

LES SYNTHÈSES

de l'Office International de l'Eau

**Analyse des politiques publiques
françaises de valorisation agricole
des boues des stations d'épuration
collectives en vue d'une adaptation
au Maroc**

Laurent Sylvain

Février 2017



*Office
International
de l'Eau*

En partenariat avec des organismes d'enseignement supérieur, l'OIEau propose des états de l'art synthétiques sur différents sujets liés à l'eau. Ces synthèses sont rédigées par des élèves dans le cadre de leur cursus de formation.

Cette synthèse documentaire « **Analyse des politiques publiques françaises de valorisation agricole des boues des stations d'épuration collectives en vue d'une adaptation au Maroc** » a été effectuée par **Laurent Sylvain**, élève post-master (bac+6/7) d'AgroParisTech-ENGREF en voie d'approfondissement et mastère spécialisé « Gestion de l'eau » à Montpellier.

Le contenu de ce document n'engage la responsabilité que de son auteur, il ne reflète pas nécessairement les opinions ou la politique de l'OIEau.

Toute utilisation, diffusion, citation ou reproduction, en totalité ou en partie, de ce document ne peut se faire sans la mention expresse du rédacteur, de l'Établissement d'origine et de l'OIEau.

SYNTHESE

Analyse des politiques publiques françaises
de valorisation agricole des boues des stations
d'épuration collectives en vue d'une adaptation au Maroc.

Laurent Sylvain
sylvain.laurent@agroparistech.fr

Février 2017

AgroParisTech
Centre de Montpellier
648 rue Jean-François Breton – BP 44494
34093 MONTPELLIER CEDEX 5
Tél. : (33) 4 67 04 71 00
Fax : (33) 4 67 04 71 01
www.agroparistech.fr

Office International de l'Eau
Service gestion et valorisation de
l'information et des données
15 rue Edouard Chamberland
87 065 LIMOGES CEDEX
Tél : (33) 5 55 11 47 47
www.oieau.org

RÉSUMÉ

Le traitement des eaux usées domestiques génère des sous-produits : les boues. En France, en Europe et au Maroc, ces résidus sont considérés comme des déchets et suivent donc les contraintes juridiques liées à ce statut lors de leur valorisation. Parmi les destinations existantes, la valorisation agricole est la plus utilisée en France (73% en tonnes de Matière Sèche (MS)). Elle présente les avantages d'être peu coûteuse et de s'insérer dans une logique d'économie circulaire encouragée par l'Union Européenne. Cependant, certains freins au développement de la filière sont apparus après divers scandales (dioxine, vache folle). Malgré cela, les agriculteurs reconnaissent la valeur agronomique des boues et sont demandeurs, à condition d'avoir une filière de qualité. Le maître d'ouvrage doit donc se poser les bonnes questions en amont, lors de la conception de la filière assainissement-valorisation des boues. Aujourd'hui, de nombreuses filières de traitement des eaux et des boues s'offrent aux collectivités. Les éléments qui sous-tendent le choix de ces filières sont nombreux et dépendent fortement du contexte local. L'environnement marocain ne déroge pas à cette complexité mais il semble qu'il se prête à certains types de traitements.

Mots-clefs : assainissement, station d'épuration, boues, valorisation agricole, épandage, recyclage

ABSTRACT

Domestic waste water treatment produce sewage sludges. In France, Europe and Morocco, these residues are considered as wastes and follow the jurisdiction linked to this status when spread on crop fields. Among the existing value chains, spreading is the first in terms of use (73% tons of Dry Matter). It is cheap and copes with the circular economy. However, brakes in the value chain appeared after the mad cow and dioxin crisis. Despite these draw-backs, farmers still recognize the sewage sludge agronomic value but ask for a quality beyond reproach. In that sense, the contracting authority has to consider different options before investing in a treatment value chain. Nowadays, various possibilities are on the table. There are many factors behind the sludge treatment processes and strongly depend on the local context. Morocco is not an exception but it seems that some processes are more adapted than others.

Key-words: sanitation, water treatment plant, sewage sludge, recycling, spreading, agriculture

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	2
Abstract.....	2
Table des matières	3
Liste des abréviations	4
Liste des Figures :	5
Liste des annexes :	5
Quels atouts pour la filière épandage agricole des boues d'épuration dans le contexte marocain ?	6
Provenance des boues et caractéristiques de la filière	7
De l'origine des boues et des différentes filières de traitement et de valorisation	7
L'origine des boues	7
Les différents types de boues et leurs filières de traitement	7
Les filières de valorisation	8
Les enjeux de la valorisation agricole.....	9
Cadre réglementaire et opérationnel.....	9
Cadre réglementaire	9
Cadre opérationnel	10
Quels facteurs influencent le choix des filières ?	11
Quelques chiffres sur la production de boues et la valorisation agricole	11
Facteurs agronomiques et concurrence des filières.....	12
Les terres disponibles pour l'épandage.....	12
La concurrence avec les déjections animales et les engrais	12
Facteurs économiques	13
Coûts des opérations de la filière (cas de la France)	13
Qui supporte les coûts de la filière ?	13
Facteurs politiques et institutionnels	14
Des acteurs aux positions divergentes.....	14
Structurer la filière afin de la pérenniser.....	14
Des outils d'incitation pour orienter les filières	14
Pistes pour une éventuelle application au Maroc.....	15
Le contexte marocain	15
Les filières extensives qui semblent adaptées au contexte marocain	15
Réutilisation des eaux usées de STEP	15
Revégétalisation	16
Conclusion :	16
Bibliographie	17
Annexes.....	19

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ADEME :	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AFD :	Agence Française de Développement
CUMA :	Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole
DSP :	Délégation de Service Public
EH :	Equivalents-Habitants
ETA :	Entreprise de Travaux Agricoles
ETM :	Eléments Traces Métalliques
MES :	Matières En Suspension
MS :	Matière Sèche
MESE :	Mission d'Expertise et de Suivi des Epandages
ONEE :	Office National de l'Electricité et de l'Eau potable
CTO :	Composés Traces Organiques
SAU :	Surface Agricole Utile
SATESE :	Service d'Assistance Technique aux Exploitants de Stations d'Epuration
STEP :	Station d'épuration
SYPREA :	Syndicat des Professionnels du Recyclage en Agriculture
pH :	Potentiel Hydrogène
ZNIEFF :	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

LISTE DES FIGURES :

Figure 1 : Traitements, différents types de boues et types de STEP (adapté de Christophe Chassande et al., 2000)	8
--	---

LISTE DES ANNEXES :

Annexe 1 : Production et destination des boues en France. Cité dans (Legroux et Truchot, 2009 ; source : Direction de l'Eau et de la Biodiversité)	19
Annexe 2 : Caractéristiques agronomiques de différents produits. Source : (Racault, 1997)	19
Annexe 3 : différentes techniques d'épaississement ; avantages et inconvénients, siccité et situation adaptée. Source : (Amorce, 2012)	20
Annexe 4 : Différentes techniques de stabilisation et d'hygiénisation des boues, avantages et inconvénients, siccité et situation adaptée. Source : (Amorce, 2012)	20
Annexe 5 : Différentes techniques de déshydratation des boues - avantages et inconvénients, siccités et situation adaptée. Source : (Amorce, 2012)	21
Annexe 6 : Surface recevant des boues et quantités de matières sèches épandues en fonction de la taille des STEP	21
Annexe 7 : Coûts annuels des différentes filières de valorisation agricole des boues (€/EH, €/tMS, €/tMB, €/m3 d'eau distribuée). Source : Ferry M., Wiart J., 2000.	22
Annexe 8 : Coûts au m3 d'eau, à la tonne de MB et MS, et par EH des différentes filières (1 à 8) de traitement des boues et de valorisation agricole. Source : Ferry M., Wiart J., 2000.....	24
Annexe 9 : Coûts au m3 d'eau, à la tonne de MB et MS, et par EH des différentes filières (9 à 15) de traitement des boues et de valorisation agricole. Source : Ferry M., Wiart J., 2000.....	25
Annexe 10 : Coûts annuels des différentes filières de valorisation agricole des boues hors traitement (€/EH, €/tMS, €/tMB, €/m3 d'eau distribuée). Source : (Ferry et Wiart, 2000).....	26
Annexe 11 : Aspects opérationnels des épandages d'après François Thirion et Frédéric Chabot, 2003.	26
Annexe 12 : Règlementation sur les boues au Maroc (source : Bahhar Hassan, 2014)	27

QUELS ATOUTS POUR LA FILIÈRE ÉPANDAGE AGRICOLE DES BOUES D'ÉPURATION DANS LE CONTEXTE MAROCAIN ?

L'Agence Française de Développement (AFD) est un bailleur de fond qui soutient le développement de l'eau et de l'assainissement au Maroc. Dans le cadre de sa collaboration avec les institutions du pays dans ce domaine, cet établissement public français de coopération souhaite disposer d'une synthèse technique sur la valorisation agricole des boues de stations d'épuration des eaux usées domestiques. Ce document permettra à l'agence de disposer d'un état des lieux sur ce qui se fait en France (accompagné au fil du rapport par des exemples venus d'autres pays européens), en vue d'une éventuelle adaptation au Maroc. Pour cette synthèse technique, l'AFD désire s'appuyer sur l'expérience de la France en la matière. En effet, sur plus d'un million de tonnes de matières sèches de boues d'épuration produites en France, la part de la valorisation par épandage (=agricole) représente environ 73% (dont 28% de compost) en tonne de MS (Muller, 2013). En outre, la filière est structurée et encadrée par des lois qui définissent de manière précise ses modalités d'application (Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer et al., 2009).

Dans la plupart des pays d'Europe, les filières les plus courantes de valorisation de ces sédiments résiduels sont l'épandage agricole (boues plus ou moins humides ou compostées), l'enfouissement, l'incinération, et dans une moindre mesure la production d'énergie (biogaz). Le choix d'utilisation d'une voie de valorisation par rapport à une autre dépend de nombreux critères inhérents au pays et au contexte local ; citons ici la réglementation en matière de santé et d'environnement (taux de substances polluantes acceptées dans l'eau par exemple), la nature de l'économie locale (surfaces disponibles pour épandage) ou encore le coût que représente la filière pour les différents acteurs impliqués.

