



Etude pour l'Elaboration de la Stratégie Nationale de Gestion des Boues des Stations d'Epuration des Eaux au Maroc

Rapport Phase 1

Version définitive

Mars 2010



phenixa@phenixa.com
www.phenixa.com



fiw@fiw.rwth-aachen.de
www.fiw.rwth-aachen.de

Table des matières

<u>1</u>	<u>Contexte et genèse de l'étude.....</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>Consistance et objectifs de l'étude</u>	<u>3</u>
<u>3</u>	<u>Méthodologie d'approche.....</u>	<u>4</u>
<u>4</u>	<u>Gisement actuel et futur des boues urbaines.....</u>	<u>7</u>
4.1	SITUATION ACTUELLE.....	7
4.1.1	SITUATION D'ÉPURATION DES EAUX USEES DOMESTIQUES.....	7
4.1.2	SITUATION ACTUELLE DES BOUES URBAINES AU MAROC	9
4.1.3	HYPOTHESES DE TRAVAIL.....	11
4.2	PROJECTION DE LA PRODUCTION DES BOUES URBAINES	13
4.2.1	REPARTITION REGIONALE DE LA PRODUCTION DES BOUES.....	13
4.2.2	REPARTITION PAR BASSIN HYDRAULIQUE	17
<u>5</u>	<u>Gisement actuel et futur des boues industrielles....</u>	<u>20</u>
5.1	APERÇU SUR LE SECTEUR INDUSTRIEL AU MAROC	20
5.2	LES REJETS LIQUIDES INDUSTRIELS AU MAROC.....	20
5.3	LA POLLUTION INDUSTRIELLE SECTORIELLE GENEREE PAR LES REJETS LIQUIDES	21
5.3.1	SECTEUR AGRO-ALIMENTAIRE	22
5.3.2	SECTEUR DE TEXTILE ET CUIR	22
5.3.3	SECTEUR DE CHIMIE ET PARACHIMIE	23
5.3.4	SECTEUR DES INDUSTRIES MECANQUES, METALLURGIQUES ET ELECTRIQUES	23
5.4	EFFORTS DE DEPOLLUTION INDUSTRIELLE.....	23
5.4.1	EFFORTS DE L'ÉTAT MAROCAIN POUR LA DEPOLLUTION INDUSTRIELLE	23
5.4.2	SITUATION DES STATIONS INDUSTRIELLES DE TRAITEMENT DES EAUX USEES AU MAROC	24
5.5	PRODUCTION ACTUELLE DES BOUES.....	26
5.5.1	RAPPEL DU CONTEXTE.....	26
5.5.2	ESTIMATION DES QUANTITES POTENTIELLES DES BOUES PRODUITES.....	27
<u>6</u>	<u>Récapitulatif sur la production des boues urbaines et industrielles.....</u>	<u>32</u>
6.1	EVOLUTION DE LA PRODUCTION DE BOUES URBAINES ET INDUSTRIELLES AU MAROC	32
6.2	PRODUCTION DES BOUES DANS D'AUTRES PAYS.....	33

7 Filières de gestion des boues 35

7.1 PREAMBULE 35

7.2 REVUE DES FILIERES ET TECHNOLOGIES DE GESTION 35

7.2.1	ÉPAISSISSEMENT	36
7.2.2	DESHYDRATATION	37
7.2.3	SECHAGE NATUREL.....	38
7.2.4	SECHAGE EN LITS PLANTES OU BIO SECHAGE (TRAITEMENT ET VALORISATION).....	40
7.2.5	SECHAGE NATUREL SOUS-SERRE	41
7.2.6	SECHAGE SOLAIRE EN CONDITIONS CONTROLEES.....	41
7.2.7	SECHAGE THERMIQUE	41
7.2.8	LA STABILISATION AEROBIE ET ANAEROBIE	42
7.2.9	STABILISATION CHIMIQUE.....	43
7.2.10	COMPOSTAGE OU CO-COMPOSTAGE (OPTION DE TRAITEMENT ET VALORISATION)	45
7.2.11	OPTIONS DE VALORISATION PROPREMENT DITES	46
7.2.12	OPTIONS D'ÉLIMINATION	51

7.3 PRINCIPALES DESTINATIONS DES BOUES A L'ÉCHELLE INTERNATIONALE 53

7.3.1	PAYS EUROPEENS ET ETATS-UNIS D'AMERIQUE	53
7.3.2	ALLEMAGNE.....	54
7.3.3	LE JAPON	55
7.3.4	LA SUISSE	55
7.3.5	LA FRANCE : CAS DES BOUES INDUSTRIELLES	55
7.3.6	RECAPITULATIF	56

7.4 ORDRES DE GRANDEUR DES COUTS DES FILIERES GESTION DES BOUES57

7.4.1	REMARQUE METHODOLOGIQUE	57
7.4.2	LA NOTION DE COUT.....	58
7.4.3	RAPPEL DES ELEMENTS TECHNIQUES	58
7.4.4	LES FILIERES DE VALORISATION DES BOUES	60

8 Cadre réglementaire, normes et standards..... 74

8.1 PLACE DES BOUES DANS L'ARSENAL REGLEMENTAIRE DU MAROC..... 74

8.1.1	DAHIR 25 AOUT 1914.....	74
8.1.2	LOI 12-03 RELATIVE AUX ETUDES D'IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT.....	74
8.1.3	LOI 10-95 SUR L'EAU	74
8.1.4	LOI 28-00 RELATIVE A LA GESTION DES DECHETS	75

8.2 REFERENCES INTERNATIONALES 79

8.2.1	DIRECTIVES EUROPEENNES.....	79
8.2.2	REGLEMENTATIONS ALLEMANDES	80
8.2.3	REGLEMENTATIONS AMERICAINES	83
8.2.4	LA REGLEMENTATION FRANÇAISE	84
8.2.5	LA REGLEMENTATION TUNISIENNE.....	87
8.2.6	LA REGLEMENTATION EGYPTIENNE.....	88
8.2.7	STANDARDS ET VALEURS LIMITES	89

9 Filières et technologies de gestion des boues adaptées au contexte marocain 91

9.1	PRINCIPES DIRECTEURS DE CHOIX	91
9.2	FILIERES ADAPTEES AU CONTEXTE MAROCAIN	91
9.2.1	DEMARCHE ADOPTEE POUR LE CHOIX DE FILIERES SUR BASE DES CRITERES DE CHOIX RETENUS.....	91
9.3	CONDITIONNALITES ET MESURES D'ACCOMPAGNEMENT.....	95
9.3.1	CONDITIONNALITES	95
9.3.2	MESURES D'ACCOMPAGNEMENT	96
9.4	CHRONOLOGIE DE L'ADOPTION DES FILIERES PROPOSEES.....	96
9.5	TENTATIVES DE REGIONALISATION DES OPTIONS DE VALORISATION ET D'ELIMINATION	99
<u>10</u>	<u>Conclusion et recommandations.....</u>	<u>101</u>
<u>11</u>	<u>Contenu de la seconde phase.....</u>	<u>103</u>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Volets de l'Étude : consistance et méthode(s) d'investigation pour le cas des boues industrielles	4
Tableau 2 : Volets de l'Étude : consistance et méthode(s) d'investigation pour le cas des boues urbaines	5
Tableau 3 : Potentiel de volume d'eaux usées brutes pour tous les centres étudiés jusqu'en 2030.....	7
Tableau 4 : projections du volume d'eau usées épurées par bassin versant.....	8
Tableau 5 : Production de boues spécifique pour chaque procédé de traitement des eaux usées.....	12
Tableau 6 : Hypothèse d'évolution des taux de raccordement au réseau d'assainissement en fonction de la taille des centres.....	12
Tableau 7 : résultats de production de boues (en tonnes de MS/an) selon différentes hypothèses.....	13
Tableau 8 : production des boues par région de 2010 à 2030 (en Tonnes de MS/an)	14
Tableau 9 : production des boues par bassin hydraulique de 2010 à 2030 (en Tonnes de MS/an)	17
Tableau 10 : Répartition des entreprises industrielles par secteur	20
Tableau 11 : Volumes d'eau utilisée et rejetée par les principaux secteurs industriels	21
Tableau 12 : Estimation de la pollution industrielle totale au Maroc	21
Tableau 13 : Principaux polluants des rejets d'industrie agro-alimentaire	22
Tableau 14 : Principaux polluants des rejets d'industrie textile et cuir	22
Tableau 15 : Principaux polluants des rejets d'industrie chimie et parachimie.....	23
Tableau 16 : Aperçu sur les STEP industrielles actuelles au Maroc appuyées par le FODEP	25
Tableau 17 : Estimation de production potentielle des boues industrielles de 2010 à 2030 par secteur d'activités (en Tonnes de MS/an)	29
Tableau 18 : Estimation de production potentielle de boues industrielles par bassin versant de 2010 à 2030 (en tonnes de MS)	29
Tableau 19 : Exemples des performances en épaissement de boues	37
Tableau 20 : Les différents seuils de séchage en fonction de la destination finale des boues.....	42
Tableau 21 : Destinations des boues en Europe et aux Etats Unis en 1999	53
Tableau 22 : Evolution des options d'élimination / de valorisation des boues en Allemagne.....	54
Tableau 23 : Gestion des boues industrielles en France	56
Tableau 24 : Coût d'investissement annuel par TMS (en Euros).....	62
Tableau 25 : Valeurs unitaires du projet « eco boue »	62
Tableau 26 : Coût d'exploitation par TMS.....	63
Tableau 27 : Coût total par TMS.....	63
Tableau 28 : Coût total d'une TMS- Digestion anaérobie	63
Tableau 29 : Digestion anaérobie : Estimation du Coût annuel par TMS en euros.....	64
Tableau 30 : Coût d'investissement annuel par TMS ; séchage solaire	65
Tableau 31 : Coût d'exploitation par TMS ; Séchage solaire	66
Tableau 32 : Coût d'investissement annuel par TMS ; Séchage thermique	67
Tableau 33 : Coût d'exploitation annuel par TMS ; Séchage thermique	67
Tableau 34 : Coût total annuel par TMS.....	67
Tableau 35 : Coût total annuel par TMS ; Co-compostage.....	70
Tableau 36 : Coût d'investissement annuel par TMS ; Chaulage	71
Tableau 37 : Coût d'investissement annuel par TMS ;Chaulage	71
Tableau 38 : Coût investissement par TMS de la filière « incinération	72
Tableau 39 : Comparaison économique des différentes filières d'élimination des boues résiduelles en prenant l'épandage comme base (base 100) dans les conditions techniques et économiques de la France en 1999 :	72
Tableau 40 : Coûts d'élimination des boues en Allemagne et en Europe (en Euro/tonne de MS).....	73
Tableau 41 : Dispositions réglementaires régissant les boues industrielles dans le CMD.....	76
Tableau 42 : Directives européennes de gestion des boues des stations d'épuration.....	79
Tableau 43 : Aperçu sur le développement chronologique des réglementations allemandes en matière de gestion des boues.....	80
Tableau 44 : Propositions pour les valeurs limites pour les métaux lourds lors de l'amendement du décret sur les boues d'épuration (en mg/kg MS).....	82

Tableau 45 : Cadre réglementaire français régissant les boues industrielles	85
Tableau 46 : Principaux dispositifs réglementaires relatif à la gestion de boues urbaines en tant que déchets en France	86
Tableau 47 : Chronologie d'adoption des options de gestion des boues	97

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Évolution des volumes d'eaux usées brutes au Maroc	7
Figure 2 : répartition des capacités actuelles des stations existantes par systèmes de traitement	9
Figure 3 : Carte de production des boues en 2010 par région économique (en 10 ³ Tonnes de MS/an)	15
Figure 4 : Carte de l'évolution de la production des boues de 2010 à 2030 par région économique (en 10 ³ Tonnes MS/an).....	16
Figure 5 : Carte de répartition de la production de boues en 2010 par ABH (en 10 ³ tonnes de MS/an)	18
Figure 6 : carte de l'évolution de production des boues de 2010 à 2030 par ABH (en 10 ³ tonnes de MS/an)	19
Figure 7 : Estimation de la production des boues industrielles (estimation par secteur industriel et par bassin versant) de 2010 à 2030.	28
Figure 8 : Production des boues industrielles (IAA, ITC, IMME et ICP) par bassin hydraulique de 2010 à 2030.....	30
Figure 9 : Estimation de production des boues pour le secteur des IAA de 2010 à 2030 (en Tonnes de MS/an)	31
Figure 10 : Production de boues urbaines et industrielles actuelle et à l'horizon 2030 au Maroc.....	32
Figure 11 : Production de boues dans différents pays d'Europe	33
Figure 12 : Superficie requise pour le séchage naturel en fonction du volume annuel en millions de gallons (multiplier par 3785 pour convertir en m ³)	40
Figure 13: Filière de co-compostage	46
Figure 14 : Procédure d'acceptation et de contrôle de déchets	50
Figure 15 : Schéma des voies de traitement dans le but d'une mise en décharge	52
Figure 16: Destinations des boues en Europe	54
Figure 17 : Procédé de valorisation par digestion anaérobie	60
Figure 18 : étapes de la filière de digestion anaérobie	61
Figure 19 : Étapes de la filière de valorisation par séchage solaire.....	64
Figure 20 : Les coûts de l'élimination des boues d'épuration en Allemagne.....	73
Figure 21 : Schéma d'une filière de traitement/valorisation des boues (sans risques de toxicité)	92
Figure 22 : Filière de traitement/valorisation des boues de catégorie 2	94
Figure 23 : Les grands ensembles agro-écologiques du Maroc.....	100

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Références bibliographiques et personnes rencontrées
Annexe 2	Situation des STEP existantes
Annexe 3	Situation des centres pour lesquels existent des projets de stations de traitement
Annexe 4	Caractérisation des boues de quelques STEP
Annexe 5	Liste des centres pris en compte pour la projection de la production des boues
Annexe 6	Questionnaire STEPs Industrielles
Annexe 7	Carte de répartition des cimenteries au Maroc
Annexe 8	Carte des bassins versants en amont des barrages

Annexe 9	Fiche sur les unités industrielles visitées
Annexe 10	Estimation de la production de boues industrielles par secteur d'activité et par bassin versant
Annexe 11	Avantages et inconvénients des différentes techniques d'épaississement
Annexe 12	Récapitulatif sur les performances de déshydratation des boues industrielles et consommations en adjuvants
Annexe 13	Rapport C/N de quelques matières organiques
Annexe 14	Evolution de l'humidité des boues et du nombre d'œufs d'Ascaris dans les boues en lits sur lits de séchage de la STEP de Ouarzazate
Annexe 15	Principe de séchage naturel sous serre
Annexe 16	Schéma de principe de digestion des boues et de production de biogaz
Annexe 17	Valeurs calorifiques des boues d'épuration
Annexe 18	Schéma de principe de four à lit fluide stationnaire
Annexe 19	Teneurs limites en éléments traces métalliques dans des boues
Annexe 20	Teneurs limites en éléments traces métalliques dans les sols sec
Annexe 21	Normes en ETM de différents pays
Annexe 22	Normes tunisiennes sur les éléments traces métalliques
Annexe 23	Données sur les éléments pathogènes dans les boues
Annexe 24	Exemples de substances dangereuses existant dans les boues d'épuration
Annexe 25	Proposition de valeurs limites pour les polluants organiques (Allemagne)

