

GUIDE DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION AGRICOLE DES BOUES ISSUES DES DISPOSITIFS D'EPURATION EN MILIEU RURAL MAROCAIN

VERSION DRAFT

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX	4
LISTE DES FIGURES	5
I. INTRODUCTION	6
II. DEFINITIONS ET GENERALITES	8
III. SITUATION ACTUELLE DES BOUES AU MAROC	9
III.1. Présentation du secteur d'assainissement rural au Maroc	9
III.2. Caractérisation quantitative et qualitative des boues	9
III.2.1. Quantité des boues	9
III.2.2. Qualité des boues.....	10
III.3. Destinations actuelles des boues au Maroc	11
III.3.1. L'expérience de Dar El Gueddari.....	11
III.3.2. L'expérience de la STEP de M'zar	12
IV. CONTRAINTES ET OPPORTUNITES LIEES A LA GESTION DES BOUES	12
IV.1. Contraintes entravant la mise en place d'une gestion durable des boues au Maroc	12
IV.1.1. Contraintes réglementaires et institutionnelles	13
IV.1.2. Contraintes techniques.....	14
IV.1.3. Contraintes sociales et financières.....	15
IV.2. Opportunités de gestion des boues en zones rurales.....	16
V. BENCHMARK INTERNATIONAL SUR LES FILIERES DE GESTION DES BOUES EN ZONES RURALES	16
V.1. Allemagne	18
V.2. France	19
V.3. L'Union européenne	22
V.4. La Tunisie	22
VI. ASPECTS SANITAIRES DE LA VALORISATION AGRICOLE DES BOUES D'ÉPURATION	23
VI.1. Types de pathogènes contenus dans les boues non hygiénisées.....	23
VI.2. Gestion de la contrainte liée aux pathogènes	23
VI.2.1. Stabilisation et hygiénisation des boues	23
VI.2.2. Facteurs pédoclimatiques atténuant les risques liés aux pathogènes des boues	25
VI.3. Normes de pathogènes dans les boues et le compost des boues	26
VI .3.1. BENCHAMRK INTERNATIONAL	26

VI.3.2. Normes marocaines	28
VII. REVUE DES SYSTEMES D'EPURATION GENERATEURS DES BOUES EN ZONES RURALES	29
VII.1. Bassins de lagunage	29
VII.2. Filtre planté	30
VII.3. Filtre à sable et à gravier.....	30
VII.4. Digesteur classique (ou réacteur anaérobie à biogaz)	30
VII.5. Réacteur anaérobie à flux ascendant à deux étages (RAFADE)	31
VII.6. Fosse septique	31
VIII. ARBRE DECISIONEL SUR LE CHOIX DES FILIERES DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION DES BOUES.....	33
VIII.1. Utilité de l'outil et critères de sélection	33
VIII.2. Schéma décisionnel de choix des filières de traitement - valorisation des boues issues des dispositifs d'assainissement collectif	34
VIII.3. Schéma décisionnel de choix des filières de traitement et de valorisation des boues issues des dispositifs d'assainissement autonome (boues de vidange)	43
IX. Fiches techniques	47
Fiche de procédé : Stabilisation chimique aux nitrites.....	48
Fiche de procédé : Déshydratation des boues par unité mobile (transportable)	50
Fiche de procédé : Séchage solaire sur lits de séchage.....	52
Fiche de procédé : Séchage solaire sous serre	55
Fiche de procédé : Lit de séchage planté de roseaux	60
Principe de fonctionnement et performances	60
Fiche de procédé : Co-compostage des boues.....	64
Fiche de procédé : Epandage agricole des boues liquides/en mélange avec les eaux usées traitées.....	75
Fiche de procédé : Bassin de sédimentation/épaississement	78
Fiche de procédé : Bassin de sédimentation/stabilisation	80

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Type de boues et leur composition (ADEME - France)	10
Tableau 2. Caractéristiques qualitatives des boues au Maroc	10
Tableau 3. Statut des boues d'épuration des eaux usées selon les pays	17
Tableau 4. Principales maladies associées aux pathogènes des boues résiduaires	23
Tableau 5. Durée de survie des pathogènes dans le sol et sur la plante (Doran et al. 1976)	26
Tableau 6. Concentrations maximales admissibles dans les boues d'épuration utilisées en agriculture en Espagne, article 10 de l'arrêté du 28 mai 1998 sur les engrais.....	27
Tableau 7. Concentrations des agents pathogènes admissibles dans les boues en France	27
Tableau 8. Concentrations maximales des agents pathogènes admissibles dans le compost des boues selon la norme française NF U44-095 (2002)	27
Tableau 9. Concentrations maximales admissibles dans les boues en Jordanie, JS 1145/2006	28
Tableau 10. Valeurs moyennes des concentrations maximales des pathogènes dans les boues	28
Tableau 11. Valeurs limites des pathogènes dans les boues admissibles en agriculture (Projet Décret-Maroc)	29
Tableau 12. Valeurs limites des concentrations des agents pathogènes dans le compost des boues (Projet Décret – Maroc)	29
Tableau 13. Caractéristiques des boues produites par les principaux procédés de traitement adoptés en milieu rural	33
Tableau 14. Matrice récapitulative des conditions d'application des voies d'élimination et de valorisation des boues en milieu rural marocain	36
Tableau 15. Les échelles de traitement et de valorisation des boues selon le tonnage produit	43
Tableau 16. Matrice récapitulative des conditions d'application des voies de traitement et de valorisation des boues de vidange.....	45
Tableau 17. Avantages et inconvénients des deux types de serres (serre types agricole et serre avec conditions contrôlée)	56
Tableau 18. Comparaison entre les différents matériaux (Brison et al., 2010)	57
Tableau 19. Les principaux agents structurants et les rapports C/N correspondant	66
Tableau 20. Principales technologies de compostage (Soudi, 2005)	68
Tableau 21. Dimensionnement des andains de compostage selon la technologie requise	72
Tableau 22. Valeur agronomique des boues compostées (ADEME, 2014)	72
Tableau 23. Équipements et matériel de compostage	74

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Situation rurale au Maroc en matière d'installations d'assainissement (% de la population) selon JMP (2012)	9
Figure 2. Arbre des contraintes entravant la gestion durable des boues au Maroc	16
Figure 3. Les différentes filières de gestion des boues en Allemagne (2013)	18
Figure 4. Système de traitement et de gestion des boues en zones rurales, Allemagne ..	19
Figure 5. Les principales filières de gestion des boues en France	19
Figure 6. Schéma des voies réglementaires de l'épandage agricole des boues en France	21
Figure 7. Principaux procédés de traitements avant l'épandage agricole des boues.....	21
Figure 8. Evolution de l'humidité des boues et du nombre d'œufs d'Ascaris	25
Figure 9. Modèle de fosse septique installé sur les blocs sanitaires avec système de filtration à travers un lit bactérien (pouzzolane)	31
Figure 10. Schéma décisionnel de choix des filières de traitement et de valorisation des boues issues des dispositifs d'assainissement collectif rural.....	35
Figure 11. Arbre décisionnel de choix des filières de traitement et de valorisation des boues selon le critère agrégé « taille des agglomérations - volume des boues produit »	42
Figure 12. Schéma des différentes options de traitement et de valorisation des boues de vidange	44
Figure 13. Principe d'une unité de stabilisation aux nitrites	48
Figure 14. Unité mobile de déshydratation	50
Figure 15. Muret technique	51
Figure 16. Aire de stockage des boues déshydratées.....	51
Figure 17. Lits de séchage des boues dans la région de Nador au Maroc	52
Figure 18. Lit de séchage des boues à Ouarzazate.....	52
Figure 19. Schéma de principe de fonctionnement de la serre de séchage	55
Figure 20. Séchage solaire des boues dans des serres de type agricole	56
Figure 21. Ajout de l'agent de conditionnement au point d'alimentation des lits de séchage en boues épaissies (FNDAE, 1990)	57
Figure 22. Coupe schématique d'un lit de séchage planté de roseaux (LSPR)	60
Figure 23. Principales phase du fonctionnement des LSPR	61
Figure 24. Configuration des LSPR, a) délai-remblai b) casier béton	61
Figure 25. Principe de fonctionnement du compostage (Soudi, 2005)	64
Figure 26. Schéma de la filière du co-compostage des boues	67
Figure 27. Compostage en bac.....	69
Figure 28. Dimensions d'un bac de compostage	69
Figure 29. Principales étapes du co-compostage des boues	70
Figure 30. Protection du compost pendant la période pluviale	71
Figure 31. Surface requise pour le compostage selon le tonnage des déchets à traiter .	71
Figure 32. Rôles et avantages agro-environnementaux du compost	73
Figure 33. Bassins de sédimentation/ épaissement	78

I. INTRODUCTION

Les zones rurales marocaines, accusent un retard significatif en matière d'assainissement liquide et ce, en comparaison avec le milieu urbain. Ainsi, pour combler le déficit en infrastructures d'assainissement appropriées dans ces zones, le gouvernement marocain a initié un Programme National d'Assainissement en milieu Rural (PNAR). La conception de ce programme prévoit un investissement de l'ordre de 400 millions d'Euros d'ici à l'horizon 2030, pour la construction d'environ 450 000 systèmes décentralisés d'assainissement durable et plus de 14 000 systèmes d'assainissement collectif. La mise en œuvre de ce programme, visant en priorité, l'amélioration des conditions de vie et de santé des populations rurales, permettra aussi de générer un potentiel considérable d'emplois verts, notamment chez les jeunes ruraux.

En effet, pour assurer la durabilité du PNAR, il s'avère nécessaire de mettre en place des technologies innovantes, écologiques, et d'intégrer dès la phase de conception des installations, les options de valorisation sécurisée et hygiénique des sous-produits de l'assainissement (eaux usées traitées, boues, fèces, biogaz). Cela requiert un savoir-faire et des compétences spécifiques qui sont actuellement insuffisantes au Maroc.

Ainsi, la mise en place d'un système de formation multiforme : initiale, continue, qualifiante et verdissante, pour répondre aux besoins en cadres et techniciens ayant les compétences requises pour la gestion des systèmes d'assainissement depuis la collecte, en passant par l'épuration, jusqu'à l'évacuation, traitement et valorisation des sous-produits.

Tout système de formation requiert de la matière pédagogique structurée dans des supports, ou valises pédagogiques, il a été jugé utile d'élaborer, dans le cadre de l'appui par le Cluster « Eau » /GIZ, une série de « *guides et manuels de l'assainissement durable en milieu rural* ». Le présent guide, premier venu de cette série, se consacre aux options de traitement et de valorisation des boues issues des dispositifs d'assainissement en milieu rural. Il est en effet crucial de rappeler que la gestion adéquate des sous-produits de l'assainissement constitue un déterminant important de l'assainissement dans toutes les communautés. Lorsque les sous-produits de l'assainissement (eaux usées et boues) ne sont pas précocement pris en compte, les objectifs de l'assainissement demeurent inachevés et la durabilité des ouvrages et installations de collecte et d'épuration est loin d'être garantie.

L'originalité de ce guide est triple : i) il supporte le système de formation et de qualification selon une pédagogie axée sur la simplicité, la précision et la concision, ii) il est contextuel dans la mesure où il développe des options adaptées adaptables à la fois aux technologies d'assainissement applicables aux diverses situations du milieu rural marocain, et iii) il fera l'objet de test sur des cas pilotes en vue de se réajuster et de gagner plus de pertinence dans ses futures éditions.

Il est structuré en chapitres : le premier constitue un chapitre introductif sur la gestion des boues au Maroc. Le deuxième chapitre portera sur les principales contraintes et opportunités de gestion des boues au Maroc. Le troisième se consacrera à un benchmark international, sur les options de traitement et de valorisation des boues en zones rurales et d'en déduire celles qui sont adaptées ou adaptables au contexte rural marocain. Le quatrième sera dédié à une revue des systèmes d'assainissement rural, individuel, décentralisé et collectifs, générateurs des boues. Il s'agit d'une première entrée au processus de prise de décision sur les options possibles d'élimination, de traitement et de valorisation des boues. Le cinquième chapitre tentera de construire un arbre décisionnel guidant le choix des options adaptées à chaque dispositif et à chaque contexte (taille des ménages et des douars, population assainie, opportunités de valorisation en agriculture, en sylviculture, en espaces verts, etc. La sélection des technologies devra tenir compte des aspects sociaux, économiques, sanitaires et environnementaux.

Le dernier chapitre développera des fiches techniques décrivant la consistance de de chaque option de valorisation des boues, définissant les conditions de son applicabilité, et relatant les éléments ou ratios de dimensionnement ainsi que les bonnes pratiques permettant la sécurisation des pratiques de valorisation des boues.

II. DEFINITIONS ET GENERALITES

Le vocable « boues » englobe généralement les boues d'épuration, et dans le cas d'un assainissement autonome, les matières ou boues de vidange et déchets « liquides extraits des fosses septiques.

Les boues résiduelles issues de l'épuration des eaux usées sont principalement constituées des matières biologiques résultant de la dépollution et d'éléments minéraux présents dans le milieu.

Les boues se composent généralement de :

- L'eau,
- Matières sèches constituées à la fois de matières organiques et de substances minérales riches en éléments nutritifs contenant de l'azote, du phosphore, du soufre, etc.,
- Micro-organismes variés, dont des pathogènes,
- Eléments traces métalliques (ETM) d'origines industrielle, domestique ou provenant de ruissellement des eaux pluviales, Composés-traces organiques (CTO) plus ou moins dégradés par l'activité biologique.

Les boues de vidange représentent les résidus de traitement des systèmes d'assainissement autonome des eaux usées. Elles sont retenues au niveau des ouvrages de prétraitement, à savoir :

- Les fosses à infiltration
- Les fosses septiques
- Les fosses toutes eaux

Le compostage est un procédé naturel de conversion biochimique, par biodégradation aérobie, des matières organiques en un produit hygiénique, de composition stable et riche en substances humiques, appelé compost.

Le co-compostage des boues consiste en leur compostage avec d'autres déchets organiques plus ligneux servant comme agents carbonés structurants étant donné leur faible ratio C/N (5 à 10).

L'épandage est une technique agricole consistant à répandre des matières organiques (dont les boues d'épuration) sur des zones cultivées, forêts, terrains agricoles, etc.

La co-incinération des boues est une technique de recyclage de boues avec d'autres matières combustibles par combustion à de très hautes températures (+500°C), et en résulte de la chaleur, de la fumée et des cendres.

La mise en décharge des boues consiste en leur élimination ou leur stockage dans des décharges publiques ou des centres d'enfouissement.

III. SITUATION ACTUELLE DES BOUES AU MAROC

III.1. PRESENTATION DU SECTEUR D'ASSAINISSEMENT RURAL AU MAROC

Pour combler le déficit en infrastructures d'assainissement dans le milieu rural, le gouvernement marocain a élaboré une ébauche d'un programme national d'assainissement en milieu rural (PNAR). Ce dernier présente comme principal objectif l'amélioration des infrastructures d'assainissement existantes et assurer leur conformité aux normes standards d'hygiène et de protection de l'environnement.

Le taux d'accès à l'assainissement en milieu rural, selon « Evaluation de l'impact financier du PNA sur l'ONEP » (2010), est comme suit :

- Latrines à fosse : 36,4%
- Réseaux collectifs d'assainissement : 1,7%
- En tenant compte uniquement des systèmes améliorés (non compris les latrines sèches traditionnelles), le taux d'accès à l'assainissement serait de 11% environ
- 38% des douars sont pourvus de dispositifs d'évacuation d'excréments
- 88% des eaux ménagères sont rejetés directement dans la nature

La **Figure 1** *Erreur ! Source du renvoi introuvable.* rapporte la situation d'assainissement rural au Maroc pour l'année 2012.

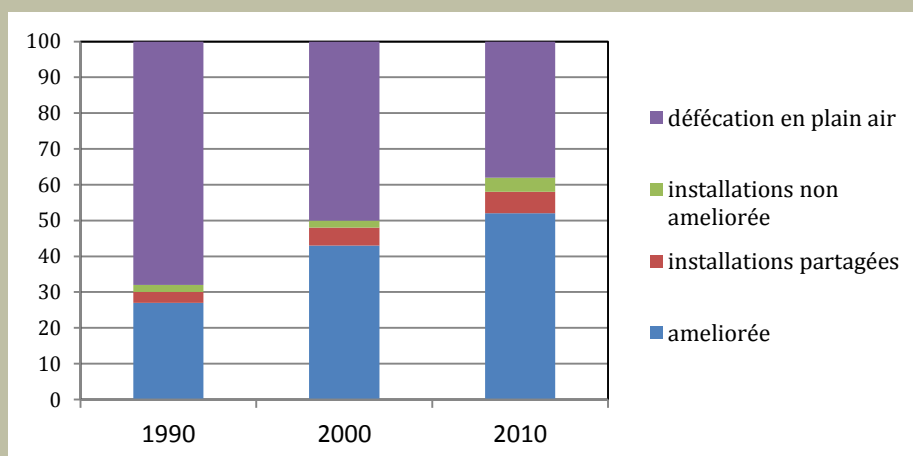


Figure 1. Situation rurale au Maroc en matière d'installations d'assainissement (% de la population) selon JMP (2012)

III.2. CARACTERISATION QUANTITATIVE ET QUALITATIVE DES BOUES

III.2.1. Quantité des boues

La quantité de boues produites varie en fonction de la nature des procédés d'épuration. En effet, pour chaque procédé, une typologie des boues et des ratios de production sont définis.

Par ailleurs, l'estimation des gisements de boues produites, pour des stations d'assainissement collectif, peut se faire en se référant à des hypothèses théoriques de calcul, universellement utilisées, et qui sont basées sur la taille de la population

raccordée et sur les ratios spécifiques de génération des boues. Les ratios de production utilisés sont de 60g MS/hab./j et 20g MS/hab./j respectivement pour le système intensif et le système extensif.

En moyenne, la quantité moyenne de boues est comprise entre 15 et 20 kg de matière sèche/hab.an.

III.2.2. Qualité des boues

La qualité des boues dépend du réseau de collecte et des caractéristiques physicochimiques des rejets. Néanmoins, à la différence des effluents produits dans les villes qui comprennent, dans la majorité des cas, un tissu industriel et artisanal, et dont les habitudes alimentaires sont différentes, les eaux usées générés par les zones rurales, sont jugés moins pollués. Ainsi, la qualité des boues résultantes est, en général, satisfaisante pour envisager d'autres voies de valorisation dont notamment la filière verte.

Il est important de souligner qu'en milieu rural, on distingue l'assainissement collectif raccordé à une station d'épuration collective, et l'assainissement autonome avec des unités d'épuration individuelles ou, rarement, semi-collectif.

Le **Tableau 1** relate les différents types de boues issues du système d'assainissement collectif et leur composition.

Tableau 1. Type de boues et leur composition (ADEME - France)¹

	Boue liquide	Boue pâteuse	Boue sèche	Boue chaulée	Compost de boue
Teneur en matière sèche (MS)	2 à 7	16 à 22	90 à 95	25 à 40	40 à 60
Teneur en matière organique	65 à 70	50 à 70	50 à 70	30 à 50	80 à 90
Teneur en matière minérale	30 à 35	30 à 50	30 à 50	50 à 70	10 à 20
pH	6,5 à 7	7 à 8	6 à 8	9 à 12	6 à 7
Rapport C/N	4 à 5	5 à 6	4 à 6	8 à 11	15 à 25
Azote (kg N/T brute)	2 à 4	8 à 12	30 à 50	6 à 9	5 à 9
Phosphore (kg P ₂ O ₅ /T brute)	2 à 3	6 à 9	50 à 70	6 à 10	6 à 8
Potasse (kg K ₂ O/T brute)	0,9	0,8	5	1	1 à 2

Le **Tableau 2** montre les caractéristiques qualitatives des boues au Maroc.

Tableau 2. Caractéristiques qualitatives des boues au Maroc

STEP	La teneur des boues en élément fertilisant (mg/kg MS)					Teneur en MO (%MS)
	Azote total	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	
Marrakech	10 350,00	7 630,00	1 246,86	41 135,36	7 270,77	52,7
Bouregreg	38 100,00	4 518,00	545,40	9 756,00	165,40	56,7
Tiznit	-	21 503,10	2 337,12	110 132,78	-	77,78
Agadir	27 800,00	29 994,42	10 966,38	105 945,78	17 247,56	62,05
Skhirate	26 400,00	19 492,48	8 848,52	120 120,30	14 519,98	50,82
Drarga	26 600,00	25 487,70	7 664,30	106 998,12	15 160,01	55,3

¹ http://www.eau-loire-bretagne.fr/les_rendez-vous_de_leau/les_rencontres/Rencontres_2012/Boues-2_Syprea.pdf

<i>Ain Taoujdat</i>	27 700,00	14 736,15	12 289,14	104 127,95	9 296,97	66,44
<i>Tafoghalte</i>	20 900,00	34 013,37	7 848,62	85 034,54	11 177,25	47,43
<i>Taurirt</i>	24 100,00	43 248,94	2 937,06	45 320,97	8 590,62	55,02

Par ailleurs, il importe d'attirer l'attention sur le fait que ces teneurs des boues en éléments fertilisants et en matière organique restent très variables, chose qui s'explique par la variabilité de la nature des eaux usées et le type de traitement employé (lagunage naturel, boues activées, lits bactériens, etc.)².

III.3. DESTINATIONS ACTUELLES DES BOUES AU MAROC

Bien que le rythme d'assainissement soit relativement soutenu dans le cadre du PNA I, PNA II et prospective du PNAR, la situation au Maroc accuse un retard en matière de valorisation des boues d'épuration. En effet, dans la majorité des STEPs du Royaume, les boues se trouvent soit accumulées à proximité des STEPs, acheminées, lorsque c'est possible vers des décharges ou stockées dans des lits de séchage en attente d'une convention avec la commune ou les gestionnaires des décharges contrôlées pour la mise en décharge « zéro redevance », et d'un marché cadre pour le transport des boues.