Dans un premier temps, nous étudierons l'origine des boues, les différentes filières de traitement et de valorisation, ainsi que la structuration de la filière à travers le cadre réglementaire puis le cadre opérationnel (acteurs, déroulement d'un chantier). Dans une seconde partie, nous développerons les facteurs qui peuvent freiner ou favoriser le développement d'une filière d'épandage. Enfin, dans une dernière partie nous évoquerons des pistes pour une éventuelle application au Maroc.

PROVENANCE DES BOUES ET CARACTÉRISTIQUES DE LA FILIÈRE

DE L'ORIGINE DES BOUES ET DES DIFFÉRENTES FILIÈRES DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION

L'origine des boues

Les stations d'épuration (STEP) des services publics d'assainissement collectif traitent les eaux usées domestiques. Elles rejettent des eaux traitées vers le milieu naturel (cours d'eau). Le traitement commence par une élimination des macro déchets (plastiques, lingettes...), des sables et des graisses. Ensuite, il reste dans l'eau des matières en suspension (MES) et une charge polluante dissoute. Le traitement primaire (décantation), permet d'éliminer une part des MES (dans les STEPs à fortes variations de charges, il est souvent couplé à un traitement chimique ; le traitement physico-chimique). Le traitement secondaire s'opère par l'action de bactéries en croissance dans un bassin, ou fixées sur des filtres. Il élimine les matières organiques dissoutes dans l'eau. Enfin, un bassin (clarificateur) sépare les bactéries (boues) de l'eau traitée. Le résultat du traitement est une eau épurée et un sous-produit, les boues. On distingue les filières intensives des extensives (par rapport au traitement secondaire) ; les premières utilisent des procédés catalyseurs de l'action des bactéries (aération par exemple). L'emprise au sol est réduite mais la consommation d'énergie élevée. Les filières extensives (le lagunage et lits plantés de macrophytes) se rapprochent des écosystèmes naturels. En France, la plupart des stations d'épuration sont dites à « boues activées » (Laroche, 2014) .

Les différents types de boues et leurs filières de traitement

On distingue trois types de boues : les boues primaires, les boues de traitement physico-chimique et les boues biologiques. Les premières sont issues de la décantation des MES lors du traitement primaire. Les secondes sont obtenues par décantation des matières colloïdales à la suite du traitement physico-chimique. Les boues biologiques sont formées à partir de la matière organique que les bactéries assimilent lors du traitement secondaire. Dans les STEP qui combinent un traitement primaire et secondaire, on mélange les boues issues des deux traitements pour obtenir des boues mixtes (Laroche, 2014).

A cette étape, les boues présentent trois inconvénients. Premièrement, elles sont liquides, et occupent donc un volume important. Ensuite, elles ont un pouvoir fermentescible élevé dû à leur charge en matière organique, ce qui les rend gênantes au niveau des odeurs. En outre, elles contiennent des microorganismes pathogènes à éliminer pour éviter les contaminations. Il est donc nécessaire de les traiter afin de diminuer leur volume (ce qui revient à augmenter la teneur en matière sèche, la siccité), de réduire leur fermentescibilité et d'assurer leur innocuité pour la santé.

La réduction de la teneur en eau des boues s'opère à travers différents procédés : l'épaississement, la déshydratation et le séchage. L'épaississement est réalisé grâce à des moyens mécaniques (égouttage, flottation), ou par voie gravitaire. On obtient ainsi des boues liquides, dont la siccité ne dépasse pas 7%. Ces procédés sont utilisés par des petites stations (entre 2000 et 5000 équivalents-habitants). Ensuite, la déshydratation permet d'obtenir des boues pâteuses entre 18% et 20% de siccité avec un procédé de filtres à bandes et 30 à 35% avec des centrifugeuses. Ce type d'installation concerne les stations de traitement moyennes, entre 6 500 EH et 20 000 EH (Muller, 2013). Enfin, le séchage, qui se pratique soit sur lit de séchage à l'air libre (siccité obtenue autour de 50% : boues solides), soit par augmentation de la température dans une cuve (siccité autour de 95% : boues pulvérulentes ou granulés). Ce dernier procédé est utilisé dans certaines grandes stations, à partir de 500 000 EH (Ferry et Wiart, 2000).

Pour la réduction du pouvoir fermentescible (stabilisation), on utilise la stabilisation biologique, le compostage ou le chaulage. La première se fait soit par voie aérobie dans les bassins d'aération ou dans des bassins spécifiques, soit par voie anaérobie dans des digesteurs (biogaz). Ce dernier procédé est généralement utilisé dans des stations de plus de 50 000 EH, car coûteux à mettre en place. Le compostage (intégré à la station ou sur une plateforme extérieure dédiée) est également un procédé de stabilisation biologique à l'air libre ; mélangées à des déchets organiques ligneux, les boues, en aération naturelle ou forcée (ventilation mécanique), produisent un mélange solide et friable qui est valorisé en agriculture avec une siccité variant de 40% à 70%. Enfin, la stabilisation chimique se fait par ajout de chaux ; ce procédé est utilisé dans des installations moyennes, au-delà de 15 000 EH, souvent couplé à l'action d'un filtre presse dans les stations de petites à moyennes tailles (Christophe Chassande et al., 2000).

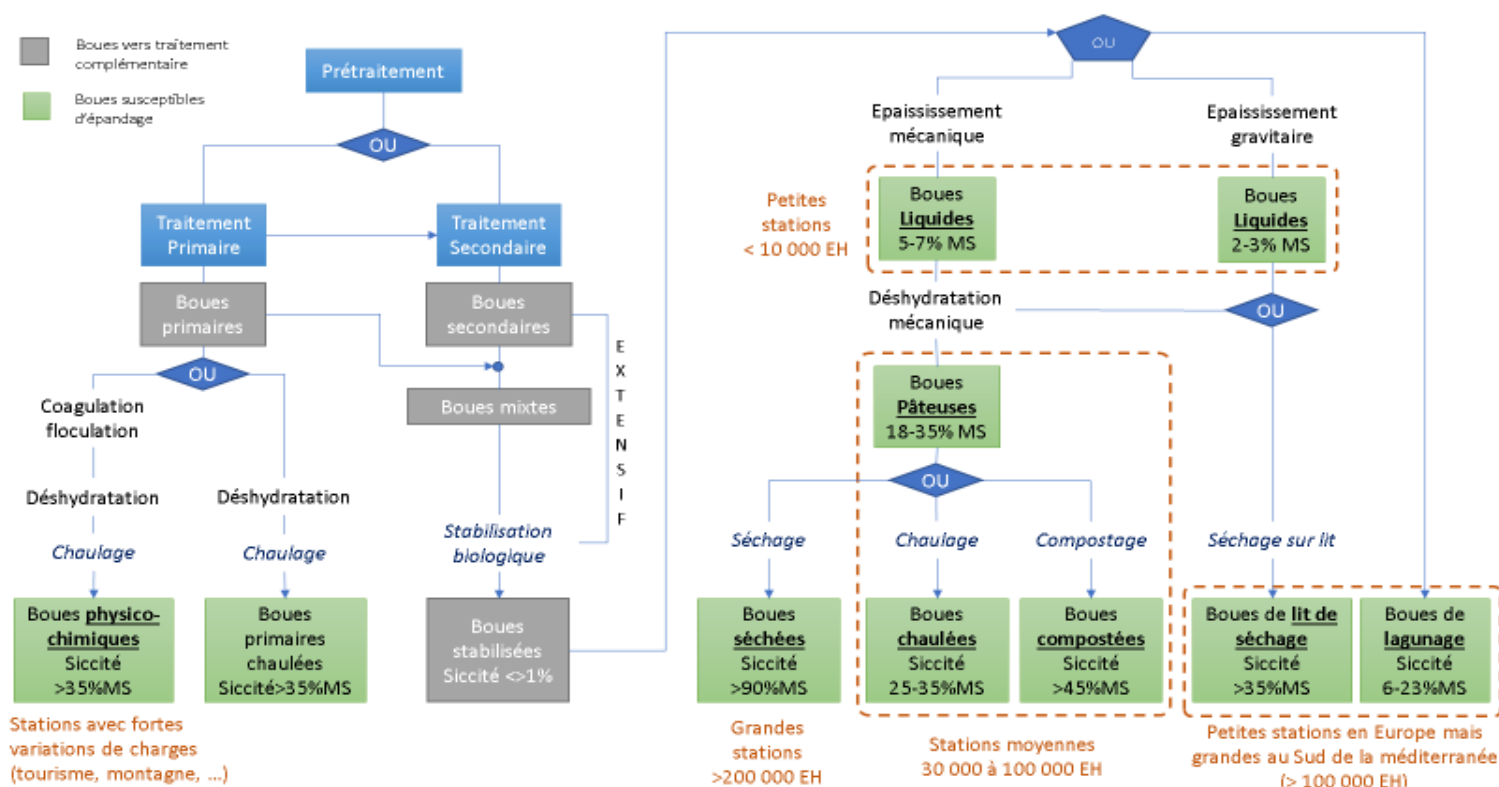


FIGURE 1 : TRAITEMENTS, DIFFÉRENTS TYPES DE BOUES ET TYPES DE STEP (ADAPTÉ DE CHRISTOPHE CHASSANDE ET AL., 2000)

Les filières de valorisation

Après avoir été traitées, les boues sont valorisées ou éliminées ; il existe trois filières principales : l'épandage agricole (boues traitées et filière compost), qui représente en France 73% des volumes produits dont 28% de compost, l'incinération ou oxydation thermique (18%), et l'admission dans les installations de stockage de déchets ménagers et assimilés (9%) (Patrick Savary, 2016) et (Legroux et Truchot, 2009).

Citons également la filière dite de revégétalisation, qui permet de réhabiliter des sols endommagés (pistes de ski, friches industrielles, aménagements routiers, lutte contre la désertification), commune dans des pays comme la Suède et la Finlande (respectivement 20% et 30% des boues en t/MS/an écoulées) (Éric Duvaud et al., 1999).

Les enjeux de la valorisation agricole

L'agriculture au service de l'économie circulaire

Le but de l'épandage des boues en agriculture est de conjuguer à la fois leur intérêt agronomique et les capacités épuratrices des sols. L'intérêt agronomique résulte des quantités en azote et surtout en phosphore que les boues contiennent. Chaulées, elles sont également utilisées pour rehausser le pH des sols acides. C'est un bénéfice pour l'agriculteur, qui réduit sa consommation d'amendements et d'engrais. De plus, la mise à disposition des terres agricoles bénéficie à la collectivité, qui trouve ainsi un débouché pour ses déchets. Il s'agit de tirer parti d'un processus naturel, dans la majeure partie des cas moins coûteux que les autres filières de valorisation¹.

