0

Suite du tableau page suivante



familles physico-chimiques	origines et utilisations principales	Usage domestique	Eaux pluviales urbaines	Eaux pluviales rurales	Effluents industriels-artisanau	Stations épuration urbaines
détergents	détergents	++	+	(+)	++	(+)
polyélectrolytes	floculants, résines échangeuses d'ions	0	0	0	+	++
cyanures	bains d'électrolyse, traitement des minerais, pesticides, sous-produit de transformation du charbon	0	0	0	++	0

Tableau n° 16 : principales sources de composés-traces organiques dans les eaux usées

Il existe assez peu d'études portant sur les teneurs en composés-traces organiques dans les eaux usées à l'entrée et à la sortie des stations, particulièrement en

France où elles sont très ponctuelles (cf. tabl. 17). On notera que les charges sont très variables, de moins d'un µg / l à quelques mg / l, dans les eaux usées entrantes.

ND = non détectable unité : µg / l	sources bibliographiques	stations d'épuration (step)	amont	aval	rendement %
hydrocarbures aliphatiques chlorés (volatils) *	(1)	25 step rural/urbain	10	0,02	98
	(1)	12 step urbaines	3	ND	100
	(2)	25 step rural/urbain	20	ND	100
	(2)	Valenton et Achères	10	ND	100
pesticides organo-chlorés **	(1)	25 step rural/urbain	1,05	0,13	88
	(1)	12 step urbaines	0,95	0,05	95
	(2)	25 step rural/urbain	1,25	0,16	88
	(2)	Valenton et Achères	1,35	0,15	88
lindane	(3)	Nantes/Morlaix/Marseille/Toulon	[<0,02-0,2]	[<0,02-0,2]	
chlore organique adsorbable total (AOX)	(1)	25 step rural/urbain	257	9	96
	(1)	12 step urbaines	112	x	x
	(2)	25 step rural/urbain	400	<150	100
	(2)	Valenton et Achères	1030	440	58
	(4)	11 step urbaines	[50-7980]	[20-1105]	
chloroforme	(4)	11 step urbaines	[<1-47]	[<1-71]	
hydrocarbures polycycliques aromatiques chlorés (PCBs)	(1)	25 step rural/urbain	0,26	0,061	76
	(1)	12 step urbaines	0,28	0,053	81
	(2)	25 step rural/urbain	0,13	0,045	66
	(2)	Valenton et Achères	0,30	0,07	77
	(3)	Nantes/Morlaix/Marseille/Toulon	[0,05-0,44]	[0,02-0,09]	
	(4)	11 step urbaines	[<1-3]	[<1-3]	
n alcanes	(3)	Nantes/Morlaix/Marseille/Toulon	[80-450]	[4-74]	
hydrocarbures aromatiques (ég. chrysène)	(3)	Nantes/Morlaix/Marseille/Toulon	[14-121]	[4-35]	
HPA	(4)	11 step urbaines	[<0,1-2]	[<0,1-1]	
naphtalène	(4)	11 step urbaines	[<1-54]	[<1-2]	
chlorophénols	(3)	Nantes/Morlaix/Marseille/Toulon	[0,1-0,4]	[<0,1-0,5]	
crésols	(4)	11 step urbaines	[<5-560]	[<5-10]	
dichlorométhane	(4)	11 step urbaines	[<1-977]	[<1-307]	
tétrachloroéthylène	(4)	11 step urbaines	[<0,5-7]	[<0,5-1]	
phénols	(4)	11 step urbaines	[<1-91]	[<1-5]	
benzène	(4)	11 step urbaines	[<1-4]	[<1-3]	
toluène	(4)	11 step urbaines	[<1-18]	[<1-2]	
xylène	(4)	11 step urbaines	[<1-6]	[<1-2]	
amines aromatiques	(4)	11 step urbaines	[<1-370]	[<1-150]	
détergents	(3)	Nantes/Morlaix/Marseille/Toulon	[1-26]	[0,1-17]	

Tableau n° 17 : concentrations en composés-traces organiques dans les eaux résiduaires et rendements des stations d'épuration urbaines françaises

\* : tétrachlorure de carbone, chloroforme, 1,2-dichloroéthane, trichloroéthylène et tétrachloroéthylène

\*\* : hexachlorocyclohexane, aldrine, dieldrine, endrine

Sources :

- (1) CSHPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France), 1991. *Recommandations sanitaires concernant l'utilisation, après épuration, des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation des cultures et des espaces verts. Ministère de la Santé. 40 p.*
- (2) Merlet D., 1990. *Collectivités et industries - Estimation des flux de substances toxiques produites et rejetées. Agence de Bassin Seine-Normandie. 26 p.*
- (3) Marchand et al., 1989. *La contamination des eaux continentales par les composés-traces organiques. Synthèse bibliographique. Rev. Sc. Eau, 2, pp. 229-264.*
- (4) Agence de l'Eau Rhin-Meuse. *Etude en cours. Campagne 1990-1993.*

## 3.2. Facteurs physico-chimiques et biologiques importants quant au devenir des composés-traces organiques et à leur biodisponibilité, et devenir des composés-traces organiques au sein des filières de traitement

### 3.2.1. Facteurs physico-chimiques et biologiques importants quant au devenir des composés-traces organiques et à leur biodisponibilité

Quatre facteurs interviennent sur le devenir des composés-traces organiques :

- la solubilisation dans l'eau
- la volatilisation, exprimée par la constante de Henry
- la sorption
- la dégradation (biotique ou abiotique), exprimée par une période de demi-vie

Les phénols sont généralement les plus solubles, puis viennent les hydrocarbures aliphatiques, les hydrocarbures aromatiques monocycliques, les chlorophénols et chlorobenzènes, le naphthalène, les esters de phtalates et les détergents, les pesticides et enfin les hydrocarbures polycycliques aromatiques non chlorés puis chlorés.

Les hydrocarbures aliphatiques légers et les hydrocarbures aromatiques monocycliques sont les plus volatils, puis viennent le naphthalène et les PCBs (polychlorobiphényles). Les pesticides, les esters de phtalates, les phénols, les hydrocarbures polycycliques aromatiques et les PCDDs sont moins volatils. Enfin, viennent les nitro-phénols.

Les esters de phtalates et les détergents, ainsi que les phénols et les benzènes, sont les plus rapidement dégradés. Les hydrocarbures halogénés le sont beaucoup moins, et de moins en moins avec le taux d'halogénéation. Ensuite, on regroupe les PCDDs, les hydrocarbures

polycycliques aromatiques et les PCBs (polychlorobiphényles) qui sont très peu dégradables. Enfin viennent les pesticides organochlorés (ex.: DDT) qui ne sont presque pas dégradables.

### 3.2.2. Devenir des composés-traces organiques au sein des filières de traitement

Le principal but du traitement des eaux usées urbaines dans la station est l'élimination globale de la pollution en carbone, azote et phosphore. Parallèlement à cette élimination, la plupart des composés-traces métalliques et organiques se trouvent éliminés aussi. Cette élimination est assurée par divers mécanismes : dégradation, précipitation et décantation, etc.

Dans le cas des composés-traces organiques, il s'agit de :

- la volatilisation vers l'atmosphère dans les bassins d'aération, puis pendant les phases de traitement des boues (séchage, déshydratation, stabilisation aérobie)
- la sorption au niveau des boues décantées
- la dégradation
- la néoformation

Plus les composés-traces sont volatils, moins on les retrouvera dans les eaux traitées et les boues.

La sorption a lieu principalement au niveau des matières organiques en suspension dans les eaux usées, ces matières organiques se retrouvant concentrées ensuite dans les boues. Elle peut être estimée par le coefficient de partage octanol-eau.

La dégradation des composés-traces organiques s'effectue surtout au niveau des traitements biologiques. Il s'agit là de biodégradation. La combinaison de séquences anaérobies et aérobies peut réduire notablement la contamination des eaux usées et des boues. En particulier, les changements de séquences permettent de dégrader des composés assez persistants tels que certains composés chlorés : les séquences anaérobies ont tendance à déchlorer ces composés qui sont ensuite plus facilement dégradés en milieu aérobie.

Enfin, certaines pratiques domestiques et les traitements de la station d'épuration peuvent aboutir *a contrario* à la néoformation de polluants organiques, comme par exemple lors de la chloration des eaux usées (conduisant à la néoformation de chlorobenzènes, chlorophénols et hydrocarbures aliphatiques chlorés) ou l'évolution des détergents en nonylphénols au cours des traitements des eaux et des boues dans la station.

En ce qui concerne les rendements épuratoires dans les stations d'épuration ( = (concentration dans les eaux usées brutes - concentration dans les eaux épurées) / concentration dans les eaux usées brutes ), on remarquera (cf. tabl. 17) que :

- pour les hydrocarbures aliphatiques chlorés, les rendements épuratoires sont très bons (98 à 100 %) grâce probablement à leur grande volatilité (volatilisation lors des traitements des eaux usées)
- pour les pesticides chlorés, ils le sont moins tout en restant corrects (88 à 95 %), dans ce cas ce n'est ni la volatilité ni la dégradabilité qui explique les rendements (ces composés sont peu volatils et peu dégradables) mais plutôt les phénomènes de fixation aux matières organiques et à la sédimentation de celles-ci (on les retrouve donc concentrés dans les boues)
- pour les PCBs, ils sont encore un peu moins bons (66 à 81 %) malgré une certaine volatilité, ici ce sont aussi les phénomènes de sédimentation des matières organiques auxquelles ces composés sont fixés qui expliquent aussi ces rendements malgré tout corrects

En conclusion, on peut dire que les hydrocarbures volatils (les hydrocarbures non aromatiques volatils, benzènes, hydrocarbures aliphatiques chlorés et chlorobenzènes) ne seront que peu concentrés dans les boues relativement aux eaux usées et auront tendance à être éliminés vers l'atmosphère. Les hydrocarbures aliphatiques non chlorés et non volatils, les phénols, les détergents et la plupart des pesticides organophosphorés ou organoazotés seront sans doute concentrés dans les boues mais subiront une biodégradation assez rapide en condition aérobie. Par contre, les hydrocarbures polycycliques aromatiques, les PCBs (polychlorobiphényles) et les PCDDs (polychlorodibenzodioxines) et PCDFs (polychlorodibenzofurannes), les chlorophénols et les pesticides organochlorés seront fortement concentrés dans

les boues, par sédimentation essentiellement, et peu dégradés par les processus biologiques d'une filière classique de traitement des eaux usées, bien qu'une certaine biodégradation puisse être mise en évidence.

### 3.3. Les teneurs retrouvées dans les boues

Les analyses de substances organiques ne se retrouvent dans la littérature qu'au sein d'un nombre limité de publications ou de manière diffuse.

Les sources étrangères (surtout USA, Canada, Royaume-Uni et Allemagne) permettent d'avoir une vision qualitative. En effet, parmi les quelques 200 composés pour lesquels il existe des données, environ 30 % ne sont pas détectés dans les boues, 50 % sont détectés dans plus de 10 % des stations, 25 % dans plus de 50 % des stations et 12 % dans plus de 90 % des stations.

Seuls les détergents et leurs dérivés atteignent individuellement et en moyenne des teneurs supérieures à 1 g/kg MS.

Au dessus de 100 mg/kg MS on retrouve : le bis (2-éthylhexyl) phtalate et parfois des hydrocarbures aliphatiques.

Les AOX représentent souvent en moyenne 250 mg/kg MS en Cl.

Ensuite on peut dire que 10 % des composés-traces organiques se situent entre 10 et 100 mg/kg MS : esters de phtalates, hydrocarbures aromatiques, esters de triarylphosphates, amines aromatiques.

Enfin, 25 % se retrouvent entre 1 et 10 mg/kg MS et 35 % sont inférieurs à 1 mg/kg MS.

Les rares données françaises, provenant de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse et concernant le Nord-Est de la France, sont ciblées sur quelques substances : HPA, PCBs, trichlorobenzènes et EOX (cf. tabl. 18). Dans l'ensemble, les concentrations les plus élevées en HPA et PCBs correspondent à des zones fortement et anciennement industrialisées. D'autre part, les distributions des valeurs en HPA et PCBs présentent une asymétrie plus ou moins nette, cette dernière est certainement liée à la coexistence de sources diffuses et de sources ponctuelles (massives).

unité : mg / kg MS	source bibliographique	minimum	1er quartile	médiane	3ème quartile	percentile 90	maximum
fluoranthène	(1)	0,53		2,6			5,3
	(2)	0,15	0,45	0,95	1,68	3,56	31,00
benzo(b)fluoranthène	(1)	0,24		1,5			4,5
	(2)	0,07	0,25	0,60	1,00	1,70	12,00
benzo(k)fluoranthène	(1)	0,12		0,51			1,4
	(2)	0,03	0,10	0,25	0,49	1,00	5,90
benzo(ghi)pérylène	(1)	0,13		0,55			1,3
	(2)	0,05	0,15	0,30	0,60	1,20	5,80
benzo(a)pyrène	(1)	0,16		0,71			2,0
	(2)	0,04	0,20	0,40	0,70	1,34	11,00
indéno(123cd)pyrène	(1)	0,22		0,95			2,7
	(2)	0,05	0,15	0,35	0,70	1,42	7,30
PCB28	(1)	0,0034		0,0074			0,017
	(2)	0,004	0,0065	0,009	0,013	0,017	0,120
PCB52	(1)	0,0054		0,013			0,027
	(2)	0,0035	0,0105	0,019	0,029	0,0352	0,120
PCB101	(1)	0,0061		0,044			0,190
	(2)	0,011	0,019	0,032	0,050	0,0765	0,110
PCB118	(1)	0,010		0,076			0,33
	(2)	0,0075	0,01375	0,025	0,04225	0,055	0,080
PCB138	(1)	0,011		0,099			0,430
	(2)	0,0065	0,019	0,0265	0,04375	0,0815	0,200
PCB153	(1)	0,010		0,110			0,450
	(2)	0,009	0,0175	0,025	0,0475	0,095	0,270
PCB180	(1)	0,0043		0,066			0,320
	(2)	0,004	0,0075	0,011	0,022	0,052	0,230
1,2,3-trichlorobenzène	(1)	0,0015		0,11			0,92
1,2,4-trichlorobenzène	(1)	0,0074		0,19			1,7
1,3,5-trichlorobenzène	(1)	traces		0,003			0,014
EOX (*)	(2)	0,70	7,00	15,50	40,00	53,90	150,00

Tableau n° 18 : concentrations en composés-traces organiques dans les boues résiduares de quelques stations d'épuration urbaines françaises

\* : ensemble des substances organohalogénées extractibles, exprimées en Cl-

Sources :

- (1) Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Campagne 1992-1993 portant sur 9 stations pour la campagne 1993.
- (2) Agence de l'Eau Rhin-Meuse. Campagne 1994 portant sur 50 stations de taille variée (à partir de 5000 EQH et y compris des stations avec industries raccordées).

### 3.4. Impacts potentiels par la valorisation agricole des boues

Les composés-traces organiques ont donné lieu à un nombre d'expérimentations concernant l'épandage des boues bien moins important que les éléments traces métalliques. Il existe néanmoins des expérimentations sur des sols pollués de façon artificielle qui permettent de tirer des enseignements transposables au cas des boues.

#### 3.4.1. Devenir au niveau des sols

Les composés-traces organiques apportés aux sols par les boues y subsistent de manière compétitive :

- une sorption compétitive entre constituants de la boue et du sol
- une lixiviation en profondeur fonction de leur solubilité
- un lessivage en profondeur ou un entraînement par ruissellement conjoint à celui de particules fines en suspension sur lesquelles ils peuvent être adsorbés
- une volatilisation
- une dégradation sous l'action des micro-organismes vivants et de facteurs physiques divers
- une assimilation passive ou active par les organismes vivants (végétaux et animaux supérieurs, faune et flore du sol) et éventuellement une bioaccumulation dans certains organismes, organes ou tissus vivants

Le devenir des composés-traces au travers de ces différents mécanismes est dépendant des propriétés spécifiques des sols et des propriétés physico-chimiques des composés, dont les plus importants sont :

- solubilité dans l'eau (Ps ou Pw)
- constante d'acidité (pKa) qui exprime la faculté des composés à donner des anions ou cations selon le pH du milieu
- coefficient de partage octanol-eau (Kow) qui exprime le rapport hydrophobicité / hydrophilicité
- coefficient de partage air-eau ou constante de Henry (Hc) qui exprime la capacité de volatilisation
- période de demi-vie dans divers milieux et surtout le sol (temps nécessaire à la dégradation de la moitié de la quantité initiale)

Les expérimentations portant sur les boues concernent essentiellement les HPA et les PCBs qui sont réputés se maintenir longtemps dans les sols où leur biodégradation et leur mobilité semblent faibles.

On rapporte des demi-vies dans les sols de 7 à 25 ans pour les PCBs, de 6 ans pour le benzo(a)pyrène et de 8 à 15 ans pour le benzo(ghi)pérylène. La demi-vie semble augmenter avec le poids moléculaire et les congénères de PCB les plus légers et le naphthalène peuvent se volatiliser. Certains auteurs signalent une certaine disparition des congénères de PCB à 2, 3 ou 4 Cl (demi-vie de 4 à 58 mois), tandis que les PCBs à 5 à 8 Cl restent dans le sol après apport de boue, et ce quelque soit la concentration dans la boue, la dose d'apport et le nombre d'apports. Par contre d'autres auteurs n'observent aucune disparition, ni même de diminution des différents congénères dans le sol.

Les HPA migrent toutefois un peu, sur une période très courte, vers les horizons profonds, très certainement en phase colloïdale, juste après l'apport de boues et avant d'être fixés par la matière organique du sol.

#### 3.4.2. Transfert vers la plante et devenir dans la plante

On notera que les expérimentations concernant la contamination des plantes par épandage de boues sont peu nombreuses et portent sur les HPA et les PCBs réputés persistants dans l'environnement. Ce sont toutes des études à caractère scientifique, avec des boues extrêmement riches en composés organiques (parfois « dopées », c'est à dire artificiellement enrichies) et des doses d'épandage généralement élevées qui n'ont rien à voir avec des pratiques agricoles normales.

Ces expérimentations ont permis de mettre en évidence que les passages dans la plante sont généralement inexistantes ou à des niveaux extrêmement faibles, proches des limites de détection :

- L'absorption des HPA est quasi-nulle pour le ray-grass et le soja mais existe pour les carottes et les radis (surtout au niveau de l'épiderme des racines dans les deux cas) et les pommes de terre (au niveau des tubercules).
- Les facteurs de concentration <sup>(1)</sup> sont de 0,006 à 0,024 pour l'ensemble des HPA et les racines de carottes; de 0,01 à 0,02 pour le benzo(a)pyrène et les racines des radis et de 0,02 à 0,05 pour le benzo(a)pyrène et les feuilles d'épinard.
- L'absorption des PCBs est quasi-nulle pour le maïs (quelle que soit la partie de la plante considérée), la laitue, l'épinard, le haricot, la betterave à sucre, les grains de blé et d'orge et la fétuque. Elle est très faible dans la paille de blé et colza. Elle est plus importante pour la pomme de terre (dans la peau des tubercules mais pas la chair) et la carotte (dans l'épiderme des racines mais pas dans les parties aériennes, l'accumulation augmentant quand le nombre de Cl diminue).
- Pour les PCBs, les facteurs de concentration dans le maïs et la betterave sont de 0,001 et 0,041.

De manière générale on considère que :

- Pour les composés hydrophobes, le risque est surtout au niveau du passage par l'épiderme (cas de certains HPA et PCBs et des légumes racines (surtout carotte)), cependant le caractère polaire de la sève limite le transfert et les composés-traces restent à la surface des racines.
  - Pour les composés au contraire hydrophiles, l'épiderme des racines joue alors le rôle d'une barrière, mais une fois dans la plante, ils migrent facilement.
  - La principale voie de transfert vers les parties aériennes des plantes reste toutefois l'absorption par les parties aériennes (absorption des composés volatils hydrophiles au niveau des stomates, ou des composés volatils hydrophobes au niveau des cuticules).
  - La contamination externe de la plante par les boues et les sols mélangés aux boues est évidemment possible (fixation externe par simple adhérence ou adsorption, voire absorption de composés hydrophobes au niveau des cuticules). Elle peut être minimisée par l'injection des boues dans le sol ou leur épandage en dehors des périodes de végétation des cultures.
- Les rares études sur des pesticides organo-chlorés montrent qu'ils ne sont quasiment pas biodisponibles pour les plantes, en raison de leur fixation sur la matière organique du sol. La volatilisation de ces composés à partir du sol est possible, mais limitée à la surface du sol, et ne représente probablement pas une source significative de contamination pour les cultures. Leur concentration dans des plantes cultivées sur des sols ayant reçus de fortes doses de boues sont souvent inférieures aux limites de détection.

