



ENSP

ÉCOLE NATIONALE DE
LA SANTÉ PUBLIQUE

RENNES

Ingénieur du Génie Sanitaire
Promotion 2004

**Amélioration de la prise en compte des
facteurs humains de l'exposition lors
d'épandages de boues**

Présenté par :
Marie-Laure PIQUÉ
Ingénieur de l'École des Mines
d'Alès

Lieu du stage : INERIS

Accompagnant professionnel :
Laure DELERY

Référent pédagogique :
Michèle LEGEAS

Remerciements

Je tiens à remercier Laure DELERY, mon accompagnant professionnel, de m'avoir confié ce sujet de mémoire, de son efficacité et rapidité à répondre à mes interrogations, et de l'autonomie de travail qui me fut laissée.

Un grand merci aussi au personnel des services Évaluation des Risques Sanitaires (ERSA) et Déchets et Sols Pollués (DESP) au sein de la Direction des Risques Chroniques de l'INERIS pour leur accueil et mon intégration.

Je tiens ensuite à remercier Michèle LEGEAS pour les conseils avisés qu'elle a su comme toujours me prodiguer.

Je souhaite enfin exprimer ma reconnaissance aux divers partenaires qui m'ont apporté des informations nécessaires à la réalisation de ce mémoire. Une liste de ces contacts est présentée à l'annexe 1 mais je citerais particulièrement :

- le bureau d'études SEDE, et notamment Gilles LEVARET, qui m'a fourni des données précieuses concernant tous les épandages de boues traités par leur société sur toute la France ;
- le bureau d'études AGRO-DÉVELOPPEMENT, et notamment Paul CHABERT D'HIÈRES (agence d'Aix en Provence) et Cédric FROCHEN (agence de Dreux), pour les visites de chantiers d'épandage que j'ai pu réaliser à Istres et Dreux.

Sommaire

INTRODUCTION – PRESENTATION DU CONTEXTE	1
1 GENERALITES	3
1.1 LA REGLEMENTATION FRANÇAISE RELATIVE AUX EPANDAGES DE BOUES.....	3
1.2 LES BOUES EN FRANCE.....	5
1.2.1 Les boues urbaines.....	5
1.2.2 Les boues industrielles.....	9
1.3 LES ETAPES ET LES ACTEURS DE L'EPANDAGE DE BOUES.....	9
1.3.1 Les différentes étapes de l'épandage des boues.....	9
1.3.2 Les acteurs de l'épandage des boues et leur rôle.....	12
1.4 LES FACTEURS HUMAINS DE L'EXPOSITION.....	16
1.4.1 L'exposition : définitions.....	16
1.4.2 Données bibliographiques existantes.....	16
1.4.3 Application au cadre de l'épandage des boues.....	16
2 LA REALISATION PRATIQUE DES EPANDAGES EN FRANCE.....	17
2.1 LES TYPES DE BOUES EPANDUES.....	17
2.1.1 Boues urbaines.....	17
2.1.2 Boues industrielles.....	19
2.2 DONNEES SUR LE MATERIEL ET LA REALISATION DES EPANDAGES.....	22
2.2.1 Le matériel.....	22
2.2.2 Le déroulement du chantier d'épandage.....	25
2.2.3 Les problèmes d'odeurs et de propreté du chantier.....	26
2.3 DONNEES SUR LES CULTURES.....	28
2.3.1 Boues urbaines.....	29
2.3.2 Boues industrielles.....	33
2.3.3 Étude du lien entre les types de boues épandues et les cultures.....	33
2.4 RETOURS D'EXPERIENCE DES VISITES DE TERRAIN.....	34
3 LA PRISE EN COMPTE DES FACTEURS HUMAINS DE L'EXPOSITION LORS D'EPANDAGES DE BOUES	35
3.1 LE SCHEMA CONCEPTUEL DE L'EXPOSITION.....	35
3.1.1 Synthèse bibliographique.....	35
3.1.2 L'expérience de terrain.....	36
3.2 LA PRISE EN COMPTE ACTUELLE DE L'EXPOSITION DANS LES DOSSIERS D'EPANDAGE.....	37
3.2.1 Rappel réglementaire.....	37
3.2.2 La minimisation de l'exposition par l'étude détaillée des différentes voies d'exposition.....	40
3.2.3 Diminuer les risques liés à l'épandage de boues en mettant en évidence d'autres activités ou phénomènes plus dangereux.....	42

3.2.4	<i>Autres éléments de prise en compte des paramètres humains de l'exposition.....</i>	42
3.2.5	<i>Conclusion.....</i>	42
3.3	PROPOSITION D'UNE METHODOLOGIE POUR AMELIORER LA PRISE EN COMPTE DES PARAMETRES HUMAINS DE L'EXPOSITION DANS LES DOSSIERS D'EPANDAGE.....	43
3.3.1	<i>La caractérisation du site et de son environnement.....</i>	43
3.3.2	<i>Discussion autour des voies d'exposition à prendre en compte dans le cadre de la rédaction d'une étude sanitaire.....</i>	44
	DISCUSSION – CONCLUSION	51
	Bibliographie	53
	Liste des annexes	I

Liste des tableaux

<i>Tableau 1. Les différents types de boues produites en France par les stations d'épuration urbaines [1].</i>	6
<i>Tableau 2. La gestion des boues urbaines en France [9B].</i>	9
<i>Tableau 3. Proportion des surfaces épandues en fonction des types de boues urbaines, en moyenne sur la France et dans chaque bassin (données SEDE 2003).</i>	18
<i>Tableau 4. Masses ou volumes de boues épandues pour les différents secteurs agroalimentaires en 2001 et estimation pour l'année 2006 [6].</i>	20
<i>Tableau 5. Répartition des types de cultures mises en place sur des surfaces agricoles recevant des boues urbaines dans les différents bassins français et en moyenne sur la France (données SEDE).</i>	29

Liste des figures

<i>Figure 1. Nombre de stations d'épuration urbaines selon la capacité théorique en EH.</i>	7
<i>Figure 2. Schéma des transferts environnementaux et des voies d'exposition aux boues.</i>	35

REMARQUE : les tableaux et figures situés en annexe ne figurent pas dans les listes ci-dessus.

Liste des acronymes

AGPB	Association Générale des Producteurs de Blé et autres céréales
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
CDH	Conseil Départemental d'Hygiène
CGB	Confédération Générale de la Betterave
CEMAGREF	Centre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts
CTO	Composé Trace Organique
CUMA	Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole
DBO ₅	Demande Biochimique en Oxygène au bout de cinq jours
DDAF	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
DDASS	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DDE	Direction Départementale de l'Équipement
DDSV	Direction Départementale des Services Vétérinaires
DRIRE	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
EH	Équivalent habitant
ETA	Entreprises de Travaux Agricoles
ETM	Élément Trace Métallique
GPS	Guidage Par Satellite
IAA	Industrie Agroalimentaire
INERIS	INstitut de l'Environnement industriel et des RISques
ITF	Institut Textile de France
IRSN	Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
MARD	Mission de Recyclage Agricole des Déchets
MESE	Mission d'Expertise et de Suivi des Épandages
MIRSPAA	Mission Inter - départementale pour le Recyclage des Sous-Produits de l'Assainissement en Agriculture
MISE	Mission Inter - Services de l'Eau
MS	Matières Sèches
MVAB	Mission de Valorisation Agricole des Boues d'épuration
MVAD	Mission de Valorisation Agricole des Déchets
NPP	Nombre le Plus Probable
NPPUC	Nombre le Plus Probable d'Unités Cytopathogènes
SATEGE	Service d'Assistance Technique à la Gestion des Épandages
SATESE	Service d'Assistance Technique aux Exploitants de Stations d'Épuration
SAUR	Société d'Aménagement Urbain et Rural
SPDE	Syndicat Professionnel des Distributeurs d'Eau

STEP STation d'ÉPuration

SYPREA SYndicat des Professionnels du REcyclage en Agriculture

Glossaire

Amender : apporter des substances qui ont pour effet d'améliorer les propriétés physiques et chimiques des sols auxquels on les incorpore.

Betterave : plante dont on consomme la racine charnue.

Betterave fourragère : à grosse racine rouge ou jaune, elle est cultivée pour l'alimentation du bétail.

Betterave sucrière : betterave dont on extrait industriellement le sucre (saccharose) et les produits secondaires (mélasse).

Chicorée : plante vivace pouvant atteindre un mètre de haut dont la racine est séchée avant d'être broyée et torréfiée.

Ennoblement des fibres textiles : ensemble des opérations permettant de donner aux textiles les propriétés de stabilité dimensionnelle, de couleur, d'aptitude à l'entretien et de toucher. Il se subdivise en trois opérations successives : pré - traitements, coloration (impression ou teinture), apprêts.

Escourgeon : orge hâtive que l'on sème à l'automne.

Exposition aiguë : de quelques secondes à quelques jours.

Exposition subchronique : de quelques jours à quelques années.

Exposition chronique : de quelques années à vie entière.

Fétuque : graminée comportant plusieurs espèces fourragères. La Fétuque élevée (F. arundinacea), vivace, de grande taille (jusqu'à 2 m) est la plus commune ; elle est semée au printemps (mars-avril) ou à la fin de l'été et est souvent en mélange avec du trèfle blanc. La Fétuque des prés (F. pratensis), haute de 80 cm est semée au printemps ou à l'automne, parfois en association avec du trèfle blanc.

Féverole : variété de fève à petit grain utilisée pour l'alimentation animale.

Jachère : état d'une terre labourable qu'on laisse temporairement reposer en ne lui faisant pas porter de récolte.

Lin : plante herbacée à fleurs bleues cultivée pour ses graines oléagineuses et ses fibres textiles (contenues dans la tige du lin).

Lavandin : hybride naturel des différentes lavandes, plus résistant et plus riche en essence.

Légumineuse : les plantes de type légumineuse ont la particularité de vivre en symbiose avec des bactéries qui vivent dans leurs racines. Elles ont ainsi le pouvoir de transformer, l'azote atmosphérique en substances azotées utilisables directement par la plante. Grâce à cette particularité, les plantes de type légumineuse peuvent vivre sur un sol pauvre en azote minéral.

Lupin : plante herbacée dont différentes espèces sont cultivées comme fourrage, engrais vert ou plantes ornementales pour leurs grappes de fleurs.

Malterie : usine où l'on prépare le malt, c'est à dire où l'on extrait une enzyme (maltase) capable de transformer l'amidon en sucres contenue dans une céréale (le plus souvent de l'orge) germée artificiellement.

Millet : graminée cultivée pour ses grains ou comme fourrage.

Moutarde : plante herbacée dont les graines sont utilisées pour la préparation du condiment et qui est aussi cultivée comme fourrage ou engrais vert.

Navette : plante voisine du colza, cultivée comme fourrage.

Phacélie : plante utilisée comme engrais vert, comme culture intercalaire, comme culture fourragère et comme culture mellifère (qui produit du miel).

Pois : les pois peuvent être utilisés sous forme de fourrage (pâturage ou séché), ou de graines récoltées vertes (petits pois) ou encore à maturité complète (pois secs). Les variétés de pois cultivées pour le fourrage sont les pois protéagineux, à fleurs blanches et graines lisses ou les pois fourragers à fleurs roses ou rouges et aux graines brunes ou tachetées.

Protéagineux : plante qui contient une grande proportion de protéines.

Ray Grass : graminée fourragère vivace, haute de 0,1 à 1 mètre, donnant un excellent fourrage.

Rutabaga : chou-navet dont la racine sert à l'alimentation du bétail et parfois à l'alimentation humaine.

Sarrasin : céréale cultivée en France, principalement en Bretagne, pour sa graine à albumen farineux.

Seigle : céréale dont les grains produisent une farine brune panifiable.

Siccité : teneur en matière sèche.

Sorgho : plante herbacée des pays tropicaux, qui peut exister sous forme de sorgho fourrager ou de sorgho grain.

Triticale : hybride de blé et de seigle, il combine la haute teneur en protéines du blé et la richesse en lysine du seigle.

Viti-vinicole : relatif à la culture de la vigne et à la production du vin.

INTRODUCTION – PRESENTATION DU CONTEXTE

Les eaux usées domestiques et industrielles sont collectées puis acheminées vers des stations de traitement ; à l'issue du traitement, l'eau épurée est rejetée dans le milieu naturel mais il demeure des résidus d'épuration qui sont les boues résiduelles. L'épandage de ces boues en agriculture permet de les valoriser, grâce aux propriétés d'amendement, de fertilisation et de reconstitution des sols qu'elles possèdent.

Cependant les boues peuvent contenir des éléments traces métalliques, des composés traces organiques et des microorganismes indésirables. Il est à noter que bien que la présence de certains éléments traces métalliques soit indispensable aux plantes, des apports répétés de boues par épandage pourraient, à long terme, provoquer dans les sols des accumulations incompatibles avec la qualité des cultures. De plus, certains métaux, dont le cadmium ou le plomb, sont toxiques pour l'homme. En ce qui concerne les microorganismes, bien que ceux-ci jouent un rôle essentiel dans les processus d'épuration, il en existe une infime partie qui est potentiellement pathogène.

Depuis 1996, face au traumatisme créé par la vache folle, des groupements de producteurs tels que l'Association Générale des Producteurs de Blé et autres céréales (AGPB) ou la Confédération Générale de la Betterave (CGB), et des industries agroalimentaires telles que Vico ou Bonduelle, ont pris des mesures visant à mieux maîtriser l'épandage des boues sur les sols.

C'est dans le cadre d'une convention Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) / Syndicat des Professionnels du Recyclage en Agriculture (SYPREA) / Syndicat Professionnel des Distributeurs d'Eau (SPDE) que l'INERIS participe à la rédaction d'une méthodologie d'évaluation des risques sanitaires liés à l'épandage de boues urbaines et industrielles. Cette méthodologie a pour objectif d'être utilisée dans le cadre des demandes d'autorisation de ces filières d'épandage et d'être appliquée au cas des prescriptions du projet de directive européenne et de la réglementation française (aspects chimiques seulement).

La méthodologie est réalisée d'une part pour les substances chimiques, d'autre part pour les microorganismes pathogènes. Elle comporte les différentes étapes d'une évaluation des risques sanitaires conventionnelle : identification des dangers, étude des relations dose-réponse, exposition des populations (niveau de contamination et paramètres humains de l'exposition). C'est l'ensemble de ces trois étapes qui permet de caractériser le risque.

Les travaux menés dans ce mémoire ont pour but d'établir une méthodologie qui permettra de mieux prendre en compte les facteurs humains de l'exposition dans l'étude

d'un cas concret, c'est à dire déterminer notamment quelles sont les voies d'exposition prépondérantes à prendre en compte principalement grâce à des données de terrain.

Dans une première partie, ce mémoire présente des généralités sur les boues en France, c'est à dire la réglementation relative aux épandages puis les types de boues produites. Ensuite les étapes et les acteurs de l'épandage permettent de comprendre le déroulement de celui-ci. Enfin une présentation des facteurs humains de l'exposition permet d'expliquer les éléments auxquels ce mémoire s'intéresse particulièrement.

Dans une deuxième partie, la réalisation pratique des épandages est présentée avec les types de boues qui sont épandues en France, le matériel utilisé et le déroulement du chantier avec le travail du personnel opérateur et les types de cultures sur lesquelles ont lieu les épandages ou qui sont mises en place après l'épandages de boues. Ceci dans le but de comprendre la réalité du terrain et de la réalisation des épandages telle qu'elle a effectivement lieu, et d'appréhender de façon la plus juste possible la méthodologie à mettre en œuvre. Un retour d'expérience des visites effectuées sur des chantiers clôture cette partie.

Enfin c'est la prise en compte des facteurs humains de l'exposition qui est traitée. D'une part la présentation du schéma conceptuel de l'exposition va donner un aperçu de la complexité de cette exposition et une lecture critique des dossiers d'épandage permet de mettre en exergue l'argumentaire actuellement mis en œuvre pour prendre en compte ces paramètres humains de l'exposition. Enfin la méthodologie d'amélioration de la prise en compte des facteurs humains de l'exposition lors d'épandages de boues est proposée, avec les points à prendre en compte dans une étude et les éléments proposés pour simplifier le schéma conceptuel très théorique de l'exposition.

1 GENERALITES

1.1 La réglementation française relative aux épandages de boues

En France, peu de contraintes réglementaires pèsent sur le traitement des boues et aucune contrainte n'est imposée en ce qui concerne la composition finale des boues avant l'épandage. En revanche, pour pouvoir valoriser ces boues en agriculture, de nombreuses règles d'utilisation sont édictées. Au niveau européen, le texte fondateur est la directive n° 86-278 du 12 juin 1986 relative à la protection de l'environnement, et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture. Cette directive est actuellement en cours de révision.

La réglementation relative aux épandages de boues est intégrée au Code Permanent de l'Environnement, dans le chapitre 129 de la section II du chapitre II de la rubrique Eau et dans le chapitre 62 de la section II du chapitre III de la rubrique Déchets. L'utilisation de boues en agriculture est réglementée soit au titre de la police des eaux (boues de stations d'épuration), soit au titre de la police des installations classées (boues industrielles).

Au titre de la police des eaux, l'épandage de boues fait partie des activités répertoriées comme susceptibles de dégrader la qualité des eaux ; il doit donc répondre à la loi n°92-3 du 3 janvier 1992 sur l'eau et est soumis au régime d'**autorisation** ou de **déclaration** (décrets n°93-742 et 93-743 du 29 mars 1993). Ce régime de déclaration ou d'autorisation dépend des quantités de matières sèches ou d'azote total ou du volume ou de la DBO₅ des boues épandues par an. Si une station d'épuration est soumise à autorisation, toutes ses rubriques (dont l'épandage) sont aussi soumises à autorisation ; cependant, dans la pratique, il est d'usage de séparer la procédure qui concerne la station d'épuration de la procédure qui concerne l'épandage. Donc l'épandage des boues d'une station d'épuration sera soumis à autorisation ou à déclaration selon les critères définis par la loi sur l'eau ; une station soumise à autorisation peut par conséquent avoir son épandage soumis à déclaration ou à autorisation.

Les règles auxquelles doivent obéir l'épandage sont fixées par le décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées ; les boues doivent impérativement présenter un intérêt pour les sols agricoles ou les cultures pour pouvoir être épandues. Les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles sont établies par l'arrêté du 8 janvier 1998 ; cet arrêté précise également le contenu des documents prévus par le précédent décret. Cette réglementation indique les prescriptions d'épandage des boues avec notamment :

- des teneurs limites réglementaires fixées pour les composés traces organiques et éléments traces métalliques dans les boues ;

- des distances, des délais et des conditions météorologiques de réalisation des épandages ;
- la réalisation d'une étude préalable, d'un programme prévisionnel, d'un dispositif de surveillance et d'un bilan agronomique ;
- l'utilisation d'équipements et d'infrastructures adaptés (stockage suffisant, matériel d'épandage performant...) pour permettre la réalisation des épandages avec un minimum de nuisances pour le voisinage.

Au titre de la législation des installations classées, la section 4 de l'arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation détermine les prescriptions auxquelles l'épandage de boues des installations relevant de cet arrêté doit obéir. Il reprend en grande partie les dispositions du décret du 8 décembre 1997 et de l'arrêté du 8 janvier 1998, et fait l'objet de commentaires dans la circulaire du 17 décembre 1998 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement. L'arrêté du 2 février 1998 ne s'applique pas à toutes les installations (papeteries, cimenteries, établissements d'élevage entre autres), ces dernières font alors l'objet d'arrêtés spécifiques ; par exemple, les papeteries, pour lesquelles s'applique l'arrêté du 3 avril 2000.

En cas d'établissement soumis aux deux législations Eau et Installations Classées, c'est cette dernière qui prime [9A]. Il est toutefois à noter que si l'installation est soumise à autorisation, alors l'épandage est soumis à autorisation ; mais si l'installation est soumise à déclaration, alors l'épandage est soumis à autorisation ou à déclaration au titre de la loi sur l'eau.

Qu'il s'agisse de boues issues de stations d'épuration urbaines ou d'installations industrielles, les boues ont le caractère de déchets (article 2 du décret du 8 décembre 1997) et doivent donc répondre à la loi du 15 juillet 1975 (devenue l'article L541-2 du Code l'Environnement), qui impose au producteur ou au détenteur de déchets d'en assurer ou d'en faire assurer l'élimination dans des conditions propres à éviter les effets nocifs sur l'environnement.

De plus, les textes de référence contre la pollution par les nitrates et leurs impacts s'imposent à l'épandage de boues. Il s'agit de la directive n°91/676 du 12 décembre 1991, dite directive nitrates, relative à la protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles, et les décrets du 27 août 1993 et du 4 mars 1996, et leurs arrêtés correspondants du 22 novembre 1993 et du 7 mars 1996, qui sont la transposition française de cette directive. Dans les zones définies comme vulnérables aux nitrates, en application du décret du 27 août 1993, l'épandage de boues devra être réalisé

conformément aux plans d'action départementaux définis à partir du Code des Bonnes Pratiques Agricoles (arrêté du 22 novembre 1993). Ce Code des Bonnes Pratiques Agricoles émet en particulier des recommandations quant aux périodes pendant lesquelles l'épandage de fertilisants est inapproprié, aux conditions d'épandage des fertilisants sur les sols en forte pente, sur les sols détremés, inondés, gelés ou couverts de neige, et aux conditions d'épandage des fertilisants près des eaux de surface.

1.2 Les boues en France

D'après les définitions données par l'Office International de l'Eau, on entend par :

- **boue liquide**, une boue dont la siccité varie de 0 à 10% ;
- **boue pâteuse**, une boue dont la siccité varie de 12 à 25% ;
- **boue solide**, une boue dont la siccité est supérieure à 25% ;
- **boue sèche**, une boue dont la siccité est supérieure à 85%.

Cependant les articles 12 et 16 de l'arrêté du 8 janvier 1998 viennent compléter la définition de certains types de boues ; on entendra par :

- **boues solides**, des boues déshydratées qui, entreposées sur une hauteur de 1 mètre, forment une pente au moins égale à 30° ;
- **boues stabilisées**, des boues qui ont subi un traitement de stabilisation, c'est à dire une filière de traitement qui conduit à une production de boues dont la fermentation est soit achevée, soit bloquée entre la sortie du traitement et la réalisation de l'épandage ;
- **boues hygiénisées**, des boues qui ont subi un traitement qui réduit à un niveau non détectable les agents pathogènes présents dans les boues. Les concentrations pour 10 grammes de matières sèches ne doivent pas dépasser 8 NPP pour Salmonella, 3 NPPUC pour entérovirus et 3 œufs d'helminthes pathogènes viables.

1.2.1 Les boues urbaines

A) Les différents traitements de boues urbaines existants

Il existe deux types principaux de traitement des boues : ceux qui visent à réduire la teneur en eau des boues et ceux qui visent à les stabiliser ; parmi ces traitements, certains permettent d'obtenir l'hygiénisation des boues.

Les traitements visant à réduire la teneur en eau des boues sont le conditionnement, l'épaississement, la déshydratation et le séchage. La stabilisation biologique, la stabilisation chimique, le séchage thermique et l'oxydation thermique permettent de stabiliser les boues. Tous ces traitements sont présentés à l'annexe 13.

Selon la réglementation française, les procédés suivants peuvent être considérés comme permettant d'obtenir des boues hygiénisées [4] : le lagunage, le compostage, le

conditionnement physico-chimique (FeCl_3 + chaux éteinte), le chaulage à la chaux vive, le séchage thermique et le conditionnement thermique.

B) Les boues urbaines émises en France

On considère que 1000 habitants génèrent 73 000 m³ d'eaux usées par an, ce qui correspond après dépollution à 15 à 25 tonnes de matières sèches [2]. Fin 2000, les 12 000 stations d'épuration françaises produisaient 850 000 tonnes de matières sèches de boues soit environ 9 millions de tonnes brutes (tous types de boues confondus) [1] [2]. L'augmentation de la population et de son taux de raccordement aux réseaux collectifs desservant les stations d'épuration, ainsi que l'efficacité croissante des processus d'épuration, doivent aboutir à la production de 1,3 millions de tonnes de matières sèches en 2005 [10]. D'après le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (Direction de l'Eau), on estime aujourd'hui à 16 134 le nombre de STEP en France.

Compte tenu que les traitements des boues existants ont un coût et une logistique qui diffèrent, les boues produites vont varier en fonction de la taille de la station d'épuration qui les produit. Le tableau 1 suivant présente les types de boues urbaines générées en fonction de la taille de la station qui les émet.

	Type de STEP émettrice	Quantité générée (en % des tonnages de MS)	Remarques
Boues liquides	Petites STEP rurales et péri-urbaines	15%	
Boues pâteuses	STEP moyennes	35%	Difficiles à stocker et manipuler, favorisent les fermentations anaérobies
Boues chaulées (consistance pâteuse ou solide)	STEP moyennes et grandes	30%	200 STEP en France, soit 2% du parc français
Boues compostées	STEP moyennes	2%	30 STEP en France
Boues solides non chaulées	Grandes STEP	15%	
Boues séchées	Grandes STEP	Négligeable	3 – 4 STEP en France

Tableau 1. Les différents types de boues produites en France par les stations d'épuration urbaines [1].