Risques sanitaires et environnementaux

Cependant cette filière présente des risques sanitaires (contamination) et environnementaux (pollution des sols, de l'eau). En effet, les boues contiennent des micropolluants minéraux et organiques. Les Eléments Traces Métalliques (ETM) (Cadmium, cuivre, mercure, ...), qui présentent un risque de transfert sol-plante, et les Composés Traces Organiques (CTO) (anthracène, benzène, ...) qui peuvent être nocifs pour les micro-organismes du sol, ou se volatiliser. Depuis récemment, les substances « émergentes » (substances actives médicamenteuses ou composés issus de détergents domestiques par exemple) font l'objet d'une attention plus marquée. Toutefois, les références bibliographiques sur le sujet sont limitées. Ces risques associés à l'épandage des boues sont un facteur de tension entre certains acteurs de la filière², bien que les épandages se soient jusqu'à présent déroulés sans incidents majeurs. En outre, les études environnementales et sanitaires sur le sujet tendent à montrer que dans le cadre des bonnes pratiques de la valorisation agricole, les risques de contamination ou d'accumulation dans l'environnement sont maîtrisés (Legroux et Truchot, 2009).

CADRE RÉGLEMENTAIRE ET OPÉRATIONNEL

Cadre réglementaire

Le cadre réglementaire sur les boues de STEP s'articule autour de deux notions : celle de déchet et celle de produit.

Cadre institutionnel relatif au statut de déchet

Dans la plupart des pays, les boues suivent une réglementation relative aux déchets. Le cadre légal européen est défini par la Directive-cadre sur les déchets (91/156/CEE). Concernant l'utilisation des boues en agriculture, c'est la directive du 12 juin 1986 (86/278/CEE) qui commence par fixer des valeurs limites en ETM.

En France, le cadre général est fixé par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, qui vise notamment à protéger la ressource en eau. Le statut juridique de déchet (défini dans la loi du 15 juillet 1975) conféré aux boues est précisé dans le décret 97-1133 du 8 décembre 1997. L'épandage agricole ne peut être mis en place que s'il présente un intérêt agronomique (circulaire du 28 avril 1998). Ce texte détermine également les responsabilités ; les collectivités territoriales sont responsables financièrement et juridiquement de l'élimination des boues. S'il y a délégation de service public (DSP) vers un acteur privé, celui-ci doit mettre en œuvre l'épandage. L'exploitation agricole est considérée comme une entreprise qui valorise et participe au recyclage des déchets. Elle reste soumise au cadre juridique du code rural, des contrats de production, du droit du fermage et de la directive nitrate (91/676/CEE), qui

¹ cf. § « Aspects économiques de la valorisation des boues »

² cf. § « Positions des acteurs »

détermine des zones sensibles où les épandages sont règlementés. Le code de l'environnement impose une déclaration ou autorisation des épandages, la fourniture d'études d'incidence et de plans de gestion ainsi que la mise en place d'une traçabilité à la parcelle des épandages (Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer et al., 2009). En pratique, la structuration des opérations s'articule autour de trois documents (à la charge de l'exploitant de la STEP sous le contrôle de la collectivité si DSP) : le plan d'épandage, le registre des épandages et le bilan annuel. Le plan d'épandage, réalisé en amont des opérations, détaille les parcelles réceptrices, les quantités de boues, et les opérateurs impliqués dans les opérations. Le registre des épandages contient les données sur les opérations réalisées (dates d'épandages, quantités épandues, ...). Enfin, le bilan agronomique, réalisé en fin de campagne, informe sur le bilan de fumure, la qualité et la quantité des boues épandues.

En avril 2009, le décret n°2009-550 entérine la création d'un fond de garantie en cas de besoin d'indemnisation des risques liés à l'épandage.

Cadre institutionnel relatif au statut de produit

En France les boues de STEP peuvent devenir des produits dans trois cas : lorsqu'elles sont homologuées en tant que matière fertilisante, bénéficient d'une autorisation provisoire de vente, ou sont conformes à une norme. La norme française NFU 44-095 relative aux composts contenant des matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux usées permet de définir un débouché aux boues en tant que produit normé. En France, il y a très peu de recours à ces dispositifs³, hors filière compost (Legroux et Truchot, 2009). En revanche certains pays comme l'Angleterre l'utilisent pour responsabiliser les différents acteurs de la filière (Éric Duvaud et al., 1999). En effet, dans la logique « produit », aucun acteur ne peut s'extraire de sa responsabilité : le consommateur peut se retourner contre l'agriculteur, qui peut se retourner contre le producteur de boues (Jean-Paul Legroux et Claude Truchot, 2009).

Cadre opérationnel

Acteurs de la filière

En France, la diffusion de l'information (cadre réglementaire, bonnes pratiques) est faite par des établissements publics tels que l'agence de l'environnement et de maîtrise des énergies (ADEME). Les chambres d'agriculture conseillent les acteurs agricoles (intégration de l'épandage dans le plan de fumure, ...). Les agences de l'eau aident financièrement les organismes qui portent une assistance technique aux services de l'Etat. Les départements portent une assistance technique, par exemple à travers les services d'assistance techniques aux exploitants de STEP (SATESE) ; ils jouent également un rôle financier en milieu rural. La collectivité territoriale, maître d'ouvrage, assure l'évacuation des boues jusqu'à leur destination finale, ou la délègue à un prestataire qu'elle désigne (DSP). Les acteurs qui réalisent les chantiers d'épandage sont divers : entreprise de travaux agricoles (ETA), sociétés de recyclage, collectivités, coopératives d'utilisation du matériel agricole, agriculteurs. Les chantiers peuvent être contractualisés par les collectivités, exploitants de stations ou bureaux d'études. Ces derniers interviennent : auprès de la collectivité en assistance à maîtrise d'ouvrage (choix de STEP, choix de la filière de valorisation des boues) ; auprès de l'exploitant de STEP lors de la conception (étude préalable) et de la mise en œuvre (plan d'épandage, registre et bilan agronomique) des épandages. Les paysans sont les utilisateurs finaux du

³ Le SIAAP (Syndicat Interdépartemental pour l'assainissement de l'Agglomération Parisienne) a soumis un projet (appelé « GRANUVAL ») en 2008 d'homologation des boues de l'usine de Valenton. Projet avorté par la décision du préfet pour raisons sanitaires (Bedreddine, 2016).

produit. En pratique, ils intègrent les épandages dans un plan de fumure (prévisions de fertilisation), ils enregistrent et communiquent sur les données relatives à la fertilisation des cultures. En amont de la filière, la police de l'eau⁴ est chargée de veiller au respect des normes de rejet, par exemple pour les installations classées pour l'environnement.

Conception d'une filière de valorisation agricole par le maître d'ouvrage

Il n'existe pas de solution type pour le choix d'une filière de traitement des eaux usées et de valorisation des boues. Le maître d'ouvrage doit raisonner son choix en fonction des contraintes locales ; la nature et la quantité des eaux à traiter, l'exigence sur le milieu récepteur, les contraintes du site d'implantation, les coûts, et enfin les impacts en termes de nuisance (olfactives, visuelles, ...). Il convient d'abord de déterminer la quantité et la qualité des boues produites par la STEP ; la quantité est estimée à partir de la capacité nominale et la qualité à travers des analyses de boues si la STEP existe. Sinon, il est possible de faire un diagnostic des réseaux et estimer les risques de contamination par les ETM et CTO (Renat, 2001). Ensuite, on regarde l'environnement susceptible d'accueillir les boues : topographie, types de sols, zones protégées (directive nitrate, ZNIEEF⁵, zone Natura 2000), types de productions (calendrier agricole, cultures, cahiers des charges type AOC, ...). Le positionnement sur l'épandage des agriculteurs, riverains et autres acteurs doit être compris en amont. Ces études sont réalisées avant la conception de la STEP car la filière boue impacte le type de traitement des eaux usées. Pour le maître d'ouvrage, il est important de bien penser sa filière car une fois les investissements faits, celle-ci est en place pour la durée de vie des infrastructures.

Les chantiers de valorisation agricole

La filière de traitement des boues a un impact sur le chantier d'épandage ; les boues liquides sont stockées sur la STEP, et les surfaces à épandre sont proches de la STEP (coût élevé du transport). Les boues pâteuses et sèches peuvent approvisionner des parcelles plus éloignées, car elles peuvent être stockées en bord de champ. Dans ce cas, la reprise et l'approvisionnement jusqu'aux points de stockage temporaires se fait par des transporteurs. Ensuite, le responsable du chantier d'épandage localise les parcelles à épandre, ainsi que les différents dépôts de boues. Il détient toutes les informations (coordonnées des agriculteurs, plan d'épandage) nécessaires à l'organisation de son chantier (fournies par le responsable de la filière ; BE, collectivité, exploitant de STEP). Pour les boues liquides, souvent issues de stations de petites localités, la collectivité met à disposition une tonne à lisier (mais de nombreuses solutions matérielles existent comme l'épandage avec rampe sans tonne) et un agriculteur effectue le chantier. Lorsque le produit est bien brassé, l'homogénéité de l'épandage est bonne. Pour les boues pâteuses, les difficultés sont plus nombreuses, car la structure des boues peut nécessiter des appareils spécifiques ou générer des nuisances olfactives. Il est alors nécessaire d'enfouir les boues (boues liquides également) après épandage sur la parcelle. Enfin, l'homogénéité des épandages n'est pas toujours optimale pour ce type de boues. Pour les composts, les boues solides et sèches, les épandages sont réalisés avec des épandeurs à engrais et sont assez homogènes (Thirion et Chabot, 2003).

QUELS FACTEURS INFLUENCENT LE CHOIX DES FILIÈRES ?