(1) Rapport entre teneur observée dans le végétal et teneur observée dans le sol (sur M.S.)

3.4.3. Exposition et bioaccumulation chez les animaux

Les expérimentations sont ici rares et concernent essentiellement les PCBs chez les bovins. On y montre :

- une augmentation de la concentration des PCBs dans le lait de vache alimentées avec des fourrages produits sur des sols après épandage de boues résiduaires,
- une accumulation des PCBs dans les graisses et notamment le lait, mais pas dans les muscles.

De manière générale, on considère que la voie principale de contamination est l'ingestion de sol lors du pâturage pour le bétail broutant. Cette voie peut être fortement minimisée si la boue est injectée directement dans le sol, si elle est épandue sur herbe rase ou si on évite de mettre au pâturage le bétail lorsque l'herbe est rare (recommandations du CSHPF, 1997). En ce qui concerne les vers de terre, on observe aussi une accumulation des PCBs, comme cela a pu être observé pour les pesticides organochlorés. Les évaluations de risques réalisées dans les pays étrangers tendent à considérer comme peu importante la voie de passage par l'animal (SMITH S.R., 1996). En comparaison, la consommation de viandes grillées (barbecues) ou de poissons fumés constitue une voie plus probante et massive d'ingestion de HAPs.

3.4.4. Transfert vers l'eau

A notre connaissance, il n'y a pas eu d'étude portant précisément sur le transfert vers les eaux souterraines des polluants organiques apportés par les boues et seules deux études portent sur celui des PCBs vers les eaux superficielles. On y montre que la totalité des PCBs du ruissellement est associée à la phase solide (et non pas à la phase liquide) et que la concentration dans les particules ruissellées et exportées est directement liée à celle dans le sol. Cette voie de transfert peut être mini-

me si l'on évite d'épandre près des cours d'eau ou plans d'eau et sur des sols trop pentus et nus.

3.4.5. Risques pour l'Homme

Les risques de contamination par consommation de produits animaux existent surtout pour les composés-traces qui ont tendance à s'accumuler dans les graisses animales (graisses, lait).

Cependant l'évaluation de l'exposition par cette voie semble montrer que la plupart des composés organiques, en dehors d'une consommation directe de terre (enfant) et anormalement importante (cas rares de boues contaminées et épandues en jardins potagers), ne peuvent pas être ingérés à des doses excédant ce qui est admissible pour l'Homme. Seuls les composés tels que les PCBs et HPA semblent concernés par ce type de risques et sont susceptibles d'entraîner des dépassements de doses acceptables. Pour les HPA, c'est la voie boue - sol - plante - homme qui est la plus critique et pour les PCBs, c'est la voie boue - sol - animal - homme.

3.4.6. Les différentes démarches d'évaluation des risques. Intérêt et limites actuelles

Devant la difficulté de mettre en évidence les phénomènes, notamment dans le cas présent de substances présentes à très faibles teneurs, des « démarches d'évaluation des risques », basées sur des modèles d'exposition, sont de plus en plus utilisées. Ce type de démarche permet de calculer les teneurs maximales admissibles en composés organiques dans les sols après épandage, en utilisant des données recueillies dans la littérature, même si elles ne concernent pas les boues. La méthode admet également l'extrapolation de données obtenues sur certains composés à d'autres composés aux propriétés physico-chimiques équivalentes.

composés	sols cultivés situés en zone agricole				sols cultivés situés en zone urbaine			
	pluies	boues	fumures	engrais	pluies	boues	fumures	engrais
PCB	44 %	38 %	17 %	1 %	44 %	38 %	17 %	1 %
HPA	44 %	38 %	17 %	1 %	80 %	14 %	6 %	0 %

pluies : précipitations atmosphériques,  
 boues : boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines,  
 fumures : engrais de ferme à base de déjections animales,  
 engrais : engrais minéraux et agents de traitement (pesticides)

Tableau n° 19 : apports comparés par différentes sources en HPA et PCB totaux dans des sols cultivés en Suisse

PCB : polychlorobiphényle

HPA : hydrocarbure polycyclique aromatique

source : Diercxsens P., Wegmann M., Daniel R., Haeni H., Tarradellas J., 1987. Apport par les boues d'épuration de composés-traces organiques dans les sols et les cultures. *Gaz, eaux, eaux usées*, 67ème année, n° 3, pp. 123-132.



Trois démarches méritent d'être citées pour information : US EPA (1989), OMS (Chang A.C. et al., 1995; Dean R.B., Suess M.J., 1985) et Agence de l'eau Rhin-Meuse (1995, non publié). Chaque approche ne considère pas exactement les mêmes voies. L'OMS se préoccupe uniquement de ce qui est strictement lié à la santé humaine, ce qui est normal; les Agences de l'Eau ne tiennent pas compte des poussières, gaz et vapeurs pouvant être ingérées ou inhalés par l'Homme. L'US EPA est assez exhaustif dans le listage des voies d'exposition possibles. A titre d'illustration, les scénarios retenus par l'OMS sont les suivants :

- Boues \* Sol \* Plante \* Toxicité Homme
- Boues \* Sol \* Toxicité Homme
- Boues \* Sol \* Plante \* Animal \* Toxicité Homme
- Boues \* Sol \* Animal \* Toxicité Homme

- Boues \* Sol \* Particules aériennes \* Toxicité Homme
- Boues \* Sol \* Ruissellement de surface \*Eaux de surface \* Toxicité Homme
- Boues \* Sol \* Zone "vadose" \* Eaux souterraines \* Toxicité Homme
- Boues \* Sol \* Vaporisation atmosphérique \* Toxicité Homme

Les différentes approches ne sont pas encore parfaitement convergentes. Pour un même scénario les résultats sont parfois même contradictoires selon les auteurs. En effet, la limite forte de ces démarches réside à la fois dans la validité des hypothèses retenues, dans le choix des données prises en référence et dans le choix des coefficients de sécurité retenus (facteur 1 à 1 000). Les décisions prises par le spécialiste en santé publique dans la manipulation de ces scénarios, sa propre subjectivité et sensibilité, influent fortement sur le résultat final. Des travaux restent à faire pour affiner la validité des paramètres à retenir.

unité : µg/kg MS	pélosol brunifié	sol brun lessivé à pseudogley	pélosol brunifié	sol limono-argileux	sol limono-argilo-sableux (alluvial à gley)	sol lessivé colluvio-alluvial (limon sablo-argileux)	sol brun alluvial calcaire (limon à limon sableux)	sol brun calcaire sur loess (limon brun calcaire)
(département)	(55)	(54)	(54)	(88)	(68)	(68)	(68)	(67)
fluoranthène	51-59	56-76	44-70	47-59	66-76	48-73	207-209	33-42
benzo(b)fluoranthène	63-100	72-127	80-82	29-30	127-135	37-65	170-190	59-98
benzo(k)fluoranthène	13-43	20-30	27-56	10	31-67	13-23	97-98	38-39
benzo(ghi)pérylène	<10	<10	<10	<10	23-42	<10	79-86	<10
benzo(a)pyrène	<10	<10	<10	<10	19-52	11-29	115-140	<10
indéno(123cd)pyrène	32-72	55-70	38-66	28-67	54-87	39-79	103-129	<10
naphtalène	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
acénaphtène	<10	16-42	<10	<10	16-47	<10	<10	<10
fluorène	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	11-21
phénanthrène	23-34	21-24	16-26	23-39	24-29	12-19	79-107	11-22
anthracène	<10	<10	<10	<10	<10	<10	22-24	<10
pyrène	<10	40-62	29-50	33-44	55-63	37-60	164-192	<10
benzo(a)anthracène	14-25	23-34	19-22	13-25	34-35	23-42	108-121	<10
chrysène	27-35	30-47	27-35	21-31	46-48	33-48	131-132	32-35
dibenzo(ah)anthracène	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10

Tableau n° 20 : analyses de HPAs dans des sols de référence du Nord-Est de la France  
source : Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Institut Pasteur de Lyon, 1995.

### 3.5. Place de l'épandage des boues par rapport aux autres sources de contamination des sols par des substances organiques

Les différentes sources de composés-traces organiques sont :

- épandage des boues d'épuration urbaine
- précipitations atmosphériques
- engrais minéraux et pesticides
- fumures à base de déjections animales

Sur la base d'une étude réalisée en Suisse, parue en 1987 (cf. tabl. 19), on notera qu'en zone agricole les

précipitations atmosphériques peuvent apporter à peu près autant de PCBs et HPAs que les boues (44 % contre 38 %) et que les déjections animales amènent aussi une part non négligeable (17 %). En zone urbaine, la situation est identique pour les PCBs, par contre les HPAs sont très majoritairement (80 %) apportés par les précipitations atmosphériques.

En France, une étude menée en 1995 par l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse sur une dizaine de sols de référence du Nord-Est de la France, a montré la présence systématique de HPAs, tandis que les PCBs étaient tous inférieurs aux limites de détection (cf. tabl. 20). Ces sols n'ayant a priori reçu aucune boue, la source des HPAs est naturelle et/ou anthropogénique (pollution atmosphérique diffuse).

### 3.6. Réglementations et guides de bonnes pratiques internationaux concernant le contrôle des composés-traces organiques des boues résiduaires épandues en agriculture

De nombreux pays et organismes internationaux ont établi des réglementations ou des recommandations sur l'épandage agricole des boues d'épuration d'eaux usées urbaines, mais très peu ont prévu des spécifications

concernant les composés-traces organiques (France, Allemagne, Suisse, Canada et O.M.S.). Enfin, les USA qui avaient en projet de réglementer l'apport de ces polluants, via l'utilisation des boues, ont abandonné cette idée pour le moment.

En France, sur la base des propositions du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, l'arrêté du 8 janvier 1998 a prévu des valeurs limites dans les boues pour les HPA et les PCBs ainsi que des flux limites. Ces quantités sont modulées selon que l'épandage concerne ou non des pâturages (cf. tabl. 21).

paramètre	Valeur limite dans les boues (mg/kg MS)		flux maximum cumulé, apporté par les boues en 10 ans - (mg/m <sup>2</sup> )	
	cas général	épandage sur pâturage	cas général	épandage sur pâturage
total des 7 principaux PCB *	0,8	0,8	1,2	1,2
fluoranthène	5	4	7,5	6
benzo(b)fluoranthène	2,5	2,5	4	4
benzo(a)pyrène	2	1,5	3	2

(\*) PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, et 180

Tableau n° 21 : Arrêté du 8 janvier 1998. Valeurs limites et flux maximum cumulés pour les composés-traces organiques dans les boues d'épuration urbaines épandables en agriculture

En Allemagne, une ordonnance relative à l'utilisation des boues en agriculture (Klärschlammverordnung ou AbfklärV) existe depuis juin 1982. Modifiée le 15 avril

1992, elle prend dorénavant en compte les composés-traces organiques dans les boues (cf. tabl. 22).

composés	concentration maximale dans les boues	flux maximaux annuels
organohalogénés adsorbables (AOX)	500 mg / kg MS (contrôle tous les 6 mois)	833 g/ha/an
polychlorobiphényles (PCB) n° 28, 52, 101, 138, 153, 180 et 209 (*)	0,2 mg / kg MS pour chacun (contrôle au moins tous les 2 ans)	0,33 g/ha/an
polychlorodibenzodioxines et polychlorodibenzofurannes (PCDD et PCDF)	100 ng / kg MS (d'équivalent toxique à la 2,3,7,8-TCDD) (contrôle au moins tous les 2 ans)	0,00017 g/ha/an

Tableau n° 22 : teneurs et flux limites en composés-traces organiques dans les boues épandues sur terres agricoles ou maraîchères en Allemagne

NB : la quantité maximale de boues pouvant être épandue est fixée à 5 t MS / ha / 3 ans (10 t MS / ha / 3 ans pour les composts). Les stations d'épuration sont obligées d'effectuer les dosages des composés-traces organiques, sauf les petites stations (< 1000 eq. hab.), pour lesquelles les délais peuvent être allongés et la dioxine non prise en compte.

(\*) : PCB n° 28 = 2,4,4'-trichlorobiphényle, PCB n° 52 = 2,2',5,5'-tétrachlorobiphényle, PCB n° 101 = 2,2',4,5,5'-pentachlorobiphényle, PCB n° 138 = 2,2',3,4,5,5'-hexachlorobiphényle, PCB n° 153 = 2,2',4,4,5,5'-hexachlorobiphényle, PCB n° 180 = 2,2',3,4,4',5,5'-heptachlorobiphényle, PCB n° 209 = décachlorobiphényle.

En Suisse, l'ordonnance modifiée (Osubst, 1992), relative notamment aux boues, a fixé des valeurs limites pour les métaux et un paramètre globale pour les composés-traces organiques halogénés adsorbables (AOX) qui ne doit pas dépasser 500 mg/kg MS dans les boues d'épuration valorisées en agriculture. Il s'agit d'une valeur indicative.

Il existe au Québec deux guides de bonnes pratiques concernant les valorisations agricole et sylvicole des boues de stations d'épuration des eaux usées municipales. Il est recommandé de ne pas valoriser des boues

montrant une concentration supérieure à 10 mg/kg MS de PCB et d'injecter ou incorporer immédiatement dans le sol les boues contenant de 3 à 10 mg/kg MS de PCB.

L'O.M.S. développe une méthodologie d'évaluation des risques pour la santé de l'Homme liés à l'épandage des eaux usées traitées et les boues d'épuration et propose des valeurs guides (en projet, 1995), non dans les boues mais dans les sols cultivés. Il s'agit de seuils provisoires à ne pas dépasser après épandage (cf. tabl. 23). Ces valeurs doivent être complétées et modifiées dans le futur.

composés	seuil dans le sol (mg/kg MS)
aldrine	0,2
benzène	0,03
benzo(a)pyrène	3
chlordane	0,3
chlorobenzène	ND
chloroforme	2
dichlorophénols	ND
2,4-D	10
DDT	ND
dieldrine	0,03
heptachlore	1
hexachlorobenzène	40
hexachloroéthane	2
pyrène	480
lindane	0,6
méthoxychlore	20
pentachlorophénol	320
PCBs	30
tétrachloroéthane	4
tétrachloroéthylène	250
toluène	50
toxaphène	9
2,4,5-T	ND
2,3,7,8-TCDD	30

Tableau n° 23 : projet O.M.S. de valeurs guides composés-traces organiques dans les sols recevant des boues d'épuration  
 ND = non déterminé (données insuffisantes)

Aux USA, dès 1986, un projet de réglementation (40 CFR Part 503 du Clean Water Act) concernant l'épandage des boues d'épuration urbaines, rédigé par l'US EPA, proposait de limiter les risques de pollution en fixant les quantités maximales de polluants (organiques ou non) qui peuvent être appliquées (pour les organiques étaient concernés : trichloroéthylène, benzo(a)pyrène, aldrine et

dieldrine, chlordane, DDT / DDE / DDD, heptachlore, hexachlorobenzène, hexachlorobutadiène, lindane, toxaphène, PCBs et diméthyl nitrosamine). Toutefois, après avoir conduit une vaste enquête nationale sur les boues d'épuration (419 polluants dans les boues de 181 stations) et avoir réexaminé les évaluations de risques polluant par polluant, l'US EPA n'a pas repris les valeurs

limites proposées pour les composés-traces organiques dans la réglementation finale de 1993 et seul l'apport en éléments-traces métalliques y est limité. Les raisons de cet abandon sont diverses (polluants non détectables dans les boues, effets négatifs sur la santé publique et l'environnement calculés pour des concentrations au 99ème percentile non significatifs, polluants bannis ou dont l'usage est restreint par la réglementation, composés plus manufacturés ou utilisés dans la fabrication de produits).

Il faut noter que la réglementation sur les boues ne concerne pas les boues très polluées en PCB (plus de 50 mg/kg MS) car celles-ci relèvent des réglementations concernant les déchets et produits toxiques.

Enfin, l'US EPA prépare déjà un amendement à la réglementation qui vient d'être promulguée et pense ajouter des polluants dont l'apport sera limité (probablement TCDD, TCDF, ...).



## Chapitre 4 : Stratégie pour produire des boues propres et garantir leur qualité aux agriculteurs utilisateurs

La prévention des rejets ou entrées indésirables dans le réseau d'assainissement constitue le point fort d'une politique-qualité en matière de production de boues d'épuration.

La mise en oeuvre de cette prévention implique une stricte police des réseaux, mais ne peut s'y limiter. Elle renvoie à une réflexion plus globale de gestion de l'ensemble des déchets produits à l'échelle d'une agglomération, du département, ou de la région, et ceci quelle que soit la forme des déchets : solide, liquide ou gazeuse. L'expérience montre qu'il est erroné de gérer de façon séparée les questions de l'assainissement du reste de la problématique déchets. Dans ce domaine, il importe également de sortir de la dichotomie un peu trop simpliste déchets industriels / déchets ménagers pour intégrer un grand nombre d'autres acteurs : artisans, commerçants, imprimeries, laboratoires d'analyses, centres d'enseignement et de recherche, officines privées (médecins, dentistes, ...), hôpitaux et cliniques, etc.

Prévenir c'est aussi éviter de produire ou d'utiliser des substances qui risquent d'être ultérieurement contaminantes. Cette idée-force de toute politique de gestion de déchets ("éviter d'en produire") soutend les actions en faveur des "technologies propres" et des "éco-produits". Enfin, reste posée la difficile maîtrise de la pollution pluviale, aux caractéristiques souvent inintéressantes vis-à-vis de la qualité des boues.

Une politique complète de prévention de la contamination des boues d'épuration exige donc la mise en oeuvre cohérente et simultanée d'un ensemble d'actions :

- promotion des technologies propres et éco-produits ;
- collecte séparée des déchets toxiques et traitement dans des centres spécialisés ;
- police des réseaux d'assainissement et police des installations classées ;
- maîtrise de la pollution pluviale ;
- cohérence avec la gestion des autres sous-produits du cycle de l'eau.

Ces actions peuvent s'inscrire dans un "plan qualité des boues" à définir par chaque station d'épuration, selon sa spécificité.

### 4.1. Eviter de produire ou d'utiliser des substances potentiellement contaminantes

#### 4.1.1 Technologies propres

Selon la définition proposée par la Commission des Communautés Européennes en 1979, une technologie propre est *"une méthode de fabrication utilisant le plus rationnellement possible les matières premières et l'énergie, tout en réduisant la quantité des effluents polluant l'environnement ainsi que la quantité de déchets produits à la fabrication et pendant l'utilisation des produits"*. Bien que la définition européenne restreigne les technologies propres aux procédés de fabrication, il convient de l'attribuer plus généralement à tout procédé de transformation de la matière mettant en oeuvre de l'énergie et des matières premières.

On distingue classiquement trois niveaux possibles d'intervention en matière de technologies propres :

. L'optimisation des procédés correspond au niveau d'intervention le plus élémentaire et le plus accessible. Il ne modifie pas profondément le procédé mais peut déjà constituer une bonne réduction des rejets.

. La modification des procédés est moins aisée dans sa mise en oeuvre que précédemment. Tout en maintenant le principe de fabrication, elle implique un changement des conditions opératoires. (Exemples : substitution d'une peinture aux solvants par une peinture à l'eau; déshydratation, par per-évaporation, des solvants organiques ou alcooliques).

. Le changement des procédés, partiel ou fondamental, représente une technologie propre au sens littéral du terme, et correspond à une nouvelle méthode de production, fruit d'une recherche technologique poussée. (Exemples : recyclage et régénération des bains de chromage; recours en teinturerie à des machines à court rapport de bain permettant de réduire notablement les quantités de rejets aqueux et la pollution organique).



#### 4.1.2 Les « éco-produits » et la marque NF ENVIRONNEMENT

Le second axe d'actions dites "à la source" en matière de prévention de déchets est celui sur les éco-produits, c'est à dire de produits ayant des impacts moindres sur l'environnement. Les travaux d'écoblabilisation liés à ce thème sont menés au sein de l'AFNOR en concertation avec les producteurs, les distributeurs, les associations de consommateurs et de protection de l'environnement et les pouvoirs publics depuis le début des années quatre-vingt-dix. Un tel produit doit, à efficacité égale par rapport aux produits concurrents, apporter une avancée réelle dans la protection de l'environnement, sans faire apparaître d'autres nuisances. Les conditions de fabrication du produit et d'élimination en fin de vie sont également appréciées. L'approche est donc multi-critères et s'intéresse au produit de l'extraction des matières premières à l'élimination, ou, selon l'expression consacrée, du "berceau à la tombe".