Bien que les petites stations d'épuration ne produisent que 15% des boues susceptibles d'être valorisées en agriculture, ces stations sont les plus nombreuses (80% du parc français) et génèrent pour la plupart d'entre-elles des boues liquides [8]. La figure 1 suivante présente la répartition des stations d'épuration urbaines en France selon leur capacité théorique.

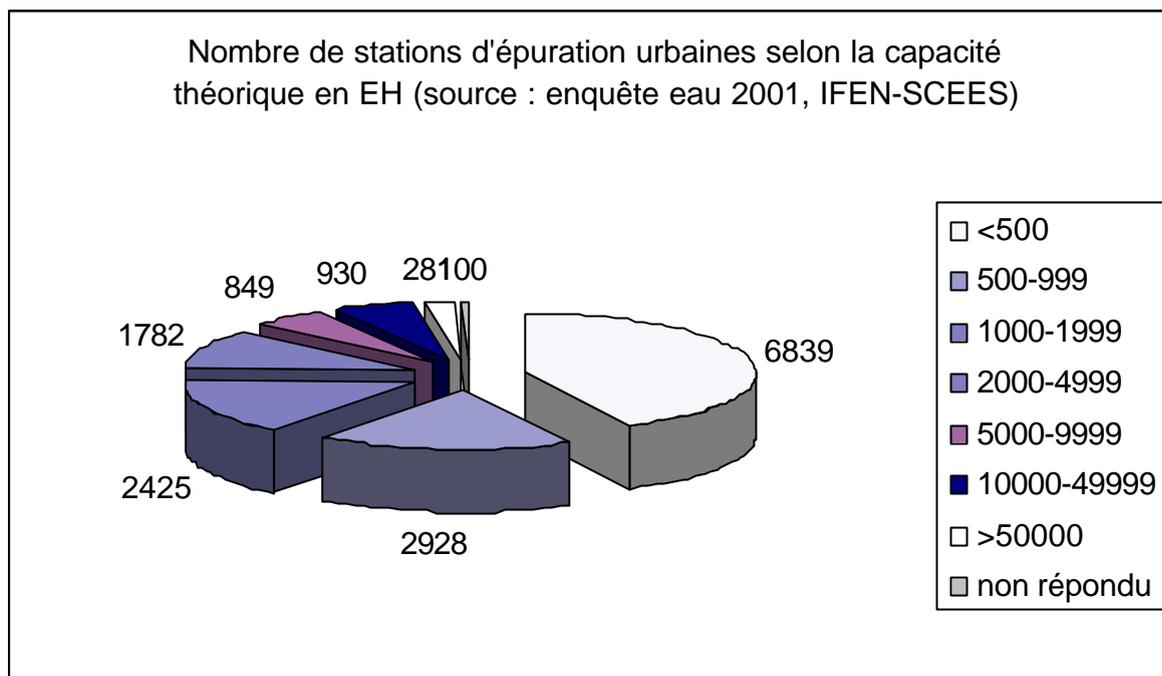


Figure 1. Nombre de stations d'épuration urbaines selon la capacité théorique en EH.

C) Les différents modes de gestion des boues urbaines

Le tableau 6 de l'annexe 2 présente les solutions adoptées par divers pays européens pour éliminer leurs boues de stations d'épuration urbaines. Il est à noter que les données datent d'avant 1998, année à partir de laquelle le rejet en mer fut interdit, celui-ci apparaît donc dans le tableau.

En ce qui concerne la France, il existe trois modes de gestion des boues :

- la mise en décharge ;
- l'épandage en agriculture ;
- l'incinération.

Bien qu'inférieure à la Belgique (Wallonie) et au Danemark, ***l'utilisation agricole des boues urbaines est fortement utilisée en France*** : elle concerne environ **60% des boues produites** (en tonnages de matières sèches). C'est en général le cas dans les pays du nord de l'Europe (car bien que certains pays tels que l'Allemagne et le Royaume-Uni utilisent moins l'épandage des boues que la France, la pression d'épandage (c'est le rapport de la quantité épandue sur la surface agricole) y est plus élevée qu'en France [2]). La mise en décharge reste quant à elle une pratique très répandue (25% de la production française de boues) mais ces données ont dû évoluer depuis 1998 puisque la mise en décharge est un mode de gestion qui sera interdit à partir de 2015 (loi du 13 juillet 1992 sur les déchets) et des modes de gestion tels que le compostage se développent actuellement. La loi 92-646 du 13 juillet 1992 encourage en effet à valoriser les déchets par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir à partir des déchets des

matériaux réutilisables ou de l'énergie ; l'épandage apparaît donc être un mode de gestion adapté.

L'incinération, enfin, peut être « spécifique », c'est à dire que les boues sont incinérées sans être mélangées à d'autres déchets (généralement sur le site de la station) ou bien il peut s'agir d'une « co-incinération » avec d'autres déchets (le plus souvent dans une usine d'incinération d'ordures ménagères). Elle concerne actuellement environ 15% des boues produites.

Si tous les types de boues peuvent être utilisés pour l'épandage en agriculture (sous réserve de répondre à la législation), la mise en décharge et l'incinération n'accueillent pas les boues liquides. Celles-ci doivent subir un traitement complémentaire, et pour cela éventuellement être acheminées vers une autre station.

En ce qui concerne les coûts liés aux trois modes de gestion présentés précédemment, une étude [11] menée par les Agences de l'Eau montre que pour l'épandage de boues liquides est économiquement le plus favorable pour les petites stations (3000 EH) et que l'épandage de boues pâteuses pour les stations moyennes (50 000 EH) reste aussi plus avantageux par rapport aux autres modes de gestion. Pour les grandes stations (300 000 EH), l'épandage de boues solides est économiquement très favorable alors que celui des boues séchées est économiquement très défavorable. En revanche, l'incinération spécifique et la co-incinération de boues séchées présentent des caractéristiques économiques très proches de l'épandage de boues compostées (coûtent une fois et demi plus cher que l'épandage de boues solides).

Il existe cependant des **disparités régionales ou départementales** concernant les politiques de gestion des boues. Le tableau ci-après présente l'état des lieux de la gestion des boues d'épuration en France par bassin hydrographique (données Agences de l'Eau). Les données suivies d'une astérisque * sont extraites de l'étude de marché réalisée par un bureau d'études (Club AtoutBoues) et datent de 2002.

	Rhône Méditerranée Corse	Artois Picardie	Loire Bretagne	Rhin Meuse	Adour Garonne	Seine Normandie
Année de la donnée	1999 2002*	1999 2002*	1996 2002*	1999 2002*	1999 2002*	1998 2002*
Quantité en tonne MS/an	244 500 246 000*	83 000 57 000*	160 000 160 000*	83 150 82 000*	66 300 70 000*	191 000 192 000*
Destination						
Agriculture	41% 36%*	95% 90%*	79% 68%*	54% 46%*	66% 63%*	81% 81%*
Incinération	28% 28%*	0% 0%*	9% 13%*	15% 24%*	8% 8%*	9% 9%*

Décharges	29% 34%*	5% 10%*	12% 19%*	29% 23%*	26% 22%*	4% 4%*
Divers (végétalisation, pistes de ski...)	2% 2%*	0% 0%*	0% 0%*	1% 7%*	0% 7%*	6% 6%*

Tableau 2. La gestion des boues urbaines en France [9B].

L'épandage en agriculture représente une alternative privilégiée dans le bassin Artois Picardie et le bassin Seine Normandie, avec 80% minimum de boues urbaines qui sont recyclées en agriculture. Dans d'autres bassins, tels que Rhône Méditerranée Corse et Rhin Meuse, l'incinération est fort utilisée ; c'est d'ailleurs sur dans ces deux bassins que son recours est le plus important. La mise en décharge reste très utilisée en France, et peut atteindre 34% dans le bassin Rhône Méditerranée Corse.

La répartition du devenir des boues permet donc de conclure que, globalement, les bassins situés dans la partie « nord » de la France (Artois Picardie, Loire Bretagne, Seine Normandie) ont privilégié l'épandage des boues urbaines en agriculture. Une analyse plus détaillée peut être faite grâce aux cartes situées à l'annexe 3 qui présente les taux d'utilisation des filières épandage et incinération des boues urbaines dans les départements français en 2001-2002.

1.2.2 Les boues industrielles

Compte tenu de la multitude des industries générant des boues, ne seront présentées dans ce mémoire que les boues industrielles pouvant être épandues en agriculture. Celles-ci figurent dans la partie 2.1) Les types de boues épandues.

1.3 Les étapes et les acteurs de l'épandage de boues

1.3.1 Les différentes étapes de l'épandage des boues

A) Étape 1 : avant l'épandage, la réalisation d'études de faisabilité

D'après l'article 8 du décret n°97-1133 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées et l'article 2 de l'arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles, le producteur de boues est tenu de réaliser, à ses frais, une **étude préalable** qui définit, entre autres :

- la présentation de l'origine, des quantités et des caractéristiques des boues ;
- l'identification des contraintes liées au milieu naturel ou aux activités humaines sur le périmètre d'étude y compris la présence d'usages sensibles et des contraintes d'accessibilité des parcelles ;
- les caractéristiques des sols, les systèmes de culture et la description des cultures envisagées ;
- une analyse des sols ;
- la description des modalités techniques de réalisation de l'épandage ;

- les préconisations générales d'utilisation des boues ;
- la représentation cartographique au 1/25 000 du périmètre d'étude et des zones aptes à l'épandage ;
- la représentation cartographique des parcelles exclues de l'épandage sur le périmètre d'étude et les motifs d'exclusion ;
- une justification de l'accord des utilisateurs de boues.

En plus de l'étude préalable, si les boues proviennent d'ouvrages de traitement qui reçoivent un flux polluant journalier supérieur à 120 kg de DBO₅ (2000 équivalents-habitants), le producteur de boues doit établir un **programme prévisionnel d'épandage** (article 14 du décret n°97-1133 et article 3 de l'arrêté du 8 janvier 1998). Ce programme prévisionnel d'épandage comprend entre autres :

- la liste des parcelles ou groupes de parcelles concernées ainsi que la caractérisation des systèmes de culture (cultures implantées avant et après apport des boues) sur ces parcelles ;
- des analyses des sols ;
- une caractérisation des boues à épandre (quantités prévisionnelles, rythme de production, valeur agronomique) ;
- les préconisations spécifiques d'utilisation des boues (calendrier prévisionnel d'épandage et doses d'épandage par unité culturale...) en fonction de la caractérisation des boues, du sol, des systèmes et types de cultures et des autres apports de matières fertilisantes ;
- l'identification des personnes morales ou physiques intervenant dans la réalisation de l'épandage.

Dans le cas d'épandage de boues issues du traitement d'eaux usées par lagunage, lorsque l'intervalle entre deux campagnes d'épandage dépasse cinq années, l'étude préalable d'épandage et le programme prévisionnel peuvent être réalisés dans un **document unique** (article 8 de l'arrêté du 8 janvier 1998).

Si le dossier est soumis à autorisation, alors il doit comporter une **étude d'incidence** (boues urbaines) ou une **étude d'impact** (boues industrielles), qui permet d'évaluer les effets de l'épandage sur le milieu, l'environnement et l'Homme, et les mesures techniquement et économiquement envisageables pour compenser ou diminuer ces effets. L'étude d'incidence ou d'impact comprend donc une étude sanitaire.

B) Étape 2 : l'instruction réglementaire

Elle concerne tous les dossiers, qu'ils soient soumis à autorisation ou à déclaration. Les services de l'Administration compétents (voir « les acteurs de l'Administration ») examinent le dossier d'épandage, vérifient s'il est complet et satisfait à la réglementation. En ce qui concerne les boues urbaines, une Mission Inter - Services de l'Eau (MISE), lorsqu'elle est mise en place dans un département, est un pôle dans lequel les différents services de l'État sont représentés (DRIRE, DDASS, DDAF...). Lorsqu'un dossier d'épandage est présenté devant la MISE, celui-ci peut donc être discuté en même temps par différents services compétents. La MISE donne alors un avis qui prend en compte les remarques de ces différents services.

Les dossiers soumis à autorisation (boue urbaines et industrielles) sont présentés devant le Comité Départemental d'Hygiène (CDH), avec les avis formulés par l'administration qui l'instruit (DRIRE, DDASS, DDAF, MISE...). De la décision du CDH dépend l'arrêté autorisant l'épandage. C'est la Préfecture qui met en place la procédure d'enquête publique des épandages soumis à autorisation.

C) Étape 3 : la réalisation de l'épandage

La réalisation de l'épandage comprend le transport des boues et leur épandage sur les parcelles prévues dans le plan d'épandage.

D) Étape 4 : les contraintes permanentes et post-épandage

En permanence, les producteurs doivent enfin mettre en place un **dispositif de surveillance** (article 9 du décret n°97-1133) :

- de la qualité des boues : provenance, origine, caractéristiques (principales teneurs en éléments fertilisants, en éléments traces, composés organiques traces...);
- des épandages : dates, quantités épandues, parcelles réceptrices, cultures pratiquées.

Des services tels que les missions-déchets et l'organisme indépendant (présentés dans la partie «acteurs des épandages ») réalisent une expertise et une contre analyse des boues réalisées dans le cadre de l'auto-surveillance.

Après les épandages, si les boues proviennent d'ouvrages de traitement qui reçoivent un flux polluant journalier supérieur à 120 kg de DBO₅ (2000 équivalents-habitants), le producteur de boues doit établir un **bilan agronomique** (article 14 du décret n°97-1133 et article 4 de l'arrêté du 8 janvier 1998). Ce bilan agronomique comprend entre autres :

- un bilan qualitatif et quantitatif des boues épandues ;
- l'exploitation du registre d'épandage indiquant les quantités d'éléments fertilisants apportées par les boues sur chaque unité culturale et les résultats des analyses de sols ;

- les bilans de fumure réalisés sur des parcelles de référence représentatives de chaque type de sols et de systèmes de cultures.

1.3.2 Les acteurs de l'épandage des boues et leur rôle

A) Le producteur de boues

Le producteur de boues est la station d'épuration s'il s'agit de boues issues du traitement d'eaux usées urbaines ou l'industriel s'il s'agit de boues issues d'effluents industriels ou du traitement d'eaux utilisées dans un procédé. Le producteur de boues est tenu de réaliser à ses frais l'étude préalable, le programme prévisionnel d'épandage et de mettre en place le dispositif de surveillance. En ce qui concerne la réalisation pratique de l'épandage, il peut assurer le transport de la boue jusqu'aux parcelles choisies pour épandre.

B) Les bureaux d'études

Ce sont les acteurs incontournables de l'épandage des boues.

Il participent à la réalisation de l'étude préalable, du programme prévisionnel d'épandage et du bilan agronomique. Ils peuvent réaliser une simple étude et n'ont donc comme responsabilité que la réalisation de celle-ci ; ils peuvent aussi avoir la charge de l'organisation de l'épandage (contrat d'exploitation).

L'organisation des opérations leur est surtout confiée dans le cas des épandages de boues de moyennes et grandes STEP [1]. Ils s'occupent alors des négociations avec les agriculteurs et passent des conventions avec eux ; ils les contactent à nouveau lors de la réalisation du plan prévisionnel en cours. Les bureaux d'étude déterminent aussi le matériel et les opérateurs qui réaliseront les épandages (ils possèdent éventuellement le matériel et le personnel (opérateurs) pour réaliser les épandages), et contrôleront que tout est fait selon ce qui était prévu. Enfin ils doivent confier les analyses de sols à des laboratoires agréés.

C) Les Chambres d'Agriculture

Au même titre que les Chambres de Commerce et d'Industrie, les Chambres d'Agriculture sont des établissements publics à caractère industriel et commercial, placés sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture. Elles ont un rôle consultatif et représentatif des intérêts agricoles auprès des pouvoirs publics ; elles sont aussi une organisation professionnelle d'intervention économique, technique et sociale. Leur budget et leur organisation est présenté en annexe 4.

Chaque Chambre d'Agriculture a des orientations politiques qui lui sont propre, en fonction de la composition de son assemblée. C'est bien sûr le cas en ce qui concerne les épandages de boues. Deux pôles de la Chambre peuvent intervenir : le pôle « études » de la Chambre, qui a le même rôle qu'un bureau d'études, et qui intervient comme

prestataire de service ; d'autre part le pôle « missions – déchets », s'il est mis en place, qui assure un rôle de conseil, de surveillance des pratiques d'épandage et d'expertise (voir ci-après). En 2001, ces missions – déchets ont été mises en place dans 75% des Chambres d'Agriculture [9C].

Lorsque la Chambre d'Agriculture a mis en place une mission – déchets, elle a donc un rôle de juge et partie qui est difficile à tenir. Il doit y avoir une distinction claire au sein de la Chambre d'Agriculture entre les techniciens de la mission – déchets et ceux assurant des missions de prestations de services, mais cela ne paraît pas être toujours le cas.

D) La mission – déchets

Dans le comité de pilotage d'une mission – déchets, on retrouve des organismes tels que l'Agence de l'Eau (représentée dans 74% des comités de pilotage), le Conseil Général (67%), l'ADEME (33%), l'Administration (19%) et les associations de maires et d'industriels (15%) [9C]. Bien que la Chambre d'Agriculture fasse toujours partie de ces comités de pilotage, la mission – déchets n'est pas nécessairement basée chez celle-ci (le Service d'Assistance Technique aux Exploitants de Stations d'Épuration (SATESE) peut l'abriter). Le Comité de Pilotage a pour objectifs de choisir les priorités dans la politique d'épandage à mener l'année suivante et de présenter le rapport d'activités des épandages réalisés dans l'année (il justifie le financement public qui lui est accordé).

Anciennement appelées Missions de Valorisation Agricole des Déchets (MVAD), ces missions possèdent des dénominations très diverses selon les départements [13A] : Mission d'Expertise et de Suivi des Épandages (MESE) dans le bassin Rhône Méditerranée Corse (présente dans 19 départements sur les 30 que comporte le bassin), Mission Inter départementale pour le Recyclage des Sous-Produits de l'Assainissement en Agriculture (MIRSPAA) dans le bassin Seine Normandie (présente dans deux départements), Mission de Valorisation Agricole des Boues d'épuration (MVAB) en Moselle (57), Mission de Recyclage Agricole des Déchets (MARD) dans le département des Ardennes (08), etc.

Leur structure et leur rôle varient selon les départements. Voici une liste non exhaustive des missions qui peuvent leur être attribuées [10] [12] :

- information, conseil et formation des collectivités, des bureaux d'études, des agriculteurs et des tiers en général ;
- expérimentations, à caractère démonstratif, sur la qualité des cultures ayant reçu des boues ;
- cartographie des épandages de matières organiques ;
- gestion des appels d'offre, choix des agriculteurs pour les parcelles d'épandage ;
- expertise des résultats de l'auto-surveillance réalisée par le producteur de boues, pour le compte du Préfet et de l'Agence de l'Eau ;

- amélioration de la qualité des épandages de boues : l'Agence de l'eau tient compte de l'avis des missions – déchets dans les calculs des aides au fonctionnement attribuées aux collectivités.

En temps, les missions – déchets sont plus mobilisées par les déchets hors agriculture (76%) que par les déchets de l'agriculture (15%) et les épandages d'effluents d'élevages (9%) : elles ont donc un rôle important à tenir dans les épandages de boues. Elles ne réalisent cependant pas que des prestations gratuites : leurs prestations rémunérées participent à hauteur de 12% à leur financement (alors qu'elles financent pour plus de la moitié les services des Chambres d'Agriculture), le restant étant financé par la Chambre d'Agriculture (23%), l'Agence de l'Eau (34%) et le Conseil Général (18%) [9C].

E) Les Agences de l'Eau

Chaque Agence de l'Eau définit sa propre politique en matière de politique de gestion des boues de stations d'épuration. Dans tous les cas, elles ne réalisent aucune prestation. La pratique de l'épandage est considérée par les Agences de l'Eau comme un mode épuratoire : cette pratique rentre dans leur système de redevance et de primes pour l'épuration. Les Agences de l'Eau peuvent favoriser l'épandage des boues de stations d'épuration en aidant financièrement les producteurs à réaliser des études préalables au plan d'épandage par exemple ou encore en participant au financement des organismes indépendants (voir ci-après). Les Agences de l'Eau financent en moyenne à 80% la mise en place de l'organisme indépendant et à 34% les missions – déchets [9C]. Elles peuvent également intervenir en tant que conciliateur (mise en place de structure de dialogue et de concertation, communication...) afin de favoriser l'acceptabilité de cette pratique.

F) L'organisme indépendant

D'après l'article 18 de l'arrêté du 8 janvier 1998, le Préfet, en accord avec la Chambre d'Agriculture, peut faire appel à un organisme indépendant pour s'assurer de la validité des données fournies dans le cadre de l'auto-surveillance des épandages et assurer un suivi agronomique. La mise en place de l'organisme indépendant a été favorisée dans les départements où les acteurs affichent clairement leur soutien à l'épandage des boues.

Ces organismes indépendants sont bien sûr différents selon les départements, ils sont créés en partenariat et co-financés par les Agences de l'Eau et/ou les Chambres d'Agriculture, le Conseil Général, l'ADEME... Leurs orientations sont quelquefois différentes mais leur objectif est identique : sécuriser et pérenniser la filière des épandages. Pour cela, l'organisme indépendant [9D] :

- a un rôle d'expertise : il formule des avis techniques sur les études préalables au plan d'épandage et éventuellement pour les documents de suivi élaborés par les producteurs. Il peut aussi réaliser des analyses de sols et de boues ;
- centralise et synthétise des données relatives à l'épandage ;

- sensibilise, conseille, informe voire forme des partenaires de la filière ;
- harmonise des méthodes et acquiert de références ;
- assure le secrétariat ou l'animation des comités rattachés à sa structure.

L'organisme indépendant est souvent reconnu par l'État, ce qui se matérialise par un arrêté préfectoral ou une convention bipartite entre le Préfet et l'organisme indépendant. En 2001, une vingtaine de structures était officiellement reconnue [9D].

Certaines missions – déchets peuvent être des organismes indépendants : c'est le cas des MESE dans le bassin Rhône Méditerranée Corse présentées ci-dessus ou du Service d'Assistance Technique à la Gestion des Épandages (SATEGE) dans le bassin Artois Picardie.

G) Les acteurs de l'Administration

Pour les boues d'origine urbaine, ce sont les services déconcentrés chargés de la Police de l'Eau, c'est à dire la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF) ou la Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales (DDASS) qui instruisent les dossiers. La Direction Départementale de l'Équipement (DDE) peut également intervenir.

Pour les boues industrielles, ce sont la Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) et la Direction Départementale des Services Vétérinaires (DDSV) qui sont officiellement les services instructeurs des dossiers d'épandage. Globalement la DDSV est en charge des boues d'industries agroalimentaires (laiteries, abattoirs, casseries d'œufs, conserveries...) et la DRIRE en charge d'effluents des autres industries pouvant être épandus (principalement de papeteries). Mais selon les départements ces responsabilités en terme d'instruction des dossiers peut changer. La DDASS est souvent consultée pour la partie sanitaire de l'étude d'impact.

H) Les agriculteurs et les entreprises agricoles

Ils participent essentiellement aux épandages des boues de petites stations d'épuration, qui sont le plus souvent liquides, en utilisant une simple tonne à lisier pour le transport et l'épandage.

Pour les stations d'épuration moyennes à grandes, ce sont des prestataires privés qui ont leur propre matériel et du personnel qualifié en travaux agricoles qui réalisent les épandages. Ces travaux sont saisonniers (on ne peut épandre toute l'année) et le reste du temps les travailleurs sont employés à d'autres travaux agricoles. Les grands groupes, tels que VEOLIA, la LYONNAISE DES EAUX et la SAUR, peuvent avoir leur matériel mais c'est de plus en plus rare car celui-ci est onéreux et perfectionné.

Très actives en milieu rural, les Coopératives d'Utilisation du Matériel Agricole (CUMA) et les Entreprises de Travaux Agricoles (ETA) disposent de matériels spéciaux pour le transport et l'épandage [1]. Cependant, selon les départements, l'activité des CUMA et

des ETA varie : il leur est en effet souvent demandé de ne pas s'impliquer dans les épandages et de laisser aux prestataires privés le soin de faire les épandages. En Dordogne, par exemple, les agriculteurs sont au contraire très impliqués dans les épandages et 90% de ceux-ci sont réalisés par la CUMA.

1.4 Les facteurs humains de l'exposition

1.4.1 L'exposition : définitions

L'évaluation de l'exposition consiste à déterminer ou estimer les voies d'exposition, la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition (définition l'INERIS 2003). L'exposition résulte de différents facteurs ; ces facteurs peuvent être :

- liés au milieu (concentration du polluant dans le milieu) ;
- physiologiques (poids de la personne exposée, etc.) ;
- liés à la consommation (quantité de milieu administrée par la voie considérée) ;
- temporels (durée et fréquence d'exposition).

Pour prendre en compte ces paramètres, l'Agence Américaine de l'Environnement (US EPA) a rédigé en 1997 un recueil de données [18] sur les facteurs humains de l'exposition. Ce recueil renseigne par des données nationales des facteurs physiologiques, des budgets espace-temps, des quantités d'aliments consommés ou de sol ingérés, etc. Un projet est actuellement financé par le CEFIC (Conseil Européen de l'Industrie Chimique) pour mettre en place une base de données européenne sur les déterminants de l'exposition humaine à travers l'Europe qui sera directement utilisable pour l'évaluation des risques sanitaires.

