

# LES BOUES D'EPURATION DOCUMENT DE SYNTHESE

## ***Comité Sécurité Alimentaire d'APRIFEL***

### **Membres externes à la filière**

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| Alain PERIQUET<br>Président du Comité | Spécialité : Risques chimiques pesticides<br><i>Univ. Paul Sabatier - Toulouse</i>      |
| Michel BOISSET                        | Spécialité : Risques chimiques métaux lourds<br><i>INSERM - Paris</i>                   |
| Michel CATTEAU                        | Spécialité : Risques biologiques et microbiologiques<br><i>Institut Pasteur - Lille</i> |
| Jean-Michel LECERF                    | Spécialité : Nutrition<br><i>Institut Pasteur - Lille</i>                               |
| Carole LEGUILLE                       | Spécialité : Risques environnementaux - éco-toxicologie<br><i>EBSE - Metz</i>           |
| Philippe VERGER                       | Spécialité : Evaluation de l'exposition humaine<br><i>INRA - Paris</i>                  |

### **Membres internes à la filière**

|                |  |
|----------------|--|
| Jérôme LAVILLE | Spécialité : Phytopathologie<br><i>CTIFL - Paris</i>           |
| Saïda BARNAT   | Spécialité : Nutrition – Toxicologie<br><i>APRIFEL - Paris</i> |

**Juin 2001**

**Coordinateur : Saïda BARNAT**

## SOMMAIRE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUCTION .....</b>   | <b>4</b>  |
| 1.1. DEFINITIONS .....   | 4         |
| 1.1.1. Boues d'épuration .....   | 4         |
| 1.1.2. Epandage agricole .....   | 5         |
| 1.2. HISTORIQUE DE L'EPANDAGE .....  | 5         |
| 1.3. POURQUOI L'EPANDAGE AGRICOLE DES BOUES D'EPURATION URBAINES .....                             | 5         |
| 1.4. LE RECYCLAGE DES BOUES D'EPURATION .....  | 6         |
| 1.4.1. La valorisation agricole (60%) .....  | 6         |
| 1.4.2. L'oxydation thermique (15%) .....   | 7         |
| 1.4.3. La mise en décharge (25%) .....   | 7         |
| 1.5. CAUSES DES DIFFICULTES RENCONTREES PAR LA FILIERE D'EPANDAGE .....                            | 7         |
| 1.5.1. Les textes réglementaires .....   | 7         |
| 1.5.2. Les contraintes administratives .....   | 8         |
| 1.5.3. Les peurs alimentaires .....  | 8         |
| 1.5.4. Les nuisances olfactives .....  | 8         |
| 1.5.5. Les freins de la part des agriculteurs .....  | 8         |
| <b>2. QUI UTILISE LES BOUES .....</b>  | <b>8</b>  |
| 2.1. SOLS ADAPTES A L'EPANDAGE .....   | 9         |
| 2.2. TYPE DE CULTURE .....   | 9         |
| 2.2.1. Un exemple de l'utilisation des boues : Département de la Saône et Loire .....              | 10        |
| <b>3. REGLEMENTATION .....</b>   | <b>10</b> |
| 3.1. REGLEMENTATION DES EAUX USEES .....   | 11        |
| 3.1.1. Aspect chimique .....   | 11        |
| 3.1.2. Aspect microbiologique .....  | 11        |
| 3.2. REGLEMENTATION DES BOUES D'EPURATION URBAINES .....   | 13        |
| 3.2.1. La Directive 86/278/CEE .....   | 13        |
| 3.2.2. Principales mesures de la Directive .....   | 13        |
| 3.2.3. Les modifications prévues de la Directive 86/278/CEE .....                                  | 13        |
| 3.2.4. La législation française .....  | 14        |
| 3.3. MESURES DE RESTRICTION .....  | 17        |
| <b>4. RISQUES .....</b>  | <b>17</b> |
| 4.1. RISQUES ACTUELS .....   | 17        |
| 4.2. RISQUES SANITAIRES .....  | 20        |
| 4.2.1. Risques microbiologiques .....  | 20        |
| 4.2.2. Risques chimiques .....   | 23        |
| 4.2.3. Risques professionnels .....  | 29        |
| 4.3. RISQUES ENVIRONNEMENTAUX .....  | 30        |
| 4.3.1. Modification écologique microbienne du sol .....  | 31        |
| 4.3.2. Modification de la composition du sol .....   | 31        |
| 4.3.3. Retentissement sur la physiologie du végétal .....  | 31        |
| 4.3.4. Risque de contamination des nappes phréatiques et des eaux superficielles .....             | 32        |
| 4.3.5. Contamination atmosphérique .....   | 32        |
| <b>5. RECOMMANDATIONS DU CSHPF .....</b>   | <b>32</b> |
| 5.1. RECOMMANDATIONS VIS -A -VIS DES CONTAMINANTS BIOLOGIQUES .....                                | 33        |
| 5.1.1. Boues traitées et hygiénisées .....   | 33        |
| 5.1.2. Boues traitées non hygiénisées .....  | 33        |
| 5.2. RECOMMANDATIONS VIS -A -VIS DES ELEMENTS TRACES METALLIQUES .....                             | 34        |
| 5.3. RECOMMANDATIONS VIS -A -VIS DES COMPOSES TRACES ORGANIQUES .....                              | 34        |
| 5.3.1. Les contraintes d'usage émises par le CSHPF .....   | 34        |
| 5.3.2. Les conditions d'utilisation des boues autorisées pour l'épandage .....                     | 34        |
| 5.3.3. Les conditions générales des matériels d'épandage .....                                     | 34        |
| 5.3.4. Les recommandations générales en vue de la protection des ressources en eau .....           | 35        |
| 5.3.5. Les recommandations particulières pour l'utilisation des boues sur certaines cultures ..... | 35        |
| <b>6. CONCLUSIONS .....</b>  | <b>36</b> |

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

|  |    |
|--|----|
| Tableau 1 : Quantités de boues valorisées en agriculture (1993).....   | 7  |
| Tableau 2: Les niveaux de qualité .....  | 12 |
| Tableau 3 : Les contraintes d'usage.....   | 12 |
| Tableau 4 : Valeurs limites en ETM ; Nouvelles propositions .....  | 14 |
| Tableau 5 : Exemples de teneurs limites en métaux lourds pour les boues d'épuration, les sols, et flux dérivés. ....                       | 14 |
| Tableau 6 : Teneurs limites en composés traces organiques dans les boues.....  | 15 |
| Tableau 7 : Fréquence d'analyse des boues Nombre d'analyses de boues lors de la première année .....                                       | 16 |
| Tableau 8 : Fréquence d'analyse des boues Nombre d'analyses de boues en routine dans l'année.....  | 16 |
| Tableau 9 : Estimation des contributions relatives des différentes sources d'éléments traces métalliques contaminant le sol français ..... | 18 |
| Tableau 10 : Estimations des apports comparés par différentes sources en HAP et PCB totaux aux sols cultivés en Suisse ....                | 19 |
| Tableau 11 : Extrait de " Risques sanitaires liés aux boues d'épuration des eaux usées urbaines " du CSHPF 1998.....                       | 21 |
| Tableau 12 : Survie des œufs d'Helminthes dans le sol.....   | 22 |
| Tableau 13 : Bactéries pathogènes isolées de végétaux crus.....  | 23 |
| Tableau 14 : Contribution des différentes sources à l'enrichissement moyen annuel des terres émergées en ETM .....                         | 24 |
| Tableau 15 : Effets toxiques de certains ETM chez l'animal et l'homme .....  | 25 |
| Tableau 16 : Teneurs moyennes en métaux lourds de différents groupes d'aliments (µg/kg ou µg/l) .....                                      | 27 |
| Tableau 17 : Apport alimentaire de plomb et de cadmium dans différents pays depuis 1990 .....  | 28 |
| Tableau 18 : Aptitude à l'accumulation des micro polluants métalliques par différentes espèces végétales.....                              | 28 |
| Tableau 19 : Domaine d'application de l'hygiénisation vis - à -vis des usages de la boue et produits dérivés .....                         | 33 |
| Tableau 20 : Méthodes d'épandage des boues.....  | 35 |
| Figure 1 : Évolution de la teneur en éléments- traces métalliques au Royaume-Uni entre 1982/83 et 1996/97.....                             | 5  |
| Figure 2 : Rôle des différentes familles d'aliments dans l'apport alimentaire journalier de plomb en France.....                           | 26 |
| Figure 3 : Rôle des différentes familles d'aliments dans l'apport alimentaire journalier de cadmium en France. ....                        | 26 |

# Les boues d'épuration : Document de synthèse

Comité Sécurité Alimentaire de l'Aprifel

## 1. Introduction

### 1.1. Définitions

#### 1.1.1. Boues d'épuration

On appelle « boues d'épuration » les sédiments résiduels issus du traitement des eaux usées ; les boues d'épuration urbaines résultent du traitement des eaux usées domestiques qui proviennent de l'activité des particuliers et éventuellement des rejets industriels dans les réseaux des collectivités après avoir suivi un pré-traitement obligatoire.

Les eaux usées sont collectées puis acheminées vers les stations d'épuration où elles sont traitées. En fin de traitement, à la sortie de la station, l'eau épurée est rejetée vers le milieu<sup>△</sup> naturel et il reste les boues résiduelles qui sont composées d'eau et de matières sèches contenant des substances minérales et organiques.

##### 1.1.1.1. L'épuration des eaux usées se fait en trois étapes :

- Les traitements primaires : il s'agit d'éliminer les particules en suspension par sédimentation. Ceci permet l'obtention de boues primaires.
- Les traitements secondaires : il s'agit de réduire la charge polluante, soit par des procédés biologiques (→ boues secondaires de type biologiques), soit par des procédés physico-chimiques (→ boues secondaires de type physico-chimiques).

Le mélange des boues primaires et secondaires constitue des « **boues mixtes** ».

- Les traitements tertiaires assurent une dénitrification, une déphosphatation ou la désinfection de l'eau → boues de dénitrification ou de déphosphatation.

D'une manière générale, le traitement des boues a pour but de limiter leur volume et les nuisances liées à leur caractère putrescible.

##### 1.1.1.2. Parmi les différents traitements on distingue :

- L'épaississement afin de diminuer la quantité d'eau qu'elles contiennent.
- La stabilisation conduit à une production de boues dont la fermentation<sup>△</sup> est soit achevée, soit bloquée entre la sortie du traitement et la réalisation de l'épandage.
- L'hygiénisation<sup>△</sup> vise à réduire le niveau des agents pathogènes<sup>△</sup> présents dans les boues. Une boue est considérée hygiénisée quand elle satisfait aux exigences de l'article 16 du décret du 8 décembre 1997 qui définit des valeurs limites pour les salmonelles, les entérovirus, et les œufs d'helminthes.
- La déshydratation sert à réduire la teneur en eau par des moyens mécaniques, permettant ainsi l'obtention de boues solides.
- Le séchage permet d'atteindre des niveaux de 90% de solides et d'obtenir des granulés plus commodes d'utilisation.
- Le compostage est un procédé biologique contrôlé (fermentation aérobie avec élévation de température) de conversion de matières organiques en un produit hygiénisé (destruction partielle des germes), utilisable comme amendement<sup>△</sup> organique des sols. Un compostage est caractérisé par la durée de la fermentation et la température maximale atteinte.

En fonction du pourcentage de matière sèche qu'elles contiennent (siccité), les boues peuvent être liquides, pâteuses ou solides. Actuellement :

- Les boues liquides proviennent des petites stations des zones rurales et périurbaines.
- Les boues pâteuses proviennent des stations moyennes.
- Les boues chaulées (après adjonction de chaux), de consistance pâteuse ou solide proviennent des stations moyennes ou de grande taille. Le chaulage des boues permet leur hygiénisation, grâce aux propriétés désinfectantes de la chaux<sup>1</sup>.
- Les boues compostées proviennent des stations de taille moyenne et ne représentent que 2% des tonnages de boues.
- Les boues séchées sont peu fabriquées en France.

### **1.1.2. Epandage agricole**

L'épandage implique la dispersion et la diffusion d'un élément sur une surface relativement étendue dans un but de fertilisation du sol. L'épandage des boues d'épuration consiste donc à répandre, de manière contrôlée, différents fertilisants, sur des terrains à vocation agricole.

## **1.2. Historique de l'épandage**

En 1864, les premiers épandages des **eaux usées brutes** ont commencé sur des sols réservés aux cultures maraîchères (sols sableux peu fertiles) dans la région parisienne créant ainsi une alternative au déversement de ces eaux dans la Seine. Cette pratique, qui a perduré jusqu'en 1999<sup>2</sup> dans certaines zones, a été rendue illégale par la réglementation établie dans les années 70-80.

C'est L. Pasteur qui a dénoncé la présence de microorganismes indésirables dans les poireaux d'Achères crus vendus aux halles et provenant de sols épandus par des eaux usées brutes. Si au début du siècle, les eaux usées étaient peu chargées en polluants chimiques, le développement de l'industrie et de la consommation des ménages dans les années 60 a contribué à l'enrichissement des eaux usées en polluants organiques et inorganiques.

Ainsi, dans les années 1970, en raison de l'absence de réglementation, certaines parcelles avaient reçu des épandages de boues ou gadoues très chargées en éléments traces métalliques avec des doses cumulées excessives (cadmium, plomb, cuivre, zinc, mercure).

Actuellement, **la production de boues est voisine de 850 000 tonnes de matière sèche par an.**

En 2005, la quantité de boues produite devrait augmenter de manière significative (environ 1,5 millions de tonnes) du fait :

- des nouvelles réglementations : Directive européenne du 21 mai 1991 : interdiction de mise en décharge,
- de l'amélioration des taux de traitement des systèmes de dépollution des eaux usées. En effet, si l'assainissement s'est développé dès le XIX siècle avec pour objectif premier la lutte contre les maladies infectieuses à transmission hydrique, il intègre aujourd'hui des objectifs environnementaux comme la protection des espèces et des milieux aquatiques. Ces nouvelles exigences entraînent une qualité d'eau épurée de haut niveau et une protection efficace de la population et des écosystèmes. Cependant, il faut veiller à ce que les éléments indésirables (toxiques ou infectieux) retirés du support « eau » ne génèrent pas de contamination via le support « sol ».

## **1.3. Pourquoi l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines**

Bien que les boues d'épuration soient aujourd'hui considérées comme des déchets<sup>Ⓐ</sup> par la nouvelle réglementation, **elles présentent un intérêt agronomique réel** du fait de la présence de matière organique, d'azote et de phosphore et d'un rapport carbone/azote favorable.

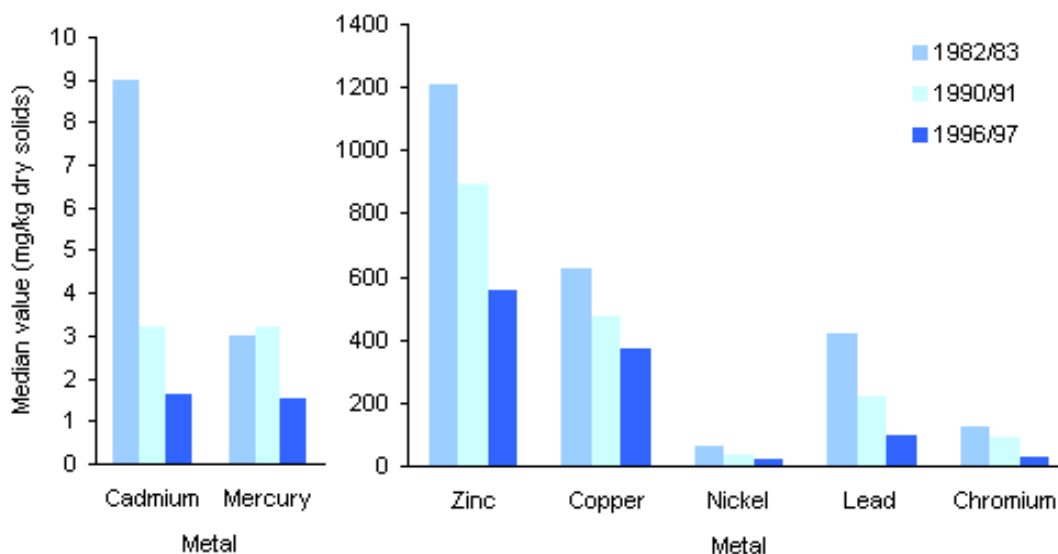
Mais pour valoriser des boues, il faut à la fois respecter l'environnement, rechercher le coût le plus faible possible et la solution technique la plus satisfaisante.

Les boues représentent un **apport de matière fertilisante<sup>Ⓐ</sup> très bon marché** en comparaison avec les engrais<sup>Ⓐ</sup> chimiques. En France les boues sont généralement cédées gratuitement. Ce faible coût constitue un atout majeur de cette pratique.

Par leur composition, les boues une fois épandues contribuent au rendement des cultures. Elles contiennent des nutriments<sup>4</sup> pour les cultures et servent d'amendement organique et calcique pour améliorer les propriétés physiques et chimiques du sol, surtout si elles sont chaulées ou compostées. Des micro-organismes présents dans le sol dégradent en partie les matières organiques apportées par les boues et les transforment en éléments minéraux disponibles pour la plante. Une autre partie des matières organiques est incorporée au sol et contribue à l'entretien d'une structure favorable au développement des racines. Les quantités épandues doivent restées compatibles avec les besoins des cultures en éléments minéraux. Dans ce cadre, on appliquera une gestion raisonnée de la fertilisation en se référant en particulier à la méthode du bilan.

La qualité des boues urbaines en éléments traces métalliques s'est largement améliorée pendant les 20 dernières années et est généralement en dessous des seuils réglementaires. Les niveaux de contamination sont généralement en dessous des seuils réglementaires (Figure 1).