QUELQUES CHIFFRES SUR LA PRODUCTION DE BOUES ET LA VALORISATION AGRICOLE

L'Union Européenne produit environ 10 millions de tonnes de Matières Sèches de boues (MS) à travers l'épuration collective des eaux usées domestiques (Léonard et al., 2007). La France

⁴ Services de l'ONEMA (Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques)

⁵ Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

et l'Espagne produisent respectivement entre 900 000 tonnes de MS (15kg MS/hab./an) et 700 000 tonnes de MS (16 kg MS/hab./an), alors que les Pays Bas produisent autour de 450 000 tonnes de MS (22 kg MS/hab./an). Le plus gros producteur est l'Allemagne, avec environ 2,7 millions de tonnes de MS (34 kg MS/hab./an). Les disparités entre pays peuvent s'expliquer par les différences entre taux de raccordement au réseau collectif (la France compte par exemple entre 20% et 30% de raccordements individuels) et par le taux d'épuration. Historiquement, l'Allemagne a un fort taux de raccordement au réseau collectif ce qui explique les chiffres élevés.

En France, la part des boues (en %MS) épandues s'élève à 73%, environ 50% en Espagne. Par contre, les Pays Bas n'épandent que 4% de leur production.

FACTEURS AGRONOMIQUES ET CONCURRENCE DES FILIÈRES

Les terres disponibles pour l'épandage

Les disparités évoquées au paragraphe précédent sont pour partie liées à la disponibilité des terres pour l'épandage. Si toutes les boues étaient épandues et les règles agronomiques d'épandage respectées, la France n'aurait besoin que de 3% de sa surface agricole utile⁶ (SAU), alors que les Pays-Bas auraient besoin de 22% (Duvaud et al., 1999). Les grandes collectivités ont du mal à trouver les surfaces nécessaires pour écouler leurs boues résiduelles. Certains volumes sont exportés vers des régions voisines en déficit, mais lorsque les quantités sont trop importantes, des conflits peuvent apparaître (Savary, 2016). De plus, les coûts d'organisation augmentent avec les quantités à épandre ; il est nécessaire de trouver plus d'agriculteurs, de gérer plus de contrats et également de s'adapter à l'incertitude liée aux possibles désistements des exploitants, ce qui arrive fréquemment sans que des pénalités ne soient appliquées. C'est pourquoi, dans la majorité des cas, les stations d'épuration dimensionnées au-delà de 500 000 EH choisissent l'incinération (Déprés et al., 2008).

Par ailleurs, en France, les terres disponibles pour l'épandage tendent à se réduire du fait de contraintes imposées pour la protection de l'environnement (ZNIEFF, Natura 2000, Directive nitrates) et pour le développement de productions agricoles avec des labels de qualité (AOC, Agriculture Biologique, ...).

La concurrence avec les déjections animales et les engrais

Lorsqu'une région produit beaucoup de déjections animales, ces dernières entrent en concurrence avec les boues. Ainsi, les pays qui épandent le moins de boues ont une économie agricole tournée vers l'élevage. Les chiffres sur la provenance des apports en azote (N) et phosphore (P_2O_5), (engrais minéraux, déjections animales, boues de STEP), traduisent bien cette situation. Les Pays Bas, qui n'épandent environ que 4% de leurs boues résiduelles, apportent environ 160 kg N/ha et 100 kg P_2O_5 /ha en moyenne avec des déjections animales. Ces quantités couvrent les besoins des cultures (pour le phosphore), auxquelles se rajoutent des volumes non négligeables de fertilisants minéraux ; cette configuration laisse peu de place aux boues. Pour la France, la situation est plus équilibrée car l'apport moyen d'azote et de phosphore provenant des déjections animales se situe autour de 40 kg N/ha et 20 kg P_2O_5 /ha, cependant deux fois plus qu'en Espagne (Duvaud et al., 1999). Le problème existe aussi à l'échelle locale ; en France, certaines régions comme la Bretagne ont une économie agricole centrée sur l'élevage ; ainsi, 90% de la matière organique épandue provient des effluents d'élevage.

⁶ La surface agricole utile correspond à l'ensemble des terres arables y compris les jachères, à l'exception des surfaces toujours en herbes (pâturages, ...) et des bois et forêts.

FACTEURS ÉCONOMIQUES

Coûts des opérations de la filière (cas de la France)

D'abord, si l'on compare les trois filières de valorisation (épandage, incinération et mise en décharge), l'épandage est le plus avantageux d'un point de vue économique sur des stations petites à moyennes (de 3000 à 50 000 EH). Pour la valorisation agricole ; si l'on considère toutes les filières de traitement de boues, le traitement représente en moyenne 56% du coût total. Le stockage 11%, le chargement, le transport et l'épandage 20%, et les éventuelles pratiques culturales spécifiques à l'épandage (enfouissement des boues par exemple), 1%. Les études et le suivi représentent 12% en moyenne (Ferry et Wiart, 2000). Cependant, il est plus pertinent de regarder le coût par filière.

Les coûts totaux des filières varient en fonction de plusieurs facteurs : la siccité des boues en fin de traitement, la hauteur des investissements, les coûts d'exploitation, et la taille de la STEP.

Ils se situent entre 0,08 €/m³ d'eau distribuée pour la filière boues pâteuses sans chaulage et 0,17 €/m³ pour la filière boues solides avec un épaississement, et un séchage à filtre-pressé ou une production de biogaz. Pour la filière liquide, les coûts oscillent entre 0,11 €/m³ et 0,16 €/m³ pour des stations comprises entre 3 000 et 20 000 EH. Les boues pâteuses avec chaulage montent à 0,13 €/m³ pour une STEP de 50 000 EH.

Pour toutes les filières, on remarque que la taille de la station permet de faire des économies d'échelle.

Pour les coûts de valorisation hors traitement, on remarque la tendance à la diminution des coûts lorsque la taille de la STEP augmente (quel que soit le ratio sauf pour le coût/tMB). A la tonne de MB, les coûts augmentent avec la taille des stations car elle va de pair avec une siccité plus élevée. Pour ce ratio, la filière lit de séchage est la plus coûteuse car elle cumule forte siccité (50%) et faible nombre d'EH.

Pour les petites stations, la complication résulte du fait que les filières de traitements possibles sont restreintes (plutôt boues liquides du fait du manque de capacité d'investissement pour des filières plus lourdes), et engendrent des coûts de stockage et de transport élevés.

Qui supporte les coûts de la filière ?

La répartition des coûts de la filière de valorisation agricole dépend du type de gestion choisi par la collectivité. Pour une gestion en régie, elle supporte tous les coûts. En revanche, en DSP, le gestionnaire de la STEP les prend à sa charge (sauf investissements). En fait, ces coûts sont répercutés sur la facture d'assainissement, payée par le riverain. Par ailleurs, le coût des études préalables et du suivi, ou les coûts d'opportunités liés aux réorganisations en cas de désistement des agriculteurs par exemple sont difficiles à évaluer *ex-ante*. Par conséquent, certaines structures renoncent à choisir l'épandage alors même qu'il présente des coûts inférieurs à l'incinération ou la mise en décharge (Roussel, 1999). En France, l'agriculteur reçoit gratuitement le produit, car l'épandage est un service rendu à la collectivité. C'est une condition que la profession agricole française demande pour accepter d'épandre les boues. En Allemagne, les agriculteurs reçoivent une subvention pour épandre ces produits. En Angleterre, suite à un fort développement marketing par les exploitants des STEP, l'agriculteur est prêt à acheter les boues d'épuration (qui devient un produit). En outre, cette pratique est encouragée par les propriétaires terriens car elle clarifie les responsabilités en cas d'incident (pollution de la parcelle) (Duvaud et al., 1999). Dans certains pays comme la France, l'Allemagne ou l'Autriche, un fond de garantie est mis en place en cas d'accident lié à l'épandage. Ce fond est abondé par une taxe sur le producteur des boues, le produit du placement financier du fond, et des avances de l'Etat si les montants des dommages excèdent les ressources.

FACTEURS POLITIQUES ET INSTITUTIONNELS

Des acteurs aux positions divergentes

De manière générale, l'Union Européenne et les Etats européens sont favorables à l'épandage. En effet, c'est la filière identifiée comme la plus avantageuse sur le plan économique et environnemental (Roussel, 1999). Toutefois, la filière souffre d'une crise de confiance. Dans les années 90 surviennent la crise de la vache folle, de la dioxine, des organismes génétiquement modifiés. Sans lien avec la valorisation agricole des boues, ces événements ont éveillé la méfiance de certains acteurs, comme les industries agroalimentaires (IAA). Ainsi, ces dernières ont largement contraint la pratique via des clauses d'interdiction d'épandage dans les contrats de production signés avec les exploitants agricoles. Aujourd'hui, ces clauses sont interdites mais perdurent localement (Déprés et al., 2008). Les agriculteurs, eux, sont favorables à l'épandage et reconnaissent la valeur agronomique des boues. Leur choix se raisonne en fonction de la concurrence avec les déjections animales ou des boues issues des industries agricoles ou agroalimentaires. Enfin, les propriétaires terriens sont réticents à l'épandage des boues. En effet, leur accord préalable n'est pas requis avant la signature du contrat de fermage. Ils se sentent donc hors du processus de décision et craignent les pollutions (Chassande et al., 2000)

Structurer la filière afin de la pérenniser

La mise en place d'une démarche qualité permet de « formaliser les actes et les décisions prises par chacun » des acteurs, ce qui renforce les garanties données aux utilisateurs (Van de Velde, 2001). Cependant, du maître d'ouvrage à l'exploitant, jusqu'au gestionnaire de chantier, la difficulté est d'impliquer tous les acteurs. En France, citons comme exemple la charte de la FNEDT⁷, qui n'a pas valeur contraignante mais qui est un engagement des professionnels, ou le référentiel de certification des services établi par Qualicert pour le Syndicat des Professionnels pour le Recyclage en Agriculture (SYPREA). Au niveau institutionnel, la volonté de pérennisation de la filière s'est traduite par la mise en place d'organismes indépendants des producteurs de boues : les missions d'expertise et de suivi des épandages (MESE). Les chambres d'agriculture, les agences de l'eau, l'ADEME et le conseil départemental en sont les acteurs principaux. Généralement, leur mise en place est financée à 80% par les agences de l'eau (Gallian, 2001). Elles assurent un rôle de suivi des plans d'épandage, accompagnent les collectivités sur du conseil technique, et assurent la promotion de la filière. Ce dispositif est efficace ; les agriculteurs et les professionnels, plus informés, sont plus attentifs à l'impact sur les riverains et moins méfiants à l'égard du produit. Cette confiance accrue permet de lever les réserves des exploitants de STEP quant à investir dans des infrastructures comme le stockage, indispensables à la filière valorisation agricole française (Déprés et al., 2008).