1.4.2 Données bibliographiques existantes

Pour calculer une dose journalière d'exposition et une concentration moyenne inhalée, certains paramètres d'exposition peuvent être extraits de banques de données nationales ou régionales. C'est le cas des consommations alimentaires ou du poids corporel.

Actuellement ces données peuvent être renseignées au niveau français grâce au logiciel CIBLEX. Il s'agit d'une banque de données de paramètres descriptifs de la population française au voisinage d'un site pollué ; réalisé par l'ADEME et l'IRSN, il permet d'obtenir des données statistiques de comportement, de géographie, d'occupation du sol et socio-démographiques. Il comprend entre autres des informations relatives à la consommation de divers produits de consommation courante mais aussi de produits issus de la cueillette, de la chasse, de la pêche.

1.4.3 Application au cadre de l'épandage des boues

Dans le cas particulier d'épandages de boues, l'étude des facteurs humains de l'exposition porte essentiellement sur l'analyse des voies d'exposition pertinentes à

prendre en compte, sur les durées et les fréquences d'exposition, ainsi que sur les données relatives aux quantités de produits ingérés. En effet, même si des budgets espace-temps et des données relatives aux consommations d'aliments existent au niveau national, il est nécessaire de renseigner ces informations plus précisément dans l'étude spécifique d'un plan d'épandage. Des pratiques particulières peuvent modifier ces informations.

2 LA REALISATION PRATIQUE DES EPANDAGES EN FRANCE

Les résultats présentés dans cette partie 2 sont issus de **données de terrain** communiquées par des bureaux d'études, des Chambres d'Agriculture, des missions – déchets ou des Agences de l'Eau. La liste des contacts figure à l'annexe 1. **Ces données sont à prendre avec précaution** car elles ne sont pas exhaustives, les acteurs qui les ont communiquées ne couvrant pas l'intégralité des épandages de boues réalisés en France.

Par la suite, les données relatives aux types de boues épandues et aux cultures mises en place juste après les épandages sont présentées selon un découpage par bassin hydrographique. Afin d'alléger la présentation des tableaux, nous entendrons par AP le bassin Artois Picardie, SN le bassin Seine Normandie, RM le bassin Rhin Meuse, RMC le bassin Rhône Méditerranée Corse, AG le bassin Adour Garonne et LB le bassin Loire Bretagne. Pour faciliter le traitement des données départementales fournies par différents acteurs, il a été choisi le rattachement départemental aux différents bassins tel que présenté en annexe 5.

Enfin, des visites de chantiers d'épandage à Istres (13) et à Dreux (28) ont permis d'acquérir encore plus une vision « de terrain » des épandages.

2.1 Les types de boues épandues

2.1.1 Boues urbaines

Selon des données ADEME [3], l'épandage de boues de stations d'épuration (hors composts urbains) est estimé à 5 millions de tonnes en 2001.

Le tableau ci-dessous présente, pour chaque bassin et en moyenne pour la France **en 2003**, la proportion des parcelles épandues en fonction du type de boues urbaines. Ce tableau a été construit grâce aux données communiquées par le bureau d'études SEDE. La catégorie «boues » regroupe des données sur les épandages de boues urbaines, sans précision sur le type exact de boues épandues.

	AP	SN	RM	RMC	AG	LB	France
Liquides	7,7%	17,2%	15,2%	8,7%	17,5%	31,7%	16,8%
Pâteuses	34,1%	21,3%	28,6%	36,3%	13,2%	12,7%	24,2%
Solides	36,1%	43,7%	3,9%	25,4%	14,1%	18,5%	31,8%
Séchées	6,4%	2,4%	1,7%	8,3%	35,5%	-	4,4%
Compostées	14,3%	7,3%	50,6%	21,3%	19,3%	1,7%	13,7%
Chaulées	-	7,1%	-	-	-	32,3%	7,9%
Boues	1,5%	0,5%	-	-	0,4%	0,8%	0,7%
Boue avec pH abaissé	-	0,4%	-	-	-	2,4%	0,5%
Boues de curage des lagunes	-	0,1%	-	-	-	-	<0,1%

Tableau 3. Proportion des surfaces épandues en fonction des types de boues urbaines, en moyenne sur la France et dans chaque bassin (données SEDE 2003).

Si l'on compare les surfaces épandues selon les types de boues, on s'aperçoit que la proportion de parcelles épandues avec des **boues liquides** est bien inférieure en Rhône Méditerranée Corse (8,7%) et en Artois Picardie (7,7%) par rapport à la moyenne nationale (16,8%). Par contre, sur le bassin Loire Bretagne, c'est pratiquement le double de la surface moyenne qui est épandue avec des boues liquides (31,7%).

Si les parcelles des bassins Rhône Méditerranée Corse et Artois Picardie reçoivent peu de boues liquides, elles reçoivent en revanche plus de **boues pâteuses** (36,3% et 34,1%) que les parcelles « moyennes » (24,2%). À l'inverse, le bassin Loire Bretagne, qui épand beaucoup de boues liquides, épand peu de boues pâteuses (12,7%).

L'épandage de **boues solides** fait quant à lui l'objet d'une grande diversité. S'opposent des bassins dans lesquels peu de parcelles sont épandues avec des boues solides, tels que les bassins Adour Garonne (14,1%), Loire Bretagne (18,5%) et surtout Rhin Meuse (3,9%), et le bassin Seine Normandie où 43,7% des surfaces reçoivent des boues solides. Il en est de même pour les **boues compostées** : peu épandues sur les bassins Loire Bretagne (1,7%) et Seine Normandie (7,3%), elles le sont sur plus de la moitié des parcelles utilisées pour la valorisation des boues urbaines en agriculture du bassin Rhin Meuse.

L'épandage de **boues chaulées** et l'épandage de **boues ayant subi un abaissement de pH** ne sont présents que dans deux des six bassins, en Seine Normandie et Loire Bretagne. Il est à noter que l'épandage de boues « acides » est relativement peu courant (0,4% et 2,4% des parcelles) par rapport à celui des boues chaulées (7,1% et 32,3%).

Enfin, la forte proportion de **boues séchées** en Adour Garonne (35,5%) n'est pas représentative des boues épandues dans le bassin ; celles-ci sont générées par la station d'épuration de la ville de Toulouse.

Quant aux **boues de curage des lagunes**, bien que les données de SEDE ne les fassent que peu apparaître en 2003, elles peuvent représenter une part conséquente des boues épandues : en effet les lagunes construites il y a une quinzaine d'années ont besoin d'être curées et vont en 2004 et dans les années à venir représenter une part plus importante que celle représentée en 2003.

Malgré les tendances générales concernant les types de boues épandues selon les divers bassins hydrographiques, il ne faut pas oublier qu'il existe de **grandes disparités départementales**. Par exemple, alors que dans le bassin Rhône Méditerranée Corse un peu plus de 20% des surfaces sont épandues avec des boues compostées, dans le département du Gard ce sont 80% des surfaces épandues (données Chambre Agriculture). Inversement, dans le département du Gard, 1,1% des surfaces épandues seulement le sont avec des boues solides, alors qu'elles représentent 25,4% des surfaces en Rhône Méditerranée Corse d'après les données SEDE.

2.1.2 Boues industrielles

A) Industries agroalimentaires (IAA)

Une étude réalisée pour le Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement [6] avait pour but d'évaluer les quantités actuelles et futures de sous-produits épandus sur les sols agricoles provenant des industries agroalimentaires.

Il ressort de cette étude que deux types de secteurs agroalimentaires se distinguent en ce qui concerne l'épandage en agriculture. Tout d'abord ceux qui pratiquent couramment l'épandage, tels que la **filière viande** (abattage et charcuterie), la **filière betteravière** (sucre et distillerie), le **secteur de la distillerie** (betteraves, brasseries, malteries, viti-vinicoles), le **secteur des fruits et légumes**, le **secteur des boissons non alcoolisées**, le **secteur amidonneries / féculeries**, le **secteur laitier**. Ensuite, d'autres secteurs pratiquent l'épandage comme un mode de valorisation annexe (les volumes épandus sont faibles et n'ont donc pas été quantifiés dans l'étude); il s'agit des secteurs de la biscuiterie, des produits avicoles, des produits de la mer, des condiments, des oléagineux, des aliments pour animaux et du chocolat / confiserie.

Le volume global de sous-produits et boues épandus en 2000 s'élève à environ 8,5 millions de tonnes en équivalent matière brute et celui qui concerne les effluents à 13 millions de m³ en équivalent matière brute. Mais tous les secteurs agroalimentaires ne génèrent pas des boues : c'est le cas du secteur viti-vinicole et de l'industrie betteravière qui produisent cependant de nombreux sous-produits valorisables en agriculture (l'industrie betteravière génère environ 76% des déchets agroalimentaires épandus sur les sols agricoles). D'autres secteurs sont constitués par une multitude d'entreprises qui ne possèdent pas une structure et une logistique suffisantes pour abriter leur propre station de traitement ; les effluents sont alors dirigés vers une station de traitement des eaux usées urbaines. C'est le cas des abattoirs publics (les abattoirs privés, de taille plus grande, représentent 10% des abattoirs en activité, soit 30 à 40% des volumes) et des entreprises de la boisson non alcoolisée (30% des entreprises de ce secteur possèdent leur propre station d'épuration). Le secteur de la charcuterie et le secteur laitier (effluents

de fromageries principalement car la production de lait engendre peu de sous-produits) sont constitués de beaucoup de petites structures reliées à une station d'épuration collective. Le tableau 4 ci après présente, pour chaque secteur, les masses ou volumes de boues épandues en 2001 et une prévision pour l'année 2006.

	Boues épandues (équivalents matière brute) en 2001	Estimation des boues épandues (équivalents matière brute) en 2006
Filière betteravière (sucre et distilleries)	Ne produit pas de boues	Ne produit pas de boues
Filière viande (abattage)	300 000 à 420 000 m ³	0 à 450 000 m ³
Filière viande (charcuterie)	195 000 à 345 000 m ³	0 m ³
Filière distillerie (viti-vinicole)	Ne produit pas de boues	Ne produit pas de boues
Filière distillerie (secteur brasserie)	25 à 58 kt	25 à 40 kt
Filière distillerie (secteur cidrerie)	1 kt	0 à 1kt
Filière distillerie (secteur malterie)	10 à 12 kt	10 à 12 kt
Secteur fruits et légumes	Faibles quantités	Faibles quantités
Secteur boissons non alcoolisées	10 à 15 kt	10 à 15 kt
Secteur amidonneries / féculeries (45% de MS)	100 à 125 kt	100 à 150 kt
Secteur laitier	70 kt	50 à 70 kt

Tableau 4. Masses ou volumes de boues épandues pour les différents secteurs agroalimentaires en 2001 et estimation pour l'année 2006 [6].

Les données étant exprimées en matière brute, en unité de masse ou de volume, il est difficile d'apporter un commentaire quant à l'importance de chaque filière en terme de production de boues. Il est à noter que des gisements tels que la filière viande peuvent susciter de nombreuses préoccupations sanitaires ; ces préoccupations ont été abordées dans d'autres mémoires de fin d'études de la filière d'Ingénieur du Génie Sanitaire, tels que celui d'Emmanuel Pompée (2002-2003) et Sandrine Deglin (2001-2002). Ils se sont respectivement intéressés aux risques microbiologiques liés à l'épandage de boues issues du traitement d'eaux d'abattoirs de porcs et de volailles, et de ruminants.

B) Autres industries

Le rapport [7] présente les quantités de déchets industriels (hors industries agroalimentaires) épandus sur les sols agricoles en 2000. Quatre grands secteurs industriels valorisent des boues en agriculture. Il s'agit de :

- l'**industrie du papier**, qui épand principalement des boues primaires, biologiques et mixtes (mélange de boues primaires et de boues biologiques) issues de la station d'épuration des effluents d'usine mais aussi des boues de désencrage et des cendres. Les boues épandues en agriculture représentent 290 000 tonnes de matières sèches , avec une siccité moyenne de 55%, et les boues de désencrage 96 000 tonnes de matières sèches, avec une siccité moyenne de 45% ;
- la **chimie** et la **pharmacie**, qui épandent des boues issues du traitement des milieux de culture mais aussi des tourteaux végétaux (co-produits générés lors des processus d'extraction de principes actifs, d'arômes ou d'huiles essentielles). Les boues

provenant de ces deux secteurs industriels sont très hétérogènes car il y a une grande diversité de matières de base et de processus industriels. Les gisements de déchets issus des industries de la chimie et de la pharmacie sont difficiles à évaluer ainsi que la part que représente l'épandage agricole. Cependant le rapport [7] fait état de 72 000 tonnes de boues (en matières sèches) épandues en agriculture (soit 40% du gisement des boues issues des secteurs de la chimie et de la pharmacie). La siccité moyenne de ces boues est de 26% ;

- la **production d'énergie**, qui traite des volumes considérables d'eaux de refroidissement et génère des boues très chargées en carbonates. L'épandage agricole de ces boues est estimé à 30 000 tonnes de matières sèches en 2000 ;
- l'**industrie textile**, qui épand des boues issues principalement du lavage des laines et de l'ennoblissement (hors peignage de la laine) des fibres textiles. Les boues issues de l'ennoblissement sont estimées entre 78 000 et 90 000 tonnes de matières brutes (siccité moyenne de 10%). 75% de ces boues (matières brutes) sont valorisées en agriculture, soit environ 42% du gisement des boues en matières sèches. 3200 tonnes de boues (matières sèches) sont donc épandues. Les boues issues du lavage des laines sont estimées à 11 000 tonnes de matières sèches ; 35% d'entre elles sont épandues en agriculture, soit 3850 tonnes de matières sèches.

Les boues issues de l'industrie papetière représentent donc la majorité des boues industrielles épandues en agriculture (78%) ; leur épandage n'a pas subi la crise qui a touché l'épandage de boues urbaines. Les boues issues de la chimie et de l'industrie pharmaceutique représentent un peu moins de 15% des tonnages épandus (en matières sèches) et souffrent souvent d'une mauvaise image ; des industriels de la chimie ont même décidé de renoncer à la filière épandage. Les boues issues de l'industrie textile présentent quelquefois de fortes teneurs en chrome et en cuivre mais leur épandage ne souffre pas de problèmes médiatiques ; leur tonnage est d'ailleurs faible (1,4% des tonnages des industries hors agroalimentaire épandus, en matières sèches).

Tous types de déchets et co-produits pouvant être épandus en agriculture, les prévisions laissent envisager une progression des épandages de l'ordre de 34% de matières sèches épandues en 2005.

2.2 Données sur le matériel et la réalisation des épandages

2.2.1 Le matériel

A) Le matériel de reprise

Afin de pouvoir épandre les boues sur les parcelles agricoles, celles-ci doivent être saisies et vidées dans le conteneur qui servira à les épandre. Les données présentées dans cette partie sont issues d'un recueil sur les matériels de reprise des boues résiduaires urbaines après stockage [8] et de visites sur le terrain. Des photos illustrant les différents types de matériels de reprise sont présentées à l'annexe 10.

De manière générale, on distingue les boues liquides des boues solides et pâteuses en ce qui concerne les matériels de reprise des boues. Les boues ayant un état physique intermédiaire entre l'état liquide et l'état pâteux posent des problèmes de reprise.

Pour les **boues liquides**, la reprise se fait grâce à une **tonne à lisier** (voir ci-dessous, le matériel d'épandage), manuellement ou grâce à un bras de pompage automatique, par le biais d'une prise latérale sur la tonne à lisier. Le bras de pompage automatique permet de gagner du temps (le chauffeur n'a pas descendre du tracteur), d'éviter des éclaboussures et de ne pas manipuler des tuyaux souillés.

Pour les **boues pâteuses et solides**, ce sont des chargeurs qui sont utilisés. Bien que le matériel d'épandage se soit perfectionné, le matériel de reprise est resté très rudimentaire, ce qui entraîne une perte de temps au niveau de la reprise des boues. Deux grandes catégories de chargeurs sont fréquemment employées pour la reprise des boues :

- les **chargeurs frontaux à deux bras, montés sur tracteurs agricoles**. Ils sont très utilisés dans les stations d'épurations de petite et moyenne taille ;
- les **chargeurs automoteurs à bras télescopique**.

Dans les grandes stations d'épuration on peut aussi trouver des **tracto-pelles** et surtout des **chargeuses sur pneus** aux performances élevées qui permettent de limiter le temps consacré à la manutention des boues. Plus rarement on trouve aussi des **chargeurs compacts** et des **chariots tout terrain à mâts** (ces deux types d'appareils présentent des problèmes de hauteur de levage de la benne pour remplir des remorques et camions). Enfin il existe des **grues portées ou semi-portées sur tracteur agricole** qui sont des moyens peu utilisés en France.

B) Le matériel d'épandage

Le matériel d'épandage varie selon le type de boues. Le CEMAGREF et l'ADEME se sont intéressés aux divers matériels d'épandage des boues résiduaires [3]. Des photos relatives à ces matériels sont situés à l'annexe 11.

a) *L'épandage des boues liquides*

Il s'effectue traditionnellement à l'aide d'une **tonne à lisier**. Ces épandeurs, conçus autour d'une citerne, assurent à la fois le remplissage, le transport et l'épandage des boues liquides. Leur technologie a largement évolué : des bras articulés permettent de déclencher le pompage sans quitter le siège du tracteur, des essieux suspendus permettent d'avoir de bonnes qualités routières pour la remorque et enfin de nombreux équipements sont possibles pour l'épandage (buses, rampes et enfouisseurs). Ces équipements sont présentés ci-après.

La **buse d'épandage** est l'équipement le moins cher ; elle projette le liquide sous la forme d'une nappe et est efficace même dans le cas d'un produit chargé. Les inconvénients de la buse est que le produit tend à se vaporiser et à produire de mauvaises odeurs et que sa fixation ne permet pas un calage précis dans le plan horizontal et vertical, donc le jet d'épandage peut pencher sur un côté.

Une **rampe à buses d'épandage** est constituée par une rampe fixée sur la tonne à lisier, sur laquelle sont placées une série de buses. La rampe permet de maîtriser la largeur du travail et les jets sont moins amples et plus près du sol que celui de la buse unique. Par contre la régularité d'épandage ne se vérifie pas lorsque le maintien en bon état de la rampe et des circuits hydrauliques n'est pas bien mené.

La **rampe à pendillards** est constituée par une rampe fixée sur la tonne à lisier, sur laquelle sont placées une série de tuyaux dont l'extrémité repose au sol. Le liquide épandu ne salit pas les feuilles de la végétation, il y a moins d'odeurs émises que lors de l'utilisation d'une rampe à buses. L'inconvénient principal est dû au fait que le système est sensible au bouchage avec des produits chargés. Cet équipement est aussi plus coûteux à l'achat qu'une rampe à buses.

Enfin la tonne peut être équipée d'**enfouisseurs**. Il en existe trois types : les enfouisseurs pour prairies, les enfouisseurs pour sol cultivé et les enfouisseurs polyvalents. Certains enfouisseurs pour prairies incorporent le produit liquide sans détruire l'implantation de l'herbe (cas des disques), d'autres composés de dents détériorent l'enracinement. Les enfouisseurs pour sols cultivés peuvent être à dents (dents rigides pour permettre un bon mélange terre-boue ou dents flexibles vibrantes pour procurer un bon affinement de la terre) ou à disques ; ces derniers optimisent le recouvrement. Les enfouisseurs polyvalents enfin, qui peuvent fonctionner sur prairie ou sur culture, comportent des coutres circulaires (disques plats) de grand diamètre ; dans le sillon formé par le coutre

circulaire, une dent munie d'un soc en forme de patte d'oie ouvre une cavité qui va recueillir la boue déversée.

L'épandage des boues liquides peut aussi se faire à l'aide de **rampes d'irrigation**. Il consiste à utiliser un matériel d'irrigation pour épandre les boues liquides.

Un camion muni d'une pompe, un tracteur et une rampe d'épandage tractée par un enrouleur d'irrigation sont nécessaires à l'épandage. Le camion a deux fonctions : celle de transporter les boues et d'entraîner la pompe grâce à son moteur. Le tracteur permet de déplacer la rampe et la vitesse d'enroulement permet de déterminer la dose épandue. Un type de buse a été conçu pour ces rampes d'épandage de boues, elles forment un jet conique qui se divise en grosses gouttes.

Enfin l'épandage de boues liquides peut aussi être à **tuyau ombilical**. Une rampe comportant des pendillards est portée par un tracteur tout en restant branchée au tuyau d'alimentation branché au container de boues placé en bordure de parcelle. Mais bien que le procédé soit quelque peu semblable à celui des rampes d'irrigation, la rampe a une largeur bien plus restreinte que précédemment. Une pompe est utilisée pour mettre le liquide en pression.

L'article 15 du décret du 8 décembre 1997 spécifie que l'épandage à l'aide de dispositifs d'aérodispersion qui produisent des brouillards fins est interdit.

b) L'épandage des boues pâteuses

Il a toujours été perçu comme une pratique à problèmes. Les différents épandeurs spécifiques fonctionnent tous sur le même principe de projection à l'arrière de la remorque épandeuse.

Le principe de fonctionnement des appareils est le suivant : la boue est stockée dans une trémie étanche en forme de V ; une ou deux vis en fond de trémie entraînent la boue vers la sortie dont l'ouverture est réglée par une trappe. À cet endroit, elle tombe sur deux disques en rotation qui la projettent sous forme de nappe, recouvrant ainsi le sol à l'arrière de l'épandeur.

L'épandage de boues pâteuses liquides donnant de mauvais résultats, il convient alors d'essayer des solutions alternatives, soit en diluant les boues avec de l'eau pour les rendre plus liquides ou bien en les reconditionnant pour qu'elles soient plus pâteuses. L'épandage de boues pâteuses moyennes donne de bons résultats en terme de régularité d'épandage. L'inconvénient est l'émission de mauvaises odeurs ; pour palier à ce problème, l'enfouissement immédiat est conseillé. L'épandage de boues pâteuses plastiques, généralement des boues chaulées, pose quelques problèmes lors de

l'épandage avec un épandeur spécifique. Il est souhaitable d'utiliser un épandeur pour boues solides.

c) *L'épandage des boues solides*

Les épandeurs dérivent des épandeurs de fumiers. Un tapis à barrettes entraîne le chargement vers l'arrière de la machine où le produit est déchiqueté puis expulsé. La vitesse d'avancement du tapis est modulable. Deux types d'épandeurs sont principalement utilisés : les épandeurs à hérissons verticaux et les épandeurs à table d'épandage. L'épandage des boues solides, lorsque celles-ci ont un fort pourcentage de siccité, peut générer la formation de poussières.

d) *L'épandage des boues séchées*

L'épandage peut être réalisé avec un distributeur d'engrais ; il est possible d'obtenir un épandage régulier lorsque les caractéristiques granulométriques sont similaires à celles des engrais. L'inconvénient principal est le dégagement d'une quantité assez importante de poussières et la conception des distributeurs d'engrais n'est pas adaptée aux débits nécessaires à l'épandage de doses importantes.

C) Remarques

Afin d'épandre dans une direction unique, des dispositifs de guidage peuvent être installés ; ainsi on n'épand pas plusieurs fois au même endroit. Les moyens modernes sont équipés de GPS. Le système de barre de guidage à rangée de voyants LED (diode électroluminescente) est le plus répandu ; si l'appareil suit correctement la trace indiquée, c'est la LED centrale qui est éclairée, s'il s'éloigne de la ligne centrale alors c'est une LED latérale qui s'allume. Les autres dispositifs utilisent un écran graphique et on peut y suivre la position du tracteur par rapport à la trace de guidage. Certains dispositifs permettent même de poser un jalon virtuel lorsque l'épandeur est vide, ce qui permet après remplissage de l'épandeur de revenir à ce point précis [3].

2.2.2 Le déroulement du chantier d'épandage

A) Avant le chantier, une logistique rigoureuse

La réussite d'un chantier dépend de sa bonne organisation. Le planning des épandages est consigné dans les programmes prévisionnels mais celui-ci doit être adaptable aux disponibilités de celui qui réalise l'épandage, de celui qui amène les boues, de l'agriculteur dont la parcelle n'est pas forcément libre pour recevoir les boues (par exemple, moissons non faites, ce qui repousse l'épandage, ou nécessité absolue du champ, ce qui élimine la parcelle de la liste des parcelles disponibles pour épandre). Les conditions météorologiques et les pannes de matériel influent aussi sur le planning de réalisation de l'épandage.

Lors de la visite effectuée sur le chantier d'épandage des boues de la ville d'Istres, c'était l'opérateur qui était chargé de communiquer avec les agriculteurs pour organiser selon leurs possibilités au mieux les épandages : la logistique est donc au cœur de la réussite des épandages. Il est à noter que l'agriculteur se préoccupe peu des épandages (il y participe éventuellement pour épandre lui-même des boues liquides issues de petites STEP) : il vérifie de manière inopinée le correct déroulement mais laisse l'opérateur libre dans son travail. Par contre il veut pouvoir disposer de la parcelle selon les dates fixées dans son calendrier.