Le retour d'expériences en matière de traitement et de valorisation des boues reste ainsi trop limité. Encore plus, rares sont les études qui ont été menées sur ce volet en zones rurales.

Quant à l'expérience nationale en matière de valorisation des boues, dont notamment la valorisation agricole, considérée comme la plus adaptée au milieu rural, il est à noter que cette voie reste peu développée et insuffisamment explorée. Par ailleurs, il n'existe pas, à nos jours, de projets de valorisation agricole réalisés à une échelle représentative et avec succès.

III.3.1. L'expérience de Dar El Gueddari

L'expérience pilote de Dar El Gueddari a été initiée par la Direction Patrimoine d'Assainissement (DPA) relevant de l'ONEE, dans un but de générer un référentiel technique et normatif.

Etant donné l'absence d'industries polluantes raccordées au réseau, les analyses concernant les ETM (éléments traces métalliques), les CTO et les pathogènes, ont montré la conformité des boues avec les normes européenne et québécoise (considérées comme les plus strictes). Ainsi, de par leur valeur fertilisante, les boues ont été jugés favorables à l'épandage agricole. En effet, un m³ de boues équivaut à 1,65 kg d'azote total (N), 1,51 kg de phosphore assimilable (P₂O₅), et à 3,25 kg de potassium assimilable (K₂O). Les boues, après séchage solaire, ont été destinées à l'épandage sur les sols de la SEHA (Site des Expérimentations Hydro Agricoles de Souk Tlet).

² GRIMAUD L. (1996). La valorisation des boues de station d'épuration en agriculture. Mém. D.U. "Eau et Environnement", D.E.P., univ. Picardie, Amiens, 44 p.

Cependant, la non aptitude chimique des sols à l'épandage n'a pas permis la réussite de cette expérience pilote.

III.3.2. L'expérience de la STEP de M'zar

L'étude de faisabilité de valorisation des boues issues de la STEP M'zar, gérée par la RAMSA (Régie Autonome Multi-services d'Agadir), a été réalisée en 2006. La technique de traitement retenue, jugée techniquement et économiquement faisable, est le séchage solaire. Cette technique permet d'atteindre une siccité supérieure à 85%. Les boues ont montré un grand intérêt du point de vue agronomique, avec des teneurs élevées en azote et en phosphore. Les teneurs en ETM et en contaminants biologiques se sont avérées conformes avec les normes d'épandage agricole.

Un essai pilote de co-compostage des boues de la STEP avec d'autres déchets organiques, a été mis en place en 2012-2013. Le compost obtenu s'est avéré conforme avec la norme européenne NFU 44-095.

Deux options de valorisation du compost ont été possibles, dont l'épandage agricole et la réhabilitation des sols dégradés (stabilisation des dunes de M'zar).

Il est important de signaler le cas des deux STEPs de Skhirat et Attaouia³, où les boues, déposées à proximité de la station, sont utilisées par les agriculteurs en tant qu'amendement organique et affirment la bonne qualité du produit agricole résultant. Ces deux cas sont mentionnés juste pour montrer l'acceptabilité par les agriculteurs pour l'épandage agricole des boues. Toutefois, on ne dispose pas encore aujourd'hui d'un cadre réglementaire qui définit les normes et les conditions de valorisation des boues. Un décret, en version Draft, est en cours de discussion.

IV. CONTRAINTES ET OPPORTUNITES LIEES A LA GESTION DES BOUES

IV.1. CONTRAINTES ENTRAVANT LA MISE EN PLACE D'UNE GESTION DURABLE DES BOUES AU MAROC

Au Maroc, comme dans la plupart des pays de la Région MENA, la mise en place des filières d'élimination et de valorisation des boues se heurte à diverses contraintes qui s'expriment à des degrés différents. En effet, suite à l'amélioration des taux de raccordement et de mise en place des stations d'épuration, et vu que les opérateurs sont contraints à laisser les boues dans les bassins ce qui se répercute par une perte significative de la performance épuratoire des ouvrages d'épuration, les boues produites se trouvent, dans la majorité des cas, accumulées à proximité des STEPs ou mises dans les décharges publiques sans aucun traitement préalable.

Par ailleurs, il est aujourd'hui unanimement admis que la situation caractérisant la problématique cruciale liée à la gestion des boues est une conséquence directe des

³ Projet de Renforcement des Capacités sur l'Utilisation sans danger des Eaux Usées en Agriculture. Rapport National du Maroc. Décembre 2011

lacunes juridiques et institutionnelles, dont notamment, le manque de clarté du statut des boues dans la loi 28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination, et l'absence de normes d'élimination et de valorisation ainsi que celles fixant les conditions d'utilisation des boues.

IV.1.1. Contraintes réglementaires et institutionnelles

Le cadre réglementaire et normatif national en matière de traitement et de valorisation des boues d'épuration reste déficient et lacunaire. En effet, le statut des boues reste non clarifié dans la loi 28-00 relative à la gestion des déchets et à leur élimination, résultat d'absence de référentiel de normes qui déterminent les seuils permettant de juger l'assimilation d'un déchet aux déchets ménagers.

Par ailleurs, dans l'article 3 de ladite loi, les déchets assimilés aux déchets ménagers sont définis comme « tout déchet provenant des activités économiques, commerciales ou artisanales et qui par leur nature, leur composition et leurs caractéristiques, sont similaires aux déchets ménagers ». Ainsi, dans la mesure où les boues présentent des teneurs en eau, en carbone, en sable, en argile assez semblables aux déchets organiques des ménages et que ces boues sont non contaminées et ne contiennent pas de substances toxiques, leur assimilation à des déchets ménagers reste possible. Cette approche peut être confirmée par leur acceptation dans des décharges de déchets ménagers après la publication de la loi. Cependant, **les boues ne sont pas prises en considération dans les plans provinciaux de gestion des déchets ménagers et assimilés.**

De même, dans son Article 48, la loi prévoit que les décharges des déchets ménagers et assimilés, peuvent recevoir, moyennant certains aménagements spécifiques, les déchets industriels, médicaux et pharmaceutiques non dangereux, les déchets agricoles, les déchets ultimes et inertes. Le même article stipule la perception de redevances de mise en décharge par les exploitants auprès des générateurs de ces déchets. Cependant, cette situation reste problématique pour le cas des boues du fait du manque de clarté de leur statut et l'absence de redevance réglementaire pour ce type de déchets.

Il est à souligner, en outre, l'absence de réglementation des voies d'élimination et de valorisation. Concernant la mise en décharge qui est la voie d'élimination privilégiée au Maroc, il est nécessaire de définir le statut des boues d'épuration urbaines, préciser leur classe de décharges, les conditions d'acceptation, notamment le niveau de siccité, et les obligations des producteurs de boues. Par ailleurs, la valorisation agricole, qui constitue une solution verte et durable susceptible de résorber une grande part de gisements, devra également faire l'objet d'un Décret ou Arrêté, stipulant les normes de réutilisation des boues en agriculture, sylviculture, en espaces verts et végétalisation des décharges, et définissant et les modalités de gestion comme l'établissement des plans directeurs régionaux, des registres de production de boues, les programmes d'épandage, etc.

En plus de ces lacunes, on note une absence de textes définissant le contenu des cahiers de charges qui fixent les conditions d'utilisation des boues, les conditions de leur stockage et transport, etc. Aussi, il y a une absence d'intégration du principe de traçabilité des boues principalement pour la filière de valorisation agricole.

Cependant, il convient de rappeler la nouvelle loi sur l'eau, 36-15 stipule, dans son chapitre V, de nouvelles dispositions concernant la « *Valorisation et utilisation des eaux non conventionnelles* » avec un article dédié à la « *réutilisation des eaux usées et des boues d'épuration* ». Celui-ci énonce le cadre réglementaire de la réutilisation et spécifie la définition de nouvelles dispositions sur la mise en œuvre sécurisée des projets de réutilisation des eaux usées et de valorisation des boues. Il s'agit là d'un indicateur pertinent de la volonté des pouvoirs publics à la prise en charge de la gestion des sous-produits de l'assainissement.

Sur le plan institutionnel, la contrainte majeure réside dans l'insuffisance en matière de prise des responsabilités par les acteurs concernés. Dans ce cadre, il y a lieu de rappeler la non application des clauses de la récente loi organique 113-14, relative aux communes qui stipule dans son article 83, que l'assainissement liquide et solide et les stations de traitement des eaux usées figurent parmi les compétences propres des communes. Par ailleurs, ces dernières ne sentent non concernées par la problématique de l'élimination et de la gestion des boues de « leur » station, et ne cherchent pas à contribuer au développement de solutions dans le cadre de leurs autres activités et responsabilités, alors que des solutions pouvant être rapidement mises en œuvre sont disponibles.

On note également, une absence de conventions entre les producteurs des boues et les gestionnaires des destinations finales dont notamment les décharges contrôlées mixtes et les cimenteries. Dans ce cadre, il est à souligner la discordance entre les exigences des gestionnaires de ces deux destinations et la qualité des boues issues des STEP, choses qui créent des situations de blocage.

Aussi, les responsables provinciaux et régionaux des STEP (notamment l'ONEE-BE) sont faiblement impliqués dans l'élaboration des plans de gestion des déchets ménagers et assimilés stipulés par la loi 28-00, et ce ne peut qu'aggraver davantage la gestion future des boues.

Concernant la valorisation agricole des boues, étant la filière la plus durable, il n'existe pas d'entité leadership qui se charge de la planification de cette filière, de l'établissement des plans d'épandage, de l'encadrement des usagers ainsi que du suivi et de la surveillance des périmètres de valorisation.

IV.1.2. Contraintes techniques

Sur le plan technique, on note une insuffisance en référentiels techniques en matière de valorisation et de gestion des boues adaptés au contexte marocain. En effet, en dehors de quelques travaux de recherche, il n'existe pas à ce jour de projet pilote de

valorisation agricole ou énergétique réalisé à une échelle représentative et avec succès.

Aussi, les mesures d'atténuation formulées dans les EIE (Etude d'Impact sur l'Environnement) des stations d'épuration, relatives à la gestion et la valorisation des boues sont souvent traitées de manière générique.

Même pour les STEPs adoptant des prétraitements des boues produites (principalement épaissement et déshydratation mécanique), Les niveaux de siccité (20 à 22% au maximum) ne sont pas appropriés pour la majorité des filières d'élimination et de valorisation des boues. Par ailleurs, ces boues insuffisamment déshydratées causent des frais de transport élevés (transport d'eau) et favorisent une surproduction des lixiviats, ce qui entrave principalement la mise en décharge des boues.

IV.1.3. Contraintes sociales et financières

Parmi les contraintes d'ordre social et financier entravant la mise en place des filières de gestion et de valorisation des boues, on note :

- Insuffisance en information et communication sur la valeur ajoutée de valorisation des boues dont principalement la valorisation agricole ;
- Absence d'essais de démonstration sur la valeur agronomique des boues et leur innocuité en cas d'adoption des normes d'usage ;
- Absence de vulgarisation auprès des agriculteurs à propos de l'innocuité des boues conformes aux normes de réutilisation,
- Coût occasionné pour le traitement des boues en fonction des usages : coût de déshydratation mécanique (énergie, polymères, etc.), coût des autres options : bio séchage, compostage, etc., coût de transport, redevances de mise en décharge, etc.

La **Figure 2** présente l'arbre des principales contraintes entravant la gestion durable des boues au niveau national.

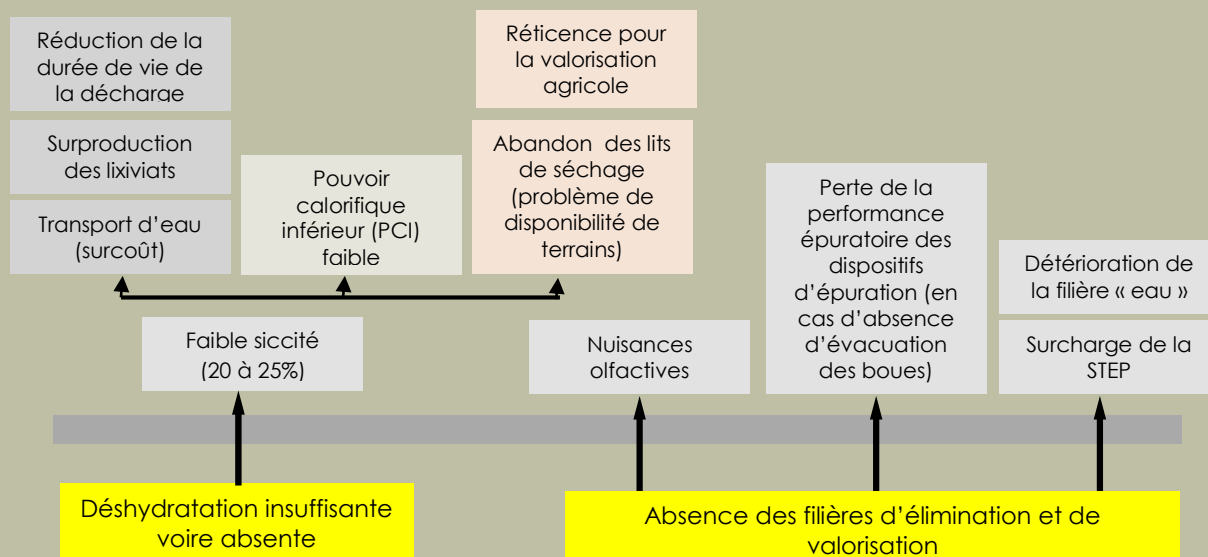


Figure 2. Arbre des contraintes entravant la gestion durable des boues au Maroc⁴

Si l'on tente de hiérarchiser les contraintes entravant la mise en place des filières de gestion et de valorisation des boues au Maroc, **les contraintes réglementaires et institutionnelles apparaissent durablement comme le principal facteur. Ces contraintes constituent des préalables fondamentaux pour trouver des issues aux différents blocages constatés et pour asseoir des modes de gestion durable des boues.**

IV.2. OPPORTUNITES DE GESTION DES BOUES EN ZONES RURALES

En zones rurales, à l'instar de la réutilisation des eaux usées traitées en irrigation, la valorisation des boues s'avère d'une grande importance de par sa valeur agronomique et sa richesse en nutriments.

Par ailleurs, l'agriculture présente le flux économique le plus important dans les zones rurales. En outre, il n'y a pas de nécessité de transport du fait que la valorisation de ces sous-produits peut être faite localement (proximité des terrains agricoles aux habitats).

V. BENCHMARK INTERNATIONAL SUR LES FILIERES DE GESTION DES BOUES EN ZONES RURALES

Avant de rapporter les différentes filières de gestion des boues dans les zones rurales à l'échelle internationale, il est important d'attirer l'attention sur le fait que ces sous-produits ont un statut différent à travers les pays (**Tableau 3**).

⁴ Inspiré des arbres des problèmes liés à la filière « boues » en Tunisie (ONAS-Kfw-Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 2006. Plan d'action pour la gestion des boues de stations d'épuration) et adapté au contexte marocain

Tableau 3. Statut des boues d'épuration des eaux usées selon les pays

Statut des boues	Pays	Textes réglementaires
Déchets	Union européen	Les « boues provenant du traitement des eaux usées urbaines », considérées comme déchets, figurent dans la rubrique n° 19 08 05 de la Décision du 03/05/00 de la Commission des Communautés Européennes.
	Allemagne	Etant des déchets, les boues sont soumises à la loi relative aux cycles des matières et à la gestion des déchets, qui stipule trois options : l'évitement des déchets, leur valorisation et leur élimination ⁵ .
Déchets urbains	France	Le statut déchets est confirmé par deux textes : L'article R211- 27 du Code de l'environnement, et l'article 2 du Décret 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues issues du traitement des eaux usées ⁶ 7.
	Suisse	Loi fédérale sur la protection de l'environnement, article 31b Ordonnance sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED) du 4 décembre 2015, article 10
Déchets particuliers	Tunisie	Loi 96 – 41 du 10 juin 1996, Article 24 précise que les modalités de la gestion des boues sont fixées par des décrets : Cas du décret n° 13 du 3 janvier 2007
Supplément d'engrais, matières fertilisantes	Canada	Les boues sont traitées et réutilisées comme des amendements fertilisants (biosolides), ou utilisées séchées comme une matière première pour la fabrication des engrais ou amendements fertilisants : biofertilisants ⁸
	France	Code rural, article L255-1, étant une matière qui assure et améliore la nutrition des végétaux.

Dans ce cadre, il importe de signaler qu'en absence de réglementation spécifique aux boues au Maroc, on se propose qu'à l'instar de ce qui est en vigueur dans d'autres pays, le compost issu des boues doit être normalisé pour transiter de la logique « déchet » vers une logique « produit ».

En effet, le compostage des boues est une alternative de les transformer en un produit final commercialisé de la même manière qu'un engrais organique ou support de culture. Le compost résultant est un produit doit être normé, tracé et sécurisé. Il doit notamment respecter des teneurs en organismes pathogènes et en métaux lourds plus strictes que les valeurs limites imposées sur les boues traitées utilisées directement sur les sols. Son statut de produit doit faire qu'aucun acteur (producteur, transformateur, utilisateur) ne peut s'extraire de la chaîne de responsabilité en cas de défectuosité du produit.

⁵ MdE Ministère délégué de l'environnement 2010. Etude pour l'Elaboration de la Stratégie Nationale de Gestion des Boues des Stations d'Epuration des Eaux au Maroc

⁶ Tezcan M. 2013. Elimination des boues d'épuration en Suisse

⁷ SOeS (Service de l'observation et des statistiques) 2014. L'épandage des boues de stations d'épuration urbaines et industrielles sur les sols agricoles (<http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/272/1122/lepandage-boues-stations-depuration-urbaines-sols.html>)

⁸ CMM (Communauté Métropolitaine de Montréal), CIRAIG (Centre international de référence sur le cycle de vie des produits, procédés et services). 2007. Valorisation des boues d'épuration municipales

V.1. ALLEMAGNE

En Allemagne, les principales filières de gestion des boues sont comme le montre la Figure 3.

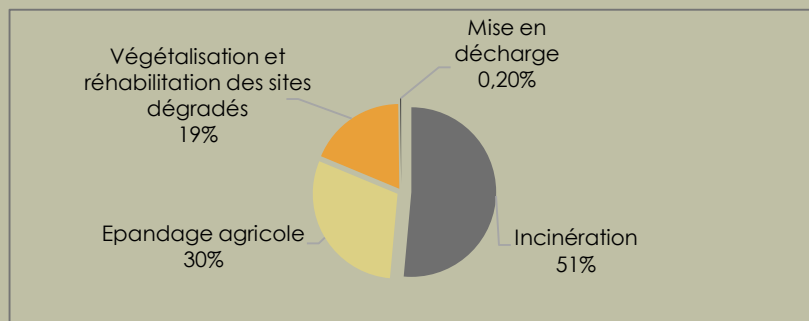


Figure 3. Les différentes filières de gestion des boues en Allemagne (2013)⁹

Pendant les dernières années, la mise en décharge des boues en Allemagne a fortement diminué pour atteindre seulement 0.2% en 2013. La quantité de boues incinérées ou co-incinérées a continuellement augmenté. De même pour la valorisation verte des boues (épandage agricole et végétalisation et réhabilitation des sols dégradés).

Concernant la valorisation des boues en zones rurales¹⁰, la filière verte, et plus précisément l'utilisation agricole des boues, est la plus répandue surtout dans les régions Ouest. Et ce se justifie, principalement, du fait que les stations d'épuration se trouvent à proximité des terrains agricoles et que les eaux usées traitées sont d'origine domestique. En outre, et du fait de la faible population raccordée au réseau de la STEP, à la différence du milieu urbain, l'acceptabilité publique est facilement admissible.

Les boues, digérées (digestion aérobie), sont stockées, à l'état humide, dans des réservoirs jusqu'à ce qu'elles soient récupérées par les agriculteurs.

Pour de nombreuses stations, les boues sont déshydratées par unité mobile de déshydratation, et sont destinées à l'épandage.

Cependant, il est à souligner que la généralisation de cette filière reste entravée par le fait que les agriculteurs sont encore moins enclins à accepter les boues en raison de rapports dramatiques de substances nocives.

La **Figure 4** rapporte les différents systèmes de traitement et de gestion des boues en zones rurales en Allemagne.

⁹ La Stratégie Nationale de Gestion des Boues des Stations d'Épuration au Maroc. (2011). Rapport phase I. Version définitive.