En France, ces travaux ont abouti à la création en 1990 de la marque NF ENVIRONNEMENT. Elle peut être utilisée par les entreprises qui le souhaitent, si leurs produits s'avèrent conformes aux exigences d'un règlement technique fondé sur l'étude et l'analyse du cycle de vie. Ce label écologique est attribué par l'AFNOR. L'intérêt de ce marquage est d'informer le consommateur (entendu au sens large du terme et incluant non seulement les ménages mais aussi les collectivités, les entreprises et les administrations par le biais de leurs achats) pour l'inciter à choisir, entre deux produits d'égale performance, celui bénéficiant d'un marquage NF ENVIRONNEMENT.

#### 4.1.3 Limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances

L'action réglementaire accompagne cette politique. Ainsi, le décret n° 94-647 du 27 juillet 1994 limite la mise sur le marché et l'emploi du pentachlorophénol (produit de conservation du bois ou textiles, et à l'origine de métabolites tels que PCDD et PCDF), du (dichlorophényl) (dichlorotolyl) méthane, du (chlorophényl) (chlorotolyl) méthane et du bromobenzyl-bromotoluène dans l'industrie. Ce même décret a interdit ou limité l'emploi du cadmium et de ses composés pour la fabrication d'un certain nombre de produits (notamment des colorants) ou de biens d'équipement.

## 4.2. Tri et collecte sélective des déchets toxiques ou spéciaux

Ces déchets peuvent être produits par différentes catégories d'acteurs : industries, PME-PMI, laboratoires,

artisans-commerçants, centres d'enseignement et de recherche, hôpitaux et cliniques, activités de soins etc. sans oublier ceux produits par les ménages. Quelle que soit leur origine, la problématique en terme de traitement est identique. Mais les quantités en jeu et, surtout, les responsabilités peuvent s'avérer très différentes selon les producteurs concernés.

Pour faciliter les stratégies d'action et de communication, on distingue usuellement :

- Les déchets toxiques produits par les grandes entreprises, industrielles ou autres. Il s'agit le plus souvent d'installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) placées sous le contrôle de la DRIRE (police des installations classées). Sur un total de 150 millions de tonnes de déchets industriels produits par an, les déchets industriels spéciaux (DIS) représentent 18 millions de tonnes dont 2 millions de déchets toxiques.

- Ceux produits par les PME-PMI, les artisans-commerçants, les centres d'enseignement et de recherche, les laboratoires d'analyses, les centres de soin, les dentistes, etc. Dans cette catégorie on utilise le terme de "Déchets Toxiques en Quantité Dispersée", ou DTQD, pour signifier que le gisement est atomisé en quantité modeste chez de multiples détenteurs. Globalement ces DTQD représentent une quantité estimée en 1997, par l'ADEME, à 170 000 à 250 000 tonnes/an.

- Enfin, ceux produits par les ménages. Dans ce domaine on utilise plutôt le terme générique de "Déchets Ménagers Spéciaux" ou DMS. Ils se définissent comme des *"produits ou objets rejetés par les ménages et susceptibles d'être explosifs (aérosols), corrosifs (acides), nocifs, irritants (ammoniaque, résines), comburants (chlorates), facilement inflammables, ou d'une façon générale dommageables pour l'environnement (métaux lourds des piles, accumulateurs, lampes fluorescentes, etc.), ou qui ne peuvent pas être éliminés par les mêmes voies que les ordures ménagères sans créer de risques pour les préposés chargés de l'enlèvement des déchets"*.

En conséquence, les DMS peuvent généralement être qualifiés de dangereux, mais seuls certains DMS revêtent effectivement un caractère toxique.

Outre cette nuance importante, DTQD et DMS diffèrent également par la responsabilité en matière d'élimination. S'agissant des DMS, la collectivité locale assume cette responsabilité, non les ménages. Pour les DTQD, c'est le producteur qui en est responsable. L'examen des opérations de collecte réalisées en France montre toutefois que, souvent, on y retrouve en mélange DTQD et DMS.

#### 4.2.1 Les déchets des Installations Classées (ICPE)

Depuis la nouvelle loi du 13 juillet 1992 sur les déchets et le décret n° 93-140 du 3 février 1993 relatif aux plans d'élimination des déchets autres que les déchets ménagers et assimilés, il revient à chaque région de procéder à un bilan de la situation actuelle (flux produits, nature, quantités, destination) et d'élaborer des propositions pour la mise en place d'unités de traitement. Si le recours à une échelle inter-régionale peut s'avérer judicieux pour mieux amortir la création d'outils de traitement, il convient néanmoins de veiller à limiter les transferts (respect du principe de proximité). Les grands établissements industriels (ICPE) sont clairement répertoriés et la gestion des DIS est généralement assez bien appréhendée par ces entreprises, notamment par le biais des études déchets recommandées par la circulaire du 28 décembre 1990. Enfin il est courant que ces entreprises soient dotées de leur propre station d'épuration.

#### 4.2.2 L'action sur les DTQD

En matière de pollution diffuse, le problème des DTQD s'avère sans doute plus difficile à appréhender. Echappant au ressort de la police des ICPE, cette pollution sournoise est sous-estimée par l'ensemble des acteurs, ou s'apprécie comme une pollution fatale vis à vis de laquelle les gestionnaires des réseaux d'assainissement se sentent impuissants.

Face aux DTQD, la solution consiste à travailler par branche professionnelle, via l'interprofession (syndicats professionnels ou fédération) ou les chambres consu-

lares (Chambres des métiers ou Chambres de commerce et d'industrie), et à mettre en place des circuits de ramassage et des centres de regroupement, pour retrouver à une certaine échelle la pleine cohérence avec le plan régional de gestion des déchets.

Plusieurs plans régionaux ont ainsi mis à l'étude de telles organisations : Poitou-Charentes, Languedoc-Roussillon, Centre-Val de Loire par exemple. Parfois, il est recherché une échelle géographique plus opérationnelle : Communauté Urbaine de Lyon, "Plastic Vallée" d'Oyonnax / St-Claude (Ain et Jura), ou Départementale (Essonne), etc.

Les DRIRE, les délégations régionales de l'ADEME et les Agences de l'Eau peuvent fournir à la demande une liste des collecteurs professionnels, des centres de regroupement et de traitement. Les services de ces prestataires privés sont payants.

Les DTQD produits par les établissements d'enseignement (collèges et lycées) et les centres de recherche ne sont pas à négliger : ils représentent 45 000 t/an comprenant à la fois des déchets de manipulations courantes et des stocks anciens (fonds de flacons, produits périmés, produits non utilisés). La démarche, toujours identique dans son principe, consiste à réaliser une étude déchets au sein du laboratoire, d'examiner les modalités de stockage et de regroupement selon les compatibilités chimiques, et de contractualiser avec une entreprise agréée d'élimination dans le respect des règles en vigueur (fiches de renseignements par produit, bordereaux de suivi, transparence sur la destination finale).

#### Actions sur les DTQD : quelques exemples

- *Déchets des laboratoires de l'INSERM. Création du logiciel (GeDaM), accessible par MINITEL ou PC, pour la gestion des déchets de laboratoire, mis au point par l'INSERM pour les 35 laboratoires de la région Rhône-Alpes. Ce logiciel vise à gérer les stocks et à prévoir les quantités et les différents types de déchets.*
- *Lycées : déchets des classes de travaux pratiques. En région Pays de Loire, le Conseil Régional, en liaison avec le Rectorat, l'Union des Médecins, la Caisse Régionale d'Assurance Maladie et l'ADEME ont mis en oeuvre une collecte systématique des déchets des salles de travaux pratiques de chimie, après une enquête dans les lycées ayant montré que 62 % de ces déchets allaient dans l'évier ou la poubelle. En appui, un classeur pédagogique "DETOX" a été distribué en trois exemplaires dans chacun des 280 lycées de la région, ainsi qu'un film vidéo de sensibilisation.*

#### 4.2.3 Intérêt de la marque RETOUR

Dans l'ensemble dispositif de tri et de collecte séparative, il faut signaler l'intérêt des services de reprise par le fournisseur. Ce dernier, en accompagnement de la vente de ses produits, propose à ses clients de reprendre ces mêmes produits lorsqu'ils sont usagés ou périmés. Pour promouvoir de tels services et en garantir la qualité, l'ADEME délivre la marque RETOUR aux fournisseurs qui en font la demande et dont le service de reprise est conforme aux exigences de la marque. Une quinzaine d'entreprises bénéficient de la marque RETOUR pour la reprise, par exemple, des solvants de pressing, des matériels bureautiques ou de produits phytosanitaires. Cette initiative a pour objectif d'encourager la reprise des déchets par le fournisseur et d'en inclure le coût de collecte et de traitement dans le prix de vente du produit neuf.

#### 4.2.4 Les Déchets Ménagers Spéciaux (DMS) et le rôle des déchetteries

Ainsi qu'il a été dit plus haut, les déchets toxiques ne sont qu'une partie des DMS. Dans les ordures ménagères, la quantité de DMS est estimée entre 0,5 et 2 % du poids total, soit 1,5 à 6 kg par habitant et par an. Les études et expériences passées montrent qu'en récupérant les 10 à 12 produits les plus consommés, il est collecté 95 à 98 % du volume des DMS (voir exemple de l'opération réalisée dans la commune de Boisset-Gaujac en Languedoc-Roussillon en 1994, tableau n°24).

tableau n°24

#### Commune de Boisset-Gaujac (Gard) en Languedoc-Roussillon

La délégation régionale de l'ADEME et le Conseil Général du Gard se sont associés à la campagne de ramassage organisée par la commune de Boisset-Gaujac (1600 habitants). Les particuliers ont été invités à faire le tri de leurs déchets toxiques ménagers et à les déposer dans des conteneurs, et cela durant deux demi-journées en septembre 1994.

Les résultats de cette collecte expérimentale ont dépassé les prévisions :

produits chimiques	:	114 kg
peinture	:	169 kg
aérosols	:	12 kg
solvants	:	27 kg
phytosanitaires	:	29 kg

total : 381 kg de déchets qui ont pu être acheminés vers les différentes filières de traitement et d'élimination. Un succès qui amène cette commune à envisager la périodicité de cette action.

Coût : 12 000 F environ.

L'expérience des années passées montre qu'il est souhaitable d'éviter les opérations "coups de poing" (ponctuelles et aux coûts d'information insuffisamment amortis) au profit de collectes permanentes en déchetteries. La collecte à points mobiles doit être réservée aux secteurs d'habitats dispersés ou pour certaines spécificités de sites ou de produits, comme cela se fait parfois pour la collecte des encombrants (matelas, armoires, etc.).

En appui de l'équipement des déchetteries, et de l'étoffement de son réseau, l'information du public doit être bien conçue pour l'inciter à utiliser les facilités ainsi créées. Les expériences passées montrent que l'adhésion du public peut être très forte. La formation du person-

nel des déchetteries à la reconnaissance et au tri des matières déposées est également indispensable.

#### 4.3. Diagnostic d'assainissement, police des réseaux et police des installations classées

En dépit de toute l'action préventive qu'il convient d'organiser à la source, une stricte police des réseaux reste obligatoire. Sous la responsabilité de la commune, maître d'ouvrage du réseau (ou d'une société déléguée), la police des réseaux consiste à établir et faire respecter un règlement d'assainissement reprenant souvent un modèle type établi par une circulaire du Ministère de

l'Intérieur (n° 86-140 du 9 mars 1986). Cette police des réseaux se fait en lien étroit avec la police des Installations Classées. La notion de "diagnostic d'assainissement", introduite par le décret du 3 juin 1994, a réaffirmé l'importance de cette démarche.

#### 4.3.1 Diagnostic du système d'assainissement

Le décret du 3 juin 1994 impose pour "les communes dont le territoire est compris en totalité ou en partie dans une agglomération produisant une charge brute de pollution organique supérieure à 120 kg/j<sup>(1)</sup>" l'élaboration d'un programme d'assainissement comprenant un diagnostic du système d'assainissement existant. L'article 28 de l'arrêté (n°1) du 22 décembre 1994 (celui fixant les prescriptions techniques) précise que ce diagnostic doit comporter "*l'inventaire des industries et établissements raccordés, et la composition et le volume des principaux effluents*".

Un tel diagnostic mérite d'être réalisé pour tout système d'assainissement produisant des boues valorisées en agriculture. Ce diagnostic peut notamment intervenir lors des études préalables aboutissant à la mise en place d'un plan d'épandage. L'organisation des informations recueillies doit permettre de créer des bases de données où les différentes sources de substances entrant dans le réseau sont connues, quantifiées et hiérarchisées. Une telle structuration de l'information est alors utile pour :

- orienter les recherches en cas de rejets anormaux accidentels
- guider les actions d'amélioration à entreprendre en priorité

La notion de diagnostic figure également dans le décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 (article 19) qui demande que le dossier d'autorisation ou de déclaration des épandages comprenne les dispositions prises par la collectivité pour prévenir la contamination des boues par les effluents non domestiques autorisés à être rejetés dans le réseau d'assainissement.

#### 4.3.2 Convention de déversement

Toute demande de raccordement émise par un industriel fait l'objet d'une étude de flux et de composition avant qu'une réponse positive ne soit accordée, et concrétisée sous la forme d'une convention spéciale de déversement des eaux industrielles. Toutefois la commune se réserve le droit d'une réponse négative car le raccordement des établissements déversant des eaux industrielles au réseau public n'est pas obligatoire, conformément à l'article L. 35-8 du Code de la Santé Publique. De façon explicite, l'arrêté (n°1) du 22 décembre 1994 précise à l'article 23 que les effluents non domestiques raccordés au réseau ne doivent pas contenir de "*matières ou pro-*

*duits susceptibles de nuire à la dévolution finale des boues produites*".

Cette convention de déversement vise à définir l'admissibilité des effluents dans le réseau, compte tenu de ses caractéristiques. L'Agence de l'Eau Loire-Bretagne par exemple a édité en 1993 un "guide des recommandations - Convention-type" pour le raccordement d'un industriel sur le réseau d'assainissement communal. Des dispenses à l'obligation de conventionnement restent cependant possibles si le prélèvement d'eau ne dépasse pas 6 000 m<sup>3</sup>/an et qu'il est assimilable aux eaux usées domestiques. Par ce biais, les petits producteurs (garagistes, labo-photos, imprimeries, coiffeurs, laboratoires d'analyses, pressings, teintureries, etc.) peuvent éventuellement échapper à la police des réseaux, mais dans la pratique il est conseillé d'établir une convention spéciale de déversement dans ces cas. La difficulté majeure réside pour les établissements en place et pour lesquels rien n'a été fait depuis l'origine. Il convient d'avoir une action progressive et de mettre en place un calendrier d'amélioration du rejet pour permettre à ces établissements de supporter les investissements éventuellement nécessaires en les fractionnant par tranches successives de travaux. Comme pour la gestion des DTQD, une action coordonnée avec l'interprofession concernée s'avère un élément déterminant de succès.

Un nouveau modèle d'arrêté de déversement est actuellement en discussion au niveau national<sup>(2)</sup> et vise à remettre à jour le modèle de règlement du service d'assainissement qui date de 1986. Parmi les innovations envisagées, figure l'idée d'asseoir la redevance sur la pollution effectivement émise et non plus seulement sur la quantité d'eau prélevée. La gamme des substances contaminantes à examiner serait notablement élargie, mais modulée selon l'activité de l'établissement, avec fixation de valeur limite en concentration et en flux journalier. Le souci de prévenir la contamination des boues structure assez nettement les nouvelles dispositions envisagées. Avec ces nouveaux textes, la collectivité productrice de boues pourra se donner les moyens d'une politique volontariste pour réduire à leur plus faible valeur les rejets indésirables dans le réseau.

#### 4.3.3 Police des Installations Classées

En ce qui concerne les installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation, l'arrêté du 1er mars 1993, relatif notamment aux rejets de toute nature de ces installations, constituait un texte de référence précieux. Il a été cassé pour vice de forme par le Conseil d'état, et un texte nouveau est en préparation<sup>(3)</sup>. Sur le fond, les principes seront repris, aussi, pour rester pragmatique peut-on continuer à faire référence à ce texte.

(1) ce qui représente une station d'épuration de 2 000 équivalents-habitants en charge nominale

(2) informations exactes au 1<sup>er</sup> mars 1998

(3) voir arrêté du 2 février 1998 (J.O. du 3 mars 1998)

L'article 34 de ce texte précise les conditions de raccordement à une station d'épuration collective. Les valeurs-limites de rejet dans le réseau sont les mêmes que pour un rejet dans le milieu naturel (article 32-3 de cet arrêté). Pour les installations déjà raccordées mais faisant l'objet d'extensions, une étude de traitabilité doit être réalisée pour toute augmentation des rejets (article 35). Compte tenu des critères d'admissibilité, l'industriel peut être amené à créer des dispositifs de pré-traitement des effluents avant déversement. Une réflexion approfondie peut même amener à modifier les processus de production pour prévenir et supprimer la production de polluants : c'est la notion de technologies propres évoquée au plus haut.

L'arrêté du 1er mars 1993, exemplaire d'une approche intégrée de la protection de l'environnement, concerne aussi les rejets solides (déchets) et gazeux de l'industriel. Les rejets atmosphériques polluants jouent un rôle à ne pas négliger dans cette problématique car leurs retombées immédiates ou différées sur les voiries, les toitures et les sols contribuent ultérieurement à la contamination du ruissellement pluvial, puis des boues d'épuration produites si le réseau est unitaire.

#### 4.4. La question de la pollution pluviale

En cas de réseau unitaire, c'est à dire quand flux pluvial et flux d'eaux usées sont mélangés, le lessivage des toitures et de la voirie communale par les eaux pluviales contribue à la contamination des eaux usées. Cette contamination est liée non seulement aux retombées atmosphériques sous forme de précipitations sèches ou par lessivage de la pluie, mais également à l'usure de la voirie, des pneus et garnitures de frein des véhicules automobiles, aux pertes d'huiles minérales ou de carburants, etc. Ce flux pluvial, et plus particulièrement les premières eaux, contiennent une charge particulière et soluble aux caractéristiques sans intérêt pour la qualité des boues.

La prise en compte des problèmes posés par le flux pluvial est récente. Désormais des études et investissements importants lui sont consacrés. Dans le passé ce flux était souvent court-circuité en tête de station, pour être rejeté sans traitement dans le milieu naturel. Une telle conception est remise en cause, suite à de trop nombreuses pollutions aiguës au fort retentissement médiatique.

Parmi toutes les solutions envisageables, il est évident que la création de réseaux séparatifs permettant la disjonction et le traitement séparé des deux types de flux, pluvial d'un côté, domestique de l'autre, constitue une réponse radicale et définitive. Le surcoût du réseau

séparatif par rapport à un réseau unitaire est de l'ordre de 20 à 30 %. Ainsi les prix ne sont pas doublés, car le réseau pluvial est moins ramifié que le réseau unitaire. De plus les eaux usées domestiques circulent dans des tuyauteries de diamètre plus faible. Toutefois il convient de traiter spécifiquement le flux pluvial collecté avant rejet et d'éliminer les déchets du traitement dans une filière spécifique (souvent mise en décharge en raison de la nature essentiellement minérale des produits).

En dépit de ces surcoûts, les concepteurs des systèmes d'assainissement s'orientent de plus en plus vers des réseaux séparatifs car, outre les conséquences positives sur la qualité des boues produites, le fonctionnement de la station d'épuration et son efficacité épuratoire s'en trouvent sensiblement améliorés (notion d'obligation de résultats dans l'arrêté (n°2) du 22 décembre 1994 relatif à la surveillance des ouvrages de collecte et de traitement des eaux usées). Le passage d'un réseau complètement unitaire à un réseau séparatif ne peut néanmoins se concevoir que sur le long terme, selon la taille des agglomérations et la volonté affichée pour régler ce problème : il s'agit incontestablement d'une donnée majeure à considérer. A Toulouse, par exemple, 50 années ont été nécessaires pour passer de l'unitaire au séparatif. En France il est encourageant de noter que les réseaux séparatifs sont devenus prépondérants sur les réseaux unitaires depuis 1988 (IFEN, 1996). Cette tendance s'accroît, même si l'unitaire reste dominant dans des régions frontalières du Nord et de l'Est, l'Île de France, le Limousin et l'Auvergne.

Dans le cas où un système séparatif existe, l'arrêté (n°1) du 22 décembre 1994 précise à l'article 22 que les réseaux d'eaux pluviales "*ne doivent pas être raccordés au réseau des eaux usées du système de collecte, sauf justification expresse de la commune*".