B) Le travail des opérateurs

Les chantiers mobilisent de une à cinq personnes [3]. Les chantiers à un épandeur et une personne sont fréquents en épandage de boues liquides ; c'était le cas lors de la visite de terrain qui eut lieu à Istres. Pour les épandages des autres types de boues, se pose le problème de l'acheminement des boues sur le chantier ; pour les chantiers où les trajets sont importants, il est plus simple de travailler à plusieurs personnes, avec une personne qui s'occupe uniquement de l'acheminement des boues jusqu'au chantier. Mais pour être rentable, cette alternative implique le travail simultané de plusieurs épandeurs, ce qui techniquement n'est possible que sur les gros chantiers d'épandages et pour des entreprises possédant suffisamment de matériel et de main d'œuvre.

Comme indiqué auparavant, les agriculteurs imposent aussi leur calendrier de travail : les opérateurs doivent donc s'adapter à ces contraintes temporelles. Les épandages ont principalement lieu à la fin de l'hiver, fin juillet et début août après les moissons, et en octobre novembre. Les journées de travail en période d'épandage des opérateurs peuvent dépasser 70 heures par semaine. Se présente alors le problème lié à l'eau sur les chantiers, notamment si les opérateurs doivent prendre leur repas sur place.

Les agriculteurs réalisent peu l'épandage proprement dit, sauf dans le cas de certaines petites stations d'épuration produisant des boues liquides. Par contre ils réalisent souvent l'enfouissement des boues, lors de la préparation de leur champ pour les futures cultures à mettre en place.

2.2.3 Les problèmes d'odeurs et de propreté du chantier

A) Les problèmes d'odeurs

Les problèmes d'odeurs représentent un inconvénient majeur en ce qui concerne l'acceptabilité des épandages par les populations riveraines. Les dégagements ont lieu durant les étapes de chargement, transport et épandage. Pour minimiser ces problèmes, des précautions peuvent être prises concernant le transport, par exemple par l'utilisation de bennes étanches ou de camions bâchés. En ce qui concerne l'épandage, peu de mesures peuvent être prises si ce n'est d'enfouir au plus vite les boues épandues ; dans

le cas des boues liquides, l'utilisation d'enfouisseurs permet un enfouissement simultané à l'épandage.

B) La propreté des chantiers

Comme cela est expliqué dans la partie concernant les matériels utilisés pour charger les boues et les épandre, certains matériels ont tendance à salir les opérateurs.

Lorsque la reprise des boues liquides se fait grâce à un bras de pompage automatique, l'opérateur ne touche pas au matériel souillé sauf en cas de bouchage ou de nettoyage ; ce matériel permet d'éviter de salir le lieu de pompage où l'opérateur s'approvisionne avec les boues. Il permet de garantir au maximum les risques sanitaires liés à la reprise de ces boues. Pour les boues pâteuses ou solides, il n'existe pas de matériel spécifique à la reprise des boues et les engins utilisés ne sont pas forcément équipés d'une cabine vitrée, et encore moins d'une cabine climatisée. Ce matériel, quel qu'il soit, est fort susceptible de salir le lieu de reprise des boues (station d'épuration, bordure de champ...). Le chargement des boues demande donc une bonne maîtrise de la part de l'opérateur.

En ce qui concerne l'épandage des boues, la tonne à lisier est le matériel le plus couramment utilisé pour les boues liquides. L'épandage par rampe d'irrigation permet d'augmenter de façon importante le nombre de jours possibles d'épandage tout en laissant le chantier et la route propres. Par contre des embruns sont perceptibles en cas de vent ; pour les éviter, la rampe peut être munie de pendillards, qui seront alors plus espacés que sur la rampe classique. L'épandage à tuyau ombilical présente l'avantage d'être régulier (il suffit de stabiliser la vitesse du tracteur) mais le déroulement du tuyau est une opération salissante pour les utilisateurs. Lors de l'épandage de boues pâteuses, solides et séchées, l'opérateur se salit moins que lors de l'épandage de boues liquides. L'inconvénient des boues séchées et des boues solides à forte siccité réside dans la formation de poussières. Sur les gros chantiers d'épandage, les cabines du matériel utilisé pour épandre sont climatisées.

Les voies d'accès aux parcelles épandues sont quelquefois souillées par de la terre voire de la boue qui, collées sous les pneus des engins, se décollent ; des amas de boues formés sur l'épandeur peuvent de façon identique se décoller et salir la route.

Il est à noter que les opérateurs ne portent pas toujours de vêtement de travail : lors des deux visites de chantiers effectuées, dans un cas l'opérateur portait une combinaison (épandage à Istres), dans l'autre cas les opérateurs n'en portaient pas (épandage à Dreux). Les opérateurs ont confirmé ne jamais porter de gants ou de masques.

Malgré les progrès techniques en terme de régularité du matériel d'épandage, les doses de produit sont faibles aux extrémités de la projection ; on procède alors souvent à des

recoupements entre les différents passages (les doses appliquées peuvent donc être plus importantes que prévues sur ces zones de recoupements). L'épandage de bordure pose lui aussi des difficultés. Parce que la largeur de travail est toujours inférieure à la largeur totale de projection, il est difficile d'épandre correctement les zones situées en bordure de parcelle sans toucher la parcelle voisine.

2.3 Données sur les cultures

Les résultats présentés dans cette partie mettent en évidence les types de cultures mises en place après les épandages de boues (seules les pâtures font exception car l'épandage peut se faire directement sur l'herbe ou bien avant semis). Afin de s'affranchir des différences dues aux types de boues et de mettre en évidence des tendances au niveau national et des différents bassins français, les résultats sont à considérer en terme de surfaces cultivées.

Les catégories de cultures rencontrées sont les suivantes :

- les **céréales** : avoine, blé, escourgeon, maïs, millet, orge, riz, sarrasin, seigle, sorgho, triticales ;
- les **oléagineux** : colza, soja, tournesol ;
- les **protéagineux** : féverole, lupin, luzerne, pois ;
- les **prairies et pâtures** : prairie permanente, prairie temporaire, Ray Grass, trèfle ;
- les « **plantes racines ou à tubercule** » dont la racine ou le tubercule est consommable : betterave fourragère et sucrière, chicorée, pomme de terre, rutabaga ;
- les **autres cultures** : arboriculture, artichaut, brocolis, choux fleurs, échalote, endive, fétuque, jachère, lavandin, lin fibre, moutarde, navette, phacélie, vigne.

Ces différentes cultures peuvent aussi être classées selon les dates de semis ou de plantation. On a alors :

- les **cultures de printemps** (artichaut, avoine, betterave, épinard, fétuque, féverole, lupin, maïs, moutarde, orge de printemps, pois, pomme de terre, riz, rutabaga, sarrasin, soja, sorgho, tournesol) dont la date de semis ou de plantation est de mars à mai ;
- les **cultures d'automne** (blé, colza, escourgeon, orge d'hiver, seigle, triticales) dont la date de semis ou de plantation est d'août à octobre.

Enfin, la luzerne, le pois, le soja et le trèfle sont des **légumineuses**. Les légumineuses utilisent l'azote de l'air pour croître ; leur présence est donc peu conseillée voire interdite sur des terres qui reçoivent des boues car elles valorisent peu l'azote apporté par les boues.

Les cultures agricoles telles qu'elles sont réalisées en France sont présentées en annexe 6 et mettent en évidence l'utilisation des terres agricoles par bassin. Ces données sont issues des statistiques agricoles AGRESTE du Ministère de l'Agriculture de l'année 2000 ;

il est à noter que les cultures peuvent varier d'une année sur l'autre et que les données tiennent compte des surfaces occupées par les prairies et pâtures (ces surfaces représentent une grande proportion des terres agricoles en France et sont peu utilisées pour l'épandage de boues malgré leur surface importante).

2.3.1 Boues urbaines

Le tableau suivant, construit grâce aux données du bureau d'études SEDE, présente les différents types de cultures mis en place après les épandages de boues urbaines.

	AP	SN	RM	RMC	AG	LB	France
Céréales	34,8%	57,1%	84,3%	84,8%	61,5%	59,0%	56,7%
Oléagineux	8,5%	29,9%	8,7%	8,0%	33,5%	14,1%	18,1%
Plantes racines ou à tubercules	52,5%	8,6%	1,1%	-	-	<0,1%	17,0%
Prairies, pâtures	2,3%	2,3%	5,9%	6,2%	3,8%	23%	6,1%
Autres cultures	1,0%	1,9%	<0,1%	1%	0,1%	3,2%	1,6%
Protéagineux	0,9%	0,2%	-	<0,1%	1,1%	0,6%	0,5%
Légumineuses	0,8%	0,3%	-	<0,1%	0,5%	0,3%	0,5%

Tableau 5. Répartition des types de cultures mises en place sur des surfaces agricoles recevant des boues urbaines dans les différents bassins français et en moyenne sur la France (données SEDE).

A) Les cultures céréalières

La comparaison des cultures mises en place après l'épandage de boues urbaines montre qu'**il s'agit le plus souvent de céréales** (de 34,8 à 84,8% des surfaces agricoles), avec plus de 80% des surfaces dans les bassins **Rhin Meuse** et **Rhône Méditerranée Corse**. Cependant, c'est dans le bassin Rhône Méditerranée Corse que sont cultivées le moins de céréales en France (12,8% des surfaces agricoles selon les données AGRESTE). En Artois Picardie les céréales sont cultivées dans moins de 35% des terres agricoles épandues avec des boues urbaines ; c'est pourtant dans ce bassin que l'on retrouve le plus de cultures céréalières (54,8% des terres agricoles, d'après les données AGRESTE). Il est toutefois important de noter la présence de **disparités** au sein des départements : bien qu'en Adour Garonne on ne rencontre des céréales que sur un peu plus de 60% des surfaces épandues, des départements tels que ceux des Landes et du Lot effectuent des épandages uniquement sur des terres destinées à recevoir des céréales (données des Chambres d'Agriculture des Landes, de l'Aveyron et du Lot).

Comme l'indique le tableau 8 présenté en annexe 7, les céréales sont constituées en majorité par du **blé** (28,6% des surfaces qui reçoivent des boues urbaines en France sont cultivées avec du blé) et du **maïs** (17,7%). L'**orge** et l'**escourgeon** représentent chacun un peu moins de 4% des surfaces cultivées. Les autres céréales sont nettement minoritaires : triticale (1,1%), avoine (0,9%), seigle / riz / sorgho / millet / sarrasin (<1% pour ces cinq céréales réunies).

Mais on retrouve là encore des **disparités** selon les bassins. Dans le bassin Rhin Meuse, c'est le maïs qui est majoritairement présent sur les parcelles ayant reçu des boues de stations d'épuration urbaines : 64,0% des surfaces épandues dans ce bassin sont cultivées avec du maïs, contre 14,2% avec du blé. Dans le bassin Loire Bretagne, maïs et blé sont présents approximativement dans les mêmes proportions : 27,0% des parcelles épandues reçoivent du blé et 23,6% reçoivent du maïs.

Enfin certaines céréales sont épandues avec des boues de manière très locale ; leur présence sur le territoire est elle même peu répandue. Le sarrasin est uniquement mentionné dans le bassin Adour Garonne d'après les données de SEDE ; il est quand même cultivé sur 5,3% des surfaces épandues dans ce bassin. Le riz est uniquement mentionné dans le bassin Rhône Méditerranée Corse et représente une surface de culture peu importante ; il en est de même pour le millet dans les bassins Loire Bretagne et Seine Normandie. Le seigle, quant à lui, bien que mentionné dans presque tous les bassins, ne dépasse pas 0,7% des surfaces qui reçoivent des épandages. Enfin, le sorgho, présent de manière infime en Loire Bretagne et Rhône Méditerranée Corse, est cultivé sur presque 6% des surfaces épandues du bassin Adour Garonne.

B) Les oléagineux

La culture des **oléagineux** sur des parcelles amendées par des boues urbaines est une pratique courante dans tous les bassins, avec un nombre élevé de parcelles épandues recevant ce type de cultures en **Adour Garonne** et **Seine Normandie** (respectivement 33,5% et 29,9% des parcelles). En Artois Picardie, Rhin Meuse et Rhône Méditerranée Corse, c'est approximativement 8% des surfaces agricoles épandues qui servent à cultiver des oléagineux ; le bassin Loire Bretagne présente une valeur intermédiaire de 14,1%.

D'après les statistiques agricoles AGRESTE, la culture des oléagineux représente un maximum de parcelles en Seine Normandie, Rhin Meuse et Adour Garonne (respectivement 8,3%, 9,9% et 9,4% des surfaces agricoles), un minimum de parcelles en Artois Picardie et Rhône Méditerranée Corse (respectivement 3,3% et 2,3% des surfaces agricoles), et une valeur intermédiaire en Loire Bretagne.

Comme l'indique le tableau 9 présenté en annexe 7, l'oléagineux cultivé en majorité est le **colza** : en France ce sont plus de 15% des surfaces épandues avec des boues qui sont cultivées avec du colza. Mis à part dans le bassin Adour Garonne, 83,4 à 96,0% des parcelles sur lesquelles des oléagineux sont cultivés reçoivent du colza. Dans le bassin Adour Garonne, l'oléagineux présent majoritairement est le tournesol, qui est cultivé dans près de 93% des surfaces cultivées avec des oléagineux. Le soja, enfin, reste une culture tout à fait minoritaire (de 0 à 1,4% des surfaces cultivées avec des oléagineux, soit de 0 à 0,46% des surfaces épandues avec des boues).

C) Les cultures de plantes racines ou à tubercules

En **Artois Picardie**, 52,5% des surfaces amendées avec des boues urbaines sont cultivées avec des **plantes racines ou à tubercules**. On ne retrouve ce type de culture sur des parcelles ayant reçu des boues que dans le bassin **Seine Normandie**. Ceci est en adéquation avec la répartition des cultures en France : les plantes racines ou à tubercules sont principalement cultivées dans ces deux bassins (données AGRESTE).

Comme l'indique le tableau 10 présenté en annexe 7, en Artois Picardie, on retrouve principalement des betteraves : celles-ci représentent 42,7% des surfaces épandues par des boues urbaines sur le bassin et 98% de ces surfaces correspondent à la culture de betterave sucrière. Ensuite sont plantées des pommes de terre (8,6% des surfaces). Dans le bassin Seine Normandie, ce sont encore majoritairement des betteraves qui sont plantées (8,2% des surfaces), qui sont principalement des betteraves sucrières.

D) Les épandages sur prairies et pâtures

D'après les données AGRESTE, les prairies et pâtures représentent approximativement 40 à 50% des surfaces agricoles, sauf en Artois Picardie (18,1% des surfaces seulement). Les **épandages sur prairies ou avant semis de prairies** (Ray Grass par exemple) sont **généralement peu fréquents** (de 2,3 à 6,2% des parcelles épandues avec des boues urbaines) **sauf en Loire Bretagne** où ils représentent 23% des surfaces épandues avec des boues urbaines (confirmé par le bureau d'études LOIRE 21). On assiste cependant à des **disparités départementales** : en Adour Garonne, alors que dans le département des Landes, il n'y a pas d'épandages sur prairies car un enfouissement immédiat est souhaitable (d'après la Chambre d'Agriculture des Landes), dans le Lot beaucoup d'épandages sont réalisés sur prairies (d'après la Chambre d'Agriculture du Lot).

E) Les autres cultures

Cultivées sur 1,6% des surfaces épandues en France, **la mise en place des « autres cultures » paraît marginale**. On peut cependant noter leur absence totale ou quasi totale dans les bassins Rhin Meuse et Adour Garonne, et leur **présence un peu plus renforcée dans le bassin Loire Bretagne** (où 3,2% des surfaces épandues sont cultivées avec ces cultures diverses). D'après les données AGRESTE, ces autres cultures représentent des surfaces non négligeables en Adour Garonne (7,1% des terres agricoles), Loire Bretagne (5,8%) et surtout en Rhône Méditerranée Corse (45,2%, principalement dû à la culture de la vigne).

Dans le bassin Loire Bretagne, on trouve une multitude de cultures, telles que l'artichaut, le brocolis, le chou-fleurs, l'échalote, la moutarde, la navette et la phacélie, qui ne sont pas mentionnées dans les autres bassins. Seule la culture de la moutarde est pratiquée aussi en Seine Normandie sur des terres ayant reçu des boues. On retrouve aussi de

manière localisée quelques cultures spécifiques au bassin Rhône Méditerranée Corse, telles que le lavandin, la vigne et l'épandage en arboriculture. Enfin il est à noter que l'épandage sur des terres en jachère est une pratique peu courante (0,09% des terres épandues en France, en moyenne) (voir le tableau 11 présenté en annexe 7).

F) Les protéagineux

La mise en place de **protéagineux** sur des parcelles qui ont reçu des boues est une **pratique très peu répandue** : elle concerne au maximum 1,1% des surfaces épandues avec des boues urbaines (Adour Garonne). Cette pratique est à négliger dans les bassins Seine Normandie, Rhin Meuse et Rhône Méditerranée Corse.

Le **pois** est la culture protéagineuse majoritaire dans le bassin Artois Picardie puisqu'il représente 75,8% des parcelles épandues sur lesquelles sont cultivées des protéagineux. Dans le bassin Loire Bretagne, lupin et pois se partagent quasi équitablement les surfaces épandues cultivées avec des protéagineux (voir tableau 12 présenté en annexe 7).

G) Les légumineuses

L'épandage sur **légumineuses** est une pratique **très peu répandue** puisqu'elle concerne en moyenne 0,5% des terres agricoles épandues en France. Cette pratique est interdite dans les zones vulnérables.

Dans les bassins Artois Picardie et Loire Bretagne, la légumineuse mise en place est principalement le pois. En Seine Normandie et Adour Garonne, il s'agit du soja. Le tableau 13 en annexe 7 présente la répartition différents types de légumineuses dans les bassins français et en moyenne sur la France.

H) Conclusion

De manière générale, on peut présenter les différents types de cultures mises en place en deux catégories : les cultures de printemps et les cultures d'automne (voir tableau 14 en annexe 8).

En **Artois Picardie**, **Rhin Meuse** et **Adour Garonne**, ce sont principalement des **cultures de printemps** qui sont mises en place après les épandages. Pour le bassin Artois Picardie, la forte proportion de surfaces épandues qui reçoivent des betteraves, des pommes de terre et du maïs (respectivement 42,66%, 8,62% et 8,61% des terres épandues) expliquent cette dominance des cultures de printemps. Dans le bassin Rhin Meuse, 63,98% des surfaces qui ont reçu des boues sont cultivées avec du maïs et dans le bassin Adour Garonne c'est la culture du tournesol, du maïs et du sorgho (respectivement 24,4%, 18,92% et 5,96% des terres épandues) qui expliquent cette forte proportion de cultures de printemps par rapport aux cultures d'automne.

À l'inverse, en **Seine Normandie**, en **Rhône Méditerranée Corse** et en **Loire Bretagne**, on retrouve principalement des **cultures d'automne** sur les terres épandues avec des

boues urbaines. En Seine Normandie, c'est la culture du blé, du colza et de l'escourgeon (respectivement 37,9%, 27,60% et 6,55% des surfaces épandues) que l'on retrouve en majorité, et en Loire Bretagne c'est la culture du blé (26,97% des parcelles épandues) et du colza (11,76%). Enfin, en Rhône Méditerranée Corse, la culture du blé, de l'orge, du triticale et du colza forment la majeure partie des cultures d'automne (représentent respectivement 53,19%, 6,26%, 6,58% et 6,73% des surfaces recevant des boues).

Il est aussi important de noter que certaines cultures, telles que la luzerne ou le trèfle, peuvent être plantées à plusieurs moments de l'année, et que des épandages peuvent être effectués toute l'année, sous réserve de respecter la réglementation ; il en est de même pour les épandages en arboriculture, sur les terrains en jachère ou sur les prairies. Enfin, malgré les tendances générales mises en évidence dans chaque bassin, il ne faut pas oublier la présence de certaines cultures « marginales » sur des parcelles ayant reçu des boues.

2.3.2 Boues industrielles

Aucune quantification n'a pu être faite en ce qui concerne les cultures mises en place après les épandages de boues industrielles, contrairement aux boues urbaines, car ces données étaient trop disparates. Cependant, l'étude des données fournies par les bureaux d'études SEDE, GAUDRIOT et E2A concernant quelques épandages de boues industrielles montre que les épandages ont lieu sur prairies ou bien que les cultures mises en place sont des céréales, des oléagineux et des betteraves. Des bureaux d'études (VEILLAX, E2A, AGRO DÉVELOPPEMENT) ont confirmé qu'il n'y a pas de différence de cultures mises en place selon la provenance des boues (urbaines ou industrielles) épandues.

2.3.3 Étude du lien entre les types de boues épandues et les cultures

Les tableaux de l'annexe 9 présentent les types de boues épandues sur les cultures céréalières, les oléagineux, les prairies et pâtures, et les plantes racines ou à tubercules. De manière générale, il ne paraît pas y avoir de lien entre le type de culture mise en place et le type de boues épandues, à l'exception des prairies et pâtures sur lesquelles les boues liquides sont préférentiellement épandues. Cette tendance a été confirmée par les bureaux d'études et les Chambres d'Agriculture interrogés. En effet, une fois épandues, l'agriculteur considère les boues comme un apport fertilisant et choisit les cultures à mettre en place en fonction des priorités agricoles qu'il s'est fixées (sous réserve bien sûr de satisfaire à la réglementation et notamment les cultures et délais figurant dans le tableau 4 de l'annexe II de l'arrêté du 8 janvier 1998).

2.4 Retours d'expérience des visites de terrain

Deux visites de chantiers ont permis de se rendre sur le terrain et d'assister à des épandages. Ces visites ont fait l'objet de la rédaction de questionnaires destinés aux agriculteurs, aux opérateurs, à la marie et aux riverains ; ils ont permis de cerner comment se déroulent les chantiers et de mettre en évidence les facteurs humains de l'exposition. Ces différents questionnaires sont situés à l'annexe 12.

Le premier chantier s'est déroulé à Istres (13), près de Marseille et concernait l'épandage de boues urbaines liquides sur des pâtures. Le transport des boues était effectué par camion citerne jusqu'à une lagune de stockage située à côté des parcelles à épandre. L'épandage se faisait grâce à une tonne à lisier munie d'une rampe avec des buses. Le matériel d'épandage appartenait au bureau d'études Agro-Développement ; l'opérateur faisait lui aussi partie de cette société.

Le deuxième chantier s'est déroulé à Dreux (28) et concernait l'épandage de boues urbaines pâteuses, presque solides, sur des champs destinés à la culture du colza. C'est pour cela que l'épandage était réalisé avec du matériel normalement adapté aux boues solides, il s'agissait de deux épandeurs à hérissons horizontaux. Le transport était effectué par camions, depuis le lieu de stockage de la station d'épuration jusqu'à un champ proche du lot de parcelles à épandre. Le matériel appartenait à une ETA et les opérateurs dépendaient de celle-ci. Il s'agissait d'un chantier à trois opérateurs, deux effectuant l'épandage et le dernier effectuant la reprise des boues pour charger les épandeurs.

Les chantiers étaient relativement propres et les voies d'accès aux parcelles impeccables. La reprise des boues est, comme expliqué auparavant, l'opération la plus délicate. À Dreux, le matériel d'épandage était sali avec les boues. Étant donné que le temps était fort sec, la formation de poussières était très importante, due au passage des engins sur le chemin et dans les champs.

Lors de la visite à Istres, la rencontre avec les agriculteurs a permis d'appréhender le caractère délicat que représente la thématique épandages de boues. En effet, même si les agriculteurs sont satisfaits des avantages agronomiques conférés par les boues, ils ne souhaitent pas que leurs voisins sachent qu'ils acceptent des boues. Une coopérative céréalière locale refuse même d'acheter les céréales au même prix qu'aux autres agriculteurs ne recevant pas des épandages de boues.

Par contre, compte tenu de l'emplacement des parcelles dans ces deux chantiers, il ne fut pas possible d'interroger des riverains. Il s'agissait durant ces deux visites de zones très rurales et à l'habitat très dispersé, et aucun promeneur ou agriculteur venant travailler sa parcelle ne fut rencontré.

3 LA PRISE EN COMPTE DES FACTEURS HUMAINS DE L'EXPOSITION LORS D'EPANDAGES DE BOUES

3.1 Le schéma conceptuel de l'exposition

3.1.1 Synthèse bibliographique

Les réflexions du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France à propos des risques sanitaires liés à l'utilisation des boues résiduaires [14] et de l'US EPA à propos des scénarios à prendre en compte pour les risques liés aux éléments traces métalliques [5] ont permis d'élaborer le schéma conceptuel théorique de l'exposition aux boues suivant.