¹⁰ Steinle Eberhard. 1993. Sludge treatment and disposal systems for rural areas in Germany. War. Sci. Tech. Vol. 27, No.9, pp. ISI}-171

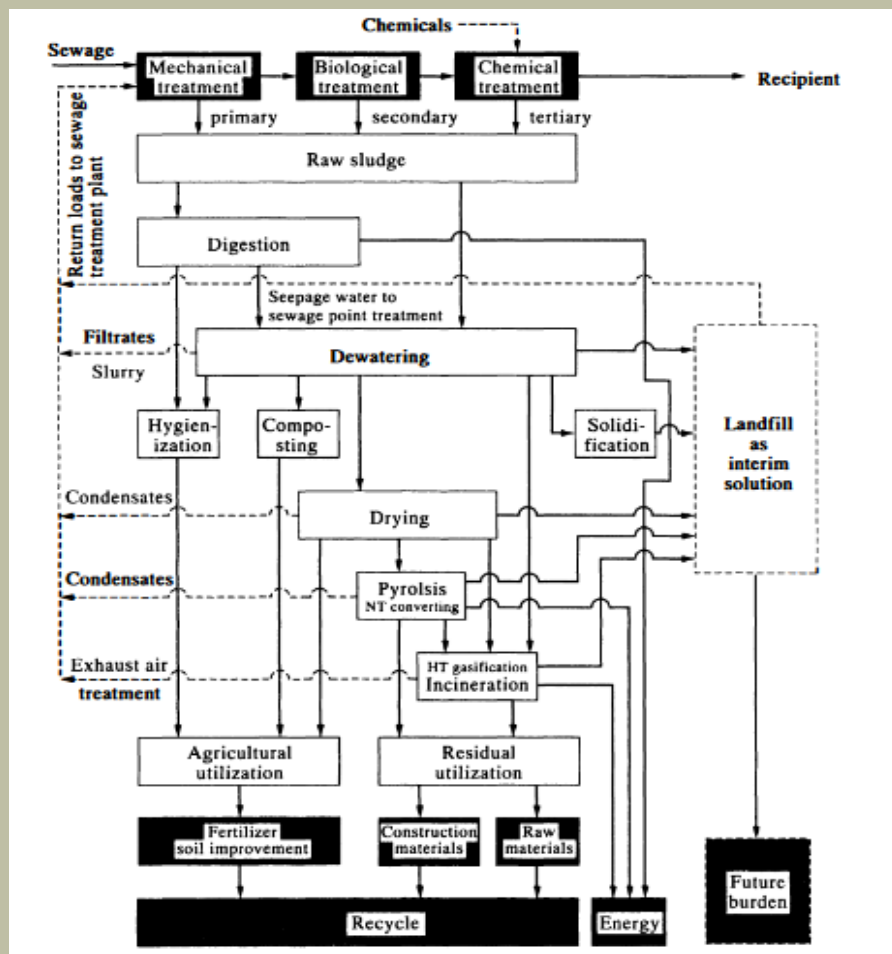


Figure 4. Système de traitement et de gestion des boues en zones rurales, Allemagne¹¹

V.2. FRANCE

En France, et comme le montre la **Figure 5**, l'épandage agricole et le compostage sont les deux principales destinations des boues à l'échelle nationale (73%).

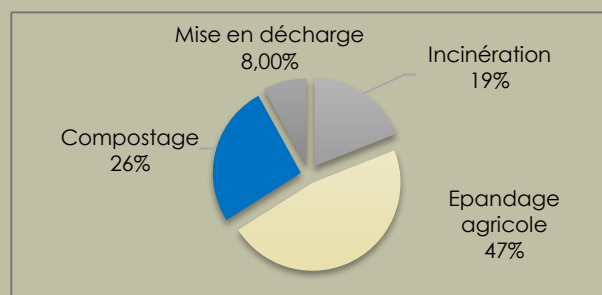


Figure 5. Les principales filières de gestion des boues en France ¹²

¹¹ Steinle Eberhard. 1993. Sludge treatment and disposal systems for rural areas in Germany. War. Sci. Tech. Vol. 27, No.9, pp. ISI]-171

¹² <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/306/305/assainissement-boues-depuration-leur-traitement.html>

L'épandage agricole des boues est considéré comme la pratique la plus adoptée dans les petites communes rurales en France comme en union européenne. En effet, cette pratique est jugée la plus favorable sur le plan écologique et économique pour les conditions locales en comparaison avec la mise en décharge et l'incinération. La mise en décharge des boues devient de plus en plus difficile du fait des contraintes techniques et économiques. L'incinération, quant à elle, coûte trop cher aux petites communes¹³.

Par ailleurs, le lagunage et les filtres plantés de roseaux sont les deux principaux procédés d'épuration des eaux usées adoptés. Ces procédés, rustiques et extensifs, assurent un étalement de la question du devenir des boues sur une période d'environ 5 ans. Encore plus, les boues résultantes sont épaissies et se prêtent à l'épandage.

Les conditions de réalisation et de suivi d'épandage agricole des boues sont définies dans un plan d'épandage. Il s'agit d'une étude préalable à l'épandage, réalisée par le producteur de boues, à la charge financière de la commune, qui relate, entre autres, les aspects suivants :

- Tonnage de boues produites ;
- Caractéristiques physico-chimiques des boues ;
- Liste des parcelles agricoles concernées par les campagnes d'épandage dont un échantillon représentatif servira de parcelles de référence ;
- Caractéristiques physico-chimiques des sols à travers des analyses d'échantillons de sols des parcelles de référence, et ce, avant l'épandage ensuite tous les deux ans pour le système d'épandage intensif et tous les cinq ans pour le système d'épandage extensif ;
- Préconisations spécifiques d'utilisation des boues (calendrier prévisionnel d'épandage, dose utilisée/unité culturale, etc.).

Il est important de souligner que l'acceptabilité constitue un paramètre clé. De nombreux agriculteurs refusent encore l'épandage de boues, et multiplient les pressions pour obtenir des garanties contre tout risque ultérieur. Le syndrome de la vache folle est encore bien présent dans les esprits¹⁴.

Pour le cadre de valorisation des boues en agriculture, la loi française distingue deux voies en fonction du statut des boues. En effet, **les boues sont soit épandues dans le cadre de la réglementation sur les déchets, qui impose la mise en place d'un plan d'épandage soumis à décision préfectorale, ou étant que « produit », après traitement ultérieur dont le compostage, selon des critères de qualité**. Le compost de boues entre dans la catégorie « produit » quand il est conforme à la norme NFU44-095 relative aux amendements organiques obtenus par compostage et contenant des matières issues du traitement des eaux, d'intérêt agronomique.

¹³ <https://www.senat.fr/questions/base/2001/qSEQ010331478.html>

¹⁴ AMF (Association des Maires de France). Guide pratique pour les collectivités locales. Le maire et les boues dépurées

La **Figure 6** rapporte les voies réglementaires de l'épandage agricole des boues.

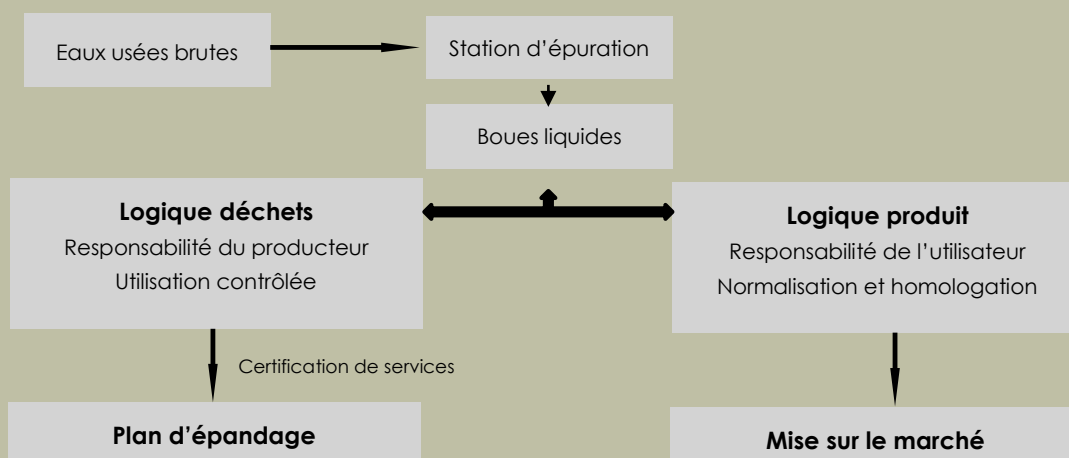


Figure 6. Schéma des voies réglementaires de l'épandage agricole des boues en France¹⁵

Les principaux traitements possibles avant l'épandage de boues sont rapportés dans la **Figure 7**.

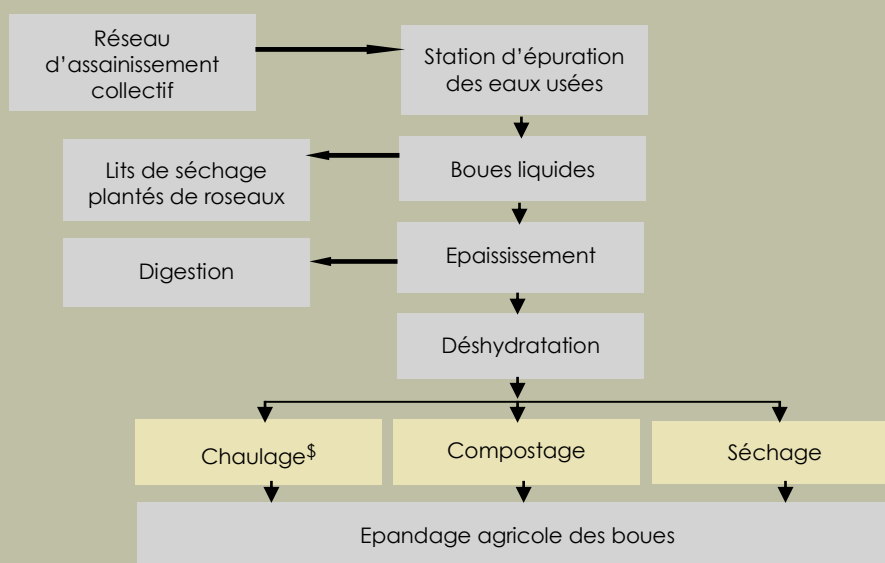


Figure 7. Principaux procédés de traitements avant l'épandage agricole des boues¹⁶¹⁷

\$ L'utilisation de la chaux pour le conditionnement de boues peut présenter un intérêt dans le cas de sols acides

¹⁵ AMF (Association des Maires de France). Guide pratique pour les collectivités locales. Le maire et les boues dépurées

¹⁶ AMF (Association des Maires de France). Guide pratique pour les collectivités locales. Le maire et les boues dépurées

¹⁷ SATESE (Syndicat d'Assistance Technique pour l'Épuration et le Suivi des Eaux d'Indre et Loire). Les filières d'épuration pour les petites collectivités. Retours d'expérience du SATESE 37. (<http://www.satese37.fr/doc/filieres.pdf>)

V.3. L'UNION EUROPEENNE

L'épandage agricole des boues est soumis à un encadrement réglementaire très strict. Les standards de qualité pour les boues et les sols récepteurs sont définis par la directive 86/278/CEE relative à la protection de l'environnement, et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture.

Jusqu'à 2006, et selon la CE, les boues non traitées ne sont plus épandues sur les parcelles agricoles. Ceci est valable pour l'Espagne, la république tchèque, Danemark, Finlande, Allemagne, Hongrie, Italie, Luxembourg, le pays bas, Slovaquie, Slovénie et pour le Royaume-Uni.

A l'heure actuelle, la commission européenne mène des études relatives à la révision de cette directive. Cette opportunité a comme objectif l'évaluation de l'efficience de la directive concernant l'épandage des boues de manière à éviter tout risque pouvant atteindre l'environnement.

V.4. LA TUNISIE

La réglementation tunisienne en matière de gestion des boues est encore peu développée. La filière « boues » reste très peu adoptée voire absente dans la plupart des STEP. Par ailleurs, dans la majorité des cas, les boues sont traitées par stabilisation aérobie suivie d'un épaissement puis d'un séchage naturel ou d'une déshydratation mécanique pour être acheminées vers la décharge, très souvent non contrôlée, ou être stockées en tas à proximité des STEP.

La valorisation agricole des boues a été interdite en 1998, chose qu'avait causée une accumulation des boues dans les stations d'épuration ce qui a généré une situation de blocage. La reprise de de cette filière a été timidement relancée en 2008, et elle avait nécessité l'établissement des normes d'utilisation pour éviter les risques sanitaires et environnementaux. Ce processus a été consolidé par la promulgation du décret n° 2007-13 du 13 janvier 2007 fixant les conditions et les modalités de gestion des boues, la publication des normes tunisiennes NT 106.20, ainsi que la création d'un comité national chargé de suivi et de l'évaluation des boues dans le domaine agricole¹⁸.

¹⁸GORSE F. 2007. Situation de l'assainissement liquide Tunisie

VI. ASPECTS SANITAIRES DE LA VALORISATION AGRICOLE DES BOUES D'ÉPURATION

VI.1. TYPES DE PATHOGÈNES CONTENUS DANS LES BOUES NON HYGIÉNISÉES

Les principaux germes pathogènes présents dans les boues sont rapportés dans le **Tableau 4**.

Tableau 4. Principales maladies associées aux pathogènes des boues résiduaire

Type d'organisme	Pathogène
Bactérie	Salmonelle Mycobactérium Shigella Esherichia Coli Leptospires
Virus	Enterovirus Adénovirus Virus hépatique
Protozoaire	Toxoplasme Giardia
Nématodes ou helminthes Cestodes	Ascaris Toxocara Ténia

VI.2. GESTION DE LA CONTRAINTE LIÉE AUX PATHOGÈNES

VI.2.1. Stabilisation et hygiénisation des boues

Pour sécuriser la pratique de valorisation des boues, il est indispensable de procéder à leur hygiénisation ou leur stabilisation. Celle-ci peut être biologique, chimique ou thermique et s'applique l'ensemble des types de boues.

Stabilisation biologique

La stabilisation biologique réduit la teneur des boues en matières organiques fermentescibles. Elle s'opère soit par voie aérobie (en présence d'oxygène) dans les bassins d'aération ou dans des bassins de stabilisation aérobie, soit par voie anaérobie dans des digesteurs avec production de biogaz (méthane). Ce type de stabilisation une disparition quasi-totale des odeurs. Les deux types de stabilisation (aérobie et anaérobie) conduisent à la production de boues stabilisées. Il est important d'attirer l'attention que la stabilisation anaérobie concerne surtout les installations de plus de 100.000 EH.

Le compostage ou co-compostage est aussi un mode de stabilisation aérobie des boues. Il s'agit souvent d'un traitement de stabilisation biologique complémentaire, destiné à la fabrication d'un compost.

Stabilisation chimique

La stabilisation chimique bloque l'activité biologique. Les deux types, les plus utilisés sont :

a. Le chaulage

Le chaulage des boues qui consiste à ajouter une proportion importante de chaux vive ou éteinte (10 à 50% de la matière sèche) ce qui fait augmenter significativement le pH. Rappelons que ce type de stabilisation suppose une déshydratation préalable des boues, sauf dans le cas du filtre-presse où un lait de chaux est mélangé aux boues liquides. Bien que le chaulage des boues connaisse un développement important notamment en Europe du Nord, en raison de son efficacité dans les sols acides, il demeure non recommandé pour la plupart des sols de la région de l'Afrique du Nord et de l'Orient, souvent riches en carbonate de calcium dont le pH est majoritairement neutre à basique.

b. Stabilisation aux sels de nitrite

De prime abord, il convient de rappeler que ce type de stabilisation semble être et mieux adapté, techniquement et économiquement, aux petites stations d'épuration. Il permet une stabilisation efficace par oxydation des composés malodorants, une inhibition de l'activité fermentative, ainsi qu'une hygiénisation (il élimine la plupart des germes fécaux). L'opération ne dure que deux heures environ.

Ce procédé permet aussi d'augmenter la siccité des boues (2 à 5% de plus) ainsi que leur qualité fertilisante, ce qui se révèle particulièrement intéressant en vue d'une utilisation agricole. Il pourrait être ainsi être une solution alternative au chaulage non adapté aux sols marocains de pH neutre à basique.

Le séchage solaire naturel prolongé

Cette technique assure une suppression des pathogènes. En effet, les essais réalisés au Maroc et plus précisément à Ouarzazate (Xanthoulis, 1996)¹⁹, ont montré que les œufs de parasites ont complètement disparus des boues après 8 mois de séjour dans les lits de séchage (**Figure 8**). Rappelons que la connaissance du niveau de contamination helminthique des boues demeure une priorité si on désire les utiliser en agriculture.

¹⁹Xanthoulis D. - Rapport de synthèse : Réutilisation des eaux usées à des fins agricoles, Ouarzazate, Maroc. PNUD, FAO, MARA – Maroc, 1996

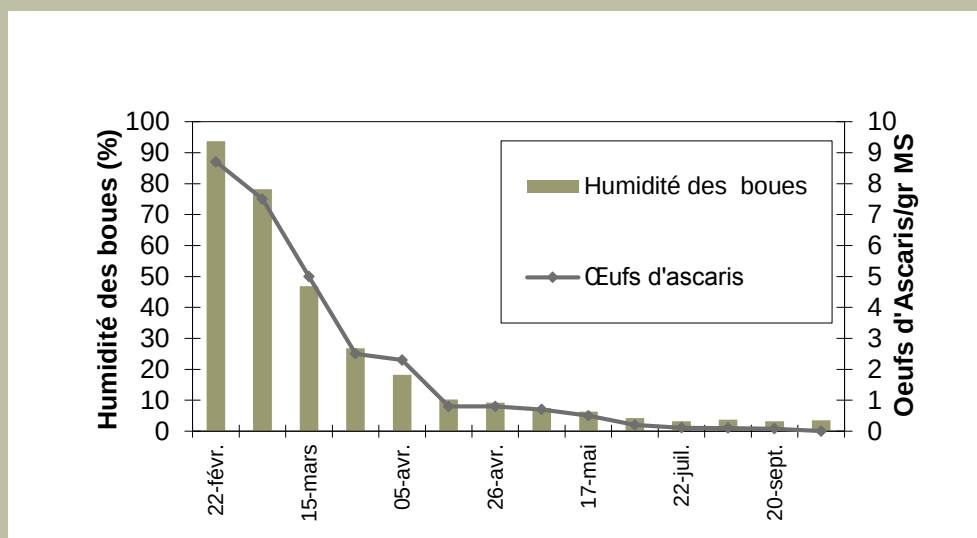


Figure 8. Evolution de l'humidité des boues et du nombre d'œufs d'Ascaris

Après séchage naturel des boues, plusieurs destinations sont possibles:

- L'utilisation directe comme amendement des sols agricoles dans le cas d'un séchage prolongé permettant la suppression des pathogènes,
- Le co - compostage avec les déchets ménagers ou agricoles et addition ou non d'autres agents structuraux.
- La mise à la décharge lorsque aucune des précédentes destinations n'est envisageable.

VI.2.2. Facteurs pédoclimatiques atténuant les risques liés aux pathogènes des boues

En général les bactéries et les virus n'ont pas une grande survie dans le sol à cause de leur faible compétitivité (Elliott and Ellis, 1977)²⁰. Leur survie dépend également de plusieurs facteurs édaphiques et environnementaux : la température, l'ensoleillement, l'humidité, la matière organique du sol, le pH et la texture du sol (Watson, 1980; Pahren *et al.*, 1979)^{21 22}.

Le **Tableau 5** relate des ordres de grandeur de la durée de survie des pathogènes dans le sol et sur la plante.

²⁰Elliott, L. F. and J. R. Ellis, 1977. "Bacterial and Viral Pathogens Associated with Land Application of Organic Wastes." *Journal of Environmental Quality* 6:245-51.

²¹Watson, D. C. 1980. "The Survival of Salmonellae in Sewage Sludge Applied to Arable Land." *Water Pollution Control* 79:11 18.

²²Pahren, H. R., J. B. Lucas, J. A. Ryan, and G. K. Dotson, 1979. "Health Risks Associated with Land Application of Municipal Sludge." *Journal of the Water Pollution Control Federation* 51 :2588-2601.

Tableau 5. Durée de survie des pathogènes dans le sol et sur la plante (Doran et al. 1976)²³

Organisme	Durée de survie (en jours)	
	Surface de la plante	Dans le sol
<i>Bactéries</i>		
Salmonelle	1-42	7-168
Shigella	1-7	
Mycobacterium	10-49	90-450
Leptospira		15-43
Erysipelothrix		21
<i>Virus</i>		
Entérovirus	4	27-170
Poliovirus		32
<i>Parasites</i>		
Entamoeba	3	8
histolytica	27-35	2-6 <u>ans</u>
Ascaris lumbricoides ova		

Une tentative de faire le point des travaux sur la survie des bactéries et des virus dans le sol, après application des boues, permet d'émettre les principaux constats suivants :

- La période d'application conditionne de manière significative la survie des virus qui peut varier de quelques jours à plus de trois mois selon qu'on applique les boues en été ou en hiver ;
- Les températures élevées au niveau de la surface du sol et la dessiccation sont des facteurs importants d'élimination des virus et des bactéries ;
- La texture du sol, et par conséquent la surface spécifique ainsi que la CEC, favorisent l'adsorption des virus ce qui augmente leur survie tout en les gardant hors hôtes.

En somme, on peut dire que les conditions marocaines, les conditions pédoclimatiques, constituent des facteurs additionnels d'atténuation des risques pathogènes liés aux boues.

VI.3. NORMES DE PATHOGENES DANS LES BOUES ET LE COMPOST DES BOUES

VI .3.1. BENCHAMRK INTERNATIONAL

Espagne

Le **Tableau 6** relate les concentrations maximales admissibles dans les boues utilisées en agriculture en Espagne.

²³Doran, J.W., J.R. Ellis and T.M. McCalla. 1976. Microbial concerns when wastes are applied to land. In : Land as waste management alternatives. R.C. Loehr (ed.). Ann. Arbor Sci. Publ., Inc. Ann Arbor, MI. pp. 343-361

Tableau 6. Concentrations maximales admissibles dans les boues d'épuration utilisées en agriculture en Espagne, article 10 de l'arrêté du 28 mai 1998 sur les engrais.

Agent pathogène	Concentrations maximales admissibles
Salmonelles	Absence dans 25 g de matière fraîche
Escherichia coli	10 ³ NNP ²⁴ / g

France

Les concentrations des agents pathogènes admissibles dans les boues en France sont rapportées dans le **Tableau 7**.