**Figure 1 : Évolution de la teneur en éléments- traces métalliques au Royaume-Uni entre 1982/83 et 1996/97**



#### **1.4. Le recyclage des boues d'épuration**

Il existe trois voies de recyclage en France :

##### **1.4.1. La valorisation agricole (60%)**

Elle est confrontée à la concurrence des sous-produits de l'agriculture : les déjections animales (280 millions de tonnes) et les sous-produits des industries agroalimentaires provenant des filières de transformation animale et végétale avec au premier plan les sucreries. Aucune donnée scientifique ou écologique ne permet de privilégier la biomasse d'origine agricole par rapport aux matières organiques urbaines. Cependant, **les boues urbaines qui représentent moins de 2% de l'ensemble des déchets épandus en agriculture**, contre 94% pour les déjections animales<sup>3</sup>, posent de gros problèmes quant à leur utilisation en agriculture et leurs débouchés. L'INRA a mis en place avec l'ADEME en 1998 un programme sur 4 ans pour coordonner des recherches sur la pérennisation de cet épandage.

A titre d'exemple, on a pu constater en 1993, que sur l'ensemble du territoire national, la majorité des boues est valorisée en agriculture. Les écarts observés sont liés à la disponibilité des terres agricoles (Tableau 1).

**Tableau 1 : Quantités de boues valorisées en agriculture (1993)<sup>4</sup>**

| Bassin                        | Quantité produite* | % épandu |
|-------------------------------|--------------------|----------|
| Adour –Garonne                | 22 430             | 50       |
| Artois –Picardie              | 57 023             | 93       |
| Loire –Bretagne               | 120 000            | 80       |
| Rhin – Meuse                  | 23 006             | 36       |
| Rhône –Méditerranéenne -Corse | 65 000             | 38       |
| Seine –Normandie              | 151 764            | 60       |
| Agglomération Parisienne      | 66 000             | 55       |

\* exprimée en tonnes de matière sèche /an

#### **1.4.2. L'oxydation thermique (15%)**

Il s'agit de détruire les matières organiques par combustion. Cette voie génère deux types de sous-produits : des cendres et des fumées. Elle présente trois inconvénients majeurs, à savoir :

- un coût élevé qui se répercute directement sur le prix de l'eau payé par le consommateur (à noter que le prix de l'eau constitue un sujet extrêmement sensible).
- un impact néfaste sur l'environnement avec des émissions de fumées, des rejets de cendres et parfois même des boues qui devront elles-mêmes faire l'objet d'un traitement.
- Le refus de l'opinion publique envers les incinérateurs (perçus comme une très forte nuisance).

Un écobilan réalisé en février 1999, à la demande du Ministère de l'Environnement, montre que l'incinération des boues serait plus polluante et plus onéreuse que le recyclage agricole.

#### **1.4.3. La mise en décharge (25%)**

A l'horizon 2002, seuls les déchets ultimes pourront être mis en décharge, qui seront appelés centres de stockage. Cette mesure a été prise pour raisons de protection de l'environnement.

Quoi qu'il en soit, il est admis que les coûts de gestion de la filière boues vont entraîner une augmentation de la facture d'eau, estimée par le Ministère de l'Environnement de 30 à 75 centimes par mètre cube.

A l'heure actuelle, l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines fait face à des réticences plus ou moins fortes de la part du monde agricole et des IAA. Pourtant au niveau politique, la France et la majorité des pays européens ont affirmé leur volonté de pérenniser la filière.

### **1.5. Causes des difficultés rencontrées par la filière d'épandage**

#### **1.5.1. Les textes réglementaires**

Ces dernières années, la réglementation relative aux boues d'épuration s'est singulièrement renforcée :

**En droit Européen**, la Directive 86/278/CEE du Conseil du 12 juin 1986<sup>5</sup> soumet l'épandage de boues à des obligations diverses afin que leur utilisation soit correcte.

**En droit Français**, une nouvelle réglementation est entrée en vigueur dès le début de l'année 1998 à travers deux textes (le décret du 8 décembre 1997<sup>6</sup>, et l'arrêté du 8 janvier 1998<sup>7</sup>). L'objectif de ces textes est d'apporter des garanties nécessaires d'innocuité lors des épandages. Cette réglementation a pris le relais d'un ensemble de textes ambigus qui classaient les boues à la fois comme des matières fertilisantes et comme des déchets.

### **1.5.2. Les contraintes administratives**

Il existe une prise de position politique apparemment paradoxale du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche qui d'une part encourage l'épandage des boues en général, et le déconseille d'autre part dans le cadre de l'agriculture biologique, des AOC et des labels de qualité de produits alimentaires.

De grandes organisations agricoles telles que la FNSEA, les syndicats de betteraviers et de céréaliers ont émis des interdictions d'épandage des boues qui sont de nature politique. Une solution d'indemnisation des risques liés à l'épandage a été envisagée à travers un système d'assurance souscrit par les collectivités, pour le compte des exploitants agricoles qui épandent les boues. Ce système est actuellement en cours d'expérimentation . Il couvrirait le risque de développement<sup>6</sup> limité à 10 ans sur les récoltes.

Paradoxalement, si à l'échelle nationale des organismes tels que la FNSEA affichent une position défavorable à l'épandage des boues urbaines, à l'échelle locale, ils participent aux plans d'épandage.

Cette prise en charge traduit le fait que **l'épandage est progressivement considéré comme un service que les agriculteurs rendent à la collectivité.**

### **1.5.3. Les peurs alimentaires**

Au durcissement de la réglementation, s'ajoute la montée des préoccupations environnementales et sanitaires de l'opinion publique, inquiétude légitime sur les risques encourus dans un contexte alarmiste : ESB, OGM, pollutions environnementales (eau, atmosphère, sol), même si le grand public n'a pas pris part au débat sur l'épandage agricole des boues d'épuration.

### **1.5.4. Les nuisances olfactives**

Les boues résiduelles, produits ultimes de l'assainissement de l'eau, sont sources de mauvaises odeurs. C'est l'épandage de boues liquides qui est le plus malodorant, un enfouissement de quelques centimètres lors de l'épandage permet de pallier ce désagrément. Le compostage est un moyen de maîtrise des odeurs et de changer les gadoues en de conventionnels terreaux. Il est à noter que comparativement à l'épandage des déjections animales, les effluves malodorantes dues aux boues sont minimes.

### **1.5.5. Les freins de la part des agriculteurs**

La pression de l'opinion pourrait retentir sur la motivation des agriculteurs, déjà largement atteinte par la crise de « la vache folle » et par les pertes financières subies par les éleveurs. S'ajoute encore la crainte d'une dévalorisation économique des terres ayant été épandues.

De plus, certaines industries agroalimentaires ainsi que certains groupes de la grande distribution n'acceptent aucun produit agricole issu de terres où des boues ont été épandues.

S'il est nécessaire de sensibiliser les agriculteurs au bien fondé de l'épandage, il convient de les informer également sur les risques liés à cette pratique. La pérennité des filières d'élimination des boues passe obligatoirement par une participation renforcée du monde agricole à ce processus.

## **2. Qui utilise les boues**

En France les surfaces concernées par l'épandage représentent une infime partie de la Surface Agricole Utile (SAU). La surface agricole utile désigne le territoire cultivé et comprend les terres arables (ou terres labourables) y compris les jachères, les cultures maraîchères et cultures pérennes (à l'exception des bois et forêts) et les surfaces toujours en herbe telles que prairies, alpages ...

Sur l'ensemble des matières organiques épandues sur terrain agricole, l'épandage des boues urbaines ne représente que 1,75%, contre 94,5% de déjections animales et 3,3% de déchets des industries agroalimentaires. L'épandage des boues urbaines représente environ 6% de la SAU en Europe<sup>8</sup> .



## **2.1. Sols adaptés à l'épandage**

A l'état naturel, les roches renferment des éléments traces métalliques à des concentrations variables en fonction de leur nature, de leur âge, de leur localisation et de la nature de l'élément. Des gisements exploitables peuvent aussi en constituer une source où l'élément considéré est fortement concentré, seul ou en association avec d'autres minéraux.

A partir de ces sources, et en l'absence de toute intervention humaine, ils peuvent être redistribués dans les eaux, les sols, ou l'atmosphère après mobilisation par dissolution, éruptions volcaniques, ou encore transport aérien. A l'état naturel, les métaux sont souvent immobilisés sous des formes relativement inertes sur le plan chimique.

La contribution humaine à la mise en circulation et la dissémination de ces éléments peut être conséquente après exploitation de gisements miniers et dissémination des résidus d'extraction et de raffinage dans l'environnement.

C'est pourquoi, pour assurer une qualité certaine aux produits agroalimentaires notamment en production légumière, il est nécessaire de pouvoir reconnaître si un sol est indemne de contamination et de bien distinguer la part de ce qui est naturel et de ce qui relève de la contamination d'origine humaine.

Ceci peut être obtenu par une étude du fond pédogéochimique, c'est à dire par une détermination des concentrations en éléments traces métalliques (ETM<sup>A</sup>) naturellement présents dans un sol en l'absence de toute activité agricole ou industrielle.

Ce fond pédogéochimique peut varier en fonction de la roche mère, du type de sol et de la couche de sol testée (horizon). Les concentrations mesurées aujourd'hui dans les horizons de surface des sols cultivés ne correspondent plus aux concentrations naturelles mais ont été augmentées par divers apports agricoles usuels.

Ainsi la valeur médiane de la teneur en cadmium de 460 horizons de surface labourés est de 0,22 mg/kg avec 25 % des échantillons en deçà de 0,14 mg/kg et 2,5 % des échantillons au-delà de la valeur seuil de 2 mg/kg<sup>9</sup>.

Les experts en sciences du sol pensent que les valeurs seuils normatives actuelles de certains ETM sont trop élevées. Elles doivent de ce fait être considérées comme des valeurs d'alerte nécessitant une investigation sur leur origine géogène ou anthropique. De leur point de vue, une valeur seuil unique pour un ETM toxique couvrant tous les types de sols, tous les usages des sols et convenant à toutes les espèces végétales cultivées est dépourvue de signification. Quatre stratégies de détection<sup>10</sup> des niveaux anormaux de contaminants métalliques dans les sols peuvent être utilisées.

La teneur totale en un élément trace métallique donné permet de connaître le stock de cet élément à un moment donné mais ne donne pas de renseignement sur sa forme chimique, sa mobilité dans le sol ni sur sa capacité de transfert dans les plantes (phyto-disponibilité).

Un inventaire des sites et sols pollués est actuellement en cours. En fait, il s'agit de "sols" au sens de "terrains" pollués par des activités industrielles, ou des décharges plus ou moins sauvages, ou des anciennes usines mais jamais de sols au sens agro-pédologique du terme. Des inventaires des sites pollués par les activités industrielles appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif, ont été réalisés annuellement de 1994 à 1997<sup>11</sup>. Ils ont été renouvelés durant l'année 2000 et recensent plus de 3000 sites<sup>12</sup>.

Actuellement, un programme ADEME/INRA est en cours pour déterminer la qualité des sols cultivés de 86 départements en France et leur aptitude à recevoir des boues.

## **2.2. Type de culture**

L'épandage des boues urbaines en France est plus ou moins pratiqué selon les régions. Les interdictions d'épandage possèdent, dans tous les cas, une justification commerciale et d'image.

Les Etats de l'Union Européenne interdisent l'utilisation de boues sur les herbages 30 jours avant le pâturage. Pour les cultures maraîchères, il est interdit d'épandre pendant toute la période de culture. Sur les sols destinés à la culture maraîchère ainsi que pour la production de fruits et légumes consommés à l'état cru, il est interdit d'épandre 18 mois avant la mise en culture (norme française).

Pour identifier les éventuels utilisateurs de boues dans les cultures légumières et fruitières, nous avons réalisé un questionnaire aux différentes chambres d'agriculture.

Ce questionnaire uniquement téléphonique est informel et non exhaustif (voir Annexe I jointe). Il en ressort qu'en pratique l'utilisation de l'épandage de boues pour ces deux types de cultures ne constitue pas une pratique actuellement courante. L'épandage de boues des stations urbaines est surtout pratiqué en grande culture. Les réponses obtenues ont été vagues et laconiques et ne nous ont pas permis de déterminer de façon fiable le pourcentage des terres agricoles, destinées aux cultures légumières ou fruitières, faisant l'objet d'épandage des boues d'épuration. De même, il ne nous a pas été possible de définir les types de cultures fruitières ou légumières pour lesquels on pratique l'épandage des boues des stations d'épuration urbaines.

Plus largement, les organisations de producteurs ont conseillé aux producteurs de ne pas épandre des boues sur les parcelles destinées aux productions légumières.

Dans un autre domaine, des essais ont été pratiqués en 1992, en forêt de Chantilly<sup>13</sup> pour évaluer l'influence des boues sur la composition du sol, sur une parcelle plantée de chênes. Actuellement, des expérimentations sont en cours pour tester l'épandage de boues d'épuration en sylviculture.

### **2.2.1. Un exemple de l'utilisation des boues : Département de la Saône et Loire**

La Saône et Loire est un grand département agricole dont 70% de la surface agricole utile (574000 hectares) est constituée de prairies (production de viande essentiellement). Le reste de la surface est partagée entre la production laitière, la production de volailles et de porcs, la vigne et les grandes cultures de maïs et de céréales.

En 1999, les boues de stations d'épuration produites dans le département ont le recyclage agricole comme principale destination, la mise en décharge étant très secondaire. 12% des boues produites ont été mises en décharges qui sont des centres d'enfouissement techniques réglementaires.

Les décharges « sauvages non réglementaires » étant fermées. La mise en décharge est liée à la non conformité des boues (principalement teneur en ETM), à l'insuffisance des investissements consentis par certaines communes pour garantir les bonnes conditions des épandages, ou au caractère impropre des boues pour l'agriculture (boues non stabilisées). Le département ne compte aucun incinérateur.

Les boues sont épandues sur 1500 hectares, c'est à dire une faible partie de la surface agricole utile du département. C'est la chambre d'agriculture qui assure et met en place tous les plans d'épandage. Tous les plans d'épandage sont soumis au comité départemental d'hygiène, afin de recevoir un avis du préfet.

Le chaulage des boues a facilité l'acceptation des boues par les agriculteurs, en raison de l'acidité des terrains du département, qui réduit la fertilité des sols et l'efficacité des engrais.

Les cultures privilégiées pour l'épandage sont le maïs, les céréales et les prairies. Aucun épandage n'est fait sur cultures légumières. Tout épandage se fait conformément à la réglementation ; l'épandage se fait sur les mois de novembre et décembre avec un arrêt total à la mi-janvier. Des investissements importants ont été faits en matière de stockage.

La chambre d'agriculture de la Saône et Loire (Mission de valorisation agricole des déchets) a mis en place un dispositif de recherche de références inter- régional (en Bourgogne et en Franche-Comté), orienté vers trois problématiques : la valeur agronomique des boues, à travers une typologie des sols et des cultures, la bio-accumulation des éléments traces et le risque porté par les éléments pathogènes.

## **3. Réglementation**

Nous traiterons ici la réglementation des boues d'épuration urbaines et celle des eaux usées.

Les boues industrielles font l'objet d'une réglementation particulière et ne seront pas traitées dans ce paragraphe.

Il existe des règlements particuliers dans les départements spécifiant le tri des déchets.

### **3.1. Réglementation des eaux usées**

#### **3.1.1. Aspect chimique**

Il n'existe pas de volet chimique relatif aux eaux usées pour l'irrigation.

#### **3.1.2. Aspect microbiologique.**

Les eaux usées sont susceptibles de contenir toutes sortes de microorganismes, parmi ceux-ci des microorganismes pathogènes d'origines diverses : déjections animales ou humaines, activités industrielles, sols, environnement... Citons parmi les bactéries<sup>△</sup> : *Salmonella*, *Escherichia coli* pathogènes, *Yersinia*, *Shigella*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium botulinum*, *Bacillus cereus*, *Campylobacter jejuni*... auxquels peuvent se joindre divers parasites et de nombreux virus<sup>△</sup>.

Ces microorganismes sont relativement peu touchés par les opérations d'épuration habituelles des eaux résiduaires. Seuls des traitements tertiaires de désinfections permettent de les éliminer. Il est donc normal de se préoccuper des pratiques d'épandage de ces eaux qui peuvent être source de contaminations dangereuses :

- contamination du sol
- contamination des végétaux cultivés
- contamination des animaux qui consomment ces végétaux et souvent un peu de terre
- contamination des personnes qui consomment les végétaux, les animaux ou les produits d'origine animale contaminés.

Plusieurs événements récents montrent que, en matière de contamination, il faut prendre en compte, pour évaluer les risques, les aliments consommés par l'homme ainsi que ceux consommés par les animaux. L'alimentation animale conditionne la contamination fécale animale, les phénomènes de portage et donc la contamination de l'alimentation humaine.

Il paraît donc nécessaire de s'intéresser aux microorganismes pathogènes des eaux usées et d'éviter de les rencontrer dans les eaux destinées à irriguer les végétaux consommés sans traitement susceptible de les détruire.

La réglementation concernant la qualité micro biologique des eaux usées doit donc tenir compte du type de culture envisagée d'une part et des modalités d'arrosage d'autre part. (Tableau 2, Tableau 3)

- les eaux destinées à l'arrosage des forêts avec accès contrôlé du public, ne nécessitent pas de contraintes microbiologiques particulières (niveau de qualité C – Tableau 2, Tableau 3). L'aspersion doit être évitée pour des raisons liées à l'inhalation d'aérosols.
- les eaux destinées à l'irrigation d'espaces verts ouverts au public, à l'irrigation des pépinières, des arbustes (hors serres) doivent faire l'objet d'exigences plus grandes (niveau de qualité B Tableau 2, Tableau 3) : le dénombrement des *Escherichia coli* ne devra pas excéder 10 000 par litre .
- Les eaux destinées à l'irrigation des plantes maraîchères et fruitières doivent répondre à des exigences encore plus grandes (niveau de qualité A – Tableau 2, Tableau 3) en plus des E.coli qui ne doivent pas dépasser 10 000 par litre, il sera nécessaire de s'assurer de l'absence d'œufs d'Helminthes dans un litre et de l'absence de *Salmonella* dans un litre. Ces microorganismes sont choisis comme indicateur, et leur absence est sensée indiquer l'absence d'autres pathogènes. Il faut cependant observer que si ce raisonnement est vrai pour les pathogènes d'origine intestinale, il ne l'est pas pour les pathogènes d'autre origine : autrement dit l'absence de *Salmonella* dans un litre d'eau ne garantit pas l'absence de *Listeria monocytogenes* par exemple. De même l'absence des indicateurs choisis ne garantit absolument pas l'absence de virus.