Des outils d'incitation pour orienter les filières

Les Etats utilisent divers outils pour orienter leurs filières de valorisation. Ainsi, certains pays prennent des mesures fiscales ; par exemple au Danemark et en Suède, les autres formes d'élimination des boues ont été taxées afin d'orienter les acteurs vers la valorisation agricole. D'autres pays utilisent l'outil réglementaire ; aux Pays Bas, les valeurs limites acceptées en éléments polluants contenus dans les boues aptes à l'épandage ont été considérablement relevées, sans accompagner les acteurs. Ils se sont alors tournés vers d'autres filières : le compostage (24% des boues produites), qui permet de produire un produit normé, hygiénique et exportable, l'incinération (24%) et la mise en décharge (48%). En revanche, il est intéressant

⁷ Fédération Nationale des Entrepreneurs des Territoires (Ex-FNETARF)

de noter que le Danemark concilie à la fois normes sanitaires ambitieuses et un taux d'épandage élevé (autour de 70%). C'est une forte intégration du contrôle sur tout le système d'assainissement, qui donne de la confiance aux acteurs de la filière qui a permis cette situation. Toutefois, les prévisions sont à la baisse pour l'épandage dans ce pays (Duvaud et al., 1999), qui vise à augmenter la proportion de boues incinérées.

PISTES POUR UNE ÉVENTUELLE APPLICATION AU MAROC

En 2005, le Maroc a adopté un plan national pour l'assainissement. Ambitieux, ce plan a permis de porter le taux de raccordement au réseau d'assainissement à 73% et de passer à un taux de 40% de volume d'eaux usées épurées en 2015 contre 7% en 2004. Les boues augmentent en proportion et il convient alors de trouver des filières de valorisation.

LE CONTEXTE MAROCAIN

Le Maroc a produit 34 840 tonnes de MS en 2010, ce qui revient à 1kg de MS par habitant et par an (Bahhar, 2014). La part de la valorisation en agriculture est très faible et plutôt informelle : les riverains ou petits agriculteurs utilisent les boues stockées au niveau des stations pour amender les cultures maraîchères (Hamdani, 2008). Les agriculteurs semblent prêts à utiliser les boues de STEP, qui sont déjà reconnues pour leurs qualités fertilisantes (Brahim, 2015). Actuellement, la première destination des boues est la mise en décharge après un séchage naturel.

Concernant la qualité, les boues issues des STEP gérées par l'ONEE respectent les valeurs limites en polluants déterminées par l'Union Européenne ; elles sont donc tout à fait propres à l'utilisation en agriculture (Brahim, 2015).

Au Maroc, le statut de déchet des boues de STEP municipales est défini par la loi n°28-00 relative à la gestion des déchets et leur élimination. Cette loi précise aussi que le détenteur (la commune) doit éliminer le déchet pour ne pas porter atteinte à la santé publique et l'environnement. En revanche, il n'existe pas de référentiel normatif (valeurs limites).

LES FILIÈRES EXTENSIVES QUI SEMBLENT ADAPTÉES AU CONTEXTE MAROCAIN

La majorité des STEP construites ou en projet sont à lagunage (Brahim, 2015). En 2015, 79% des STEP exploités par l'Office National de l'Eau et de l'Energie (ONEE) et 70% des STEP en projet sont à lagunage (Brahim, 2015). En revanche, il convient de raisonner le choix des filières au contexte local. Par exemple, les filières extensives préconisées peuvent générer des mauvaises odeurs, et la gestion des épandages est plus complexe : lorsque l'on décide de curer (une fois tous les dix ans), il est nécessaire de se trouver en période favorable. En effet, les STEP qui utilisent le lagunage ne possèdent généralement pas d'infrastructures de stockage et de traitement. Par ailleurs, il est exclu de se trouver en période de pointe au niveau des effluents reçus au moment du curage. Enfin, la valeur agronomique des boues de lagunage est faible comparée à celles du fumier, du lisier ou des boues issues de STEP de type boues activées.

Dans la situation marocaine, ces difficultés seraient levées car la contrainte de l'espace nécessaire pour les filières extensives semble ne pas être prépondérante. Dans ce cas le stockage ne nécessiterait pas d'infrastructures lourdes.

RÉUTILISATION DES EAUX USÉES DE STEP

Dans la majorité des cas, l'eau épurée est rejetée dans le milieu naturel. Dans un pays semi-aride à aride comme le Maroc, il peut être intéressant d'explorer la filière de réutilisation des eaux usées en agriculture. Quelques expériences ont été menées en France : ainsi, la commune de Château-Renault a saisi l'opportunité du renouvellement de sa STEP pour mettre en place la réutilisation des eaux usées. Des agriculteurs se sont portés volontaires et

irriguent aujourd'hui leurs céréales grâce aux eaux traitées de la STEP communale. Après cinq années de fonctionnement, l'expérience s'avère être une réussite (Le Nouveau, 2016), En revanche, certains pays comme l'Egypte ou Israël se sont engagés dans cette voie depuis plusieurs années (fin des années 90).

REVÉGÉTALISATION

En milieu aride et désertique ou semi-désertique, la revégétalisation est une piste qui peut permettre de ralentir l'érosion des sols, ou de reboiser. Il reste cependant à acter que l'accumulation des polluants dans le sol ne présentent pas de risques de long terme en l'absence de travail du sol par exemple.

CONCLUSION :

Bien conçue et intégrée au système d'assainissement, la valorisation agricole des boues de STEP domestiques est une filière intéressante du point de vue environnemental et économique. Aujourd'hui, elle prend de l'ampleur dans la plupart des pays du monde, mais reste fragile. En effet, elle nécessite un engagement de tous les acteurs et un cadre institutionnel clair qui définisse les responsabilités de chacun afin d'éviter un manque de confiance entre acteurs. Par ailleurs, il est important de choisir la filière de traitement des boues et leur destination après une étude approfondie du contexte local. Le Maroc s'est engagé dans la voie de la valorisation agricole et possède de réels atouts. D'abord, le contexte institutionnel est favorable, car une volonté politique est clairement engagée, et les infrastructures d'assainissement se développent. Ensuite, le pays possède de l'espace disponible, qui peut permettre des filières moins coûteuses en infrastructures comme le lagunage ou les filtres plantés de roseaux. Enfin, le climat aride est un atout de taille, car il permet de réduire les coûts d'augmentation de la siccité des boues, qui sont parmi les plus importants de la filière. Cependant, le pays fait face à de gros défis ; l'efficacité du plan national pour l'assainissement engendre une augmentation rapide des quantités de boues, alors que la filière est aujourd'hui très peu utilisée par rapport à la mise en décharge, qui est peu écologique et contraignante. Ensuite, une clarification du cadre réglementaire et institutionnel (qui fait quoi) semble nécessaire afin que les acteurs locaux et notamment les élus s'emparent du problème des boues. Pour finir, dans un pays où l'eau est une ressource rare et disponible de façon intermittente, il peut être intéressant d'explorer des techniques comme la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture. Peu développées dans les pays européens, ces techniques sont très utilisées au Moyen Orient et apportent une nouvelle ressource aux agriculteurs. A côté des boues, ce peut être une opportunité pour continuer à développer le secteur agricole du pays, qui représente environ 40 % des emplois marocains ?

BIBLIOGRAPHIE

- AMORCE, 2012. *Gestion des boues de stations d'épuration Co traitement avec les déchets ménagers*. Technique. p. 41. [Diffusé le 01/02/2017].
- Bahhar H., 2014. *Stratégie Nationale de Gestion des Boues des Stations d'Epuration au Maroc*. Ministère Délégué auprès du Ministre de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, chargé de l'Environnement 33 p.
- Bedreddine B., 2016. *Rapport soumis au conseil d'administration du syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne*. Paris, Syndicat interdépartemental pour l'eau et l'assainissement de l'agglomération parisienne, Direction générale.19 p.
- Chassande C. et al., 2001. *Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture*. Angers, ADEME, 59 p. + annexes.
- Déprés C., Aznar O., Vollet D., Jeanneaux P., 2008. Identification et notion de coûts d'organisation dans les services collectifs locaux Étude de cas : le service d'épandage agricole des boues d'épuration. *Ingénieries - E A T*, (54), pp. 33-41.
- Duvaud E., Mugnier E., Gazzo A., Aubain P., Wiart J., 1999. *Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe et dans d'autres pays du monde*. ADEME, 154 p.
- Ferry M., Wiart J., 2000. Les coûts de traitement et de recyclage agricole des boues d'épuration urbaines. *TSM. Techniques sciences méthodes, génie urbain génie rural*, (9), pp. 117-135.
- Gallian C., 2001. *L'appui des Agences de l'Eau dans la mise en place des « organismes indépendants » de suivi des épandages. Diversité des dispositifs par Bassin*. In : Logistique des épandages, des effluents d'élevage, des boues d'épuration et de déchets industriels, Montoldre, 8-9 octobre 2001. Vichy, Cemagref, 338 p.
- Hamdani I., 2008. *Gestion des boues des stations d'épuration au Maroc: Quantification, caractérisation et options de traitement et de valorisation*. Rabat, Maroc, Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan 2, 77 p.
- Lachassagne D., 2014. *Devenir de micropolluants présents dans les boues d'épuration, du traitement à l'épandage agricole : Application aux micropolluants métalliques (Cd, Cu) et organiques (médicaments) issus du traitement biologique conventionnel d'effluents urbains ou hospitaliers*. Université de Limoge, 274 p.
- Laroche C., 2014. *Devenir de micropolluants présents dans les boues d'épuration, du traitement à l'épandage agricole : Application aux micropolluants métalliques (Cd, Cu) et organiques (médicaments) issus du traitement biologique conventionnel d'effluents urbains ou hospitaliers*. 274 p.
- Legroux J.P., Truchot C., 2009. *Bilan de dix années d'application de la réglementation relative à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées*. Paris, Ministère de