Tableau 7. Concentrations des agents pathogènes admissibles dans les boues en France²⁵

Agent pathogène	Valeur limite contenue dans les boues
Coliformes	Absence
Salmonelles	<8 NPP/10g MS
Œufs d'Helminthes	<3 NPPUC/10g MS ²⁶
Entérovirus	<3/10gMS

Tableau 8. Concentrations maximales des agents pathogènes admissibles dans le compost des boues selon la norme française NF U44-095 (2002)

Agent pathogène	Concentrations maximales admissibles	
	Toutes cultures sauf maraîchères	Cultures maraîchères
<i>Escherichia coli</i>	10 ⁴ /g M.B	10 ³ /g M.B
<i>Clostridium perfringens</i>	10 ³ /g M.B	10 ² /g M.B
Entérocoques	10 ⁵ /g M.B	10 ⁵ /g M.B
Œufs d'Helminthes (variables)	Absence dans 1 g de M.B	Absence dans 25 g de M.B
Salmonelles	Absence dans 1 g de M.B	Absence dans 25 g de M.B
Entérovirus	-	-
<i>Listeria monocytogenes</i>	Absence dans 1 g de M.B	Absence dans 25 g de M.B

Jordanie

Le **Tableau 9** relate les concentrations maximales admissibles dans les boues en Jordanie.

²⁴NPP : Nombre le Plus Probable

²⁵ Article 16 de l'arrêté de 8 janvier 1998 relatif aux les prescriptions techniques applicables aux épandages de boues sur les sols agricoles

²⁶NPPUC : Nombre le Plus Probable d'Unités Cytopathiques

Tableau 9. Concentrations maximales admissibles dans les boues en Jordanie, JS 1145/2006

Agent pathogène	Unité	Types de boues		
		Type I	Type II	Type III
Coliformes fécaux	MPN/g MS	< 1 000	< 2 000 000	-
Salmonelle	MPN/4g MS	< 3	-	-
Nématodes intestinaux	Oeufs/4g MS	< 1	-	-
Entérovirus	PFU/4g MS	< 1	-	-

MPN = le nombre le plus probable

PFU = PlackForming Unit (unité de formation de plaques)

Tunisie

Selon les normes microbiologiques tunisiennes, les boues doivent avoir des concentrations en Coliformes Fécaux inférieures à $2 \cdot 10^6$ CF (en NPP/g de MS)²⁷.

Autres pays

Selon une revue de littérature réalisée rapportée par Andreoli et al. (2010)²⁸, les valeurs moyennes les plus récurrentes des concentrations maximales des pathogènes sont rapportées dans le **Tableau 10**.

Tableau 10. Valeurs moyennes des concentrations maximales des pathogènes dans les boues

Pathogènes	Concentration maximale admissible
Coliformes thermo-tolérants	< 10^3 MPN/ g MS
Œufs viables d'helminthes	< 0, 25 œufs/g MS
Salmonelle	3 MPN/4 g MS
Virus	< 0,25 UFP/ g MS

MPN : le nombre le plus probable (the most probable number)

MS : matière sèche

UFP : Unité de formation des plaques

VI.3.2. Normes marocaines

A ce jour, aucun texte réglementaire définissant les normes et les conditions d'utilisation et de valorisation des boues en agriculture n'est publié.

Récemment, le Département de l'Eau, avec l'appui du Projet AGIRE/GIZ, a élaboré un projet de décret relatif à l'élimination et la valorisation des boues d'épuration au Maroc, qui est en cours d'examen par les parties concernées dont notamment le Département de l'Agriculture.

A titre indicatif, les valeurs limites recommandées sont relatées dans les tableaux 11 et 12.

²⁷ Ghariani F., et al.2006. Plan d'action pour la gestion des boues de stations d'épuration en Tunisie

²⁸ C.V. Andreoli, L.H.P. Garbossa, G. Lupatini and E.S. Pegorini. 2010. Wastewater Sludge Management : A Brazilian Approach

Tableau 11. Valeurs limites des pathogènes dans les boues admissibles en agriculture (Projet Décret-Maroc)

Agent pathogène	Valeur limite contenue dans les boues
Coliformes	Absence
Salmonelles	< 8 NPP /10g MS
Oeufs d'Helminthes	< 3 NPPUC /10g MS
Entérovirus	< 3 /10gMS

NPP : Nombre le Plus Probable

NPPUC : Nombre le Plus Probable d'Unités Cytopathiques

Tableau 12. Valeurs limites des concentrations des agents pathogènes dans le compost des boues (Projet Décret – Maroc)

Agent pathogène	Concentrations maximales admissibles	
	Toutes cultures sauf maraîchères	Cultures maraîchères
<i>Escherichia coli</i>	10 ⁴ /g M.B	10 ³ /g M.B
<i>Clostridium perfringens</i>	10 ³ /g M.B	10 ² /g M.B
Entérocoques	10 ⁵ /g M.B	10 ⁵ /g M.B
Oeufs d'Helminthes (variables)	Absence dans 1 g de M.B	Absence dans 25 g de M.B
Salmonelles	Absence dans 1 g de M.B	Absence dans 25 g de M.B
Entérovirus	-	-
<i>Listeria monocytogenes</i>	Absence dans 1 g de M.B	Absence dans 25 g de M.B

MB : matière brute

VII. REVUE DES SYSTEMES D'EPURATION GENERATEURS DES BOUES EN ZONES RURALES

Cette partie décrit les différents procédés de traitement des eaux usées, majoritairement adoptés en milieu rural. La taille de la population raccordée et le degré de dispersion des habitations restent les facteurs qui conditionnent le choix de la technique d'épuration.

VII.1. BASSINS DE LAGUNAGE

Cette technique est bien adaptée au traitement des effluents domestiques et fonctionne dans la plupart des conditions climatiques, mais plutôt en climats chauds et ensoleillés. Les grandes superficies requises pour la mise en œuvre des bassins rendent le lagunage plus intéressant dans les zones rurales où le coût et la disponibilité des terrains ne sont pas des contraintes.

Pour que le traitement des effluents soit optimal, les bassins de lagunage doivent être connectés en séries de trois : bassin anaérobie, bassin facultatif et bassin de maturation aérobie.

Les boues sont produites principalement dans le premier bassin. Elles représentent un mélange de boues stabilisées et de boues fraîchement déposées. Les boues stabilisées représentent la part la plus importante.

L'évacuation des bassins doit se faire tous les 10 à 20 ans et plus fréquemment pour le bassin aérobie.

VII.2. FILTRE PLANTE

Il s'agit d'une technologie simple du point de vue exploitation et entretien, facilitant grandement la gestion des boues, et renforcée par sa bonne l'aptitude à l'intégration dans le paysage rural.

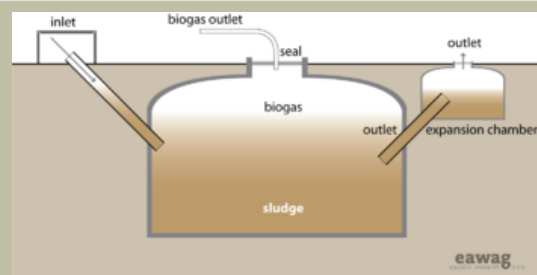
Ce dispositif de traitement est généralement constitué de deux étages en série. Il se forme alors une accumulation de boues sur le 1er étage. Le rôle principal des roseaux est d'empêcher la formation d'une couche colmatante en surface. Cette technique repose sur les mécanismes de filtration superficielle et d'oxydation de la pollution par les bactéries aérobies fixées sur le milieu granulaire.

VII.3. FILTRE A SABLE ET A GRAVIER

Ce procédé épuratoire consiste à filtrer les eaux usées prétraitées au travers d'un milieu granulaire insaturé (présence d'oxygène) sur lequel se fixe la biomasse épuratoire. Cette dernière est composée de bactéries, d'algues filamenteuses, de diatomées, de protozoaires, de rotifères, de petits vers et d'autres petits organismes. Elle capte et digère la matière organique, les bactéries et les algues mortes contenues dans les eaux usées.

VII.4. DIGESTEUR CLASSIQUE (OU REACTEUR ANAEROBIE A BIOGAZ)

Il s'agit d'un procédé de traitement anaérobie qui produit des boues digérées et du biogaz. Une fois que les déchets entrent dans la chambre de digestion, des gaz sont formés par suite de fermentation. Les gaz formés dans les boues remontant avec les eaux et sont collectés au-dessus du réacteur.



Les boues produites sont riches en matières organiques et nutriments, mais presque inodore et en partie désinfectée. Le biogaz produit (mélange de méthane, de dioxyde de carbone et d'autres gaz traces) peut être converti en électricité.

VII.5. REACTEUR ANAEROBIE A FLUX ASCENDANT A DEUX ETAGES (RAFADE)



Les eaux usées rentrent dans le réacteur par le fond, et coulent vers le haut. Une couche de boues suspendue composée de granulés microbiens filtre et traite les effluents pendant leur passage.

Les boues produites sont stabilisées et se prêtent à la réutilisation.

VII.6. FOSSE SEPTIQUE

La fosse septique est une technologie d'assainissement individuel ou semi-collectif (cas d'habitations concentrées) l'option technique la plus accessible en milieu rural et aussi en milieu urbain. Elle est typiquement constituée de plus de deux compartiments. Le traitement par ce dispositif reste partiel. Pour atteindre des niveaux supérieurs de traitement, la fosse doit être connectée à un lit d'infiltration ou à un réseau d'assainissement (**Figure 9**).

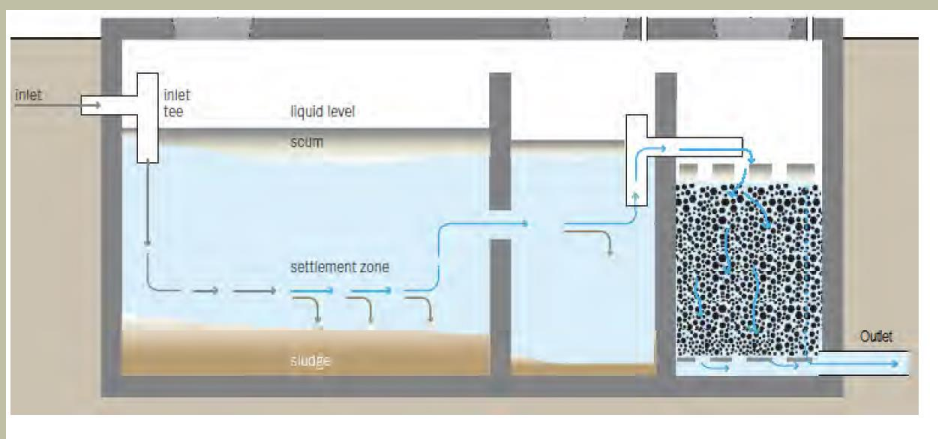
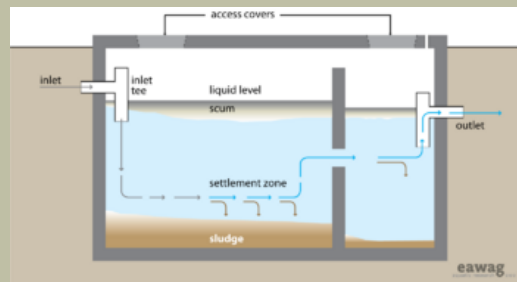


Figure 9. Modèle de fosse septique installée sur les blocs sanitaires avec système de filtration à travers un lit bactérien (pouzzolane)²⁹

²⁹ Projet projet WASHplus /USAID. 2010. Systèmes à moindre coût pour la gestion des boues de blocs sanitaires : Techniques courantes et Options améliorées pour les Cas d'Ambositra et de Mahanoro (Madagascar)

Selon les études de cas menées à Madagascar par le Projet WASHplus de l'USAID (2010), la fosse doit être contrôlée tous les 3 mois pour s'assurer que les boues ne risquent pas de colmater le système. Pour ce faire : soulever les dalles et mesurer le niveau de boues avec une perche. Contrôler que les tés et le lit bactérien ne soient pas bouchés.

L'objectif de la vidange est d'extraire l'excès de boues et les éventuels déchets. Il ne s'agit pas de désinfecter la fosse. Si celle-ci fonctionne correctement, il est possible de ne vider que l'écume en surface et les boues en fond de fosse et de laisser la partie liquide en place. En outre, la fosse ne doit pas être vidée complètement, un peu de dépôt doit être conservé pour maintenir le processus de digestion.

La fréquence de vidange d'une fosse est déterminée lors de sa conception. La formule suivante relie la fréquence de vidange aux différents paramètres d'une fosse septique :

$$F = (V_f - V_e) / (N \times F_e \times A)$$

Avec :

F : Nombre d'année entre 2 vidanges (en année)

V_f : Volume total de la fosse (en L)

V_e : Volume d'eau entrant quotidiennement dans la fosse (en L)

N : Nombre d'usagers résidents Gestion de boues à moindre coût | washplus.org | 5

F_e : Facteur environnemental (1,5 dans notre cas)

A : Taux d'accumulation de boues moyen (80L /usagers/an)

En général, les boues produites sont évacuées (vidangées) de la fosse d'une manière régulière (tous les 2 à 5 ans). Deux modes de vidange s'envisagent : la vidange par camion (méthode conventionnelle) et la vidange manuelle, souvent informelle et généralement insalubre.

Le **Tableau 13** rapporte les caractéristiques des boues produites par les principaux procédés de traitement des eaux usées, les plus adoptés en milieu rural.

Tableau 13. Caractéristiques des boues produites par les principaux procédés de traitement adoptés en milieu rural ³⁰

Origine des boues	Filières concernées	Nature de stabilisation	Les boues extraites		
			Siccité (% de MS)	Volume extrait	Fréquence d'extraction
Lagunage	Lagunage naturel	Anaérobie	<<1%	1,2 à 3 m ³ par habitant	7 à 10 ans
		Médiocre cône de sédimentation)	1%	10 m ³ (capacité de la sur profondeur)	1 fois par an
	Lagunage aéré	Anaérobie	<<1%	1 m ³ par habitant	1 fois par an
Fosse septique toutes eaux	F. enterrés Epannage souterrain	Anaérobie	1%	400 l par habitant	Tous les 3 ans
Digesteur	Infiltration percolation	Anaérobie	5%	90 l par habitant	2 fois par an
	Lit bactérien Disques biologiques		5%	120 l par habitant	2 fois par an
Filtres plantés de roseaux		Aérobie	>20%	100 à 200 l par habitant	Tous les 10 ans

VIII. ARBRE DECISIONNEL SUR LE CHOIX DES FILIERES DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION DES BOUES

VIII.1. UTILITE DE L'OUTIL ET CRITERES DE SELECTION

L'arbre décisionnel est un outil qui permet au gestionnaire de savoir quelles filières de traitement – valorisation répondent le mieux aux caractéristiques du contexte géographique et socio-économique, et à ses priorités (minimalisation des coûts et des risques économiques, gestion du risque sanitaire, minimisation des impacts environnementaux). Ainsi, sur la base des fiches de procédés ou de technologies disponibles, et en fonction des critères clés, on construit cet arbre décisionnel.

Les principaux critères retenus pour la sélection des options technologiques de traitement et de valorisation des boues en milieu rural sont les suivants :

- Quantité de boues produites (taille de l'installation) ;
- Type de boues produites ;
- Qualité des boues (siccité, présence de pathogènes, métaux lourds ou d'autres polluants) ;
- Contexte socio-économique ;

- Données climatiques ;
- Possibilité de regroupement des boues liquides de petites installations en vue d'un traitement mutuel.

VIII.2. SCHEMA DECISIONNEL DE CHOIX DES FILIERES DE TRAITEMENT - VALORISATION DES BOUES ISSUES DES DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT COLLECTIF

L'outil décisionnel élaboré pour permettre la sélection des filières de traitement-valorisation- « élimination » est décliné en deux arbres décisionnels :

ARBRE DECISIONNEL # 1

Le premier arbre décisionnel (Figure 10) relate le processus de sélection de choix du mode de valorisation possibles des boues en milieu rural en se basant sur l'état des boues et le type d traitement (déshydratation, séchage, co-compostage), et ce indépendamment de la taille de l'agglomération et donc du volume de boues. Cet arbre donne la flexibilité de choix lorsqu'on peut agir sur le critère « taille des agglomérations -volume des boues) en ayant recours au regroupement du service d'assainissement à l'échelle d'une ou plusieurs communes. Comme on peut le constater, cet arbre décisionnel débouche sept voies (5 voies de valorisation verte, une voie de valorisation énergétique et une voie d'élimination par la mise en décharge).

Le **Tableau 14** définit les principales conditions d'application de ces voies d'élimination et de valorisation des boues en milieu rural marocain.

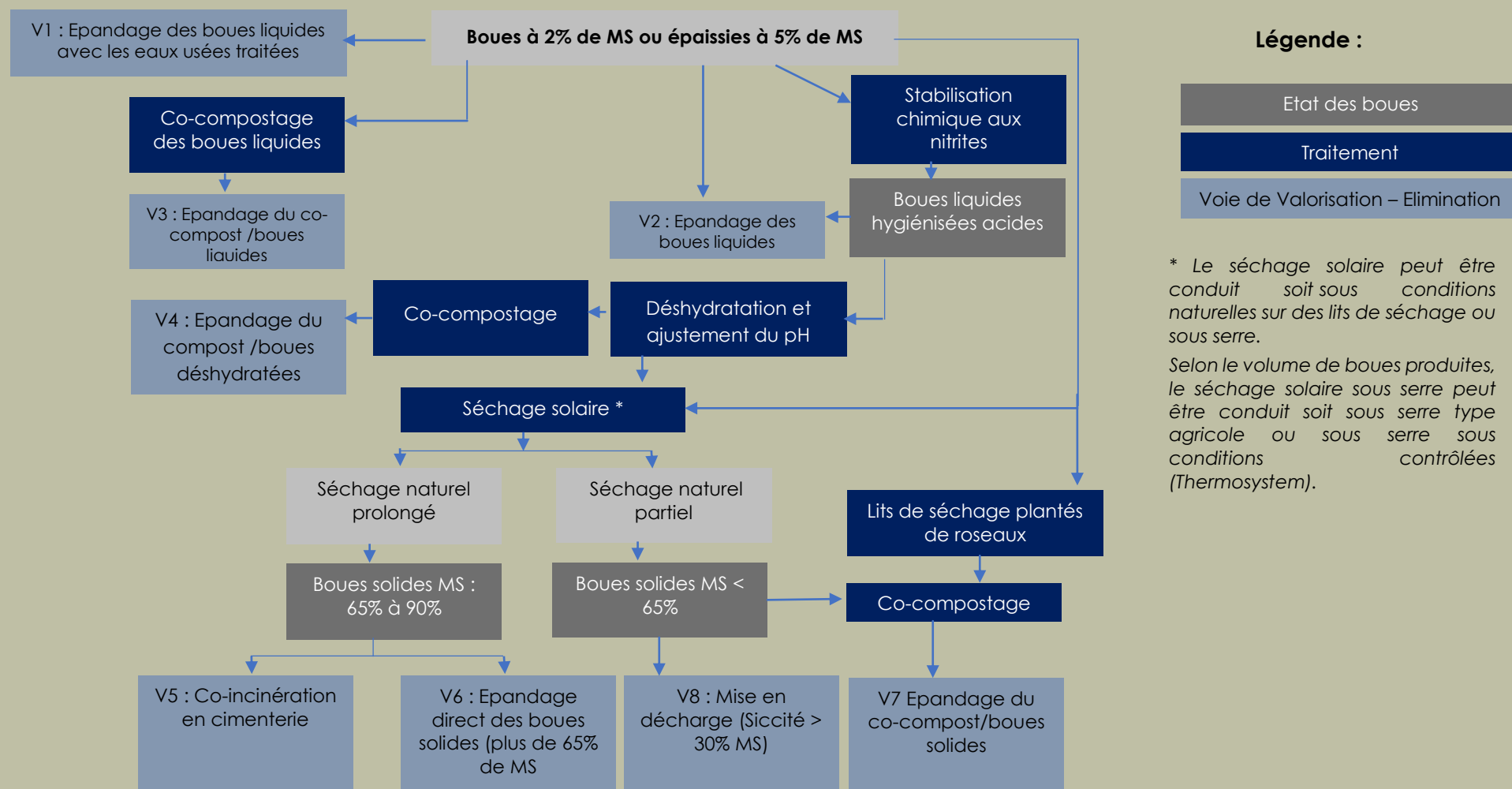


Figure 10. Schéma décisionnel de choix des filières de traitement et de valorisation des boues issues des dispositifs d'assainissement collectif rural

Tableau 14. Matrice récapitulative des conditions d'application des voies d'élimination et de valorisation des boues en milieu rural marocain

Voie de valorisation – élimination	Conditions d'application	Mesures d'optimisation	Ordre de préférence pour le rural marocain	Avantages majeurs	Inconvénients majeurs	Niveau de génération d'emplois et d'entrepreneuriat verts (services)
V1 : Epandage des boues liquides avec les eaux usées traitées	- Faible quantité de boues (<5-10 T MS/an) - Boues hygiénisées (absence de pathogènes) et stabilisées préalablement - Disponibilité de vergers d'arboriculture (arbres et arbustes ornementaux)	Transport de boues en citernes et irrigation des vergers	1	- En dehors de la stabilisation, aucun traitement de boues n'est requis à l'intérieur de la STEP - Option applicable même sur pente	- Gain agronomique escompté faible à modéré - Risque environnemental (lixiviation des nitrates si la nappe est vulnérable) - En cas de vergers sur pente à l'amont d'une retenue de barrage, risque d'eutrophisation - Coût de transport	++
V2 : Epandage des boues liquides	- Boues liquides à la sortie de la STEP dépourvue d'installation de déshydratation - Faible quantité de boues (<5-10 T MS/an) - Boues hygiénisées - Disponibilité des vergers d'arboriculture ou des arbres et arbustes ornementaux	Transport de boues en citernes et irrigation des vergers		- En dehors de la stabilisation, aucun traitement de boues n'est requis à l'intérieur de la STEP - Option applicable même sur pente	- Gain agronomique escompté faible à modéré - Risque environnemental (lixiviation des nitrates si la nappe est vulnérable) - En cas de vergers sur pente à l'amont d'une retenue de barrage, risque d'eutrophisation - Coût de transport	++
V3 : Epandage du co-compost	Boues liquides à la sortie de la STEP dépourvue	Utilisation des déchets organiques (autres que la boue) à l'état sec ; les	2	Economie de séchage /	Plateforme de compostage coûteuse (coût rapporté à une	++++