**Tableau 2: Les niveaux de qualité<sup>4</sup>**

| <b>Niveau de qualité</b><br><b>Paramètres</b> | <b>A*</b> | <b>B</b> | <b>C**</b> |
|---|-----------|----------|------------|
| MES   | ≤ 35      | ≤ 35     | ≤ 35       |
| Si lagunage naturel                           | ≤ 150*    | ≤ 150*   | ≤ 150*     |
| DCO*  | ≤ 125     | ≤ 125    | ≤ 125      |
| E.coli  | ≤ 10 000  | ≤ 10 000 | ≤ 10 000   |
| Salmonelles                                   | Absence   | -        | -          |
| Œufs de ténia                                 | Absence   | -        | -          |

\* dans le cas des lagunages, la DCO est réalisée sur effluent filtré

\*\* ce niveau ne permet pas l'aspersion

**Tableau 3 : Les contraintes d'usage**

| <b>Activité</b>  | <b>Usage</b>   | <b>Niveau de traitement requis</b> | <b>Restrictions ou modalités d'arrosage</b>   |
|--|--|------------------------------------|---|
| <b>Cultures</b>  | Maraîchères : non transformées accessibles directement par le consommateur<br>Fruitières                 | A                                  |   |
|  | Prairies, fourrages  | A+                                 | Mise à l'herbe des animaux ou récolte des cultures fourragères > 6 semaines           |
|  | Légumières : transformées par cuisson ou pasteurisation, pas accessibles directement par le consommateur | B                                  |   |
|  | Céréalières  | A+ ou B+                           | Maîtriser les aérosols<br>N.B. : maïs, semence  |
|  | Florales ou pépinières et arbustes   | B                                  | Interdiction si culture sous serres<br>N.B. : délais pour l'intervention du personnel |
|  | Arboriculture fruitière  | B                                  | Sous frondaison et hors aspersion   |
| <b>Terrains de sport golf et espaces verts ouverts au public</b> |  | B                                  | Si aspersion : en dehors des heures d'ouverture au public                             |
| <b>Forêts d'exploitation avec accès contrôlé du public</b>       |  | C                                  | Aspersion interdite   |

## **3.2. Réglementation des boues d'épuration urbaines**

En Europe, le rejet des boues en mer est interdit depuis 1998. Les Directives européennes sur l'eau et les déchets et leurs transpositions en droit français, ont fixé des objectifs de qualité qui induisent à la fois une augmentation des quantités de boues produites (traitements plus élaborés) et un renforcement de la réglementation concernant leur élimination.

### **3.2.1. La Directive 86/278/CEE**

La Directive 86/278/CEE relative à la protection de l'environnement (et notamment à celle des sols) lors de l'utilisation des boues d'épuration comme engrais distingue trois catégories de boues :

- Les boues résiduaires issues de stations d'épuration traitant des eaux usées domestiques ou urbaines qui ne peuvent être utilisées en agriculture que si elles respectent les prescriptions de la directive.
- Les boues résiduaires des fosses septiques et autres installations similaires qui peuvent être utilisées en agriculture si les conditions jugées nécessaires par l'Etat membre afin d'assurer la protection de la santé de l'homme et de l'environnement sont remplies.
- Les boues résiduaires issues de stations d'épuration autres que celles déjà décrites qui peuvent être utilisées en agriculture à condition de respecter la réglementation de l'Etat membre concerné.

**Au niveau de l'Union Européenne**, l'épandage est la solution apparaissant comme privilégiée. Ainsi, l'Europe a soutenu de nombreux travaux scientifiques et encouragé des rencontres, échanges et discussions pour une meilleure harmonisation européenne, dans le cadre du programme de recherche COST 68/681 de 1972 à 1990<sup>14</sup> (Coopération Scientifique et Technique de la CEE).

### **3.2.2. Principales mesures de la Directive**

- Interdiction de l'utilisation de boues lorsque la concentration en un ou plusieurs métaux dans les sols dépasse les valeurs limites fixées dans l'annexe IA de la Directive 86/278/CEE.
- Des mesures sont prises afin que ces valeurs limites ne soient pas dépassées du fait de l'utilisation de boues, en fixant des valeurs limites de concentration en ETM (cadmium, cuivre, nickel, plomb, zinc, mercure) pouvant être contenues dans les boues, et en fixant des quantités maximales de boues exprimées en tonnes de matière sèche pouvant être apportées aux sols par unité de surface et par an.
- Obligation d'utilisation de boues traitées pour l'épandage agricole ; certaines conditions permettent l'utilisation de boues non traitées à condition qu'elles soient enfouies dans le sol.
- Interdiction de l'utilisation des boues sur les herbages moins de trois semaines avant le pâturage ou la récolte des cultures fourragères ainsi que l'utilisation des boues pendant la période des cultures maraîchères et fruitières, en contact du sol, et ce pendant les dix mois précédant la récolte et pendant la récolte elle-même.
- Les méthodes de contrôle et d'analyse sont décrites par la Directive, ainsi que les règles concernant les informations qui doivent être conservées par les producteurs et les utilisateurs.

### **3.2.3. Les modifications prévues de la Directive 86/278/CEE**

**1) l'abaissement des valeurs limites de divers ETM dans les sols** (cadmium, cuivre, mercure, plomb, Ni, zinc), la possibilité étant réservée, pour les États Membres, d'autoriser en fonction de raisons géogéniques, une fluctuation maximale de 50 % au-dessus des seuils (Tableau 4).

**2) l'abaissement des teneurs limites de ces éléments dans les boues.**

**3) la fixation de limites de concentration pour des composés traces organiques persistants** et préoccupants pour l'homme et son environnement comme les organo-halogénés, les alkylbenzenesulfonates, le Di(2-éthylhexyl)phtalate, le nonylphénol et ses mono et di-éthoxylates, 9 hydrocarbures polycycliques aromatiques, les PCB (congénères 28, 52, 101, 118, 153 et 180) ainsi que les polychlorodibenzodioxines et les polychlorodibenzofurannes.

**Tableau 4 : Valeurs limites en ETM ; Nouvelles propositions**

| ÉLÉMENT        | Valeurs Limites BOUES<br>(mg/kg, MS) |        | Valeurs Limites SOLS (6<pH<7)<br>(mg/kg, MS) |        |
|----------------|--------------------------------------|--------|--|--------|
|                | Dir. 86/278/CEE                      | Projet | Dir. 86/278/CEE                              | Projet |
| <b>Cadmium</b> | 20- 40                               | 10     | 1 – 3  | 1      |
| <b>Cuivre</b>  | 1000 –1750                           | 1000   | 50 – 140                                     | 50     |
| <b>Mercure</b> | 16 – 25                              | 10     | 1 - 1,5                                      | 0,5    |
| <b>Ni</b>      | 300 – 400                            | 300    | 30 – 75                                      | 50     |
| <b>Plomb</b>   | 750 – 1200                           | 750    | 50 - 300                                     | 70     |
| <b>Zinc</b>    | 2500 – 4000                          | 2500   | 150 - 300                                    | 150    |

### 3.2.4. La législation française

La législation française en place prend en compte la loi de 1975 sur les déchets et la loi sur l'eau du 3 janvier 1992. Elle a été renforcée en 1997 par un décret paru le 8 décembre, et en 1998 par l'arrêté paru le 8 janvier. L'évolution de la réglementation a pour objectif la protection des acteurs socio-économiques des filières d'épandage, et l'établissement de meilleures conditions d'innocuité pour l'homme et son environnement, en fixant des critères plus sévères et des restrictions d'usage.

Les épandages de boues sont soumis à des restrictions et à des contraintes techniques : L'arrêté du 8 janvier 1998 fixe les prescriptions techniques de l'épandage sur les sols agricoles des boues issues de traitement des eaux usées en application du décret du 8 décembre 1997 (Tableau 5, Tableau 6).

- Les teneurs limites en éléments traces métalliques dans les boues sont diminuées de moitié par rapport à la norme NFU 44-041<sup>15</sup>.
- Les boues atteignant les nouvelles valeurs limites ne pourront être épandues qu'à des doses de 15 tonnes de matière sèche tous les 10 ans. Les boues deux fois moins chargées pourront être épandues à 30 tonnes de matière sèche tous les 10 ans.

**Tableau 5 : Exemples de teneurs limites en métaux lourds pour les boues d'épuration, les sols, et flux dérivés.**

| Elément        | Valeur Limite Boue<br>(mg/kg, MS) | Flux Max. Cumulé en 10 ans<br>(g/m <sup>2</sup> ) | Valeur limite Sols<br>(mg/ kg, MS) | Flux Max Cumulé en 10 ans pour pâturages ou sols de pH< 6<br>(g/m <sup>2</sup> ) |
|----------------|-----------------------------------|---|------------------------------------|--|
| <b>Cadmium</b> | 20*                               | 0,03**  | 2                                  | 0,015  |
| <b>Mercure</b> | 10                                | 0,015   | 1                                  | 0,012  |
| <b>Plomb</b>   | 800                               | 1,5   | 100                                | 0,9  |

(d'après l'annexe 1a de l'arrêté du 8 janvier 1998)

\* 15mg/kg au 1er janvier 2001 puis 10 mg /kg au 1er janvier 2004

\*\* 0.015 g/m<sup>2</sup> au 1er janvier 2001

De même, des teneurs limites sont fixées pour 10 micro- polluants organiques.

**Tableau 6 : Teneurs limites en composés traces organiques dans les boues**

| Composés                           | 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                              | Epandage sur pâturages | Cas général  | Epandage sur pâturages |
| <b>Total des 7 principaux PCB*</b> | 0,8                                      | 0,8                    | 1,2  | 1,2                    |
| <b>Fluoranthène**</b>              | 5  | 4                      | 7,5  | 6                      |
| <b>Benzo(b)fluoranthène**</b>      | 2,5                                      | 2,5                    | 4  | 4                      |
| <b>Benzo(a)pyrène**</b>            | 2  | 1,5                    | 3  | 2                      |

(d'après l'annexe 1b de l'arrêté du 8 janvier 1998)

\*PCB : PolyChloroBiphényles : congénères 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180 sont des hydrocarbures aromatiques polychlorés.

\*\* les trois composés appartiennent à la famille des hydrocarbures polycycliques aromatiques

#### **3.2.4.1. Les boues d'épuration urbaines ne peuvent être épandues :**

- si le pH du sol avant épandage est inférieur à 6. En deçà de cette valeur, l'épandage n'est autorisé que pour un apport de boue chaulée sur un sol à pH > 5 et dans la limite de flux max. cumulé des éléments apportés aux sols conformes aux valeurs du tableau ci-dessus (Tableau 4).
- si les teneurs en éléments traces dans les sols ou dans les boues dépassent l'une des valeurs limites décrites dans l'arrêté.
- si le flux cumulé sur une durée de 10 ans, apporté par les boues sur l'un des éléments excède les valeurs limites.
- La durée est portée de 10 à 18 mois avant récolte pour les cultures légumières (et fruitières).

#### **3.2.4.2. Autres mesures réglementaires**

- deux grandes périodes d'épandage : le printemps (mars à avril) et à la fin de l'été (août à octobre). L'épandage est interdit à certaines périodes (gel, enneigement...) et dans les terrains à forte pente.
- des modalités de stockage : le stockage des boues (6 à 9 mois) devient indispensable en dehors des périodes d'épandage. Les boues liquides sont stockées dans des silos. Les boues pâteuses sont conservées dans des fosses ou autres dispositifs étanches. Les boues solides sont stockées à même le sol sur des dalles imperméables couvertes. Le stockage temporaire à même le sol est déconseillé et ne peut pas excéder 48 heures si les boues ne sont pas stabilisées.
- des modalités d'épandage : afin de limiter les nuisances sonores et olfactives, il faut épandre un maximum de boues en un minimum de temps sous de bonnes conditions météorologiques. Le choix du matériel d'épandage dépend de la nature de la boue (réf ADEME).

#### **3.2.4.3. Les grands axes de la nouvelle réglementation :**

Les boues sont considérées comme des déchets. Le producteur de boues est donc, comme tout producteur de déchet, responsable de la filière d'épandage et de son suivi. Il a en charge :

- Une étude préalable systématique qui permet de définir l'origine et les caractéristiques des boues (quantités produites et utilisées, type de traitement, etc), d'identifier les contraintes liées au milieu du périmètre d'épandage retenu, de définir les caractéristiques du sol, les systèmes de culture et la description des cultures envisagées, de nommer les intervenants, de fixer le choix du matériel et des équipements pour le stockage, le transport et l'épandage. Enfin, elle doit fournir des analyses de la boue destinée à être épandue et du sol récepteur.
- Un programme prévisionnel annuel d'épandage et un bilan annuel. Ce programme précise les périodes d'épandage et les parcelles agricoles retenues et désigne les personnes ou entreprises responsables des opérations de transport et d'épandage ainsi que les modalités de surveillance. Un bilan agronomique annuel quantitatif et qualitatif est obligatoirement rédigé par le producteur

de boues à destination du Préfet. Les agriculteurs et les administrations concernées obtiennent alors une synthèse du registre des épandages.

- Une auto-surveillance de l'épandage, de la qualité des boues et des sols. La réglementation définit rigoureusement la fréquence des analyses qui doivent être pratiquées. Elles sont très régulières la première année de l'épandage. Cette fréquence varie en fonction de la taille des stations d'épuration (plus la station est importante plus le nombre d'analyses est grand). Ce nombre d'analyse est maintenu l'année suivante en cas de changement de la qualité des eaux à traiter ou si les valeurs relevées sont supérieures à 75% des valeurs limites. Des analyses de routine sont ensuite effectuées chaque année. Des obligations en matière d'échantillonnage ont également été édictées. Les conditions d'entreposage, la nature et les quantités de boues sont également définies. (Tableau 7, Tableau 8).

**Tableau 7 : Fréquence d'analyse des boues  
Nombre d'analyses de boues lors de la première année**

| <b>Tonnes de matière sèche épandues (hors chaux°</b> | <b>&lt;32</b> | <b>32 à 160</b> | <b>161 à 480</b> | <b>481 à 800</b> | <b>801 à 1600</b> | <b>1601 à 3200</b> | <b>3201 à 4800</b> | <b>&gt;4800</b> |
|--|---------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| <b>Valeur agronomique des boues</b>                  | 4             | 8               | 12               | 16               | 20                | 24                 | 36                 | 48              |
| <b>Eléments-traces</b>                               | 2             | 4               | 8                | 12               | 18                | 24                 | 36                 | 48              |
| <b>Composés traces organiques</b>                    | 1             | 2               | 4                | 6                | 9                 | 12                 | 18                 | 24              |

D'après l'annexe 5a l'arrêté du 8 janvier 1998

**Tableau 8 : Fréquence d'analyse des boues  
Nombre d'analyses de boues en routine dans l'année**

| <b>Tonnes de matière sèche épandues (hors chaux°</b> | <b>&lt;32</b> | <b>32 à 160</b> | <b>161 à 480</b> | <b>481 à 800</b> | <b>801 à 1600</b> | <b>1601 à 3200</b> | <b>3201 à 4800</b> | <b>&gt;4800</b> |
|--|---------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| <b>Valeur agronomique des boues</b>                  | 2             | 4               | 6                | 8                | 10                | 12                 | 18                 | 24              |
| <b>Eléments-traces</b>                               | 2             | 2               | 4                | 6                | 9                 | 12                 | 18                 | 24              |
| <b>Composés traces organiques</b>                    | -             | 2               | 2                | 3                | 4                 | 6                  | 9                  | 12              |

D'après l'annexe 5b de l'arrêté du 8 janvier 1998

- La tenue d'un registre d'épandage (traçabilité) : Les responsables déclenchent les opérations d'épandage à la date choisie et sont chargés d'assurer les relations entre opérateurs et agriculteurs et la circulation des données (parcelles épandues, quantité de boues apportées, analyses des boues et des sols avant épandage, etc). L'ensemble des données et informations concernant l'épandage est consigné dans le registre des épandages.

Le Préfet, destinataire de l'ensemble de ces documents, valide et veille, par le contrôle, au respect de la réglementation.

Le suivi agronomique des boues est confié par le Préfet au producteur de boues ou à un organisme indépendant en accord avec la chambre d'agriculture. Il comprend :

- un avis préalable sur le programme annuel d'épandage ainsi que sur les modalités de suivi
- la surveillance de la bonne exécution du plan d'épandage
- la collecte de références sur la base d'analyse du sol et des récoltes.



### **3.3. Mesures de restriction**

Face au traumatisme engendré par l'épizootie de l'ESB et par crainte d'une nouvelle crise, certains groupements de producteurs, certaines industries agroalimentaires ainsi que certaines enseignes de la grande distribution ont pris des mesures de restriction, voire d'interdiction envers la pratique de l'épandage des boues dès 1996.

De ce fait, les agriculteurs deviennent réticents à épandre des boues.

Face à cette situation, les Ministères de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement ont mis en place en 1998 un Comité National sur les Boues d'épuration (CNB) qui regroupe différents acteurs impliqués dans la filière (collectivités, assainissement, IAA, grande distribution, associations de consommateurs). Ce comité a mandaté un comité technique permanent (CTP) pour apporter un éclairage d'experts sur les aspects scientifiques, technico-économiques ou sociaux du domaine.