- l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche et Ministère de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, 32 p.
- Le Nouveau N., 2016. *Réutiliser les eaux usées traitées en agriculture pour préserver le milieu récepteur L'exemple de Château Renault*. Cerema, 12 p.
- Léonard A., Salmon T., Fraikin L., Crime M., 2007. *Procédés de traitement des boues de station d'épuration*.
- Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature, Direction de l'eau et de la biodiversité, Sous-direction de la protection et de la gestion des ressources en eau et minérales, Bureau de la lutte contre les pollutions domestiques et industrielles, 2009. *Recueil de textes sur l'assainissement : textes techniques relatifs à l'épandage des boues d'épuration résultant du traitement des eaux usées domestiques*. Paris, Ministère de l'environnement, 43 p.
- Muller F., 2013 (mise à jour 2016). *Epandage*. Angers, ADEME, 17 p.
- Premier Ministre, 2009. *Décret n° 2009-550 du 18 mai 2009 relatif à l'indemnisation des risques liés à l'épandage agricole des boues d'épuration urbaines ou industrielles*.
- Renat J.C, 2001. *Concevoir et organiser des opérations d'épandage*. In : Logistique des épandages, des effluents d'élevage, des boues d'épuration et de déchets industriels, Montoldre, 8-9 octobre 2001. Vichy, Cemagref, 338 p.
- Roussel P., 1999. *Audit environnemental et économique des filières d'élimination des boues d'épuration urbaines*. Audit. Arthur ANDERSEN Environnement, 37 p.
- Savary P., 2016. *Conception des stations d'épuration*. Mastère spécialisé gestion de l'eau, support de cours, 64 p.
- Soudi B., 2015. *Gestion des boues générées par les STEP-ONEE-Branche eau Mission 1 : diagnostic de la situation actuelle et ébauche d'une vision d'amélioration des performances*. Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable, 93 p.
- Thirion F., Chabot F., 2003. *Epandage des boues résiduelles et des effluents organiques. Matériels et pratiques*. Cemagref, 189 p.
- Van de Velde A., 2001. *Démarche qualité dans une entreprise d'épandage*. In : Logistique des épandages, des effluents d'élevage, des boues d'épuration et de déchets industriels, Montoldre, 8-9 octobre 2001. Vichy, Cemagref, 338 p.

ANNEXES

	2003	2004	2005	2006	2007	2008 partiel
Quantité de boues produites par les STEP (en T MS/an)	946700	989054	1021472	1027168	1118795	1166048
Quantité de boues utilisées en agriculture (en T MS/an)	537387	573889	633812	624923	776305	846004
Dont compost (en T MS/an)				210781	263377	322129
Quantité de boues incinérées (en T MS/an)	188991	197658	215684	203031	204592	215328
Quantité de boues envoyées en centre d'enfouissement technique (en T MS/an)	193494	180345	133255	199214	137898	104716

	2003	2004	2005	2006	2007	2008 partiel
Quantité de boues utilisées en agriculture (en T MS/an)	57%	58%	62%	61%	69%	73%
Dont compost (en T MS/an)				21%	24%	28%
Quantité de boues incinérées (en T MS/an)	20%	20%	21%	20%	18%	18%
Quantité de boues envoyées en centre d'enfouissement technique (en T MS/an)	20%	18%	13%	19%	12%	9%

ANNEXE 1 : PRODUCTION ET DESTINATION DES BOUES EN FRANCE. CITÉ DANS (LEGROUX ET TRUCHOT, 2009 ; SOURCE : DIRECTION DE L'EAU ET DE LA BIODIVERSITÉ)

	Boues de lagune	Fumier	Lisier	Boue aérobie stabilisée
Matière sèche (g/l)	50 - 250	100	250	
Matières volatiles (% de MS)	20 - 50	60 - 80	60	45 - 60
Azote Kjeldhal (mg/g)	0,8 - 3,3	4 - 6	1 - 3	4,5 - 6
Phosphore total (mg/g)	1 - 2,2	2 - 5	0,3 - 2,5	4 - 8,5
Potassium (K ₂ O, mg/g)	0,03	3 - 5	2,5 - 3,5	0,5 - 1,5

ANNEXE 2 : CARACTÉRISTIQUES AGRONOMIQUES DE DIFFÉRENTS PRODUITS. SOURCE : (RACAULT, 1997)

Traitement			Avantages	Inconvénients	Siccité atteinte	Station adaptée
Épaississement	gravitaire	décantation + drainage	- exploitation simple et peu coûteuse	- faible performance avec les boues biologiques - temps de séjour très long	2-10%	toutes stations
	dynamique	égouttage (drainage)	- simple et efficace - peu coûteux - technique d'épaississement la plus performante	-	4,5-6%	petite ¹ et moyenne station ²
		flottation	- bien adapté aux boues biologiques - rapide	- forte demande énergétique - investissement élevé - fonctionnement délicat	3,5-5%	grande ³ station

¹ Petite station <2 000EH ² Moyenne station : 2 000-10 000EH ³ Grande station : 10 000-100 000EH

ANNEXE 3 : DIFFÉRENTES TECHNIQUES D'ÉPAISSISSEMENT ; AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS, SICCITÉ ET SITUATION ADAPTÉE. SOURCE : (AMORCE, 2012)

Traitement			Avantages	Inconvénients	Siccité atteinte *	Station adaptée
Stabilisation - Hygiénisation	chimique	à la chaux	- augmentation du pH des boues (>12) - réduction de la contamination fécale et des germes d'origine fécale - pas d'odeur indésirable, augmentation de la siccité et de la valeur agronomique - transport et stockage des boues facilités	- manipulation délicate (chaux vive le plus souvent)	25-35%	-
		aux nitrites	- efficacité contre la plupart des germes fécaux - augmentation de la siccité et fertilité - réaction rapide	-	-	petite station
	biologique	digestion aérobie : compostage	- siccité atteinte élevée - pH neutre, produit stable - transport et stockage des boues facilités - logique produit possible	-	35-70%	moyenne et grosse station ¹
		digestion anaérobie : méthanisation	- réduction jusqu'à 1/2 de volume - facile à transporter et à stocker - production de biogaz	- pas efficace pour élimination des germes pathogènes	20-30%	grande station
		stabilisation aérobie thermophile (SAT)	- solution alternative à la méthanisation - faible temps de séjour - investissement faible - boues utilisables directement en épandage - nuisance olfactive réduite	- moins performant que la méthanisation - consommateur d'énergie en comparaison à la méthanisation	22%	tout type de station

¹ Grosse station : >100 000 EH

* siccité atteinte sous réserve d'avoir une déshydratation mécanique en amont

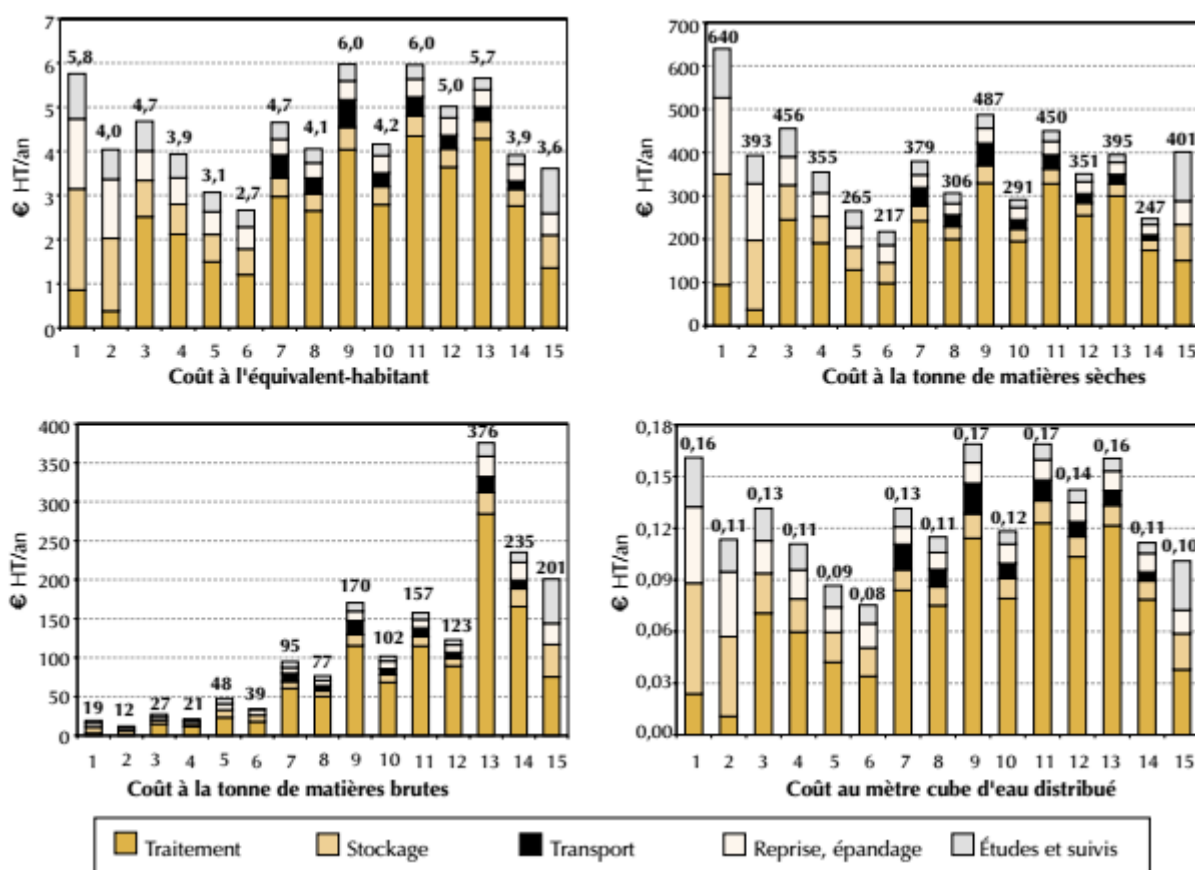
ANNEXE 4 : DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE STABILISATION ET D'HYGIÉNISATION DES BOUES, AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS, SICCITÉ ET SITUATION ADAPTÉE. SOURCE : (AMORCE, 2012)

Traitement		Avantages	Inconvénients	Siccité atteinte	Station adaptée	
Déshydratation	centrifugation	- en continu - totalement automatisé, fermé, donc plus compact que le filtre presse - adapté aux moyennes stations	- coût élevé - nécessité d'un contrôle de la nature de boues	20% (jusque 30% si post-chaulage)	tout type de station	
	filtre presse	à bande	- lavage régulier - performante pour boues biologiques - grande productivité - fonctionnement continu	- incapacité de traiter les boues fibreuses	25%	petite et moyenne station (technique abandonnée)
		à plateaux	- entretien limité - tout type de boues (préalablement épaissies)	- inadapté pour les boues collantes - investissement élevé - automatisation impossible	>30%	grande station
		à membrane	- augmentation de siccité par rapport au filtre à plateaux - 40% de productivité en plus que le filtre à plateaux	-	-	peu répandu
		à vis	- bien adapté aux boues fibreuses - en continu - peu d'entretien	- siccité limitée	20%	peu répandue

ANNEXE 5 : DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE DÉSHYDRATATION DES BOUES - AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS, SICCITÉS ET SITUATION ADAPTÉE. SOURCE : (AMORCE, 2012)

Taille nominale (EH)	500	3000	10 000	20 000	30 000	50 000	100 000	200 000	500 000
Surface (ha/an)	1,6	10	32	65	97	162	324	649	1 623
ha/EH	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Tonne MS/ha	3,7	3,6	3,5	3,4	3,4	3,4	3,3	3,3	3,2

ANNEXE 6 : SURFACE RECEVANT DES BOUES ET QUANTITÉS DE MATIÈRES SÈCHES ÉPANDUES EN FONCTION DE LA TAILLE DES STEP



ANNEXE 7 : COÛTS ANNUELS DES DIFFÉRENTES FILIÈRES DE VALORISATION AGRICOLE DES BOUES (€/EH, €/TMS, €/TMB, €/M3 D'EAU DISTRIBUÉE). SOURCE : FERRY M., WIART J., 2000.