Voie de valorisation – élimination	Conditions d'application	Mesures d'optimisation	Ordre de préférence pour le rural marocain	Avantages majeurs	Inconvénients majeurs	Niveau de génération d'emplois et d'entrepreneuriat verts (services)
à base de boues liquides	- d'installation de déshydratation - Disponibilité d'autres matières organiques compostables (déchets verts urbains, déchets verts agricoles, bois de taille, etc.	- boues permettraient ainsi d'amener l'humidité du tas à 50-55% - Privilégier le broyage de bois ou injecter de la sciure de bois - Eriger le co-compost en biofertilisant (mise en conformité avec la réglementation) - Possibilité de mettre en place une plateforme de co-compostage collectif pour les petites agglomérations		- déshydratation préalable - Valorisation de l'eau et de la matière organique des boues - Amélioration de la qualité des sols et apport d'eau - Suppression totale des pathogènes par compostage	- unité de volume de boues) - Requiert une technicité et un monitoring des paramètres de compostage - Coût d'épandage	
V4 : Epandage des boues déshydratées (siccité minimale de 22%)	- Boues hygiénisées - Disponibilité de vergers arboricoles et d'espaces verts arborés - Application sur les cuvettes des arbres fruitiers ou arbres et arbustes ornementaux (pas sur les cultures basses)	Pour les petites installations, prévoir un équipement mobile (collectif/communal ou paiement de service chez des jeunes entrepreneurs) de déshydratation (centrifugeuse)	3	- Economie de séchage (terrain pour le séchage naturel et énergie pour le séchage thermique) - Amélioration de la qualité des sols et apport d'eau	Présence d'une source d'électricité	++++
V5 : Co-incinération des boues MS > 65%	Présence d'une cimenterie ou chaudière à une distance < 30 km du site de séchage	En cas de petites installations, prévoir une plateforme de séchage collective et adopter le séchage solaire contrôlé de type thermo-system	6	Economie d'énergie calorifique	- Coût de transport - Critères d'acceptation des boues par les cimentiers et industriels - Produits concurrentiels notamment les	++++

Voie de valorisation – élimination	Conditions d'application	Mesures d'optimisation	Ordre de préférence pour le rural marocain	Avantages majeurs	Inconvénients majeurs	Niveau de génération d'emplois et d'entrepreneuriat verts (services)
		- Eriger le co-compost en biofertilisant (mise en conformité avec la réglementation) - Possibilité de mettre en place une plateforme de co-compostage collectif pour les petites agglomérations			grignons d'olives dans les zones oléicoles (Marrakech, Fès-Saïs, Béni Mellal, Oriental, etc.)	
V7 : Epanchage du Co-compost à base de boues solides (45-65%)	Disponibilité des terrains agricoles Toutes les cultures sont concernées Disponibilité d'autres déchets organiques à proximité de la plateforme de compostage	- Privilégier les autres déchets de rapport (carbone/Azote) élevé - Eriger le co-compost en biofertilisant (mise en conformité avec la réglementation) - Possibilité de mettre en place une plateforme de co-compostage collectif pour les petites agglomérations - Quantités de boues requises > 500 T MS/an	4	- Amélioration de la qualité des sols et de la productivité agricole - Suppression totale des pathogènes - Passage de la logique « déchet » à la logique « biofertilisant »	- Coût de séchage - Coût d'investissement élevé (selon l'expérience marocaine sur les déchets ménagers (400-500 DH/tonne) pour les grandes installations et en moyenne 1500 DH/tonne pour les petites installations	++++
V6 : Epanchage direct des boues solides MS > 65%		- Applicables à la majorité des cultures (Toutefois, se conformer à la réglementation) - Requiert un plan d'épandage et un registre de suivi	5	- Amélioration de la qualité des sols et de la productivité agricole - Possibilité d'appliquer la technique d'épandage du fumier connue	Coût de séchage	++++

Voie de valorisation – élimination	Conditions d'application	Mesures d'optimisation	Ordre de préférence pour le rural marocain	Avantages majeurs	Inconvénients majeurs	Niveau de génération d'emplois et d'entrepreneuriat verts (services)
				par les agriculteurs marocains		
V8 : Mise en décharge	Proximité d'une décharge communale	Prévoir plutôt la végétalisation des anciennes décharges que le dépôt dans la décharge	7	• Solution de dernier recours lorsque les autres options ne sont pas faisables • Faible coût	• Difficulté d'arrangement institutionnel entre les opérateurs de l'assainissement et les collectivités locales (acceptabilité, non clarté du statut des boues au Maroc, etc.)	+

ARBRE DECISIONNEL # 2

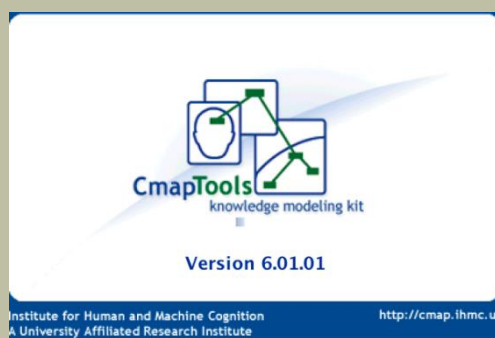
Ce second arbre décisionnel se propose l'introduction du critère « taille des agglomérations - volume des boues produit ». En effet le critère « taille des agglomérations rurales », et son corollaire « volume des boues produit » sont cruciaux pour la sélection des technologies de traitement-valorisation. Ainsi, ce critère agrégé (taille – volume) peut être décliné en trois niveaux (faible, moyen et élevé). Pour avoir des fourchettes, de ces niveaux, quantifiées et plus ou moins réalistes tenant compte du contexte rural marocain, on s'est proposé de les baser sur les données et ratios établis à partir des statistiques démographiques (HCP) et des objectifs du PNAR dont notamment :

- i. Une population rurale concernée par l'assainissement rural de l'ordre de 13,5 Millions habitants répartis ;
- ii. Une répartition de cette population en 1282 communes ;
- iii. Chaque commune compte entre 5000 à 1000 habitants ;
- iv. Un nombre moyen de douars par commune estimé entre 20 et 30 douars ; et
- v. Une population par douar variant entre 200 à 500 habitants.

Ainsi, sur la base de ces ratios et du taux moyen de production des boues qui est de l'ordre de 40g MS/hab. jour³¹, tenant compte des technologies de valorisation formulées, les fourchettes retenues, correspondant aux trois niveaux du critère agrégé « Taille – Volume », sont les suivantes :

Niveau	Quantités de boues (T MS/an)
Faible	5 - 10
Moyen	100 - 200
Elevé	> 1000

Cet arbre décisionnel, est illustré par la **Figure 11** générée par l'Outil CmapTools. Cet outil permet une construction logique et enchaînée des suggestions de construction du processus décisionnel. Sa robustesse permet aussi d'attacher à chaque concept « case » des documents et données utiles pour l'appréhension soit du prétraitement, soit du traitement soit de la voie de valorisation. Ainsi, des photos et toutes les fiches techniques (traitement et valorisation) sont consultables en arrière-plan de ce schéma conceptuel, en cliquant sur l'icône situé à la base ou au-dessus d'un concept (case) ou sur une flèche faisant le lien entre les cartes conceptuelles. Ces liens, eux-mêmes, permettent de définir les conditions de passage d'un concept (une décision » à un autre.



³¹ Valeur moyenne calculée sur base des ratios de production de boues qui sont de l'ordre de 60g MS/hab/j et 20g MS/hab/j respectivement pour le système intensif et le système extensif

Une version active sera fournie au Projet GIZ- Cluster « Eau » sur CD-ROM pour visualisation complète et modification éventuelle.

Le site de téléchargement est le suivant :
http://www.01net.com/telecharger/windows/Loisirs/education_et_scolarite/fiches/130931.html

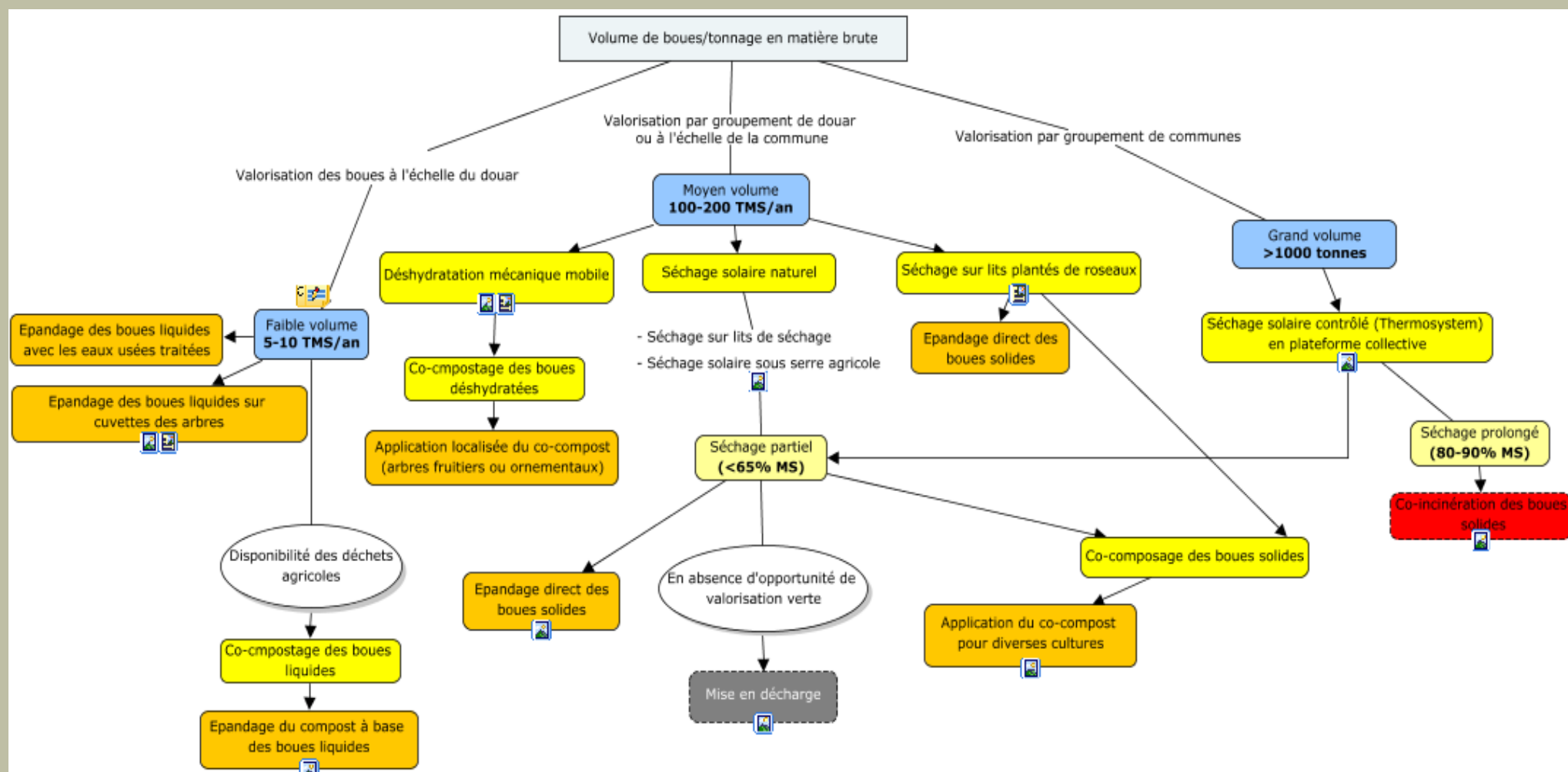


Figure 11. Arbre décisionnel de choix des filières de traitement et de valorisation des boues selon le critère agrégé « taille des agglomérations - volume des boues produit »

Dans le but de faire un raccourci de choix des filières possibles de traitement-valorisation, il a été jugé utile de construire une matrice reliant directement les niveaux de critère « taille des agglomérations – volume des boues, en considérant l'option de regroupement des douars et des communes (**Tableau 15**).

Tableau 15. Les échelles de traitement et de valorisation des boues selon le tonnage produit

Echelle	Tonnage de boues (T MS/an)	Filière de traitement-valorisation possible
Valorisation à l'échelle d'un douar	5-10	F1 : Epandage des boues liquides préalablement stabilisées avec les eaux usées traitées F2 : Epandage des boues liquides stabilisées F3 : Co-compostage des boues liquides → Epandage du co-compost
Valorisation à l'échelle de la commune	100-200	F1 : Déshydratation mécanique mobile des boues → Co-compostage des boues déshydratées → Application localisée du co-compost F2 : Séchage solaire partiel (MS<65% MS) → Epandage des boues solides F3 : Séchage solaire partiel (MS<65% MS) → Mise en décharge (en absence d'opportunité de valorisation verte) F4 : Séchage des boues sur lits de séchage plantés de roseaux (LSPR) → Co-compostage → Application du co-compost F5 : Séchage des boues sur LSPR → Epandage direct des boues solides
Valorisation par un groupement de commune	>1000	F1 : Séchage solaire contrôlé (Thermosystem) en plateforme collective, prolongé (80-90% MS) → Co-incinération (en cas de proximité d'une cimenterie) F2 : Séchage solaire contrôlé (Thermosystem) en plateforme collective, séchage partiel (<65% MS) → Epandage des boues solides

VIII.3. SCHEMA DECISIONNEL DE CHOIX DES FILIERES DE TRAITEMENT ET DE VALORISATION DES BOUES ISSUES DES DISPOSITIFS D'ASSAINISSEMENT AUTONOME (BOUES DE VIDANGE)

La première étape du traitement des boues de vidange consiste en général en une stabilisation des boues et en une séparation des phases solide et liquide.

En effet, la fraction liquide peut être traitée avec les techniques conventionnelles de traitement des eaux usées. La fraction solide, en fonction de la destination finale, subit un traitement visant l'amélioration de ses caractéristiques en vue d'une mise en décharge ou d'une valorisation agricole.

En cas d'une valorisation agricole, et d'après la littérature^{32 33}, la **Figure 12** présente un aperçu d'options potentielles pour le traitement des boues de vidange pour une valorisation agricole.

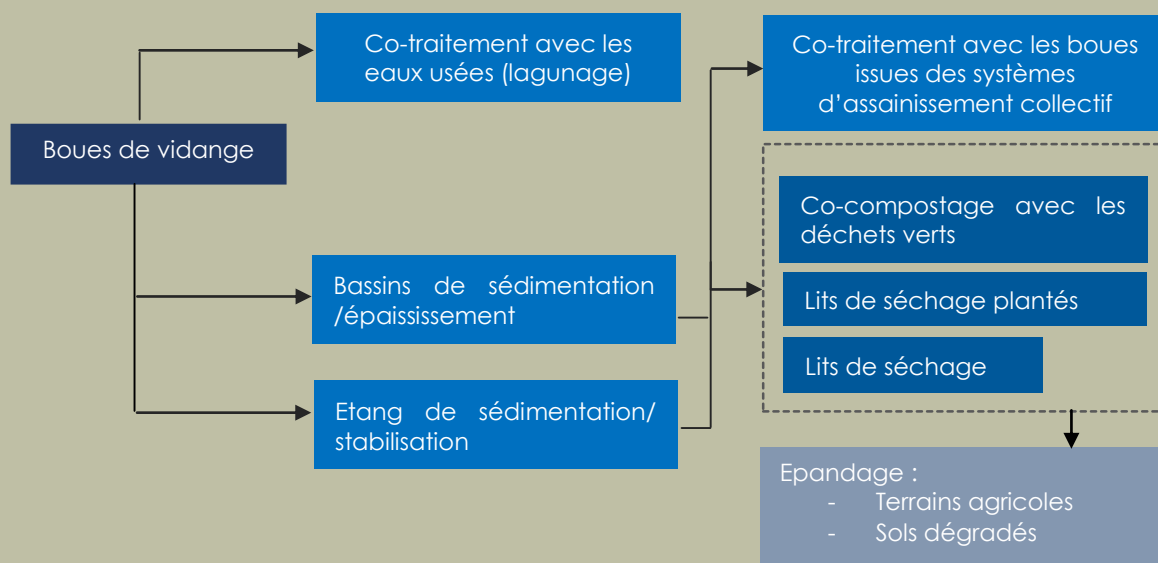


Figure 12. Schéma des différentes options de traitement et de valorisation des boues de vidange

Le **Tableau 16** rapporte les conditions d'application des voies de traitement et de valorisation des boues de vidange.

³² Agnès Montangero, Martin Strauss et Abdrahamane Dembélé. 2000. Gestion des boues de vidange : Parent pauvre de l'assainissement et défi à relever.

³³ EAWAG/SANDEC. 2002. Gestion des boues de vidange dans les pays en développement. Manuel de planification

Tableau 16. Matrice récapitulative des conditions d'application des voies de traitement et de valorisation des boues de vidange

Voie de valorisation – élimination	Conditions d'application	Ordre de préférence	Avantages majeurs	Inconvénients majeurs	Niveau de génération d'emplois
Co-traitement des boues de vidange fraîches avec des eaux usées ou des boues d'épuration	- L'existence d'une station d'épuration en place ou en projet. - La STEP doit avoir des capacités suffisantes pour l'accueil supplémentaire des boues de vidange.	1	- Le co-traitement est économiquement rentable. - Les boues de vidange peuvent être traitées avec des techniques fiables	Gaspillage de la boue en cas d'interdiction de la valorisation agricole à cause des fortes charges en polluants chimiques des EU ou boues d'épuration	+
Bassins de sédimentation/épaississement	- Boues partiellement stabilisées comme celles provenant de fosses septiques ou de la plupart des autres systèmes d'assainissement. - Boues issues des toilettes publiques non raccordées en mélange avec des boues mieux stabilisées.	3	- Système simple et fiable - Faible emprise au sol	Ne convient pas au traitement des BV fraîches	+
Etangs de sédimentation/stabilisation	- Disponibilité de l'espace dans la station - BV fraîches	3	- Dispositif rustique - Bon marché et simple d'exploitation. - Fournit une meilleure décantation que les bassins de sédimentation. - Potentiel de stabilisation	Forte demande en espace	+
Lits de séchage	Les lits de séchage ne peuvent accueillir les BV fraîches non diluées (mauvaise déshydratation, odeurs).	2	- Faible teneur en eau des boues séchées et assez bonne qualité des percolats - Technologie bien maîtrisée et d'une grande fiabilité	Les boues ne sont pas hygiénisées contrairement aux lits plantés)	++
Lits de séchage plantés	Ils sont préconisés lorsqu'une valorisation agricole est envisagée.	2	- Boues hygiénisées et déshydratées - Faibles coûts d'exploitation et d'entretien	- Faucardage annuel ou pluriannuel; - Régularité de l'alternance de l'alimentation	++

Voie de valorisation – élimination	Conditions d'application	Ordre de préférence	Avantages majeurs	Inconvénients majeurs	Niveau de génération d'emplois
			• Meilleure qualité des percolats • Bonne intégration paysagère • Adaptation aux petites collectivités		
Co-compostage avec les déchets verts	• Disponibilité des terrains agricoles • Disponibilité d'autres déchets organiques (déchets agricoles ou autres)	1	• Amélioration de la qualité des sols récepteurs • Hygiénisation des boues • Passage de la logique « déchet » à la logique « biofertilisant »	• Coût de séchage • Coût d'investissement élevé en cas de petites quantités de déchets à composter	+++

IX. FICHES TECHNIQUES

Les fiches techniques rapportent un descriptif des différentes filières de traitement et de valorisation des boues issues des dispositifs d'épuration en milieu rural, leurs caractéristiques, les conditions d'application, les principaux impacts environnementaux et risques sanitaires associés, les méthodes de dimensionnement, la faisabilité économique, etc.

Elles sont structurées comme suit :

- Principe de fonctionnement
- Conditions d'application et principales étapes
- Aspects sanitaires et environnementaux
- Conception et dimensionnement
- Entretien et maintenance
- Faisabilité économique
- Qualité du produit
- Avantages et inconvénients

Fiche de procédé : Stabilisation chimique aux nitrites

Principe de fonctionnement et performances

La stabilisation chimique aux nitrites consiste en l'utilisation des nitrites (NO_2^-) comme réactif pour réduire la fermentescibilité des boues dans le but d'atténuer voire supprimer les mauvaises odeurs (Figure 13).

Cette technique de traitement aux nitrites est bien adaptée, techniquement et économiquement, aux petites stations d'épuration.

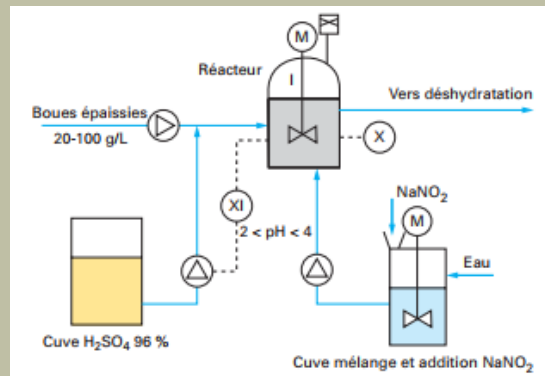


Figure 13. Principe d'une unité de stabilisation aux nitrites³⁴

Elle assure une stabilisation assez performante par oxydation des composés malodorants et une inhibition de l'activité fermentative. Ce procédé permet aussi d'augmenter la siccité des boues (2 à 5% de plus) ainsi que leur qualité fertilisante, ce qui se révèle particulièrement intéressant en vue d'une utilisation agricole.