Les axes de travail retenus en octobre 1998 sont :

- un audit comparatif entre la filière épandage et la filière incinération pour l'élimination des boues,
- une étude de la situation dans les autres pays européens afin de concevoir une stratégie commune,
- une mise au point d'outils de communication et de sensibilisation,
- une étude de faisabilité d'un fond de garantie pour les exploitants agricoles.

Lors d'un colloque national le 5 juillet 2000, l'épandage des boues d'épuration a reçu un soutien politique important (Ministères de l'Aménagement du Territoire et l'Environnement, de l'Agriculture et de pêche, du Commerce et de l'Artisanat) : l'ensemble des représentants concernés s'est déclaré favorable à l'épandage agricole des boues.

En janvier 2001<sup>16</sup>, ce comité a constitué un dossier documentaire sur les boues d'épuration et leur utilisation en agriculture.

## **4. Risques**

### **4.1. Risques actuels**

Différents pays ont procédé à une analyse nationale de la question sanitaire afin d'asseoir le débat concernant l'épandage sur des bases objectives et orienter les décisions publiques. Ces analyses ont toutes conclu à une maîtrise satisfaisante des risques de l'épandage des boues urbaines sous réserve de respecter un certain nombre de précautions. C'est le cas en particulier du Danemark<sup>17</sup>, de la Finlande<sup>18</sup>, de la Suède<sup>19</sup> ou encore le National Research Council aux Etats unis en 1996 (Institut national de recherches américain). Les travaux de recherche menés dans les différents pays cités ont permis de dresser un état des lieux des connaissances sur les dangers sanitaires liés à l'épandage des boues et de mettre en évidence des risques maîtrisés sous conditions. En revanche de nombreuses interrogations scientifiques persistent à l'heure actuelle sur les filières d'incinération et de mise en décharge qui nécessitent encore de travaux de recherche visant à combler les lacunes tout en continuant à améliorer l'évaluation des risques de l'épandage.

Une veille sanitaire sur les conséquences, en pathologie animale, de l'épandage des boues d'épuration, a été réalisée au cours des années 1986-1990, par les cinq écoles nationales vétérinaires et l'ANRED (actuellement ADEME). Seuls deux cas de mortalité animale, dus à de mauvaises pratiques ont été relevés. Les informations recueillies sur ce plan permettent d'affirmer qu'aucun accident important lié à l'épandage des boues urbaines n'a été recensé.

Aucune étude épidémiologique spécifique humaine en France n'a été réalisée, cependant, la bibliographie ne relate pas d'accident de grande ampleur à ce jour.

Différentes études épidémiologiques américaines ont concerné les populations riveraines de terres agricoles épandues par les boues ou irriguées par des eaux usées. Aucune relation significative entre les manifestations mineures gastro-intestinales ou cutanées observées et l'exposition n'a été clairement démontrée<sup>20</sup>.

Le SIAAP (Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne) a lancé en 2000 un appel d'offres pour la réalisation d'une enquête socio-économique autour du site d'épuration « Seine aval » dite d'Achères. Huit communes sont concernées : Achères, Conflans Saint Honorine, Maisons Laffitte, Sartrouville, Corneilles en Paris, La Frette, Herblay, Montigny, les Corneilles. La société SEPIA a été chargée de ce travail afin d'étudier l'acceptation de l'usine par les riverains et évaluer l'impact des nuisances olfactives et sonores de proximité.

De nombreuses activités contribuent à l'enrichissement des sols en éléments traces métalliques ; l'épandage des boues a une contribution mineure par rapport à d'autres sources d'apports d'ETM. L'estimation des apports aux sols en éléments traces métalliques par différentes sources montre, par exemple, que 89% du cadmium est apporté aux sols par les engrais contre seulement 4% apportés par les boues (Tableau 9). Le risque lié au devenir des ETM dans les sols par le vecteur boues doit s'évaluer en regard de la présence d'autres sources d'apport.

**Tableau 9 : Estimation des contributions relatives des différentes sources d'éléments traces métalliques contaminant le sol français**

| Sources identifiées                                      | Cadmium | Plomb     | Zinc      | Cuivre     |
|--|---------|-----------|-----------|------------|
| <b>Retombées atmosphériques (industries et voitures)</b> | 3%      | 97%       | 2%        | -          |
| <b>Engrais</b>   | 89%     | -         | -         | -          |
| <b>Boues</b>   | 4%      | 1%        | 14%       | 1%         |
| <b>Composts urbains</b>                                  | 4%      | 2%        | 15%       | 1%         |
| <b>Lisiers de porc</b>                                   | -       | -         | 69%       | 6%         |
| <b>Produits phytosanitaires</b>                          | -       | -         | -         | 92%        |
| <b>Total</b>   | 100%    | 100%      | 100%      | 100%       |
| <b>Total des flux identifiés</b>                         | 68t/an  | 8 307t/an | 3 242t/an | 15 274t/an |

(d'après Robert et Juste – 1997<sup>21</sup>)

Les CTO<sup>△</sup> ont été beaucoup moins étudiés, pour deux raisons : d'une part, ils n'ont pas été mentionnés initialement dans la réglementation ; d'autre part leur étude est plus complexe. En effet leur mesure dans une matrice organique comme la boue est largement plus délicate que celle dans une matrice minérale telle que le sol. Les principales familles (HAP, PCB) sont hydrophobes et se fixent fortement sur la matière organique des boues. Cette propriété diminue la biodisponibilité<sup>△</sup> de ces composés traces organiques pour les plantes et pour les êtres vivants présents dans le sol.

Les boues résiduaires épandues sur un sol ne sont pas la seule source de micropolluants organiques. En effet, les précipitations atmosphériques et les engrais de ferme sont d'autres sources potentielles. Une comparaison de ces sources pour un épandage de 2,5 tonnes / an de boues moyennement contaminées a été effectuée en Suisse (Tableau 10).

**Tableau 10 : Estimations des apports comparés par différentes sources en HAP et PCB totaux aux sols cultivés en Suisse<sup>22</sup>**

| <b>Sols cultivés situés en zone agricole</b> |   |  |  |  |
|--|---|--|--|--|
| <b>Composés</b>                              | <b>Pluies<br/>(Précipitations<br/>atmosphériques)</b> | <b>Boues<br/>(de stations<br/>d'épuration d'eaux<br/>usées urbaines)</b> | <b>Fumures<br/>(engrais de ferme à<br/>base de déjections<br/>animales )</b> | <b>Engrais<br/>(engrais minéraux et<br/>agents de<br/>traitement ;<br/>pesticides)</b> |
| <b>PCB</b>                                   | 44%   | 38%  | 17%  | 1%   |
| <b>HAP</b>                                   | 44%   | 38%  | 17%  | 1%   |
| <b>Sols cultivés situés en zone urbaine</b>  |   |  |  |  |
| <b>Composés</b>                              | <b>Pluies</b>   | <b>Boues</b>   | <b>Fumures</b>   | <b>Engrais</b>   |
| <b>PCB</b>                                   | 44%   | 38%  | 17%  | 1%   |
| <b>HAP</b>                                   | 80%   | 14%  | 6%   | 0%   |

(D'après Diercxens P. Et al. 1987)

Aux Etats-Unis, l'EPA (Agence de Protection de l'Environnement) conclut que lorsque les concentrations en polluants n'excèdent pas les valeurs « plafonds », l'impact à court terme de l'épandage sur l'environnement est considérablement réduit.<sup>23</sup>

Cette position est contestée par divers États, comme l'état de New -York, qui considèrent d'une part que le modèle d'évaluation du risque comporte de nombreux défauts et qu'il conduit à tolérer un apport de contaminants au sol trop élevé.<sup>24</sup>

L'évaluation des risques sanitaires spécifiques aux boues d'épuration urbaines a fait l'objet de recherches d'importance variable suivant la filière de traitement. De nombreuses études concernant l'épandage des boues ont été faites, mais très peu traitent spécifiquement de leur incinération ou de leur mise en décharge.

L'utilisation des boues en agriculture peut induire des risques :

- sanitaires directs pour l'utilisateur, ou indirects pour le consommateur de produits animaux ou végétaux ayant été en contact ou cultivé avec les boues.
- de contamination du milieu hydrique superficiel par lessivage ou du milieu hydrique souterrain, car le pouvoir de rétention du sol a ses limites et nécessite une gestion très rigoureuse.
- A travers la réglementation, la valorisation des boues en agriculture prend en compte ces risques pour assurer l'innocuité de l'épandage.

Les facteurs de risques sanitaires de l'épandage sont classés en trois catégories liées aux agents biologiques pathogènes, aux éléments traces métalliques et/ou composés traces organiques.

Des modèles d'évaluation des risques liés à certains éléments traces métalliques et composés organiques en traces n'existent pas encore en France. L'AFSSA a constitué un groupe de travail chargé de mettre au point un protocole d'évaluation des risques sanitaires liés à certains composés toxiques présents dans les boues utilisées en agriculture.

#### **Modes d'exposition spécifiques à l'épandage :**

- Ingestion de produits animaux et végétaux dans lesquels des polluants se sont bio-accumulés
- Inhalation, c'est une voie d'exposition professionnelle, dont les risques sanitaires sont placés sous le contrôle de la médecine du travail
- Contact cutané avec les boues. Le taux de pénétration cutanée du produit toxique dépend du niveau de pollution du sol, de la quantité déposée sur la peau, du temps de contact et surtout de la liposolubilité du polluant. Ce dernier facteur, extrêmement important dans la diffusion transcutanée fait que pour les métaux, cette voie semble négligeable comparativement à la diffusion des polluants organiques dont certains sont très liposolubles
- Ingestion d'eau souterraine et de surface contaminées par percolation.

## 4.2. Risques sanitaires

### 4.2.1. Risques microbiologiques

Les micro-organismes jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration, aussi bien en station que dans le sol. Il en existe une très grande variété mais seul une infime partie peut être pathogène. On les classe parmi les virus, les bactéries, les protozoaires, les champignons et les helminthes.

Les procédés de traitement primaires des eaux usées résiduelles concentrent les différents microorganismes avec les boues.

Ainsi, les eaux usées sont moins concentrées en agents pathogènes que les boues brutes primaires.

Cependant les traitements appliqués aux boues des stations d'épuration permettent une élimination importante des microorganismes.

A noter que l'hygiénisation (traitement thermique et chaulage pratiqués uniquement par les grosses stations) des boues permet de réduire les concentrations d'agents pathogènes présents dans les boues.

Les boues sont considérées hygiénisées quand à la suite de traitements les trois types d'agents pathogènes (*Salmonella*, *Entérovirus*, et œufs d'Helminthes) sont non détectables (critère de conformité).

En France, à l'heure actuelle, la majorité des boues utilisées n'est pas hygiénisée.

Pour des raisons techniques (échantillonnage difficile car les microorganismes n'ont pas une répartition régulière ou uniforme) et économiques, **l'autorisation d'épandage ne s'accompagne pas d'une vérification systématique du critère de conformité**. Ces analyses sont réalisées au cours de la phase d'étude d'un procédé en vue de l'agrément du système de traitement proposé ou lors d'une installation nouvelle dans une station d'épuration.

Au moment de l'usage, seuls les coliformes thermotolérants sont recherchés à titre de contrôle simple, permettant ainsi d'évaluer les phénomènes de croissance et/ou de recontamination induite par le mélange de boues de diverses provenances. Il faut cependant être conscient que ces coliformes thermotolérants sont des indicateurs intéressants pour les pathogènes d'origine fécale, les pathogènes qui peuvent avoir une autre origine, comme les *Listeria monocytogenes*, ne sont pas révélés par ces indicateurs.

**Il n'existe pas de données dans la littérature qui impliquent directement** et de manière certaine les boues d'épuration, sources de pathogènes, dans la contamination humaine. Cependant les risques sanitaires microbiologiques liés à l'environnement sont peu étudiés, les données de la littérature sur le plan épidémiologique sont très succinctes et concernent rarement les boues.

Quelques agents pathogènes pouvant être retrouvés dans les boues (Tableau 11):

**Tableau 11 : Extrait de " Risques sanitaires liés aux boues d'épuration des eaux usées urbaines " du CSHPF 1998**

| <b>Principaux agents pathogènes pour l'Homme et/ou l'Animal d'intérêt sanitaire pouvant être retrouvés dans les boues résiduaires (d'après EPA, 1992)</b> |   |              |                                  |
|---|---|--------------|----------------------------------|
| <b>BACTERIES</b>  | <b>PATHOLOGIE</b>                                 | <b>Cible</b> |                                  |
|   |   | <b>Homme</b> | <b>Animal</b>                    |
| <i>Salmonella sp</i>  | Salmonellose                                      | +            | +++<br>(veaux et autres espèces) |
| <i>Shigella sp</i>  | Dysenterie bacillaire                             | +            | ±                                |
| <i>Yersinia sp</i>  | Gastro-Entérite                                   | +            | +                                |
| <i>Vibrio cholerae*</i>   | Choléra   | +            | -                                |
| <i>Campylobacter jejuni</i>   | Gastro-Entérite                                   | +            | +                                |
| <i>Escherichia coli</i><br>(souches pathogènes)   | Gastro-Entérite                                   | +            | +++<br>(toutes espèces)          |
| <b>VIRUS ENTERIQUES</b>   |   |              |                                  |
| <i>Virus de l'hépatite A et E*</i>  | Hépatite infectieuse                              | +            |                                  |
| <i>Virus de Norwalk et apparentés</i>   | Gastro-Entérite                                   | +            | -                                |
| <i>Rotavirus</i>  | Gastro-Entérite                                   |              | + (veaux, porcelet)              |
| <i>Entérovirus</i>  |   |              |                                  |
| - <i>Poliovirus</i>   | Poliomyélite                                      | +            | -                                |
| - <i>Coxsackievirus</i>   | Méningite, pneumonie, hépatite                    | +            | -                                |
| - <i>Echovirus</i>  | Méningite, paralysie, diarrhée                    | +            | -                                |
| <i>Réovirus</i>   | Infection respiratoire, gastro-entérite           | +            | ±                                |
| <i>Astrovirus</i>   | Gastro-Entérite                                   | +            | -                                |
| <i>Calicivirus</i>  | Gastro-Entérite                                   | +            | -                                |
| <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 lumbricoides</i>   | Troubles gastro-intestinaux                       | +            | -                                |
| <i>Trichuris trichiura</i>  | Diarrhée, douleurs abdominales                    | +            | -                                |
| <i>Toxocara sp</i>  | Diarrhée, douleurs abdominales                    | +            | + (chiens)                       |
| <i>Taenia sp</i>  | Nervosité, insomnie, troubles digestifs, anorexie | +            | +++ (bovins)                     |
| <i>Hymenolepis</i>  | Nervosité, insomnie, troubles digestifs, anorexie | +            | -                                |

+++ : très sensibles + faiblement sensibles    - : non sensibles  
 ++ : moyennement sensibles    ± : sensibilité douteuse    \* DOM TOM

Différents facteurs tels que les fortes températures, les faibles humidités et le rayonnement solaire sont responsables de la disparition des virus et des parasites sur les végétaux et dans les sols. Les pathogènes des sols ne pénètrent en général pas dans les végétaux ou de façon exceptionnelle à la suite de blessure de la plante. Leur nombre décroît plus ou moins rapidement dans le sol et certains pathogènes peuvent y survivre très longtemps. C'est le cas par exemple de *Listeria monocytogènes* qui peut résister plusieurs années dans le sol ou encore certains parasites (*Ascaris*) (Tableau 12).

**Tableau 12 : Survie des œufs d'Helminthes dans le sol**

| <b>Parasites</b> | <b>Durée</b>                                 | <b>Conditions expérimentales</b>                                  |
|------------------|--|---|
| <b>Ascaris</b>   | Quelques semaines<br>2 ans à 14 ans          | Sol nu. Temps ensoleillé<br>Couverture végétale importante. Hiver |
| <b>Taenia</b>    | 4 - 15 jours<br>10 - 60 jours<br>3 – 15 mois | Eté. Sol ensoleillé<br>Printemps / Automne. Sol ombragé<br>Hiver  |
| <b>Trichuris</b> | 3 mois                                       | T°25°C  |
| <b>Toxocara</b>  | 6 mois                                       | T°25°C  |

(D'après Parasites et milieu hydrique ; Présentation Mme Schwarzbrod ; 4 septembre 2000 Interfel)

Ainsi, en matière de risques pathogènes, l'absence de corrélation univoque entre événement pathologique et épandage semble indiquer que le risque est faible. Le risque indirect semble plus important. En effet il est fréquent d'isoler des pathogènes sur des végétaux crus (Tableau 13). Or l'épandage d'eaux et de boues constitue l'une des origines principales de contamination. Certes les cas de toxi-infections alimentaires où les pathologies dues à la consommation de légumes sont relativement faibles en comparaison des aliments d'origine animale : entre 1973 et 1983, aux USA, moins de 2 % des cas avaient des légumes pour origine (N'Guyen-The et Carlin 1994). Il ne faut pas pour autant minimiser l'incidence de ces produits qui peuvent jouer le rôle de vecteurs et polluer des aliments plus sensibles dans lesquels ils sont incorporés .