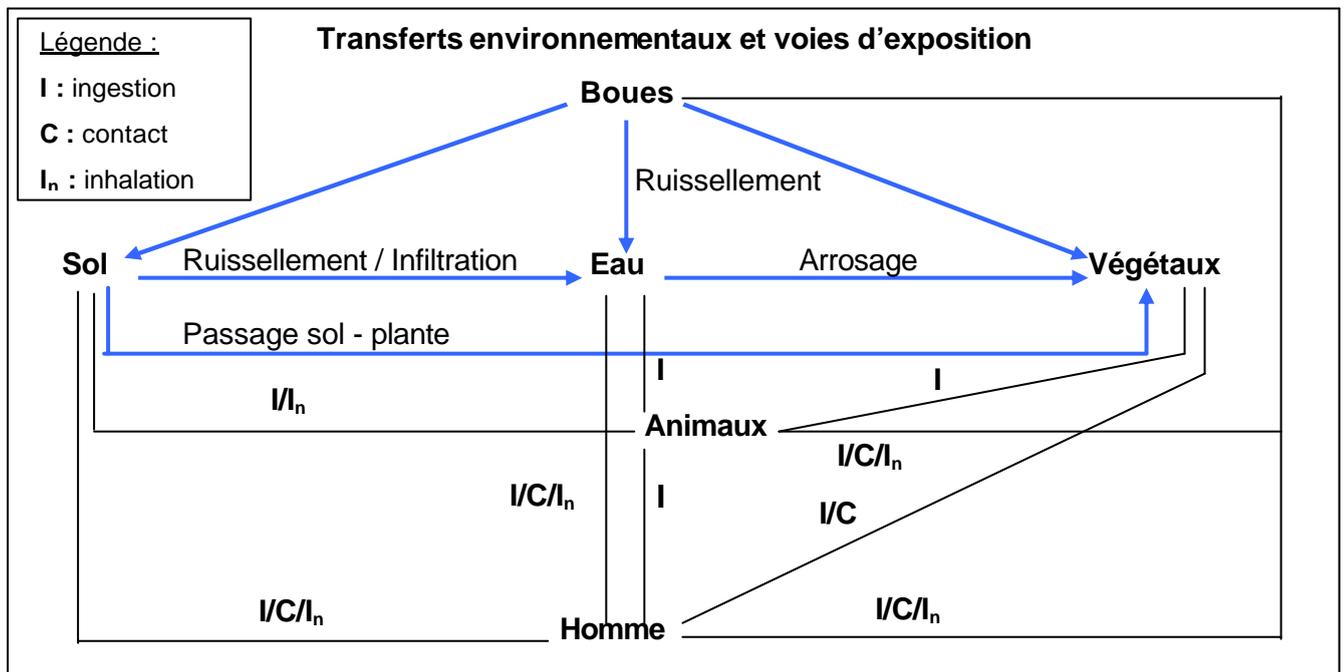


Figure 2. Schéma des transferts environnementaux et des voies d'exposition aux boues.

Ce schéma est très complexe car il fait apparaître de nombreux compartiments environnementaux, de nombreuses voies d'exposition et deux populations cibles. Certains compartiments comprennent en effet des sous-compartiments ; par exemple le compartiment eau comprend l'eau souterraine et l'eau de surface, mais l'eau souterraine peut aussi être captée pour devenir l'eau du réseau ou bien une eau de puits... Les voies d'exposition indiquées sont aussi présentées de manière exhaustive mais des études ont permis de démontrer ou sont en cours pour démontrer que certaines voies concernent plus une population cible que l'autre : c'est le cas de la voie « contact » qui concerne plus les êtres humains que les animaux en ce qui concerne le risque biologique. Enfin, la population cible « Homme » peut être divisée en différentes sous-populations : les agriculteurs, les opérateurs qui réalisent les opérations d'épandage, les riverains

(personnes habitant à proximité des champs épandus ou les promeneurs, etc). Dans le cadre de ce mémoire, seule la population riveraine et la population agriculteurs (qui ne participent pas à l'épandage) seront étudiées comme populations cibles.

La prise en compte de l'exposition dépend aussi du risque auquel on s'intéresse : risque chimique et risque biologique différent. Globalement, lorsqu'on considère les risques liés aux épandages de boues, le risque biologique peut être assimilé à un risque aigu et à court terme, contrairement au risque chimique le plus souvent assimilé à un risque chronique ou subchronique [5]. Cependant les agents biologiques peuvent avoir des durées de survie de plusieurs mois (6 à 7 mois après épandage pour les œufs de *Taenia*) ; le risque biologique ne devra donc pas être considéré qu'à court terme.

Il est à noter qu'aucune étude d'exposition n'a été menée à ce jour. Seule une étude épidémiologique existe concernant l'exposition des riverains des sites d'épandage [15]. Menée de 1978 à 1982 par l'université de l'Ohio et l'US EPA, elle avait pour objectif d'étudier les risques sanitaires pour les travailleurs agricoles et leur famille en lien avec l'épandage de boues d'épuration urbaines digérées aérobies et anaérobies ; l'étude conclut que les risques sanitaires pour les populations étudiées n'étaient pas significatifs dans les conditions de l'étude. Il n'y avait pas de différence significative entre le risque d'effets respiratoires ou gastro-intestinaux ou divers symptômes comme les maux de tête dans le groupe de familles exposées (47 fermes, 164 personnes) comparé au groupe témoin (46 fermes, 130 personnes).

3.1.2 L'expérience de terrain

Bien que les personnes qui réalisent les épandages ne fassent pas partie des populations prises en compte dans les études sanitaires, cette population est la plus exposée sur les chantiers.

En période d'épandage, les opérateurs travaillent de nombreuses heures par jour. Les visites effectuées sur le terrain ont permis de montrer que ceux-ci ne portent pas toujours de combinaison de protection et pas de gants. Le matériel spécialisé permet d'éviter le maximum de contacts avec la boue mais certains matériels pouvant être utilisés laissent présager d'éventuels contacts avec la boue ; comme indiqué dans la partie 2.2, l'épandage à tuyau ombilical salit les opérateurs lors du déroulement du tuyau, la reprise des boues est une étape où le matériel est facilement sali (à l'exception du bras de pompage automatique pour les boues liquides). Les journées longues de travail peuvent imposer aux opérateurs de manger sur place et l'eau propre n'est pas forcément disponible ; cependant il semble y avoir une prise de conscience de la nécessité d'œuvrer dans des règles d'hygiène minimales et les visites de chantiers l'ont confirmé (opérateurs qui mangent à l'extérieur du chantier, lingettes et bidon d'eau dans les tracteurs).

Lors des visites, aucune population riveraine ne fut rencontrée. Compte tenu de la localisation des parcelles (aucune habitation à proximité), de l'absence de points d'eau et, captages, de l'absence de produits de cueillette, du matériel (qui ne favorisait pas les éventuels embruns) et du temps ensoleillé, les riverains ne semblaient pas être une population exposée.

3.2 La prise en compte actuelle de l'exposition dans les dossiers d'épandage

L'évaluation des risques liés aux épandages de boues n'est, rappelons-le, obligatoire que lorsqu'il s'agit d'épandages soumis à autorisation. L'étude de la prise en compte des paramètres humains de l'exposition présentée dans ce chapitre a été faite grâce aux dossiers mis à disposition par le SYPREA, ces dossiers ayant été confiés par des bureaux d'études adhérents au SYPREA. Sur les six dossiers qui furent étudiés, deux concernent une demande de déclaration pour un épandage de boues urbaines, trois concernent une demande d'autorisation pour un épandage de boues urbaines et un seul concerne une demande d'autorisation pour un épandage de boues industrielles issues d'une papeterie.

La prise en compte actuelle concerne les points suivants :

- un rappel réglementaire ;
- un argumentaire visant à minimiser l'exposition en rendant négligeables toutes les voies d'exposition ;
- un argumentaire visant à diminuer les risques liés à l'épandage en mettant en évidence des activités et des phénomènes plus dangereux.

Il est à noter que les arguments présentés sont ceux avancés par les bureaux d'études et ne concernent que leurs avis propres.

3.2.1 Rappel réglementaire

Qu'il s'agisse de dossiers soumis à déclaration ou à autorisation, ***la réglementation et le fait de la respecter sont systématiquement mis en avant*** pour tenter d'expliquer que l'exposition est minime. En effet pour les boues urbaines, la réglementation, principalement dans le décret n°97-1133 du 8 décembre 1997 et dans l'arrêté du 8 janvier 1998 fixant les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles, imposent de nombreux critères pour rendre possible l'épandage. Pour les boues industrielles, un rappel réglementaire est aussi fait à l'arrêté fixant les prescriptions applicables à l'épandage des boues. Ci-après est présenté un résumé des articles concernant les boues urbaines auxquels on fait le plus référence dans les dossiers.

A) Les types de boues

De nombreux articles traitent des types des boues qui peuvent être épandues (articles 4 et 7 du décret du 8 décembre 1997, articles 8, 11 et 12 de l'arrêté du 8 janvier 1998). Mais c'est l'article 11 précédemment nommé qui précise les teneurs en éléments traces métalliques et composés traces organiques que les boues ne doivent pas dépasser pour être aptes à l'épandage, en faisant référence aux tableaux 1a, 1b, 2 et 3 de l'annexe I de l'arrêté du 8 janvier 1998.

B) Les zones interdites à l'épandage

Certaines terres ou zones sont interdites aux épandages ; il s'agit (article 15 du décret du 8 décembre 1997 et article 17 de l'arrêté du 8 janvier 1998) :

- des parcelles situées en dehors des terres régulièrement travaillées et des prairies normalement exploitées ;
- des terrains en forte pente, dans des conditions qui entraîneraient leur ruissellement hors du champ d'épandage ;
- des zones où la capacité d'absorption des sols n'est pas dépassée compte tenu des autres apports de substances épandues et des besoins des cultures ;
- des zones où il peut y avoir une percolation rapide ou un ruissellement en dehors de la parcelle d'épandage ;
- des sites d'anciennes carrières.

C) Les distances minimales à respecter

Les terres épandues doivent aussi respecter des distances minimales par rapport aux berges des cours d'eau, aux lieux de baignade, aux piscicultures et zones conchylicoles, aux points de prélèvements d'eau, aux terrains affectés par des phénomènes karstiques, aux habitations et établissements recevant du public (article 15 du décret du 8 décembre 1997). Le tableau 4 de l'annexe II de l'arrêté du 8 janvier 1998 indique que l'épandage est interdit :

- à moins de 5 mètres des berges des cours d'eau et plans d'eau, dans le cas de boues stabilisées et enfouies dans le sol immédiatement après épandage et pente du terrain inférieure à 7% ;
- à moins de 35 mètres : pour les points de prélèvement d'eau, les systèmes de conduction d'eau et les systèmes de stockage si le terrain a une pente inférieure à 7% et des berges des cours d'eau et plans d'eau en général ;
- à moins de 100 mètres si le terrain a une pente supérieure à 7% pour les points de prélèvement d'eau et les systèmes de conduction d'eau, pour les cours d'eau et plans d'eau si les boues sont solides et stabilisées ;
- à moins de 100 mètres pour les habitations, les zones de loisirs et les établissements recevant du public ;

- à moins de 200 mètres des berges des cours d'eau et plans d'eau si les boues sont non stabilisées ou non solides, et la pente du terrain supérieure à 7% ;
- à moins de 500 mètres des zones conchylicoles, sauf si les boues sont hygiénisées et s'il y a une dérogation liée à la topographie.

Il n'y a pas de prescriptions concernant la distance à des habitations, zones de loisirs ou établissements recevant du public lorsqu'il s'agit de boues hygiénisées ou stabilisées, qui sont enfouies dans le sol immédiatement après l'épandage.

D) Les délais à respecter

L'épandage doit aussi respecter des délais quant à la réalisation de celui-ci et aux cultures mises en place après.

a) Conditions de dépôt

L'article 8 du décret du 8 décembre 1997 précise que l'entreposage ne doit pas entraîner de gênes ou de nuisances pour le voisinage, ni de pollution des eaux ou de sols par ruissellement ou infiltration.

L'article 5 de l'arrêté du 8 janvier 1998 précise que le dépôt temporaire de boues, sur les parcelles d'épandage et sans travaux d'aménagement, n'est autorisé que lorsque les quatre conditions suivantes sont simultanément remplies :

- boues solides et stabilisées ;
- toutes précautions ont été prises pour éviter une percolation rapide vers les eaux superficielles ou souterraines ou tout ruissellement ;
- le dépôt respecte les distances minimales d'isolement définies pour l'épandage par l'article 13 ainsi qu'une distance d'au moins 3 mètres vis-à-vis des routes et fossés ;
- seules sont entreposées les quantités de boues nécessaires à la période d'épandage considérée (ne s'applique pas aux boues hygiénisées).

b) Réalisation de l'épandage

L'article 15 du décret du 8 décembre 1997 et l'article 6 de l'arrêté du 8 janvier 1998 précisent que la stagnation prolongée sur les sols est interdite et que les boues non stabilisées épandues sur sol nu sont enfouies dans un délai de 48 heures. L'article 15 indique que les dispositifs d'aérodispersion produisant des brouillards fins sont interdits.

c) Délais d'utilisation des sols et types de cultures

Le tableau 4 de l'annexe 2 de l'arrêté du 8 janvier 1998 indique les délais minimums à respecter pour l'usage des parcelles, à savoir :

- 6 semaines avant la remise à l'herbe des animaux ou la récolte des cultures fourragères pour les herbages ou cultures fourragères, 3 semaines si les boues sont hygiénisées ;

- 18 mois avant la récolte et pendant la récolte elle-même sur des terrains destinés ou affectés à des cultures maraîchères ou fruitières, en contact direct avec les sols, ou susceptibles d'être consommées à l'état cru, 10 mois si les boues sont hygiénisées ;
- pas d'épandage autorisé durant la période de végétation, pour les terrains affectés à des cultures maraîchères et fruitières à l'exception des cultures d'arbres fruitiers.

E) Les conditions météorologiques

Les conditions météorologiques enfin doivent être prises en compte. Il est interdit d'épandre pendant les périodes où le sol est pris en masse par le gel ou abondamment enneigé, à l'exception faite des boues solides et pendant les périodes de forte pluviosité (article 15 du décret du 8 décembre 1997).

Beaucoup de dossiers font état d'une **corrélation entre le respect de la réglementation et la minimisation des risques liés à l'épandage** ; on associe alors souvent dans ces dossiers le respect de la réglementation et la notion de «risque presque nul », sans justification supplémentaire quant aux voies d'exposition et aux scénarii envisageables par exemple.

3.2.2 La minimisation de l'exposition par l'étude détaillée des différentes voies d'exposition

Dans certains dossiers, il y a un rappel des trois catégories de substances ou organismes qui sont à prendre en compte : les éléments traces métalliques (ETM), les composés traces organiques (CTO) et les microorganismes pathogènes.

Parmi les voies de contamination possibles (voir le schéma conceptuel de l'exposition présenté dans la partie 3.1), les dossiers jugent comme voies principales à considérer les voies suivantes :

- ingestion de sol ou de boue contaminée ;
- ingestion de plantes contaminées ;
- consommation d'animaux ou de produits animaux contaminés ;
- inhalation de composés volatils ou de poussières émises par les sols traités ;
- ingestion d'eau contaminée.

Ces différentes voies sont ensuite examinées pour justifier que leur probabilité d'existence et de survenue est en réalité très faible. Le raisonnement porte à la fois sur le respect de la réglementation, les populations cibles et la mobilité des éléments potentiellement dangereux dans l'environnement.

En ce qui concerne le **respect de la réglementation**, celui-ci permet d'apporter des arguments visant à justifier la faible probabilité de survenue des scénarii d'ingestion de sol, de boues, de plantes ou d'eau contaminés. En effet, les épandages étant interdits sur

des terrains destinés à des cultures maraîchères et fruitières en contact avec le sol ou destinées à être mangées crues, il n'y a pas de contamination directe possible. De même, le respect des distances et des périodes d'épandage permet de considérer la contamination d'eau comme ayant une probabilité d'occurrence quasi nulle. On peut encore citer le délai de six semaines pour la remise à l'herbe des animaux ou la récolte de fourrages qui tend à diminuer la possibilité de contamination via la consommation d'animaux.

En ce qui concerne les **populations cibles**, sont considérés les enfants et les opérateurs. Le respect des règles d'hygiène (gants, lavage des mains...) et la présence peu probable d'enfants sur les terres ayant reçu des boues rend alors la possibilité d'ingestion directe de sol ou de boue contaminée quasi nulle : c'est par ce raisonnement que cette voie est éliminée.

Les arguments à propos de la **mobilité des éléments potentiellement dangereux** qui viserait à diminuer l'exposition sont les suivants.

Les possibilités de contamination par ingestion de végétaux sont très faibles car les transferts d'ETM vers la plante seraient limités à cause des faibles concentrations dans les boues et des faibles flux, du pH du sol supérieur à 6 normalement (ce qui entraîne une précipitation généralisée des métaux) et des barrières physiologiques des végétaux qui limitent le passage des métaux lourds dans les parties consommées (graines, parties aériennes). De façon identique, les possibilités de consommation d'animaux ou de produits animaux contaminés seraient évitées grâce aux faibles concentrations en ETM dans les boues et les faibles flux. La cinétique lente et les faibles teneurs en métaux lourds n'engendreraient pas de risques d'inhalation des métaux lourds due à leur volatilisation ou à celle de leurs composés, avant et après l'épandage.

Pour les CTO, ceux-ci sont présentés comme dégradables à plus ou moins long terme et n'entrant pas dans le métabolisme des végétaux, ce qui écarte les voies de contamination par consommation de végétaux ou d'animaux. La voie de contamination est elle aussi écartée car ces micropolluants sont considérés comme non volatilisables.

Quant aux pathogènes, lorsque les boues ont subi un traitement hygiénisant, celui-ci est mis en avant pour démontrer leur teneur en microorganismes diminuée. Un dossier prend seulement en compte les microorganismes compris dans la réglementation, c'est à dire les salmonelles, les entérovirus et les helminthes, pour décrire les risques éventuels liés à ces microorganismes. Enfin, une étude commandée par le Comité National sur les Boues d'Épuration conclut en l'absence de corrélation entre l'épandage et la survenue d'un événement pathologique depuis trente années de pratique ; il n'y aurait donc pas de risque tant que les prescriptions réglementaires sont respectées.

3.2.3 Diminuer les risques liés à l'épandage de boues en mettant en évidence d'autres activités ou phénomènes plus dangereux

Dans un dossier, la minimisation du risque lié à l'épandage a porté sur une comparaison des éléments apportés par l'épandage de boues et ceux apportés par d'autres activités. Il est alors expliqué que les épandages de boues représentent une part minoritaire des déchets épandus en agriculture et que ces épandages font aussi l'objet d'un fort encadrement (réalisation d'une étude préalable, d'un bilan agronomique...). Les flux d'ETM et de CTO apportés sur les sols ne sont donc pas spécifiques aux boues : les engrais, les retombées atmosphériques et les épandages de lisiers de porcs apportent beaucoup plus de cadmium, de plomb et de zinc, et les pluies de PCB et HPA (à proximité des zones urbaines), que les épandages de boues.

3.2.4 Autres éléments de prise en compte des paramètres humains de l'exposition

Certains dossiers font état de façon très brève du matériel utilisé ou des méthodes de travail mises en œuvre. Il peut s'agir par exemple d'une précision concernant l'utilisation d'une rampe à pendillards dans le cas d'épandages de boues liquides ou de l'enfouissement immédiat. Dans la plupart des dossiers, on traite plus des moyens mis en œuvre pour limiter les nuisances olfactives que pour limiter l'exposition. Enfin, dans deux dossiers, l'état dispersé des habitations près des parcelles est nommé, ainsi que la présence d'une route départementale.

3.2.5 Conclusion

L'étude des dossiers d'épandage a mis en évidence une description non spécifique concernant la prise en compte actuelle des paramètres humains de l'exposition. Dans tous les dossiers, la finalité est toujours de prouver que les probabilités d'être exposé aux boues sont minimales, ceci grâce au respect de la réglementation en vigueur. Il est à noter cependant que la réglementation impose beaucoup de contraintes qui visent à diminuer l'exposition.

Les problèmes de nuisances olfactive ou visuelle sont par contre souvent pris en compte, et les moyens techniques pour diminuer cet impact ne sont pas forcément inefficaces en terme de diminution de l'exposition. Par exemple, la diminution du temps de stockage des boues près des parcelles ou leur transport dans des citernes étanches pour éviter les nuisances olfactives permettent aussi de diminuer l'exposition. Par contre camoufler les citernes de stockage en les peignant en vert ou rendre invisible une lagune peuvent s'il n'y a pas d'indication concernant leur contenu favoriser l'exposition des populations qui ne prendront pas garde à celles-ci.

3.3 Proposition d'une méthodologie pour améliorer la prise en compte des paramètres humains de l'exposition dans les dossiers d'épandage

Deux populations cibles sont à prendre en compte : les agriculteurs qui reçoivent des boues sur leurs parcelles et la population riveraine. Les agriculteurs qui mettent leurs terres à disposition, sont doublement touchés par les épandages ; d'une part parce qu'ils peuvent rentrer en contact avec les boues après leur épandage ou lors de l'enfouissement (lors de la préparation des terres) mais surtout s'ils consomment des aliments auto-produits sur leurs terres et des animaux. La population riveraine se divise en deux catégories : la population vivant à proximité des terres épandues et la population « de passage » sur les zones d'épandage.

3.3.1 La caractérisation du site et de son environnement

Afin de décrire de façon qualitative le site et avoir connaissance des éléments clés pour prendre en compte les voies d'exposition, il est nécessaire de renseigner la zone d'étude sur :

- l'épandage : quel type de boues sont épandues et quel est le matériel utilisé ? Où les boues sont-elles stockées ? Au bout de combien de temps sont-elles enfouies ? Combien de temps dure la campagne et combien de fois a-t-elle lieu par an ?
- le devenir des parcelles épandues : type de culture mise en place après les épandages ? Leur destination (IAA, marché local) ? Au bout de combien de temps ?
- les points d'eau : cours d'eau, fossés, lieux de baignade, zone de pêche ou de pêche à pied, puits privés, zone de prélèvement d'eau, conchyliculture ou pisciculture ;
- les chemins d'accès aux parcelles : est-ce que ce sont des chemins régulièrement empruntés par des promeneurs ? À quelle distance sont-ils situés des parcelles ?
- la présence humaine : la zone d'étude est-elle très rurale ou au contraire proche de zones urbanisées ? L'habitat est-il dispersé ? Y a-t-il des établissements recevant du public ? Est-ce qu'il y a des habitations et à quelle distance ? Combien de personnes cela représente-t-il ? Quelles sont les catégories rencontrées (enfants, adultes) ?
- l'usage des milieux : est-ce qu'il y a des jardins potagers ? Quelles sont les activités pratiquées (pêche, chasse, baignade, promenade, cueillette...) ?

La plupart de ces données sont déjà présentes dans les dossiers d'épandage et il suffit d'une synthèse de celles-ci.

3.3.2 Discussion autour des voies d'exposition à prendre en compte dans le cadre de la rédaction d'une étude sanitaire

Le schéma conceptuel de l'exposition a fait apparaître de nombreuses voies d'exposition mais certaines s'avèrent impossibles à prendre en compte dans le cadre pratique de la réalisation d'une étude sanitaire d'un dossier d'autorisation.

Les tendances générales qui ont été mises en évidence en ce qui concerne les types de boues épandues par bassin laissent place à des disparités départementales ; il n'est donc pas possible d'associer un lieu géographique avec une voie d'exposition à prendre en compte.

A) Boues – Homme : voie ingestion, inhalation et contact cutané

Voies ingestion et contact cutané :

Les agriculteurs quant à eux peuvent être exposés aux boues si ce sont eux qui réalisent l'enfouissement.

Cette voie d'exposition est à prendre en compte si :

- l'agriculteur chez qui les boues sont épandues les enfouit lui-même et s'il lui arrive de se promener sur sa parcelle avant enfouissement pour vérifier le bon état du champ par exemple.

Voie inhalation :

L'épandage peut générer des poussières, dans le cas des boues sèches ou solides à fort pourcentage de siccité, ou des embruns dans le cas d'épandage par rampes d'irrigation de boues liquides (voir 2.2.3).

Cette voie d'exposition est à prendre en compte, pour les agriculteurs et riverains vivant à proximité des parcelles, si :

- les boues sont liquides et épandues avec des rampes d'irrigation ;
- les boues sont sèches ou solides avec une forte siccité.

B) Sol – Homme : voies cutanée, ingestion et inhalation

Voies cutanée et ingestion :

Les agriculteurs ont peu de contacts avec le sol, sauf lorsqu'ils doivent réparer une panne sur une machine ou faire un attelage... Quant aux récoltes, elles se font principalement grâce à des machines. Pour la population riveraine, ces voies d'exposition ont peu de raison d'être.

Ces voies d'exposition sont à prendre en compte si :

- l'agriculteur a un matériel qui l'oblige à toucher de la terre régulièrement ;
- l'agriculteur effectue des récoltes manuelles.

Voie inhalation :

Lors des visites de terrain, les personnes interrogées ont toutes décrit la formation de poussières soulevées du sol lorsque les engins travaillent sur des sols secs ; la formation de poussières est habituelle lors des travaux agricoles. Mais la climatisation, lorsqu'elle est installée dans des tracteurs agricoles, est une barrière à l'inhalation de poussières ; la voie inhalation sera donc négligeable lorsque les agriculteurs ont une cabine climatisée. En ce qui concerne la population riveraine, on peut considérer que les émissions de poussières ont peu de chance de l'affecter car restent limitées aux parcelles agricoles ; par contre elle peut l'être si elle se trouve près des parcelles au moment de l'épandage.

Cette voie d'exposition est à prendre en compte si :

- si les cabines des agriculteurs ne sont pas climatisées ;
- si des populations sont présentes à proximité des parcelles épandues.

La voie contact cutané, dont la prise en compte est difficile d'un point de vue méthodologique, ne sera désormais plus considérée.