Le nettoyage régulier de la voirie peut sensiblement réduire la masse de matières véhiculées par les eaux pluviales. Selon la fréquence et la qualité du nettoyage, 1 à 2 t de matières peuvent être collectées par hectare.

#### 4.5 Cohérence avec les autres sous-produits du "cycle de l'eau"

Le "cycle de l'eau", expression utilisée dans les travaux européens de normalisation pour désigner l'ensemble de la problématique eau en milieu urbain, fait apparaître en différents points du système de nombreux sous-produits : boues d'eau potable, produits de curage des réseaux d'assainissement, matières de vidange, déchets des pré-traitements (dégrillage, désablage, déshuilage) et boues d'épuration proprement dites.

Si les règles de bonne gestion des boues d'épuration sont désormais de mieux en mieux connues et appliquées, il n'en va pas de même pour les autres sous-produits. Surtout, les contraintes nouvelles en matière de gestion des décharges remettent en question les routines de travail instaurées. En tout état de cause, dans cette nouvelle donne, il faut éviter que l'élimination de ces produits retentisse sur la qualité des boues proposées au recyclage agricole. Cela irait à contre-courant des efforts déployés au cours des vingt années passées, et des résultats assez spectaculaires obtenus, pour baisser la teneur des boues en éléments-traces métalliques.

Ainsi, les boues d'eaux potables, souvent de nature minérale, ne doivent pas être rejetées dans le réseau d'assainissement, sous peine d'enrichir inutilement (du point des qualités agronomiques) les boues en aluminium, fer ou manganèse. Les produits de curage des réseaux d'assainissement, à nature minérale prédominante et hétérogènes de composition, ne peuvent être mélangés aux boues résiduelles produites. Si leur retraitement doit être envisagé dans des ouvrages spécifiques, en tête de station, il convient de vérifier au préalable l'absence d'impact sur la qualité finale des boues.

Dans le même esprit, l'admission des matières de vidange nécessite la création de fosses de dépotage permettant un contrôle visuel et analytique des matières réceptionnées, avant admission dans la chaîne de traitements.

La pureté des réactifs minéraux ou organiques utilisés en station d'épuration doit également être contrôlée.

## 4.6 Fixer un "plan qualité des boues" dans chaque station d'épuration

### 4.6.1 Vouloir la qualité, non la subir.

Tout au long de ce chapitre, il a été montré que le producteur de boues dispose de toute une panoplie de moyens pour obtenir une qualité satisfaisante. Trop souvent, la qualité d'une boue est constatée plus que recherchée. C'est l'attitude radicalement inverse qui est à favoriser.

Pour coordonner les actions à mener, il serait souhaitable que chaque station d'épuration établisse un "plan qualité des boues", avec des objectifs à atteindre en terme de teneurs en éléments-traces métalliques ou substances-traces organiques. Au delà du respect obligatoire des teneurs-limites réglementaires, l'action envisagerait plutôt d'atteindre les valeurs les plus basses observées en France, et correspondant aux valeurs dites "de bruit de fond". Année après année, l'abaissement

tendanciel des valeurs observées mesurerait l'impact des actions menées. Pour animer ce plan qualité des boues, un comité ou une cellule pourrait être créée et rassembler les différents intervenants et responsables concernés.

L'approche décrite ci-dessus peut être définie comme « descendante » : elle part des rejets pour aboutir aux valeurs observées dans la boue. Une autre approche, cette fois-ci qualifiable de « remontante », peut être proposée : elle part de la qualité acceptable pour l'agriculture (exemple : le cahier des charges d'un transformateur de légumes) pour définir en retour l'objectif de réduction en métaux à atteindre. Ces deux approches sont dans la pratique parfaitement complémentaires. La seconde approche a le mérite d'être positivement contraignante pour le producteur de boues et de créer un véritable partenariat avec les acteurs aval de la filière d'épandage.

D'autres critères de qualité peuvent être pris en compte par cette cellule : régularité de composition des boues, efficacité agronomique, niveau de stabilisation, voire, le cas échéant, tenue en tas et hygiénisation.

### 4.6.2 Garantir la qualité des boues aux agriculteurs utilisateurs. Intérêt de la gestion par lot.

Pour fournir aux agriculteurs une garantie totale sur la conformité des boues livrées aux valeurs réglementaires et aux valeurs fixées par le plan qualité boues de la station d'épuration, il est logique que l'intégralité de la masse livrée soit analysée et fasse l'objet d'un marquage.

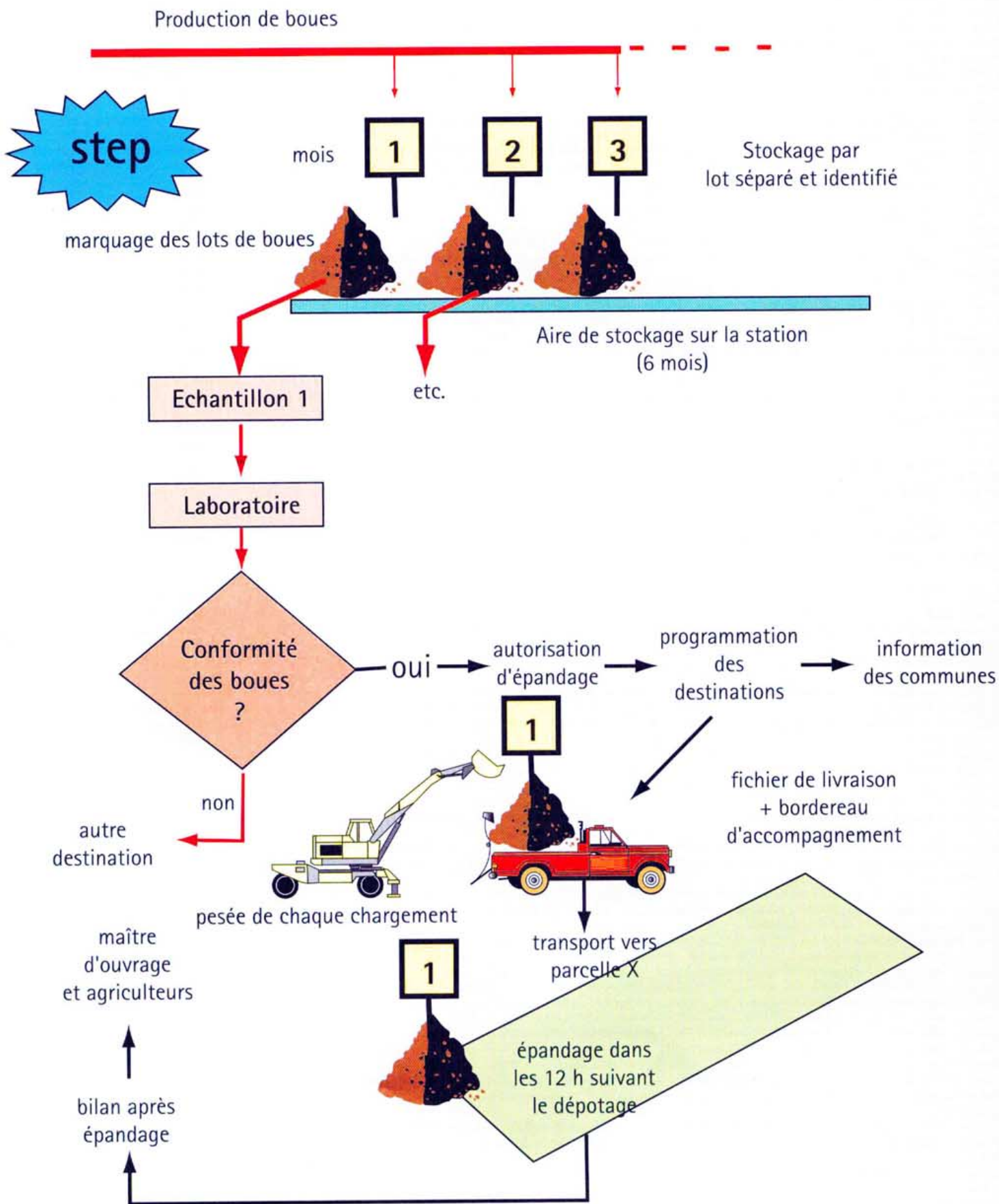
La traduction opérationnelle de ce principe est d'adopter une logique de lots pour la production de boue. Un lot peut être défini comme :

- une quantité donnée de boues,
- précisément identifiée (un numéro peut être attribué),
- produite à une date donnée ou au cours d'une période donnée,
- présentant une uniformité de composition en chaque point de sa masse.

Le contenu d'un stockage de boues liquides, soigneusement homogénéisé, constitue obligatoirement un lot, indépendamment du temps s'étant écoulé entre le début et la fin du remplissage du silo (plusieurs mois éventuellement). Dans le cas des boues pelletables, l'homogénéisation de la masse stockée apparaît difficile. Il convient alors d'identifier des lots séparés sur des pas de temps mensuels, bimensuels ou hebdomadaires selon l'importance de la production de la station.



Figure n°4  
 Organisation des épandages à Bourg en Bresse  
 pour garantir la qualité sanitaire de chaque lot de boues  
 et satisfaire aux principes de précaution et de traçabilité  
 (Source : Cabinet AGER Conseil, Ain)



Cette logique de gestion a forcément des répercussions sur la conception des stockages. Dans le cas des boues liquides, compte tenu des délais analytiques, un silo de pré-stockage d'une durée d'un mois par exemple, peut être prévu pour ne pas mélanger la boue échantillonnée pour analyses avec des boues nouvelles non échantillonnées. Dans le cas des boues pelletables, des murets de séparation sont nécessaires si les boues sont pâteuses ou plastiques. Les boues solides peuvent tenir en tas séparés.

La figure n°4 illustre ces principes de travail sur une opération réelle à Bourg-en-Bresse (01). L'adoption de la gestion par lot des boues d'épuration épandables donne un cadre rigoureux à la mise en oeuvre des analyses de contrôle prévues en autosurveillance par l'arrêté du 8 janvier 1998.

#### 4.6.3 Prévoir une solution d'élimination pour les boues non conformes

Le plan qualité des boues doit prévoir des dispositions explicites pour les boues ne répondant pas aux critères fixés. Dans le cas où les boues ne sont pas conformes aux valeurs limites fixées par la réglementation pour les éléments-traces métalliques et les composés-traces organiques une solution d'élimination est obligatoire. Cette situation d'urgence doit clairement être prévue dans les procédures de gestion des boues, avec des dispositions techniques et financières précises. Dans le cas de boues liquides, par exemple, les lieux de déshydratation et d'incinération sont à prévoir. Dans la mesure où cette situation est exceptionnelle et ne porte que sur des quantités limitées, il est inutile de créer des capacités supplémentaires d'incinération. Le peu de boues à traiter peut être incorporé à dose faible (moins de 10 % du tonnage d'ordures ménagères) dans le volume des

autres déchets à traiter. Si la mise en décharge est la seule solution possible, une siccité minimale de 30 % est demandée par la réglementation. Outre la déshydratation mécanique, un chaulage est souvent nécessaire pour atteindre cette siccité plancher.

Cet élément organisationnel complète et conforte le système de garanties que le producteur de boues établit vis-à-vis des agriculteurs utilisateurs et de la qualité des boues livrées. C'est un argument important dans la création et l'entretien de la confiance.

#### 4.6.4 Organiser les épandages. Autosurveillance.

Le décret du 8 décembre 1997 et l'arrêté du 8 janvier 1998 constituent des textes très précis pour organiser les épandages (voir annexe). Ces textes sont basés sur près de vingt ans de travail des Missions de Valorisation Agricole des Déchets (MVAD) des chambres d'agriculture. La réglementation a donc capitalisé ce savoir-faire et a comme ambition de le proposer systématiquement à toutes les stations d'épuration désirant recycler ses boues en agriculture. Elle a également le mérite de regrouper dans un corpus cohérent et unique tous les textes divers qui traitaient de l'épandage des boues, ce qui devrait clarifier les procédures à respecter sur le terrain. L'organisation des épandages s'effectue sous la responsabilité du producteur de boues (autosurveillance)

Parmi les quelques nouveautés du texte, la possibilité pour le préfet de faire appel à un organisme indépendant du producteur de boues pour suivre l'autosurveillance mise en place par le producteur de boues est fort intéressante. Elle renforce les assurances de garanties souhaitées par les utilisateurs de boues et les transformateurs de produits agricoles.



## Conclusions

La question sanitaire de l'épandage des boues d'épuration s'aborde très différemment selon qu'il s'agisse des aspects microbiologiques ou des aspects relatifs aux éléments métalliques et composés organiques en traces.

Dans le cas des micro-organismes, leur rejet dans le réseau d'assainissement s'avère inévitable. Ce caractère fatal est inhérent à l'origine même des eaux usées. En dépit de l'étape sanitaire importante que constitue le traitement des effluents en station d'épuration, une charge microbiologique perdure dans les boues finales obtenues. Pour gérer en toute sécurité les épandages sur le plan de la santé publique et animale, un certain nombre de "règles de bonnes pratiques" ont été édictées. Il est évident que ces règles sont, en de nombreux points, semblables à celles prévalant pour les lisiers et les fumiers. L'expérience des années passées montre que leur stricte application donne un niveau de sécurité tout à fait satisfaisant. Ainsi, la Cellule de surveillance sur les risques sanitaires liés à l'épandage des boues, qui a fonctionné à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Lyon (ENVL), de 1986 à 1991, n'a jamais eu à intervenir de façon décisive. Cependant la vigilance demeure de mise. En 1997, la Cellule sanitaire a été réactivée au sein de l'ENVL, par l'ADEME : tout problème peut être porté à connaissance de cette cellule pour en analyser la cause, prévenir sa répétition, et renforcer si nécessaire les prescriptions d'utilisation. Cette cellule rend donc possible une capitalisation des expériences de terrain.

Pour des usages agronomiques spécialisés (horticulture, maraîchage, etc.), l'hygiénisation des boues, telle que définie par le Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France (CSHPPF) et adoptée par l'arrêté du 8 janvier 1998, est cependant obligatoire. Dans la mesure où l'hygiénisation entraîne une éradication des agents pathogènes, les règles d'usage sont assouplies. Une diversification des débouchés des boues est alors envisageable. L'hygiénisation des boues implique la mise en oeuvre de traitements spécifiques, complémentaires aux traitements épuratoires classiques.

En résumé, traitements et règles d'épandage sont les deux moyens de garantir la sécurité sanitaire sur le plan microbiologique. Cette stratégie fait l'objet d'un consensus au plan international.

En ce qui concerne les éléments métalliques et les composés organiques en traces, l'approche préventive s'impose. Tout doit être mis en oeuvre pour réduire, et si possible supprimer, les rejets ou les entrées dans le réseau d'assainissement. En effet, les traitements épuratoires sont sans impact sur ces substances, à l'exception des composés organiques facilement biodégradables.

Une baisse très importante de la teneur des boues en éléments-traces métalliques a été observée en France et en Europe, au cours des quinze dernières années, ce qui est fort encourageant. L'expérience montre que la mise en oeuvre coordonnée d'une politique "qualité des boues", à l'échelle de chaque station d'épuration, est capable de diminuer encore davantage les concentrations observées jusqu'à des valeurs très faibles, dites "de bruit de fond". Ces valeurs, couplées avec des doses d'épandage elles-mêmes modérées, puisque calées agronomiquement (en moyenne 1 à 2 t MS.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>), permettent de minimiser les entrées d'éléments-traces dans les sols. Les faibles quantités en jeu deviennent alors compatibles avec les flux entrées-sorties observés par ailleurs dans les écosystèmes cultivés, et peuvent garantir le maintien de la qualité des sols. En effet, les analyses de contrôle réalisées sur les parcelles de référence des zones d'épandage, en application de la norme NF U 44-041 depuis 1986, ne montrent aucune dérive de la teneur des sols en éléments-traces métalliques, dès lors que les valeurs du couple [teneur x quantité.ha<sup>-1</sup>] sont contrôlées et minimisées.

En ce qui concerne la qualité des récoltes, les essais d'épandage de longue durée, menés en France et en Angleterre, montrent à l'évidence que les exportations d'éléments-traces métalliques par les récoltes restent insignifiantes, et ne dépassent jamais au total 1 % de l'apport cumulé de boues durant la période considérée. Dans le cas des composés organiques en traces, les transferts du sol dans la plante par absorption racinaire sont quasi inexistantes. De plus, leur concentration dans les boues sont encore plus faibles que dans les cas des éléments-traces métalliques. Enfin, ces composés organiques possèdent une capacité de biodégradation dans les sols, plus ou moins forte selon leur nature chimique. Les détergents et leurs dérivés présentent une biodégradation rapide, tandis que les composés du type HAP (hydrocarbures polycycliques aromatiques) ou PCB, par exemple, sont particulièrement persistants.

La mise en place systématique d'un "plan d'épandage", entendu au sens large d'organisation des épandages, tant sur le plan conceptuel que mise en oeuvre, permet de définir, d'appliquer et de contrôler un certain nombre de procédures indispensables à l'accomplissement du devoir d'excellence des épandages de boues en agriculture. Deux points apparaissent particulièrement fondamentaux : la qualité des boues et la qualité des pratiques. Dans tous les cas on notera, et ceci est vrai dans de nombreux domaines, que la qualité n'est jamais une caractéristique innée, mais bien un résultat acquis. Cette acquisition suppose, sur la base de la situation actuelle connue, de formuler les objectifs à atteindre et les moyens à mobiliser :

. Vouloir la **qualité des boues**, cela implique la mise en oeuvre d'une politique globale, à l'échelle du bassin d'assainissement, de maîtrise et de réduction des rejets contaminants dans les eaux usées. Deuxièmement, en routine d'exploitation, l'analyse préalable et le marquage des boues, pour toute livraison à l'agriculture, constitue un principe fort, susceptible de répondre au besoin de garanties exprimé par le monde agricole et les industries agro-alimentaires. Chaque lot de boues doit être caractérisé et validé avant cession. Le respect du suivi analytique des boues est donc l'un des points-clefs de la qualité des opérations d'épandage. Le suivi analytique comprend également celui de la qualité des sols. La réglementation incite explicitement à la mise en oeuvre de ces suivis.

. La **qualité des pratiques** est sans doute la seconde forme de garantie qu'il est possible de proposer à l'agriculture. Le plan d'épandage doit décrire les procédures qui seront mises en oeuvre pour planifier, suivre et enregistrer les livraisons de boues, ainsi que les divers intervenants avec leurs fonctions et leurs responsabilités. Le respect des "règles de bonnes pratiques", évoquées plus haut, nécessite la formalisation et l'application d'un cadre précis de travail. Devant cette structuration croissante des organisations d'épandage, les producteurs de boues font appel à des bureaux d'études spécialisés et aux ingénieurs du réseau des "Missions de Valorisation Agricole des Déchets" (MVAD) des Chambres d'agriculture. La collaboration entre ces deux types d'intervenants permet de produire en final un haut niveau de qualité, les prestations du bureau d'étude étant validées par la Chambre d'agriculture. La réglementation prévoit désormais que le préfet puisse faire appel à un organisme indépendant du producteur de boues pour évaluer l'organisation des épandages mis en place par le producteur.

A l'échelle départementale, la rédaction de "cahiers des charges" de l'épandage des boues en agriculture tend à renforcer la structuration des pratiques et à généraliser les bons principes de travail à toute station d'épuration recyclant les boues en agriculture.



## Bibliographie

ADEME, 1997. Epandage des boues résiduaires : aspects sanitaires et environnementaux. Journées techniques des 5 et 6 juin 1997, Paris. Actes des journées techniques, 218 p., ADEME Editions.

ADEME, ENSP, ENVN, et FNDAE, 1994. Les germes pathogènes dans les boues d'épuration urbaines. Collection "Valorisation agricole des boues d'épuration". Brochure 90 p., ADEME Editions, n°1798, 150 F.

ADEME, INRA de Bordeaux, et FNDAE, 1995. Les micro-polluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines. Collection "Valorisation agricole des boues d'épuration". Brochure 209 p., ADEME Editions, n°1799, 250 F.

ADEME, IRH-Environnement, et FNDAE, 1995. Les micro-polluants organiques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines. Collection "Valorisation agricole des boues d'épuration". Brochure 224 p., ADEME Editions, n°1800, 250 F.

BERRON P., 1984. Valorisation agricole des boues d'épuration : aspects microbiologiques. TSM, nov. 1984, n°11, 549-556.

CHANG A.C., PAGE A.L., TAKASHI A., WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1995. Developing human health-related chemical guidelines for reclaimed wastewater and sewage sludge applications in agriculture. WHO/EOS/95.20. 114 p.