Il faut enfin s'interroger sur le devenir des agents transmissibles non conventionnels (ATNC), en particulier l'agent de l'ESB, dans les eaux usées ou les boues résiduelles de stations d'épuration. Le comité interministériel sur les encéphalopathies subaiguës spongiformes, interrogé par le CSHPF en 1997 à ce sujet a fait la réponse suivante :

*« Les mesures de précautions qu'il convient de mettre en œuvre pour l'épandage des boues doivent être considérées dans un contexte plus large que le risque lié aux seuls agents transmissibles non conventionnels (ATNC). Les procédés d'épuration des eaux usées et des eaux de lavage des installations (abattoirs et équarrissages) ne permettent pas d'inactiver de nombreux agents pathogènes, en particulier ceux liés à un "risque fécal".*

**En premier lieu il faut remarquer :**

- l'absence de donnée scientifique permettant d'évaluer un risque potentiel lié à l'épandage de boues dans le cas particulier des ATNC à l'exception de l'expérience de Brown et Gajdusek<sup>25</sup> qui a montré la persistance de l'infectiosité de l'ATNC dans le sol après 3 ans.
- l'estimation du risque infectieux des boues lié aux ATNC devrait prendre en compte de nombreux facteurs qu'il est impossible de hiérarchiser précisément.
- les difficultés rencontrées pour mettre en place des expériences permettant une telle évaluation (qu'il faudra néanmoins envisager).

**En second lieu, il convient de souligner** que les risques relatifs aux ATNC, sans doute extrêmement limités, sont liés à l'importance du nombre d'animaux atteints. Le risque principal provient des multiples autres agents infectieux dangereux pour la santé publique humaine et animale qui sont présent dans les boues issues des équarrissages. Compte tenu de la présence massive de tissus provenant d'animaux infectés dans les usines d'équarrissage, les boues produites par les installations d'épuration de ces usines constituent un risque particulier.

*En conséquence, par mesure de précaution, le comité préconise d'éviter le recyclage de produits potentiellement dangereux pour l'alimentation humaine et animale au travers de l'épandage des boues issues des industries d'équarrissage. D'où la nécessité de connaître parfaitement l'origine des boues. »*

Tableau 13 : Bactéries pathogènes isolées de végétaux crus

| Produits                         | Pays             | Bactéries isolées                           | Fréquence d'isolement |
|----------------------------------|------------------|---|-----------------------|
| Artichaut                        | Espagne          | <i>Salmonella</i>                           | 3/25                  |
| Asperge                          | USA              | <i>Aeromonas</i>                            |                       |
| Pousses de haricots              | Malaisie         | <i>L. monocytogenes</i>                     | 6/7                   |
|                                  | Thaïlande        | <i>Salmonella</i>                           | 30/344                |
| Brocoli                          | USA              | <i>Aeromonas</i>                            | 5/16                  |
| Chou                             | Canada, USA      | <i>L. monocytogenes</i>                     | 2/92                  |
|                                  | Mexique          | <i>E.coli O<sub>157</sub> H<sub>7</sub></i> | 1/4                   |
|                                  | Espagne          | <i>Salmonella</i>                           | 7/41                  |
| Chou-fleur                       | Hollande         | <i>Salmonella</i>                           | 1/13, 1/23            |
|                                  | Espagne          |   |                       |
|                                  | USA              | <i>Aeromonas</i>                            |                       |
| Céleri                           | Mexique          | <i>E.coli O<sub>157</sub> H<sub>7</sub></i> | 6/34                  |
|                                  | Espagne          | <i>Salmonella</i>                           | 2/26                  |
| Cresson                          | USA              | <i>B.cereus</i>                             |                       |
| Concombre                        | Malaisie         | <i>L. monocytogenes</i>                     | 4/5                   |
|                                  | Pakistan, USA    |   | 1/15, 2/92            |
| Laitue                           | Italie, Hollande | <i>Salmonella</i>                           | 82/120, 2/28          |
|                                  | Espagne          |   | 5/80                  |
| Champignons                      | USA              | <i>C.jejuni</i>                             | 3/200                 |
| Persil                           | Egypte           | <i>Shigella</i>                             | 1/250                 |
|                                  | Espagne          | <i>Salmonella</i>                           | 1/23                  |
| Poivre                           | USA              | <i>Aeromonas</i>                            |                       |
|                                  | Suède            | <i>Salmonella</i>                           |                       |
| Pommes de terre                  | USA              | <i>L. monocytogenes</i>                     | 19/70                 |
| Salade de 4 <sup>ème</sup> gamme | U.K.             | <i>L. monocytogenes</i>                     | 3/21                  |
| Radis                            | USA              | <i>L. monocytogenes</i>                     | 25/68                 |
| Pousses de soja                  | USA              | <i>B.cereus</i>                             |                       |
| Epinards                         | Espagne, USA     | <i>Salmonella</i>                           | 2/38                  |
| Salades composées                | Egypte           | <i>Aeromonas, Shigella</i>                  | 3/250                 |
| De légumes                       | Allemagne, U.K.  | <i>L. monocytogenes</i>                     | 6/263, 4/16           |
|                                  | U.K.             | <i>Y. enterocolitica</i>                    |                       |

(d'après Beuchat, 1996<sup>26</sup>)

#### 4.2.2. Risques chimiques

Ces risques, contrairement aux risques micro biologiques, ne sont pas des risques immédiats mais des risques potentiels liés à l'accumulation à long terme, la vie durant, de petites quantités de contaminants dont certains sont présents dans les sols à l'état naturel, comme les métaux. Parmi les composés réglementés, on distingue les éléments traces métalliques (arsenic, cadmium, chrome, nickel, plomb, zinc, mercure, sélénium) et les contaminants organiques (benzo(a)pyrène, phtalates, PCB, dioxines...).

#### 4.2.2.1. Risques liés à la présence d'éléments traces métalliques (ETM)

La surcharge des eaux usées urbaines en éléments traces métalliques est due au déversement de toute une série de déchets dans le tout à l'égout. Ils proviennent des *féces* (zinc, cuivre, plomb, Ni, cadmium), des produits cosmétiques, médicaux et de nettoyage, de la corrosion des conduites d'eau individuelles et collectives (cuivre, plomb), du ruissellement des eaux pluviales sur les toitures et les chaussées (plomb, zinc, nickel) et plus généralement des rejets d'activités commerciales, artisanales et industrielles.

Dans les zones d'activités industrielles, les apports au sol et aux plantes d'ETM d'origine atmosphériques ne sont pas négligeables, car les contaminants se déposent directement à la surface des plantes. Elles sont principalement issues de l'activité industrielle, de l'incinération des ordures ménagères et de l'utilisation des combustibles fossiles. Ces retombées représentent l'essentiel de la source d'ETM en zone urbaine. (Tableau 14)

**Tableau 14 : Contribution des différentes sources à l'enrichissement moyen annuel des terres émergées en ETM**

| Source                          | Cuivre     | Zinc       | Cadmium   | Plomb      |
|---------------------------------|------------|------------|-----------|------------|
| <b>Total (10<sup>3</sup> t)</b> | 216        | 760        | 20        | 382        |
| <b>Déchets agricoles</b>        | 55%        | 61%        | 20%       | 12%        |
| <b>Déchets urbains</b>          | <b>28%</b> | <b>20%</b> | <b>2%</b> | <b>19%</b> |
| <b>Engrais</b>                  | 1%         | 1%         | 38%       | 10%        |
| <b>Retombées atmosphériques</b> | 16%        | 18%        | 40%       | 68%        |

(D'après Feix et Wyart 1998<sup>27</sup>)

Les éléments traces métalliques sont naturellement présents dans le sol et certains (oligo-éléments) sont même indispensables aux plantes. Des expérimentations de longue durée en France et en Angleterre<sup>28 29</sup> ont permis de montrer que les taux de transfert des ETM du sol vers les végétaux étudiés sont inférieurs à 1% des quantités apportées sur les sols<sup>30</sup>.

Cependant, la teneur en certains éléments dans les boues peut être élevée, et des apports répétés de boues par épandage pourraient à long terme entraîner des accumulations incompatibles avec la qualité des cultures. De plus, les plantes à croissance rapide comme les cultures légumières (laitue, épinard, carotte) accumulent particulièrement certains métaux, ce qui justifie que les boues ne puissent être épandues sur ce type de culture.<sup>31</sup>

Il existe une politique très rigoureuse de contrôle des rejets qui permet de produire des boues de faibles teneurs en ETM.

Par ailleurs la connaissance scientifique des effets de différentes teneurs en ETM sur les plantes et sur leur valeur alimentaire est en évolution constante. Elle sert de base pour définir les normes réglementaires applicables à l'épandage depuis son origine.

L'influence de la consommation alimentaire et celle du tabac<sup>32</sup> occupent une place importante dans l'accumulation du cadmium dans l'organisme humain (reins principalement). Différentes études épidémiologiques ont montré une cadmiurie relativement élevée chez différentes populations japonaises, anglaises, belges et hollandaises vivant dans des zones où la pollution environnementale par le cadmium due à l'activité minière ou de la métallurgie des non-ferreux est forte.

Une étude effectuée en Grande Bretagne<sup>33</sup>, a montré une cadmiurie élevée chez des sujets de 40 à 89 ans, non-fumeurs et sans exposition professionnelle, mais consommant des légumes provenant presque exclusivement de jardins potagers aux sols fortement contaminés par des rejets industriels (teneurs moyenne en cadmium de 1,99 à 30,8 mg/kg). Ces indices de surexposition ne sont pas systématiquement retrouvés. Ainsi, en dépit d'une contamination élevée du sol et des végétaux par le zinc et le cadmium sur le site de l'ancienne fonderie de plomb/zinc de Stolberg (Allemagne), aucune différence de charge corporelle de cadmium n'a été trouvée entre les consommateurs et non-consommateurs de fruits et légumes produits localement<sup>34</sup>.



Les études épidémiologiques concernant les sols soumis à l'épandage de boues sont très rares. En Allemagne, une enquête a néanmoins mis en évidence, chez un groupe de 130 sujets utilisant d'anciens champs d'épandage comme jardins potagers, une corrélation entre la concentration en cadmium du sol et la cadmiurie<sup>35</sup>. Ainsi la consommation (autoconsommation) de végétaux provenant de sols à fortes teneurs en ETM constitue un risque pour les populations.

**Il n'y a toutefois et pour l'instant aucune enquête épidémiologique mettant en évidence une augmentation de pathologie spécifique en relation avec un niveau de consommation élevé de végétaux cultivés sur des sols ayant reçus des boues. Pour la population générale, le risque est limité par la multiplicité géographique des sources d'approvisionnement.**

#### **4.2.2.2. Conséquences pour la santé humaine**

De nombreuses données concernant les effets de certains éléments trace métalliques ont été développés par le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (Tableau 15)<sup>36</sup>.

L'ingestion de plomb, mercure, cadmium peut entraîner des risques pour la santé. Ces risques ont été établis à partir de données expérimentales d'une part et épidémiologiques d'autre part. Pour interpréter l'évaluation de ce risque, plusieurs éléments sont à prendre en compte tels que le niveau de contamination alimentaire, la durée d'exposition, l'estimation des quantités ingérées et les valeurs limites d'exposition que constituent les doses hebdomadaires tolérables à long terme (DHTP). Il faut aussi tenir compte de données métaboliques telles que le site de stockage (foie, tissu adipeux, système nerveux) ou la perte de poids de l'individu (lors d'un amaigrissement les quantités biodisponibles peuvent augmenter et être secondairement sources potentielles de risque accru).

En outre, pour les métaux lourds tels que plomb, mercure, cadmium, aluminium, comme pour d'autres éléments nutritionnels (vitamine A ou D) ou toxiques (xenobiotiques...), la marge de sécurité entre les doses potentiellement toxiques et les doses tolérables est limitée.

Le tableau suivant représente une synthèse simplifiée des effets toxiques tels qu'observés à partir de données expérimentales chez l'homme et chez l'animal et épidémiologique chez l'homme dans des conditions d'exposition susceptibles d'induire ces effets. Il doit être interprété selon le contexte : en particulier la présence de ces métaux lourds dans des aliments ingérés ne suffit pas à entraîner l'apparition d'un effet, mais mérite considération en fonction de l'ensemble des données toxicologiques.

**Tableau 15 : Effets toxiques de certains ETM chez l'animal et l'homme**

| Type de toxicité                      | Plomb                   | Cadmium              | Mercure |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------|---------|
| Hématologique                         | +                       |                      |         |
| Neurologique et neuro-comportementale | +                       |                      | +       |
| Cardiovasculaire                      | +                       | +                    | +       |
| Osseuse                               | +                       | +                    |         |
| Rénale                                | +                       | +                    | +       |
| Reproduction et développement         |                         | +                    | +/-     |
| Cancérogène et mutagène               | +/-<br>(co-cancérogène) | +/-<br>(+ si inhalé) | +/-     |

(d'après le CSHPF ; 1996)

## Niveau de contamination alimentaire (Tableau 16)

Les données de répartition des éléments traces dans les plantes sont encore trop fragmentaires pour être utilisées dans l'évaluation de l'exposition humaine. Les différentes parties d'une plante n'accumulent pas les éléments traces métalliques de la même manière<sup>37</sup>. Cette distinction est importante en vue de l'exposition humaine qui est obligatoirement associée à la partie comestible de la plante. De plus, une proportion importante des ETM est éliminée lors de la préparation culinaire (pelage, lavage, cuisson).

Les animaux constituent un maillon important dans la chaîne alimentaire, d'une part en raison de leur capacité métabolique à accumuler les métaux dans certains organes (foie, reins), et d'autre part en raison du passage des éléments dans le lait où ils peuvent être concentrés<sup>38</sup>. Ces bio-accumulations s'observent également chez les poissons et les mollusques bivalves (moules, huîtres).

L'ingestion des denrées d'origine végétale (fruits, légumes et céréales) constitue la principale source d'accumulation de plomb et de cadmium chez l'homme (figures 2 et 3). Les données concernant la contamination par le cadmium et par le plomb des fruits sont rares, et peu représentatives car elles portent sur des échantillons limités. **D'une manière générale, les fruits et légumes -fruits présentent de faibles teneurs en ETM, contrairement aux tiges, aux feuilles et aux racines.** Ainsi la valeur médiane de 242 échantillons de 37 espèces de fruits de la production hollandaise ou d'importation atteint 2 µg/kg pour le cadmium, 17 µg/kg pour le plomb, 2 µg/kg pour le mercure<sup>39</sup>. Les baies (framboises et fraises) semblent présenter des teneurs moyenne en plomb et en cadmium plus élevées (respectivement 100 µg/kg et 20 µg/kg) que les pommes et les poires<sup>40</sup>. Peu d'études ont été consacrées à l'évaluation de l'impact de l'épandage de boues sur le teneur en ETM des fruits, à l'exception des pommes et du raisin<sup>41 42</sup>.

Figure 2 : Rôle des différentes familles d'aliments dans l'apport alimentaire journalier de plomb en France.<sup>43</sup>

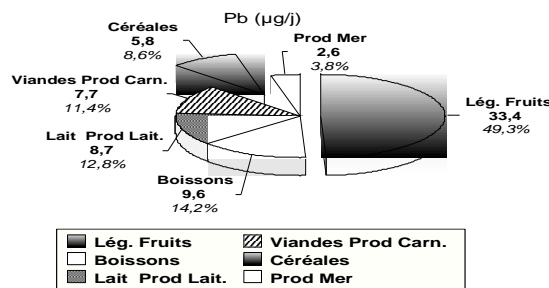
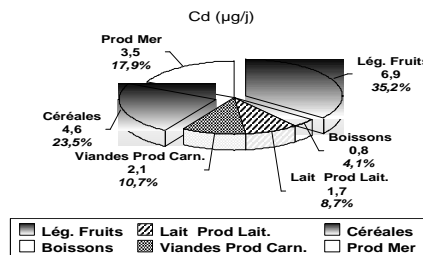


Figure 3 : Rôle des différentes familles d'aliments dans l'apport alimentaire journalier de cadmium en France.<sup>43</sup>



**Tableau 16 : Teneurs moyennes en métaux lourds de différents groupes d'aliments (µg/kg ou µg/l)**

| Groupes                   | Sous-Groupes              | Plomb | Cadmium | Mercuré |
|---------------------------|---------------------------|-------|---------|---------|
| <b>Produits de la mer</b> | Poissons                  | 77,8  | 26,5    | 155     |
|                           | Huîtres                   | 126,6 | 811,3   | 26,1    |
|                           | Moules                    | 263,6 | 1562,5  | 23      |
|                           | Autres                    | 151   | 235     | 33      |
| <b>Produits carnés</b>    | Viandes                   | 61,6  | 12      | 8,6     |
|                           | Foie                      | 110,1 | 133,8   | 8,6     |
|                           | Rognons                   | 506,7 | 241,2   | 10,6    |
|                           | Charcuterie               | 29,8  | 11,3    | 11,3    |
| <b>Légumes et fruits</b>  | Légumes feuilles          | 88,6  | 27      | 6,75    |
|                           | Légumes racines           | 41,5  | 14,6    | 6,1     |
|                           | Pomme de terre            | 46,7  | 23      | 8       |
|                           | Légumes (autres)          | 108   | 31,9    | 22,2    |
|                           | Fruits                    | 99,9  | 4,27    | 7,6     |
| <b>Boissons</b>           | Vins                      | 69    | 5,8     | 2,5     |
|                           | Jus de fruits             | 29,2  | 2,8     | 2,8     |
|                           | Boissons gazeuses         | 5,4   | 2,6     | 5,2     |
|                           | Bière                     | 4,6   | 2,6     | 2,6     |
|                           | Cidre                     | 15,2  | 2,8     | 3       |
| <b>Céréales</b>           | Pain (blé)                | 31    | 29,1    | 13,4    |
|                           | Pain (autres)             | 31,5  | 34,7    | 16,3    |
|                           | Céréales (petit déjeuner) | 46,2  | 6,9     | 15,4    |
| <b>Produits laitiers</b>  | Lait                      | 13,5  | 3       | 3,5     |
|                           | Fromages et yaourts       | 28,6  | 5       | 6       |
|                           | Beurre et crème           | 35    | 4,5     | 6,7     |

(D'après « La diagonale des métaux » Étude sur la teneur en métaux de l'alimentation. Ministère de la Santé Publique et de l'Assurance Maladie. Direction Général de la Santé. Ed. ADHEB. 1995)

#### **Estimation des quantités d'éléments traces métalliques ingérées (Tableau 17)**

Ces quantités varient de manière très significative selon :

- les éléments traces considérés
- les méthodes d'estimation : panier de la ménagère, régime ou repas dupliqués
- les auteurs et les pays : habitudes alimentaires, nature des sols, degré de contamination, variétés
- la sensibilité et la qualité des méthodes analytiques.