LISTE DES ABREVIATIONS

ABH	Agence de Bassin Hydraulique
AMF	Association des Maires de France
BM	Banque Mondiale
BU	Boues Urbaines
BI	Boues Industrielles
C	Carbone
C3TEM	Centre de Transfert des Techniques et Technologies de l'Environnement à Mohammedia
CE	Conductivité Electrique
CEC	Capacité d'Echange Cationique
CEE	Communauté Economique Européenne
CEN	Commission Européenne de Normalisation
CET	Centre d'Enfouissement Technique
CF	Coliformes Fécaux
CGEM	Confédération Générale des Entreprises du Maroc
CMA	Coût Moyen Actualisé
CMA	Concentration totale Maximale Admissible
CMD	Catalogue Marocain des Déchets
CMPP	Centre Marocain de Production Propre
CNE	Conseil National de l'Environnement
CNESTEN	Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques Nucléaires
CPS	Cahiers des Prescriptions Spéciales
CRDA	Centre Régional de Développement Agricole
CTO	Composés Traces Organiques
C/N	Rapport Carbone sur Azote
DBO5	Demande Biologique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DE	Dépenses d'Exploitation
DEPP	Direction des Etudes de la Planification et de la Prospective
DGCL	Direction Générale des Collectivités Locales

DIB	Déchets Industriels Banals
DID	Déchets Industriels Dangereux
DIED	Développement Industriel Ecologiquement Durable
DRC	Direction Réglementation et Contrôle
DRPE	Direction de la Recherche et de la Planification en Eau
EH	Equivalent Habitant
EPA	Environment Protection Agency
EPT	Elément Potentiellement Toxique
ERU	Eaux Résiduaires Urbaines
ETM	Eléments Traces Métalliques
FMC	Flux Maximal Cumulé
FODEP	Fond de Dépollution
GES	Gaz à Effet de Serre
HCP	Haut Commissariat au Plan
IAA	Industries Agro-Alimentaires
ICP	Industries Chimiques et Parachimiques
IMME	Industries Mécaniques Métallurgiques et Electriques
IRGT	Institut Royal pour la Gestion durable des Ressources naturelles et la Promotion des Technologies propres
ITC	Industries du Textile et Cuir
K	Potassium
MDP	Mécanisme de Développement Propre
MES	Matières en Suspension
MICNET	Ministère de l'Industrie, du Commerce et des Nouvelles Technologies
MO	Matières Organiques
MS	Matières Sèches
MS	Ministère de la Santé
N	Azote
NPP	Nombre le Plus Probable
NPPUC	Nombre le Plus Probable d'Unités Cytopathiques
NRC	National Research Council
ONAS	Office National d'Assainissement
ONEP	Office National de l'Eau Potable
ONUDI	Organisation des Nations Unies pour le Développement Industriel
P	Phosphore
PC	Polymère Cationique
PE	Polyélectrolytes
PIB	Produit Intérieur Brut
PNA	Plan National d'Assainissement
PPM	Partie Par Million
PREM	Pérennité des Ressources en Eaux du Maroc
RAMSA	Régie Autonome Multi-Services d'Agadir
RBS	réacteur Biologique Séquentiel
RECORD	Recherche Coopérative sur les Déchets et l'Environnement
SEEE	Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement
SNDAL	Schéma National Directeur d'Assainissement Liquide
SNIMA	Service de Normalisation Industrielle Marocaine
STEP	Station d'Épuration des Eaux Polluées
TE	Taux d'Épuration
TEE	Tonne d'Eau Extraite
TMS	Tonne de Matière Sèche
TR	Taux de Raccordement
UE	Union Européenne
USAID	Agence américaine Internationale de Développement
VLR	Valeurs Limites de Rejet

1 Contexte et genèse de l'étude

La gestion des déchets liquides et solides revêt une grande importance et constitue une préoccupation majeure de l'autorité gouvernementale chargée de l'environnement et des collectivités locales étant donné le danger qu'ils peuvent générer à court, moyen ou long terme lorsqu'ils ne trouvent pas un débouché ou une destination économiquement faisable et écologiquement durable.

La promulgation des lois environnementales et en l'occurrence la loi sur les déchets 28-00, réglementant le secteur des déchets au Maroc, et la loi sur l'eau 10 – 95 est la conséquence directe de cette prise de conscience et cette volonté du gouvernement marocain de maîtriser l'augmentation exponentielle des volumes des déchets solides et liquides et leurs impacts potentiels sur la santé humaine et animale et sur le milieu récepteur.

Les boues résiduelles, sous-produits issus des traitements des eaux usées, constituent une catégorie « spéciale » parmi ces déchets et nécessitent la mise en place d'un plan pour leur gestion. Ceci se justifie davantage étant donné que leur production connaîtra, dans le court et moyen terme, un accroissement très important suite aux projections de grande envergure du Programme National de l'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées (PNA). En effet, ce programme prévoit un taux de raccordement global au réseau de 80 % en milieu urbain et un rabattement de la pollution domestique de 60 % en 2020 et 80% en 2030. Cette dépollution (épuration des eaux usées) réduira certes les nuisances de rejets liquides mais générera en même temps des volumes importants de boues à gérer.

Compte tenu de l'âge récent des stations d'épuration, la production des boues reste limitée. Lorsqu'elles sont évacuées, elles sont dans la plupart des cas accumulées et mises en tas à côté ou à l'entrée de la STEP, stockées sur place, causant ainsi des nuisances à la population et à l'environnement ou mises en décharge avec les déchets ménagers et autres types de déchets sans conditions ou précautions particulières.

Dans sa version initiale, le PNA n'intégrait pas la composante « boues » mais lors de sa revue stratégique qui a eu lieu en novembre 2007 avec l'assistance de la KfW et de la Banque Mondiale, des propositions de réajustement d'un certain nombre de composantes et de mécanismes de mise en œuvre ont été formulées. Parmi ces réajustements, il a été recommandé, la nécessité d'élaborer une stratégie nationale de gestion des boues des stations d'épuration des eaux usées.

Cette stratégie concernera aussi bien les boues des stations d'épuration des rejets urbains que les boues des stations de traitement des rejets industriels. Si le PNA constitue un facteur de production des boues à travers l'assainissement des centres urbains, la loi sur l'eau 10-95 vient à son tour réglementer les rejets liquides industriels dans le domaine public hydraulique. De ce fait, le traitement de ces rejets deviendra inévitable pour respecter les valeurs limites de rejets (VLR) dont les dossiers d'élaboration sont en cours. Il en résultera ainsi une production additionnelle des boues résiduelles industrielles.

C'est dans ce contexte que la Direction des Etudes, de la Planification et de la Prospective (DEPP) du Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau et de l'Environnement (SEEE) a confié au groupement Phénix-FiW dans le cadre du marché n°3/DEPP/2008 l'élaboration de cette stratégie qui aboutira à l'élaboration de trois documents :

- Rapport Phase 1 portant sur l'établissement d'un diagnostic sur la situation actuelle, les projections à l'horizon 2030, les expériences internationales, les réglementations internationales, les filières potentielles d'élimination et l'analyse des coûts des filières ;
- Rapport Phase 2 portant sur l'établissement d'une ébauche d'un dispositif organisationnel, institutionnel et de gestion impliquant les départements concernés, les opérateurs et les usagers potentiels (ou leur tutelle), l'établissement du plan d'actions d'accompagnements à la mise en œuvre

pour la gestion des boues domestiques et des boues industrielles et l'établissement des manuels de bonne pratique de gestion ;
- Rapport Phase 3 qui fera une synthèse de l'étude.

Ce document constitue le rapport de la phase 1.

2 Consistance et objectifs de l'étude

Cette stratégie, objet de la présente étude, devra permettre d'éclairer, à travers des propositions concrètes, les pouvoirs publics dont le SEEE et les opérateurs de l'assainissement (ONEP, régions et concessionnaires) sur les axes stratégiques à développer pour :

- (i) Prévenir les impacts négatifs des boues d'origine urbaine ou industrielle à travers les voies d'élimination et de traitement ;
- (ii) Identifier les options possibles d'élimination, de traitement et de valorisation ;
- (iii) Concrétiser les propositions en définissant les conditions et conditionnalités d'adoption des différentes options ;
- (iv) Proposition d'une ébauche de modulation chronologique d'adoption des options en fonction de l'évolution des instruments réglementaires, la disponibilité des normes spécifiques à chaque usage et des quantités produites et du taux de résorption par les différentes destinations ; etc.

Ainsi cette stratégie permettra de contribuer à l'instauration d'une gestion durable du secteur de l'assainissement liquide au Maroc qui intègre la filière «boue» dans la gestion des STEPs.

3 Méthodologie d'approche

La méthodologie adoptée pour l'élaboration de cette stratégie s'est articulée autour des principaux volets décrits dans les deux tableaux 1 et 2.

TABEAU 1 : VOILETS DE L'ÉTUDE : CONSISTANCE ET METHODE(S) D'INVESTIGATION POUR LE CAS DES BOUES INDUSTRIELLES

Volet 1. Diagnostic de la situation actuelle de gestion des boues
Consistance: Elle consistera à décrire les modalités actuelles de gestion (élimination, traitement et valorisation) des boues Méthode (s) d'investigation : - Collecte des données, auprès des départements concernés et auprès des opérateurs (FODEP, MICNT et STEPs industrielles). - Visites de quelques stations représentatives en matière de mode de gestion et de procédés de traitement sont aussi envisagées, il s'agit des 3 STEPs d'unités industrielles appartenant chacune à un secteur industriel (textile, boissons gazeuses et traitement de surface). - Questionnaire (Cf. modèle en annexe 6) - Prélèvement de quelques échantillons de boues pour caractérisation. - Estimation des ratios de production des boues. - Estimation des quantités de boues industrielles produites. - Dépouillement de l'information collectée.
Volet 2. Projection des volumes de boues produites
Consistance: Ce volet consiste dans le calcul des projections de la production des boues pour les horizons 2010 ; 2015 ; 2020 ; 2025. Méthode (s) d'investigation : - le mode d'estimation adopté se base sur : (i) l'évolution de l'activité industrielle (ii) la diversité de l'activité industrielle, et (iii) les flux moyens de DBO₅ et MES par secteur et la répartition des charges polluantes industrielles par bassin. Ces données sont issues de l'étude de la pollution industrielle réalisée en 2002 pour le FODEP.
Volet 3. Analyse du cadre réglementaire national et international régissant la gestion des boues urbaines et industrielles
Consistance: Ce volet consiste à examiner « le statut » des boues urbaines et industrielles dans la réglementation nationale actuelle ainsi que leurs statuts dans les dispositions législatives en projet afin d'établir une stratégie qui propose des solutions pérennes et durables. L'analyse du cadre réglementaire international permettra de guider à l'élaboration de l'ébauche du dispositif réglementaire, normatif et institutionnel permettant d'asseoir un plan de gestion durable et respectueux de l'environnement. Méthode (s) d'investigation : Il a été procédé à la collecte de l'information auprès de : - Directions concernées au Département de l'Environnement - Ministère de l'Industrie, du Commerce et des Nouvelles Technologies (Direction de la qualité et normalisation, Direction de la production industrielle, Service de Normalisation Industrielle Marocaine) - Ministère de l'Agriculture et des Pêches maritimes - Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification - Ministère de l'Intérieur / DGCL - Opérateurs de l'assainissement liquide (ONEP, régies et concessionnaires) - Unités de traitement des déchets à destination des cimenteries La documentation disponible à l'échelle nationale et internationale sera également exploitée. Un atelier sera organisé dont l'objectif de débattre d'une ébauche institutionnelle de gestion des boues industrielles mais aussi urbaines. À l'occasion de cet atelier, il sera communiqué les issues stratégiques de gestion des boues auprès des différents acteurs.
Volet 4. Analyse des expériences internationales
Ce volet se consacrera à l'analyse des expériences en matière de gestion des boues urbaines et industrielles dans d'autres pays dans le but de tirer les leçons pour prévenir les options peu adaptées au contexte du pays et d'identifier les expériences pouvant être répliquées au Maroc.
Une partie de ce document est consacrée également à un inventaire exhaustif des différentes techniques de traitement,

valorisation et élimination des boues industrielles et urbaines pratiquées à l'échelle internationale.

Ces deux composantes de cette partie constituent avec d'autres (cadre réglementaire, économique...) la base du choix des filières écologiquement viables et économiquement faisables pour le contexte du pays.

Volet 5. Identification des options et des filières adaptées au contexte national

Sur la base de la caractérisation quantitative et qualitative des boues qui sont et qui seront produites au Maroc et à la lumière des expériences internationales, les options et/ou filières faisables et durables de gestion des boues seront proposées.

Un schéma récapitulatif sur les options retenues pour le pays, et par une synthèse sur les opportunités et contraintes de gestion de boues à l'échelle nationale.

La présente étude ayant comme objectifs de mettre le point sur les impacts négatifs des modes actuels de gestion des boues d'origine industrielle, de définir sur la base de l'expérience internationale, des quantités produites actuelles et futures et les données sur le contexte spécifique de la filière boue au Maroc, des options de gestion durable des boues industrielles qui se justifient sur le plan technique, environnemental et économique, favorisant ainsi l'instauration d'une gestion intégrée du secteur de l'assainissement liquide au Maroc en intégrant la filière «boue» dans la gestion des STEPs.

Volet 6. Cadre estimatif des coûts des options d'élimination, de traitement et de valorisation

Ce volet consistera à estimer les coûts des différentes options de traitement, d'élimination et de valorisation et de les classer. Étant donné l'état embryonnaire des installations au Maroc, les ordres de grandeur des coûts seront empruntés des références internationales.

Volet 7. Élaboration d'un guide de bonnes pratiques de gestion des boues

Un guide de bonnes pratiques de gestion des boues sera produit et concernera les deux types de boues, urbaines et industrielles. Ce guide sera ventilé en trois parties :

- Les filières d'élimination avec prétraitement(s) : description technique et recommandations de bonnes pratiques
- Les filières de traitement : description technique et recommandations de bonnes pratiques
- Les filières de valorisation (après traitement ou transformation) : description technique et recommandations de bonnes pratiques

Ce guide sera destiné aux cadres techniques gestionnaires des STEPs.

Le volet 7 fera l'objet du rapport de la phase 2.

TABLEAU 2 : VOLETS DE L'ÉTUDE : CONSISTANCE ET METHODE(S) D'INVESTIGATION POUR LE CAS DES BOUES URBAINES

Volet 1. Diagnostic de la situation actuelle de gestion des boues

Consistance: Elle consistera à décrire les modalités actuelles de gestion (élimination, traitement et valorisation) des boues urbaines

Méthode (s) d'investigation :

- Dépouillement de quelques études d'assainissement
- Capitalisation des résultats récents de prospection et de caractérisation effectuée dans une dizaine de STEPs
- Autres visites effectuées auprès des STEPs de Drarga, de Grand Agadir et de Skhirate
- Réunions d'information avec l'ONEP
- Collecte de l'information auprès des régions
- Utilisation des données de base de l'étude sur la réutilisation des eaux usées dans les bassins hydrauliques lancée par la DRPE/SEEE.

Volet 2. Projection des volumes de boues produites

Consistance: Ce volet consiste à calculer des projections de la production des boues en tenant compte de la situation actuelle et des objectifs de PNA pour l'horizon 2020 qui sont : un taux de raccordement global au réseau de plus de 80% en milieu urbain et un taux d'épuration d'au moins 60%. Les projections couvrent les horizons 2010, 2015, 2020, 2025 et 2030.

Méthode (s) d'investigation :

Pour faciliter la lecture des résultats, les formules et modes de calcul seront présentés lors de la présentation des résultats.