CSHPF, 1997. Rapport du Groupe de Travail sur les risques sanitaires liés à l'utilisation des boues résiduaires. Document dactyl., 6 p. + annexes.

DEAN R.B., SUESS M.J., 1985. The risk to health of chemicals in sewage sludge applied to land. *Waste Management & Research*, 3, pp. 251-278.

IFEN, 1996. Les données de l'environnement, n°20.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (USA), 1996. Use of Reclaimed Water and Sludge in Food Crop Production. Committee on the Use of Treated Municipal Wastewater Effluents and Sludge in the Production of Crops for Human Consumption. National Academy Press, Washington, D.C. (USA), 178 p., ISBN 0-309-05479-b. [document diffusé en France par les éditions Lavoisier, Paris].

SMITH S.R., 1996. Agricultural Recycling of Sewage Sludge and the Environnement. CAB International (UK). ISBN 0 85198 980 2, 382 p.

US-EPA (U.S. Environmental Protection Agency) - Office of Water Regulations and standards, 1989. Technical Support document - Land application and distribution and marketing of sewage sludge. Rept. n° EPA PB89-136576. Washington, DC 20460. 514 p.

VEDRY V., 1996. Les biomasses épuratrices. Edition Agence de l'eau Seine-Normandie. Imprimerie Hemmerlé, Paris (75). 220 p., ISBN2-11-087429-5. 250 F.



## ANNEXE

### Le cadre réglementaire nouveau introduit par le décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 et l'arrêté du 8 janvier 1998 pour les épandages en agriculture des boues d'épuration urbaines

par Christophe CHASSANDE

Ministère de l'environnement, Direction de l'eau

Le décret du 8 décembre 1997 (J.O. du 10 décembre 1997) fixe les nouvelles conditions de l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées sur les sols agricoles ou forestier, ainsi que pour la revégétalisation. L'arrêté du 8 janvier 1998 (J.O. du 31 janvier 1998) précise les prescriptions techniques applicables à l'épandage en agriculture de ces boues. Les arrêtés relatifs aux épandages en forêt ou pour la revégétalisation ne sont pas encore rédigés.

#### 1°) POURQUOI UNE NOUVELLE RÉGLEMENTATION ?

##### 1.1.) Les grandes lignes de l'ancienne réglementation

L'ancienne réglementation en matière d'épandage de boues urbaines obéissait à deux logiques:

1 - les boues, en tant que matières fertilisantes, obéissaient aux dispositions issues de la loi du 13 juillet 1979 relative à l'organisation du contrôle des matières fertilisantes, le décret 80-478 du 16 juin 1980 relatif à la répression des fraudes en ce qui concerne les matières fertilisantes, et l'arrêté du 29 août 1988, rendant d'application obligatoire le respect d'une partie de la norme "matières fertilisantes, pour l'importation la vente, la mise en vente, la distribution à titre gratuit des boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines produites pour le marché national ou importées". Ce dernier arrêté dispensait les boues d'une homologation ou d'une autorisation provisoire de vente dans la mesure où elles étaient conformes à la norme rendue d'application obligatoire et "sous réserve de leur innocuité", la norme visant en fait essentiellement la teneur en éléments-traces métalliques des boues et des sols.

2 - Compte tenu de leur nature originelle de déchets, il existe des incertitudes sur les éléments non pris en compte dans la norme, et la variabilité de leur composition. Pour ces raisons, la réglementation prévoyait également un contrôle local, sur la base:

- de la législation "santé publique" (règlements sanitaires départementaux, articles 159 et suivants), qui prévoient des interdictions d'épandage dans certaines zones et à certaines périodes de l'année;
- de la législation "eau", à travers le régime d'autorisation et de déclaration institué par l'article 10 de la loi sur l'eau, les décrets "procédure" et "nomenclature" du 29 mars 1993;
- de la réglementation sur l'assainissement des communes (décret 94-469 du 3 juin 1994 et arrêtés du 22 décembre 1994, du 6 mai 1996 et du 21 juin 1996) pris au titre du code de la santé publique, du code général des collectivités territoriales (articles L. 2224-8 et 2224-10 institués par l'article 35 de la loi sur l'eau. Cette réglementation imposait notamment une étude préalable aux épandages de boues des stations d'épuration recevant plus de 120 kg par jour de DBO5.

On retrouvait par ailleurs des interférences avec d'autres législations :

- la législation sur les installations classées du 19 juillet 1976 (en dehors du fait qu'elle régit les épandages issus d'installations classées soumises à autorisation ou déclaration, et l'incinération et la mise en décharge de boues de quelque nature que ce soit) dans la mesure où il a été considéré dans le passé que le libellé de l'article 322-B-2° pouvait inclure les stockages de boues avec un régime d'autorisation;
- la législation sur les déchets (en dehors de ses articles de fond qui sont applicables aux boues comme à tout autre déchet) par le biais du règlement CEE n° 259/93 qui mentionne les boues (destinées à être valorisées) dans sa liste orange et soumet leur importation à une procédure de notification préalable.

3 - Enfin, au niveau européen, le texte fondateur reste la directive 86/278 du 12 juin 1986 modifiée, relative à la protection de l'environnement et notamment des sols lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture. Cette directive soumet l'épandage de boues à des restrictions diverses (obligation de traitement préalable dans le cas général, limitation des éléments-traces métalliques dans le sol, limitation de quantités annuelles de métaux lourds apportées au sol par les boues) et des modalités de surveillance particulières (registres d'épandage, analyses périodiques de sols et de lots de boues...). D'autres directives interviennent, notamment la directive 91/271 sur les eaux usées résiduaires (interdiction de déversement des boues dans les milieux aquatiques) et celles relatives aux déchets

## 1.2) Les limites de l'ancienne réglementation ayant justifié la rénovation réglementaire.

Les principaux problèmes posés par l'ancienne réglementation étaient les suivants:

- l'ambiguïté du double statut de déchet et de matière fertilisante rendait difficile la compréhension et l'application des nombreux textes réglementaires applicables. En outre, la norme NF U 44-041 rendue partiellement d'application obligatoire par l'arrêté du 29 août 1988 était en fait une norme "déchets", comme le prouve en particulier le fait que les tolérances maximales sur les variations des teneurs en éléments fertilisants des boues prévues à l'article 3 de cet arrêté n'aient jamais été fixées;
- aucune prescription technique n'avait été fixée au niveau national au titre de la loi du 16 décembre 1964 ou du 3 janvier 1992 pour les épandages réglementés au cas par cas au titre de ces lois;
- d'une manière générale, aucun lien évident n'existait entre les différents corps de législation, notamment la loi de 79 et les lois "environnementales". Cette confusion, cette complexité et ce manque de lisibilité sont à l'origine de nombreux contentieux, et d'une application très hétérogène de la réglementation dans les départements Français.

Des contentieux se sont notamment développés avec des importateurs de boues, qui estimaient que la conformité de leurs boues avec la norme NF U 44-041 les affranchissait du respect des autres dispositions législatives et réglementaires, et assurait la libre circulation de leurs déchets.

D'un point de vue technique, *"le débat entre les déchets et les biens dure depuis presque 20 ans. Il n'existe toujours pas de définition satisfaisante déterminant le moment où un produit devient un déchet et celui où un déchet redevient un produit"*, autrement dit, selon l'interprétation de la Cour de justice, le moment où il perd sa "nature particulière". Il paraît beaucoup plus opérant, en la matière, de s'interroger sur les processus nécessaires pour transformer les boues, en les traitant ou en les incorporant dans des cycles de fabrication de matières fertilisantes par exemple qui obéissent aux mêmes normes en matière de santé, de sécurité et d'environnement que les produits neufs. Parallèlement, il convenait de définir quelles règles, notamment de contrôle, doivent être mises en place lorsque les boues, non réutilisées dans un processus de fabrication, ont toutefois des caractéristiques qui rendent leur usage en agriculture utile et sans risques pour l'environnement et la santé publique.

Ce point est le premier objet de la rénovation réglementaire menée en parallèle avec les travaux menés sous l'égide de la Commission des matières fertilisantes et supports de culture pour la définition de critères d'homologation de produits fabriqués en tout ou partie à partir de déchets.

En outre, l'ancienne réglementation montrait d'autres carences évidentes :

- elle était désuète vis à vis du code de la santé publique, l'article L1 imposant notamment la transcription par décret en Conseil d'Etat des dispositions du règlement sanitaire départemental type.
- elle était incomplète vis à vis de la directive 86/278, la Commission ayant attiré l'attention du Gouvernement Français sur certains points précis, non traduits de façon satisfaisante (le champ couvert par la réglementation Française a été jugé plus restrictif que celui de la directive qui ne vise pas uniquement les boues d'origine urbaines; l'obligation de tenue d'un registre n'apparaissait pas formellement; les modalités de surveillance n'étaient traduites que par circulaire; l'obligation de traitement préalable était assez ambiguë car figurant essentiellement dans la norme NF U 44-041).
- elle était imprécise, voire ambiguë, quant à l'application pratique des régimes d'autorisation et de déclaration au titre de la loi sur l'eau (rubrique 5.4.0 de la nomenclature).
- d'un point de vue technique, elle n'offrait pas des garanties suffisantes vis à vis du problème des odeurs, et ne prenait pas en compte les composés-traces organiques. Par ailleurs, elle ignorait la réalité souvent complexe du recyclage des boues en restant muette sur les conditions de mélange de boues avec d'autres produits, les produits réalisés à partir des boues, notamment les composts.
- enfin, elle était très partielle, son champ n'englobant que les boues secondaires de stations d'épuration urbaines et ignorant les épandages sur d'autres types de sols (notamment la forêt et l'utilisation en revégétalisation).

## 2°) LES GRANDES LIGNES DE CETTE NOUVELLE RÉGLEMENTATION

La nouvelle réglementation est instituée à la fois au titre de la directive européenne du 12 juin 1986, de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, de la loi de 1975 sur les déchets et du code de la santé publique. Elle met donc fin à la dispersion des textes réglementaires applicables aux boues. Les prescriptions qu'elle établit résultent d'une large concertation et prennent en compte les travaux

scientifiques conduits notamment par l'INRA, les recommandations établies par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, et l'expérience tirée des 18 ans de travail sur ce thème avec le réseau des missions de valorisation agricole des déchets (MVAD) des chambres d'agriculture.

Les grandes lignes de cette nouvelle réglementation sont les suivantes:

**2.1) – Le producteur de boues est responsable de la filière épandage et de son suivi, de la production de la boues à son épandage et à son suivi.**

Ceci est la principale conséquence du classement des boues en tant que déchet, plutôt qu'en tant que matière fertilisante normalisée. L'arrêté portant application obligatoire de la norme NF U 44-041 est donc abrogé (arrêté du 2 février 1998, paru au J.O. du 12 février 1998). Des produits homologués intégrant comme matière première des boues de stations d'épuration pourront éventuellement être homologués ou répondre à une future norme d'application obligatoire au titre des matières fertilisantes si ils respectent les critères d'efficacité et d'innocuité fixés pour de tels produits. Ils seront alors exclus du champ d'application de la nouvelle réglementation.

**2.2) – Une filière d'épandage organisée et encadrée, sous la responsabilité du producteur de boues**

Les épandages en agriculture ne doivent pas s'improviser au gré des opportunités. La filière doit être étudiée et organisée préalablement à la mise en oeuvre des épandages, par le producteur de boues. Ainsi le décret impose :

- une **étude préalable** systématique quelle que soit la quantité de boues mise en jeu. Cette étude doit préciser les caractéristiques des boues, analyser les contraintes liées aux milieux récepteurs, caractériser les sols et les systèmes de culture récepteurs et définir les conditions d'épandage permettant d'assurer l'adéquation entre les caractéristiques des boues et les systèmes agro-pédologiques récepteurs. Les parcelles réceptrices doivent être identifiées de manière prévisionnelle, avec accord de l'exploitant agricole utilisateur.

- pour des stations d'épuration de plus de 2000 EH environ (120 kg de DBO5) :

- . un programme prévisionnel annuel d'épandage, avant chaque campagne, est obligatoire. Ce document doit préciser les parcelles réceptrices pour la campagne suivante et leurs caractéristiques ainsi que des préconisations précises sur leur intégration dans les plans de fumure des exploitants agricoles.

- . un bilan annuel du programme d'épandage qui rend compte des épandages réalisés, présente les bases sur lesquelles a été établi le conseil pour la prise en compte des boues dans le programme de fertilisation.

- le producteur doit assurer une **autosurveillance** sur la qualité des boues qu'il produit, sur la qualité des sols ayant reçu des boues, et sur les traitements des boues mis en oeuvre. Les paramètres à surveiller et les fréquences sont précisées dans l'arrêté.

**2.3) – Une filière réglementée et contrôlée par l'Etat (préfets de départements)**

Les épandages sont soumis à déclaration au titre de la loi sur l'eau dès que la quantité de boues produites par une station et destinée à être épandue en agriculture dépasse l'équivalent d'environ 200 habitants (0,15 t/an d'azote ou 3 t/an de matière sèche). La procédure d'autorisation est déclenchée au dessus de 50 000 équivalent-habitants environ (40 t/an d'azote ou 800 t/an de MS).

Dans ces deux cas, l'étude d'incidence exigée par le décret du 29 mars 1993 doit être complétée par une présentation de l'état du système d'assainissement, des caractéristiques des principaux rejets non-domestiques dans les réseaux, et de l'étude préalable citée au 2.2).

Le préfet est en outre destinataire des programmes prévisionnels annuels d'épandage et des bilans annuels, ainsi que d'une synthèse annuelle de chaque registre tenu par les producteurs de boues (voir 2.5). Le préfet est chargé de la validation de l'autosurveillance et du contrôle du respect de la réglementation. Il peut en outre faire appel à un **organisme indépendant** des producteurs de boues pour mettre en place un dispositif de **suivi général des épandages**.

**2.4) – La qualité des boues doit assurer leur innocuité**

L'ensemble des préconisations relatives à l'innocuité des boues prend en compte les recommandations du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF).

- **maîtrise des teneurs et des flux en éléments-traces :**

Les anciennes teneurs limites de la norme NF U 44-041 ont été divisées par 2. En outre, à l'échéance 2004 la valeur pour le Cd est divisée par 4.

En outre, des flux limites contraignant ont été introduits. Ainsi, des boues atteignant les nouvelles valeurs limites ne pourront être épandues qu'à des doses de 15 tonnes de matière sèche tous les 10 ans, alors que des

boues deux fois moins chargées pourront être épandues à 30 tonnes de MS tous les 10 ans (quantité plafond ne pouvant être dépassée, mais souvent supérieure aux doses qui résulteront du raisonnement agronomique). Les flux qui en résultent sont environ 6 à 10 fois plus sévères que ceux imposés par la directive européenne de 1986. Ils sont très proches des valeurs de la réglementation allemande.

#### ● maîtrise des teneurs et des flux en composés-traces organiques

Ont été introduites des teneurs limites et des flux limites pour les principaux composés-traces organiques les plus persistants dans l'environnement : HAP et PCB. Les valeurs limites sont issues des travaux du CSHPF.

En outre, les préfets peuvent demander la surveillance de composés-traces spécifiques dont le risque de présence aurait été identifié lors de l'examen des principaux rejets industriels dans les réseaux (cf. 2.3)

#### ● maîtrise des micro-organismes

Les boues doivent être traitées de manière à réduire de manière significative leur pouvoir fermentescible et les risques sanitaires liés à leur utilisation. Seules les boues provenant d'ouvrages de moins de 2000 EH peuvent être épandues non traitées sous réserve de les enfouir immédiatement après épandage.

La maîtrise des risques liés aux micro-organismes repose sur des limitations d'usage: distances à respecter vis à vis des habitations, des points d'eau, des cours d'eau etc. et délais à respecter avant cultures maraîchères et avant mise au pâturage des animaux. ...

Ces restrictions d'usage sont assouplies dans le cas de boues ayant fait l'objet d'un traitement spécifique d'hygiénisation abattant à un niveau non détectable les germes potentiellement pathogènes.

#### 2.5) - La traçabilité des opérations doit être assurée

L'ensemble des dispositions ci-dessus permettent d'apporter les garanties d'innocuité des épandages. Il ne peut toutefois être exclu que des accidents ponctuels et temporaires puissent conduire à l'épandage de boues présentant un risque. C'est pourquoi, afin de pouvoir circonscrire l'ampleur de tels problèmes, très hypothétiques, il a été jugé nécessaire d'assurer une traçabilité totale de la filière. Ainsi:

- les producteurs de boues doivent tenir à jour des registres permettant de connaître avec précision la destination (parcelle cadastrale de chaque lot, sa date, et

les caractéristiques du lot concerné).

- les mélanges de boues sont interdits, afin de ne pas brouiller la traçabilité. Toutefois, dans le cas de regroupement de petites communes en vue d'un meilleur traitement des boues, le préfet peut déroger à cette interdiction. Il doit alors désigner clairement qui est responsable de l'application des textes (art. 5 du décret).

#### 2.6) - Le stockage ne doit pas engendrer de pollutions et de nuisances

Les ouvrages d'entreposage sont réglementés au titre de la procédure eau. Ils doivent retenir les lixiviats générés pendant l'entreposage et minimiser les nuisances olfactives pour le voisinage. Les dépôts temporaires en « tête de champ » ne sont tolérés que pour des boues solides et stabilisées et pour une durée limitée à la période d'épandage.

#### 2.7) - Délais d'application

Les nouvelles teneurs limites en éléments-traces métalliques et composés-traces organiques dans les boues sont applicables immédiatement. Toutefois, jusqu'au 31-12-1999, des dépassements temporaires ne pouvant excéder 50 % de la valeur limite sont tolérés.

Pour les épandages existants en situation régulière ou pour lesquels les procédures de déclaration ou d'autorisation ont été engagées, les délais suivant sont accordés pour la mise en conformité:

- 2 ans pour l'obligation de traitement des matières de vidange des ouvrages de collecte des eaux usées, pour l'application des dispositions relatives aux mélanges, et pour l'application de la réglementation aux matières de vidanges issues des dispositifs non collectifs d'assainissement des eaux usées.

- 3 ans pour l'obligation de traitement, la réalisation de l'étude préalable, des programmes prévisionnels annuels d'épandage et des bilans annuels des épandages ainsi que pour la mise en conformité des installations de stockage



# Décret n°97-1133 du 8 décembre 1997

## Décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées

NOR : ATEE9750078D

Le Premier ministre.

Sur le rapport du ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement et du ministre de l'agriculture et de la pêche.

Vu la directive 75/442/CEE du Conseil des Communautés européennes du 15 juillet 1975 modifiée relative aux déchets ;

Vu la directive 86/278/CEE du Conseil des Communautés européennes du 12 juin 1986 modifiée relative à la protection de l'environnement lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture ;

Vu la directive 91/271/CEE du Conseil des Communautés européennes du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux résiduaires urbaines ;

Vu la directive 91/676/CEE du Conseil des Communautés européennes du 12 décembre 1991 concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles ;

Vu le code pénal. et notamment son article R. 610-1 ;

Vu le code de la santé publique. et notamment son article L. 1 ;

Vu le code général des collectivités territoriales ;

Vu le code rural ;

Vu le code forestier ;

Vu la loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 modifiée relative aux déchets ;

Vu la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 modifiée relative aux installations classées pour la protection de l'environnement ;

Vu la loi n° 79-595 du 13 juillet 1979 relative à l'organisation du contrôle des matières fertilisantes et des supports de culture ;

Vu la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau. et notamment ses articles 8 (3° et 10°) ;

Vu le décret n° 93-742 du 29 mars 1993 relatif aux procédures d'autorisation et de déclaration prévues à l'article 10 de la loi du 3 janvier 1992 susvisée ;

Vu le décret n° 93-743 du 29 mars 1993 relatif à la nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de l'article 10 de la loi du 3 janvier 1992 susvisée ;

Vu le décret n° 93-1038 du 27 août 1993 relatif à la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole ;

Vu le décret n° 94-469 du 3 juin 1994 relatif à la collecte et au traitement des eaux usées mentionnées aux articles L. 372-1 et L. 372-3 du code des communes ;

Vu le décret n° 96-102 du 2 février 1996 relatif aux conditions dans lesquelles peuvent être édictées les prescriptions et règles prévues par les articles 8 (3°) et 9 (2° et 3°) de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau et l'article 58 de la loi n° 64-1245 du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution applicables aux installations, ouvrages, travaux et activités soumis à autorisation ou à déclaration par l'article 10 de la loi du 3 janvier 1992 ;

Vu le décret n° 96-163 du 4 mars 1996 relatif aux programmes d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole ;

Vu l'avis de la mission interministérielle de l'eau en date du 12 novembre 1996 ;

Vu l'avis du Conseil supérieur d'hygiène publique de France en date du 19 novembre 1996 ;

Vu l'avis du Comité national de l'eau en date du 21 novembre 1996 ;

Le Conseil d'Etat (section des travaux publics) entendu.