Boues liquides (épaississement) ; n°1 à 4 :

Pour la filière boues liquides avec épaississement gravitaire (1 et 2), les coûts de traitement sont peu élevés (10%⁸ à 15%). Dès que l'on utilise des moyens mécaniques, ce coût grimpe à 53%. Autre fait notable pour la filière par épaississement gravitaire, le coût de stockage est élevé (40%), en raison des volumes occupés par des boues à siccité de 2% à 3%. Le coût à la tonne de matière sèche est au-dessus des autres filières en raison du stockage mais également du transport (non détaillé ici).

Boues pâteuses (épaississement puis filtre à bande) ; n° 4 à 8 :

Sur la filière sans chaulage (5 et 6) les coûts de traitement représentent 45%, et 65% pour la filière avec chaulage. On remarque par ailleurs que quelle que soit l'unité utilisée, les coûts totaux de la filière 5 et 6 sont toujours performants.

Boues solides (épaississement, puis filtre-pressé ou digesteur + centrifugeuse) ; n°9 à 12 :

La filière boues solide engendre des coûts de traitement importants (de 67% pour les boues solides chaulées à 73% lorsqu'on ajoute la digestion).

Boues séchées (centrifugeuse + séchage thermique) ; n°13 à 14 :

Les coûts de traitement de cette filière représentent de 70% à 76% du total. Conséquence des lourds investissements de départ, ainsi que des coûts liés à l'exploitation de ce type d'ouvrage.

⁸ Pourcentage du coût total de la filière concernée. Nous avons préféré présenter les coûts de cette façon car l'étude date de 2000, les coûts en euros ont beaucoup variés.

La filière lit de séchage (n°15), pratiquée en milieu rural sur de petites stations est moins coûteuse que la filière liquide pour une taille de STEP équivalente (3 000 EH). Seul le coût à la t/MS est plus élevé car la siccité monte à 50%.

Coûts en € HT	% du total	Par eh	Par t MS	Par t MB	Par m³ d'eau	% du total	Par eh	Par t MS	Par t MB	Par m³ d'eau
Boues liquides (siccité 3 %), épaisseur statique ou hersé, silo sur la station										
		Filière-type n° 1 (3 000 eh)						Filière-type n° 2 (10 000 eh)		
Traitement	15	0,85	94,9	2,8	0,02	9	0,38	37,1	1,1	0,01
Stockage	40	2,30	255,2	7,7	0,06	41	1,65	160,3	4,8	0,05
Reprise, transport, épandage	28	1,59	176,2	5,3	0,04	33	1,34	130,6	3,9	0,04
Études et suivis	18	1,02	113,5	3,4	0,03	17	0,67	65,3	2,0	0,02
Total hors traitement										
	85	4,90	544,9	16,3	0,14	91	3,66	356,3	10,7	0,10
Total	100	5,76	639,7	19,2	0,16	100	4,04	393,4	11,8	0,11
Boues liquides égouttées (siccité 6 %), table d'égouttage (ou centrifugeuse), silo sur la station										
		Filière-type n° 3 (10 000 eh)						Filière-type n° 4 (20 000 eh)		
Traitement	54	2,52	244,9	14,7	0,07	54	2,12	191,2	11,5	0,06
Stockage	18	0,82	80,2	4,8	0,02	17	0,68	61,4	3,7	0,02
Reprise, transport, épandage	14	0,67	65,3	3,9	0,02	15	0,60	54,1	3,2	0,02
Études et suivis	14	0,67	65,3	3,9	0,02	14	0,53	48,1	2,9	0,02
Total hors traitement										
	46	2,16	210,8	12,6	0,06	46	1,81	163,7	9,8	0,05
Total	100	4,68	455,7	27,3	0,13	100	3,93	354,8	21,3	0,11
Boues pâteuses (siccité 18 %), filtre à bandes ou centrifugeuse, plate-forme sur la station										
		Filière-type n° 5 (30 000 eh)						Filière-type n° 6 (50 000 eh)		
Traitement	49	1,49	128,9	23,2	0,04	45	1,20	98,2	17,7	0,03
Stockage	20	0,62	53,5	9,6	0,02	22	0,58	47,7	8,6	0,02
Reprise, transport, épandage	17	0,51	44,3	8,0	0,01	19	0,50	40,5	7,3	0,01
Études et suivis	14	0,44	38,1	6,9	0,01	14	0,38	31,1	5,6	0,01
Total hors traitement										
	51	1,58	136,0	24,5	0,04	55	1,46	119,2	21,5	0,04
Total	100	3,07	264,9	47,7	0,09	100	2,67	217,3	39,1	0,08
Boues pâteuses chaulées (siccité 25 %), filtre à bandes ou centrifugeuse, chaulage, plate-forme sur la station, plate-forme extérieure et/ou dépôts de bord de champ										
		Filière-type n° 7 (50 000 eh)						Filière-type n° 8 (100 000 eh)		
Traitement	64	2,97	242,3	60,6	0,08	65	2,65	200,2	50,0	0,08
Stockage	9	0,42	34,3	8,6	0,01	9	0,38	28,9	7,2	0,01
Reprise, transport, épandage	19	0,88	71,8	17,9	0,02	17	0,70	53,0	13,2	0,02
Études et suivis	8	0,38	31,1	7,8	0,01	8	0,32	24,2	6,0	0,01
Total hors traitement										
	36	1,68	137,2	34,3	0,05	35	1,41	106,0	26,5	0,04
Total	100	4,66	379,4	94,9	0,13	100	4,06	306,2	76,6	0,11

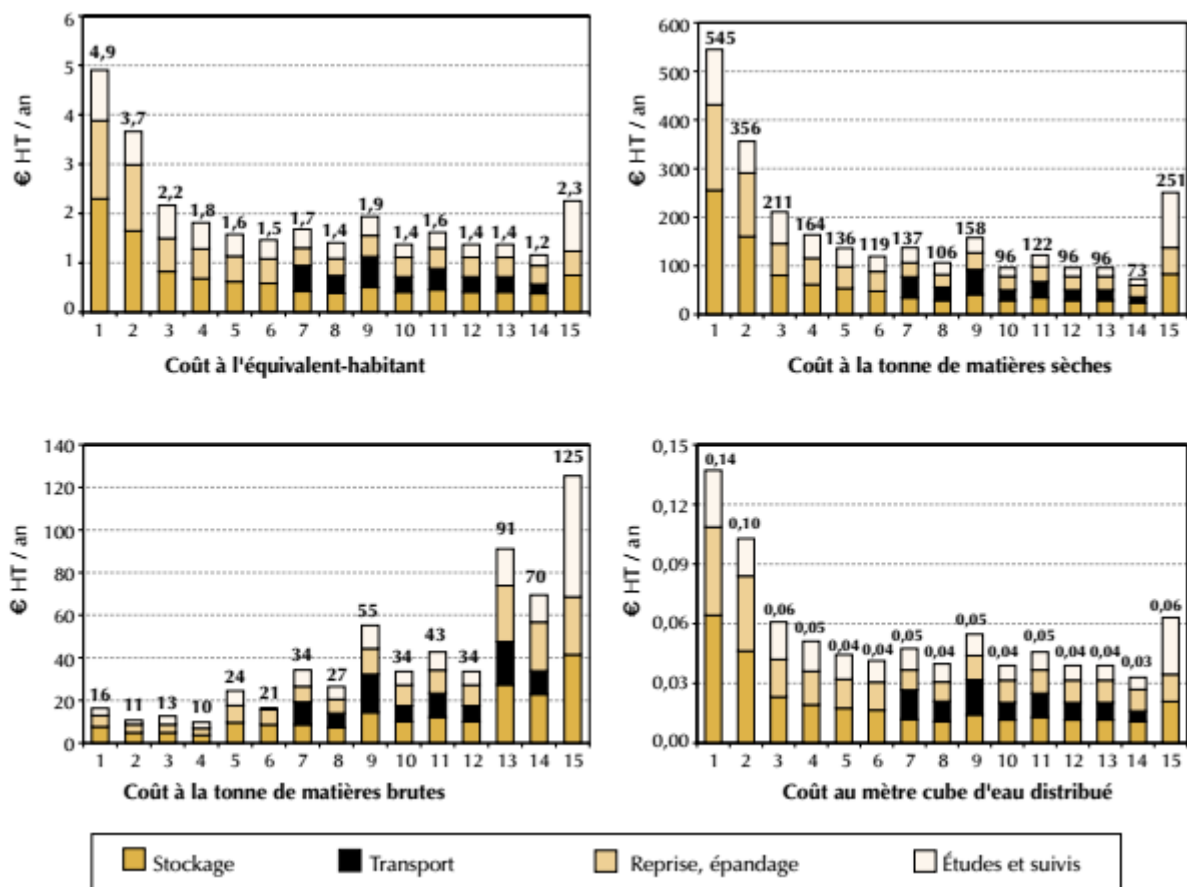
ANNEXE 8 : COÛTS AU M3 D'EAU, À LA TONNE DE MB ET MS, ET PAR EH DES DIFFÉRENTES FILIÈRES (1 À 8) DE TRAITEMENT DES BOUES ET DE VALORISATION AGRICOLE. SOURCE : FERRY M., WIART J., 2000.