Volet 3. Analyse du cadre réglementaire national et international régissant la gestion des boues urbaines et industrielles
contenu similaire au cas des boues industrielles (Cf. tableau 1)
Volet 4. Analyse des expériences internationales
contenu similaire au cas des boues industrielles (Cf. tableau 1)
Volet 5. Identification des options et des filières adaptées au contexte national
Sur la base de la caractérisation quantitative et qualitative des boues qui sont et qui seront produites au Maroc et à la lumière des expériences internationales, les options et/ou filières faisables et durables de gestion des boues seront proposées. On se propose, pour ce volet, de : - Décrire et justifier les options adaptées au contexte marocain - Concevoir un schéma récapitulatif sur les options retenues sous forme d'un cadre logique de choix des options. Cette partie s'achèvera par une synthèse sur les conditionnalités techniques, environnementales, institutionnelles et réglementaires de mise en œuvre de ces options.
Volet 6. Cadre estimatif des coûts des options d'élimination, de traitement et de valorisation
contenu similaire au cas des boues industrielles (Cf. tableau 1)
Volet 7. Élaboration d'un guide de bonnes pratiques de gestion des boues
contenu similaire au cas des boues industrielles (Cf. tableau 1)

Le présent rapport relatera les résultats des principales investigations suivantes :

- La situation actuelle des boues au Maroc
- Les quantités produites et les projections
- Les filières de gestion : références internationales et filières adaptées au contexte marocain
- Les ordres de grandeur des coûts
- Le cadre réglementaire national et international en matière de gestion des boues.

Les autres éléments relatés dans les tableaux 1 et 2 feront partie du rapport de phase 2.

La phase 2 comprendra :

- l'ébauche d'un dispositif institutionnel et réglementaire
- la définition d'un plan d'actions nécessaires à la mise en œuvre de la stratégie
- l'élaboration de manuels de bonnes pratiques de gestion des boues urbaines et industrielles.

4 Gisement actuel et futur des boues urbaines

4.1 Situation actuelle

4.1.1 Situation d'épuration des eaux usées domestiques

L'épuration des eaux usées au Maroc a pris du retard et le taux d'épuration du volume des eaux usées produites ne dépasse pas les 15%. Cette situation est de nature à générer des impacts néfastes sur la qualité du milieu et des risques importants pour la santé des populations. Dans le cadre d'une étude récente, lancée par la DRPE/SEEE sur les potentialités de réutilisation des eaux usées au Maroc, des estimations récentes des volumes potentiels des eaux usées brutes et épurées ont été réalisées. Le volume des eaux usées brutes produit est estimé actuellement à environ 600 Mm³ et atteindra plus de 1 000 Mm³ à l'horizon 2030 (voir figure 1 et tableau 3).

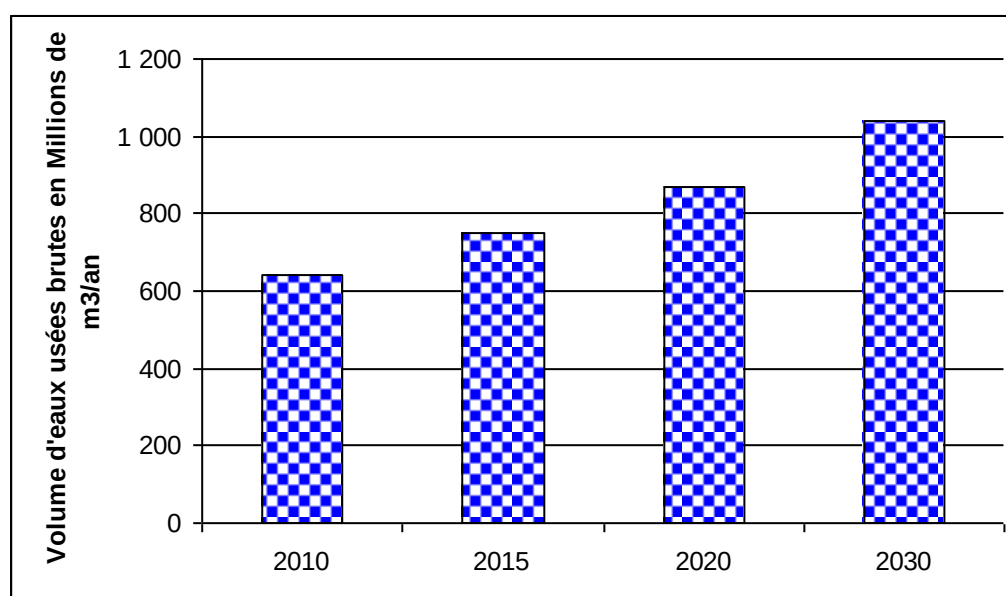


FIGURE 1 : ÉVOLUTION DES VOLUMES D'EAUX USEES BRUTES AU MAROC¹

TABLEAU 3 : POTENTIEL DE VOLUME D'EAUX USEES BRUTES POUR TOUS LES CENTRES ETUDIES JUSQU'EN 2030²

En m³/an	2010	2015	2020	2030
1 ^{ère} phase	306 111 731	378 795 023	450 717 615	567 358 790
2 ^{ème} phase	50 517 817	59 897 840	72 196 027	89 819 132
Hors PNA	283 151 311	311 777 174	347 351 506	382 020 613
TOTAL	639 780 859	750 470 037	870 265 147	1 039 198 534

¹ Source : Direction des Ressources et de la Planification de l'Eau. Secrétariat d'Etat chargé de l'Eau – Etude des potentialités de réutilisation des eaux usées épurées – Rapport mission 1 – décembre 2009.

² Source : idem.

Avec environ 15% du volume des eaux brutes épurées, le Maroc a pris un retard considérable dans l'épuration des eaux usées ce qui engendre une dégradation de l'environnement importante en particulier pour toutes les eaux usées brutes rejetées dans les oueds tels que l'oued Sebou, oued Tensift etc...

Face à cette situation, le Gouvernement marocain a placé l'assainissement liquide au rang de priorité Gouvernementale et a déclaré un engagement à rehausser ce secteur en vue d'améliorer les conditions de vie des populations et d'atténuer les nuisances environnementales. L'action phare mise en place en 2005 est le Programme National d'Assainissement Liquide et d'Épuration des Eaux Usées (PNA). Ce programme a été élaboré, conjointement par le Ministère de l'Intérieur et le Département de l'Environnement. Ainsi en tenant compte de ce programme et des projets d'épuration en dehors de ce programme, le volume d'eaux épurées à l'horizon 2030 sera de 1 023 millions de m³ comme indiqué dans le tableau 4 ci-dessous. Ces estimations ont été réalisées dans le cadre de l'étude des potentialités de réutilisation des eaux usées épurées réalisée par la DRPE en 2009.

TABEAU 4 : PROJECTIONS DU VOLUME D'EAU USEES EPUREES PAR BASSIN VERSANT³

Bassin Versant	2010	2015	2020	2030
Bouregreg	21 474 400	40 025 952	57 073 499	373 118 565
Moulouya	9 560 513	31 193 400	35 484 771	42 574 772
Oum Er Rbia	6 870 009	59 300 827	70 809 034	109 063 414
Tensift	39 592 801	50 917 029	58 368 705	70 000 479
Ziz Guir Rheris	3 050 181	7 516 993	8 716 254	10 487 975
Loukkos	1 649 267	14 377 132	16 306 495	112 359 985
Sebou	89 984 840	166 571 250	187 306 123	224 477 615
Souss Massa	6 293 250	34 541 199	40 859 853	50 136 968
Sahara	6 923 240	22 722 122	25 823 308	30 995 251
TOTAL (en m³/an)	185 398 499	427 165 905	500 748 041	1 023 215 024

Les principales actions techniques prévues par ce programme sont :

- La réhabilitation et l'extension du réseau ;
- le branchement et le renforcement du réseau pluvial ;
- la réalisation des stations d'épuration pour équiper 330 villes et centres urbains ;
- le renouvellement des équipements ; et
- l'acquisition du matériel d'exploitation.

Sur le plan opérationnel, le PNA affiche les objectifs chiffrés suivants :

Un niveau de raccordement moyen au réseau de 80% à l'horizon 2020 un taux de rabattement de la pollution domestique d'au moins 60% en 2020.

Dans le cadre du PNA, 338 centres ont été classés prioritaires pour la mise en place d'une station d'épuration.

Sur le plan des infrastructures d'épuration, la situation recensée par la DRPE est la suivante :

- 51 stations existantes (voir liste en annexe 2)
- 91 stations en projets dont 76 pour lesquelles les capacités et le système d'épuration sont connus (voir liste en annexe 3).

³ Source : op.cit.

Ces stations représentent une population totale de plus de 14,5 millions d'habitants (soit environ 45% de la population marocaine).

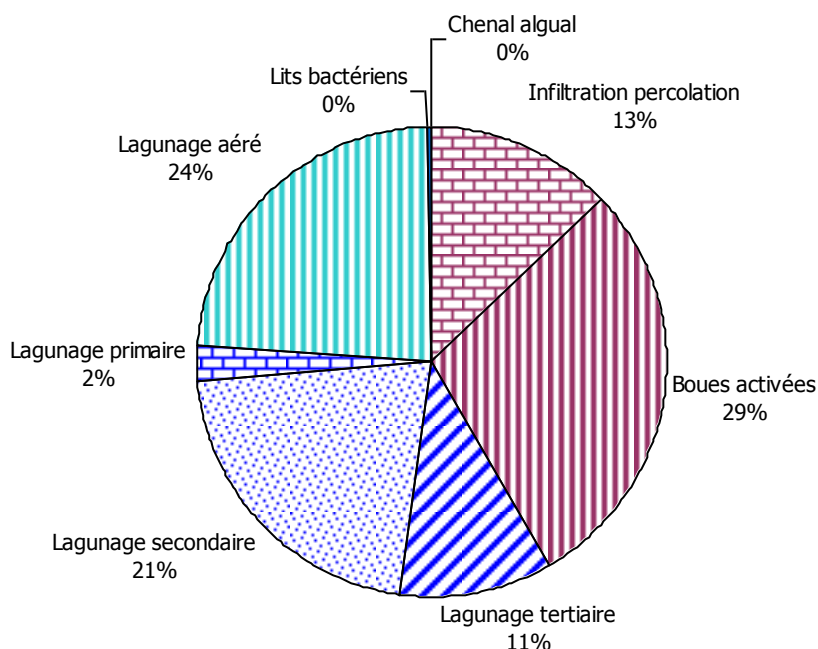


FIGURE 2 : REPARTITION DES CAPACITES ACTUELLES DES STATIONS EXISTANTES PAR SYSTEMES DE TRAITEMENT

Concernant le système d'épuration, 30% du volume sont traités par boues activées et près de 60% par lagunage.

4.1.2 Situation actuelle des boues urbaines au Maroc

4.1.2.1 Les producteurs actuels

Actuellement, seulement quelques stations de traitement participent à la production générale des boues. Les stations de Marrakech et Agadir avec une production annuelle de 10 718 Tonnes de MS/an représentent environ 30% de la production actuelle.

Le reste de la production se situe dans les STEP de Beni Mellal, Nador, Al Hoceïma et Settat. Les autres stations actuellement en fonctionnement sont des stations de lagunage pour lesquelles la problématique de gestion des boues se pose avec acuité localement. Ainsi le curage des bassins anaérobies de la station de lagunage de M'Rirt a démarré en 2009. Cette opération de curage constitue une expérience pilote pour l'ONEP tant au niveau de la technique de curage à mettre en place que pour l'appréciation des aspects qualitatifs et quantitatifs des boues curées.

A Marrakech la digestion anaérobie des boues permet de produire de l'électricité (30 000 kWh/jour).les boues digérées passent ensuite sur des filtres à bande avant d'être envoyées dans la décharge publique.

La digestion anaérobie est également le système retenu pour la station de Fès dont les travaux vont démarrer au premier trimestre 2010 et qui sera mise en service en 2013.

4.1.2.2 Destination des boues

Mise en décharge

Dans les STEP où les boues sont évacuées suite à l'opération de curage des bassins ou des surfaces massifs sableux (cas du procédé d'infiltration – percolation), les boues sont essentiellement séchées naturellement et déposées à proximité des stations d'épuration ou acheminées vers les décharges publiques (cas de la STEP de Drarga, d'Al Hoceima, Agadir, Marrakech, etc.) ou dans certains cas épandus directement sur les sols avoisinants au sol (cas de la STEP de Skhirat). Certains opérateurs privés exploitants de décharge peuvent refuser ponctuellement la mise en décharge de certaines boues surtout lorsqu'elles sont liquides et que le système de traitement des lixiviats n'est pas encore opérationnel.



Soulignons aussi que dans la plupart des cas, les boues restent dans les bassins de traitement des eaux usées, provoquant ainsi la diminution du rendement épuratoire des eaux usées. Ceci démontre la nécessité d'adopter une gestion intégrée des deux filières « eau » et « boue » pour la pérennisation des systèmes d'épuration.

Ces problèmes de gestion de boues au Maroc ne résultent pas seulement d'une faible maîtrise de la technique de curage, mais aussi d'un vide réglementaire en matière de suivi et de contrôle de la destination des boues urbaines générées par les stations d'épuration. Il est clair, qu'à nos jours, le problème n'est pas posé avec acuité mais le Maroc est devant un grand défi d'apprentissage et de maîtrise de gestion de ce sous-produit dans le moyen et long terme.

Incinération en cimenteries

Des essais d'incinération des boues dans les cimenteries sont en cours, notamment à Nador. Les essais réalisés ne permettent pas encore d'établir définitivement la politique des groupes chargés de la valorisation des déchets.

En effet des essais ont été réalisés en 2004 sur les boues de la station de Nador (700 tonnes ont été incinérées). Récemment, des essais ont été réalisés sur les stocks de boues de la station de Nador (dont le fonctionnement va s'arrêter à la mise en œuvre du nouveau projet d'épuration en cours de réalisation). Cet essai récent, sur des boues anciennes réhumidifiées avec la pluie ne peut être représentatif d'une incinération de boues produites en conditions normales de fonctionnement d'une STEP. Ainsi les éléments liés aux quantités maximales admissibles par les cimenteries ainsi que les conditions financières de leur incinération ne peuvent être définis actuellement.

4.1.2.3 État de connaissance des boues

En matière de caractérisation des boues urbaines au Maroc, les résultats sont assez fragmentaires. Le plus récent travail de caractérisation réalisé en 2008⁴ a porté sur 9 STEP : Agadir (Grand Agadir), Bouregreg, Drarga, Mrirt, Skhirate, Taoudjdate, Tafoghalte, Taourirt et Tiznit. Les résultats de ce travail ont mis en exergue entre autres deux éléments importants :

⁴ Source : « Gestion des boues des stations d'épuration au Maroc : quantification, caractérisation et options de traitement et de valorisation » - Mémoire de troisième cycle, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II. Rabat - Hamdani I. et B. Soudi (Encadrant) (2008)

- (i) Une composition montrant que les boues résiduelles urbaines sont riches en différents éléments fertilisants et que les teneurs en ces éléments varient d'une station d'épuration à l'autre (annexe 4)
- (ii) Les teneurs en éléments traces métalliques des boues d'épuration d'origine urbaine demeurent en deçà des valeurs limites tunisiennes et européennes (annexe 4) ce qui est en faveur de leur valorisation agricole. Il est aussi recommandé à ce que d'autres composés organiques et substances potentiellement dangereuses soient caractérisés.

Entre 2005 et 2006, la RAMSA a également réalisé une étude des filières de traitement et de valorisation des sous-produits de la décantation des eaux usées sur la station d'infiltration-percolation du Mzar traitant les eaux usées d'Agadir.

Des analyses ont été également réalisées sur les boues sèches issues de la station d'Agadir⁵ portant sur les éléments fertilisants et les teneurs en ETM (annexe 4). Les teneurs en ETM restent également en deçà des valeurs limites réglementaires européennes et tunisiennes.