**Tableau 17 : Apport alimentaire de plomb et de cadmium dans différents pays depuis 1990**

| Pays             | Année | Type d'étude | Plomb( $\mu\text{g}/\text{j}$ ) | Cadmium |
|------------------|-------|--------------|---------------------------------|---------|
| Canada           | 1995  | PM           | 24                              | 24      |
| Espagne          | 1995  | PM           | -                               | 16-29   |
|                  | 1996  | PM           | 39                              | -       |
| Etats Unis       | 1996  | PM           | 15                              | 15      |
| Finlande         | 1991  | RD           | 18                              | -       |
| France           | 1992  | RD           | 73                              | 23      |
|                  | 1998  | PM           | 68                              | 20      |
| Hollande         | 1996  | PM           | 10-32                           | 10      |
| Nouvelle Zélande | 1995  | TD           | 33                              | 28      |
| Royaume Uni      | 1994  | PM           | 24                              | 14      |
|                  | 1997  | PM           | 26                              | 12      |
| Suède            | 1990  | RD           | 26                              | -       |

PM = Analyse du panier de la ménagère

RD = Analyse du régime dupliqué

TD = Analyse du régime total

### Définition des valeurs seuils

Les valeurs limites de contamination définies pour les divers types d'aliments doivent être compatibles avec les DHTP pour chacun des éléments. Le respect de ces valeurs par le producteur est extrêmement important pour que ces produits puissent être commercialisés. Pour ce faire, la maîtrise, en amont, des phénomènes de contamination des récoltes tels que le transfert sol-plante ou encore la bio-disponibilité est primordiale.

Certaines espèces végétales présentent une capacité accumulative supérieure à d'autres (Tableau 18).

**Tableau 18 : Aptitude à l'accumulation des micro polluants métalliques par différentes espèces végétales**

| Aptitude à l'accumulation | Eléments | Espèces végétales                 |
|---------------------------|----------|-----------------------------------|
| <b>Très faible</b>        | Cadmium  | Céréales, maïs, pomme de terre    |
|                           | Plomb    | Toutes espèces                    |
| <b>Faible</b>             | Cadmium  | Betterave, poireau                |
|                           | Cuivre   | Pomme de terre, chou vert épinard |
| <b>Moyenne</b>            | Cadmium  | Chou                              |
|                           | Cuivre   | Laitue, betterave                 |
| <b>Forte</b>              | Cadmium  | Carotte, laitue, épinard, céleri  |
|                           | Cuivre   | Carotte                           |

D'après Sauerbeck et Styperek, 1988<sup>44</sup>

### **4.2.2.3. Risques liés à la présence de composés traces organiques (CTO)**

Les composés traces organiques sont des produits chimiques (hydrocarbures, détergents, restes de peintures et de solvants, produits de nettoyage ou de désinfection...) qui sont plus ou moins dégradés par l'activité micro biologique du sol. Cependant, au même titre que les ETM, les CTO peuvent à haute dose, devenir toxiques pour les microorganismes des sols. Ils sont néanmoins indispensables à leur fertilité.

Les boues résiduaires épandues sur un sol ne sont pas la seule source de CTO<sup>45</sup> ; les précipitations atmosphériques et les engrais de ferme en sont d'autres sources potentielles.

Il existe peu de données sur la teneur en CTO des boues. Différents CTO ont été détectés dans les boues. La réglementation a retenu comme indicateur deux composés résistants à la biodégradation :

- Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAPs). Ces composés sont formés lors de la combustion des carburants (voiture, avions, etc) ou du chauffage. La principale voie de contamination des sols provient des retombées atmosphériques. Cependant le lessivage des chaussées par les eaux pluviales peut en constituer une source. Leur toxicité est très variable, sept d'entre eux étant particulièrement cancérigènes ; le benzo(a)pyrène en est le plus répandu. Cependant ils sont souvent peu biodisponibles en raison de leur faible solubilité dans l'eau.
- Les Polychlorobiphényles (PCB) sont des hydrocarbures aromatiques polycycliques chlorés, tous connus comme cancérigènes. Ces produits ne sont plus fabriqués en France depuis 1997. Les PCB sont des substances huileuses ou solides, utilisées dans les circuits fermés de transformateurs ou comme plastifiants dans certaines résines ou encore comme fluides hydrauliques parfois en circuit semi-ouvert (extraction minière par exemple). Cependant ils sont persistants et peuvent faire craindre une accumulation. Au niveau réglementaire, des concentrations limites sont définies dans les boues.

Comparativement aux effluents<sup>46</sup> industriels, les eaux résiduaires urbaines contiennent des teneurs potentielles de CTO beaucoup plus faibles sauf dans le cas des détergents.

Des expérimentations ont montré que les HAPs et PCB apportés par les boues ne passent pratiquement pas du sol vers les plantes (<1%)<sup>46 47</sup>. De plus les CTO se dégradent dans le sol à des vitesses variables et n'ont pas donc pas un flux cumulatif. Seule l'ingestion directe de boues par les animaux ou l'homme (jeunes enfants par exemple) s'avère capable d'assurer la contamination. Ces conditions correspondent alors à des cas particuliers de faible probabilité.

Cependant, l'animal pouvant se contaminer par ingestion directe (épandage sur pâturages), les risques de contamination humaine par consommation de produits animaux, riches en graisses (viandes, lait) existent pour les composés traces qui ont tendance à s'accumuler dans les graisses animales.

### **4.2.3. Risques professionnels**

Les activités de collecte et d'épuration des eaux usées concernent environ 50000 personnes en France<sup>48</sup>. Le travail au contact des eaux usées expose le personnel à des microorganismes d'origine essentiellement fécale.

La réalité du risque est fonction de l'existence d'un risque potentiel (risque théorique qui résulte du contenu des eaux usées, des caractères biologiques des microorganismes et des données épidémiologiques des maladies infectieuses), des caractéristiques de l'exposition aux eaux usées et de facteurs propres à l'individu qui déterminent le risque de transmission et la réponse de l'organisme à la contamination par le germe.

Différentes études épidémiologiques suggèrent un risque professionnel d'infections intestinales parasitaires chez le professionnel en contact des eaux usées en France (essentiellement des égoutiers)<sup>49</sup>, ainsi qu'un risque d'hépatite virale A.

#### **4.2.3.1. Voies de contamination :**

- Par contact cutané ou muqueux lors de la manipulation d'équipements (gants, vêtements, bottes...) souillés par des eaux usées. La contamination est aussi possible lorsque le professionnel mange ou fume sans s'être lavé les mains auparavant. Il peut également recevoir des projections au niveau du visage (conjonctives, muqueuses buccales et nasales).
- Par inhalation de composés volatils et gazeux émis par la décharge :

Quelques microorganismes contenus dans les boues sont capables de convertir des métaux (mercure) en leurs formes volatiles<sup>50</sup>.

Les composés organiques peuvent se dégrader en des sous produits volatils ; le risque d'inhalation pour les travailleurs dépend de la possibilité de ces composés à se concentrer dans l'atmosphère ambiante dans des locaux de compostage fermés non aérés<sup>51</sup>.

La contamination par les microorganismes contenus dans les eaux usées peut également se réaliser par l'intermédiaire d'aérosols lors de d'inhalation des gouttelettes<sup>52</sup>. Ces aérosols peuvent se produire surtout lors des manœuvres d'hydrocurage des collecteurs, et en station d'épuration lors des processus de traitement et d'évacuation des boues ainsi qu'au dessus des bassins d'aération.

#### **4.2.3.2. Maîtrise des risques**

Les travailleurs des sites de stations d'épuration sont en contact avec les produits bruts avant hygiénisation et peuvent par conséquent être exposés aux pathogènes . Les mesures prophylactiques spécifiques telles que la vaccination<sup>48</sup>, et les différents moyens de protection non spécifiques reposant sur le port de gants, de masques anti-aérosols, et de vêtements de protection ainsi que le respect des règles d'hygiène et des consignes de sécurité constituent des mesures satisfaisantes de protection. L'application de ces mesures reposent sur l'information permanente du professionnel, et l'aménagement des vestiaires et des installations sanitaires et sur l'entretien de ces équipements. La vaccination, arme efficace contre différents microorganismes, ne doit en aucune façon faire négliger les efforts à développer pour informer le personnel et le sensibiliser au respect des règles d'hygiène et des consignes de sécurité.

La prévention des risques biologiques en milieu de travail est prise en compte de manière spécifique dans le Code du Travail depuis la publication du décret n°94-353 du 4 mai 1994, en application de la Directive CEE n°90-679 modifiée par la Directive CE E n°93-88. Ce décret précise notamment que les vaccinations appropriées sont recommandées et prises en charge par l'employeur sur proposition du médecin du travail.

L'application des précautions d'usage recommandées par le CSHPF et reprises par la réglementation permettent de maîtriser les risques pathogènes. De même, les valeurs limites pour les ETM et pour les CTO fixés par ces instances, pour l'épandage des boues urbaines, permettent de réduire le risque résiduel dû aux métaux et aux composés organiques. La réglementation fixe en outre des prescriptions plus strictes en cas d'épandage sur sol réservé aux pâturages, principal risque de contamination.

### **4.3. Risques environnementaux**

Jusqu'à tout récemment, la plupart des études sur la dynamique des éléments traces métalliques apportés par épandage de boues dans les sols, avait pour objectif les transferts sol / plante et pour finalité les risques de contamination de la chaîne alimentaire. C'est pourquoi on dispose de peu de données publiées.

Pour évaluer les conséquences sanitaires chez l'homme de l'accumulation des polluants dans les sols à moyen et long terme, il est important d'identifier les différentes voies de dispersion de ces contaminants et de pouvoir quantifier leur transfert d'un compartiment à l'autre (boue, sol, micro-organismes du sol, végétal, animal domestique, etc.). L'agence américaine de protection de l'environnement (EPA) prend en compte 14 voies d'exposition (réf EPA) :

- Transfert sol / animal : L'accumulation à la surface du sol d'éléments résultant de l'application de boues peut représenter un risque de contamination directe de la chaîne alimentaire lors du pâturage. Les animaux absorbent souvent un mélange de terre et d'herbe.
- Transferts sol / atmosphère : Certains microorganismes anaérobies présents dans le sol et les boues sont capables de réduire certains éléments traces métalliques (sélénium, mercure) en des formes volatiles qui peuvent être directement fixés par la partie aérienne des végétaux couvrant le sol.

**La pratique de l'épandage des boues urbaines en agriculture est la seule pratique soumise à des analyses de sol avant épandage.** Il est intéressant de noter que d'autres pratiques agricoles (épandage d'effluents d'élevage), ne sont pas soumises aux mêmes mesures.

#### **4.3.1. Modification écologique microbienne du sol**

Les études établies ne permettent pas encore de tirer de conclusions générales car les conditions expérimentales sont extrêmement variables. McGrath et al<sup>53</sup> ont mis en évidence des effets négatifs sur différents microorganismes pour des teneurs en éléments traces très faibles.

#### **4.3.2. Modification de la composition du sol**

La nature des matériaux auxquels sont associés les ETM dans les boues joue un rôle important sur leur devenir dans le sol. En effet, les métaux peuvent demeurer inclus dans les matériaux constitutifs de la boue et donc rester fortement liés à cette dernière longtemps après son épandage sur les sols, réduisant ainsi les possibilités de transfert entre les compartiments du sol, entre le sol et les organismes vivants, et entre le sol et la nappe phréatique<sup>54</sup>.

**La mobilité des ETM entre les différentes phases du sol est très variable. On distingue :**

- les éléments fortement biodisponibles  $\Rightarrow$  zinc, cadmium, thalium (facteur de transfert de 1 à 10)
- les éléments moyennement biodisponibles  $\Rightarrow$  cuivre, nickel (facteur de transfert 0,1 à 1)
- les éléments faiblement biodisponibles  $\Rightarrow$  plomb, mercure, cobalt, chrome, sélénium, arsenic (facteur de transfert 0,01 à 0,1).

**Elle dépend aussi de différents facteurs tels que :**

- Le pH du sol : c'est un facteur déterminant dans la mobilité des métaux. D'une manière générale, un abaissement du pH favorise la mobilité des ETM. Actuellement, il semble que le contrôle du pH soit l'une des rares voies de contrôle de la mobilité des métaux. Le Ministère fixe la limite inférieure d'autorisation d'épandage à pH 6 (arrêté du 8/01/1998).
- Le potentiel d'oxydoréduction : le degré d'aération du sol est déterminé par les pratiques culturales (irrigation, tassement, apport de matière organique biodégradable<sup>a</sup> donc consommatrice d'oxygène) et par les événements climatiques. L'ensemble de ces facteurs favorise l'anoxie qui agit sur la mobilité de certains métaux dont les formes réduites sont plus mobiles dans le sol que les formes oxydées.
- La température et l'humidité du sol.
- L'apport de matière organique : La présence de matière organique permet la complexation et le piégeage des ETM du sol, ce qui entraîne une diminution de la biodisponibilité des métaux. Les ETM présentent alors peu de risques pour l'environnement. Cependant, une minéralisation de la matière organique, ainsi que des modifications des conditions de pH du sol sont susceptibles d'entraîner une déstabilisation des complexes formés et donc une libération des ETM. La mobilisation par la matière organique est donc temporaire, mais peut cependant durer pendant un laps de temps relativement long. Il est important de noter que dans le cas des ETM, la situation n'est pas un état figé et peut évoluer en fonction des modifications physico-chimique et biologique du sol<sup>55</sup>.

La plupart des expériences menées à long terme montrent que les métaux et particulièrement le zinc, le cadmium, le cuivre et le plomb, sont généralement retenus au niveau de l'horizon de surface du sol (0-15 cm). Des études ont montré que les fractions fines du sol sont les plus riches en ETM. Il n'a pas été noté d'augmentation de la teneurs en ETM dans les couches de profondeur supérieure à 30 cm<sup>56 57 58</sup>.

Il est à noter que lorsque les doses d'épandage restent modestes (grâce au raisonnement agronomique) et que les boues épandues sont de qualité (teneurs en ETM inférieures à celles de référence), il est rare de constater une augmentation de la teneur en ETM dans les sols. Des études menées par l'INRA de Versailles ont montré qu'il n'y avait pas de différences entre les teneurs en ETM du sol avant et après épandage de boues d'épuration, quelle que soit la fraction du sol étudiée (à paraître).

#### **4.3.3. Retentissement sur la physiologie du végétal :**

Les études menées sur les plantes mettent en évidence l'absence de phytotoxicité et d'inhibition de la croissance des espèces végétales étant données les faibles teneurs en ETM des boues. L'apport de boues d'épandage est le plus souvent bénéfique aux plantes. Il est cependant difficile de tirer des conclusions générales quant à l'éventuel impact des ETM sur la physiologie des plantes, car la concentration des métaux dans les plantes dépend à la fois de l'espèce végétale considérée et du métal. De plus les résultats obtenus par les différents auteurs sont parfois contradictoires.

Des études ont montré que le cuivre et le zinc avaient tendance à s'accumuler préférentiellement au niveau des feuilles plutôt qu'au niveau des racines et de la tige. Cela montre donc que selon le type de végétaux (céréales, fruits ou légumes) les risques potentiels sont très différents. Le plomb quant à lui ne s'accumulerait dans aucun des organes des plantes<sup>57</sup>. Les taux de transfert des ETM du sol vers les plantes dépend essentiellement du type de sol (texture, nature, richesse en matière organique) et de son pH.

Même si la plus grande menace pour les espèces végétales semble être la mobilisation du zinc présent dans les boues d'épandage, aucun effet négatif d'un excès de zinc dans les végétaux n'a été mis en évidence. Certains auteurs ont montré qu'il existe des effets de synergie entre le cuivre et le manganèse d'une part et entre le zinc et le calcium d'autre part.

De nombreuses études sont encore en cours de réalisation, suite à l'intérêt croissant de la valorisation agricole des boues de station d'épuration.

Le cadmium est considéré comme l'un des plus dangereux métaux pour l'environnement<sup>59</sup> du fait de sa forte mobilité. Le cadmium peut aussi induire un déséquilibre nutritionnel<sup>60</sup>, ainsi que des modifications physiologiques et morphologiques de la plante<sup>61</sup>.

Dix-sept études pilotes sur le terrain qui ont été réalisées - ou en cours de réalisation - en France, devraient permettre de combler les lacunes pour ce qui concerne le point du transfert des éléments traces à partir de sols amendés, livrant des données qui faciliteront le choix par le producteur, des espèces végétales susceptibles d'être cultivées, et de celles qui ne pourront l'être, compte tenu des caractéristiques du sol et de la qualité des boues.

#### **4.3.4. Risque de contamination des nappes phréatiques et des eaux superficielles**

D'un point de vue général, le relargage des ETM vers le compartiment aquatique est faible ; le passage du sol vers l'eau par gravitation est limité<sup>62</sup>.

L'entraînement des éléments traces métalliques sous forme soluble est relativement limité et dépend surtout du pH et de la teneur en matière organique<sup>55</sup>. Les risques de contamination des nappes phréatiques découlent principalement de la minéralisation de la matière organique susceptible d'entraîner un relargage des métaux sous forme soluble. Mais ce risques, bien qu'existant, restent limités.

Par contre la contamination des eaux superficielles est plus importante à cause du transfert des ETM liés à la fraction fine du sol lors du drainage des cultures, des phénomènes d'érosion ou des événements pluvieux. Les particules chargées en éléments traces métalliques peuvent alors sédimenter et contaminer les espèces vivant dans ce compartiment, ou être absorbées telles quelles par les organismes aquatiques.