Conditions d'application et principales étapes

- La stabilisation chimique aux nitrites présente un intérêt avant l'épandage et constitue une alternative au chaulage. Il est indiqué pour le cas du Maroc où les sols sont majoritairement alcalins et ne peuvent pas accueillir des boues chaulées.
- Le procédé de traitement peut être mis en œuvre selon deux modes :
 - **Mode stabilisation et hygiénisation partielle** : Les boues épaissies sont admises dans un milieu acide maintenu à un pH de l'ordre de 3. Elles sont soumises, pendant un minimum de 30 minutes à l'action des ions nitrites NO_2^- .
 - **Mode stabilisation et hygiénisation poussée**: Le principe de fonctionnement est le même que dans le premier cas, avec une optimisation des paramètres (pH plus faible : 2, temps de séjour plus long : au moins 2 heures et une concentration plus forte de nitrites)

Aspects sanitaires et environnementaux

- La stabilisation chimique des boues peut également être envisagée comme un procédé d'hygiénisation. Cette hygiénisation est obtenue lorsque la stabilisation est effectuée correctement.

³⁴ Abdelkader GAÏD. Traitement des boues.
(<http://197.14.51.10:81/pmb/CHIMIE/TRAVAUX%20D'HYDRAULIQUE/c5221.pdf>)

Qualité du produit

- Les boues produites sont hygiéniques et stabilisées, et peuvent être stockés sans aucun risque.

Limitations/difficultés

- Le traitement des boues aux nitrites nécessite la manipulation de réactifs chimiques, la gestion de la remontée du pH avant épandage (maîtrise de la remontée du pH après plusieurs mois de stockage).
- Les possibilités de compostage de boues stabilisées aux nitrites sont peu connues.

Fiche de procédé : Déshydratation des boues par unité mobile (transportable)

Principe de fonctionnement et performances

Il s'agit d'une unité de déshydratation montée sur un camion dont le principe de fonctionnement est le même qu'une unité de déshydratation statique (**Figure 14**).

Cette technique est adaptée aux petites stations < 5000 équivalent habitant. Elle permet de diminuer très fortement le volume de boues produites et de mutualiser les coûts entre plusieurs stations (plusieurs douars).



Figure 14. Unité mobile de déshydratation

La déshydratation peut être effectuée au moyen d'unité mobile de type :

- Filtre presse mobile à plateaux chambrés
- Filtre presse mobile à plateaux membranes
- Centrifugeuse mobile bi-phasique ou tri-phasique
- Filtre à bandes mobile

Le choix de l'unité mobile à mettre en place est lié à la qualité physico-chimique des boues (abrasivité, densité des boues, etc.).

La siccité obtenue après déshydratation doit être de l'ordre de 20 à 30% pour permettre une bonne opération de compostage. L'étape de déshydratation, à elle seule, ne permet pas toujours d'atteindre les objectifs escomptés. Il est parfois souhaitable de prévoir une étape supplémentaire de séchage. De plus, en cas de valorisation agricole ou de stockage prolongé, une stabilisation s'avère nécessaire.

Conditions d'application et principales étapes

- Les stations d'épuration devront être équipées d'un espace d'accueil pour l'unité mobile, avec système de récupération des lixiviats produits par la déshydratation. L'espace doit être bétonné, équipé d'un muret technique pour brancher l'unité mobile à l'eau et à l'électricité.
- Les lixiviats produits devront être retournés en tête de la station.
- Les stations devront être munies d'un espace de stockage des boues brutes et d'un espace de stockage des boues déshydratées en attente d'une voie de valorisation.



Figure 15. Muret technique³⁵



Figure 16. Aire de stockage des boues déshydratées³⁶

Aspects sanitaires et environnementaux

- La déshydratation mécanique n'est pas un procédé d'épaississement, l'hygiénisation a aussi lieu mais n'y est pas visée et contrôlée.
- La maîtrise du risque sanitaire repose sur l'application de règles de bonnes pratiques :
 - Respecter les valeurs limites des paramètres de qualité des boues
 - Interdire l'épandage en cas de dépassement de certaines valeurs

Avantages et inconvénients

Avantages	- Aucun investissement - Pas de coûts d'entretien et de maintenance - Equipement compact - Mutualisation d'un équipement onéreux - Contrôle des nuisances par captage intégral - Limitation des nuisances olfactives
Inconvénients	- Gestion collective - Disponibilité limitée - Retours en tête de station d'effluents concentrés

³⁵ Conseil général de Dordogne. 2011. Etude faisabilité pour la valorisation des boues liquides des stations d'épuration

³⁶ Conseil général de Dordogne. 2011. Etude faisabilité pour la valorisation des boues liquides des stations d'épuration

Fiche de procédé : Séchage solaire sur lits de séchage

Principe de fonctionnement et performances

Les lits de séchage sont des ouvrages constitués de bacs en béton dont le plancher est rendu étanche par une bâche ou un radier béton. Le massif filtrant est composé de couches superposées de galets, graviers et sable grossier (**Figure 17** et **Figure 18**).

Les boues sont directement extraites du clarificateur et transférées après floculation sur le lit. La floculation permet de mieux séparer les boues de l'eau interstitielle et donc d'accélérer la phase de drainage qui devrait être inférieure à 24 h. Ensuite, en fonction des conditions climatiques, les boues égouttées sèchent. Les eaux de drainage retournent en tête de station d'épuration.



Figure 17. Lits de séchage des boues dans la région de Nador au Maroc



Figure 18. Lit de séchage des boues à Ouarzazate

Conception et dimensionnement

- Pour les ouvrages de traitement³⁷ : 0.33 m²/EH.
- En tenant compte des aires de manœuvre : 0.5 à 1 m²/EH

Entretien et maintenance

- Les lits de séchage devront être conçus en tenant compte des contraintes d'entretien (l'accès pour les ouvriers et les camions de vidange des boues).
- La zone de rejet doit être maintenue propre et les drains rincés régulièrement.
- Le sable doit être remplacé quand la couche devient mince.

³⁷ Conseil général de Seine et Marne. Fiche Technique n°2 sur les filières de traitement des boues. Les lits de séchage. (<http://eau.seine-et-marne.fr/library/b114c3e4-aa8e-40bf-a49a-337b9beb3063-Fiche-Technique-boues-n-2-lits-de-s-chage.pdf>)

Aspects sanitaires et environnementaux

- Sur le plan sanitaire, les œufs de parasites disparaissent complètement des boues après 8 mois de séjour dans les lits de séchage (**Figure 8Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). il a été montré par des essais réalisés au Maroc et plus précisément à Ouarzazate (Xanthoulis, 1996)³⁸.
- Les ouvriers devront être équipés de matériel de protection approprié (bottes, gants, et habits).
- Les lits de séchage peuvent causer des nuisances olfactives pour les voisins dues à de mauvaises odeurs et à la présence de mouches. Ainsi, les lits devront être situés suffisamment loin de la population.

Qualité du produit

- Les boues produites présentent un aspect très hétérogène de type pâteux (hiver) à solide (été).
- La siccité moyenne attendue est supérieure à 30 %.

Aspects technico-économiques

- Le temps de retour sur investissement est en moyenne de 20 à 30 ans pour le bâtiment.
- Les frais de réparation et d'entretien des installations peuvent être estimés à 1% du coût de l'installation.
- Les coûts de main d'œuvre sont négligeables. Il n'y a qu'aux entrées et aux sorties de la boue du système de séchage qu'il faut de la main d'œuvre. Dans certaines installations le remplissage et la vidange de l'installation peuvent se faire d'une manière automatique.

Avantages et inconvénients

Avantages	- Coût d'investissement modéré - Conception relativement simple - Filière rustique demandant peu de technicité sur le plan de l'exploitation - Plusieurs destinations envisageables : recyclage agronomique, compostage, centre d'enfouissement technique. - Filière peu consommatrice d'énergie (séchage naturel) - Bonne intégration paysagère
Inconvénients	- Contraintes d'exploitation importantes : procédé non fonctionnel en période de gel, séchage inopérant en période très pluvieuse et besoin de main-d'œuvre élevé

³⁸ Xanthoulis D. 1996. Rapport de synthèse: Réutilisation des eaux usées à des fins agricoles, Ouarzazate, Maroc. PNUD, FAO, MARA – Maroc.

	(ratissage manuel à la fourche et manutention des boues significative) - Coût d'exploitation élevé lié essentiellement au besoin en personnel pour l'enlèvement des boues - Produits pâteux et hétérogène peu intéressant sur le plan agronomique : épandage direct en agriculture plus délicat - Utilisation de sable provenant de carrières éloignées, sites générant un impact environnemental significatif - Nécessité d'une superficie importante pour l'implantation des lits - Nécessité d'une grande rigueur dans la conception et le choix des matériaux filtrants
--	--

Fiche de procédé : Séchage solaire sous serre

Principe de fonctionnement et performances

Le séchage solaire sous-serre (ou séchage solaire en conditions semi-contrôlées) consiste en l'élimination de l'eau contenue dans les boues en profitant de l'énergie solaire et de l'effet serre.

Le taux de séchage reste influencé par plusieurs facteurs, notamment ³⁹:

- La quantité d'eau que l'air peut stocker,
- L'architecture de la serre,
- L'épaisseur du lit de boues,
- La disposition des boues (lits ou andains) et
- La température,
- La vitesse et le mouvement du vent (pour les serres semi-ouvertes).

Cette technique de traitement se positionne comme un procédé intermédiaire, qui préserve l'ensemble des possibilités d'élimination ou de valorisation des boues (valorisation agricole, mise en décharge et incinération).

Différentes technologies sont adoptées pour le séchage solaire. On peut considérer deux grandes catégories :

a. Séchage sous serre en conditions contrôlées

Cette technologie est représentée par le Thermo-System (**Figure 19**), actuellement en plein essor dans les pays développés dont notamment l'Allemagne, l'Autriche et la France, et en cours d'établissement au Maroc (prévue pour les STEPs d'Al Hoceima, de l'OCP-Ben guérir, de Dakhla, de Nador et de Marrakech).

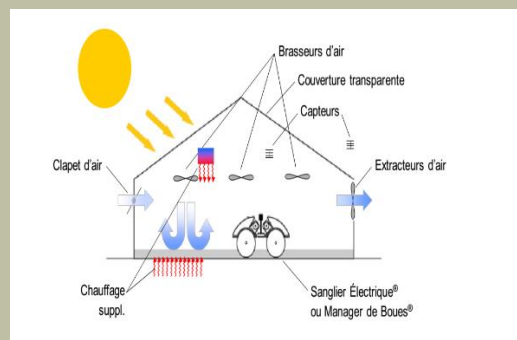


Figure 19. Schéma de principe de fonctionnement de la serre de séchage

En termes de performance, le séchage sous serre permet la déshydratation des boues à des niveaux de siccité de plus de 80%.

Cette technologie peut être adoptée pour un groupe de douars du fait de son coût relativement élevé et son exigence en énergie. Cependant, elle reste favorable pour le contexte rural du fait de la disponibilité de terrain.

³⁹ AMORCE. 2012. Boues de Station d'Épuration : Techniques de traitement, Valorisation et Élimination-Série technique.

b. Séchage solaire dans des serres de type agricole et horticole

Cette technologie est nettement moins coûteuse et plus adaptée au contexte rural. Elle consiste à installer des serres de type agricole sur les lits de séchage (Figure 20).

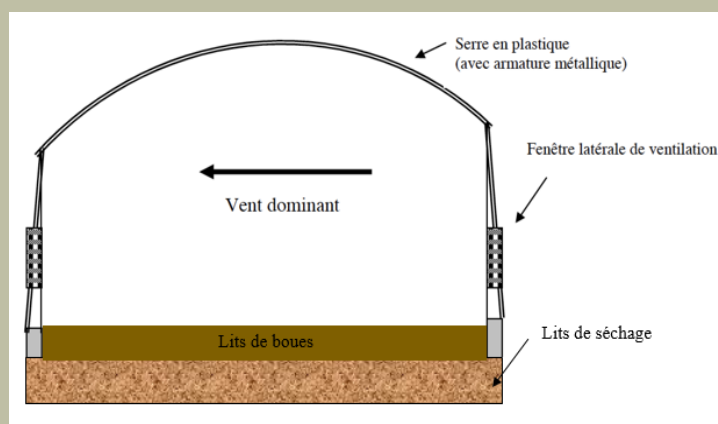


Figure 20. Séchage solaire des boues dans des serres de type agricole

Les performances en termes de déshydratation sont plus importantes si les conditions d'ensoleillement sont favorables.

Le **Tableau 17** présente les avantages et les inconvénients des deux types de serres.

Tableau 17. Avantages et inconvénients des deux types de serres (serre types agricole et serre avec conditions contrôlée)⁴⁰

Type de serre	Avantages	Inconvénients
Serre type agricole	- Conception simple - Limitation des dépenses énergétiques	- Performances de séchage variables dans l'année
Serre fermée (conditions contrôlées)	- Maîtrise de la ventilation et donc du taux de renouvellement - Performance de séchage constante toute l'année - Possibilité d'installer une désodorisation	- Conception de la serre compliquée et coûteuse - Consommation énergétique importante

Concernant les parois de la serre, plusieurs matériaux, disponibles sur le marché, peuvent être utilisés tels que le plastique, le verre ou le polycarbonate. Le matériau utilisé doit permettre la transmission de la lumière avec conservation de la chaleur à l'intérieur de la serre. Le toit de la serre peut être soit sous forme arrondie soit sous forme de chapelle.

Le **Tableau 18** compare entre les trois types de matériaux utilisés comme paroi de la serre.

⁴⁰ Inspiré de (Brison C., J. P. 2010. Le séchage solaire des boues : Etat actuel de l'art et retours d'expérience. Lyon: Cemagref - Département Ecotechnologies)

Tableau 18. Comparaison entre les différents matériaux (Brison et al., 2010)

	Plastique ondulé	Verre	Polycarbonate
<i>Résistance au choc</i>	++	+	+++
<i>Pouvoir d'isolation</i>	++	+	+++
<i>Transmission lumineuse</i>	+	+++	++
<i>Coût</i>	+	+++	++

+ : faible, ++ : moyen, +++ : important

Conditions d'application et principales étapes

- Les boues liquides, à l'état brut ou préalablement déshydraté (20%), sont introduites directement dans les lits de séchage sans stockage temporaire pour éviter tout risque de nuisances olfactives liées au processus de dégradation anaérobie.
- Un apport de flocculant, simultané à l'épandage des boues dans les lits de séchage, s'avère nécessaire pour assurer une bonne structure des boues (**Figure 21**).

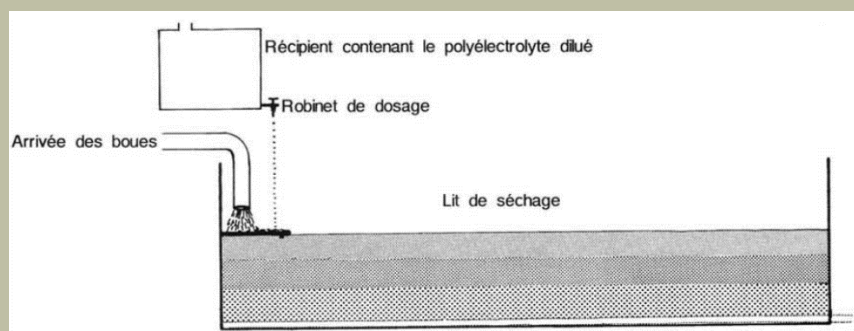


Figure 21. Ajout de l'agent de conditionnement au point d'alimentation des lits de séchage en boues épaissies (FNDAE, 1990)

- Le drainage de lixiviats se fait par le biais des drains placés au fond des lits. Ces drains sont recouverts d'une couche de gravier puis d'une couche de sable fin facilitant la percolation de l'eau. Quelques jours après l'alimentation des lits, la percolation s'arrête et le séchage se poursuit par évaporation. La durée de séchage dépend de l'intensité du rayonnement solaire.
- Quand la boue atteint la siccité requise, leur élimination se fait par grattage de la surface du lit.
- Pour avoir un fertilisant plus hygiénisé, l'option de séchage solaire devrait être complétée en aval par un traitement par co-compostage.

Conception et dimensionnement

- La surface utile de séchage est calculée sur la base du tonnage sec de boues et de la capacité évaporatoire, paramètre qui dépend essentiellement de la saison et de la localisation géographique.

$$S [m^2] = M_{\text{boues}} \times \frac{\frac{52}{S_i/100} - \frac{52}{S_f/100}}{\text{Capacité évaporatoire}}$$

Où :

S : Surface de la serre en m²

Mboues : Quantité de boues, en tonnes de matière sèche par semaines

Si et Sf : % de matière sèche de la boue à son état initial (Si) et final (Sf)

- La mise en place des couches de lit de séchage se fait de la manière suivante : du sable fin (30 cm), du sable grossier (10-15 cm), du gravier fin (25 cm) et de graviers grossiers (70 cm).
- Pour concevoir les lits de séchage, il est nécessaire de connaître la quantité de MES évacuées, le volume de boues, la fréquence d'extraction, la charge applicable en kg de MES/m² et la durée de séchage.

Entretien et maintenance

- Les principales opérations d'exploitation :
 - Répartition des boues sur les lits de séchage,
 - Nettoyage des lits après la durée de séchage
 - Contrôle de la qualité des boues et des lixiviats
 - Vérification de l'état des drains et collecte des eaux extraites
 - Remplacement des couches de sables si nécessaire
- Le nombre d'ouvriers nécessaires pour l'entretien et la maintenance dépend de la taille de l'unité de séchage et du volume de boues

Avantages et inconvénients

Avantages	- Création d'emplois et de revenus pour la main d'œuvre locale - Aucune énergie électrique n'est nécessaire (cas de la serre type agricole) - Construction et réparation sont possible localement - Possibilité de réutilisation des boues pour différentes filières (valorisation agricole, mise en décharge, valorisation énergétique)
Inconvénients	- Exigence de terrain dédié et isolé - Nécessité d'un suivi régulier (nécessité de la main d'œuvre) pour l'enlèvement des boues - Présence de mauvaises odeurs en absence de contrôle - Temps de séjour long si les conditions climatiques sont peu favorables - Charge importante de pathogène

Aspects sanitaires et environnementaux

- Traitement périodique de l'environnement de la STEP par un insecticide homologué par l'ONSSA et conformément aux doses prescrites.
- Pulvérisation de la chaux autour des serres sans le mélanger avec les boues.
- Les ouvriers devront être munis des équipements de protection (bottes, gants, etc.) du fait que les boues brutes comportent des pathogènes.

Qualité du produit

- Les boues produites peuvent être utilisées comme amendement organique des sols ou être traitées par co-compostage.

Fiche de procédé : Lit de séchage planté de roseaux

Principe de fonctionnement et performances

Le séchage des boues sur lits plantés de roseaux repose sur la mise en place d'un massif filtrant constitué de différentes couches de matériaux (galets, gravillons et couche d'amendement organique) de granulométrie croissante de la surface vers la profondeur, sur lequel des roseaux se développent.

La déshydratation des boues se fait principalement par deux mécanismes, à savoir : le drainage et l'évapotranspiration. Le drainage a lieu essentiellement lors des alimentations, tandis que l'évapotranspiration impacte principalement le séchage pendant les phases de repos. Ces deux mécanismes permettent d'atteindre des niveaux de siccité supérieurs à 25%⁴¹⁴².

La **Figure 22** présente une coupe schématique de lits plantés de roseaux.

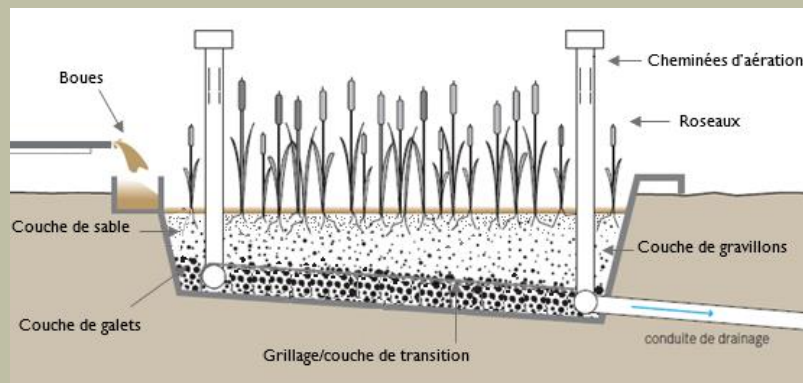


Figure 22. Coupe schématique d'un lit de séchage planté de roseaux (LSPR) ⁴³

Les performances de déshydratation sont élevées si le système est suffisamment grand ; il faut de disposer de surfaces suffisantes.

Conditions d'application et principales étapes

- Après un développement optimal de roseaux, les boues devront être épandues directement en surface du lit. Le débit doit être supérieur à $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ ⁴⁴.
- L'alimentation des lits se fait selon deux phases (**Figure 23**) :
 - **Phase de démarrage** : L'alimentation se fait d'une manière progressive jusqu'à atteindre la moitié de la charge nominale.
 - **Phase de fonctionnement nominal** : La charge est augmentée progressivement jusqu'à atteindre la charge surfacique de dimensionnement.
- Le lit est mis en repos prolongé pour atteindre les meilleurs taux de siccité.

⁴¹ ONEMA/irstea. 2013. Les lits de séchage de boues plantés de roseaux pour le traitement des boues et des matières de vidange : Guide de dimensionnement et de gestion

⁴² Liénard A., Troesch S., Molle P. et Esser D. Traitement des boues par lits plantés de roseaux : Rappels des points clefs de cette technique. Ingénieries n° spécial p. 41 à 49

⁴³ Inspiré de <http://docplayer.fr/11395022-Guide-technique-filieres-de-traitements-des-matieres-de-vidange.html>

⁴⁴ Liénard A., Troesch S., Molle P. et Esser D. Traitement des boues par lits plantés de roseaux : Rappels des points clefs de cette technique. Ingénieries n° spécial p. 41 à 49

- Curage des lits mis en repos et replantation.