4.1.2.4 État de la recherche sur les boues au Maroc

Les expérimentations réalisées au Maroc, ont concerné essentiellement trois aspects majeurs : (i) le compostage et la valorisation du compost ; (ii) l'évaluation de la valeur fertilisante des boues ; et (iii) l'évolution des œufs d'helminthes au cours de séchage en lits de séchage solaire naturel. Ces essais ont concerné les boues de la STEP de Ben Sergao, de Ouarzazate, de Drarga et de Skhirat.

Les principaux résultats sont résumés ci-après :

- Essais sur sol argilo-limoneux à Ouarzazate au Maroc⁶. Le rendement en matière sèche de Ray Gras d'Italie a augmenté de manière significative suite aux applications des boues séchées. La teneur en matière organique du sol a également augmenté. Le taux de décomposition des boues a été estimé à 60% en moyenne. Le taux apparent de minéralisation de l'azote a été évalué à 44 %.
- Dans le cas de Ben Sergao, les boues ont été compostées et utilisées pour l'amendement organique de deux espèces de gazon. Les paramètres hauteur et production de matière sèche ont été significativement améliorés⁷

Des essais d'incinération dans les cimenteries sont en cours mais les résultats ne sont pas encore disponibles.

4.1.3 Hypothèses de travail

L'estimation des quantités de boues produites est un exercice difficile étant donné le manque de données précises au niveau des STEP, le faible taux d'évacuation des boues, la variabilité de la production des boues en fonction de la qualité des eaux usées brutes et du type de procédé d'épuration etc. En effet, nous pouvons constater sur le tableau 5 des ordres de grandeur de ratios de production de boues qui varient avec le procédé de traitement.

⁵ Source : Etude des filières de traitement et de valorisation des sous-produits de la décantation des eaux usées Rapport 4 – RAMSA - 2006

⁶ Source : « Valorisation agricole des boues résiduelles : Valeur fertilisante et efficacité d'utilisation de l'azote par le Ray gras d'Italie » Jemali A. et B. Soudi ; In. Proceedings of International Workshop on « Sewage Treatment and Reuse for small communities: Mediterranean and European Experiences » Edited by R. Choukr Allah.. 1998

⁷ Source : Choukr Allah et al., 1998.

TABEAU 5 : PRODUCTION DE BOUES SPECIFIQUE POUR CHAQUE PROCEDE DE TRAITEMENT DES EAUX USEES⁸

Procédé de traitement	Quantité de boues (g MS/hab./j)
Décantation primaire (DC)	40 à 60
DC + Digestion anaérobie	25 à 40
DC + Lits bactériens	65 à 75
Boues activées libres	30 à 50

Pour l'estimation des quantités de boues produites, l'analyse s'est basée sur les données du PNA et sur les données validées issues de l'étude de réutilisation des eaux épurées de la DRPE/SEEE. Les eaux usées traitées et les boues étant les deux sous-produits de l'épuration, ce document tient compte des résultats de la mission 1 de l'étude des potentialités de réutilisation des eaux épurées.

Pour l'estimation de la production des boues, différentes approches explicitées ci-après ont été testées.

Les hypothèses de travail sont présentées ci-dessous :

- Liste des centres concernés : 423 centres représentant une population de 21,6 millions d'habitants à l'horizon 2010 et de 30,7 millions d'habitants à l'horizon 2030. La liste des centres est donnée en annexe 5. Elle est identique à celle utilisées dans l'étude de réutilisation des eaux traitées.
- Population : les estimations de population aux horizons 2010, 2015, 2020, 2025 et 2030 sont extraites des données traitées par l'étude de la DRPE qui a estimé une population à partir des projections des besoins en eau potable issus des différentes études en cours de réalisation.
- Taux de raccordement au réseau d'assainissement : d'une manière générale les taux de raccordement au réseau d'assainissement et leur évolution sont présentés dans le tableau suivant :

TABEAU 6 : HYPOTHESE D'EVOLUTION DES TAUX DE RACCORDEMENT AU RESEAU D'ASSAINISSEMENT EN FONCTION DE LA TAILLE DES CENTRES⁹

Taux de raccordement au réseau d'assainissement	2010	2015	2020	2025	2030
Grandes villes Population > 100 000 hab.	0,76	0,8	0,85	0,9	0,95
Villes moyennes Population comprise entre 20 000 et 100 000 hab.	0,62	0,7	0,75	0,8	0,85
Petites villes Population < 20 000 hab.	0,5	0,6	0,65	0,7	0,75

- Taux d'épuration :
 - Pour les centres disposant d'une STEP actuellement ou programmés dans le futur proche, le taux d'épuration a été de 1 soit à partir de 2010, soit à partir de 2015.
 - Pour les autres centres ne disposant pas de STEP aux horizons 2010 et 2015, le taux d'épuration a été de 0.
 - Ainsi les hypothèses d'épuration concernent les années à partir de 2020. les hypothèses alors retenues sont issues du taux global d'épuration calculé à partir des

⁸ Source : GLS, le Memotec n°18 -2002. Le séchage thermique des boues d'épuration, GLS, -<http://www.gls.fr/memotec18.htm>

⁹ Source : DRPE/SEEE – Etude de réutilisation des eaux usées épurées – Mission 1 – décembre 2009.

tableaux 3 et 4 ci-dessus. Ces taux sont de 60%, 60% et 98% respectivement pour les années 2020, 2025 et 2030.

4.2 *Projection de la production des boues urbaines*

Pour évaluer la production et les évolutions de cette production aux différents horizons, différents scénarios de calcul ont été envisagés :

Scénario 1 – hypothèse basse : 20g de MS/hab/jour (systèmes de traitement extensifs)

Scénario 2 – hypothèse moyenne : 40g de MS/hab/jour en moyenne

Scénario 3 – hypothèse haute : 60g de MS/hab/jour (systèmes de traitement intensifs)

Scénario 4 – intégration d'une pondération entre systèmes intensifs et extensifs :

70% de système extensif et 30% de système intensif aux horizons 2010, 2015 et 2020

30% de système extensif et 70% de système intensif aux horizons 2025 et 2030.

Les résultats de production de ces différents scénarios donnent les résultats présentés dans le tableau suivant :

TABLEAU 7 : RESULTATS DE PRODUCTION DE BOUES (EN TONNES DE MS/AN) SELON DIFFERENTES HYPOTHESES

Hypothèse		2010	2015	2020	2025	2030
Hypothèse basse	20gMS/hab/jour	21 775	55 099	90 043	105 405	200 841
Hypothèse moyenne	40gMS/hab/jour	43 550	110 198	180 085	210 809	401 681
Hypothèse haute	60gMS/hab/jour	65 325	165 297	270 128	316 214	602 522
Hypothèse avec pondération	2010 à 2020 (70% extensif et 30% intensif) - 2025 - 2030 (30% extensif et 70% intensif)	34 840	88 158	144 068	252 971	482 017

L'évolution importante de la production de boues entre 2025 et 2030 résulte d'une part d'un accroissement du taux d'épuration de 60 % à 98 % et d'autre part de l'hypothèse de mise en place de station de traitement pour les grandes villes côtières pour lesquelles n'existent actuellement qu'un pré-traitement suivi d'un émissaire en mer. Cette hypothèse a aussi été retenue dans l'étude de réutilisation des eaux épurées de la DRPE.

La prise en compte de la pondération selon le système d'épuration reflète bien les conditions de production des boues actuelles et leur prévision future. Aussi nous proposons de garder cette hypothèse de travail pour la suite du rapport et la présentation des résultats de production par région et par Agence de Bassin Hydraulique (ABH). On retiendra donc une production actuelle d'environ 35 000 tonnes et une production à l'horizon 2030 de 480 000 tonnes. La production actuelle correspond environ à 700 000 m³ de boues fraîches.

4.2.1 Répartition régionale de la production des boues

Sachant que les filières de traitement, d'élimination et de valorisation peuvent varier selon les régions pour diverses raisons (climat, proximité des décharges de déchets ménagers, proximité des cimenteries, demande en amendement des sols en agriculture ou sylviculture, etc.), il est jugé important d'estimer les quantités de boues produites dans les différentes régions du Maroc. Ainsi, la répartition régionale des boues est rapportée dans le tableau 8.

TABLEAU 8 : PRODUCTION DES BOUES PAR REGION DE 2010 A 2030 (EN TONNES DE MS/AN)

	2010	2015	2020	2025	2030
Chaouia - Ouardigha	3 168	6 911	5 814	9 949	19 428
Doukkala - Abda	0	116	6 308	10 998	21 006
Fès - Boulmane	190	11 221	8 949	15 564	29 450
Gharb-Chrarda-Beni Hssen	71	6 439	6 715	11 860	22 263
Grand Casablanca	0	2 243	27 377	46 954	87 597
Guelmim Es-smara	1 244	2 971	2 279	4 166	7 964
Laâyoune-Boujdour-SakiaEl Hamra	37	2 938	2 163	3 875	7 464
Marrakech - Tensift - El Haouz	8 603	12 514	9 576	17 149	32 519
Meknès-Tafilalet	6 037	9 276	9 772	17 361	33 075
Oriental	3 363	10 999	10 912	19 104	36 472
Oued Eddahab - Lagouira	0	822	1 035	2 310	6 190
Rabat - Salé - Zemmour - Zaer	497	3 372	17 125	29 907	56 527
Souss- massa - Draa	8 732	13 461	14 760	26 418	51 215
Tadla - Azilal	2 078	2 811	4 648	7 943	14 557
Tanger - Tétouan	0	355	13 457	23 831	45 821
Taza-Al Hoceïma - Taounate	821	1 710	3 212	5 581	10 470
TOTAL	34 840	88 158	144 103	252 971	482 017

A l'heure actuelle, la production des boues au niveau régional est liée à l'épuration des quelques grandes villes : Marrakech et Agadir en particulier.

Dans le futur, la production va surtout se développer de manière importante dans les régions du Grand casablanca, Rabat-Salé-Zemmour-Zaer, Souss-Massa-Draa et Tanger-Tétouan où les productions seront supérieures à plus de 45 000 tonnes de MS par an (tableau 8 et figure 4).

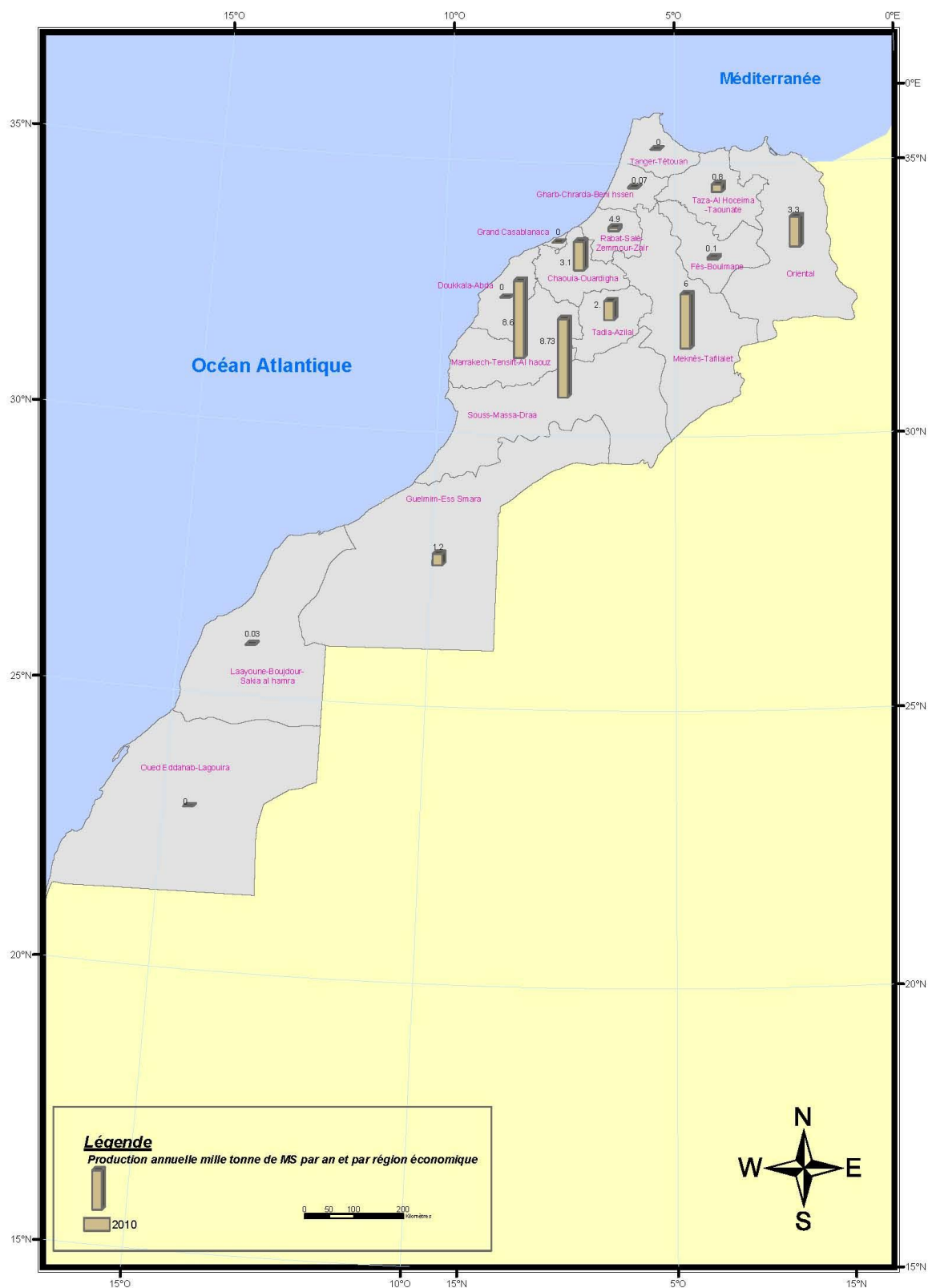


FIGURE 3 : CARTE DE PRODUCTION DES BOUES EN 2010 PAR REGION ECONOMIQUE (EN 10³ TONNES DE MS/AN)