#### **4.3.5. Contamination atmosphérique**

Il existe à l'heure actuelle peu d'études concernant les risques de contamination atmosphériques suite à l'utilisation de boues d'épandage, le compartiment aérien étant celui qui reste encore le moins étudié.

Des métaux comme le mercure ou l'arsenic peuvent se volatiliser directement dans l'atmosphère, mais comme ce sont des éléments peu biodisponibles avec des facteurs de transfert faibles, les risques de contamination directe de l'atmosphère sont faibles.

## **5. Recommandations du CSHPF<sup>63</sup>**

L'épandage des boues d'épuration fait l'objet de recommandations vis -à -vis des trois principaux types de contaminants : biologiques, éléments traces, composés traces organiques.



## 5.1. Recommandations vis -à -vis des contaminants biologiques.

### 5.1.1. Boues traitées et hygiénisées

Les boues traitées et hygiénisées peuvent être épandues sans aucune restriction d'usage.

Néanmoins, la vérification du critère de conformité (recherches de *Salmonella*, entérovirus, œufs d'helminthes) est réalisée uniquement au cours de la phase d'étude d'un procédé en vue de l'agrément du système ou lors de la phase de réception d'une installation nouvelle. Seul un contrôle simple (recherche des coliformes thermotolérants) est effectué au moment de l'usage afin d'évaluer les phénomènes de recroissance ou de recontamination. Le producteur de fruits et légumes exigera avant tout épandage les résultats des analyses et les méthodes d'hygiénisation utilisées.

### 5.1.2. Boues traitées non hygiénisées

Ces boues sont utilisées avec restriction d'usage et font l'objet de recommandations ou bonnes pratiques. (Tableau 19)

**Tableau 19 : Domaine d'application de l'hygiénisation vis - à -vis des usages de la boue et produits dérivés**

| Types d'usage  | Boues traitées non hygiénisées | Boues traitées et hygiénisées |
|--|--------------------------------|-------------------------------|
| Cultures maraîchères, produits végétaux consommés crus et /ou en contact avec le sol |                                | +                             |
| <u>Vergers, viticulture :</u>  |                                |                               |
| fruits ne se développant pas sur arbres ou arbustes (fraises, framboises...)         |                                | +                             |
| -----  |                                |                               |
| arbres fruitiers (pomme, pêche...)   | +                              | ±                             |
| -----  |                                |                               |
| vignes   | +                              | ±                             |
| Terrains de sport ou de loisirs  |                                | +                             |
| <u>Forêts :</u>  |                                |                               |
| -----  |                                |                               |
| Forêt -loisir  |                                | +                             |
| -----  |                                |                               |
| Sylviculture   | +                              | ±                             |
| -----  |                                |                               |
| Taillis courte rotation  | +                              | ±                             |
| Terres labourées (grandes cultures)  | +                              | ±                             |
| <u>Productions fourragères :</u>   |                                |                               |
| Pâturage   | +                              | ±                             |
| -----  |                                |                               |
| Ensilage   | +                              | ±                             |
| -----  |                                |                               |
| zéro pâturage  | +                              | ±                             |
| -----  |                                |                               |
| foin   | +                              | ±                             |
| <u>Végétalisation :</u>  |                                |                               |
| -----  |                                |                               |
| espaces verts  |                                | +                             |
| -----  |                                |                               |
| pistes de ski, talus routiers, sol après incendie                                    | +                              | ±                             |

## **5.2. Recommandations vis -à -vis des éléments traces métalliques**

Dans la mesure où les ETM apportés au sol s'accumulent ou sont à nouveau recyclés dans le milieu, à long terme, seule leur élimination à la source permet de les soustraire de ce cycle.

Le producteur de fruits et légumes exigera les résultats d'analyse avant toute décision d'épandage. Pour les espèces ayant tendance à accumuler des ETM dans les organes destinés à la consommation humaine (Tableau 16), il est conseillé de ne pas épandre de boues si les garanties ne sont pas disponibles.

## **5.3. Recommandations vis -à -vis des composés traces organiques**

La présence des CTO dans les boues d'épuration urbaines est liée à la capacité du tri sélectif de nos déchets domestiques.

Le producteur de fruits et légumes exigera les résultats d'analyse avant toute décision d'épandage

En outre le CSHPF a émis des réserves concernant l'ensemble des contaminants pouvant être amenés par l'épandage de boues ou de produits dérivés sur des terrains à usage agricole ou de loisir, en forêt, sur les sols reconstitués ou revégétalisés.

### **5.3.1. Les contraintes d'usage émises par le CSHPF**

- Seules les boues traitées et hygiénisées peuvent être épandues sur les champs de culture de produits maraîchers, et des produits consommés crus et en contact du sol.
- L'épandage de boues non hygiénisées interdit l'utilisation de ces terres pour les activités citées précédemment et ce pendant 12 mois.
- Les boues non hygiénisées sont totalement déconseillées pour l'épandage. Si tel est le cas, il est nécessaire de veiller à leur enfouissement dans les 24 heures suivant l'épandage tout en respectant les contraintes d'usage.
- Tenir compte de la mobilité et de la bio-disponibilité des ETM apportés par les boues et ceux naturellement présents dans le sol.
- L'épandage est permis si le pH est  $\geq 6$ .
- Respecter les flux maximum admissibles et les teneurs limites définies qui doivent être révisées actuellement.

Il est nécessaire de respecter simultanément ces réserves, les contraintes d'usage définies en annexe 2 du rapport du CSHPF<sup>63</sup>, d'effectuer des contrôles permanents des nuisances olfactives et de centraliser les résultats des divers suivis analytiques qui sont effectués sur les boues, les sols ou les récoltes.

### **5.3.2. Les conditions d'utilisation des boues autorisées pour l'épandage**

- Mettre en place une organisation d'épandage qui commence chez le producteur de boues par un contrôle du bon fonctionnement des procédés d'épuration. Chaque épandage fait l'objet d'un plan d'épandage.
- Porter des vêtements spécifiques lors de l'épandage, utiliser des gants de travail et des masques pour se protéger des aérosols. Laver le matériel d'épandage en fin de journée.
- Utiliser des dispositifs étanches pour tout stockage de boues et pour assurer leur transport. Les aires de soutirage ou de chargement doivent être faciles à nettoyer. Un stockage, en tête de parcelle et de courte durée (maximum 4 semaines pour les boues pâteuses), est autorisé si des précautions ont été prises pour éviter les écoulements de boues ou de lixiviats dans le milieu naturel. Les distances minimales avec les ressources en eau sont à respecter. Pour les boues non hygiénisées, la localisation des stockages temporaires doit respecter une distance de 100 mètres avec les habitations.

### **5.3.3. Les conditions générales des matériels d'épandage**

Les matériels utilisés doivent être parfaitement étanches, régulièrement entretenus et lavés. Afin de réduire la production d'odeurs et d'aérosols tout en améliorant la précision des épandages, certains dispositifs sont conseillés en fonction de la nature des boues (Tableau 20).

**Tableau 20 : Méthodes d'épandage des boues**

|  |   |
|--|---|
| <b>Boues liquides</b>  | - Tonnes à lisier ou appareils automoteurs avec dispositifs d'épandage localisés au ras du sol rampe d'épandage classique ou équipée d'un dispositif basse pression avec pendillards ou avec enfouissement direct |
| <b>Boues pâteuses</b>  | - Appareils de dispositifs d'épandage à plateaux surbaissés limitant les projections de boues en hauteur  |
| <b>Boues solides</b>   | - Epandeurs équipés de dispositifs d'émiettement et de tables d'épandage afin d'assurer le fractionnement et la dispersion de la boue   |
| Le recours à des dispositifs d'épandage localisé amenant la boue directement au pied des végétaux est à préconiser pour tout épandage sur des cultures en place (culture pérennes ou annuelles) .<br>Pour les cultures pérennes, le matériel utilisé doit éviter toute projection. |   |

### **5.3.4. Les recommandations générales en vue de la protection des ressources en eau**

Un diagnostic hydrogéologique et pédologique est obligatoirement inclus dans l'étude de mise place du plan d'épandage afin de déterminer l'aptitude des sols à l'épandage.

#### **5.3.4.1. L'épandage est interdit :**

- à moins de 35 mètres des points d'eau apparents ou souterrains destinés à l'alimentation humaine ou à l'arrosage des cultures maraîchères
- à moins de 200m des lieux de baignade
- en dehors des terres régulièrement exploitées
- pendant les périodes de gel ou d'enneigement
- lorsque le sol est saturé d'eau
- si la pente du terrain est > 7%
- si la nappe phréatique est à une profondeur < 1 mètre
- interdiction d'épandre des boues liquides sur terrains situés à moins de 200 mètres des cours d'eau, des puits et des forages.

### **5.3.5. Les recommandations particulières pour l'utilisation des boues sur certaines cultures**

#### **5.3.5.1. Sur cultures maraîchères et fruitières**

- Interdiction d'épandage de boues non hygiénisées dans un délai de 18 mois sur cultures en contact du sol
- Epandage autorisé si les cultures ne sont pas en contact avec le sol ou si elles sont destinées à être consommées cuites (pommes de terre)
- Epandage autorisé si les boues sont hygiénisées.

#### **5.3.5.2. Sur cultures fourragères**

L'épandage est autorisé sur herbe rase, immédiatement après un ensilage, une coupe ou un pâturage

Boues non hygiénisées



La remise à l'herbe des animaux se fait 6 semaines  
au moins après l'épandage de boues non  
hygiénisées



Si les boues sont solides ou pâteuses, l'épandage  
est autorisé uniquement en fin de saison de  
végétation, après le départ des animaux

Boues hygiénisées



Levée des contraintes

### 5.3.5.3. En sylviculture

L'épandage de boues hygiénisées est autorisé sans aucune limitation d'accès. Par contre l'épandage de boues non hygiénisées est interdit dans les forêts ouvertes au public.

## 6. Conclusions

L'utilisation des boues d'épuration dans le domaine agricole est une nécessité ; il n'existe pas en effet aujourd'hui, et probablement pour la décennie prochaine, d'alternative crédible si on prend en compte d'une part les nuisances pour l'homme et son environnement et d'autre part le coût pour la société de la destruction des quelques 850 000 tonnes de matière sèche produites en France, d'autant qu'à l'horizon 2005 la production de boues d'épuration pourrait augmenter de 30%. De plus, pour l'agriculteur elles constituent une matière fertilisante particulièrement bon marché.

**Les boues d'épuration représentent un moyen écologique de recyclage des eaux usées, permettant d'amender efficacement les sols agricoles. Elles ne représentent cependant pour l'instant que moins de 2% de l'ensemble des matières épandues en agriculture.**

La pratique de l'épandage a fait l'objet de recherches considérables qui ont permis d'accumuler de très nombreuses connaissances scientifiques tant au niveau national qu'europpéen même s'il n'existe pas d'enquête épidémiologique effectuée à ce jour sur ce sujet.

Le risque de nature biologique à court terme lié à la présence de bactéries, virus et parasites apparaît comme réduit ; leur présence peut être fortement diminuée par des traitements physiques (chauffage) ou chimiques (chaulage) à condition de bien maîtriser et contrôler ces traitements (mise en place de guides de bonnes pratiques d'hygiénisation).

Le simple respect des règles élémentaires d'hygiène, l'observation stricte des consignes et des prescriptions réglementaires à toutes les étapes de l'épandage permettent de maîtriser au mieux les risques microbiologiques.

L'épandage de boues provenant de stations traitant des produits susceptibles d'héberger des agents transmissibles non conventionnels doit être évité.

**Le risque de nature biologique est largement maîtrisé si on utilise de manière restrictive des boues hygiénisées, seule possibilité dans le cas des productions légumières et probablement étendre cette exigence aux cultures fruitières.**

Le risque de nature chimique est plus diffus et peut constituer un risque à long ou très long terme. Incontestablement si le risque microbiologique semble bien maîtrisé, le risque chimique, c'est à dire la contamination des boues par les éléments traces semble plus préoccupant et sa maîtrise plus aléatoire, d'autant plus que les effets d'intoxications à faibles doses de cette nature peuvent être très décalés dans le temps et ne manifester leurs effets que très tardivement rendant d'autant plus difficile les enquêtes épidémiologiques.

De manière paradoxale, il est globalement plus facilement appréciable, surtout dans le cas des éléments traces métalliques, car on dispose des méthodes de mesures appropriées et de données analytiques nombreuses et fiables.

Le suivi dans le temps de la qualité des boues montre une diminution très nette des teneurs moyennes des éléments en traces les plus toxiques (> 50 % pour le cadmium et mercure, ~ 50 % pour le chrome, ~ 30 % pour le plomb) entre 1992 et 2000.

**En toute logique, il est indispensable d'éviter l'épandage des boues d'épuration sur des sols destinés à la culture d'espèces végétales accumulatrices. Les concentrations en éléments traces métalliques doivent être contrôlées dans le sol et dans les boues afin que leur utilisation en agriculture soit assurée selon les bonnes pratiques agricoles et conformément à la réglementation.**

Quant aux composés traces organiques, le problème est encore différent, certains sont très rémanents et peuvent s'accumuler largement dans le sol mais à ce jour aucun exemple de transfert des boues vers les plantes n'a été démontré, le risque semble a priori mineur.

Le suivi dans le temps (enregistré sur une période de six ans) de la qualité des boues montre pour les contaminants organiques persistants des baisses moyennes respectives de 58 % et de 33 %.

**Une amélioration d'ensemble sensible traduit une baisse des rejets de contaminants dans les eaux usées, l'éducation du consommateur, la mise en place de filières de récupération des déchets pour les particuliers et une réelle promotion de produits domestiques moins nuisibles pour l'environnement pourrait encore la renforcer.**

**Des procédés techniques innovants permettant de réduire la charge de contaminants chimiques organiques et inorganiques des boues sans en majorer excessivement le coût restent à développer.**

Les risques écotoxicologiques sont moins connus. Pour les éléments traces métalliques, les risques sont faibles si l'épandage des boues est réalisé sur des terres dont le pH est supérieur à 6 et à condition de maîtriser les paramètres physico-chimiques du sol ainsi que leur biodisponibilité et leur mobilité dans la colonne de sol.

**Les données écotoxicologiques concernant les contaminants organiques restent encore très limitées car les préoccupations s'en sont jusqu'à présent trop souvent écartées. Ces contaminants, peu dégradables et persistants, sont nocifs en tant que tels, mais aucun impact toxique pour les plantes ou les organismes vivants n'a été mis en évidence à ce jour. Des études ont montré qu'il n'existe aucun transfert de ce type de contaminant dans la colonne de sol.**

Il existe des textes réglementaires nationaux et européens concernant des taux et des normes à ne pas dépasser en éléments traces dans certaines denrées alimentaires et qui constituent un premier élément d'évaluation du risque. Cependant pour apprécier le risque toxicologique des éléments traces présents dans les boues, il est indéniable que des études épidémiologiques font défaut. En outre, il existe aussi une politique de contrôle des rejets qui permet de produire des boues de faibles teneurs en éléments traces.

Les dispositions réglementaires concernant la qualité des boues, la surveillance de la qualité des sols, les masses épandues et leurs conditions d'utilisation en agriculture sont particulièrement contraignantes, si on les compare à celles qui encadrent les amendements organiques de nature « biologique » tels que les fumiers et lisiers, qui tôt ou tard seront amenés à s'y contraindre. De plus, les Directives communautaires en cours d'élaboration visent à renforcer ces diverses contraintes et restrictions d'emploi en prenant en compte de façon prééminente la protection de l'environnement et de la santé à moyen terme.

Il apparaît à l'évidence que le contexte législatif et réglementaire encadre correctement la pratique de l'épandage en faisant intervenir plusieurs composantes :

- la loi sur l'eau et les contraintes de l'assainissement
- le statut juridique des boues d'épuration avec les notions de déchets et de matières fertilisantes dont l'homologation serait souhaitable
- le statut de l'exploitation agricole qui pratique l'épandage
- la notion de responsabilité qui concerne uniquement le producteur de boues, l'exploitant agricole étant considéré comme quelqu'un qui valorise un déchet et qui participe à son recyclage.

Il convient aussi d'appliquer les principes retenus par le législateur concernant l'organisation de l'épandage et les bonnes pratiques.

**Tout épandage doit être précédé d'une phase de conception basée sur une étude préalable (analyse des sols, des boues, de l'hydrologie, de la climatologie) en fonction de la ou des cultures à mettre en place, suivie d'une phase d'exploitation comprenant une programmation des opérations (parcelles concernées, périodes d'épandage, analyses à effectuer) avec la tenue d'un registre d'épandage pour la traçabilité.**

**Cette phase d'exploitation se termine par une étude de « bilan agronomique » qui pourrait constituer une illustration de l'équation « risques / bénéfices ».**

Une partie des réticences rencontrées est liée à l'absence d'une véritable évaluation des risques sanitaires découlant de la présence de contaminants de nature biologique ou chimique. Cette procédure d'évaluation, qui obéit à des règles bien codifiées, a été menée à bien dans différents pays industrialisés, mais n'est qu'à son début dans notre pays, de sorte que les niveaux tolérables – auquel sont associés une probabilité de risque minimum acceptable - des différents contaminants dans les boues ne peuvent être choisis en toute rigueur scientifique.

Il existe notamment des lacunes concernant :

- le transfert des éléments en traces et de micro-polluants organiques à partir des sols amendés aux végétaux, et les facteurs qui peuvent moduler les quantités de contaminants accumulées par ces derniers puis transférés à l'homme via les différents éléments de la chaîne alimentaire
- le devenir des contaminants organiques et leurs transformations par les micro-organismes du sol, ainsi que les modifications à long terme de l'écologie microbienne des sols qui peuvent résulter de l'incorporation des boues
- la qualité agricole des sols à très long terme après cessation éventuelle des épandages.