C) Eau – Homme : voies ingestion

Le respect de la réglementation en ce qui concerne les distances d'épandages, l'enfouissement et les conditions météorologiques (voir 3.2.1) permet d'éviter le ruissellement des boues en cas de fortes pluies jusqu'à une eau de surface. Cependant en cas de survenue d'une pluie torrentielle totalement imprévue qui s'abatrait sur des boues non encore enfouies, on ne peut écarter cette possibilité de contamination.

De manière identique, on peut dire que la réglementation permet, sous réserve de respecter les protocoles d'épandage, d'éviter que les boues après enfouissement dans le sol contaminent des eaux de surface par ruissellement. Mais en cas de survenue d'un événement météorologique exceptionnel, ce transfert environnemental doit être considéré. Par contre les éléments et microorganismes peuvent migrer dans les sols ; le transfert environnemental des éléments contenus dans les boues enfouies jusqu'à des eaux souterraines ne peut être à priori écarté.

Parce que la contamination des eaux est au cœur des préoccupations dans les dossiers d'épandage (l'étude hydrogéologique est très poussée) et que les transferts environnementaux sont très difficiles à prendre en compte, seule la voie ingestion sera considérée.

Les risques liés à la consommation et l'utilisation d'eau concernent principalement les eaux pouvant être impactées par les épandages. Cela concerne surtout celles provenant de puits et les eaux pompées dans le milieu naturel (pour l'arrosage par exemple). L'eau du réseau ne sera pas considérée compte tenu des analyses régulières mises en œuvre.

Cette voie d'exposition est à prendre en compte si :

- il existe des puits dans la zone d'étude. Il faut de plus s'intéresser à leur positionnement par rapport aux parcelles choisies pour l'épandage et leur usage (usage d'alimentation humaine ou animale, irrigation). C'est après avoir vérifié l'absence de puits ou l'impossibilité qu'ils soient contaminés (hydrogéologie) que cette voie pourra être éliminée ;
- il y a des points d'eau (fossés, rivières...) pouvant servir à un pompage d'eau pour l'irrigation ;
- des zones de baignade sont présentes dans les alentours des zones épandues et leur distance.

D) Végétaux – Homme : voie ingestion

Les épandages n'ont jamais lieu sur des parcelles où les végétaux de la récolte suivant les épandages sont déjà en place, sauf dans le cas des épandages sur prairies et pâtures (et quelques exceptions de type cultures arboricole ou vinicole). Les végétaux situés en bordure de parcelle pouvant être salis par de la boue ne seront pas pris en compte.

Le transfert des ETM, CTO et microorganismes dans les végétaux fait partie des investigations menées pour la rédaction du guide méthodologique visant à évaluer les risques liés à l'épandage de boues. Contrairement à l'argumentaire que l'on retrouve dans les dossiers d'épandage visant à négliger ce transfert et la mobilité des éléments (voir 3.2.2), celle-ci fait partie des préoccupations majeures de l'étude.

Dans l'étude concernant les types de cultures mises en place après les épandages, on s'aperçoit qu'il s'agit principalement d'aliments destinés à une consommation animale ou une production industrielle, à l'exception de certaines cultures qui peuvent être destinées à une consommation directe par l'Homme (rutabaga, pomme de terre, artichaut, brocolis...) sans passer par un processus industriel. Ces cultures sont fortement minoritaires si on les compare avec l'écrasante majorité des surfaces occupées par des céréales, des oléagineux, des protéagineux, des prairies et pâtures, et les plantes à racines ou tubercules autres que le rutabaga et la pomme de terre. Cependant, en Artois Picardie, 8,6% des surfaces épandues reçoivent des cultures de pomme de terre (d'après les données de SEDE) et en Loire Bretagne la catégorie «autres cultures » concerne 3,2% des surfaces épandues.

Cette voie d'exposition est à prendre en compte si :

- les agriculteurs consomment des végétaux qui ont poussé sur des parcelles amendées avec des boues ;
- les agriculteurs vendent une partie de leur production à des riverains ou dans un marché local ;

- des populations riveraines pratiquent la cueillette de fruits sauvages, de pissenlits ou de champignons près des champs ;
- l'eau d'irrigation provient d'un puits, d'une rivière ou d'un lac pouvant être contaminé.

E) Animaux – Homme : voie ingestion

Deux types d'animaux sont à considérer : les animaux de la ferme ou le bétail, et les animaux de la pêche. Ceux-ci ont pu être contaminés via les transferts suivants :

- l'ingestion de végétaux ;
- l'ingestion et l'inhalation de sol ;
- l'ingestion et l'inhalation de boue ;
- l'ingestion d'eau contaminée.

Ces transferts sont présentés ci-après, puis la voie ingestion des animaux par l'Homme sera explicitée.

a) *L'ingestion de végétaux par les animaux*

Les animaux susceptibles d'ingérer des végétaux ayant poussé sur des parcelles qui ont reçu des boues sont :

- le bétail qui pâture sur des prairies sur lesquelles ont été épandues les boues et le bétail qui consomme du fourrage provenant de la fauche de prairies épandues avec des boues (fourrage provenant des prairies, de type Ray Grass et trèfle, ou bien fourrage à base de protéagineux). Les épandages sur prairies et pâtures se révèlent peu fréquents sauf sur le bassin Loire Bretagne et dans certains départements où ils sont privilégiés et la mise en place de protéagineux sur des parcelles ayant reçu des boues est une pratique très peu répandue (d'après 2.2.1 D) et F)) ;
- le bétail que l'on met en pâture sur des résidus végétaux de récolte. Ce pâturage aurait donc lieu plusieurs mois après l'épandage. Il en est de même pour la consommation de paille récoltée après les céréales (maïs, blé...) ;
- le bétail qui brouterait sur des prairies situées en bordure de parcelle qui recevraient des boues alors que ce n'était pas prévu. Nous ne retiendrons pas cette hypothèse ;
- le bétail et les animaux de ferme (volailles...) qui consomment des végétaux provenant des parcelles épandues : céréales, oléagineux, protéagineux. En effet les oléagineux (soja, colza et tournesol) et les protéagineux (pois, féverole, lupin) répondent à la fois aux besoins énergétiques (via la matière grasse des graines oléagineuse et des huiles et l'amidon des protéagineux) et aux besoins protéiques des animaux et sont des matières premières essentielles à l'alimentation animale ; ils sont préparés sous forme de « tourteaux ». Il s'agit là d'une fabrication industrielle mais la plupart de ces végétaux peuvent aussi être consommés après récolte, sans

préparation particulière. La betterave fourragère quant à elle est entièrement destinée à l'alimentation animale mais aussi certaines parties de la betterave sucrière.

b) L'ingestion et l'inhalation de sols par les animaux

Sera considéré uniquement le bétail mis en pâture sur une terre qui a reçu des boues (et non celui qui pâture sur une parcelle voisine à celle épandue, et qui pourrait recevoir des boues à cause des problèmes liés à l'épandage de bordure).

c) L'ingestion et l'inhalation de boue par les animaux

Malgré le délai de mise à l'herbe imposé par la réglementation de trois à six semaines selon si les boues sont ou non hygiénisées, les animaux peuvent être exposés aux boues par les deux voies d'exposition ingestion et inhalation. En effet, même si toutes les prairies et pâtures ne sont pas forcément en herbe lors de l'épandage, lorsqu'elles le sont les végétaux sont recouverts par de la boue. Cela est dû au fait la boue épandue sur les prairies et pâtures est le plus souvent liquide (voir 2.3.3) et les matériels d'épandage utilisés sont le plus souvent des matériels qui fonctionnent par aspersion, sauf s'il s'agit d'une tonne à lisier équipée de pendillards ou d'enfouisseurs, ou d'un épandage à tuyau ombilical (voir 2.2.2).

d) L'ingestion d'eau par les animaux

Les animaux de ferme peuvent être amenés à ingérer de l'eau provenant de puits, de rivière, de lac ou d'une mare. Les animaux tels que les poissons ou les coquillages ingèrent ou filtrent de l'eau.

Cette voie d'exposition est à prendre en compte si :

- les agriculteurs élèvent et consomment des animaux nourris avec des végétaux ayant poussé sur des terres ayant reçu des boues ;
- il y a présence de lieux de pêche ou de pêche à pied (gisements sauvages) sur la zone d'étude ;
- l'agriculteur dont les parcelles recevant des boues vend une partie de ses récoltes à un autre agriculteur (que nous considérerons alors comme riverain puisqu'il ne fait pas d'épandages) qui en nourrit ses animaux ;
- l'eau servant à abreuver les animaux de ferme provient d'un puits, ou d'une rivière, d'un lac, d'une mare, situés dans la zone d'étude.

F) Remarques

Lorsque la sélection des diverses voies à prendre en compte a été faite, il est nécessaire de renseigner les facteurs liés aux durées et fréquences, et les facteurs de consommation (quantités ingérées) (voir 1.4.3). Pour cela, il faut s'intéresser (liste non exhaustive, à compléter selon les voies d'exposition et les populations sélectionnées) :

- au temps passé par l'agriculteur sur sa parcelle à enfouir les boues, s'il les enfouit lui-même ;
- au temps passé à l'extérieur de leur habitation par les riverains lorsque a lieu l'épandage ;
- au temps passé par l'agriculteur à faire une récolte manuelle et la période à laquelle a lieu cette récolte ;
- à l'estimation quantitative des animaux consommés, par type d'animaux, si l'agriculteur consomme des animaux nourris avec des végétaux ayant poussé sur des parcelles amendées avec des boues ;
- à l'estimation quantitative du nombre d'animaux pêchés et de pêcheurs s'il y a une zone de pêche pouvant être impactée par les épandages ;
- à la quantité de végétaux qui ont poussé sur des parcelles amendées avec des boues ;
- à la fréquentation des zones de baignades ;
- etc.

Le but est d'obtenir un budget espace-temps pour les catégories de personnes cibles et pour les voies d'exposition considérées.

DISCUSSION – CONCLUSION

Les travaux effectués dans le cadre de ce mémoire ont permis l'élaboration d'une méthodologie permettant de mieux prendre en compte les facteurs humains de l'exposition lors de la réalisation d'une étude sanitaire des risques liés à l'épandage. Cette méthodologie a consisté à analyser, pour chaque voie d'exposition, la liste des situations qui imposent la prise en compte d'une voie. Ces situations découlent de l'étude d'informations issues du terrain, obtenues grâce à des acteurs œuvrant au plus près de la réalité des épandages. Les voies d'exposition ont été étudiées en fonction des facteurs humains (présence, usage des milieux...) ; il est à noter qu'elles doivent encore être analysées en ce qui concerne les transferts environnementaux et que cette analyse peut aboutir à une nouvelle simplification des voies à considérer.

Les observations effectuées sur le terrain ont mis en évidence l'existence d'une population très exposée aux boues et qui n'est pas prise en compte dans les études sanitaires des dossiers d'impact et d'incidence : il s'agit des opérateurs. Cette population devrait faire l'objet d'une étude particulière car c'est la principale population concernée par les effets sanitaires potentiels ; en effet, des opérateurs questionnés lors de visites de chantiers ont confirmé ressentir certains maux (de tête par exemple) en grosse période d'épandage. Aux Etats-Unis, en revanche, il existe un guide [17] pour tenter de contrôler les risques liés à l'épandage de boues pour les travailleurs. Ce guide fait apparaître des séries de recommandations visant à diminuer l'exposition de ces derniers : mesures d'hygiène basique, port de vêtement de travail, contrôle des vaccinations...

L'exposition des riverains aux boues est difficile à appréhender car elle semble faible. De manière générale, les contraintes imposées par la réalisation des dossiers soumis à autorisation sont telles que l'exposition est minimisée. Par contre, en ce qui concerne les dossiers soumis à déclaration, il n'y a pas d'étude sur l'impact de l'épandage et donc les moyens pour diminuer ces éventuels impacts ne sont pas considérés comme dans le cas d'un dossier soumis à autorisation. De plus, les dossiers soumis à déclaration concernent les plus faibles tonnages épandus, qui sont ceux des petites stations ; celles-ci émettent majoritairement des boues liquides et leur épandage peut éventuellement être réalisé par les agriculteurs avec leur propre tonne à lisier. Ces situations sont moins encadrées alors que l'exposition n'est pas pour autant moins importante.

Pour diminuer l'exposition, et notamment celle de la population riveraine, une bande de sécurité visant à exclure les bordures de parcelle devrait être mise en place. La surface à épandre serait alors un peu plus petite mais cette bande permettrait d'écartier toute contamination des parcelles voisines à celle épandue. Une signalisation pourrait aussi

être mise en place pour signaler les zones qui reçoivent des boues mais il faut prendre garde à ne pas créer un climat de panique et de confusion.

Afin de gérer les épandages, des contrats qualité permettant de faire reconnaître la qualité des prestations des opérateurs existent [3]. Parmi les clauses contenues dans ces contrats, l'opérateur s'engage entre autres à utiliser du matériel révisé et en parfait état de fonctionnement, et à vérifier la propreté du chantier. La norme AFNOR FD X 33-008 [16] décrit les bonnes pratiques pour la valorisation des boues en agriculture ; parmi ces bonnes pratiques, le port d'équipements de protection individuels adéquats est préconisé pour préserver la santé des opérateurs et le recours à des techniques d'épandage qui permettront de diminuer l'exposition conseillée. Cette norme insiste également sur la nécessité de bien communiquer avec les agriculteurs pour que eux aussi participent à la gestion de la qualité des épandages (en respectant les délais imposés par la loi par exemple).

Afin de conclure sur les travaux menés dans ce mémoire, il est à retenir que la prise en compte des facteurs humains de l'exposition était inexistante dans les études sanitaires et que cette méthodologie est une première approche pratique pour aborder leur étude. Comme toute méthodologie, celle-ci devra être affinée et complétée compte tenu des observations qui seront apportées par les évaluateurs de risques au fur et à mesure de la réalisation de dossiers.

Des voies d'exposition jugées encore trop théoriques dans cette première phase d'étude n'ont pas été gardées dans la méthodologie. Par exemple, il s'agit d'un éventuel contact de la population riveraine avec de la boue qui tomberait d'épandeurs sur la voie de circulation, d'enfants qui iraient jouer près d'un tas de boue en plein champ ou d'animaux qui brouteraient de l'herbe située en bordure de la parcelle épandue... À ces difficultés de prendre en compte les facteurs humains, s'ajoute la complexité de l'étude des transferts et des concentrations dans les milieux.

La prise en compte des éventuels effets sanitaires qui pourraient survenir malgré le respect des nombreuses réglementations existantes doit avant tout obliger le demandeur à proposer des mesures compensatoires, en fonction des spécificités locales : minimiser l'exposition, c'est diminuer le risque.

Bibliographie

- [1] CHASSANDE C. et al, 2001. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture, dossier documentaire, Angers, ADEME, 59 pages + annexes.
- [2] OTV (ouvrage collectif). *Traiter et valoriser les boues*. N°2. 1997. 457 pages.
- [3] THIRION F, CHABOT F. *Épandage des boues résiduaires et effluents organiques. Matériels et pratiques*. Cemagref éditions, 2003. 191 pages.
- [4] Synthèse du programme boues– rapport final – juin 2000. Micropolluants organiques et germes pathogènes dans les boues d'eaux résiduaires.
- [5] BOURRELIER P-H, BERTHELIN J. *Contamination des sols par les éléments en traces : les risques et leur gestion*. Académie des sciences, rapport n°42. 1998. 440 pages.
- [6] GROUPE CM INTERNATIONAL. *Évaluation des quantités actuelles et futures de sous-produits épandus sur les sols agricoles provenant des industries agroalimentaires*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Rapport final, avril 2002. 52 pages.
- [7] A.N.D. INTERNATIONAL. *Évaluation des quantités actuelles et futures de déchets épandus sur les sols agricoles et provenant des activités industrielles hors agroalimentaire*. Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Rapport final, avril 2002. 77 pages.
- [8] ADEME, TRAME, BCMA. *Les matériels de reprise des boues résiduaires urbaines après stockage*. 1996. 55 pages + fiches. Collection ADEME « Valorisation agricole des boues d'épuration ».
- [9] *Logistique des épandages des effluents d'élevages, de boues de stations d'épuration et des déchets industriels*. Actes de colloque. Vichy 8-9 octobre 2001. Cemagref éditions, 2002. 338 pages.
- [9A] BRACQUART J-L. La réglementation relative aux différentes matières organiques épandues et son application. In *Logistique des épandages des* Marie-Laure PIQUÉ – Mémoire de l'École Nationale de la Santé Publique – 2004

effluents d'élevages, de boues de stations d'épuration et des déchets industriels.
Pages 19 à 24.

[9B] ADLER E. Devenir des boues d'épuration en France en l'an 2001. In *Logistique des épandages des effluents d'élevages, de boues de stations d'épuration et des déchets industriels.* Pages 304 à 307.

[9C] TERRIBLE J-N. Le réseau des missions-déchets des Chambres d'Agriculture. In *Logistique des épandages des effluents d'élevages, de boues de stations d'épuration et des déchets industriels.* Pages 25 à 28.

[9D] GALLIAN C. L'appui des Agences de l'eau dans la mise en place des « organismes indépendants » de suivi des épandages. In *Logistique des épandages des effluents d'élevages, de boues de stations d'épuration et des déchets industriels.* Pages 29 à 35.

[10] IFEN. *Les données de l'environnement* [en ligne]. Février 2001, n°63 [visité le 4 août 2004]. Disponible sur Internet : <<http://www.ifen.fr/pages/4sol.htm#63>>.

[11] AGENCES DE L'EAU. *Audit environnemental et économique des filières d'élimination des boues d'épuration urbaines* [en ligne]. 1999 [visité le 4 août 2004]. Disponible sur Internet : <www.eaufrance.com/francais/etudes/modele.php?fiche_id=70&theme=6>.

[12] AGENCE DE L'EAU RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE. *Le recyclage agricole des boues urbaines sur le bassin Rhône-Méditerranée-Corse.* Plaquette. Novembre 2002.

[13] *Épandage des boues résiduaires. Aspects sanitaires et environnementaux.* Actes des journées techniques. Paris 5-6 juin 1997. ADEME éditions, 322 pages.

[13A] BUATIER C, WIART J. L'organisation de la filière épandage : une démarche qualité à la portée de toutes les stations d'épuration. In *Épandage des boues résiduaires. Aspects sanitaires et environnementaux.* Pages 302 à 313.

[14] CONSEIL SUPERIEUR D'HYGIENE PUBLIQUE DE FRANCE. *Risques sanitaires liés à l'utilisation des boues résiduaires.* Section des eaux. Sous Groupe de Travail « Biologie ». Séance du 21 novembre 1995.

[15] NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Biosolids applied to land.* Washington : The National Academies Press, 2002. 345 pages.

[16] AFNOR. *Caractérisation des boues. Bonnes pratiques de la valorisation des boues en agriculture*. FD X 33-008. Paris : AFNOR, décembre 2002, 28 pages.

[17] NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH. *Guidance for controlling potential risks to workers exposed to class B biosolids*. NIOSH, juillet 2002. 7 pages.

[18] US EPA. *Exposure factors handbook. Volume II. Food Ingestion Factors*. EPA/600/P-95/002Fb. Washington, august 1997.

Sites WEB :

FNDAE : www.eau.fnvae.fr

Club AtoutBoues : <http://perso.wanadoo.fr/atout.boues/etudemarcheboues02.htm>

Office International de l'Eau : cartel.oieau.fr/guide/d060.htm

Statistiques AGRESTE : www.agreste.agriculture.gouv.fr.

Liste des annexes

ANNEXE 1 : CONTACTS

ANNEXE 2 : LA GESTION DES BOUES EN EUROPE

ANNEXE 3 : LA GESTION DES BOUES EN FRANCE

ANNEXE 4 : LES CHAMBRES D'AGRICULTURE : BUDGET ET ORGANISATION

ANNEXE 5 : BASSINS HYDROGRAPHIQUES ET DÉPARTEMENTS FRANÇAIS RATTACHÉS

ANNEXE 6 : TYPES DE CULTURES PRÉSENTES EN FRANCE – DONNÉES AGRESTE (2000)

ANNEXE 7 : RÉPARTITION DES SURFACES OCCUPÉES PAR LES DIFFÉRENTS TYPES DE CÉRÉALES, OLÉAGINEUX, PROTÉAGINEUX, PLANTES RACINES ET À TUBERCULES ET AUTRES CULTURES PAR RAPPORT AUX SURFACES TOTALES ÉPANDUES (TOUTES CULTURES CONFONDUES)

ANNEXE 8 : RÉPARTITION DES SURFACES OCCUPÉES PAR LES CULTURES DE PRINTEMPS ET D'AUTOMNE PAR RAPPORT AUX SURFACES TOTALES ÉPANDUES (TOUTES CULTURES CONFONDUES)

ANNEXE 9 : RÉPARTITION EN MOYENNE POUR LA FRANCE ET PAR BASSIN DES DIFFÉRENTS TYPES DE BOUES ÉPANDUES SUR LES CULTURES CÉRÉALIÈRES, D'OLÉAGINEUX, PRAIRIES ET PÂTURES, ET PLANTES RACINES OU À TUBERCULES

ANNEXE 10 : MATÉRIELS DE REPRISE DES BOUES

ANNEXE 11 : MATÉRIELS D'ÉPANDAGE DES BOUES

ANNEXE 12 : QUESTIONNAIRES

ANNEXE 13 : LES TRAITEMENTS DE BOUES EXISTANT

ANNEXE 1

CONTACTS

AGENCES DE L'EAU

- Agence de l'eau Seine Normandie : Mme Breuil (01 41 20 16 65)
- Agence de l'eau Artois Picardie : Mme Cécile Gallian (03 27 99 90 00 – c.gallian@eau-artois-picardie.fr)
- Agence de l'eau Loire Bretagne : M Alain Vachon (02 38 51 73 55 – alain.vachon@eau-loire-bretagne.fr)
- Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse : Mme Lysanne Bour (04 72 71 27 56)
- Agence de l'eau Rhin Meuse : M Roger Flutsch (03 87 34 47 57)
- Agence de l'eau Adour Garonne : M Lassalle (05 61 36 37 38)

CHAMBRES D'AGRICULTURE

- Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA) : M Jacques Beraud (01 53 57 11 18)
- Chambre d'Agriculture de Dordogne : M Jean-Roland Lavergne (05 53 35 88 28 – jean-roland.lavergne@wanadoo.fr)
- Chambre d'Agriculture des Landes : M Vincent Baeckler (05 58 85 45 07)
- Chambre d'Agriculture du Tarn : 05 63 48 83 83
- Chambre d'Agriculture du Gard : Mme Julie Chambost (04 66 04 50 60)
- Chambre d'Agriculture de la Corrèze : 05 55 21 55 21
- Chambre Régionale d'Agriculture de Midi-Pyrénées : M Longueval (05 61 75 26 00)
- Chambre d'Agriculture du Lot et Garonne : 05 53 77 83 83
- Chambre d'Agriculture du Gers : 05 62 61 77 77
- Chambre d'Agriculture du Lot : Mme Christelle Lacombe (05 65 23 22 21)
- Chambre d'Agriculture du Tarn et Garonne : Mme Boualali (05 63 63 07 10)
- Chambre d'Agriculture du Cantal : M Yann Roland (04 71 45 55 00)
- Chambre d'Agriculture de la Lozère : M Valat (04 66 65 62 00)
- Chambre d'Agriculture de l'Aude : 04 68 11 79 35
- Chambre d'Agriculture de la Charente : Mme Sandrine Fizzala (05 45 24 49 44)
- Chambre d'Agriculture de la Charente Maritime : M David Julien (05 46 50 45 00)
- Chambre Régionale d'Agriculture d'Aquitaine : Mme Laetitia Seguinot (05 56 01 33 33)
- Chambre d'Agriculture de la Gironde : 05 56 79 64 00
- Chambre d'Agriculture des Pyrénées Atlantiques : M François Delage (05 59 90 18 56)

- Chambre d'Agriculture de l'Aveyron : M Pierre Duffailli (05 65 73 77 11)
- Chambre d'Agriculture d'Ile de France : 01 39 23 42 00
- Mission Inter départementale pour le Recyclage des Sous-Produits de l'Assainissement en Agriculture (MIRSPAA) : Mme Dominique Frelet (Chambre Agriculture Seine Maritime – 02 35 59 47 66)
- Mission de Recyclage Agricole des Déchets de Lorraine : M Régis Van De Ker Cklove (03 83 96 80 67 – regis.vdk@lorraine.chambagri.fr)

CONSEILS GÉNÉRAUX / SATESE

- Conseil Général de Haute Garonne + mission déchets : M Sempex (05 62 79 94 36)
- Conseil Général de Lozère : M Gilles Charade (04 66 49 66 66)
- SATEGE Chambre d'Agriculture du Nord : M Pierre Six (03 20 88 67 31 – pierre.six@nord.chambagri.fr)

ADMINISTRATIONS

- DDASS de la Gironde : M Deviers (05 57 01 91 00)
- DDASS de la Charente : M Bois (05 45 97 46 34)
- DDASS de la Loire Atlantique : Mme Gauraguer (02 40 99 86 00)
- DDASS de l'Oise : 03 44 06 48 00
- DRIRE Aquitaine : M Le Gorec (05 56 00 04 41 – bernard.le-gorec@industrie.gouv.fr)
- DRIRE Champagne Ardenne : M Fourier (03 26 69 35 73)
- DRIRE Languedoc : 04 66 78 50 00
- DDAF de l'Oise : M Dominique Mantel (03 44 06 43 43)