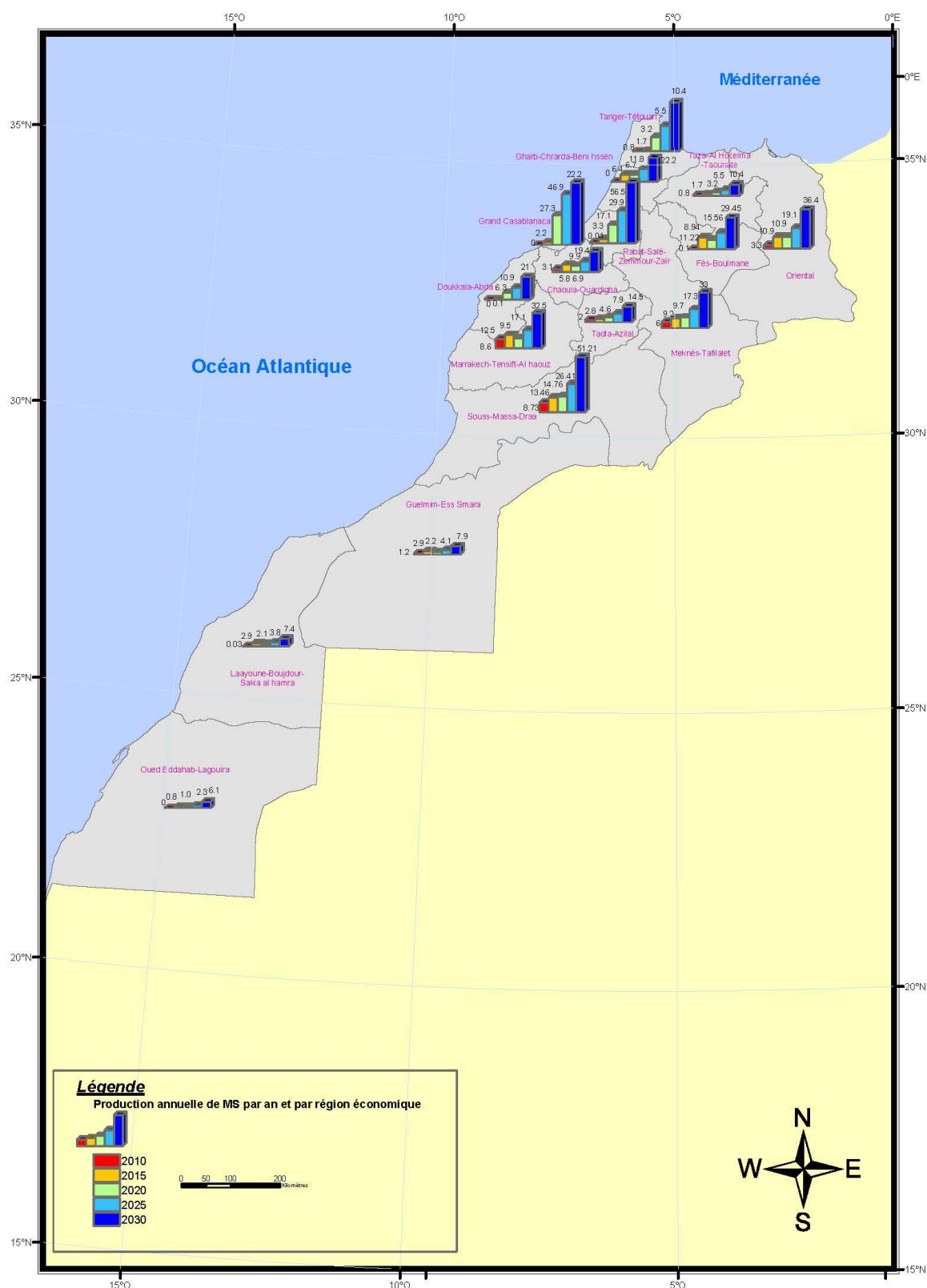


FIGURE 4 : CARTE DE L'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION DES BOUES DE 2010 A 2030 PAR REGION ECONOMIQUE (EN 10³ TONNES MS/AN)

4.2.2 Répartition par Bassin hydraulique

Le tableau ci-dessous et les figures suivantes présentent les estimations de la production actuelle et des projections jusqu'à l'horizon 2030 par Agence de Bassin Hydraulique.

TABEAU 9 : PRODUCTION DES BOUES PAR BASSIN HYDRAULIQUE DE 2010 A 2030 (EN TONNES DE MS/AN)

	2010	2015	2020	2025	2030
Bouregreg	3 086	11 183	48 944	84 176	158 484
Draa	787	2 219	4 593	8 353	16 540
Guir Ziz	1 315	2 533	2 749	4 754	8 919
Loukkos	821	1 368	10 262	18 196	34 977
Moulouya	3 009	10 481	10 560	18 533	35 470
Oum Er Rbia	2 159	3 297	8 772	15 275	28 464
Sahara	1 190	5 956	4 880	9 182	19 367
Sebou	5 833	26 591	29 375	51 877	98 382
Souss Massa	8 036	12 016	10 764	19 236	36 925
Tensift	8 603	12 514	13 169	23 390	44 488
TOTAL	34 840	88 158	144 068	252 971	482 017

Actuellement les productions les plus importantes sont au niveau du bassin hydraulique du Souss-Massa et du Tensift avec les productions des villes d'Agadir et de Marrakech. A l'horizon 2030 les productions seront plus importantes au niveau du territoire de l'ABH du Bouregreg en supposant le traitement des eaux usées des villes Casablanca, Mohammedia et Rabat. Ensuite les centres situés sur territoire de l'ABH du Sebou produiront près de 100 000 tonnes de MS/an.

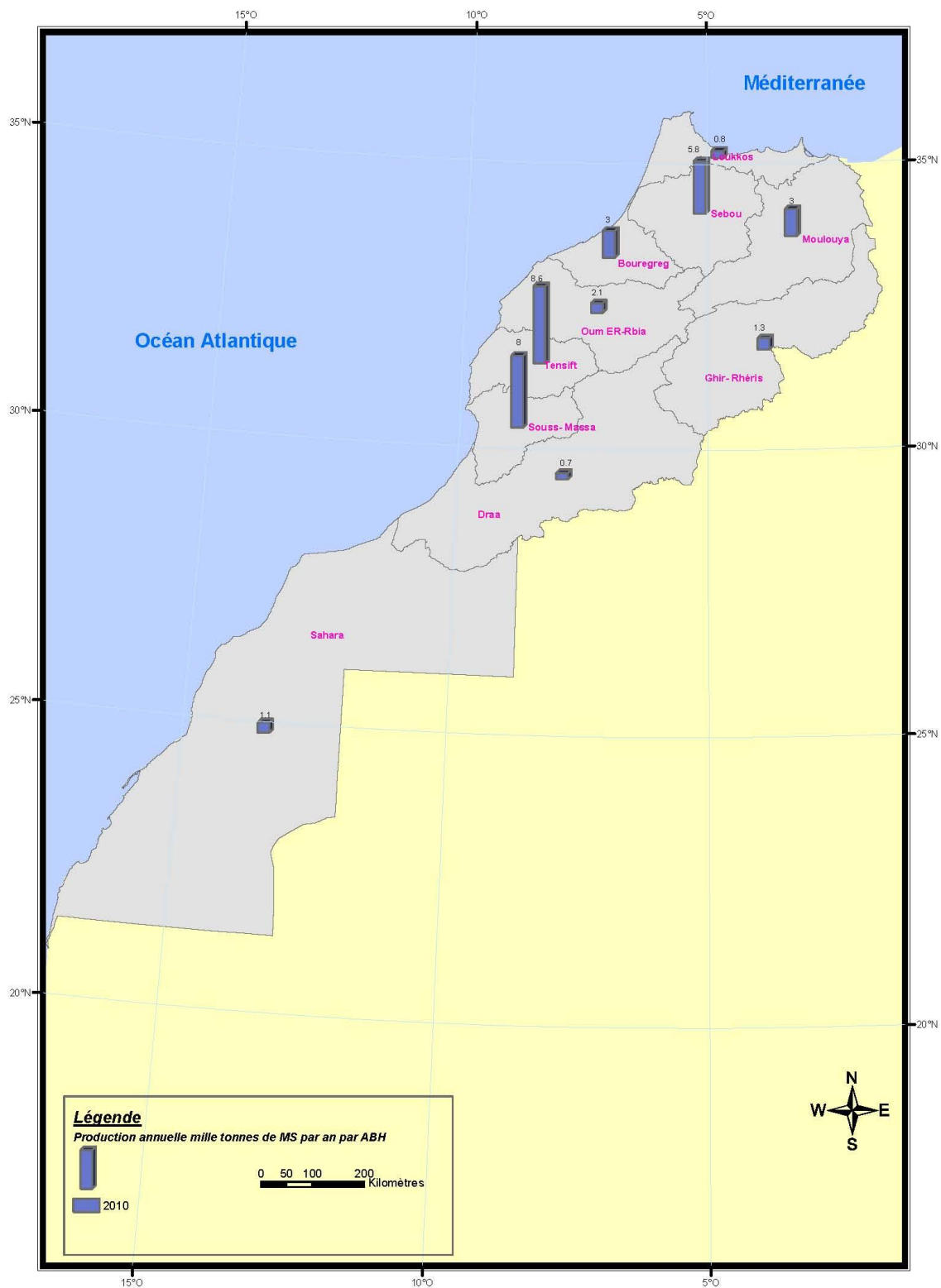


FIGURE 5 : CARTE DE REPARTITION DE LA PRODUCTION DE BOUES EN 2010 PAR ABH (EN 10^3 TONNES DE MS/AN)

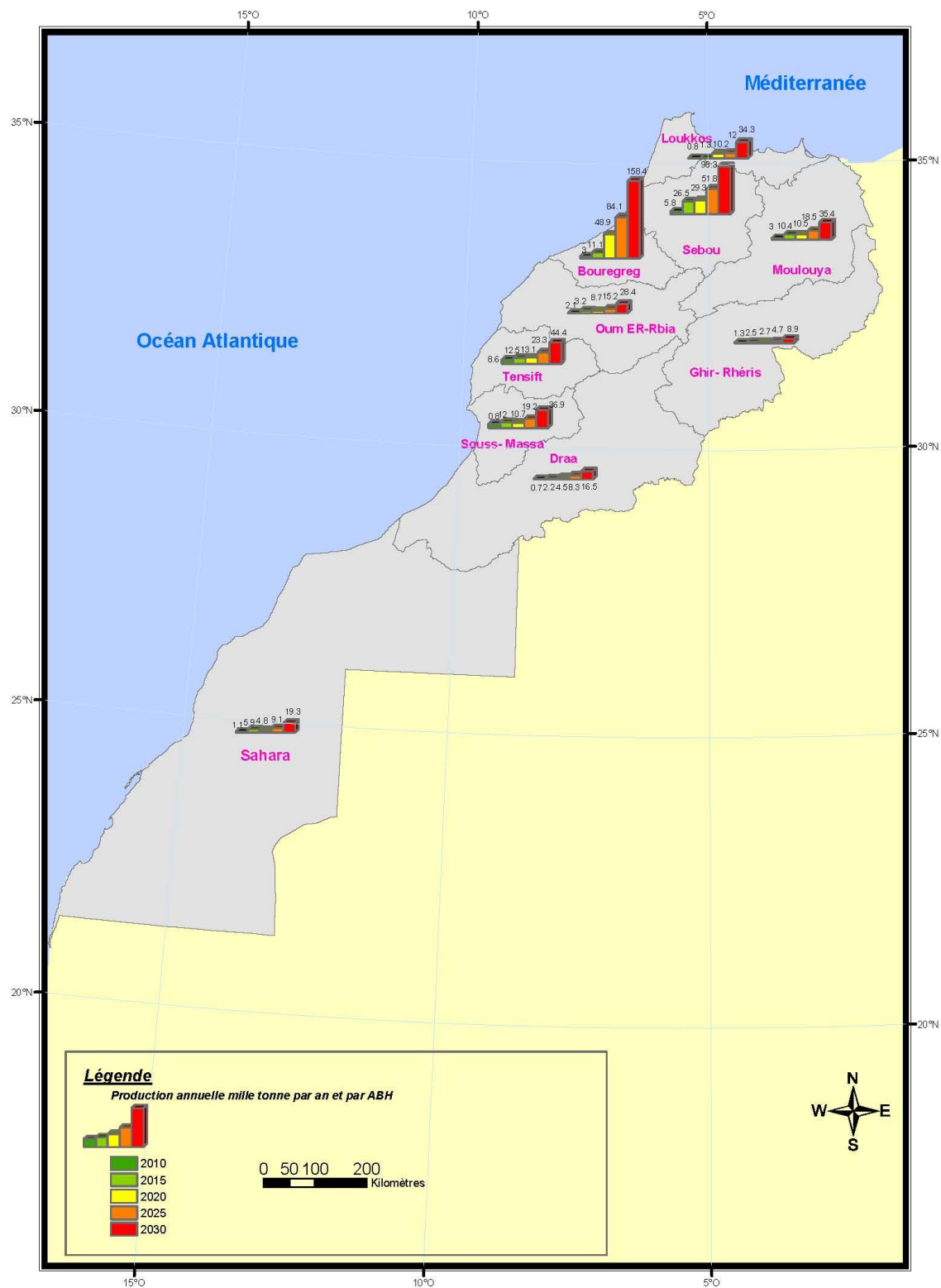


FIGURE 6 : CARTE DE L'ÉVOLUTION DE PRODUCTION DES BOUES DE 2010 A 2030 PAR ABH (EN 10³ TONNES DE MS/AN)

5 Gisement actuel et futur des boues industrielles

5.1 *Aperçu sur le secteur industriel au Maroc*

Le secteur industriel joue un rôle très important dans l'économie du pays. En effet, la valeur ajoutée générée par ce secteur en 1999 s'élevait à environ 53 milliards de Dirhams. Ceci a contribué d'environ 16% au PIB global¹⁰, et cette valeur a atteint plus de 74 milliards de dirhams pour 2007¹¹.

Sur le plan socio-économique, le secteur industriel est considéré comme étant l'un des pôles d'activités les plus pourvoyeurs de main d'œuvre. Il emploie 507 253 ouvriers permanents et saisonniers selon le dernier recensement réalisé par MICNET en 2007. A côté de ces retombées positives et significatives sur l'économie nationale, ce secteur se caractérise par une croissance qui se fait souvent au détriment de la préservation de l'environnement.

La répartition des entreprises industrielles par secteur d'activités est rapportée dans le tableau 10

TABEAU 10 : REPARTITION DES ENTREPRISES INDUSTRIELLES PAR SECTEUR¹²

Secteur industriel	1993		2001		2007	
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
IAA	1 548	25	1 731	25,3	1 998	25,6
ITC	1 862	30	1 786	26,1	1 758	22,6
ICP	1 790	29	2 139	31,3	2 307	29,5
IMME	1 002	16	1 171	17,2	1 749	22,3
Total	6 202		6 827		7 812	

On peut ainsi conclure que :

- Le nombre des industries de tous les secteurs est en augmentation sauf celui de l'industrie textile et cuir qui a connu une baisse de l'ordre 7,42% d'entreprises éliminées du secteur par an.
- La contribution du secteur chimie et parachimie par rapport aux autres secteurs est en augmentation (16% en 1993 et 22,3% en 2007).
- Le taux d'accroissement industriel annuel, respectivement avant et après 2001 est de l'ordre de 1,1% ; 2%.
- Le taux d'accroissement par secteur est respectivement de 1.2% ; -0.5% ; 2% ; 1.7%, entre 1993 et 2001, pour IAA, ITC, ICP, IMME. Tandis que ce taux entre 2001 et 2007 pour les secteurs cités avant et dans le même ordre est de 2% ; -0.2% ; 1.1% ; 6%.

5.2 *Les rejets liquides industriels au Maroc*

Le volume des eaux usées rejeté dans le milieu récepteur par le secteur industriel s'élève à plus de 964 millions de m³. Une proportion importante de ce volume, soit près de 97 %, est rejetée par le

¹⁰ Source : DRPE, Mars 2002, Volume II : éléments méthodologiques d'élaboration des projets relatifs aux valeurs limites de rejets industriels.

¹¹ Source : MCINET - 2009

¹² Source : Données de MICNET 2007; MCI – DIED, 1996; VOLUME II : éléments méthodologiques d'élaboration de projets de valeurs limites de rejets industrielles, Soudi et Xanthoulis, Mars 2002.

Elaboration de la stratégie nationale pour la gestion des boues des stations d'épuration au Maroc
Phase 1 : Rapport provisoire (R118₀)

secteur des industries chimiques et parachimiques. Ces rejets représentent environ 83 % du volume d'eau utilisé. Les contributions relatives à ce volume global sont rapportées dans le tableau 11¹³.