Coûts en € HT	% du total	Par eh	Par t MS	Par t MB	Par m³ d'eau	% du total	Par eh	Par t MS	Par t MB	Par m³ d'eau
Boues solides chaulées (siccité 35 %), filtre-pressé (conditionnement à la chaux), plate-forme sur la station, plate-forme extérieure et/ou dépôts bord de champ										
Filière-type n° 9 (50 000 eh)						Filière-type n° 10 (200 000 eh)				
Traitement	68	4,04	329,3	115,2	0,11	67	2,79	195,0	68,2	0,08
Stockage	8	0,50	41,0	14,4	0,01	10	0,41	28,8	10,1	0,01
Reprise, transport, épandage	18	1,05	85,7	30,0	0,03	17	0,70	49,0	17,2	0,02
Études et suivis	6	0,38	31,1	10,9	0,01	6	0,26	18,1	6,3	0,01
Total hors traitement	32	1,94	157,8	55,2	0,05	33	1,37	95,9	33,6	0,04
Total	100	5,98	487,0	170,5	0,17	100	4,16	290,9	101,8	0,12
Boues solides digérées (siccité 35 %), digesteur, centrifugeuse (+ chaulage), plate-forme sur la station, plate-forme extérieure et/ou dépôts bord de champ										
Filière-type n° 11 (100 000 eh)						Filière-type n° 12 (200 000 eh)				
Traitement	73	4,34	327,9	114,8	0,12	73	3,64	254,7	89,1	0,10
Stockage	8	0,46	34,5	12,1	0,01	8	0,41	28,8	10,1	0,01
Reprise, transport, épandage	14	0,84	63,3	22,1	0,02	14	0,70	49,0	17,2	0,02
Études et suivis	5	0,32	24,2	8,5	0,01	5	0,26	18,1	6,3	0,01
Total hors traitement	27	1,62	122,0	42,7	0,05	27	1,37	95,9	33,6	0,04
Total	100	5,96	449,9	157,5	0,17	100	5,02	350,6	122,7	0,14

Coûts en € HT	% du total	Par eh	Par t MS	Par t MB	Par m³ d'eau	% du total	Par eh	Par t MS	Par t MB	Par m³ d'eau
Boues sèches (siccité 95 %), digesteur, centrifugeuse, sécheur thermique, silo métallique sur la station, plate-forme extérieure et/ou dépôts bord de champ										
Filière-type n° 13 (200 000 eh)						Filière-type n° 14 (500 000 eh)				
Traitement	76	4,28	299,4	284,5	0,12	70	2,76	174,2	165,5	0,08
Stockage	7	0,41	28,8	27,3	0,01	10	0,38	24,1	22,9	0,01
Reprise, transport, épandage	12	0,70	49,0	46,6	0,02	14	0,56	35,6	33,8	0,02
Études et suivis	5	0,26	18,1	17,2	0,01	5	0,21	13,5	12,8	0,01
Total hors traitement	24	1,37	95,9	91,1	0,04	30	1,16	73,2	69,5	0,03
Total	100	5,66	395,3	375,6	0,16	100	3,92	247,4	235,0	0,11

Coûts en € HT	% du total	Par eh	Par t MS	Par t MB	Par m³ d'eau
Boues solides (siccité 50 %), lits de séchage, plate-forme sur la station					
filière-type n° 15 (3 000 eh)					
Traitement	38	1,36	150,8	75,4	0,04
Stockage	21	0,75	83,0	41,5	0,02
Reprise, transport, épandage	14	0,49	54,2	27,1	0,01
Études et suivis	28	1,02	113,5	56,7	0,03
Total hors traitement	62	2,26	250,7	125,3	0,06
Total	100	3,61	401,4	200,7	0,10

ANNEXE 9 : COÛTS AU M3 D'EAU, À LA TONNE DE MB ET MS, ET PAR EH DES DIFFÉRENTES FILIÈRES (9 À 15) DE TRAITEMENT DES BOUES ET DE VALORISATION AGRICOLE. SOURCE : FERRY M., WIART J., 2000.



ANNEXE 10 : COÛTS ANNUELS DES DIFFÉRENTES FILIÈRES DE VALORISATION AGRICOLE DES BOUES HORS TRAITEMENT (€/EH, €/TMS, €/TMB, €/M3 D'EAU DISTRIBUÉE). SOURCE : (FERRY ET WIART, 2000).

ANNEXE 11 : ASPECTS OPÉRATIONNELS DES ÉPANDAGES D'APRÈS FRANÇOIS THIRION ET FRÉDÉRIC CHABOT, 2003.

Institutions / Organismes	Entités ministérielles ou départementales	Autres entités relevant de ces ministères	Principales attributions par rapport à l'assainissement	Relations fonctionnelles possibles avec les boues
Ministère de l'Intérieur	tutelle des Collectivités Locales		▪ Assistance technique et la coordination en matière de distribution d'eau potable et d'assainissement	▪ Intégration de la gestion des boues dans l'élaboration de schémas directeurs ▪ Assistance pour le transfert du secteur de l'assainissement liquide et solide aux opérateurs privés (la gestion des boues et des traitements de déshydratation mobiles peut être déléguée)
		Collectivités Locales	▪ Gestion des services de l'eau potable et de l'assainissement	
		Direction de l'Eau et de l'Assainissement	▪ Coordonner les actions dans le secteur ▪ Appuyer les Collectivités Locales en matière de suivi des études et des travaux	
		Régies Autonomes (autonomie financière)	▪ Distribution de l'eau potable, de l'électricité et l'assainissement dans les grandes villes pour le compte des communes	
		Bureaux Municipaux d'Hygiène	▪ Chargé des aspects sanitaires liés à l'eau	▪ Aspects de la santé liés à l'usage des sous produits des STEP (eaux usées et des boues). ▪ Elaboration des directives sanitaires ▪ Contrôle et surveillance
Ministère de la Santé	DELM		▪ Suivi des maladies en relation avec l'eau	▪ Surveillance sanitaire des usages des boues
	Institut National d'Hygiène		▪ Mission de contrôle et de surveillance sanitaire	▪ Proposition de normes en matière de biologie sanitaire
Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement	▪ MDE ▪ MDEnv	▪ Protection de l'eau et de l'environnement ▪ Planification et orientations des secteurs ▪ Initiation des réglementations dans ces domaines ▪ Gestion du domaine public hydraulique ▪ Evaluation et de la planification des ressources en eau ▪ Assure la tutelle des ABH et de l'ONEP		▪ Réglementation (SEEE/DEnv) ▪ Planification (SEEE/DEnv) ▪ Valorisation énergétique des boues (SEEE/Energie) ▪ Valorisation des boues en tant que biomasse (Stratégies de SEEE/Energie)
		▪ Planification de l'approvisionnement en eau potable à l'échelle nationale ▪ Etude, réalisation et gestion de la production d'eau potable en milieu urbain ▪ Distribution d'eau potable et assainissement (à travers les délégations de service par les communes)		▪ Gestion de la filière boues dans les STEPs ▪ Acteur essentiel dans la gestion des boues et la mise en œuvre de la stratégie
		▪ Gestion et protection du patrimoine hydraulique et dont les conseils d'administration regroupent l'ensemble des acteurs impliqués dans la gestion de l'eau, chargées d'organiser et de conduire la gestion de l'eau à l'échelle des bassins		▪ Autorisation d'épandage en zones vulnérables ▪ Suivi et surveillance ▪ Aides financières et l'assistance technique

ANNEXE 12 : RÉGLEMENTATION SUR LES BOUES AU MAROC (SOURCE : BAHAR HASSAN, 2014)

Nos dernières synthèses techniques :

L'écoulement des cours d'eau en période estivale en France sur la période 2012-2016 - 2017

L'état de conservation des espèces aquatiques d'intérêt communautaire - 2017

Adaptation des services d'eau potable au changement climatique en France - 2016

Etat des lieux des démarches de réduction de la vulnérabilité sur le bâti face à l'inondation - 2016

La Trame Verte et Bleue dans trois pays transfrontaliers - 2016

Using Water Smarter – Economie de la ressource et potentiel de réutilisation des eaux usées dans le secteur agricole - 2016

Les techniques d'animation de concertation sur la gestion des ressources naturelles - 2016

Les modes de gestion des périmètres d'irrigation en métropole et dans les DROM (Guadeloupe, Réunion, Martinique) - 2016

L'utilisation des membranes en assainissement - 2016

Les concentrations en nitrates d'origine agricole dans les cours d'eau et les eaux souterraines en France - *Données 2013-2014* - 2016

Renforcement des compétences sur les aires d'alimentation de captages - 2016

Protection des aires d'alimentation des captages en eau potable. Etude de pratiques en Europe - 2015

Les stratégies de pays européens vis-à-vis des espèces exotiques envahissantes en milieux aquatiques - 2015

Agroforesterie et ressources en eau : les pratiques anciennes en réponse aux problématiques modernes - 2015

Les énergies renouvelables : une alternative pour la production et l'économie d'énergie dans le domaine de l'eau et de l'assainissement - 2015

Animation, coordination de la communauté d'acteurs de gestion locale de l'eau (Gest'eau). Expression des besoins des animateurs(trices) de SAGE/contrats pour renforcer leurs compétences - 2015

Les démarches territoriales de gestion de l'eau en Europe : Quels enseignements pour la mise en œuvre de la DCE ? - 2014

Retrouvez tous les titres disponibles sur
www.oieau.fr/eaudoc/publications

Some titles are available in english : check it on www.oieau.fr/eaudoc/publications



648 rue Jean-François Breton – BP 44494
34093 MONPELLIER CEDEX 5

Tél. : (33) 4 67 04 71 00
Fax. : (33) 4 67 04 71 01
www.agroparistech.fr



*Office
International
de l'Eau*

15 rue Edouard Chamberland
87065 Limoges Cedex

Tél. (33) 5 55 11 47 80
Fax. (33) 5 55 11 47 48
www.oieau.org