Décrète :

### CHAPITRE I<sup>er</sup>

#### Dispositions générales

**Art. 1<sup>er</sup>.** - Le présent décret a pour objet de définir les conditions dans lesquelles sont épandus sur les sols agricoles, forestiers ou en voie de reconstitution ou de revégétalisation les sédiments résiduels des installations de traitement ou de prétraitement biologique, physique ou physicochimique des eaux usées, ci-après dénommés « boues ».

**Art. 2.** - Ces boues ont le caractère de déchets au sens de la loi du 15 juillet 1975 susvisée.

Leur épandage est au nombre des activités entrant dans le champ d'application de l'article 10 de la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau. dont l'autorisation ou la déclaration fait l'objet du chapitre IV ci-après.

Ne sont pas soumis aux dispositions du présent décret :

- les produits composés en tout ou en partie de boues qui, au titre de la loi du 13 juillet 1979 susvisée, bénéficient d'une homologation ou, à défaut, d'une autorisation provisoire de vente ou d'importation, ou sont conformes à une norme rendue d'application obligatoire ;

- les boues dont l'épandage fait l'objet de réglementations spécifiques au titre de la loi du 19 juillet 1976 susvisée.

**Art. 3.** - Les dispositions du présent décret fixent, en matière d'épandage des boues, les règles générales d'hygiène et toutes autres mesures propres à préserver la santé de l'homme au sens de l'article L. 1 du code de la santé publique. Elles se substituent, à compter de leur date d'entrée en vigueur, aux règlements sanitaires départementaux.

**Art. 4.** - Les matières de curage des ouvrages de collecte des eaux usées ne peuvent être assimilées à des boues que lorsqu'elles ont subi un traitement destiné à en éliminer les sables et les graisses. A défaut, leur épandage est interdit. L'épandage des sables et des graisses est interdit quelle qu'en soit la provenance.

Le mélange des boues provenant d'installations de traitement distinctes est interdit. Toutefois, le préfet peut autoriser le regroupement de boues dans des unités d'entreposage ou de traitement communs, lorsque la composition de ces déchets répond aux conditions prévues au chapitre III. Il peut également, sous les mêmes conditions, autoriser le mélange de boues et d'autres déchets, dès lors que l'objet de l'opération tend à améliorer les caractéristiques agronomiques des boues à épandre.

Les matières de vidanges issues de dispositifs non collectifs d'assainissement des eaux usées sont assimilées aux boues issues de stations d'épuration pour l'application du présent décret.

**Art. 5.** - Les exploitants des unités de collecte, de prétraitement et de traitement biologique, physique ou physico-chimique d'eaux usées sont des producteurs de boues au sens du présent décret ; il leur incombe à ce titre d'en appliquer les dispositions.

Dans le cas où le mélange de boues d'origines diverses, ou de boues et de déchets autres, est autorisé en vertu de l'article précédent, le préfet désigne la ou les personnes à qui incombe l'application des dispositions du présent décret.

Dans le cas des matières de vidanges, cette charge est assumée par l'entreprise de vidange.

### CHAPITRE II

#### Conditions générales d'épandage des boues

**Art. 6.** - La nature, les caractéristiques et les quantités de boues épandues ainsi que leur utilisation doivent être telles que leur usage et leur manipulation ne portent pas atteinte, directe ou indirecte, à la santé de l'homme et des animaux, à l'état phytosanitaire des cultures, à la qualité des sols et des milieux aquatiques.

ANNEXE

L'épandage des boues ne peut être pratiqué que si celles-ci présentent un intérêt pour les sols ou pour la nutrition des cultures et des plantations. Il est interdit de pratiquer des épandages à titre de simple décharge.

**Art. 7.** - Les boues doivent avoir fait l'objet d'un traitement, par voie physique, biologique, chimique ou thermique, par entreposage à long terme ou par tout autre procédé approprié de manière à réduire, de façon significative, leur pouvoir fermentescible et les risques sanitaires liés à leur utilisation.

Des arrêtés conjoints des ministres chargés de l'environnement, de la santé et de l'agriculture fixent :

- la nature du traitement en fonction de la nature et de l'affectation des sols ;
- les conditions dans lesquelles il peut être dérogé à cette obligation de traitement par des précautions d'emploi appropriées.

**Art. 8.** - Tout épandage est subordonné à une étude préalable réalisée à ses frais par le producteur de boues et définissant l'aptitude du sol à le recevoir, son périmètre, les modalités de sa réalisation, y compris les matériels et dispositifs d'entreposage nécessaires.

Cette étude justifie que l'opération envisagée est compatible avec les objectifs et dispositions techniques du présent décret, les contraintes d'environnement recensées et toutes les réglementations et documents de planification en vigueur, notamment les plans prévus à l'article 10-2 de la loi du 15 juillet 1975 susvisée, et les schémas d'aménagement et de gestion des eaux prévus aux articles 3 et 5 de la loi du 3 janvier 1992 susvisée.

Des capacités d'entreposage aménagées doivent être prévues pour tenir compte des différentes périodes où l'épandage est soit interdit, soit rendu impossible. Toutes dispositions doivent être prises pour que l'entreposage n'entraîne pas de gênes ou de nuisances pour le voisinage, ni de pollution des eaux ou des sols par ruissellement ou infiltration.

Une solution alternative d'élimination ou de valorisation des boues doit être prévue pour pallier tout empêchement temporaire de se conformer aux dispositions du présent décret.

**Art. 9.** - Les producteurs de boues doivent mettre en place un dispositif de surveillance de la qualité des boues et des épandages.

Ils tiennent à jour un registre indiquant :

- la provenance et l'origine des boues, les caractéristiques de celles-ci, et notamment les principales teneurs en éléments fertilisants, en éléments traces et composés organiques traces ;
- les dates d'épandage, les quantités épandues, les parcelles réceptrices, et les cultures pratiquées.

Les producteurs de boues communiquent régulièrement ce registre aux utilisateurs et sont tenus de le conserver pendant dix ans.

Dans le cas de mélanges, des modalités particulières de surveillance doivent être mises en place de manière à connaître à tout moment la qualité des différents constituants du mélange et leur origine.

**Art. 10.** - Le producteur de boues adresse au préfet, chaque année, une synthèse des informations figurant au registre mentionné à l'article 9. Celui-ci doit être présenté aux agents chargés du contrôle de ces opérations. Le préfet peut communiquer la synthèse du registre aux tiers sur leur demande.

Le préfet peut faire procéder, à des contrôles inopinés des boues ou des sols.

**Art. 11.** - Des conditions spécifiques d'emploi peuvent être fixées dans chaque département par le préfet, après avis du conseil départemental d'hygiène, pour tenir compte de la nature particulière des sols et sous-sols, des milieux aquatiques, du milieu environnant et sa climatologie. Ces conditions doivent, en tout état de cause, procurer un niveau de protection au moins équivalent à celles prévues par le présent décret.

**Art. 12.** - Pour l'application du présent chapitre, des arrêtés conjoints des ministres chargés de l'environnement, de la santé et de l'agriculture fixent :

- les prescriptions techniques applicables pour les dispositifs d'entreposage et les dépôts temporaires ;
- le contenu de l'étude préalable prévue à l'article 8 ;
- la nature des informations devant figurer au registre mentionné à l'article 9 et dans sa synthèse mentionnée à l'article 10 ;

- la fréquence des analyses et leur nature, les modalités de surveillance et les conditions dans lesquelles elles sont transmises aux utilisateurs de boues et aux agents chargés du contrôle de ces opérations ;
- les modalités du contrôle exercé par le préfet au titre de l'article 10.

### CHAPITRE III

#### Dispositions techniques relatives aux épandages

**Art. 13.** - Les épandages de boues effectués sur les parcelles cultivées ou destinées à la culture doivent être adaptés aux caractéristiques des sols et aux besoins nutritionnels des plantes.

Les épandages sur sols agricoles doivent en outre être conformes aux mesures arrêtées par les préfets, en application du décret du 4 mars 1996 susvisé, dans les zones vulnérables délimitées au titre de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole définies par le décret du 27 août 1993 susvisé.

**Art. 14.** - L'épandage sur sols agricoles de boues provenant d'ouvrages de traitement susceptibles de recevoir un flux polluant journalier supérieur à 120 kg de demande biochimique d'oxygène en cinq jours (DBO5) fait l'objet, par le producteur de boues :

- d'un programme prévisionnel d'épandage, établi conjointement ou en accord avec les utilisateurs définissant les parcelles concernées par la campagne annuelle, les cultures pratiquées et leurs besoins, les préconisations d'emploi des boues, notamment les quantités devant être épandues, le calendrier d'épandage et les parcelles réceptrices ;
- à la fin de chaque campagne annuelle, d'un bilan agronomique de celle-ci, comportant notamment le bilan de fumure, et les analyses réalisées sur les sols et les boues.

Ces documents sont transmis par le producteur de boues au préfet.

**Art. 15.** - Les périodes d'épandage et les quantités épandues doivent être adaptées de manière que :

- la capacité d'absorption des sols ne soit pas dépassée, compte tenu des autres apports de substances épandues et des besoins des cultures ;
- ni la stagnation prolongée sur les sols, ni le ruissellement en dehors de parcelles d'épandage, ni une percolation rapide ne puissent se produire.

L'épandage est interdit :

- pendant les périodes où le sol est pris en masse par le gel ou abondamment enneigé, exception faite des boues solides ;
- pendant les périodes de forte pluviosité ;
- en dehors des terres régulièrement travaillées et des prairies normalement exploitées ;
- sur les terrains en forte pente, dans des conditions qui entraîneraient leur ruissellement hors du champ d'épandage ;
- à l'aide de dispositifs d'aérodispersion qui produisent des brouillards fins.

Des distances minimales doivent être respectées par rapport :

- aux berges des cours d'eau, aux lieux de baignade, aux piscicultures et zones conchylicoles, aux points de prélèvements d'eau et des terrains affectés par des phénomènes karstiques, de manière à préserver la qualité des eaux souterraines et superficielles ;
- des habitations et établissements recevant du public, de manière à protéger la salubrité publique et limiter les nuisances olfactives.

Un arrêté conjoint des ministres chargés de l'environnement, de l'agriculture et de la santé fixe :

- les règles techniques d'épandage à respecter, les mesures nécessaires à la préservation des usages auxquels sont affectés les terrains faisant l'objet d'un épandage de boues et de la qualité sanitaire des produits destinés à la consommation humaine ou animale qui en sont issus, notamment les quantités maximales d'application, les doses et fréquences d'apport des boues sur les sols ;
- les distances minimales prévues à l'alinéa ci-dessus ;
- le contenu des documents mentionnés à l'article 14 ;

- les teneurs maximales en éléments traces et composés organiques traces présents dans les boues, l'arrêté pouvant prévoir une diminution progressive de ces teneurs.

**Art. 16.** - Les dispositions de l'article précédent s'appliquent à l'épandage des boues sur les parcelles boisées, publiques ou privées. Toutefois les opérations doivent être conduites de façon que :

- aucune accumulation excessive de substances indésirables ne puisse avoir lieu dans le sol ;
- le risque pour le public fréquentant les espaces boisés, notamment à des fins de loisir, de chasse ou de cueillette, soit négligeable ;
- aucune contamination de la faune sauvage ne soit causée directement ou indirectement par les épandages ;
- aucune nuisance ne soit perçue par le public.

Un arrêté conjoint des ministres chargés de l'environnement, de la santé et de l'agriculture fixe les règles, les prescriptions techniques et les caractéristiques des produits permettant de répondre aux exigences du présent article. Jusqu'à l'entrée en vigueur de cet arrêté, les épandages en forêt font (même dans le cas où il n'y a pas lieu à autorisation au titre de la loi sur l'eau) l'objet d'une autorisation spéciale donnée après avis du conseil départemental d'hygiène. La demande d'autorisation comprend la description d'un protocole expérimental et d'un protocole de suivi.

**Art. 17.** - Lorsqu'ils sont destinés à la reconstitution ou à la revégétalisation des sols, les épandages doivent être adaptés en quantité et en qualité à la reconstitution d'un couvert végétal ou des propriétés physiques de sols, compte tenu des autres apports de substances épandues sur les sols. L'épandage de boues est interdit sur le site d'anciennes carrières.

Un arrêté conjoint des ministres chargés de l'environnement, de l'agriculture et de la santé fixe les règles et prescriptions techniques et les caractéristiques de produits permettant de répondre aux exigences de l'alinéa précédent.

#### CHAPITRE IV

##### Application de la loi sur l'eau

**Art. 18.** - I. - La rubrique 5.4.0 de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 susvisé est modifiée de la manière suivante :

« 5.4.0. Epandage de boues issues du traitement des eaux usées : la quantité de boues épandues dans l'année, produites dans l'unité de traitement considérée, étant :

- « 1° Quantité de matière sèche supérieure à 800 t/an ..... A ou azote total supérieur à 40 t/an ;
- « 2° Quantité de matière sèche comprise entre 3 et 800 t/an ..... D ou azote total compris entre 0.15 t/an et 40 t/an.

« Pour l'application de ces seuils, sont à prendre en compte les volumes et quantités maximales de boues destinées à l'épandage dans les unités de traitement concernées. »

II. - II est créé une rubrique 5.5.0 à la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 susvisé ainsi rédigée :

« 5.5.0. Epandage d'effluents ou de boues, à l'exception de celles visées à la rubrique 5.4.0 : la quantité d'effluents ou de boues épandues étant :

- « 1° Azote total supérieur à 10 t/an ..... A ou volume annuel supérieur à 500 000 m<sup>3</sup>/an, ou DBO5 supérieure à 5 t/an ;
- « 2° Azote total compris entre 1 t/an et 10 t/an ..... D ou volume annuel compris entre 50 000 m<sup>3</sup>/an et 500 000 m<sup>3</sup>/an ou DBO5 comprise entre 500 kg et 5 t/an. »

**Art. 19.** - Pour les opérations relevant de la rubrique 5.4.0 de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 susvisé, le document mentionné aux articles 2 et 29 du décret n° 93-742 du 29 mars 1993 susvisé comprend, outre les éléments énumérés dans ce décret :

- une présentation de l'état du système d'assainissement et de son niveau de performances ; la nature et le volume des effluents traités en tenant compte des variations saisonnières et éventuellement journalières ;
- la composition et le débit des principaux effluents raccordés au réseau public ainsi que leur traitabilité et les dispo-

sitions prises par la collectivité à laquelle appartiennent les ouvrages pour prévenir la contamination des boues par les effluents non domestiques ;

- les dispositions envisagées pour minimiser l'émission d'odeurs gênantes ;
- l'étude préalable mentionnée à l'article 8 du présent décret et l'accord écrit des utilisateurs de boues ;
- les modalités de réalisation et de mise à jour des documents mentionnés à l'article 14.

Ce document est établi et présenté par le producteur de boues.

**Art. 20.** - Lorsque l'épandage des boues d'une même unité de traitement d'eaux usées, soumis à autorisation au titre de la rubrique 5.4.0 (1°) de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993 susvisé, est réalisé dans trois départements ou plus, la procédure d'instruction de la demande d'autorisation conduite au titre des articles 3 à 8 du décret n° 93-742 du 29 mars 1993 susvisé est conduite indépendamment dans chaque département concerné. Toutefois, la demande d'autorisation mentionne l'ensemble des éléments énumérés à l'article 19 et l'avis du préfet ou des préfets coordonnateurs de bassin est requis.

#### CHAPITRE V

##### Sanctions et dispositions finales

**Art. 21.** - Est puni de l'amende prévue pour les contraventions de la 5<sup>e</sup> classe :

- le fait d'épandre des graisses ou des sables, ou des matières de curage sans que celles-ci aient fait l'objet du traitement prévu à l'article 4 ;
- le fait de mélanger des boues provenant d'installations de traitement distinctes ou avec d'autres produits ou déchets en méconnaissance des dispositions de l'article 4 ;
- le fait, pour le producteur de boues, de ne pas respecter l'obligation de traitement ou, à défaut, les précautions d'emploi fixées en vertu de l'article 7 ;
- le fait, pour le producteur de boues ou, à défaut, l'entreprise chargée de la vidange des dispositifs d'assainissement non collectif, de ne pas mettre en place un dispositif de surveillance des épandages, ou de ne pas tenir à jour le registre mentionné à l'article 9, ou de ne pas fournir régulièrement aux utilisateurs de boues les informations figurant dans celui-ci ;
- le fait, pour le producteur de boues, de n'avoir pas élaboré, avant l'épandage, l'étude mentionnée à l'article 8 ou, le cas échéant, d'avoir réalisé l'épandage sans élaborer les documents prévus à l'article 14 ;
- le fait, pour quiconque, de ne pas respecter les prescriptions techniques applicables aux épandages mentionnés aux articles 15, 16 et 17.

Le montant des amendes prévues en cas de récidive par l'article 131-13 du code pénal est applicable aux infractions définies au présent article, en cas de récidive.

Les personnes morales peuvent être déclarées responsables pénalement, dans les conditions prévues par l'article 121-2 du code pénal, des infractions définies au présent article. Elles encourent la peine d'amende suivant les modalités prévues par l'article 131-41 du code pénal.

**Art. 22.** - Sans préjudice des dispositions de l'article 41 du décret n° 93-742 du 29 mars 1993 susvisé, les épandages régulièrement réalisés et ceux dont les procédures de déclaration ou de demande d'autorisation ont été engagées à la date de publication du présent décret doivent être mis en conformité avec les dispositions de l'article 4 dans un délai de deux ans, et avec les dispositions des articles 7, 8 et 14 dans un délai de trois ans.

**Art. 23.** - Le ministre de l'emploi et de la solidarité, le garde des sceaux, ministre de la justice, le ministre de l'intérieur, le ministre de l'agriculture et de la pêche, le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement, le ministre de la fonction publique, de la réforme de l'Etat et de la décentralisation et le secrétaire d'Etat à la santé sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 8 décembre 1997.

LIONEL JOSPIN

Par le Premier ministre :

*Le ministre de l'aménagement du territoire  
et de l'environnement,*  
DOMINIQUE VOYNET

*Le ministre de l'emploi et de la solidarité,*  
MARTINE AUBRY

*Le garde des sceaux, ministre de la justice,*  
ÉLISABETH GUIGOU

*Le ministre de l'intérieur,*  
JEAN-PIERRE CHEVÈNEMENT

*Le ministre de l'agriculture et de la pêche,*  
LOUIS LE PENSEC

*Le ministre de la fonction publique,  
de la réforme de l'Etat et de la décentralisation,*  
ÉMILE ZUCCARELLI

*Le secrétaire d'Etat à la santé,*  
BERNARD KOUCHNER

## Arrêté du 8 janvier 1998

**Arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles pris en application du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées**

NOR : ATEE9760538A

Le ministre de l'intérieur, le ministre de l'agriculture et de la pêche, le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement, le ministre de la fonction publique, de la réforme de l'Etat et de la décentralisation et le secrétaire d'Etat à la santé,

Vu la directive européenne 86/278 du 12 juin 1986 modifiée relative à la protection de l'environnement lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture ;

Vu la directive européenne 91/692 du 23 décembre 1991 visant à la standardisation et à la rationalisation des rapports relatifs à la mise en œuvre de certaines directives concernant l'environnement ;

Vu le code de la santé publique ;

Vu la loi n° 92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau ;

Vu le décret n° 93-742 du 29 mars 1993 relatif aux procédures d'autorisation et de déclaration prévues à l'article 10 de la loi du 3 janvier 1992 susvisée ;

Vu le décret n° 93-743 du 29 mars 1993 relatif à la Nomenclature des opérations soumises à autorisation ou à déclaration en application de l'article 10 de la loi du 3 janvier 1992 susvisée ;

Vu le décret n° 94-469 du 3 juin 1994 relatif à la collecte et au traitement des eaux usées mentionnées aux articles L. 372-1-1 et L. 372-3 du code des communes ;

Vu le décret n° 96-163 du 4 mars 1996 relatif aux programmes d'action à mettre en œuvre en vue de la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole ;

Vu le décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées, notamment ses articles 6, 11 et 15 ;

Vu l'avis de la mission interministérielle de l'eau en date du 13 novembre 1997 ;

Vu l'avis de la commission des matières fertilisantes et supports de culture en date du 16 mai 1997 ;

Vu l'avis du Conseil supérieur d'hygiène de France en date du 16 septembre 1997 ;

Vu l'avis du Comité national de l'eau en date du 18 décembre 1997.