TABEAU 11 : VOLUMES D'EAU UTILISEE ET REJETEE PAR LES PRINCIPAUX SECTEURS INDUSTRIELS¹⁴

Secteurs industriels	Volumes d'eau utilisée (Mm ³)	Volumes rejetés	
		(Mm ³)	%
Industries chimiques et parachimiques	1 050	931	89
Industries textiles et cuir	23	10	96
Industries agro-alimentaires	11	22	91
Industries métallurgiques, mécaniques et électriques	2.1	Faible rejet mais contenant des substances toxiques comme le cyanure	<95

Le tableau 12 reporte les résultats d'estimation de la charge polluante globale, ainsi que le taux de leur accroissement, au cours d'une étude menée par le FODEP sur la pollution industrielle.

TABEAU 12 : ESTIMATION DE LA POLLUTION INDUSTRIELLE TOTALE AU MAROC¹⁵

Composantes de pollution industrielle totale	1993	2000	Taux d'accroissement %
DBO ₅ (T/an)	76 000	99 680	3,45
DCO (T/an)	140 500	186 285	3,59
MES (T/an)	29 400	39 656	3,81
Effluents liquides (m ³ /an)	45 000 000	58 706 000	3,38

Comme il a été montré auparavant, le taux d'accroissement de la pollution industrielle en moyenne est de l'ordre de 3,56%, entre 1993 et 2000. Depuis 2000, aucune étude n'a été menée à l'échelle nationale pour actualiser ces informations.

5.3 La pollution industrielle sectorielle générée par les rejets liquides

Tant au point de vue de leur volume qu'à celui de leur composition, et contrairement aux eaux usées domestiques, les caractéristiques des eaux usées industrielles sont variables pour chaque branche

¹³ Source : DRPE, Mars 2002, Elaboration des dossiers techniques relatifs aux valeurs limites de rejets industriels dans le domaine public hydraulique.

¹⁴ Source : idem

¹⁵ Source : Etude sectorielle sur la pollution industrielle - FODEP, 2002 -Clean Tech /FIW.

industrielle, voire pour chaque établissement d'une même branche. Donc il n'est pas souvent aisé de disposer de charges polluantes d'activités industrielles mesurées pour en juger l'importance. Afin de pouvoir caractériser les effluents industriels, on va se baser sur des études menées à l'échelle nationale concernant la pollution industrielle. Ces études d'inventaire à l'échelle nationale sont relativement anciennes (la plus récente date de 1999) et ne concerne pas tous les polluants.

On se propose de présenter ci-après les charges polluantes générées par les principaux secteurs d'activités.

5.3.1 Secteur agro-alimentaire

Le secteur agro-alimentaire rejette des charges importantes en matières organiques, 80% et 66% respectivement en DCO et DBO et les charges polluantes sont résumées dans le tableau 13.

TABEAU 13 : PRINCIPAUX POLLUANTS DES REJETS D'INDUSTRIE AGRO-ALIMENTAIRE¹⁶

Polluants	Tonnes/ an Année 1993	Tonnes/an Année 1999
MES	17 400	23 952
DCO	80 000	110 125
DBO	38 100	52 447
Azote total	1 500	---
Phosphore total	190	---
Rejets liquides [m³/an]	21 500 000	29 596 000

5.3.2 Secteur de textile et cuir

Les processus de fabrication, dans ce secteur d'activité, sont très diversifiés, ce qui rend difficile la caractérisation des principales composantes des rejets liquides. Mais en général, ce secteur contribue à la totalité de la pollution engendrée par le chrome et les sulfures, polluants particulièrement dangereux pour l'environnement¹⁷. Les charges polluantes rejetées par ce secteur et correspondant aux principaux paramètres de pollution sont rapportés dans le tableau 14.

TABEAU 14 : PRINCIPAUX POLLUANTS DES REJETS D'INDUSTRIE TEXTILE ET CUIR¹⁸

Polluants	Tonnes/ an Année 1993	Tonnes/an Année 1999
MES	7 600	9 070
DCO	-	45 970
DBO	15 400	18 390
chrome total	111	132
Sulfures	140	167
Rejets liquides [m³/an]	10 000 000	11 941 000

¹⁶ Source : DIED – MCI 1996 et étude sectorielle de la pollution industrielle, FODEP – 2002.

¹⁷ Source : DIED – MCI – 1996.

¹⁸ Source : Idem note de bas de page 17

5.3.3 Secteur de chimie et parachimie

Les industries chimiques et parachimiques représentent environ 29% du tissu industriel et contribuent à hauteur de 34% de la production industrielle. Les charges polluantes générées par ce secteur sont rapportées dans le tableau 15.

Ces charges polluantes ne sont pas exhaustives au niveau des polluants.

TABEAU 15 : PRINCIPAUX POLLUANTS DES REJETS D'INDUSTRIE CHIMIE ET PARACHIMIE¹⁹

Polluants	Tonnes/ an Année 1993	Tonnes/ an Année 1999
MES	6 465 500	8 225 500
DCO	12 600	16 030
DBO ₅	4 300	5 470
Azote total	1 780	---
Phosphore total	11	---
fluorures	37 700	---
P ₂ O ₅	54 840	---
Chlorures	1 900	---
Mercure	0,015	---
Rejets liquides (hors OCP Jorf et Safi) [m ³ /an]	13 000 000	16 536 000

5.3.4 Secteur des industries mécaniques, métallurgiques et électriques

Les rejets liquides générés par ce secteur sont généralement chargés d'éléments traces métalliques et par des produits chimiques provenant des opérations de laminage, de décapage et de dégraissage. Certaines activités relevant de ce secteur génèrent des substances dangereuses dont le cyanure, avec une quantité d'environ 2 tonnes annuellement²⁰. L'étude de la dépollution industrielle réalisée par le FODEP a estimé la production annuelle de DBO₅ à environ 1 400 Tonnes et celles de MES à 1 900 Tonnes.

5.4 Efforts de dépollution industrielle

5.4.1 Efforts de l'état Marocain pour la dépollution industrielle

L'industrie marocaine a connu une émergence considérable provoquant ainsi une dégradation de la qualité de notre environnement, de ce fait que le Maroc a adopté plusieurs programmes incitatifs visant la réhabilitation du secteur industriel et sa mise à niveau environnementale.

Les efforts et la volonté de mettre à niveau ce secteur tout en minimisant ses impacts négatifs potentiels sur l'environnement sont :

¹⁹ Source : Idem précédente

²⁰ Source : DRPE, Mars 2002, Volume II : éléments méthodologiques d'élaboration des projets relatifs aux valeurs limites de rejets industriels.

- L'initiation d'un projet de développement industriel écologiquement durable suite à la conférence organisée, en 1991, par l'organisation des Nations Unies (ONUDI) sur le développement industriel écologiquement durable (DIED) ;
- La mise en place, par le Département du Commerce et de l'Industrie en étroite collaboration avec la Confédération Générale des Entreprises du Maroc (CGEM) et l'ONUDI, du Centre Marocain de Production Propre (CMPP) en vue de promouvoir l'utilisation des technologies propres permettant de réduire les niveaux de pollution et de renforcer la compétitivité de l'entreprise ;
- La création du Fonds de dépollution industrielle (FODEP) au sein du Département de l'Environnement pour aider les entreprises à financer les investissements dans la réduction de la pollution ;
- Le Comité "Normes et Standards" opérationnel qui réunit tous les organismes concernés. Ce Comité capitalise les acquis dans le domaine de normalisation et contribue de manière active dans le processus d'élaboration de normes nationales ;
- Les actions en matière de normalisation entreprises par le Service de Normalisation Industrielle Marocaine (SNIMA) qui est chargé de la coordination des activités du système national de certification de la conformité aux normes ;
- La promulgation de la loi 12-03 relative aux Études d'Impact sur l'Environnement qui est exigée pour tous les projets et qui permet d'intégrer en amont des projets des mesures visant à réduire les nuisances.

5.4.2 Situation des stations industrielles de traitement des eaux usées au Maroc

Malgré la prise de conscience nationale en matière des risques environnementaux engendrés par les rejets, à l'état brut, des effluents industriels, soit dans le réseau d'assainissement domestique, soit dans le milieu naturel, on peut constater que les industriels accumulent un retard significatif en matière de traitement de leurs effluents.

Pour ne pas verser dans la généralisation, il est important de mentionner que certaines industries nationales ont déjà leurs stations de traitement. Celles-ci sont soit mises en place grâce à l'aide de financement du FODEP, soient mises en œuvre sur uniquement les fonds propres des industriels.

Dans cette partie on se propose de synthétiser, dans le tableau 16, les informations qui intéressent les STEPs industrielles qui ont bénéficié de ce cadre de financement. Il s'est avéré difficile d'obtenir des informations sur les installations mises en place par les industriels eux – mêmes.

TABEAU 16 : APERÇU SUR LES STEPS INDUSTRIELLES ACTUELLES AU MAROC APPUYEES PAR LE FODEP²¹

Secteur industriel	Activité industrielle	Nombre	Ville	Procédé de traitement mis en place
IAA	Conserverie d'olive	1	Béni Mellal	Lagunage naturel
	Huilerie végétale	2	Casablanca Berrechid	Boues activées
	Abattoir avicole	2	Had Soualem	Boues activées
	Laiterie	3	Fkhih Bensaleh Taroudant Kenitra	- Traitement biologique par réacteur biologique séquentiel (RBS) - boues activées avec aération prolongée - Boues activées
	Production d'agar agar	1	Kenitra	- Traitement biologique : Réacteur RBS
	Boisson Gazeuse	2	Marrakech Fès	- Boues activées
	Conserverie de poissons	2	Agadir Lakhyayta	- Coagulation floculation - Boues activées
	Distillerie d'alcool	1	Kenitra	- Traitement anaérobie, traitement aérobie à boues activées et lagunage facultatif
	Sucrierie	1	Allal Tazi	Lagunage naturel
	Total	15		
ITC	Bonneterie	1	Tétouan	- Réacteurs biologiques HOK à culture fixes
	Dé lavage de jeans	4	Casablanca Bouknadel Rabat Salé	- traitement physico-chimique+boues activées - boues activées
	Teinture	2	Berrechid Skhirat	- traitement physico-chimique - boues activées
	Filature et Teinture	1	Shhirat	- traitement physico-chimique+boues activées
	Production de sacs d'emballage	1	Tanger	- boues activées
	Teinture et confection	1	Casablanca	traitement physico-chimique
	Total	10	----	----
IMME	Traitement de surface	1	Casablanca	traitement physico-chimique
	Galvanisation	1		
	Montage de voitures	1		
	Total	3		
ICP	Production de carrelage	1	Casablanca	traitement physico-chimique
	Carrière	5	Marrakech Kelaâ Seraghna	
	Produits pharmaceutiques	1	Casablanca	
	Total	7		
Total des STEPs financée par FODEP	35			

²¹ Source : Données du FODEP, 2009.

Malgré la représentativité des actions « FODEP » en termes d'activités industrielles concernées et en termes de leur répartition géographique, la proportion des industries touchées par ce mécanisme demeure relativement faible.

Différents types de procédés ont été utilisés :

- Les procédés biologiques à cultures libres (Lagunage naturel et Boues activées) et procédés biologiques à cultures fixes (traitement biologique : réacteur RBS) pour le secteur IAA ;
- Les procédés physico-chimiques et biologiques (boues activées) pour le secteur ITC ; et
- Les traitements essentiellement physico-chimiques pour les secteurs IMME et ICP.

Mis à part un essai d'élimination en cimenterie, les boues issues des STEPs industrielles sont envoyées vers la décharge publique communale.

5.5 *Production actuelle des boues*

5.5.1 Rappel du contexte

Situation des boues industrielles

Jusqu'à présent, si un dispositif d'épuration des eaux usées existe et fonctionne, la seule voie d'élimination des boues après un prétraitement (l'épaississement et/ou déshydratation), est la mise en décharge des boues (contrôlée ou non contrôlée suivant l'infrastructure mise en place par la commune concernée).

Ce mode de gestion répandu peut avoir des impacts négatifs sur la santé humaine et animale en premier ordre, et sur l'environnement en second.

Dans le but d'avoir une idée générale sur les modes actuels de gestion de boues, des visites ont été organisées vers quelques STEPs industrielles. Le choix des STEPs visitées a été conditionné par la possibilité d'accès.

Les STEPs industrielles visitées sont en nombre de trois correspondants respectivement à l'activité de boissons gazeuses (IAA), traitement de surface (IMME) et textile (ITC).

Les échantillons de boues prélevés lors de ces visites ont été analysés aux laboratoires du Département Ressources Naturelles et Environnement à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, et du Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques Nucléaires (CNESTEN).

Les boues traitées par épaississement et déshydratation sont mises en décharge.

Une fiche technique sur ces STEPs visitées ainsi que le tableau relatant les résultats d'analyse est rapportée en annexe 9.

Contexte d'étude des boues industrielles

Il s'est avéré très difficile d'estimer avec exactitude les quantités actuelles produites par le secteur industriel à cause des difficultés associées à l'accès et à la non disponibilité de l'information. Soulignons aussi que l'épuration des effluents liquides industriels demeure encore très en retard. Toutefois, on assiste depuis l'avènement de la loi sur l'eau 10-95 à l'instauration progressive d'une dynamique en matière de protection du domaine public hydraulique et de l'intégration de la dimension environnementale dans le développement industriel. Cette situation résulte de la mise en place du principe pollueur – payeur et des nouvelles exigences en matière de qualité au niveau des secteurs de production. Ainsi, depuis une dizaine d'années, le Département de l'Eau et le Département de

Elaboration de la stratégie nationale pour la gestion des boues des stations d'épuration au Maroc
Phase 1 : Rapport provisoire (R118₀)

L'Environnement en collaboration avec le Ministère de l'Industrie, du Commerce et des Nouvelles Technologies, ont lancé le processus d'élaboration des dossiers de valeurs limites spécifiques de rejets industriels. Quelques dossiers ont été déjà validés et officiellement publiés parmi les 40 activités ou branches industrielles dont les dossiers sont plus ou moins finalisés.

La seule source relativement complète de données est celle relative aux informations disponibles et mises à disposition par le Département de l'Environnement pour le cas des unités industrielles financées par le FODEP. Toutefois, l'estimation de la quantité de boues produites sur cette base demeure insuffisante sachant que les unités concernées (environ 35 entreprises) représentent une proportion très faible (de l'ordre de 0.5%) par rapport au total des 7 812 entreprises industrielles actuellement inventoriées. D'autres projets (projet de rationalisation des consommations d'eau avec le CMPP) prévoient également la construction de Station de traitement d'eaux usées pour environ une dizaine d'unités.

5.5.2 Estimation des quantités potentielles des boues produites

Estimer la production des boues pour le secteur industriel est un exercice très difficile et périlleux. En effet jusqu'à ce jour, il n'existe pas par secteur industriel de ratio de production de boues en fonction du niveau d'activités ou même d'une consommation en eau. Ainsi, et sur la base de la littérature éprouvée dans ce domaine, l'estimation de la production des boues qui a été réalisée tient compte des estimations de production de DBO₅ et de MES. Ces estimations sont celles issues de l'étude de la dépollution industrielle réalisée par le FODEP en 2002. Ces estimations avaient été réalisées par secteur d'activité et par bassin versant.

L'estimation de la quantité future de boues provenant du traitement des eaux usées industrielles se fait sur base des chiffres empruntés de l'étude du FODEP de 2001/2002 (Projet FODEP « Etude sectorielle sur la pollution industrielle »). On suppose comme condition un accroissement de la quantité de boues de 1,5 %. Le taux d'accroissement de la quantité de boues est plus faible que le pronostic pour l'accroissement de l'industrie au Maroc qui est estimé à environ 3% parce qu'on ne peut pas partir du fait que l'activité industrielle s'accroît de la même façon que la quantité des eaux usées.