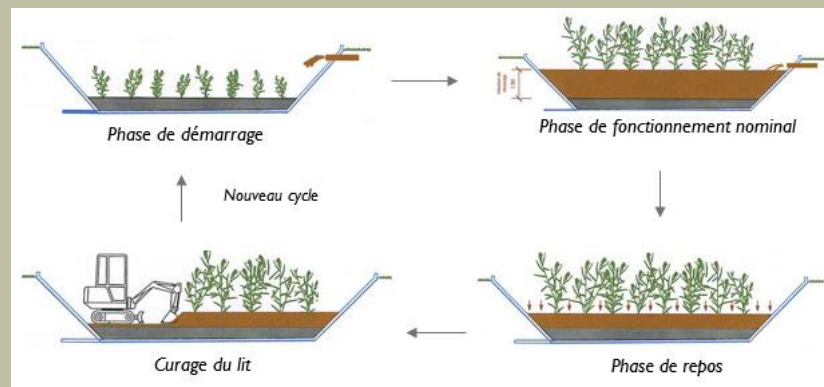


Figure 23. Principales phase du fonctionnement des LSPR

Dimensionnement et conception

- Le dimensionnement des LSPR repose sur deux facteurs importants : la production annuelle de boues (en Kg de MES/an) et la charge surfacique à appliquer (en kg de MES/m².an).
- La charge surfacique est fixée à 50 kg de MES/m².an⁴⁵. Cette valeur est valable pour le cas où le développement des roseaux est optimal, après une phase d'acclimatation.
- La charge surfacique doit tenir compte des surcharges passagères suite à la mise en repos d'un ou plusieurs lits (durée estimée à cinq mois/an sans dépasser 60kg de MS/m².an).
- L'unité de séchage doit comporter suffisamment de lits pour profiter de longues périodes de repos et pour garantir les meilleurs résultats de siccité.
- Les lits peuvent être conçus en béton, en mode déblai-remblai ou mixte. Le mode constructif dépend principalement du coût (**Figure 24**).



Figure 24. Configuration des LSPR, a) déblai-remblai b) casier béton

- Le mode constructif en déblai-remblai présente plus d'avantages dans la mesure où il permet une intégration paysagère, facilite les opérations de curage et permet

⁴⁵Liénard, A., 1999, Déshydratation des boues par lits de séchage plantés de roseaux, Ingénieries-EAT, no17, p. 33-45

de diminuer la charge surfacique en augmentant la hauteur des boues accumulées.

- Le massif filtrant des lits doit comporter trois couches drainantes (du haut en bas) :
 - Une couche superficielle de filtration (5-15 cm d'épaisseur selon le matériau utilisé), généralement constituée de sable grossier (5 cm) ;
 - Une couche de gravillon (3/6 mm sur 20 à 30 cm) ;
 - Une couche de transition (10 cm d'épaisseur) d'une granulométrie intermédiaire ;
 - Une couche de galets (15 cm d'épaisseur) : La granulométrie doit être entre 15/30 mm et 30/60. Cette couche doit contenir des drains pour éviter la stagnation de l'eau et l'aération du massif.
- Une pente d'environ 0,5 à 1 % est nécessaire en fond du massif filtrant pour assurer un drainage adéquat des percolas.
- La densité des plantes (la densité des tiges et des racines) joue un rôle crucial tant au niveau du drainage que de la déshydratation. La densité optimale doit être supérieure à 250 tiges par m² ⁴⁶. Une période d'acclimatation est nécessaire avant de recevoir des apports de boues (durée de 7 mois à un an).

Entretien et maintenance

- L'entretien régulier des roseaux est très important et se répercute sur les performances de déshydratation.
- Entretien des lits en cas de colmatage et de la baisse de performances. Dans ce cas, il est indispensable d'enlever la partie amont des graviers et de la nettoyer avant de la replacer.
- Le nettoyage régulier des conduites d'entrée de boues et des drains est nécessaire.

Aspects sanitaires et environnementaux

- L'enlèvement des boues doit se faire avec des précautions sanitaires (gants et bottes).

Qualité du produit

- Les boues issues des LSPR peuvent être épandues sur les parcelles agricoles ou être co-compostées avec les déchets verts.
- Après un long temps de séjour, il y a une décroissance remarquable du pouvoir pathogène.

⁴⁶Liénard A., Canler J.P., Mesnier M., Troesch S. et Boutin C. 2008. Le traitement des matières de vidange : en station d'épuration ou en lits plantés de roseaux ? Ingénieries n° 53 - p. 35 à 48. Mars 2008

Avantages et inconvénients

Avantages	- Création d'emplois et de revenus pour la main d'œuvre locale - Aucune énergie électrique n'est nécessaire - Intégration paysagère
Inconvénients	- Exigence de terrain - Coûts d'investissement relativement élevés (coûts du terrain, parois, bâche, matériaux, etc.) - Nécessité d'un suivi régulier - Temps de séjour long si les conditions sont peu favorables (climat et densité des végétaux)

Fiche de procédé : Co-compostage des boues

Principe du compostage

Le compostage est un procédé naturel de conversion biochimique, par biodégradation aérobie (en présence d'oxygène), des matières organiques en un produit appelé compost (**Figure 25**).

Le produit résultant est hygiénique, de composition stable et riche en substances humiques. Doté d'une valeur fertilisante organique et minérale, le compost constitue un produit d'amendement des sols.

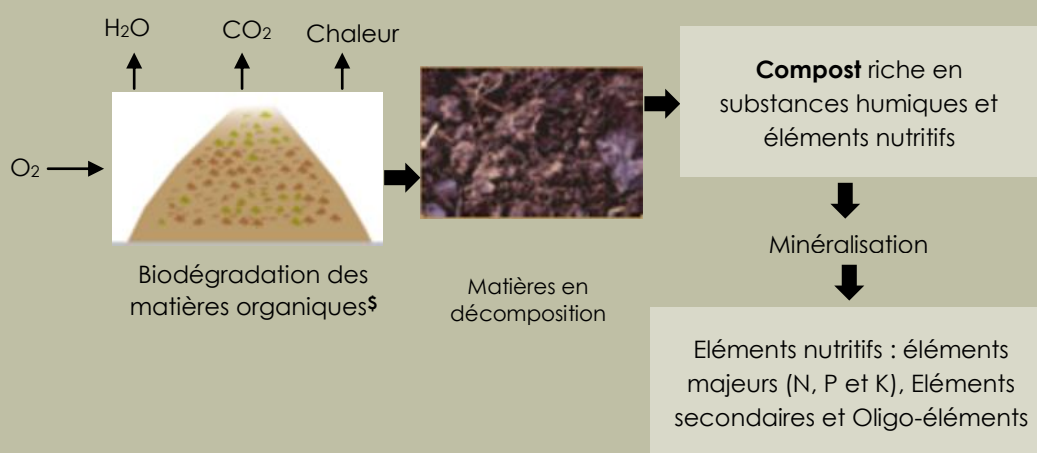


Figure 25. Principe de fonctionnement du compostage (Soudi, 2005)

[§] Les matières organiques compostables peuvent être des déchets agricoles, des déchets d'élevage, des boues, ou autres.

Le compostage est une option écologique durable de gestion des déchets organiques. Il s'insère parfaitement dans la logique d'une économie circulaire dans la mesure où la valorisation du compost, consiste en une réinsertion de la matière organique dans le cycle de vie des produits souvent « interrompu ».

Dans le cas des boues, de par sa phase thermophile, le compostage se présente comme une voie de stabilisation et d'hygiénisation des boues et permet de faciliter leur usage en agriculture. Il permet de traiter efficacement le risque sanitaire, de maîtriser les nuisances olfactives tout en obtenant un produit facilement transportable et d'une valeur agronomique importante.

Paramètres de contrôle du processus de compostage

Les principaux paramètres de contrôle du processus de compostage sont le rapport C/N, l'humidité, l'aération et la température.

Le rapport C/N

Le rapport C/N doit être compris entre 25 et 35. En effet, un rapport C/N inférieur à 20 induit à une émanation des mauvaises odeurs suite à la perte d'azote et la production d'ammoniaque. Dans le cas où il dépasse 40, le processus de biodégradation se ralentit.

Les ratios 2/3 de matières carbonées et 1/3 de matières azotées sont recommandés.

L'humidité

L'humidité est un facteur nécessaire pour l'activité métabolique des micro-organismes. La teneur en eau optimale est comprise entre 50 et 60%. En pratique, il doit avoir la consistance d'une éponge essorée (Photo).

Si le compost est trop sec, le processus de décomposition se ralentit, alors qu'une humidité élevée favorise l'anaérobiose et l'émanation de mauvaises odeurs.

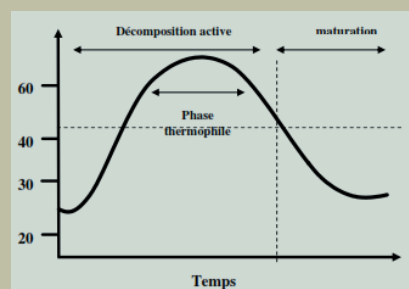


La température

Le compostage passe généralement par deux phases : une phase mésophile (44-45°C) et une phase thermophile (60-65°C) (Photo).

Pendant la phase thermophile, la température peut atteindre jusqu'à 65°C ce qui permet de supprimer totalement les germes pathogènes. La durée de cette phase dépend des conditions de démarrage et de la fréquence de retournement du compost.

La température peut être contrôlée à l'aide d'une sonde-thermomètre. Sa régulation au cours du processus peut être effectuée par retournement et aération des tas



L'aération

L'aération du compost permet une bonne oxygénation et une évacuation normale de CO₂.

L'insuffisance d'oxygène se traduit par une croissance limitée des micro-organismes décomposeurs et une production des mauvaises odeurs. Aussi, une forte circulation d'air favorise l'évaporation et donc les pertes en eau.

Une bonne aération pourra être atteinte si la qualité physique des déchets et la taille du compost sont contrôlées et si le mélange est suffisamment retourné.

Déchets verts compostables avec les boues

- Les boues ne peuvent pas être compostées seules étant donné leur faible ratio C/N (5 à 10). Même déshydratées à 20 % de matière sèche, leur état pâteux empêche l'aération du tas. C'est pourquoi il est indispensable de leur ajouter des agents structurants (déchets agricoles et/ou déchets d'élevage).
- Les caractéristiques des boues destinées au compostage varient principalement en fonction du procédé d'épuration et du procédé de traitement employé.
- Les agents structurants sont principalement des déchets agricoles (reste des cultures, feuilles et bois de taille des arbres, écorces, paille, etc.) et des déchets d'élevage, notamment bovin à cause du bon équilibre du rapport C/N et de son effet structurant grâce à la présence des brins de paille généralement utilisés dans l'alimentation des animaux et comme litière.
- Les boues préalablement déshydratées peuvent être mélangées à un rapport volumétrique d'environ : **1 (boue) : 2,5 (agent structurant) à 1 : 3**, alors que pour les boues liquides (à 5% MS), elles peuvent être mélangées à des rapports compris entre **1: 5 et 1:10** ⁴⁷.
- Pour réduire les frais de transport, la plateforme de compostage devrait être, de préférence, située non loin de la station d'épuration et des autres sources de déchets, ni trop proche des habitats pour réduire les risques sanitaires.

Le **Tableau 19** rapporte les apports C/N des principaux agents structurants.

Tableau 19. Les principaux agents structurants et les rapports C/N correspondant

Type	Agent structurant	N (en % de matière sèche)	C/N
Déchets agricoles (Soudi, 2003) ⁴⁸	Tiges de maïs	0,6-0,8	60-73
	Paille	0,3-1,1	48-150
	Ecorce de bois de feuillus (arbres à feuillage caduc)	0,1-0,4	116-436
	Ecorce de bois de résineux	0,04-0,39	131-1285
	Sciure de bois	0,06-0,8	200-750
	Copeaux de bois	0,04-0,23	212-1313
	Feuilles	0,5-0,13	40-80
Déchets d'élevage	Fumier bovin laitier	30 à 35%	25 à 35 (selon la proportion de paille de litière)
	Fumier pailleux d'ovin	25 à 35%	15-20
	Fientes de volaille	25 à 35%	10-15

La **Figure 26** présente le principe général du co-compostage des boues dans les zones rurales.

⁴⁷ EAWAG-SANDEC. 2003. Co-composting of Faecal Sludge and Municipal Organic Waste. A Literature and State-of-Knowledge Review

⁴⁸ Soudi, B. 2005. Compostage de fumier et de déchets de cultures sous serre. Bulletin de Transfert de Technologie, N° 129

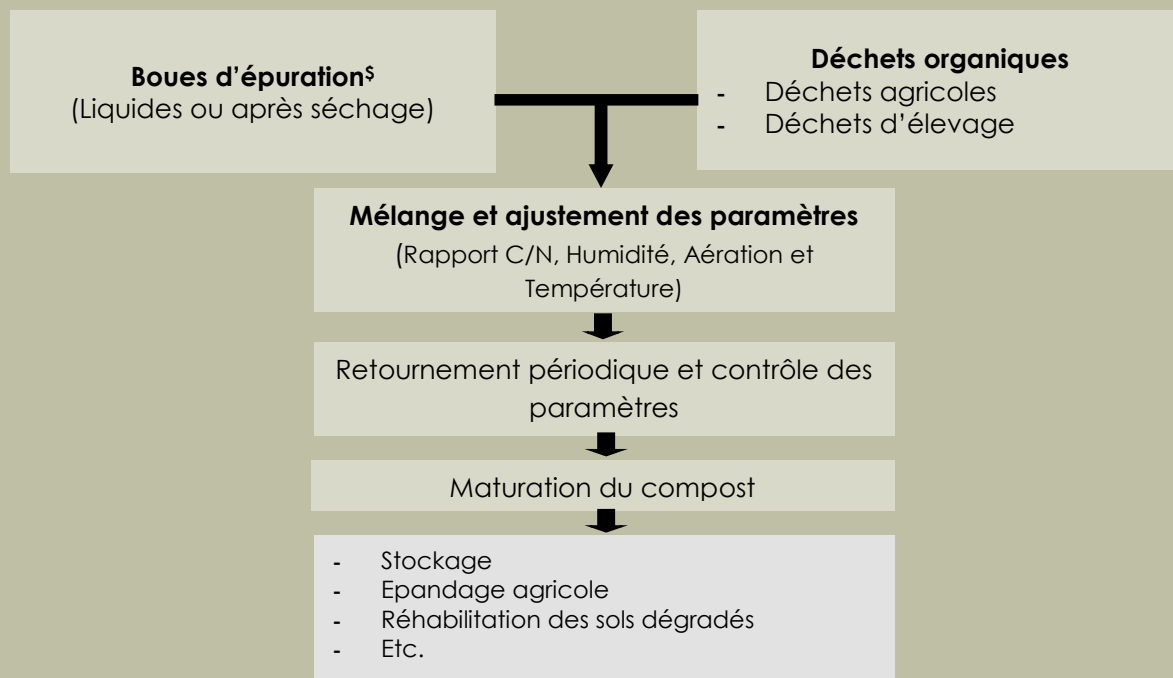


Figure 26. Schéma de la filière du co-compostage des boues

[§] Boues issues à 100% des eaux usées domestiques et se prêtent à la valorisation par compostage

Technologies de compostage

- Il existe plusieurs technologies de compostage à niveaux technologiques différents (du système artisanal simple aux systèmes très mécanisés) (**Tableau 20**). Toutefois, le principe de compostage reste le même dans ses fondements biochimiques.

Tableau 20. Principales technologies de compostage (Soudi, 2005)⁴⁹

Appréciations	Compostage en casiers (tas multiformes)	Andains statiques	Andains dynamiques (retournement)	Andains statiques à aération forcée	Compostage en containers
Générales	Faible technologie Qualité moyenne	Faible technologie Problème de qualité	Système actif le plus commun dans les exploitations agricoles	Système adopté pour les exploitations agricoles	Système à grande échelle pour des applications commerciales
Main d'œuvre (MO)	Demande moyenne en MO	Faible demande en MO	Besoin moyen en MO Le besoin augmente avec le besoin en aération	Besoin faible sauf pour la phase de design et de mise en œuvre de la plateforme	Exige un niveau élevé et consistant de gestion et un bon écoulement du produit pour le recouvrement des coûts
Site	Superficie limitée	Exige un grand espace	Peut exiger une superficie notable	Faible superficie	Superficie très limitée grâce à la vitesse du processus et à la continuité des opérations
Agents structurants	Flexible	Moins flexible Doit être poreux	Flexible	Moins flexible Exige une certaine porosité	Flexible
Période active	2-6 mois	6-24 mois	21-40 jours	21-40 jours	21-35 jours
Maturation	Un mois	Non adoptée	30-40 jours	30-40 jours	30 jours
Système d'aération	Naturel Retournement mécanique	Naturel	Retournement mécanique et conversion naturelle	Aération forcée (négative par aspersion) ou positive en insufflant l'air à travers les andains	Retournement et aération mécaniques extensifs
Interventions durant le processus	Mélange initial et un retournement	Seulement mélange initial	Mélange initiale et retournement périodique	Mélange initial, aération et contrôle de la température	Mélange initial, aération, retournement et contrôle du temps et de la température
Odeurs	Les odeurs surgissent lors des retournements	Les odeurs peuvent émaner des andains, plus hauts sont les andains, plus il y a émanation des odeurs	Les odeurs peuvent émaner de la surface Le retournement peut créer des odeurs durant les dix premiers jours	Les odeurs peuvent être maîtrisées par bio-filtration de l'air sortant	Les odeurs ne se produisent qu'en cas de défaillances dans le système

- Le compostage en andains retournés est la technologie la plus adaptée au contexte marocain (Soudi, 2007) et plus particulièrement aux conditions rurales. Et ce se justifie par son coût relativement faible, sa faible exigence en énergie et la

⁴⁹ Soudi, B. 2005. Compostage de fumier et de déchets de cultures sous serre. Bulletin de Transfert de Technologie, N° 129

flexibilité qu'elle offre en termes de réconciliation entre le niveau de mécanisation, la quantité de déchets à composter et l'employabilité de la main d'œuvre.

Le principe du **compostage en andains retournés** consiste à placer un mélange de matières premières dans de longs tas allongés appelés « andains » qui sont retournés de façon régulière (Photo). L'aération des andains a pour objectif l'approvisionnement en exogène pour assurer une fermentation aérobique ainsi que l'homogénéisation du compost pour une hygiénisation suffisante.



Source⁵⁰ : (Soudi, 2009)

- Les boues de vidange préalablement déshydratées peuvent être traitées à titre individuel, dans des bacs ou containers de compostage. Cette technique a généralement le même principe que le compostage en tas sauf qu'elle est adaptée aux quantités à composter.
- Le principe consiste à utiliser des récipients à parois, généralement en bois (**Figure 28**), en grillage métallique ou en plastique pour recevoir les déchets à composter.
- Le nombre de bacs à installer dépend de l'espace disponible et du volume de déchets. Le dispositif le plus souvent utilisé se compose de trois bacs : le premier pour recevoir les déchets frais, le deuxième étant en fermentation et le troisième est utilisé pour les retournements (**Figure 27**).



Figure 27. Compostage en bac



Figure 28. Dimensions d'un bac de compostage

⁵⁰ USAID, 2009, Etude de mise en place d'une unité pilote de compostage et de valorisation du compost des déchets agricoles et de l'élevage dans le polygone pédagogique de l'ITSA de Zraib. Réalisée par Brahim SOUDI

Conditions d'application et principales étapes

Les principales étapes du co-compostage des boues sont (**Figure 29**) :

- Broyage des matières premières ligneux (déchets agricoles) avec un broyeur mécanique. La taille requise est comprise entre 1,3 et 2 cm.
- Mélange des matières premières (boues, déchets d'élevages et déchets agricoles) selon les ratios : 1 part de boues déshydratées pour 2,5-3 parts d'agents structurants pour les boues déshydratées et 1: 5 à 1:10 pour les boues liquides. Le rapport C/N doit être d'environ 30 au démarrage du processus de fermentation et l'humidité du mélange d'environ 55%.
- Une fois les paramètres de mélange sont optimaux, on procède à la mise en place des andains ou des tas dont la forme dépend de la quantité de matériaux disponibles.
- Retournement des andains ou des tas pour assurer une aération convenable et donc une biodégradation optimale. La fréquence de retournement dépend de la température et l'aération. Un retournement d'une fois par semaine pendant le premier mois et une fois toutes les 2 semaines après, est recommandé. La durée de fermentation peut aller de 8 à 12 semaines selon les conditions du compostage.
- Humectation des andains. L'humidité doit être supérieure à 35% mais ne doit pas excéder 55%.
- Criblage et tamisage du compost une fois la fermentation est achevée.
- Mise en maturation pendant 6 à 8 semaines.