Arrêtent :

**Art. 1<sup>er</sup>.** - L'objet de cet arrêté est de fixer les prescriptions techniques auxquelles doivent satisfaire les opérations d'épandage sur sols agricoles de boues issues du traitement des eaux usées, en application du décret du 8 décembre 1997 susvisé.

### Section 1

#### Conception et gestion des épandages

**Art. 2.** - I. - L'étude préalable d'épandage visée à l'article 8 du décret du 8 décembre 1997 susvisé comprend :

a) La présentation de l'origine, des quantités (produites et utilisées) et des caractéristiques des boues (type de traitement des boues prévu) ;

b) L'identification des contraintes liées au milieu naturel ou aux activités humaines sur le périmètre d'étude, y compris la présence d'usages sensibles (habitations, captages, productions spéciales...) et les contraintes d'accessibilité des parcelles ;

c) Les caractéristiques des sols, les systèmes de culture et la description des cultures envisagées sur le périmètre d'étude ;

d) Une analyse des sols portant sur l'ensemble des paramètres mentionnés au tableau 2 de l'annexe 1 réalisée en un point de référence, repéré par ses coordonnées Lambert, représentatif de chaque zone homogène.

Par « zone homogène » on entend une partie d'unité culturale homogène d'un point de vue pédologique n'excédant pas 20 hectares.

Par « unité culturale » on entend une parcelle ou un groupe de parcelles exploitées selon un système unique de rotations de cultures par un seul exploitant ;

e) La description des modalités techniques de réalisation de l'épandage (matériels, localisation et volume des dépôts temporaires et ouvrages d'entreposage, périodes d'épandage...);

f) Les préconisations générales d'utilisation des boues (intégration des boues dans les pratiques agronomiques, adéquation entre les surfaces d'épandage prévues et les quantités de boues à épandre en fonction de ces préconisations générales) ;

g) La représentation cartographique au 1/25 000 du périmètre d'étude et des zones aptes à l'épandage ;

h) La représentation cartographique à une échelle appropriée des parcelles exclues de l'épandage sur le périmètre d'étude et les motifs d'exclusion (points d'eaux, pentes, voisinage...);

i) Une justification de l'accord des utilisateurs de boues pour la mise à disposition de leurs parcelles et une liste de celles-ci selon leurs références cadastrales ;

j) Tous les éléments complémentaires permettant de justifier le respect de l'article 8 du décret du 8 décembre 1997 susvisé.

II. - L'étude préalable d'épandage est remise à jour en fonction des modifications dans la liste des parcelles mises à disposition ou des modifications des contraintes recensées initialement. Pour les opérations soumises à autorisation ou déclaration au titre de l'article 10 de la loi du 3 janvier 1992 susvisée, toute modification des surfaces d'épandage prévues fait l'objet d'une déclaration au préfet selon les modalités des articles 15 et 33 du décret n° 93-742 du 29 mars 1993 susvisé.

**Art. 3.** - I. - Le programme prévisionnel d'épandage mentionné à l'article 14 du décret du 8 décembre 1997 susvisé comprend :

a) La liste des parcelles ou groupes de parcelles concernées par la campagne d'épandage ainsi que la caractérisation des systèmes de culture (cultures implantées avant et après apport de boues...) sur ces parcelles ;

b) Des analyses des sols portant sur l'ensemble des paramètres mentionnés en annexe III (Caractérisation de la valeur agronomique) réalisées sur des points représentatifs des parcelles concernées par l'épandage, incluant les points de référence définis à l'article 2 concernés par la campagne d'épandage ;

c) Une caractérisation des boues à épandre (quantités prévisionnelles, rythme de production, valeur agronomique) ;

d) Les préconisations spécifiques d'utilisation des boues (calendrier prévisionnel d'épandage et doses d'épandage par unité culturale...) en fonction de la caractérisation des boues, du sol, des systèmes et types de cultures et des autres apports de matières fertilisantes ;

e) Les modalités de surveillance décrites à la section 3 du présent arrêté, d'exploitation interne de ces résultats, de tenue du registre mentionné à l'article 9 du décret du 8 décembre 1997 susvisé et de réalisation du bilan agronomique ;

f) L'identification des personnes morales ou physiques intervenant dans la réalisation de l'épandage.

II. - Le programme prévisionnel d'épandage est transmis au préfet au plus tard un mois avant le début de la campagne d'épandage.

**Art. 4.** - I. - Le bilan mentionné à l'article 14 du décret du 8 décembre 1997 susvisé comprend :

a) Un bilan qualitatif et quantitatif des boues épandues ;

b) L'exploitation du registre d'épandage indiquant les quantités d'éléments fertilisants apportées par les boues sur chaque unité culturale et les résultats des analyses de sols ;

c) Les bilans de fumure réalisés sur des parcelles de référence représentatives de chaque type de sols et de systèmes de culture, ainsi que les conseils de fertilisation complémentaire qui en découlent ;

d) La remise à jour éventuelle des données réunies lors de l'étude initiale.

II. - Ce bilan est transmis au préfet au plus tard en même temps que le programme annuel d'épandage de la campagne suivante.

**Art. 5.** - Les ouvrages d'entreposage de boues sont dimensionnés pour faire face aux périodes où l'épandage est impossible. Ils sont conçus pour retenir les lixiviats générés au cours de la période d'entreposage. L'implantation des ouvrages d'entreposage, dépôts temporaires et dépôts de transit, leur conception et leur exploitation minimisent les émissions d'odeur perceptibles pour le voisinage, notamment lors des phases d'apport et de reprise des boues.

Le dépôt temporaire de boues, sur les parcelles d'épandage et sans travaux d'aménagement, n'est autorisé que lorsque les quatre conditions suivantes sont simultanément remplies :

a) Les boues sont solides et stabilisées ; à défaut, la durée maximale du dépôt est inférieure à quarante-huit heures ;

b) Toutes les précautions ont été prises pour éviter une percolation rapide vers les eaux superficielles ou souterraines ou tout ruissellement ;

c) Le dépôt respecte les distances minimales d'isolement définies pour l'épandage par l'article 13 ainsi qu'une distance d'au moins 3 mètres vis-à-vis des routes et fossés ;

d) Seules sont entreposées les quantités de boues nécessaires à la période d'épandage considérée. Cette quatrième condition n'est pas applicable aux boues hygiénisées.

**Art. 6.** - Outre les dispositions prévues aux articles 12 et 13, les boues sont épandues de manière homogène sur le sol. Les boues non stabilisées épandues sur sol nu sont enfouies dans un délai de quarante-huit heures.

**Art. 7.** - La quantité d'application de boues, sur ou dans les sols, doit respecter les trois conditions suivantes :

a) Elle est calculée sur une période appropriée par rapport au niveau de fertilité des sols et aux besoins nutritionnels des plantes en éléments fertilisants, notamment le phosphore et l'azote, en tenant compte des autres substances épandues ;

b) Elle est compatible avec les mesures prises au titre du décret du 4 mars 1996 susvisé ;

c) Elle est, en tout état de cause, au plus égale à 3 kilogrammes de matière sèche par mètre carré, sur une période de dix ans.

**Art. 8.** - Le présent article fixe les prescriptions particulières pour les boues issues du traitement des eaux usées par lagunage.

Ces boues doivent être exemptes d'éléments grossiers.

Lorsque l'intervalle entre deux campagnes d'épandage est supérieur ou égal à cinq années, l'étude préalable d'épandage et le programme prévisionnel d'épandage de boues issues du traitement d'eaux usées par lagunage, mentionnés aux articles 2 et 3, peuvent être réalisés dans un document unique. La surveillance de la qualité des boues est celle prévue à l'article 14 (I et II).

**Art. 9.** - Le présent article fixe les prescriptions particulières pour les matières de vidange.

Celles-ci doivent être exemptes d'éléments grossiers.

Les modalités de surveillance prévues à l'article 14 sont remplacées par une analyse des éléments-traces métalliques du tableau 1 a de l'annexe I pour 1 000 mètres cubes de matières de vidange.

**Art. 10.** - Dans le cas de mélanges de boues avec d'autres produits ou déchets dans les conditions prévues à l'article 4 du décret du 8 décembre 1997 susvisé, les quantités maximales d'application fixées à l'article 7, point c, s'appliquent en référence à la quantité de boues entrant dans le mélange. Cette quantité est portée sur le registre mentionné à l'article 9 du décret du 8 décembre 1997 susvisé ainsi que la qualité des boues et celle du mélange. Les fréquences d'analyses fixées à l'article 14 s'appliquent en référence à la quantité totale du produit issu du mélange.

## Section 2

### Qualité des boues et précautions d'usage

**Art. 11.** - Les boues ne peuvent être épandues :

a) Si les teneurs en éléments-traces métalliques dans les sols dépassent l'une des valeurs limites figurant au tableau 2 de l'annexe I ;

b) Tant que l'une des teneurs en éléments ou composés-traces dans les boues excède les valeurs limites figurant aux tableaux 1 a ou 1 b de l'annexe I. Toutefois, jusqu'au 31 décembre 1999, des dépassements de ces concentrations limites sont tolérés, sans toutefois pouvoir dépasser une teneur égale à 1,5 fois la valeur limite ;

c) Dès lors que le flux, cumulé sur une durée de dix ans, apporté par les boues sur l'un de ces éléments ou composés excède les valeurs limites figurant aux tableaux 1 a ou 1 b de l'annexe I.

En outre, lorsque les boues sont épandues sur des pâturages, le flux maximum des éléments-traces à prendre en compte, cumulé sur une durée de dix ans, est celui du tableau 3 de l'annexe I.

Des dérogations aux valeurs du tableau 2 de l'annexe I peuvent toutefois être accordées par le préfet sur la base d'études du milieu concerné montrant que les éléments-traces métalliques des sols ne sont pas mobiles ni biodisponibles.

Les boues ne doivent pas être épandues sur des sols dont le pH avant épandage est inférieur à 6, sauf lorsque les trois conditions suivantes sont simultanément remplies :

Le pH est supérieur à 5 ;

Les boues ont reçu un traitement à la chaux ;

Le flux cumulé maximum des éléments apportés aux sols est inférieur aux valeurs du tableau 3 de l'annexe I.

**Art. 12.** - I. - Au sens du présent arrêté, on entend par :

- « boues solides » : des boues déshydratées qui, entreposées sur une hauteur de 1 mètre, forment une pente au moins égale à 30° ;

- « boues stabilisées » : des boues qui ont subi un traitement de stabilisation ;

- « stabilisation » : une filière de traitement qui conduit à une production de boues dont la fermentation est soit achevée, soit bloquée entre la sortie du traitement et la réalisation de l'épandage ;

- « boues hygiénisées » : des boues qui ont subi un traitement qui réduit à un niveau non détectable les agents pathogènes présents dans les boues. Une boue est considérée comme hygiénisée quand, à la suite d'un traitement, elle satisfait aux exigences définies pour ces boues à l'article 16.

II. - Il ne peut être dérogé à l'obligation de traitement des boues mentionnée à l'article 7 du décret n° 97-1133 du 8 décembre 1997

susvisé que lorsque les deux conditions suivantes sont simultanément remplies et sous réserve du respect des principes énoncés dans ce décret :

- lorsqu'il s'agit de matières de vidange ou que la capacité des ouvrages de collecte, de prétraitement ou de traitement des eaux usées est inférieure à 120 kg DBO5/jour ;

- si les boues sont enfouies dans les sols immédiatement après l'épandage au moyen de matériels adaptés.

**Art. 13.** - Sous réserve des prescriptions fixées en application de l'article L. 20 du code de la santé publique, l'épandage de boues tient compte des distances d'isolement et délais minimum prévus au tableau de l'annexe II.

## Section 3

### Modalités de surveillance

**Art. 14.** - I. - Les analyses des boues portant sur les éléments-traces métalliques et les composés-traces organiques sont réalisées dans un délai tel que les résultats d'analyses sont connus avant réalisation de l'épandage.

Les analyses portant sur la valeur agronomique des boues sont réalisées dans un délai le plus bref possible avant épandage et tel que les résultats d'analyses sont connus avant réalisation de l'épandage.

Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse sont précisées à l'annexe V.

L'arrêté d'autorisation peut, pour certains polluants, prévoir le recours à d'autres méthodes. Dans ce cas, des mesures de contrôle et d'étalonnage sont réalisées périodiquement à une fréquence fixée en accord avec le service chargé de la police des eaux.

II. - Les boues doivent être analysées lors de la première année d'épandage ou lorsque des changements dans la nature des eaux traitées, du traitement de ces eaux ou du traitement des boues sont susceptibles de modifier la qualité des boues épandues, en particulier leur teneur en éléments-traces métalliques et composés-traces organiques. Ces analyses portent sur :

- les éléments de caractérisation de la valeur agronomique des boues tels que mentionnés en annexe III ;

- les éléments et substances figurant aux tableaux 1 a et 1 b de l'annexe I, auxquels s'ajoute le sélénium pour les boues destinées à être épandues sur pâturages ;

- le taux de matière sèche ;

- tout autre élément chimique, substance ou micro-organisme pour lequel le dossier mentionné aux articles 2 et 29 du décret n° 93-742 du 29 mars 1993 susvisé a montré qu'il pouvait, du fait de la nature des effluents traités, être présent en quantité significative dans les boues.

Le nombre d'analyses est fixé au tableau 5 a de l'annexe IV. Pour les éléments, substances ou micro-organismes visés au dernier tiret ci-dessus, la fréquence est fixée par le préfet.

III. - En dehors de la première année d'épandage, les boues sont analysées périodiquement :

- selon la périodicité du tableau 5 b de l'annexe IV ;

- pour les éléments ou composés-traces pour lesquels toutes les valeurs des analyses effectuées lors de la première année d'épandage ou lors d'une année suivante sont inférieures à 75 % de la valeur limite correspondante ;

- pour les éléments de caractérisation de la valeur agronomique pour lesquels la plus haute valeur d'analyse ramenée au taux de matière sèche est supérieure de moins de 30 % à la plus basse valeur d'analyse ramenée au taux de matière sèche ;

- selon la périodicité du tableau 5 a de l'annexe IV dans le cas contraire ;

- pour les éléments, substances ou micro-organismes visés au dernier tiret du II du présent article, la fréquence des analyses est fixée par le préfet en fonction des valeurs mesurées lors de la première année de surveillance, sans toutefois dépasser celle prévue pour les éléments traces au tableau 5 a ;

- pour les boues destinées à être épandues sur pâturages, la mesure du sélénium ne sera effectuée que si l'une des valeurs obtenues la première année dépasse 25 mg/kg (ou si une nouvelle source de risque de contamination du réseau par le sélénium apparaît).

**Art. 15.** - Les sols doivent être analysés sur chaque point de référence tel que défini à l'article 2, alinéa d :

- après l'ultime épandage sur la parcelle de référence en cas d'exclusion de celle-ci du périmètre d'épandage ;

- au minimum tous les dix ans.

Ces analyses portent sur les éléments traces figurant au tableau 2 de l'annexe I et sur le pH.



Les méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols sont conformes aux dispositions de l'annexe V.

**Art. 16.** - Pour les opérations relevant de l'article 14 du décret du 8 décembre 1997 susvisé, les dispositifs de traitement et procédés d'obtention des boues font l'objet, durant leur exploitation, d'une surveillance permettant de s'assurer à tout moment du maintien des conditions nécessaires à l'obtention d'une qualité de boues comparable à celle annoncée dans le programme prévisionnel d'épandage. Les informations prévues à l'article 17, point b, du présent arrêté comprennent notamment les principaux paramètres de fonctionnement de l'installation (température et temps de séjour dans les installations de traitement biologique, procédures d'ajout de réactif...).

En outre, dès lors que les dispositions spécifiques prévues par l'annexe II pour les boues hygiénisées sont utilisées, les traitements d'hygiénisation font l'objet de la surveillance suivante :

- lors de la mise en service de l'unité de traitement, analyses initiales en sortie de la filière de traitement démontrant son caractère hygiénisant, les concentrations suivantes devront être respectées : *Salmonella* < 8 NPP/10 g MS ; entérovirus < 3 NPPUC/10 g MS ; œufs d'helminthes pathogènes viables < 3/10 g MS ;
- une analyse des coliformes thermotolérants sera effectuée au moment de la caractérisation du process décrite ci-dessus ;
- les traitements d'hygiénisation font ensuite l'objet d'une surveillance des coliformes thermotolérants dans les conditions prévues à l'article 14, paragraphe 1, deuxième alinéa, à une fréquence d'au moins une analyse tous les quinze jours durant la période d'épandage. Les concentrations mesurées seront interprétées en référence à celle obtenue lors de la caractérisation du traitement et doivent démontrer un bon fonctionnement de l'installation de traitement et l'absence de recontamination.

**Art. 17.** - Le registre visé à l'article 9 du décret du 8 décembre 1997 susvisé comporte :

- a) Les quantités de boues produites dans l'année (volumes bruts, quantités de matière sèche hors et avec ajout de réactif) ; en cas de mélange de boues, la provenance et l'origine de chaque boue et leurs caractéristiques (teneurs en éléments fertilisants et en éléments et composés-traces) ;
- b) Les méthodes de traitement des boues ;
- c) Les quantités épandues par unité culturale avec les références parcellaires, les surfaces, les dates d'épandage, les cultures pratiquées ;
- d) L'ensemble des résultats d'analyses pratiquées sur les sols et les boues avec les dates de prélèvements et de mesures et leur localisation ;
- e) L'identification des personnes physiques ou morales chargées des opérations d'épandage et des analyses.

La synthèse annuelle du registre mentionnée à l'article 10 du décret du 8 décembre 1997 susvisé est adressée à la fin de chaque année civile au service chargé de la police de l'eau et aux utilisateurs de boues selon le format de l'annexe VI.

Le producteur de boues doit pouvoir justifier à tout moment sur support écrit de la localisation des boues produites (entreposage, dépôt temporaire, transport ou épandage) en référence à leur période de production et aux analyses réalisées.

**Art. 18.** - Le préfet s'assure de la validité des données fournies dans le cadre de la surveillance définie aux articles 14 à 16. A cet effet, il peut mettre en place un dispositif de suivi agronomique des épandages et faire appel à un organisme indépendant du producteur de boues, choisi en accord avec la chambre d'agriculture dans un objectif de préservation de la qualité des sols, des cultures et des produits.

**Art. 19.** - Les contrôles effectués par le préfet sur les sols ou les boues peuvent porter sur l'ensemble des paramètres mentionnés dans le présent arrêté, et tout autre élément pouvant, du fait de la nature des effluents traités, être présent en quantité significative dans les boues.

Pour les paramètres mentionnés en annexe I, les analyses sont à la charge du producteur de boues, mais sont déduites des obligations d'analyses d'autosurveillance définies au tableau 5 b de l'annexe IV si les valeurs obtenues respectent les valeurs limites fixées.

**Section 4**

**Exécution**

**Art. 20.** - Outre les délais d'application prévus par l'article 22 du décret du 8 décembre 1997 susvisé, les épandages dont la réalisation est en cours à la date de parution du présent arrêté font l'objet d'analyses selon les modalités prévues à l'article 14 pour la première année d'épandage pendant une année à compter de la parution du présent arrêté.

**Art. 21.** - Le directeur de l'eau, le directeur général des collectivités locales, le directeur de l'espace rural et de la forêt, le directeur général de l'alimentation et le directeur général de la santé sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent arrêté, qui sera publié au *Journal officiel* de la République française.

Fait à Paris, le 8 janvier 1998.

*Le ministre de l'aménagement du territoire et de l'environnement,*  
DOMINIQUE VOYNET

*Le ministre de l'intérieur,*  
JEAN-PIERRE CHEVÈNEMENT

*Le ministre de l'agriculture et de la pêche,*  
LOUIS LE PENSEC

*Le ministre de la fonction publique,*  
*de la réforme de l'Etat et de la décentralisation,*  
ÉMILIE ZUCCARELLI

*Le secrétaire d'Etat à la santé,*  
BERNARD KOUCHNER

**ANNEXE I**

**SEUILS EN ÉLÉMENTS-TRACES ET EN COMPOSÉS-TRACES ORGANIQUES**

Tableau 1 a

Teneurs limites en éléments-traces dans les boues

ÉLÉMENTS-TRACES	VALEUR LIMITE DANS LES BOUES (mg/kg MS)	FLUX MAXIMUM CUMULÉ, apporté par les boues en 10 ans (g/m <sup>2</sup> )
Cadmium.....	20 (*)	0,03 (**)
Chrome.....	1 000	1,5
Cuivre.....	1 000	1,5
Mercure.....	10	0,015
Nickel.....	200	0,3
Plomb.....	800	1,5
Zinc.....	3 000	4,5
Chrome + cuivre + nickel + zinc.....	4 000	6

(\*) 15 mg/kg MS à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2001 et 10 mg/kg MS à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2004.  
(\*\*) 0,015 g/m<sup>2</sup> à compter du 1<sup>er</sup> janvier 2001.