Pour estimer les quantités futures de boues, les informations sur les valeurs MES et DBO sont disponibles de sorte qu'on peut appliquer une formule, utilisée pour dimensionner des stations à boues activées en Allemagne et empruntée du règlement de l'association professionnelle « DWA », du Règlement A 131 « Diminsioning of Single-Stage Activated Sludge Plants" (ce règlement est disponible en allemand et en anglais). Les conditions pour utiliser ces formules sont les suivantes :

- Les eaux usées sont traitées complètement dans un traitement biologique.
- Il n'existe pas de traitement primaire.
- C'est pourquoi l'on utilise cette formule pour la condition MES/DBO < 5.

La formule empirique avec de coefficients de Hatwig (selon le règlement A 131 de la « DWA ») est la suivante :

$$P_{MS} = DBO_5 * (0,75 + 0,6 * \frac{MES}{DBO_5} - \frac{0,102 * t_{boue} * F_{température}}{1 + 0,17 * t_{boue} * F_{température}}) [t MS/an]$$

avec :

DBO₅ en t/an

P_{MS} : production de boues (MS)

t_{boue} : âge de boue en jours

F_{température} : facteur de température pour la respiration endogène F_{température} = 1,072^(T-15)

T : température

A cause des conditions climatiques présentes au Maroc, on suppose comme condition une température de 20°C et un âge de boues de 10 jours pour utiliser la formule. Pour cette condition, la formule est la suivante :

$$P_{MS} = DBO_5 * (0,6 * MES/DBO_5 + 0,3261) [t/an]$$

En ce qui concerne les industries dont les eaux usées n'ont pas besoin de traitement biologique et dont les eaux, dans la plupart des cas, contiennent un proportion des matières solides de sorte que la relation de MES/DBO₅ est > 5, on doit, par conséquent, faire une autre estimation. Dans ces cas, on peut partir du fait que les eaux sont traitées de façon physico-chimique et, ainsi, on peut estimer la quantité de boues comme suit:

$$P_{MS} = 0,95 * MES [t MS/an]$$

On atteint les résultats des estimations sur les quantités futures de boues provenant du traitement des eaux usées industrielles au moyen de deux approches. D'un part, on distingue selon le secteur et, d'autre part, selon le secteur et le bassin versant. En appliquant ces deux approches, les résultats diffèrent légèrement l'un de l'autre, parce que les conditions MES/DBO₅ sont un peu différentes. Les résultats pour les deux approches sont indiqués dans la figure suivante (les résultats plus précis se trouvent à l'annexe 10). Ces quantités de boues sont hypothétiques, elles seraient produites, si les eaux usées industrielles avaient été traitées.

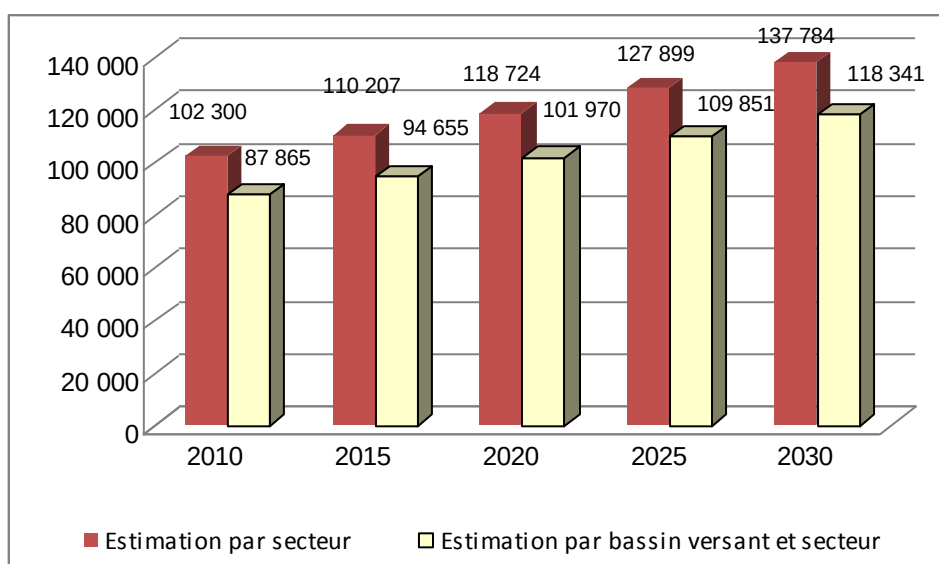


FIGURE 7 : ESTIMATION DE LA PRODUCTION DES BOUES INDUSTRIELLES (ESTIMATION PAR SECTEUR INDUSTRIEL ET PAR BASSIN VERSANT) DE 2010 A 2030.

La production potentielle (en dehors des boues issues de l'industrie minérale) s'élève à 88 000 ; 95 000 ; 102 000, 110 000 et 120 000 tonnes/an respectivement à l'année de base 2010 et aux horizons 2015 ; 2020, 2025 et 2030. Ces chiffres sont surestimés car ils supposent le traitement systématique des rejets. Si on suppose que le traitement actuel ne concerne que 1% à 2% des rejets le volume actuel serait de 900 tonnes/an à 1 200 tonnes/an ce qui reste très faible. Par contre la mise en œuvre de projet de dépollution dans les années à venir peut entraîner une augmentation très importante. Si 60 % des industries traitent leurs rejets à l'horizon 2010, la production de boues sera d'environ 60 000 tonnes annuellement.

Le secteur des industries agro-alimentaires représente environ 60% du tonnage total du secteur industriel (à l'exception de celui de l'industrie minérale).

TABEAU 17 : ESTIMATION DE PRODUCTION POTENTIELLE DES BOUES INDUSTRIELLES DE 2010 A 2030 PAR SECTEUR D'ACTIVITES (EN TONNES DE MS/AN)

année	2010	2015	2020	2025	2030
Industrie agro-alimentaire (IAA)	51 329	55 296	59 570	64 174	69 133
Industrie textile et cuir (ITC)	13 037	14 045	15 130	16 300	17 559
Industrie métallique, métallurgique et électrique (IMME)	1 962	2 114	2 277	2 453	2 643
Industrie Chimie et Parachimie (ICP)	21 535	23 200	24 993	26 924	29 005
Total sans les déchets de l'industrie à base minérale	87 865	94 655	101 970	109 851	118 341
Total avec les déchets de l'industrie à base minérale	8 093 695	8 719 208	9 393 063	10 118 996	10 901 033

5.5.2.1 Répartition de la production des boues par bassin hydraulique

Une estimation de la production de boues par bassin versant et sa projection à l'horizon 2030 a été réalisée sur la base des activités industrielles réparties par bassin versant. Ces estimations prennent comme hypothèse le traitement de toutes les eaux usées industrielles. Cette production reste donc surestimée.

TABEAU 18 : ESTIMATION DE PRODUCTION POTENTIELLE DE BOUES INDUSTRIELLES PAR BASSIN VERSANT DE 2010 A 2030 (EN TONNES DE MS)

BASSIN HYDRAULIQUE	2010	2015	2020	2025	2030
LOUKKOS	7 828	8 433	9 085	9 787	10 543
MOULOUYA	826	890	959	1 033	1 113
SEBOU	28 665	30 880	33 267	35 838	38 607
BOUREGREG	29 850	32 157	34 642	37 320	40 204
TENSIFT	7 357	7 926	8 538	9 198	9 909
OUM ER RBIA	1 822	1 963	2 115	2 278	2 454
DRAA	6 321	6 810	7 336	7 903	8 514
SOUSS MASSA	4 496	4 844	5 218	5 621	6 056
ZIZ GHIR	41	45	48	52	56
SAHARA	657	708	762	821	885
TOTAL	87 865	94 655	101 970	109 851	118 341

Le bassin du Bouregreg (comprenant la région du Grand Casablanca) et du Sebou concentrent près des $\frac{3}{4}$ de la production des boues industrielles au niveau national (tableau 18 et figure 8).

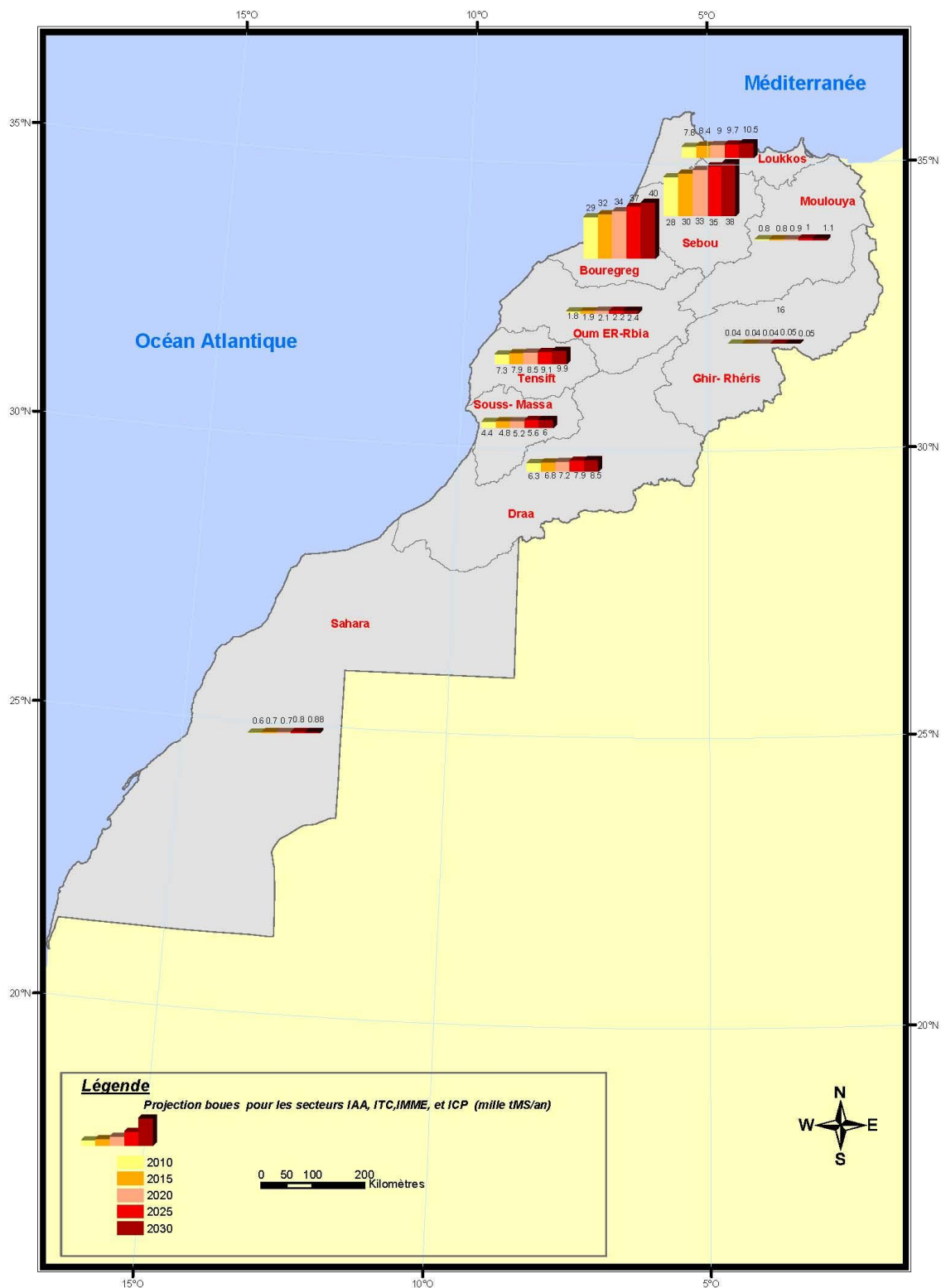


FIGURE 8 : PRODUCTION DES BOUES INDUSTRIELLES (IAA, ITC, IMME ET ICP) PAR BASSIN HYDRAULIQUE DE 2010 A 2030

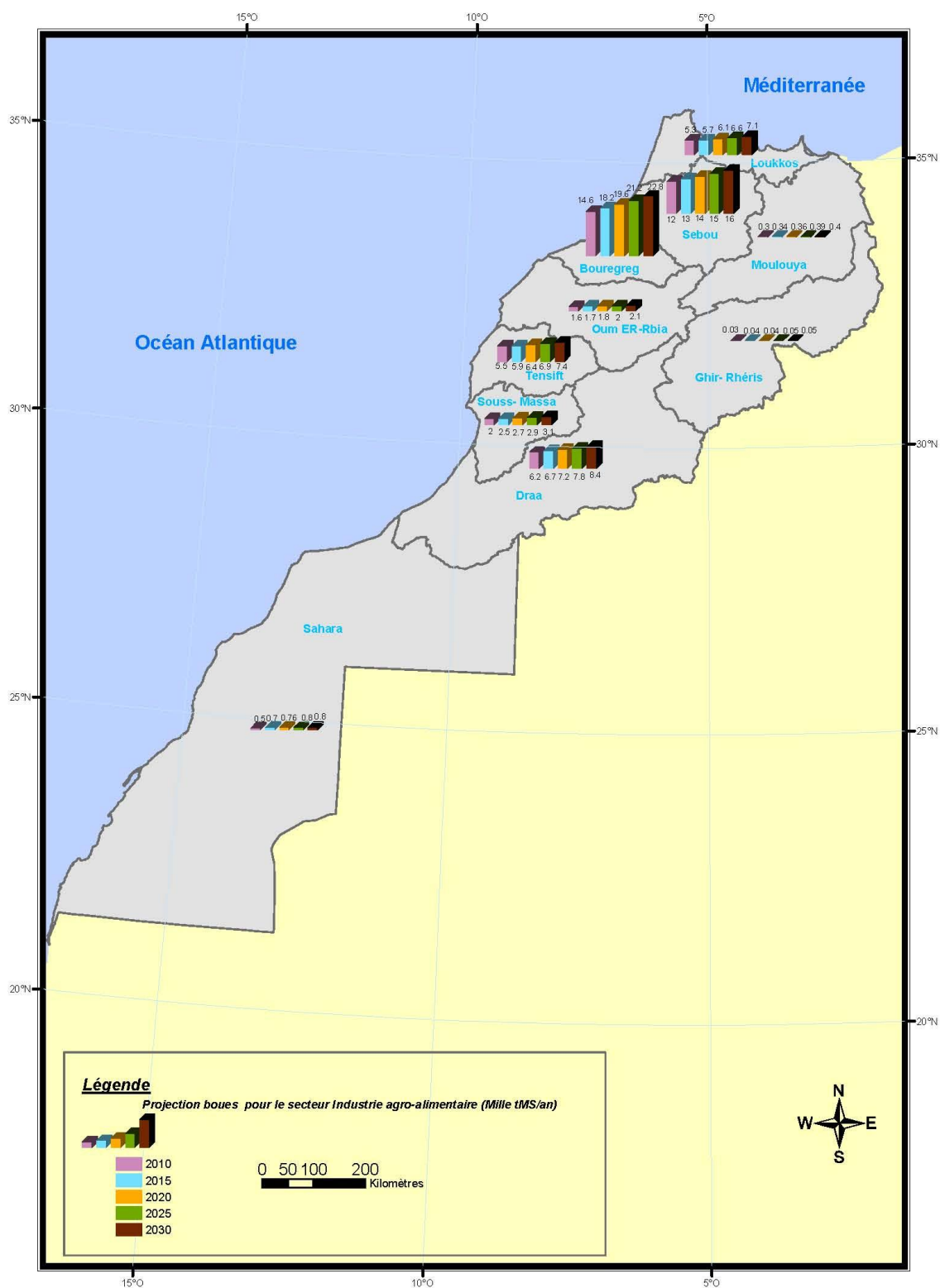


FIGURE 9 : ESTIMATION DE PRODUCTION DES BOUES POUR LE SECTEUR DES IAA DE 2010 A 2030 (EN TONNES DE MS/AN)

La production de boues industrielles du secteur des IAA est également concentrée dans les bassins versants du Bouregreg et du Sebou (Figure 9).