Il faut poursuivre et développer la valorisation des boues urbaines via l'épandage agricole en mettant en pratique les concepts d'information et de concertation des acteurs et des consommateurs avec un large souci de transparence pour une acceptation mutuelle de l'épandage. Différents outils peuvent être définis et suivis tels que :

- L'organisation raisonnée agronomique et géographique de l'épandage,
- l'élaboration d'un code de bonnes pratiques applicables à chaque acteur de la filière,
- l'instauration d'un contrôle analytique pour garantir la qualité des boues épandues sur des sols récepteurs garantissant la production de boues propres,
- la création d'un organisme indépendant de validation et /ou de certification garantissant les données fournies par le producteur de boues,
- le respect des bonnes pratiques agricoles
- l'efficacité des contrôles garantissant l'innocuité et la bonne valeur nutritionnelle des denrées mises sur le marché.

Il apparaît donc qu'il n'y a pas lieu de s'autocensurer en se privant de l'épandage qui, lorsque toutes les procédures sont respectées, est aussi « sûr » que d'autres amendements organiques et qu'en effectuant des contrôles réguliers, on peut appliquer le principe de précaution qui consisterait à abaisser régulièrement les niveaux de présence dans les boues des contaminants les plus préoccupants même en l'absence d'effets observés et cela concerne bien évidemment tous les acteurs de la filière.

**Malgré l'existence d'un cadre réglementaire très précis et de recommandation des instances sanitaires, la pérennité de la pratique de l'épandage agricole ne sera assurée que si tous les acteurs de la filière sont à même d'effacer l'image négative que perçoivent les industriels de l'agroalimentaire, certains grands distributeurs et le public dans son écrasante majorité, en garantissant la qualité nutritionnelle et sanitaire des produits mis en marché.**

Dans cette perspective, la démarche d'assurance qualité dans laquelle se sont engagées les entreprises spécialisées dans la réalisation des épandages, qui est en passe de se concrétiser par une certification de service à l'automne 2001, est une étape nécessaire mais non suffisante.

Le rôle des chambres d'agriculture dans la diffusion des informations en direction des producteurs sur les bonnes pratiques d'épandage (expertise, harmonisation des méthodes, bilan agronomique de l'épandage) est important à développer. Dans ce but certaines se sont dotées d'une structure coordonnée associant un service agronomique et une mission travaillant spécifiquement sur les déchets.

Devant la diversité des situations locales, l'ampleur et la complexité de gestion des épandages, il semble donc judicieux de confier cette tâche à des organismes indépendants agissant avec une totale transparence.

## BIBLIOGRAPHIE

- 
- <sup>1</sup> Furet G. Synthèse bibliographique sur l'effet hygiénisant du chaulage des boues d'épuration. ADEME Journées techniques des 5 et 6 juin 1997. Aspects sanitaires et environnementaux de l'épandage des boues d'épuration urbaines.
- <sup>2</sup> Mehl-Auget I. Opportunité et faisabilité de la mise en place d'une surveillance épidémiologique du risque sanitaire lié aux cultures sur les champs d'épandage d'eau usée brute dans le département des Yvelines. DDASS des Yvelines. Enquête exploratoire. 1997.
- <sup>3</sup> Alexandre Dudkowski. Le Courrier de l'environnement de L'Inra. n° 41. Epandage agricole des boues. Août 2000. pp 134-135.
- <sup>4</sup> Les études des agences de l'eau n° 61. Le recyclage agricole des boues d'épuration : Intérêt et contraintes. Ed. Agences de l'eau. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Direction de l'eau. 1999. pp11..
- <sup>5</sup> Directive 86/278/CEE. J.O. des Communautés Européennes n°L181/6.
- <sup>6</sup> Décret n°97-1133 du 8 décembre 1997. J.O. du 10 décembre 1997. p17822.
- <sup>7</sup> Arrêté du 8 janvier 1998. J.O. n°26 du 31 janvier 1998. p1563.
- <sup>8</sup> ADEME. Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans divers autres pays du monde. Paris, ADEME. 1999. 159p.
- <sup>9</sup> D. Baize. Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). INRA Éditions, Paris. 1997. 408p. ISBN : 2-7380-0747-3.
- <sup>10</sup> D. Baize. Teneurs totales en métaux lourds dans les sols français. Courrier de l'environnement de l'Inra , n°39. Fév.2000.
- <sup>11</sup> W. Deslais, D.Baize. Etude des éléments traces dans les sols agricoles français. Un programme ADEME/INRA. ADEME Journées techniques des 5-6 juin 1997. Aspects sanitaires et environnementaux de l'épandage des boues d'épuration urbaines. pp241-243.
- <sup>12</sup> Pollution des sols : Basol. Bases de données sur les sites et sols pollués ; <http://basol.environnement.gouv.fr>
- <sup>13</sup> T.Corme et coll. Expérimentation d'épandage de boues d'épuration en sylviculture. Rapport d'études. Agence de l'eau Seine Normandie. 1992.
- <sup>14</sup> Hall JE., Newman PJ., L'Hermite P. (éd). Review of COST 68/681 programme 1972-92. CEE- DG XII, office for official publications of the european communities, ECSC-EEC-EARC, Bruxelles, EUR 14330 EN, ISBN.1992. 230p.
- <sup>15</sup> AFNOR. Norme française NFU 44-041. Matières fertilisantes. Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines. Déterminations et spécifications. Juillet 1985.
- <sup>16</sup> ADEME. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture. Janvier 2001.
- <sup>17</sup> Krogh, Petersen. Ecotoxicological Assesment of Sewage Sludge in Agricultural Soils. Ministry of Environment. 1997.
- <sup>18</sup> Aalto, Jari. The study of organic micropolluants in municipal sewage sludges. National Board of Waters and the Environment. 1992.
- <sup>19</sup> Charlotte Nilsson. Organic Polluants in Sewage Sludge, rapport 4674. Swedish Environmental Protection Agency (SEPA). 1996.
- <sup>20</sup> JC.Block., AH., Havelaar., P. L'Hermite. (éd). Epidemiological studies of risks associated with the agricultural use of sewage sludge : knowledge and needs. Elsevier Applied Science Publishers. London and New York. 1986.

- 
- <sup>21</sup> Robert et Juste. Epandage des boues résiduaires. Aspects sanitaires et environnementaux. ADEME. 1997. 192-205.
- <sup>22</sup> Diercxens P., et al. Apports par les boues de composés traces organiques dans les sols et cultures ; Gaz, Eaux, Eaux usées n°33. 1987. pp123- 132.
- <sup>23</sup> U.S. EPA., CFR Part 503 Standards for the use or disposal of sewage sludge, in Federal Register. 40 CFR Protection of Environment. July 1 1993. pp664-694.
- <sup>24</sup> Harrison, E.Z., Mc Bride, M.B. et Bouldin, D.R. The case for caution. Recommendation for land application of sewage sludge and an appraisal of the US EPA's Part 503 sludge rules. Cornell Waste Management Institute, Ithaca, NY, USA. 1999.
- <sup>25</sup> Brown P., Gajdusek D.C. Survival of scrapie virus after 3 years interment. Lancet. 1991. 337p. pp269-270.
- <sup>26</sup> Beuchat LR. Pathogenic microorganisms associated with fresh produce,. J.Food P., 59 : 1996. Pp 204-216
- <sup>27</sup> Feix I., Wiart J. Connaissance et maîtrise des aspects sanitaires de l'épandage des boues d'épuration des collectivités locales. ADEME éd. 1998. 74p.
- <sup>28</sup> Mc Grath SP. Long term studies of metal transfers following application of sewage sludge. In Pollutant transport and fate in Ecosystems. Coughtrey PJ. et coll. (eds), Special Publ. 6. British Ecol. Soc., Blackwell Sci. Publi. 1987
- <sup>29</sup> Gomez A., et coll.. Définition des seuils de phytotoxicité de différents métaux susceptibles d'être rencontrés dans les boues de station d'épuration pour des sols à très faible ou à très fort pouvoir de fixation vis à vis des cations. Conv. Min. Envir. / CEN. Cadarache /INRA. 1992. n°79- 81,108p.
- <sup>30</sup> Juste C. Les micro- polluants métalliques dans les boues résiduaires des stations d'épuration urbaines. Convention ADEME-INRA. ADEME éd. 1995. 209p.
- <sup>31</sup> Le Bohec J. Emploi des composts urbains et des composts de boues de station d'épuration en culture légumière 1980-1986. Infos-CTIFL, n°61. Mai 1990. pp23-28.
- <sup>32</sup> Summer KH et coll. Metallothionein and cadmium in human kidney cortex : influence of smoking. Human Toxicology. 1986. pp 5, 27-33.
- <sup>33</sup> Tennant CJ. Potential contribution of dietary sources to urinary cadmium and ( $\beta_2$  - microglobulin excretion of occupationally exposed workers. J. Occup. Med. 1991. pp33, 1175-1179.
- <sup>34</sup> Ewers, U. et al. Heavy metal production of soil and garden products of Stolberg home gardens and lead and cadmium pollution of small farms in Stolberg. Gesundh.1993. pp 55, 318-325.
- <sup>35</sup> Scholz,R.W. et al. Assessment of health risk due to cadmium contaminated house gardens. Offentl. Gesund.1990. pp 52, 161-167.
- <sup>36</sup> CSHPF. Section de l'Alimentation et de la Nutrition. Plomb, cadmium et mercure dans l'alimentation ; évaluation et gestion du risque. Ministère du Travail et des Affaires Sociales. Direction Générale de la Santé. Ed. Lavoisier, Tec et Doc. Paris. 1996.
- <sup>37</sup> Chassin P. et coll. Les éléments traces métalliques et la qualité des sols. Impact à moyen et à long terme ; Etude et Gestion des sols.1996. pp 4, 297-306 (n° spécial).
- <sup>38</sup> Milhaud G. et Enriquez B. Elimination du plomb par le lait chez les bovins. Rec. Méd. Vét. 1981. pp 157, 291-296.
- <sup>39</sup> Ellen, G. et al. Heavy metals in vegetables grown in The Netherlands and in domestic and imported fruits. Z. Lebensm. Unters. Forsch.1990. pp 190, 34-49
- <sup>40</sup> Wojciechowska-Mazurek, M. et al. Content of lead, cadmium, zinc and copper in fruit from various regions of Poland. Roczn. Panstw. Zakl. Hyg. 1995. pp 46, 223-238.
- <sup>41</sup> Pinamonti, F. et al. Heavy metal levels in apple orchards after the application of two composts. Commun. Soil Sci.Plant Anal. 1997. pp 28, 1403-1419.
- <sup>42</sup> Pinamonti, F. et al. Compost use in viticulture: effect on heavy metal levels in soil and plants. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 1999. pp 30, 1531-1549.



---

<sup>43</sup> Decloître, F. La part des différents aliments dans l'exposition au plomb, au cadmium et au mercure en France. Cah. Nutr. Diet. 1998. pp 33, 167-175.

<sup>44</sup> Sauerbeck DR., et StypereckP., 1988. Heavy metals in soils and plants of 25 long-term field experiments treated with sewage sludge . In Agricultural waste management and environmental protection. Welte E. and I. Szabolcs, (Eds). Forth Intern.Symp. CIEC, Braunschweig (FRG), May, 11-14, 1987.

<sup>45</sup> Tarradelas J. Les polluants présents dans les boues d'épuration. Bulletin de l'ARPEA, numéro spécial de la journée technique sur les boues d'épuration, 25<sup>ème</sup> année, n°156. 1989. p8.

<sup>46</sup> Communication personnelle de Martine Tercé. INRA. Département Environnement. Etude en cours.

<sup>47</sup> ADEME. Les micropolluants organiques dans les boues résiduares des stations d'épuration urbaines. Collection valorisation agricole, d'épuration. ADEME. 1995. pp 75 – 90.

<sup>48</sup> Schlosser O ., Vaccinations du personnel exposé aux eaux usées. Le Concours Médical. 21.06.1997., 119-23, 1998-1701

<sup>49</sup> Schlosser O. et coll. Intestinal parasite carriage in workers exposed to sewage. European Journal of Epidemiology 15, 261-265, 1999.

<sup>50</sup> Michalke et coll. Production of volatile derivatives of metal (loid) by microflora involved in anaerobic digestion of sewage sludge. Applied and Environmental Microbiology. July 2000. 2791-2796

<sup>51</sup> Henk Heida et coll . Occupational exposure and indoor air quality monitoring in a composting facility. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 56 (1) 39-43 1995

<sup>52</sup> Schlosser O., Roudot-Thoraval F. Exposition professionnelle aux eaux usées et risque d'hépatite virale A. Arch. Mal.Prof. 1995, 56, 23-27.

<sup>53</sup> Mc Grath S.P., Chaudri AM. Giller EG., 1995. Long term effects of metals in sewage sludge on soils, microorganisms and plants. J.Industrial Microbiology, 14, 94-104

<sup>54</sup> Patrick, Perrono (1999). Les micro -polluants métalliques et les sols amendés par des boues résiduares urbaines. Mém. DUESS. DEP. Univ. Picardie, Amiens.

<sup>55</sup> Robert M., Juste C., 1999. Dynamique des éléments traces dans l'écosystème sol in "Spéciation des métaux dans le sol" – Les cahiers des clubs CRIN

<sup>56</sup> Alloway B., Jackson A., 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludge amended soils. *The Science of Total Environnement*.100, 151-176.

<sup>57</sup> Planquart P., Bonin G., Prone A. , Massiani C. Distribution, movement and plant availability of trace metals in soils amended with sewage sludge composts : application to low metals loadings. *The Science of Total Environnement*. 1999. 241(1-3):161-179.

<sup>58</sup> Seaker E., 1991. Zinc, copper, cadmium and lead in minespoil, water and plants from reclaimed mine land amended with sewage sludge. *Water Air Soil Pollution*. 57-58, 849-859.

<sup>59</sup> Christensen TH., and Tjell, Ch. 1991. Sustainable management of heavy metals in agriculture. Example : Cadmium. In : Conference Proceedings Heavy Metals in the Environment, CEP Consultants, Edinburgh, Scotland.

<sup>60</sup> Terry, 1981. Physiology of trace element toxicity and its relation to iron stress. J. Plant Nutr. 3, 561 – 578

<sup>61</sup> Mahler, RJ. Et coll. 1982. Cadmium enriched sewage sludge application to acid and calcareous soils : effect and nutrition of lettuce, corn, tomato, and swiww chard. J. Environ. Qual. 11. 694-700

<sup>62</sup> Greter-Domergue F., Védy J., 1989. Entraînement gravitaire de cadmium, cuivre et zinc dans des sols reconstitués avec des boues compostées. *Sciences du Sol*. 27, 227-242.

<sup>63</sup> Rapport du CSHPF. Section des Eaux. 1998. Risques sanitaires liés aux boues d'épuration des eaux usées urbaines. Ed. Lavoisier Tec et Doc.

---

## LEXIQUE

**Amendement** : « Matières fertilisantes apportées aux sols et dont la fonction principale et d'améliorer leurs propriétés physiques et/ou chimiques et/ou biologiques » (définition AFNOR, norme U 42-041).

**Bactérie** : microorganisme constitué d'une seule cellule sans noyau individualisé, considéré comme appartenant à un règne autonome, ni animal, ni végétal. A la différence des virus, les bactéries possèdent à la fois de l'ADN et de l'ARN et sont capables de se reproduire de façon autonome, par division cellulaire.

**Biodégradable** : décomposable par l'action d'organismes vivants.

**Biodisponibilité** : aptitude d'un élément à être absorbé par un être vivant (par exemple, seuls les nutriments biodisponibles peuvent servir à l'alimentation des plantes).

**Composé trace organique, ou CTO** : composés chimiques ou cellulaires issus de substances chimiques principales (pesticides, hydrocarbures, détergents...) ou de la dégradation de ces substances et présents en quantité infinitésimale dans un milieu.

**Déchet** : au sens de la loi de 1975 : « tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation, toute substance, matériau, produit ou plus généralement tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon ».

**Effluent** : terme générique désignant une eau usée urbaine ou industrielle, et plus généralement tout rejet liquide véhiculant une certaine charge polluante. Le terme désigne également les déjections animales.

**Élément trace métallique, ou ETM** : métal ou métalloïde présent en quantité infinitésimale dans un milieu.

**Engrais** : « Matières fertilisantes dont la fonction principale est d'apporter aux plantes des éléments (ou nutriments) utiles à leur nutrition ». (définition AFNOR, norme U 42-041)

**Fermentation** : transformation de substances organiques par l'action d'enzymes produits par des micro-organismes (le plus souvent des levures, des bactéries ou des moisissures).

**Hygiénisation** : traitement par des procédés physiques ou chimiques, qui réduit à un niveau non détectable la présence de tous les micro-organismes pathogènes dans un milieu (arrêté du 8 janvier 1998 sur l'épandage des boues d'épuration, articles 6 et 12).

**Matière fertilisante** : « toute matière dont l'emploi est destiné à entretenir ou améliorer, séparément ou simultanément, la nutrition des végétaux ainsi que les propriétés physiques et chimiques et l'activité biologique des sols ». (définition AFNOR, norme U 42-041).

**Pathogène** : capable de provoquer une maladie chez l'homme ou chez les animaux au delà d'une dose infectante ou infectieuse donnée.

**Milieu** : ensemble des objets matériels, des êtres vivants, des conditions physiques, chimiques et climatiques qui entourent et influencent un être vivant (milieu naturel, milieu aquatique, milieu terrestre...).

**Nutriment** : substance alimentaire qui peut être assimilée directement et totalement par un être vivant.

---

**🔔 Risque de développement** : risque inconnu qui ne peut pas être décelé au moment où le producteur met son produit sur le marché.

**🔔 Virus** : micro-organisme constitué essentiellement de protéines et d'un seul type d'acide nucléique (ADN ou ARN) ne pouvant vivre et se multiplier qu'en parasitant les cellules d'un autre organisme.