Tableau 1 b

Teneurs limites en composés-traces organiques dans les boues

COMPOSÉS-TRACES	VALEUR LIMITE DANS LES BOUES (mg/kg MS)		FLUX MAXIMUM CUMULÉ, apporté par les boues en 10 ans (g/m <sup>2</sup> )	
	Cas général	Épandage sur pâturages	Cas général	Épandage sur pâturages
Total des 7 principaux PCB (*)	0,8	0,8	1,2	1,2
Fluoranthène	5	4	7,5	6
Benzo(b)fluoranthène	2,5	2,5	4	4
Benzo(a)pyrène	2	1,5	3	2

(\*) PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180.

Tableau 2

Valeurs limites de concentration en éléments-traces dans les sols

ÉLÉMENTS-TRACES DANS LES SOLS	VALEUR LIMITE EN MG/KG MS
Cadmium	2
Chrome	150
Cuivre	100
Mercure	1
Nickel	50
Plomb	100
Zinc	300

Tableau 3

Flux cumulé maximum en éléments-traces apporté par les boues pour les pâturages ou les sols de pH inférieurs à 6

ÉLÉMENTS-TRACES	FLUX MAXIMUM CUMULÉ, apporté par les boues sur 10 ans (g/m <sup>2</sup> )
Cadmium	0,015
Chrome	1,2
Cuivre	1,2
Mercure	0,012
Nickel	0,3
Plomb	0,9
Zinc	3
Sélénium (*)	0,12
Chrome + cuivre + nickel + zinc	4

(\*) Pour le pâturage uniquement.

NOTA : L'arrêté du 3 juin 1998 (J.O. du 30 Juin 1998) a corrigé une erreur figurant dans le tableau 1 b. Le «flux maximum cumulé» s'exprime en mg/m<sup>2</sup> et non en g/m<sup>2</sup>.

## ANNEXE II

## DISTANCES D'ISOLEMENT ET DÉLAIS DE RÉALISATION DES ÉPANDAGES

Tableau 4

## Distances d'isolement et délais de réalisation des épandages

NATURE DES ACTIVITÉS À PROTÉGER	DISTANCE D'ISOLEMENT MINIMALE	DOMAINE D'APPLICATION
Puits, forages, sources, aqueducs transitant des eaux destinées à la consommation humaine en écoulement libre, installations souterraines ou semi-enterrées utilisées pour le stockage des eaux, que ces dernières soient utilisées pour l'alimentation en eau potable ou pour l'arrosage des cultures maraichères.	35 mètres. 100 mètres.	Tous types de boues, pente du terrain inférieure à 7%. Tous types de boues, pente du terrain supérieure à 7%.
Cours d'eau et plans d'eau.	35 mètres des berges. 200 mètres des berges. 100 mètres des berges. 5 mètres des berges.	Cas général, à l'exception des cas ci-dessous. Boues non stabilisées ou non solides et pente du terrain supérieure à 7%. Boues solides et stabilisées et pente du terrain supérieure à 7%. Boues stabilisées et enfouies dans le sol immédiatement après l'épandage, pente du terrain inférieure à 7%.
Immeubles habités ou habituellement occupés par des tiers, zones de loisirs ou établissements recevant du public.	100 mètres. Sans objet.	Cas général à l'exception des cas ci-dessous. Boues hygiénisées, boues stabilisées et enfouies dans le sol immédiatement après l'épandage.
Zones conchylicoles.	500 mètres.	Toutes boues sauf boues hygiénisées et sauf dérogation liée à la topographie.
	DÉLAI MINIMUM	
Herbages ou cultures fourragères.	Six semaines avant la remise à l'herbe des animaux ou de la récolte des cultures fourragères. Trois semaines avant la remise à l'herbe des animaux ou de la récolte des cultures fourragères.	Cas général, sauf boues hygiénisées. Boues hygiénisées.

NATURE DES ACTIVITÉS À PROTÉGER	DISTANCE D'ISOLEMENT MINIMALE	DOMAINE D'APPLICATION
Terrains affectés à des cultures maraichères et fruitières à l'exception des cultures d'arbres fruitiers.	Pas d'épandage pendant la période de végétation.	Tous types de boues.
Terrains destinés ou affectés à des cultures maraichères ou fruitières, en contact direct avec les sols, ou susceptibles d'être consommées à l'état cru.	Dix-huit mois avant la récolte, et pendant la récolte elle-même. Dix mois avant la récolte, et pendant la récolte elle-même.	Cas général, sauf boues hygiénisées. Boues hygiénisées.

## ANNEXE III

## ÉLÉMENTS DE CARACTÉRISATION DE LA VALEUR AGRONOMIQUE DES BOUES ET DES SOLS

Analyses pour la caractérisation de la valeur agronomique des boues :

- matière sèche (en %) ; matière organique (en %) ;
- pH ;
- azote total ; azote ammoniacal ;
- rapport C/N ;
- phosphore total (en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) ; potassium total (en K<sub>2</sub>O) ; calcium total (en CaO) ; magnésium total (en MgO) ;
- oligo-éléments (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn). Cu, Zn et B seront mesurés à la fréquence prévue pour les éléments-traces à l'annexe IV. Les autres oligo-éléments seront analysés dans le cadre de la caractérisation initiale des boues.

Analyses pour la caractérisation de la valeur agronomique des sols :

- granulométrie, mêmes paramètres que précédemment en remplaçant les éléments concernés par P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> échangeable, K<sub>2</sub>O échangeable, MgO échangeable et CaO échangeable.

**ANNEXE IV**  
**FRÉQUENCE D'ANALYSES DE BOUES**

Tableau 5 a

Nombre d'analyses de boues lors de la première année

Tonnes de matière sèche épandues (hors chaux).	< 32	32 à 160	161 à 480	481 à 800	801 à 1 600	1 601 à 3 200	3 201 à 4 800	> 4 800
Valeur agronomique des boues.....	4	8	12	16	20	24	36	48
As, B.....	-	-	-	1	1	2	2	3
Éléments-traces.....	2	4	8	12	18	24	36	48
Composés organiques.....	1	2	4	6	9	12	18	24

Tableau 5 b

Nombre d'analyses de boues en routine dans l'année

Tonnes de matière sèche épandues (hors chaux).	< 32	32 à 160	161 à 480	481 à 800	801 à 1 600	1 601 à 3 200	3 201 à 4 800	> 4 800
Valeur agronomique des boues.....	2	4	6	8	10	12	18	24
Éléments-traces.....	2	2	4	6	9	12	18	24
Composés organiques.....	-	2	2	3	4	6	9	12

**ANNEXE V**

**MÉTHODES DE PRÉPARATION,  
D'ÉCHANTILLONNAGE ET D'ANALYSE**

**1. Échantillonnage des sols**

Les prélèvements de sol doivent être effectués dans un rayon de 7,50 mètres autour du point de référence repéré par ses coordonnées Lambert, à raison de 16 prélèvements élémentaires pris au hasard dans le cercle ainsi dessiné :

- de préférence en fin de culture et avant le labour précédant la mise en place de la suivante ;
- avant un nouvel épandage éventuel de boues ;
- en observant de toute façon un délai suffisant après un apport de matières fertilisantes pour permettre leur intégration correcte au sol ;
- et à même époque de l'année que la première analyse.

Les modalités d'exécution des prélèvements élémentaires et de constitution et conditionnement des échantillons sont conformes à la norme NF X 31 100.

**2. Échantillonnage des boues**

Les boues font l'objet d'un échantillonnage représentatif. Les sacs ou récipients destinés à l'emballage final des échantillons doivent être inertes vis-à-vis des boues, résistants à l'humidité et étanches à l'eau et à la poussière.

2.1. Boues liquides : celles-ci doivent être homogénéisées avant prélèvement, soit par recirculation, soit par agitation mécanique pendant une durée comprise entre trente minutes et deux heures selon leur état. Les échantillons représentatifs des boues soumis à l'analyse sont constitués de quatre séries de 5 prélèvements élémentaires de deux litres, à des hauteurs différentes et en des points différents. Les différents prélèvements élémentaires sont mélangés, homogénéisés et réduits à un échantillon global d'un volume minimum de deux litres.

2.2. Boues solides ou pâteuses :

Deux options sont possibles :

- échantillonnage sur un lot :

Les échantillons représentatifs des boues soumis à l'analyse sont constitués de 25 prélèvements élémentaires uniformément répartis en

différents points et différentes profondeurs du lot de boues destinées à être épandues. Les prélèvements sont effectués à l'aide d'une sonde en dehors de la croûte de surface et des zones où une accumulation d'eau s'est produite. Les prélèvements élémentaires sont mélangés dans un récipient ou sur une bâche et donnent, après réduction, un échantillon d'un kilogramme environ envoyé au laboratoire :

- échantillonnage « en continu » :

Les échantillons représentatifs des boues soumis à l'analyse sont constitués de 25 prélèvements élémentaires régulièrement espacés au cours de la période séparant chaque envoi au laboratoire. Chaque prélèvement élémentaire doit contenir au moins 50 grammes de matière sèche, et tous doivent être identiques. Ces échantillons élémentaires sont conservés dans des conditions ne modifiant pas leur composition, puis rassemblés dans un récipient sec, propre et inerte afin de les homogénéiser de façon efficace à l'aide d'un outil adéquat pour constituer un échantillon composite qui, après réduction éventuelle, est envoyé au laboratoire. L'échantillon pour laboratoire représente 500 grammes à un kilogramme de matière sèche.

**3. Méthodes de préparation et d'analyse des sols**

La préparation des échantillons de sols en vue d'analyse est effectuée selon la norme NF ISO 11464 (décembre 1994). L'extraction des éléments-traces métalliques Cd, Cr, Cu, Ni, Pb et Zn et leur analyse est effectuée selon la norme NF X 31-147 (juillet 1996). Le pH est effectué selon la norme NF ISO 10390 (novembre 1994).

**4. Méthodes de préparation et d'analyse des boues**

La préparation des échantillons de boues et leur analyse sont effectuées selon les méthodes des tableaux 6 a, 6 b et 6 c. A défaut, la préparation des échantillons pour analyse s'effectue selon la norme NF U 44-110 (octobre 1982) et les analyses selon les normes françaises applicables aux analyses de boues ou de sols, notamment :

- la norme NFU 44-171 (octobre 1982) pour la détermination de la matière sèche ;
- la norme NF ISO 11261 (juin 1995) pour la détermination de l'azote total ;
- la norme NF X 31-147 (juillet 1996) pour la mesure des éléments P, Ca, Mg et K.

**Tableau 6 a**  
Méthodes analytiques pour les éléments-traces

ÉLÉMENTS	MÉTHODE D'EXTRACTION ET DE PRÉPARATION	MÉTHODE ANALYTIQUE
Eléments-traces métalliques.	Extraction à l'eau régale. Séchage au micro-ondes ou à l'étuve.	Spectrométrie d'absorption atomique, ou spectrométrie d'émission (AES), ou spectrométrie d'émission (ICP) couplée à la spectrométrie de masse, ou spectrométrie de fluorescence (pour Hg).

**Tableau 6 b**  
Méthodes analytiques recommandées pour les micro-polluants organiques

ÉLÉMENTS	MÉTHODE D'EXTRACTION ET DE PRÉPARATION	MÉTHODE ANALYTIQUE
HAP.	Extraction à l'acétone de 5 g MS (1). Séchage par sulfate de sodium. Purification à l'oxyde d'aluminium ou par passage sur résine XAD. Concentration.	Chromatographie liquide haute performance, détecteur fluorescence, ou chromatographie en phase gazeuse + spectrométrie de masse.
PCB.	Extraction à l'aide d'un mélange acétone/éther de pétrole de 20 g MS (1). Séchage par sulfate de sodium. Purification à l'oxyde d'aluminium ou par passage sur colonne de célite ou gel de bio-beads (2). Concentration.	Chromatographie en phase gazeuse, détecteur ECD ou spectrométrie de masse.

(1) Dans le cas de boues liquides, centrifugation préalable de 50 à 60 g de boue brute, extraction de surnageant à l'éther de pétrole et du culot à l'acétone suivie d'une seconde extraction à l'éther de pétrole ; combinaison des deux extraits après lavage à l'eau de l'extrait de culot.  
(2) Dans le cas d'échantillons présentant de nombreuses interférences, purification supplémentaire par chromatographie de perméation de gel.

**Tableau 6 c**  
Méthodes analytiques recommandées pour les micro-organismes (boues hygiénisées)

TYPE de micro-organismes	MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE	ÉTAPES DE LA MÉTHODE
<i>Salmonella</i> .	Dénombrement selon la technique du nombre le plus probable (NPP).	Phase d'enrichissement. Phase de sélection. Phase d'isolement. Phase d'identification présomptive. Phase de confirmation : serovars.

TYPE de micro-organismes	MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE	ÉTAPES DE LA MÉTHODE
Œufs d'helminthes.	Dénombrement et viabilité.	Filtration de la boue. Flottation au Zn SO <sub>4</sub> . Extraction avec technique diphasique : - incubation ; - quantification. (technique EPA, 1992).
Enterovirus.	Dénombrement selon la technique du nombre le plus probable d'unités cytopathogènes (NPPUC).	Extraction-concentration au PEG 6000 ; - détection par inoculation sur cultures cellulaires BGM ; - quantification selon la technique du NPPUC.

ANNEXE VI

FORMAT DE LA SYNTHÈSE ANNUELLE DES REGISTRES

Nom de la ou des stations de traitement et n° de département : .....  
 (pour les matières de vidange : communes concernées par la collecte)

Quantités de boues produites dans l'année : .....  
 (pour les matières de vidange : quantité collectée par année, par commune)

- quantités brutes en tonnes : .....  
 - quantité de matière sèche en tonnes : .....

Méthodes de traitement des boues avant épandage : .....

Surface d'épandage en hectares : .....

Nombre d'agriculteurs concernés : .....

Quantités épandues :  
 - en tonnes de matière sèche : .....  
 - en tonnes de matière sèche par hectare : .....

Périodes d'épandage : .....

Identité des personnes physiques ou morales chargées des opérations d'épandage : .....

Identité des personnes physiques ou morales chargées des analyses : .....

Analyses réalisées sur les sols (un tableau par zone homogène) : .....

RÉFÉRENCES DE L'UNITÉ CULTURALE		RÉFÉRENCES PARCELLAIRES	
Éléments-traces dans les sols	Unité	Nombre d'analyses réalisées dans l'année	Valeur moyenne
Cadmium.....	mg/kg MS		
Cuivre.....	mg/kg MS		
Nickel.....	mg/kg MS		
Plomb.....	mg/kg MS		
Zinc.....	mg/kg MS		
Mercure.....	mg/kg MS		
Chrome.....	mg/kg MS		

Dérogations éventuelles données aux seuils en éléments-traces métalliques dans les sols ou au pH :

- paramètres concernés : .....  
 - valeurs : .....  
 - surface couverte et type de sols : .....

Analyses réalisées sur les boues : .....

ÉLÉMENTS ET SUBSTANCES	UNITÉ	NOMBRE d'analyses réalisées dans l'année	VALEUR minimale	VALEUR maximale	VALEUR moyenne
Cadmium.....	mg/kg MS				
Chrome.....	mg/kg MS				
Cuivre.....	mg/kg MS				
Mercure.....	mg/kg MS				
Nickel.....	mg/kg MS				
Plomb.....	mg/kg MS				
Zinc.....	mg/kg MS				
Chrome + cuivre + nickel + zinc.....	mg/kg MS				
Total des 7 principaux PCB (*).....	mg/kg MS				
Fuoranthène.....	mg/kg MS				
Benzo(b)fluoranthène.....	mg/kg MS				
Benzo(a)pyrène.....	mg/kg MS				
Autres éléments-traces.....	mg/kg MS				

ÉLÉMENTS ET SUBSTANCES	UNITÉ	NOMBRE d'analyses réalisées dans l'année	VALEUR minimale	VALEUR maximale	VALEUR moyenne
Matière sèche.....	%				
Matière organique.....	% MS				
pH.....					
C.....	% (brut)				
N.....	% (brut)				
NK.....	% (brut)				
N-NH4.....	% (brut)				
P2O5.....	% (brut)				
CaO.....	% (brut)				
MgO.....	% (brut)				
K2O.....	% (brut)				
SO3.....	% (brut)				

(\*) PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180.



## LISTES DES DOCUMENTS TECHNIQUES DU F.N.D.A.E

N°	Désignation de l'ouvrage	Parution	Etat du stock	Prix de vente
1	L'exploitation des lagunages naturels	1985		gratuit
2	Définition et caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine d'emploi pour les appareils de désinfection	1986		gratuit
3	Manuel pratique pour le renforcement et l'étanchéité des réservoirs d'eau potable	1986		85.00 F
4	Plan de secours pour l'alimentation en eau potable	1986		gratuit
5	Les stations d'épuration adaptées aux petites collectivités	1986	épuisé	85.00 F
5 Bis	Les stations d'épuration - Dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation	1992		85.00 F
6	Les bassins d'orages sûr les réseaux d'assainissement	1988		85.00 F
7	Le génie civil des bassins de lagunage naturel	1990		85.00 F
8	Guide technique sur le foisonnement des boues activées	1990		85.00 F
9	Les systèmes de traitement des boues des petites collectivités	1990		85.00 F
10	Elimination de l'azote dans les stations d'épuration biologiques des petites collectivités	1998		85.00 F
11	L'eau potable en zone rurale - Adaptation et modernisation des filières de traitements - réédition 1998	1992		85.00 F
12	Application de l'énergie photovoltaïque à l'alimentation en eau potable des zones rurales	1996		85.00 F
13	Lutte contre les odeurs des stations d'épuration	1993	épuisé	85.00 F
14	Les procédés à membrane pour le traitement de l'eau et de l'assainissement	1996		85.00 F
15	Financement du renouvellement des réseaux d'adduction d'eau potable	1993		85.00 F
16	La gestion collective de l'assainissement autonome - bilan des premières expériences	1993	épuisé	85.00 F
17	Les nouvelles techniques de transport d'effluent	1996		85.00 F
18	La décantation lamellaire des boues activées	1994		85.00 F
19	Guide sur la gestion de la protection des captages d'eau potable dans les vallées alluviales	1997		85.00 F
20	Connaissance et maîtrise des aspects sanitaires de l'épandage des boues d'épuration des collectivités locales	1998		85.00 F
<b>DOCUMENTS HORS-SERIE</b>				
HS 4	Elimination des nitrates des eaux potables	1993	épuisé	85.00 F
HS 5	Les différents procédés de stockage des boues d'épuration avant valorisation en agriculture.	1993	épuisé	150.00 F
HS 6	Consommation domestique et prix de l'eau - Evolution en France de 1975 à 1990	1992		30.00 F
HS 9	Les pollutions accidentelles des eaux continentales	1995		85.00 F
HS 10	Le renouvellement des réseaux d'eau potable	1994		50.00 F
	Situation de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement dans les communes rurales en 1990			
INV90NA	Synthèse nationale 1990	1993		gratuit
INV90DE	Synthèse nationale et résultats départementaux 1990	1993		gratuit
	Situation de l'alimentation en eau potable et de l'assainissement dans les communes rurales en 1995			
INV95NA	Synthèse nationale 1995	1997		85.00 F
INV95DE	Synthèse nationale et résultats départementaux 1995	1997		200.00 F
<b>EN PROJET</b>				
	Guide méthodologique pour les études technico-économiques préalables au zonage d'assainissement	1998		
	Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités. Mise à jour du n° 5	1998		

Les commandes sont à adresser à :

### MINISTERE DE L'AGRICULTURE ET DE LA PECHE

Direction de l'Espace Rural et de la Forêt

Bureau des Infrastructures Rurales

19, avenue du Maine

75732 PARIS - CEDEX 15

Tél. : 01 49 55 54 61 - Fax : 01 49 55 54 62



**Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau (FNDAE)**

Ministère de l'agriculture et de la pêche

Bureau des Infrastructures Rurales

19, avenue du Maine - 75732 PARIS CEDEX 15

TEL. : 01 49 55 54 61 - FAX : 01 49 55 54 62

**Prix : 85 F**

N° ISBN : 2-11-091194-8

Document technique n° 20