BUREAUX D'ÉTUDES

- Agro-développement :
 - M Girard (01 30 98 11 21 – 06 72 10 50 05)
 - M Paul Chabert d'Hyères
 - M Cédric Frochen (01 30 68 62 24)
- Sede Environnement : M Gilles Levaret (01 34 93 25 56)
- Aber Environnement : M Jacky Delprat (02 40 85 90 06)
- Anjou Valorisation : 02 41 69 61 99
- Aqua Terra : M Raymond Messenger (02 98 66 67 68)
- Gaudriot : 01 58 73 62 74
- Geneopolis : 03 23 68 43 51
- Société E2A : Laurent Petiteau (02 37 28 63 07 – e2a.luisant@e2a.fr)
- La Noëlle Environnement : Mme Pecquiart (02 40 98 96 33)

- Loire 21 : M Vincent Perivier (02 40 46 96 24 – vincent.perivier@generale-des-eaux.net)
- Fertinord : M Cadart (03 20 60 38 78 – fcadart@sita.fr)
- Sesaer : M Emmanuel Parent (05 49 37 69 69 – emmanuel.parent@sesaer.fr)
- TVD : M Hardier (03 83 53 23 46)
- Veillaux : M Rémy Veillaux (02 47 27 29 15 – remy.veillaux@wanadoo.fr)
- Saur France :
 - M Xavier Delebarre (01 30 13 38 03 – xdelebar@saur.fr)
 - Saur région ouest : M Moquet (02 97 54 52 30 – bmoquet@saur.fr)
 - Saur région centre est : M Reau (04 37 59 00 94)
 - Saur Nord Ile de France Normandie : Mme de Thé (01 30 78 47 04)
 - Saur sud ouest : Mme Louarn (05 62 57 31 30 – 06 60 25 75 11)
 - Saur centre ouest : M Mainguy (02 47 75 51 02)
 - Saur sud est : M Cadenet (04 66 62 67 58 – dcadenet@saur.fr)

AUTRES

- Institut Français de l'Environnement (IFEN) : 02 38 79 78 78
- Syndicat des Professionnels du Recyclage en Agriculture (SYPREA) : Mme Alexandra Noël (01 53 04 32 94 – syprea@fnade.com)
- ADEME Aquitaine : M Alain Lhuillier (05 56 33 80 28 – alain.lhuillier@ademe.fr)
- ADEME Angers : M Yves Coppin (02 41 20 41 20)

ANNEXE 2
LA GESTION DES BOUES EN EUROPE

	Épandage	Incinération	Végétalisation	Mise en décharge	Compostage	Rejet en mer	Rejets en eaux de surface	Divers
Allemagne	40%	11%		48%				1%
Autriche	22%	33%		32%				13%
Belgique (Flandre)	20%	20%		60%				
Belgique (Wallonie)	90%			10%				
Danemark	67%	20%		13%				
Espagne	46%	5%		25%		24%		
Finlande	31%		31%	38%				
France	60%	15%		25%				
Grèce	10%			90%				
Italie	18%	1%		81%				
Pays-Bas	4%	24%		48%	24%			
Portugal	11%	29%				2%	58%	
Royaume-Uni	46%	8%	11%	8%		25%		2%
Suède	35%		20%	35%				10%
Suisse	45%	55%						

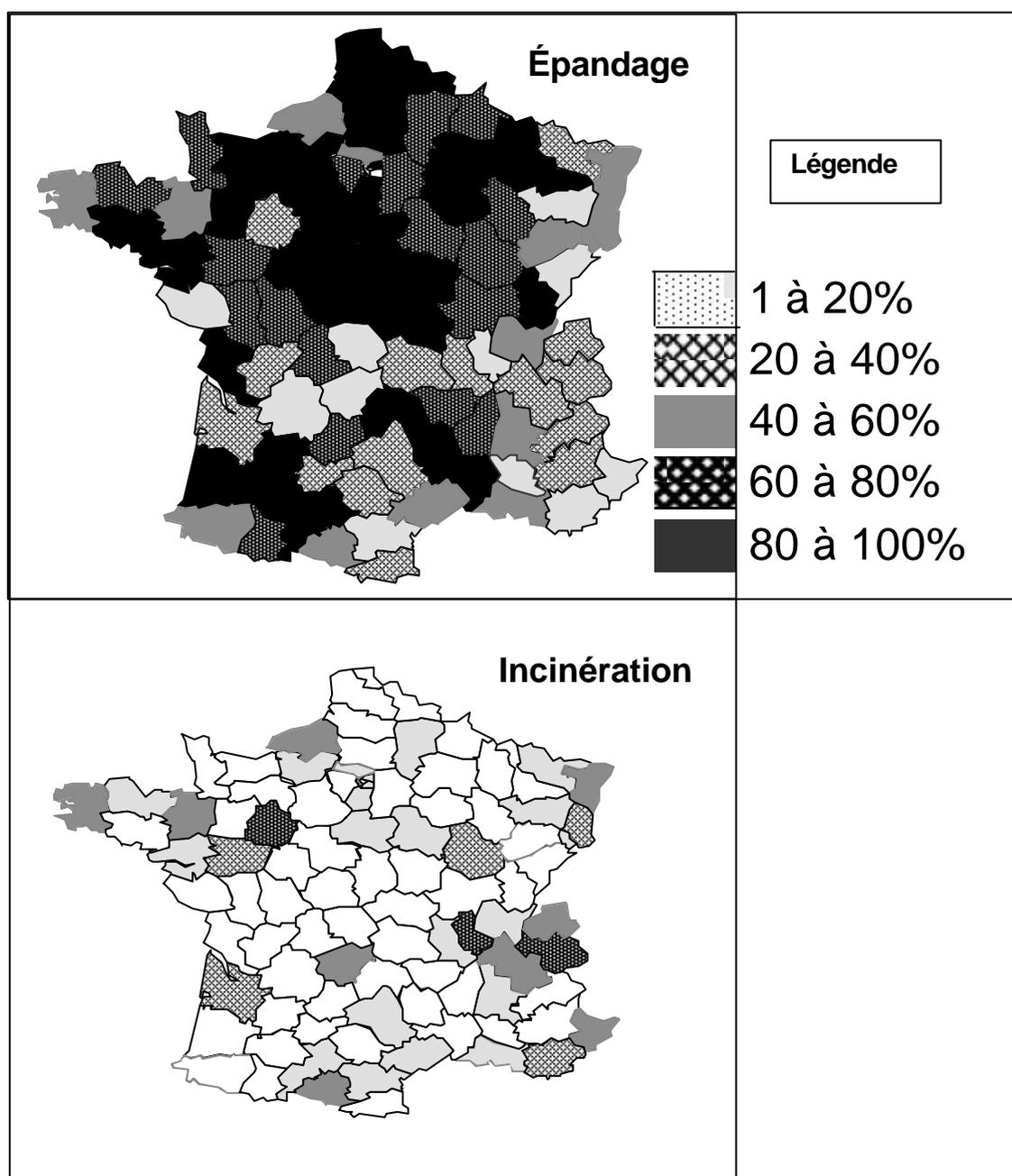
Tableau 6. Élimination des boues dans les pays européens (1996-1998). [1]

ANNEXE 3

LA GESTION DES BOUES EN France

Données AtoutBoues <http://perso.wanadoo.fr/atout.boues/PresentBouesEtMar.htm>

Figure 3. Cartes des taux d'utilisation des filières épandage et incinération - France 2001/2002.



ANNEXE 4

LES CHAMBRES D'AGRICULTURE : BUDGET ET ORGANISATION

Le budget des Chambres d'Agriculture, placé sous la tutelle de l'État, est fondé en grande partie sur les taxes que les Chambres d'Agriculture perçoivent. Le financement de base, qui représente plus de 50% du budget est obtenu grâce à une taxe sur le foncier non bâti que tout propriétaire de terres agricoles paie ; il y a ensuite un financement de l'Agence du développement Agricole et Rural (ADAR) qui est un établissement public dont la ressource principale est constituée par une taxe sur le chiffre d'affaires des agriculteurs. Dans une moindre mesure, ce sont les services rendus par la Chambre qui contribuent au financement celle-ci : services juridiques, de gestion, comptables, prestations de services (aux agriculteurs et aux collectivités)... Enfin, le Conseil Général peut participer au financement des Chambres Départementales et le Conseil Régional au financement des Chambres Régionales d'Agriculture.

L'assemblée de la Chambre d'Agriculture compte 45 membres élus représentatifs de tous les secteurs qui participent à l'économie agricole et forestière : chefs d'exploitation, propriétaires, salariés, anciens exploitants, groupements professionnels agricoles (coopératives, assurances, mutuelles...) et un administrateur de la propriété forestière (désigné par le Centre Régional de la Propriété Forestière). Cette assemblée élit son président et son bureau, pour une durée de six ans, et se réunit au moins deux fois par an pour voter les orientations politiques de la Chambre d'Agriculture.

ANNEXE 5
BASSINS HYDROGRAPHIQUES ET DÉPARTEMENTS FRANÇAIS
RATTACHÉS

Bassin Artois Picardie (AP)

02, 59, 60, 62, 80

Bassin Seine Normandie (SN)

08, 10, 14, 21, 27, 28, 45, 50, 51, 52, 55, 58, 61, 75, 76, 77, 78, 89, 91, 92, 93, 94, 95

Bassin Rhin Meuse (RM)

54, 57, 67, 68, 88

Bassin Rhône Méditerranée Corse (RMC)

01, 04, 05, 06, 07, 13, 25, 26, 30, 34, 38, 39, 42, 48, 66, 69, 70, 71, 73, 74, 83, 84, 90

Bassin Adour Garonne (AG)

09, 11, 12, 15, 16, 17, 19, 24, 31, 32, 33, 40, 46, 47, 64, 65, 81, 82, 86, 87

Bassin Loire Bretagne (LB)

03, 18, 22, 23, 29, 35, 36, 37, 41, 43, 44, 49, 53, 56, 63, 72, 79, 85

ANNEXE 6
TYPES DE CULTURES PRÉSENTES EN FRANCE – DONNÉES AGRESTE
(2000)

	AP	SN	RM	RMC	AG	LB
Céréales	54,8%	42,4%	45,6%	12,8%	33,6%	40,4%
Oléagineux	3,3%	8,3%	9,9%	2,3%	9,4%	7,0%
Protéagineux	5,2%	3,3%	0,1%	0,2%	0,7%	1,3%
Prairies, pâtures	18,1%	40,6%	41,9%	44,0%	49,1%	44,8%
Plantes à racines ou tubercules	14,2%	3,4%	0,5%	0,1%	<0,1%	0,7%
Autres cultures	4,4%	2%	2%	45,2%*	7,1%	5,8%

* : dû aux vignes très représentées en Rhône Méditerranée Corse

Tableau 7. Répartition des différents types de cultures mises en place sur des surfaces dans les différents bassins français.

Ce tableau a été construit à partir des statistiques agricoles disponibles sur le site www.agreste.agriculture.gouv.fr.

Les données étant régionales, le découpage suivant a été décidé pour obtenir des données par bassin hydrographique :

- **bassin Artois Picardie (AP)** : données AGRESTE des régions Picardie et Nord ;
- **bassin Seine Normandie (SN)** : données AGRESTE des régions Basse Normandie, Haute Normandie, Ile de France, Champagne-Ardennes, Bourgogne ;
- **bassin Rhin Meuse (RM)** : données AGRESTE des régions Alsace et Lorraine ;
- **bassin Rhône Méditerranée Corse (RMC)** : données AGRESTE des régions Franche-Comté, Rhône-Alpes, Provence Côte d'Azur et Languedoc Roussillon ;
- **bassin Adour Garonne (AG)** : données AGRESTE des régions Aquitaine, Midi-Pyrénées, Limousin et Poitou-Charentes ;
- **bassin Loire Bretagne (LB)** : données AGRESTE des régions Bretagne, Pays de la Loire, Centre et Auvergne.

ANNEXE 7

RÉPARTITION DES SURFACES OCCUPÉES PAR LES DIFFÉRENTS TYPES DE CÉRÉALES, OLÉAGINEUX, PROTÉAGINEUX, PLANTES RACINES ET À TUBERCULES ET AUTRES CULTURES PAR RAPPORT AUX SURFACES TOTALES ÉPANDUES (TOUTES CULTURES CONFONDUES)

CÉRÉALES	AP	SN	RM	RMC	AG	LB	France
Avoine	0,66%	0,55%	0,07%	0,59%	0,28%	2,93%	0,89%
Blé	18,88%	37,90%	14,19%	53,19%	28,12%	26,97%	28,64%
Escourgeon	4,35%	6,55%	2,76%	2,30%	-	0,25%	3,99%
Maïs	8,61%	10,40%	63,98%	14,83%	18,92%	23,56%	17,69%
Millet	-	0,02%	-	-	-	0,50%	0,09%
Orge	2,21%	1,12%	1,42%	6,26%	1,61%	2,03%	3,81%
Riz	-	-	-	0,23%	-	-	0,01%
Sarrasin	-	-	-	-	5,29%	-	0,19%
Seigle	0,06%	0,17%	0,04%	0,65%	0,46%	0,60%	0,22%
Sorgho	-	-	-	0,14%	5,96%	0,03%	0,23%
Triticale	-	0,41%	1,87%	6,58%	0,83%	2,67%	1,07%

Tableau 8. Répartition des surfaces occupées par les différents types de céréales par rapport aux surfaces totales épandues (toutes cultures confondues) par bassin et pour la France entière (données SEDE).

OLÉAGINEUX	AP	SN	RM	RMC	AG	LB	France
Colza	8,5%	27,60%	8,35%	6,73%	8,71%	11,76%	15,5%
Soja	-	0,16%	-	-	0,46%	-	0,08%
Tournesol	-	2,10%	0,31%	1,24%	24,4%	2,34%	2,12%

Tableau 9. Répartition des surfaces occupées par les différents types d'oléagineux par rapport aux surfaces totales épandues (toutes cultures confondues) par bassin et pour la France entière (données SEDE).

PLANTES RACINES ET À TUBERCULES	AP	SN	RM	RMC	AG	LB	France
Betteraves	42,66%	8,22%	1,06%	-	-	-	14,27%
Chicorée	1,78%	-	-	-	-	-	0,31%
Pomme de terre	8,62%	0,37%	0,04%	-	-	-	2,38%
Rutabaga	-	-	-	-	-	0,05%	0,01%

Tableau 10. Répartition des surfaces occupées par les différentes plantes à racines ou tubercules par rapport aux surfaces totales épandues (toutes cultures confondues) par bassin et pour la France entière (données SEDE).

AUTRES CULTURES	AP	SN	RM	RMC	AG	LB	France
Arboriculture	-	-	-	0,06%	-	-	<0,01%
Artichaut	-	-	-	-	-	0,02%	<0,01%
Brocolis	-	-	-	-	-	0,51%	0,08%
Choux fleurs	-	-	-	-	-	1,16%	0,19%
Échalote	-	-	-	-	-	0,13%	0,02%
Endive	0,01%	-	-	-	-	-	<0,01%
Engrais vert	0,06%	-	-	-	-	-	0,02%
Fétuque	-	0,03%	-	-	0,12%	-	0,02%
Jachère	0,2%	0,04%	-	-	-	0,08%	0,09%
Lavandin	-	-	-	0,10%	-	-	<0,01%
Lin fibre	0,7%	0,88%	-	-	-	-	0,52%
Moutarde	-	0,92%	-	-	-	0,55%	0,43%
Navette	-	-	-	-	-	0,05%	<0,01%
Phacélie	-	-	-	-	-	0,72%	0,12%
Vigne	-	-	-	0,83%	-	-	0,03%

Tableau 11. Répartition des surfaces occupées par les différentes cultures de la catégorie «autres cultures» par rapport aux surfaces totales épandues (toutes cultures confondues) par bassin et pour la France entière (données SEDE).

PROTÉAGINEUX	AP	SN	RM	RMC	AG	LB	France
Féverole	0,12%	0,07%	-	-	1,11%	-	0,10%
Lupin	-	-	-	-	-	0,28%	0,04%
Luzerne	0,11%	0,09%	-	0,06%	-	-	0,06%
Pois	0,69%	0,08%	-	-	-	0,31%	0,31%

Tableau 12. Répartition des surfaces occupées par les différents protéagineux par rapport aux surfaces totales épandues (toutes cultures confondues) par bassin et pour la France entière (données SEDE).

LÉGUMINEUSES	AP	SN	RM	RMC	AG	LB	France
Luzerne	0,11%	0,09%	-	0,06%	-	-	0,06%
Pois	0,69%	0,08%	-	-	-	0,31%	0,31%
Soja	-	0,16%	-	-	0,46%	-	0,08%
Trèfle	-	0,02%	-	-	-	-	<0,1%

Tableau 13. Répartition des surfaces occupées par les différentes légumineuses par rapport aux surfaces totales épandues (toutes cultures confondues) par bassin et pour la France entière (données SEDE).

ANNEXE 8

**RÉPARTITION DES SURFACES OCCUPÉES PAR LES CULTURES DE
PRINTEMPS ET D'AUTOMNE PAR RAPPORT AUX SURFACES TOTALES
ÉPANDUES (TOUTES CULTURES CONFONDUES)**

	AP	SN	RM	RMC	AG	LB	France
Cultures de printemps	63,0%	22,3%	65,4%	17,0%	56,5%	31,1%	39,9%
Cultures d'automne	34,3%	74,6%	28,6%	75,7%	39,7%	44,6%	53,1%

Tableau 14. Répartition des surfaces occupées par les cultures de printemps et d'automne par rapport aux surfaces totales épandues (toutes cultures confondues) par bassin et pour la France entière (données SEDE).

ANNEXE 9

RÉPARTITION EN MOYENNE POUR LA FRANCE ET PAR BASSIN DES DIFFÉRENTS TYPES DE BOUES ÉPANDUES SUR LES CULTURES CÉRÉALIÈRES, D'OLÉAGINEUX, PRAIRIES ET PÂTURES, ET PLANTES RACINES OU À TUBERCULES

CÉRÉALES	Liquides	Pâteuses	Solides	Séchées	Compostées	Chaulées	Autres
Moyenne France	16,2%	22,6%	31,3%	3,4%	17,2%	8,1%	1,2%
AP	10,2%	30,8%	40,6%	3,2%	15,1%	-	0,1%
SN	16,0%	20,9%	43,77%	2,5%	8,2%	7,2%	1,43%
RM	12,1%	26,4%	2,1%	0,7%	58,7%	-	-
RMC	7,5%	36,1%	24,9%	8,6%	22,9%	-	-
AG	18,8%	17,1%	12,5%	33,8%	17,4%	-	0,4%
LB	28,5%	12,5%	23,8%	-	2,1%	32,4%	0,7%

Tableau 15. Répartition en moyenne pour la France et par bassin des différents types de boues épandues sur des cultures céréalières (données SEDE).

OLÉAGINEUX	Liquides	Pâteuses	Solides	Séchées	Compostées	Chaulées	Autres
Moyenne France	18,8%	22,8%	36%	6,3%	8,0%	7,1%	1%
AP	11,0%	47,9%	23,3%	3,9%	7,9%	-	6%
SN	18,3%	20,7%	43,7%	3,3%	8,1%	5,8%	0,1%
RM	12,2%	48,3%	24,5%	11,8%	3,2%	-	-
RMC	11,7%	44,4%	16,8%	13,4%	13,7%	-	-
AG	9,1%	7,3%	19,1%	43,9%	20,3%	-	0,3%
LB	38,9%	5,1%	25,2%	-	2,0%	28,8%	-

Tableau 16. Répartition en moyenne pour la France et par bassin des différents types de boues épandues sur des oléagineux (données SEDE).

PRAIRIES ET PÂTURES	Liquides	Pâteuses	Solides	Séchées	Compostées	Chaulées	Autres
Moyenne France	45,0%	17,9%	7,6%	0,3%	1,6%	24,4%	3,2%
AP	46,1%	47,3%	4,2%	-	2,4%	-	-
SN	56,9%	8,9%	14,8%	0,7%	0,9%	12,6%	5,2%
RM	60,8%	35,3%	-	1,9%	2%	-	-
RMC	20,1%	30,6%	43,9%	-	5,4%	-	-
AG	74,4%	7,9%	-	-	17,7%	-	-
LB	40,9%	12,2%	5,7%	-	0,8%	38,4%	2%

Tableau 17. Répartition en moyenne pour la France et par bassin des différents types de boues épandues sur des prairies et pâtures (données SEDE).

PLANTES RACINES OU À TUBERCULES	Liquides	Pâteuses	Solides	Séchées	Compostées	Chaulées	Autres
Moyenne France	5,4%	32,0%	39,8%	7,7%	13,0%	0,8%	1,3%
AP	3,7%	33,1%	36,8%	9,5%	15,1%	-	1,8%
SN	11,6%	27,7%	54,4%	-	2,2%	4,1%	-
RM	25,2%	9,7%	-	-	65,1%	-	-
RMC	-	-	-	-	-	-	-
AG	-	-	-	-	-	-	-
LB	-	-	-	-	-	100%	-

Tableau 18. Répartition en moyenne pour la France et par bassin des différents types de boues épandues sur des cultures de plantes racines ou à tubercules (données SEDE).

ANNEXE 10 MATÉRIELS DE REPRISE DES BOUES

BOUES LIQUIDES



Image 1. Bras de pompage automatique de reprise des boues liquides (source : www.pichonindustries.com/spanish/carga.html).



Image 2. Reprise des boues liquides (photo personnelle).



Image 3. Reprise de boues liquides directement par pompage dans un camion citerne [8].

AUTRES TYPES DE BOUES



Image 4. Chargeur frontal à deux bras monté sur un tracteur agricole (source : www.deere.com/fr_FR/products/equip_ag/tractors/6020SE/cha.html).



Image 5. Chargeur automoteur à bras télescopique (source : <http://www.directindustry.com/>).



Image 6. Tracto-pelle [8].



Image 7. Chargeuse sur pneus [8].



Image 8. Chargeur compact [8].



Image 9. Chariot tout terrain à mâts [8].



Image 10. Grue portée sur tracteur agricole avec deux pieds stabilisateurs [8].



Image 11. Grue semi-portée, autonome au travail mais déplacée d'un point à l'autre par le tracteur [8].



Image 12. Déversement d'une remorque directement dans l'épandeur [8].



Image 13. Reprise de boues pâteuses (photo personnelle).

ANNEXE 11
MATÉRIELS D'ÉPANDAGE DES BOUES

BOUES LIQUIDES



Image 14. Tonne à lisier avec rampe repliée (photo personnelle).



Image 15. Épandage par tonne à lisier et buse unique.



Image 16. Buse équipant la rampe d'épandage [3].



Image 17. Rampe à pendillards [3].



Image 18. Épandage avec rampes à buses [3].



Image 19. Enfouisseur culture [3].



Image 20. Enfouisseur polyvalent [3].



Image 21. Rampe d'épandage.



Image 22. Épandage à tuyau ombilical [3].

BOUES PÂTEUSES



Image 23. Épandeur spécifique de boues pâteuses [3].

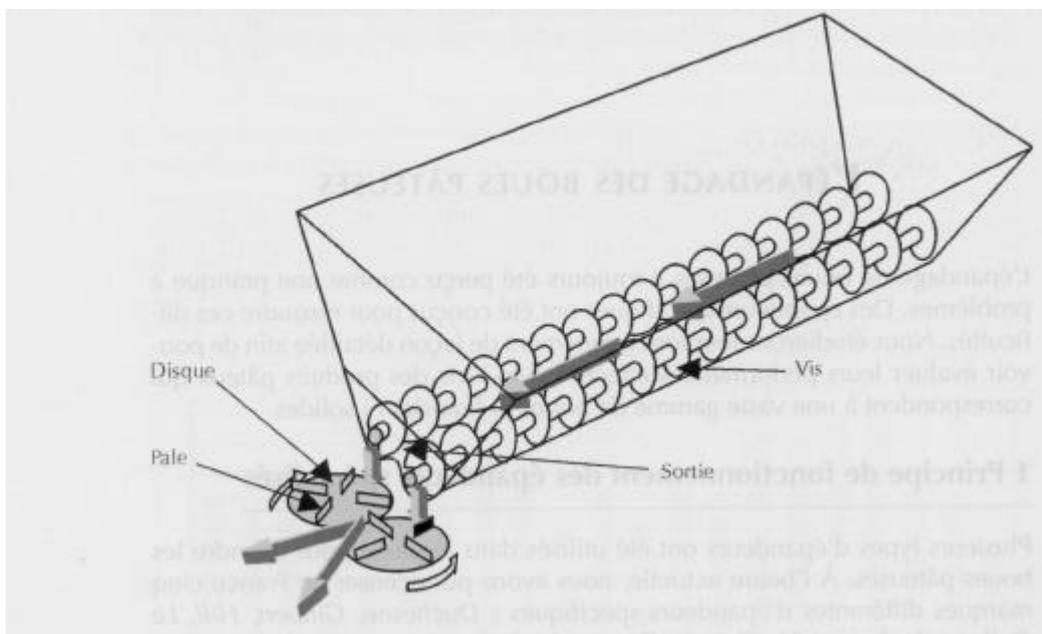


Image 24. Principe de fonctionnement des épandeurs à boues pâteuses [3].