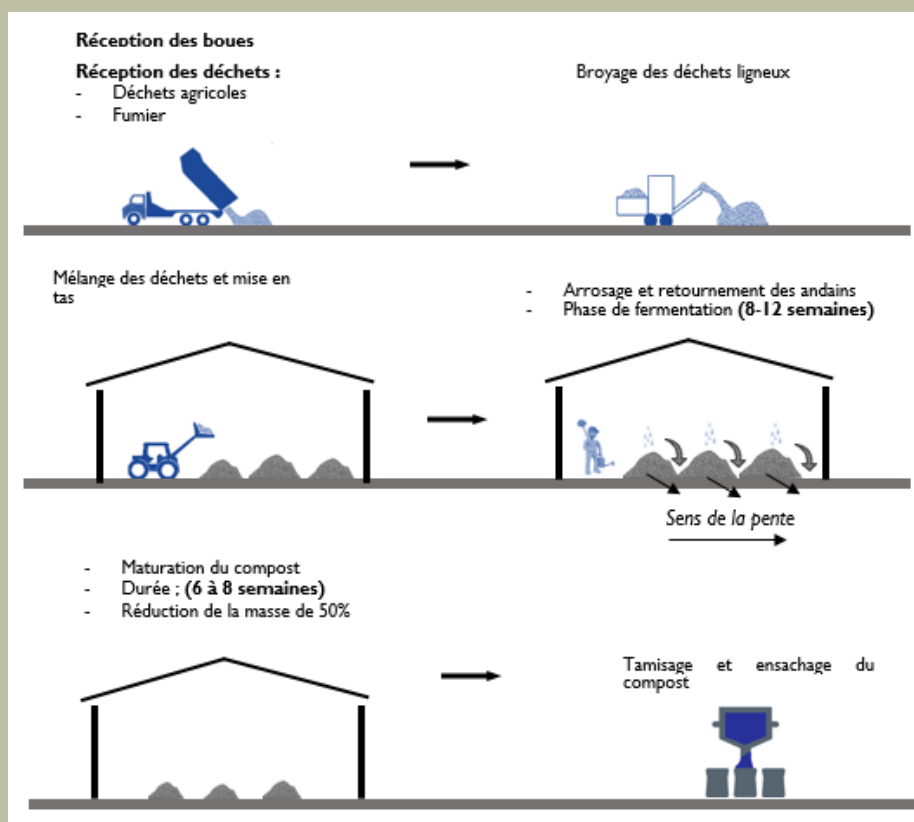
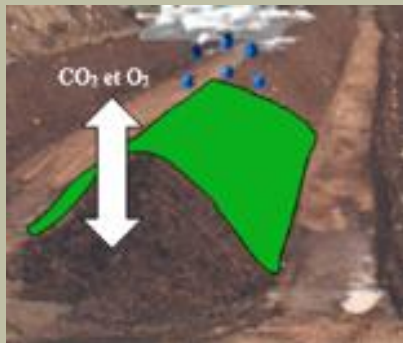


Figure 29. Principales étapes du co-compostage des boues

- Pour contrôler les conditions de compostage en périodes pluvieuses et pour éviter le problème de lixiviats et des mauvaises odeurs, la plateforme du compostage devra être couverte par des bâches respirantes (permettant l'échange gazeux et évitant la pénétration de l'eau de pluie) ou par des serres types agricoles, ouvertes latéralement, si l'économie le permet (**Figure 30**).



Protection par bâche respirante



Protection par toit en plastique, expérience de Benkarich, Tétouan (Soudi, 2010)

Figure 30. Protection du compost pendant la période pluviale

- L'aire de maturation et l'aire de stockage doivent être isolées autant que possible de l'aire de réception et de fermentation pour éviter toute contamination possible du compost.
- Les eaux de lixiviats doivent être traitées par retour à la station d'épuration.

Conception et dimensionnement

- Les ratios de dimensionnement des unités de compostage dépendent du tonnage annuel des déchets à traiter (**Figure 31**).

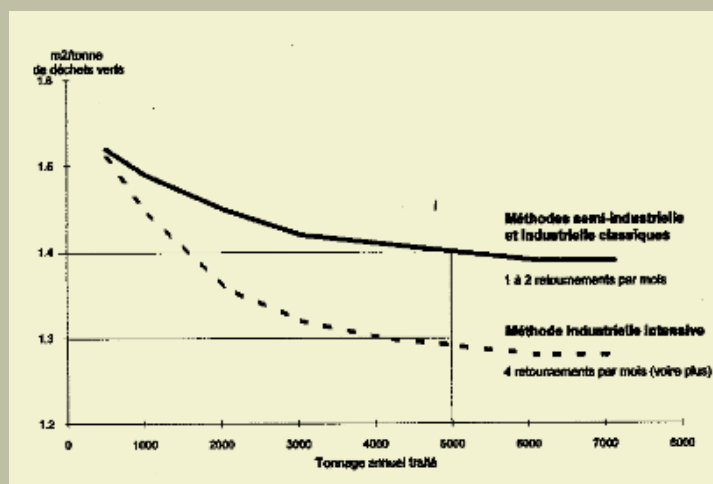


Figure 31. Surface requise pour le compostage selon le tonnage des déchets à traiter

- Le dimensionnement des andains/tas varie selon la technologie de compostage adoptée (**Tableau 21**).

Tableau 21. Dimensionnement des andains de compostage selon la technologie requise⁵¹

Variables	Compostage en casiers (tas multiformes)	Andains statiques	Andains dynamiques (retournement)	Andains statiques à aération forcée	Compostage en containers
Hauteur	Dépend de la dimension des casiers	1-4 mètres	1-2,8 mètres	3-4,5 mètres	Dépend du design
Largeur	Variable	3-7 mètre	3-6 mètres	Variable	Variable
Longueur	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable

- Les principales composantes de l'unité de compostage sont les suivantes :
 - Aire de réception
 - Aire de fermentation
 - Aire de maturation
 - Aire de conditionnement et de stockage

Qualité du produit

- Le compost produit correspond à environ 40% à 50% du tonnage initial de déchets mis en compostage.
- La filière du compostage des boues est avantageuse du point de vue environnemental et sanitaire. En effet, en plus du pouvoir fertilisant et organique important des boues, le processus du compostage permet une hygiénisation et une stabilisation totale de ces dernières (**Tableau 22**).

Tableau 22. Valeur agronomique des boues compostées (ADEME, 2014)⁵²

Paramètres agronomiques	Boues compostées
Teneur en matière sèche (%)	40 à 60
Teneur en matière organique (% de la MS)	80 à 90
pH	6 à 7
Azote * (Kg N/tonnes de boue brute)	5 à 9
Phosphore (Kg P ₂ O ₅ /tonnes de boue brute)	6 à 8
Potassium (Kg K ₂ O/tonne de boue brute)	1 à 2

* à 80-90 % sous forme organique et 10-20 % sous forme ammoniacale, si la boue est liquide ;

- La minéralisation de la matière organique des boues, dans le sol, libère des substances inorganiques nutritives. Le taux de minéralisation varie généralement en fonction du pH, de la température et de l'humidité du sol. (**Figure 32**).

⁵¹ Soudi, B. 2005. Compostage de fumier et de déchets de cultures sous serre. Bulletin de Transfert de Technologie, N° 129

⁵² ADEME. 2014. Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture -Valeur Agronomique des boues

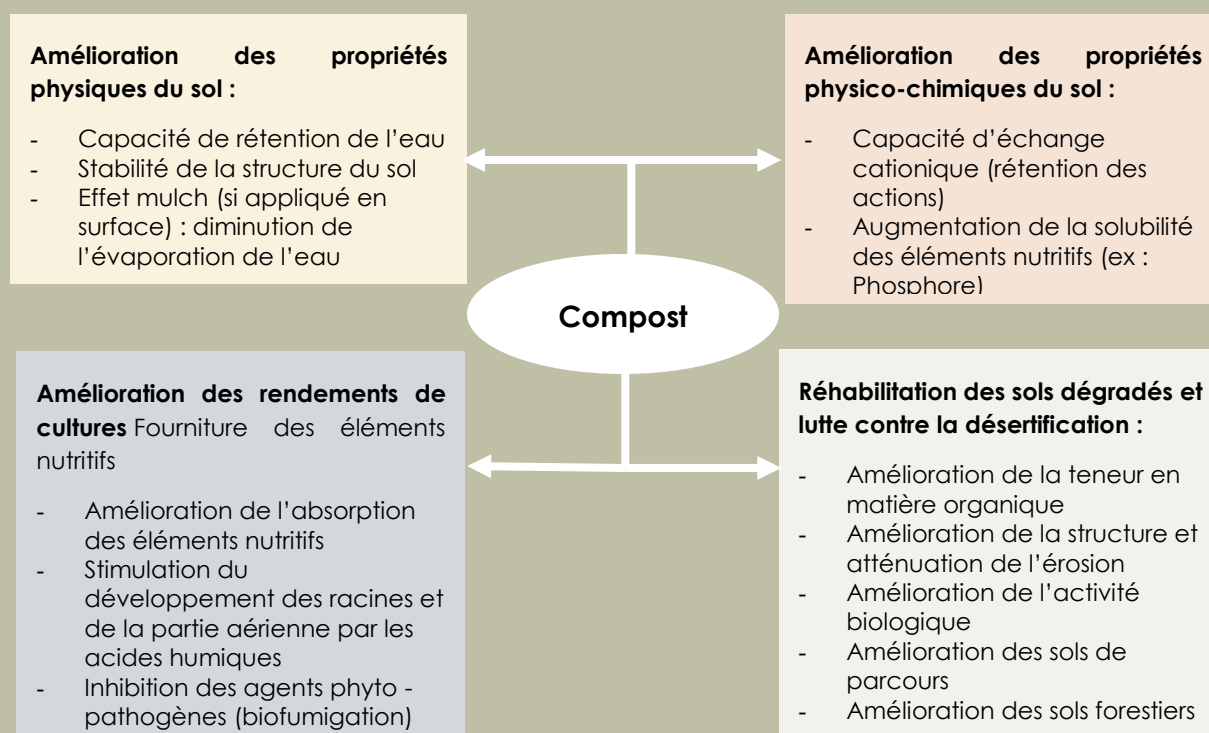


Figure 32. Rôles et avantages agro-environnementaux du compost⁵³

Faisabilité économique

Coûts d'investissement	Le coût d'investissement est faible et diminue avec le tonnage des déchets à composter : Grandes unités mécanisées (tri manuel, matériels de retournement de broyage, etc.) : 2000-2500 mad/tonne (182-227 euro/tonne) Petites unités (compostage artisanal) : 500-1000 mad/tonne (45-91 euro/tonne)⁵⁴
Coûts d'exploitation	Le coût d'exploitation varie entre 100 et 200 mad/tonne (9 à 18 euro/tonne)

Entretien et maintenance

- Un ouvrier bien initié est nécessaire pour l'exploitation et l'entretien de la plateforme de compostage pour les différentes opérations d'entretien : retournement périodique, surveillance de l'humidité et de la température des tas/andains, mesures chimiques et microbiologiques, etc.
- La réussite du processus de compostage nécessite un certain nombre d'équipements selon la taille de l'unité de compostage (**Tableau 23**).

⁵³ Soudi, B. Chrifi, H. 2007. Options de gestion des déchets solides municipaux adaptées aux contextes des Pays du Sud. Enda Maghreb, enda Tiers Monde, Morocco

⁵⁴ Soudi, B. Chrifi, H. 2007. Options de gestion des déchets solides municipaux adaptées aux contextes des Pays du Sud. Enda Maghreb, enda Tiers Monde, Morocco

Tableau 23. Équipements et matériel de compostage

Équipements	Variantes	Fonction
Équipements importants		
Broyeur	Broyeurs à couteaux Broyeurs à disques Broyeurs mobiles	Broyage et réduction de la taille des déchets à composter, notamment les déchets agricoles (bois de taille, branches d'arbres, etc.)
Tamiseur	Tamis rotatif Tamis stationnaire Tamis mobile Différentes mailles	Criblage et tamisage du compost
Andaineuse – retourneuse*	Emiettement et retournement des andains	
Autres équipements		
Ensacheur*	Mise en sacs, emballage (option facultative mais envisageable) Pour un usage dans les exploitations à proximité de la STEP, l'épandage du compost en vrac est plutôt recommandée)	
Petit matériel et outillage		
Sonde-thermomètre	Contrôle de la température du compost	
Sonde de mesure d'oxygène lacunaire	Matériel de monitoring du processus (facteurs à contrôler en priorité : Température, humidité, oxygène lacunaire)	
Autres (pelle, brouette, arrosoir, etc.)	Matériel d'entretien du processus de compostage	

* Seulement pour les grandes unités de compostage

Avantage et inconvénients

Avantages	- Installation facile et ne requiert pas des niveaux élevés - Hygiénisation du produit grâce à la phase thermophile (aussi les œufs d'Helminthes) - Création d'emplois et de revenus pour la main d'œuvre locale - Faibles coûts d'investissement et d'exploitation - Amélioration de la production agricole suite à l'utilisation des déchets locaux - Aucune énergie électrique n'est nécessaire
Inconvénients	- Durée de compostage relativement longue - Exigence de terrain dédié et isolé - Nécessité d'un suivi régulier (nécessité de la main d'œuvre) - Présence de mauvaises odeurs en absence de contrôle

Fiche de procédé : Epandage agricole des boues liquides/en mélange avec les eaux usées traitées

Le principe

Cette option de valorisation consiste en l'épandage des boues liquides, préalablement stabilisées, seules ou en mélange avec les eaux usées traitées. Elle est envisageable seulement pour les boues qui ne présentent pas de risque pathogène.

Conditions d'application et principales étapes

- Les boues destinées à l'épandage devront présenter un intérêt agronomique.
- Les stations d'épurations devront être équipées de bassins de stockage des boues.
- Les boues devront être stabilisées pour limiter la fermentation ultérieure et la génération des mauvaises odeurs.
- La stabilisation chimique peut se faire avec des flocculants tels que les chlorures ferriques et les nitrites. L'utilisation de la chaux ne semble pas la bonne solution du fait que la majorité des sols, au niveau national, sont caractérisées par un pH neutre à franchement basique.
- Pour le cas d'épandage des boues seules, les boues sont transportées par citernes jusqu'aux parcelles agricoles ou sites dégradés susceptibles de recevoir l'épandage.
- Deux options techniques d'application des boues mélangées ou non avec les eaux usées traitées sont envisageables :

A. Sur terrains plats et en cas d'accessibilités des vergers

Dans ce cas, on peut utiliser des camions citernes ou citernes tractées par un tracteur, et procéder à l'arrosage individuel des cuvettes des arbres. Les camions citernes peuvent être subventionnés par le Fonds de Développement Agricole (FDA) ou par l'ABH dans le cadre de son appui financier aux pratiques d'économie de l'eau et de protection de sa qualité.

B. Sur un terrain en pente ou d'accès difficile aux vergers

Dans ce cas, on peut adopter une technique simple, qui promeut de l'emploi en milieu rural, qui consiste en une solution « locale » d'arrosage de l'olivier, inspirée du projet PAF-MCC (Soudi, 2013)⁵⁵ et qui peut se pratiquer dans des vergers privés mitoyens de la STEP. Comme le montre la séquence des photos « a » à « d », un prestataire privé de service « arrosage » utilise un équidé et deux petites citernes d'une trentaine de litres chacune ; Il arrose 100 arbres par jour soit l'équivalent d'un hectare. *C'est une pratique écologique, adaptée aux terrains sur pente et améliorant l'employabilité et le micro-entrepreneuriat de proximité.*

⁵⁵ Soudi, B. 2013. Evaluation finale des projets du compact MCA-MAROC : évaluation environnementale et sociale du Programme d'Arboriculture fruitière. Pour NORC – MCC



Photo a : Puisage de l'eau – remplissage des citernes



Photo b. Transport vers les arbres



Photo c. Siphonage de la citerne au sceau



Photo d. Arrosage au sceau

- L'opération de l'épandage de boues nécessite d'établir un plan d'épandage qui permet :
 - la sélection des parcelles agricoles concernées par les campagnes d'épandage dont un échantillon représentatif servira de parcelles de référence ;
 - la caractérisation de la valeur agronomique des sols à travers des analyses d'échantillons de sols des parcelles de référence, et ce, avant la première campagne d'épandage ensuite tous les deux ans pour le système d'épandage intensif et tous les cinq ans pour le système d'épandage extensif ;
 - la détermination de la dose maximale des boues à appliquer à l'hectare (selon la qualité des boues et le système d'épandage), elle est généralement fixée à 2 à 3 TMS/ha.an soit un apport maximal de 30 tonnes tous les dix ans.
- Une étude préalable à l'épandage est obligatoire dans le but de montrer l'innocuité des boues et l'aptitude des sols à recevoir l'épandage. Cette étude doit comprendre :
 - Les données relatives aux boues (origine, quantité produites, qualité des boues, type de traitement, résultats d'analyses...) ;
 - Les données relatives aux sols récepteurs (caractérisation générale, description des systèmes de cultures, résultats d'analyse,...) ;
 - La description des contraintes présentes dans la zone concernées (habitations, sources d'eau, productions spéciales, réseaux routiers...) ;

- La présentation des moyens techniques qui seront utilisés dans l'épandage ;
- La justification de l'accord des utilisateurs de boues pour la mise à disposition de leurs parcelles.

Aspects sanitaires et environnementaux

- Les boues objets d'épandages devront faire objet d'analyse pour s'assurer de leur innocuité en termes de teneurs en pathogènes.
- Pour éviter les risques de contamination de l'environnement et de la santé humaine, l'épandage des boues devra être assuré en toute sécurité à travers différentes mesures, à savoir : le niveau de traitement des eaux usées, la restriction des cultures à irriguer et les méthodes d'irrigation.
- Les boues (mélangés ou non aux eaux usées) devront être épandues seulement sur des cultures qui n'entrent pas en contact direct avec celles-ci (comme les arbres fruitiers) et les cultures qui ne sont pas destinées à la consommation (les cultures énergétiques).

Fiche de procédé : Bassin de sédimentation/épaississement

Principe de fonctionnement et performances

Les bassins de sédimentation/ épaississement sont des bassins de décantation simples qui permettent aux boues de s'épaissir et se déshydrater (**Figure 33**). Les bassins de sédimentation conviennent au traitement des boues de vidange partiellement stabilisées comme celles provenant de fosses septiques.

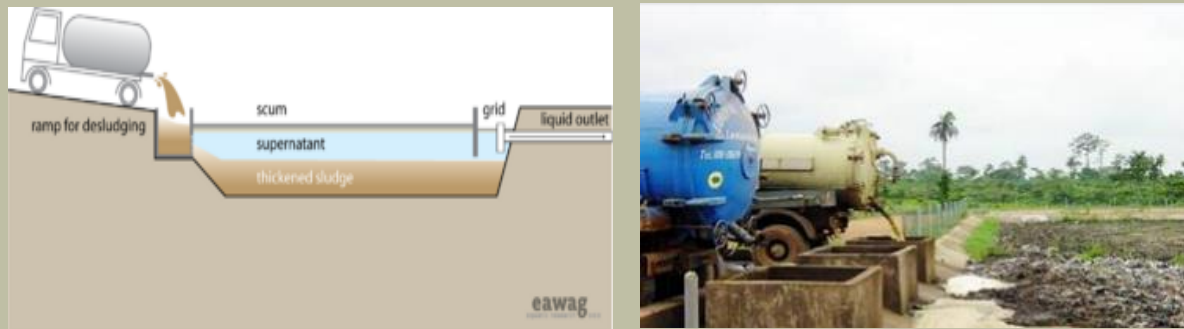


Figure 33. Bassins de sédimentation/ épaississement

Les boues accumulées au fond des bassins sont évacuées de façon périodique à l'aide de conduites de soutirage. Le soutirage également s'effectuer manuellement ou au moyen de chargeurs frontaux après évacuation de la colonne de liquide et respect d'une période de séchage. Les boues résiduares sédimentées nécessitent généralement un traitement ultérieur.



Vidange des bassins (Accra/Ghana)

Les boues de vidange ne sont pas des produits uniformes et donc leur traitement doit être spécifique aux caractéristiques de la boue. En général, il y a deux types de boues de vidange : la boue fortement chargée (provenant des latrines et des toilettes publiques non connectées à un égout) et faiblement chargée (provenant de fosses septiques). Les boues de forte charge sont toujours riches en produits organiques et n'ont pas subi une dégradation significative, ce qui les rend difficile à assécher. Les boues faiblement chargée ont subi une dégradation anaérobie significative et sont plus faciles à assécher.

Afin d'être correctement déshydratées, les boues fortement chargées doivent d'abord être stabilisées. Cet objectif est atteint en leur permettant de se dégrader dans des conditions anaérobies dans les bassins de sédimentation/épaississement. Pendant que la boue est décantée et épaissie, le surnageant doit être décanté et traité séparément. La boue épaissie peut alors être séchée ou compostée.

Conception et dimensionnement

- Les bassins doivent présenter un volume suffisant pour l'accumulation des boues et une colonne de liquide de hauteur suffisante ($>1,5$ m) pour permettre une bonne sédimentation.
- Les bassins doivent être équipés de déflecteurs assurant à la fois le maintien de conditions hydrauliques favorables à la sédimentation et la rétention des écumes.
- La structure des bassins dépend de la technique de soutirage choisie pour les solides décantés.
- Le système doit comprendre au moins deux bassins en parallèle pour assurer un service continu malgré les interruptions dues aux vidanges périodiques.
- La taille des bassins est conditionnée par l'intervalle choisi pour le soutirage des boues (2 semaines à 2 mois) et calculée à l'aide du volume de boues sédimentées en fonction de la charge massique des solides en entrée compris entre 5 et 9 l/kg MS.

Avantages et inconvénients

Avantages	- Système simple et fiable. - Faible emprise au sol.
Inconvénients	- Ne convient pas au traitement des boues de vidange fraîches.

Fiche de procédé : Bassin de sédimentation/stabilisation

Principe de fonctionnement et performances

Les bassins de sédimentation/stabilisation ont le même principe que les bassins de sédimentation/épaississement sauf qu'ils sont plus étendus et les solides décantés en sont retirés à intervalles plus prolongés. Du fait de leur grand volume et leur grande durée de rétention, ils offrent un bon potentiel de stabilisation pour les boues fraîches. Les solides décantés sont retirés après évacuation de la colonne de liquide et respect d'une période de séchage.

Les bassins de sédimentation/stabilisation peuvent servir au traitement primaire des boues de vidange lorsque la station dispose de suffisamment d'espace.

Conception et dimensionnement

- Les étangs de sédimentation sont conçus comme des lagunes anaérobies disposant d'un volume de stockage suffisant pour les solides décantés.
- Les boues sont retirées une fois, deux fois ou plusieurs fois par an.
- Prévoir au moins deux étangs en parallèle pour assurer un service continu.
- Charge organique des lagunes anaérobies : 250-350 g DBO/m².j.
- Volume de boues sédimentées en fonction de la charge massique des solides en entrée : 0,8-2 l/kg MS.

Avantages et inconvénients

Avantages	- Dispositif rustique, bon marché et simple d'exploitation. - Fournit une meilleure décantation que les bassins de sédimentation. - Potentiel de stabilisation.
Inconvénients	- Forte demande en espace.