Image 25. Chantier d'épandage de boues pâteuses liquides [3].



Image 26. Épandage de boues pâteuses presque solides avec épandeur à hérissons horizontaux (photo personnelle).

BOUES SOLIDES



Image 27. Épandeur à hérissons horizontaux (photo personnelle).



Image 28. Épandeur à table d'épandage [3].

ANNEXE 12
QUESTIONNAIRES

Questionnaire opérateurs

1. Depuis combien d'années faites-vous des épandages de boues ?.....
2. A quelles périodes ces travaux sont effectués ?.....
Combien d'heures par jour travaillez-vous sur des épandages ?.....
Combien de jours par mois en période d'épandage ?.....
Au total, combien de mois de travail par an cela représente-t-il ?.....
Épandez-vous seulement en semaine ? oui – non
Combien de tonnes de boues épandez-vous en moyenne dans une année ?(en MS)
.....
3. Combien d'opérateurs êtes-vous sur un chantier d'épandage ?.....
Effectuez-vous toujours les mêmes tâches ? oui – non
Si non, que font les autres ?.....
.....
4. En général, ces boues sont :
 - liquides
 - pâteuses
 - solides
 - séchées
 - compostées
 - chaulées
 - autre (boue de lagune, boue acide...)
 - vous ne savez pas exactementEt aujourd'hui ?.....
5. À quel endroit allez-vous chercher les boues ?
 - stockées en bordure de champ
 - à la station
 - autre :.....
6. Comment gérez-vous l'épandage :
 - s'il pleut avant l'épandage ?.....
 - s'il pleut pendant l'épandage ?.....
7. En général, quels types de parcelles reçoivent des boues ?
 - prairies ? oui – non
si oui, sont-elles déjà en herbe ? oui – non
 - parcelles destinées aux cultures ? oui – non
si oui, lesquelles ?.....Et aujourd'hui ?.....
8. Aujourd'hui, les parcelles que vous épandez se situent :
 - à moins de 200m de routes ? oui – non
 - à moins de 200m de prairies ? oui – non
 - à moins de 200m de cours d'eau ? oui – non
 - à moins de 200m des habitations ? oui – non
 - à côté d'autres parcelles ? oui – non
Si oui, lesquelles ?.....
 - autre : (autres voies).....
9. Lorsque vous épandez, arrive-t-il que des animaux paissent dans les prairies dans les alentours de cette parcelle ? oui – non
De quels animaux s'agit-il ?.....
Et aujourd'hui ?

10. Lorsque vous épandez, comment gérez-vous l'épandage de bordure de parcelles :
- vous laissez un périmètre non épandu ? oui – non
 - vous épandez jusqu'au bord ? oui – non
 - si oui, est-ce que des boues peuvent venir amender des parcelles voisines à celle que vous épandez ? oui – non
11. Quels types d'appareillages sont utilisés pour épandre ?
- boues liquides : rampes d'irrigation ? oui – non
 - tuyau ombilical ? oui – non
 - tonne à lisier ? oui – non
 - si oui, avec buse ? oui – non
 - avec rampe à buses ? oui – non
 - avec rampe à pendillards ? oui – non
 - boues pâteuses ?.....
 - boues solides : épandeurs à fumiers ? oui – non
 - épandeurs à table d'épandage ? oui – non
 - matériel spécifique ? oui – non
 - y a-t-il toujours projection à l'arrière des engins ? oui – non
 - avez-vous du matériel d'enfouissement ? oui – non
 - si oui, lequel ?.....
12. Possédez-vous un système de guidage par GPS ? oui – non
13. La cabine du conducteur est-elle climatisée ? oui – non
14. Que faites-vous exactement pendant l'épandage ? Assurez-vous :
- la reprise des boues ? oui – non
 - Si non, qui s'en charge ?.....
 - le transport des boues ? oui – non
 - Si non, qui s'en charge ?.....
 - l'enfouissement ? oui – non
 - Si non, qui s'en charge ?.....
 - Au bout de combien de temps est-il réalisé ?.....
15. Si l'opérateur n'est pas l'agriculteur : est-ce que les agriculteurs viennent sur les épandages pour contrôler leur bon déroulement ? oui – non
- Si oui, restent-ils toute la durée de l'épandage ? oui – non
- ou bien viennent-ils de façon ponctuelle ? oui – non
16. À quel étape de l'épandage vous arrive-t-il d'être sali par de la boue ?
.....
.....
17. Portez-vous des gants lors de l'épandage de boues ? oui – non
- Portez-vous un masque lors de l'épandage de boues ? oui – non
- Portez vous une tenue spécifique lors de l'épandage de boues ? oui – non
- Si oui, laquelle ?.....
- Avez-vous un autre matériel de protection individuelle ? oui – non
- Si oui, lequel ?.....
18. Est-ce qu'il peut y avoir émission de gouttelettes pendant l'épandage de boues liquides ? oui – non
19. Est-ce qu'il y a des émissions de poussières (notamment lors de l'épandage de boues séchées) ? oui – non

20. Des riverains ont ils déjà fait part d'éventuelles nuisances olfactives ressenties ? oui – non
21. Lorsque vous êtes sur un chantier d'épandage, où mangez-vous le midi :
- vous allez manger hors du chantier (restaurant...) ? oui – non
 - vous amenez votre repas et mangez sur place ? oui – non
- Si oui, avez-vous accès à un robinet d'eau propre et du savon pour vous laver les mains ? oui – non
- cela dépend

Questionnaire agriculteurs

Présentation

1. Quel type d'exploitation avez vous ?
 - polyculture élevage : bovins lait, bovins viande, autre :.....
 - polyculture
 - autre :.....
2. Quelle est la SAU de l'exploitation?
3. Depuis combien d'années épandez-vous des boues sur vos parcelles ?
4. Combien d'épandages de boues réalisez-vous par an ?

Epandage

5. Assurez-vous l'épandage seul ou une partie de celui-ci ? oui – non

Si non, passer à la question n°16

Si oui, questions 6

6. À quelles périodes ces travaux sont effectués ?.....
Combien d'heures par jour travaillez-vous sur des épandages ?.....
Combien de jours par mois en période d'épandage ?.....
Au total, combien de mois de travail par an cela représente-t-il ?.....
Combien de tonnes de boues épandez-vous en moyenne dans une année ?(en MS).....
7. Comment gérez-vous l'épandage :
 - s'il pleut avant l'épandage ?.....
 - s'il pleut pendant l'épandage ?.....
8. Lorsque vous épandez, comment gérez-vous l'épandage de bordure de parcelles :
 - vous laissez un périmètre non épandu ? oui – non
 - vous épandez jusqu'au bord ? oui – non
si oui, est-ce que des boues peuvent venir amender des parcelles voisines à celle que vous épandez ? oui – non
9. Quels types d'appareillages sont utilisés pour épandre ?
 - boues liquides : rampes d'irrigation ? oui – non
tuyau ombilical ? oui – non
tonne à lisier : oui – non
 - si oui, avec buse ? oui – non
avec rampe à buses ? oui – non
avec rampe à pendillards ? oui – non
 - boues pâteuses ?.....
 - boues solides : épandeurs à fumiers ? oui – non
épandeurs à table d'épandage ? oui – non

- matériel spécifique ? oui – non
- le principe repose-t-il toujours sur la projection à l'arrière des engins ? oui – non
 - avez-vous du matériel d'enfouissement ? oui – non
si oui, lequel ?.....
10. Possédez-vous un système de guidage par GPS ? oui – non
11. La cabine du conducteur est-elle climatisée ? oui – non
12. En plus de l'épandage proprement dit, assurez-vous :
- la reprise des boues ?
oui – non
Si non, qui s'en charge ?.....
 - le transport des boues ? oui – non
Si non, qui s'en charge ?.....
13. À quelle étape de l'épandage vous arrive-t-il d'être sali par de la boue ?.....
.....
.....
14. Portez-vous des gants lors de l'épandage de bous ? oui – non
Portez-vous un masque lors de l'épandage de boues ? oui – non
Portez-vous une tenue spécifique lors de l'épandage de boues ? oui – non
si oui, laquelle ?.....
Avez-vous un autre matériel de protection individuelle ? oui – non
si oui, lequel ?.....
15. Est-ce qu'il y a des émissions de poussières (notamment lors de l'épandage de boues séchées) ? oui – non
16. Sur combien de parcelles épandez-vous des boues par an ?.....
17. Quels types de parcelles sont amendées par des boues ?
- Cultures ? oui – non
Si oui, laquelle.....ha surha cultivés
.....ha.....ha cultivés
.....ha.....ha cultivés
.....ha.....ha cultivés
 - Prairies ? oui – non
Si oui,ha
- Si oui, y a-t-il mise à l'herbe après l'épandage ? oui – non
Si oui, combien de temps après l'épandage se fait la mise à l'herbe ?.....j / sem.
Pratiquez-vous l'irrigation : quelles est la provenance de l'eau ?
- eau de surface
 - eau de réseau
 - eau de puits
 - autre :.....
18. Si vous êtes éleveurs, dans la ration, estimez la part des produits provenant des parcelles amendées (proportion)
.....
.....

.....
.....
.....

19. D'où provient l'eau de l'abreuvoir ?

- réseau d'eau public
- rivière
- puit
- autre :.....

20. Sous quelle forme les boues sont-elles épandues sur vos terres ?
(plusieurs réponses possibles)

- liquide
- pâteuse
- solide
- séchée
- vous ne savez pas

21. Etes-vous présent lors de l'épandage de boues ?

oui – non

Si oui, où vous trouvez-vous ?

- en bordure de champ
- sur une parcelle à côté
- sur le champ
- autre :.....

Combien de temps restez-vous présent lors de l'épandage ?.....

22. A quelle période réalisez-vous, le plus souvent, ce type d'épandage ?

- au printemps
- à l'automne
- en été

23. Comment sont gérées les boues avant épandage ?

Les boues sont :

- directement épandues sur les parcelles
- stockées en bordure de champ avant épandage
Combien de temps ?.....
- autre :.....

24. Les parcelles épandues se situent elles :

- à proximité de chemins pédestres? oui – non
- à proximité de routes ? oui – non
- à proximité de prairies ? oui – non
- à proximité de cours d'eau ? oui – non
- à proximité des habitations ? oui – non
- autre : (autres voies).....
- à proximité d'autres parcelles ? oui – non

Si oui, lesquelles ?.....

Si ce sont des prairies, est-il arrivé que les animaux pâturent dans les prairies juxtaposées à ces parcelles ? oui – non

25. Après la période d'épandage de boues, au bout de combien de temps (au plus tôt) êtes-vous retourné sur la parcelle épandue ?.....h / j / mois

Pour quelles activités ?.....

Si utilisation de tracteur, y a-t-il une cabine climatisée? oui – non

Habitudes de consommation

26. Consommez-vous des aliments auto-produits par l'exploitation? oui – non

Si oui, quels sont ces produits ?

- viande :.....
- végétaux :.....

Si oui, quelle proportion ces produits représente-t-ils dans votre alimentation ?
(estimation) :

- viande.....%
- végétaux.....%

Si végétaux, d'où proviennent-ils ?

- jardins personnels
- cultures de champ

Si jardins, d'où provient l'eau d'arrosage ?

- puits
- rivière
- eau du réseau

est-ce que votre jardin est une ancienne terre agricole ?

oui – non

Si oui, a-t-elle reçue des boues par le passé ?

oui – non

Questionnaire riverains

1. Êtes-vous au courant de la réalisation de chantiers d'épandages de boues dans votre commune ? oui – non

Si oui, comment l'avez-vous appris :

- vous habitez à côté d'une parcelle qui est épandue
- par affichage en mairie
- par une personne de la commune
- vous êtes un proche de l'agriculteur qui reçoit les boues
- vous avez vu les personnes et le matériel d'épandage passer dans la commune
- autre :

2. Avez-vous déjà ressenti des nuisances olfactives liées aux épandages ? oui – non

3. Si vous habitez à côté d'une parcelle qui est épandue, possédez-vous un jardin potager ? oui – non

Si oui, d'où provient l'eau d'arrosage ?

- puits
- rivière
- eau du réseau

est-ce que votre jardin est une ancienne terre agricole ? oui – non

Si oui, a-t-elle reçue des boues par le passé ?

oui – non – vous ne savez pas

4. Avez-vous déjà assisté à un chantier d'épandage ? oui – non

Si oui, quel temps faisait-il ?

Si oui, avez-vous vu des émissions de poussières ? oui – non

5. Avez-vous vu des boues stockées en bout de champ ? oui – non

Si oui, pendant combien de temps ?

6. Savez-vous quels types de parcelles se situent à côté des parcelles épandues avec des boues :

- terres cultivées ? Culture en place :
- jardins potagers ?
- pâtures ?
 - avec animaux. Lesquels :
 - D'où provient leur eau ?
- sans animaux
- vous ne savez pas

7. Vous arrive-t-il de vous promener en campagne, près des champs agricoles ? oui – non

Si oui, quelle est la fréquence de vos promenades ? En été :

En hiver :

Combien de temps dure approximativement votre promenade ?

Faites-vous cette promenade seul ou en famille ?

.....

Si oui, savez-vous si ces champs ont reçu des boues ? oui – non

Si oui, est-ce qu'il vous arrive de pratiquer la cueillette de fruits sauvages (fraises, mûres...), champignons, pissenlits, près des champs ? oui – non

Si oui, quelle est la fréquence de vos cueillettes ?

pouvez-vous estimer la quantité consommée ?.....
.....
.....

8. Achetez-vous des produits cultivés localement ? oui – non
Si oui, lesquels :.....
.....

9. D'où provient votre eau de consommation ?
 puits
 eau de réseau
 eau de surface
 eau souterraine
 vous ne savez pas
 vous ne savez pas

10. Votre commune accueille-t-elle des touristes ? oui – non

Votre commune accueille-t-elle des randonneurs ? oui – non

Est-ce qu'il y a des zones de baignade (lacs, rivières...) ?.....

Est-ce que des rivières sont situées près des champs ? oui – non

Est-ce que des personnes pratiquent la pêche ? oui – non

Est-ce que des personnes pratiquent la pêche à pied (cas de zones maritimes) ?
oui – non

Questionnaire mairie

1. Quel est le nombre d'habitants de votre commune ?.....
2. Quelle surface les terres agricoles représentent-elles par rapport à la superficie de la commune ?.....
3. D'où provient l'eau de votre commune :
 - nappe captive ?
 - nappe libre ?
 - eau de surface ?
 - autre commune ?
4. Est-ce que tous les gens du village sont reliés au réseau d'eau public ou bien est-ce que certains boivent de l'eau de leur puits ? (question qui sera sûrement à poser aux bureaux d'étude pour vérifier la prise en compte des points d'eau potable).....
.....
5. Y a-t-il des zones de baignades dans la commune ? oui – non
De quel type :
 - rivière ?
 - lac ?
 - plage ?

Sont-elles situées à proximité des terres agricoles ? oui – non

Si oui, à quelle distance ?.....
6. Est-ce qu'il y a des zones de pêche dans la commune ? oui – non
Dans le cas d'une zone maritime, des personnes pratiquent-elles la pêche à pied ? oui – non
Les zones de pêche sont-elles situées à proximité des terres agricoles ? oui – non
Si oui, à quelle distance ?.....
7. Quand avez-vous été prévenu de la date des épandages ?.....
8. Avez-vous fait l'affichage en mairie ? oui – non
Si oui, combien de temps avant le début des épandages ?.....
Les épandages font-ils l'objet d'une signalisation particulière, à proximité des terres épandues ? oui – non
9. Les terres épandues avec des boues sont-elles situées à proximité d'habitations particulières? oui – non
À quelle distance se situe l'habitation la plus proche des terres épandues ?.....
10. Les terres épandues avec des boues sont-elles situées à proximité de chemins de promenade ? oui – non

Les terres épandues avec des boues sont-elles situées à proximité de forêts ? oui – non
Si oui, à quelle distance ?.....
11. Quelle est la distance minimale qui sépare les parcelles épandues :
 - d'un lac ?.....
 - d'une rivière ?

- d'un puits ?
- d'un captage d'eau potable ?

12. Savez-vous quels types de parcelles se situent à côté des parcelles épandues avec des boues :

- terres cultivées ? Culture en place :.....
- jardins potagers ?
- pâtures ?
 - avec animaux. Lesquels :.....
D'où provient leur eau :.....
 - sans animaux
- vous ne savez pas

13. Est-ce que la zone épandue est une zone touristique ? oui – non

14. Vos administrés se sont-ils déjà plaints de nuisances olfactives ?.....
Et d'autres nuisances ? oui – non
Si oui, lesquelles ?.....

15. Est-ce que d'anciennes terres agricoles ayant reçu des boues ont été converties en jardins potagers ? oui – non – vous ne savez pas

ANNEXE 13

LES TRAITEMENTS DE BOUES EXISTANT

Les traitements visant à réduire le contenu en eau des boues

Le **conditionnement** peut être chimique, il consiste alors à ajouter des flocculants organiques de synthèse (polyélectrolytes) ou minéraux (chaux, sels de fer ou d'aluminium) pour favoriser la séparation liquide – solide. Il peut aussi être thermique, poussé (la boue est portée à 150-200°C pendant 30 à 60 minutes) ou partiel (la boue est portée à 40-50°C). Lors du conditionnement thermique poussé, il y a transformation physique de la boue, et **40 à 50% de siccité peuvent ainsi être obtenus** sans ajout de réactif, mais ce phénomène provoque l'hydrolyse d'une partie de la matière organique et les filtrats issus des boues sont très chargés en pollution carbonée et en azote, avec dégagement de mauvaises odeurs. Par contre le conditionnement thermique partiel permet d'éviter de trop charger les filtrats en pollution carbonée et en azote, tout en augmentant la performance des procédés de réduction de la teneur en eau.

L'**épaississement** vise à augmenter la siccité des boues sans pour autant modifier le caractère liquide de la boue. Il peut se faire par voie gravitaire dans un concentrateur (cuve cylindrique à fond conique, la boue épaissie est évacuée par le bas, qui peut être équipée de lamelles pour augmenter la surface de décantation) ou par voie mécanique par égouttage (la boue est disposée sur une toile filtrante), flottation (des fines bulles d'air permettent à la boue de remonter en surface ; il est réservé aux boues biologiques de faible densité) ou centrifugation. La **siccité des boues épaissies se situe vers 5-6%** en moyenne et ne dépasse pas usuellement 7%. Les boues épaissies gravitairement ne sont généralement pas conditionnées et leur siccité plafonne à 3-3,5% [1]. Ce procédé est fréquent en zone rurale et concerne les petites stations d'épuration, de taille inférieure à 2000 équivalents-habitants. C'est aussi le procédé dont le coût est le moins élevé [1].

La **déshydratation** vise à augmenter fortement la siccité et modifie pour cela l'état physique des boues (passage d'un état liquide à un état pâteux ou solide). Des filtres à bandes, des centrifugeuses et des filtres-presses sont utilisés. **Les filtres à bandes permettent d'obtenir des boues à 18-20% de siccité** et les **centrifugeuses des boues à 20-25% de siccité** ; ces boues sont donc plutôt pâteuses. Par contre **les filtres-presses produisent des boues solides (dont la siccité atteint 30-35%)** car utilisent à la fois un conditionnement au lait de chaux et des pressions élevées. Les filtres-presses restent cependant réservés aux installations les plus importantes. Les filtres à bandes

sont les matériels de déshydratation les plus utilisés en France : ils représentent plus de 80% du parc des matériels de déshydratation.

Le **séchage** élimine en grande partie ou en totalité l'eau par évaporation, **par voie naturelle (lits de séchage) ou thermique**.

La technique des **lits de séchage** se pratique à l'air libre sur des boues liquides et combine évaporation naturelle et drainage de l'eau libre à travers une couche filtrante de sables et graviers. Les boues obtenues ont **35–40% de siccité** mais ce résultat dépend des conditions météorologiques ; de plus, la surface au sol nécessaire est importante (1m² pour 4–5 habitants raccordés). Cette technique est aujourd'hui en déclin (contraintes de main d'œuvre).

Le **séchage thermique** permet d'obtenir un **séchage partiel** des boues (**30 à 45% de siccité**), un **séchage poussé (60 à 90% de siccité)** voire un **séchage total (plus de 90% de siccité)**. Il fonctionne selon deux grands procédés, le séchage direct (convection), où la boue est séchée par contact direct avec un gaz chaud, et le séchage indirect (conduction), où la boue est séchée avec une paroi chauffée par un fluide caloporteur. Il existe aussi des sècheurs mixtes qui utilisent des transferts de chaleur par convection couplés à des transferts par conduction. C'est un procédé peu utilisé en France en raison de son coût.

Les traitements visant à stabiliser les boues

Ci-après vont être présentés la stabilisation biologique, la stabilisation chimique, le séchage thermique et l'oxydation thermique.

La **stabilisation biologique** est réalisable grâce à deux voies : la voie aérobie et la voie anaérobie.

La **voie anaérobie** se fait dans des digesteurs avec production de biogaz riche en méthane. Les matières organiques digérables subissent des réactions biologiques (hydrolyse des macromolécules en composés simples, hydrolyse des macromolécules en composés simples et gazéification, essentiellement sous forme de CO₂ et CH₄). Les boues obtenues sont dites « anaérobies » ou « stabilisées anaérobies » ou « digérées ». La digestion anaérobie est pratiquée dans 200 stations d'épuration en France, de taille souvent supérieure à 50 000 équivalents-habitants ; cela représente 21 millions d'équivalents-habitants au total. La méthanisation permet une réduction de 1/3 de la masse en matières sèches dans les boues [1].

La **voie aérobie** se fait par injection d'air dans une cuve agitée ; elle peut être utilisée en pré-digestion avant de subir un traitement anaérobie. Le principe n'est pas

fondamentalement différent de celui des boues activées ; par contre les concentrations, les températures et la flore impliquées diffèrent. Les boues obtenues sont dites « aérobies » ou « stabilisées aérobies ». La stabilisation biologique est le procédé le plus employé en France (plusieurs milliers de stations d'épurations), parfois en combinaison avec des procédés chimiques ou thermiques [1].

Le **compostage** est un cas particulier de stabilisation biologique aérobie. Il se réalise de préférence sur des boues déjà déshydratées et stabilisées biologiquement, et nécessite l'apport d'un co-produit structurant (sciure, écorces, fumier, papier...) pour augmenter le degré de vide, assurer la montée en température et absorber l'eau des boues. Cet ensemble constitué de boues et co-produit évolue durant plusieurs semaines, durant lesquelles se déroulent une étape de fermentation (qui se décompose en quatre étapes durant lesquelles le tas de compost doit être régulièrement aéré), une étape de criblage (éventuellement, pour affiner le produit final et en recycler une partie) et une étape de maturation (pour compléter la dégradation). Les boues obtenues ont un aspect de terreau, sont solides et stables, avec une siccité pouvant atteindre 60% [2]. Leur pH est proche de la neutralité (6,5 à 7).

La **stabilisation chimique** consiste en l'**ajout d'une quantité importante de chaux**. Deux formes sont possibles : la chaux vive CaO ou la chaux éteinte Ca(OH)_2 . Le pH augmente, ce qui bloque l'activité biologique de la boue et donc son évolution ; le chaulage permet aussi une maîtrise des nuisances olfactives (car à pH basique le dégagement des composés soufrés malodorants est inhibé). Si le traitement est réalisé à la chaux vive, on a de plus une action déshydratante poussée (migration de l'eau libre de la boue vers la chaux vive, pour former alors la chaux éteinte) et une action germicide (due à l'augmentation de la température et du pH). Une déshydratation préalable est nécessaire au chaulage des boues sauf dans le cas du filtre–presse où un lait de chaux est directement mélangé aux boues liquides ; de préférence les boues chaulées sont d'abord stabilisées biologiquement. Les boues obtenues sont pâteuses ou solides et appauvries en azote. Quand la dose de chaux appliquée est suffisante, la stabilisation peut être maintenue plusieurs mois [2].

Il peut aussi s'agir d'une **stabilisation aux nitrites**, qui est bien adaptée pour les stations de petite taille. La boue épaissie est admise dans un milieu acide maintenu à pH 3 ; elle est alors soumise pendant au minimum 30 minutes à l'action des ions nitrites NO_2^- . Pour stabiliser et hygiéniser de façon poussée, le pH doit être de l'ordre de 2, le temps de séjour d'au moins 2 heures et la concentration en nitrites plus forte.

Le **séchage thermique** (présenté dans a)), réalisé sur des boues déjà déshydratées mécaniquement, permet de stabiliser les boues tant qu'elles ne sont pas réhumectées. En effet, une siccité élevée empêche tout développement microbien.

L'**oxydation thermique** peut être réalisée par combustion en phase gazeuse, dans un four spécifique ou lors de la co-incinération avec des ordures ménagères, et par oxydation par voie humide. Elle réduit la quantité finale de boues aux seules matières minérales. Les techniques d'incinération transforment la boue en fumées et en cendres (constituées principalement de la matière minérale de la boue) ; ces fumées contiennent notamment des gaz acides et des poussières polluantes qui doivent faire l'objet d'un traitement approprié. Les techniques d'oxydation en milieu humide transforment la boue en une phase solide (qui contient des résidus organiques solubles facilement biodégradables), des gaz de combustion propres et des résidus minéraux en suspension dans la phase aqueuse