6 Récapitulatif sur la production des boues urbaines et industrielles

6.1 Evolution de la production de boues urbaines et industrielles au Maroc

Nous pouvons déduire de ce qui précède que la production potentielle de boues va s'accroître de manière significative d'ici l'horizon 2030 : elle atteindra un total (boues urbaines et boues industrielles) de près de 600 000 Tonnes de MS/an en 2030. L'accroissement de la production des boues urbaines est élevé car les hypothèses tiennent compte de ratios progressifs en terme de raccordement et d'épuration pour les eaux usées urbaines. La production des boues industrielles reste cependant surestimée.

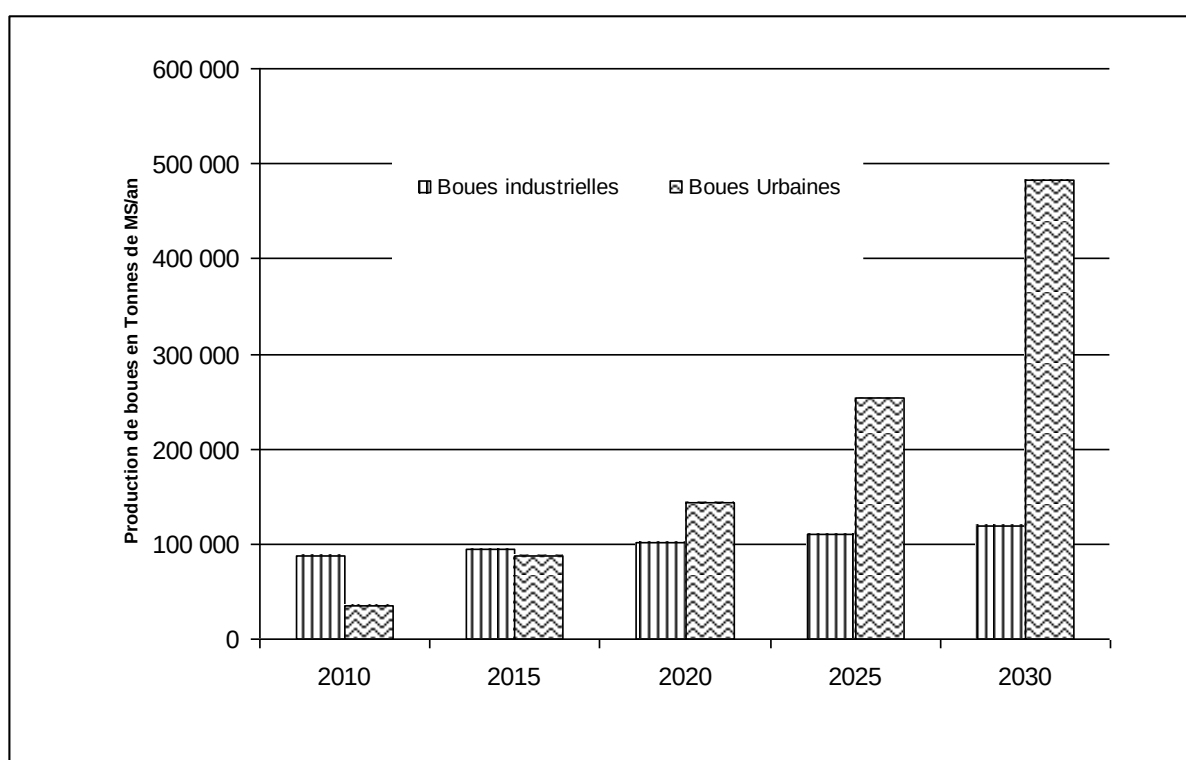


FIGURE 10 : PRODUCTION DE BOUES URBAINES ET INDUSTRIELLES ACTUELLE ET A L'HORIZON 2030 AU MAROC

Toutefois, il est important de souligner que la production spécifique des boues (kg MS / Kg de DBO_5) notamment d'origine urbaine peut diminuer avec l'augmentation des exigences d'épuration des eaux usées notamment domestiques en vue, par exemple, d'assurer un rabattement important en N et P. En effet, dans ce cas, les stations requièrent un âge de boue plus élevé et produisent spécifiquement moins de boues dans la mesure où une grande partie de celle-ci sera minéralisée dans les bassins à boues activées. Ce phénomène est d'autant plus important en cas de stabilisation anaérobie.

Aussi, pour le cas des boues industrielles, l'adoption de technologies appropriées (qualifiées de technologies propres) permet de réduire la production des boues. Pour illustrer cela, on peut citer le cas d'une unité industrielle métallurgique de l'acier en Espagne qui a pu réduire la production des

boues de 69 à environ 5 Tonnes/an en substituant le système de décapage chimique par un processus de décapage physique par vibration²².

À côté de ces cas, il y a lieu de souligner, comme mentionné auparavant, que les systèmes extensifs d'épuration des eaux usées génèrent moins de boues que les systèmes intensifs et que le curage des bassins dans le cas des premiers ne s'opère en moyenne qu'une fois tous les trois ans. Toutefois, ces systèmes occasionnent une alternance entre une production « zéro » et un pic de production à gérer en un seul temps. Cet aspect sera traité dans la partie relative aux bonnes pratiques de gestion et de valorisation des boues.

6.2 Production des boues dans d'autres pays

Il a été aussi jugé utile de comparer ci-après les quantités potentielles de boues produites avec celles produites dans d'autres pays. La figure 11 présente la production totale des boues issues de l'épuration des eaux usées urbaines pour différents pays européens.

Cas de l'Europe

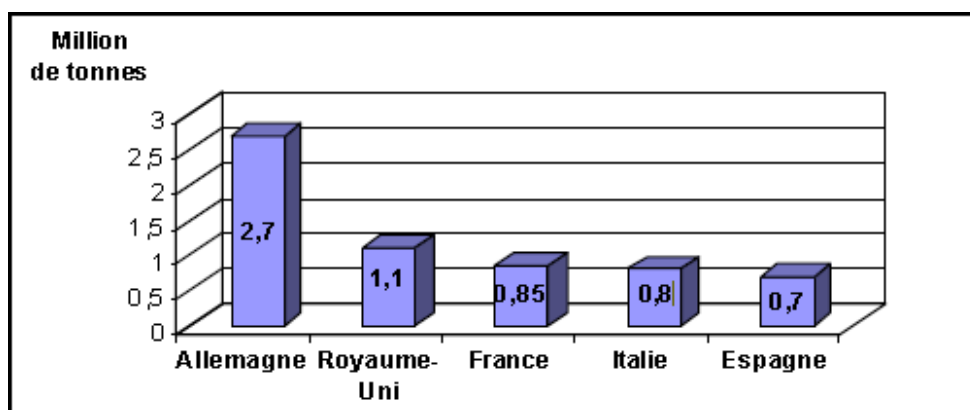


FIGURE 11 : PRODUCTION DE BOUES DANS DIFFERENTS PAYS D'EUROPE²³

Autres pays d'Europe :

Pour le cas **de la Suisse**, on estime une production de 200 000 Tonnes de MS²⁴.

Pour le cas de la Belgique, on estime une production totale de boues d'environ 105 000 Tonnes de MS/an²⁵.

Les données concernant les boues industrielles sont relativement rares. Pour le cas de la France la quantité des boues industrielle est estimée à 1 million de Tonnes de MS²⁶. Selon la même référence, il

²² Source : Med CPL Fiche 51, 2000

²³ Source : Valorisation agricole des boues urbaines et industrielles: Impact à l'échelle des Bassins Versants. Roy de Lachaise, A., M. Blanchard, M-J. Teil), S. Théry (1), D. Duriez, A. Branthomme, J-M. Mouchel, M. Chevreuil - Colloque Piren organisé par Cereve et SIAAP les 4 et 5 Février 2003.

²⁴ Source : Fiche d'information N°1 sur l'interdiction des boues d'épuration : Questions et réponses concernant les boues d'épuration - OFEFP.2003.

²⁵ Source : Gestion des Boues en Belgique - IRGT -Institut royal pour la Gestion durable des Ressources naturelles et la Promotion des Technologies propres. 2005

Elaboration de la stratégie nationale pour la gestion des boues des stations d'épuration au Maroc
Phase 1 : Rapport provisoire (R118₀)

apparaît que les données sont loin d'être précises pour le cas des boues industrielles et que la siccité de cette catégorie de boues est variable et demeure peu connue notamment pour les boues issues d'épuration des eaux usées du secteur agroalimentaire.

Cas de la Tunisie

La production annuelle de boues enregistrée en Tunisie en 2004, dans les 69 stations en service au niveau urbain, était de 114 017 m³ de boues sèches. En 1998, la quantité de boues était seulement d'environ 48329 m³ de boues sèches soit un accroissement annuel moyen de l'ordre de 16%.

Cas des USA

Une masse de 7 à 8 millions de tonnes de MS/an est générée par les 16 000 stations d'épuration des États-Unis d'Amérique²⁷.

À l'échelle mondiale

La production mondiale des boues a reçu des estimations variables. Selon, US Patent 6855256 (2005), la production mondiale annuelle est estimée à environ 50 millions de tonnes de MS. Selon la même référence, le marché mondial de traitement de ce volume s'élève à environ 15 Milliards de Dollars américains. Ce coût est estimé à environ 4 Milliards d'Euros pour l'Europe²⁸ et à 5 Milliards de dollars américains pour les USA. La partie relative aux estimations des coûts sera détaillée plus loin.

²⁶ Source : inventaire et critères de choix de filières de traitement et valorisation pour les boues urbaines et industrielles Caemel B., Vos M., O. Pollet & J. Chabrier, juillet 2008.

²⁷ Source : Patent Application for invention § Applicants : Systems and Methods for Processing Municipal Wastewater Treatment Sewage Sludge - Robert G. , Graham Tony A. Kuipers T. Terry Tousey Joseph C. Snodgrass David E. Prouty. 2008.

²⁸ Source : Valorisation agricole des boues urbaines et industrielles: Impact à l'échelle des Bassins Versants. Roy de Lachaise, A. , M. Blanchard , M-J. Teil), S. Théry (1), D. Duriez , A. Branthomme , J-M. Mouchel , M. Chevreuil - Colloque Piren organisé par Cereve et SIAAP les 4 et 5 Février 2003.

7 Filières de gestion des boues

7.1 Préambule

Deux éléments importants méritent d'être mentionnés à titre de préambule à cette partie :

- (i) Il est utile de répondre en premier abord à la question suivante : En quoi consiste la gestion de la filière boue ? En réponse à cette question, on peut dire que la gestion de la filière « boue » englobe de manière intégrée et indépendamment des responsabilités institutionnelles, leur genèse dans le processus d'épuration, leur traitement et leur destination finale. Cette démarche devra être prise en compte dès le stade de conception de la station d'épuration. En ce qui concerne les projets d'assainissement entrepris par les opérateurs et en l'occurrence l'ONEP, la gestion de la filière boue fait partie des Cahiers des Prescriptions Spéciales (CPS).
- (ii) Le second point, lié au premier, consiste à insister sur le fait que la filière d'épuration influence les boues produites (en quantité et en qualité) mais la gestion des boues peut également influencer la performance épuratoire de la STEP et donc sur la qualité des eaux épurées.

Sur le plan terminologique et à l'instar de ce qu'il a été pratiqué par la même équipe d'experts pour l'élaboration de la stratégie de gestion des boues en Tunisie, on se propose de distinguer les trois catégories d'options de gestion des boues adoptées à l'échelle internationale:

- (i) Options de traitement des boues en tant que composantes technologiques faisant partie de la STEP ou qui s'opèrent à son aval immédiat ;
- (ii) Options de valorisation : valorisation agricole, valorisation sylvicole, végétalisation, réhabilitation des sols, etc. Certaines variantes comme le compostage et le séchage en lits plantés peuvent être incluses dans cette catégorie mais il s'agit en fait d'options mixtes de traitement – valorisation.
- (iii) Options d'élimination : mise en décharge et incinération.

7.2 Revue des filières et technologies de gestion

Les filières de traitement des boues ont trois objectifs principaux²⁹ :

- 1- **Concentrer les boues et réduire leur volume par extraction d'eau** (épaississement et/ou déshydratation avec ou sans séchage), Dans la chronologie des opérations de traitement, l'épaississement est la première étape qui concentre par un facteur de l'ordre de 10 la teneur en matière sèche (siccité) avec des valeurs de 20 à 100 g/l. Il existe des procédés gravitaires (statique ou raclé et hersé) et des procédés accélérés (égouttage, flottation ou centrifugation).
- 2- **Stabiliser les boues** en réduisant leur caractère fermentescible (contrôle des nuisances olfactives = maîtrise des odeurs nauséabondes) La stabilisation est assurée par la digestion anaérobie, la stabilisation aérobie ou la stabilisation chimique à la chaux. L'hygiénisation peut être obtenue par certains procédés de stabilisation, dont le chaulage.
- 3- **Améliorer la consistance des boues** afin de faciliter les opérations de reprise, de transport, de stockage et d'élimination finale.

²⁹ Source : Association des Maires de France (AMF) – Le maire et les boues d'épuration. Guide pratique pour les collectivités locales - 2004

Les technologies décrites ci-après correspondent aux deux catégories de boues urbaines et industrielles. Il est clair que leur application dans certains cas dépendra de la qualité des boues brutes et d'autres critères comme la taille de la STEP ou de son contexte. Ces aspects seront étayés dans le manuel réservé aux techniques et pratiques adéquates de gestion des boues.

7.2.1 Épaississement

7.2.1.1 Épaississement statique gravitaire

L'épaississement statique consiste en une décantation des boues humides dans une cuve cylindrique à fond conique, sous la seule action de la force de gravité. La boue épaissie est extraite par le fond de l'ouvrage, tandis que le liquide surnageant est évacué par le haut de la cuve. Différents types d'épaississeurs sont disponibles sur le marché et se distinguent essentiellement par le temps de séjour des boues qu'ils permettent.

7.2.1.2 Épaississement dynamique

L'épaississement dynamique se fait selon deux modalités possibles :

- Par flottation : elle consiste à insuffler de l'air dans une phase aqueuse au sein d'un réservoir sous une pression comprise généralement entre 4 et 7 bars. Ce mélange est ensuite détendu à pression ambiante dans la cuve de flottation via un dispositif approprié. La détente, associée à une forte turbulence, provoque la formation d'un nuage de fines bulles, qui vont au cours de leur ascension se coller aux matières en suspension et les entraîner à la surface de la cuve pour être récupérées. Parallèlement, l'eau clarifiée est soutirée en partie basse de la cuve.
- Sur table d'égouttage : sous l'action de polymères spécifiques, les boues sont floculées dans un bac puis entraînées sur une bande filtrante fonctionnant en continu. L'eau interstitielle est alors drainée par la seule force du champ de pesanteur, renforcée par l'action des bobines fixes qui reposent sur la toile filtrante afin d'écarter la boue et permettant ainsi l'écoulement rapide de l'eau. Afin d'éviter le colmatage du système, un nettoyage permanent de la toile par une rampe de lavage est recommandé.

En général, ces types d'épaississement aboutissent à une siccité variant de 5 à 8%. Les performances peuvent être améliorées si l'épaississement sur table d'égouttage est combiné à un filtre à presse³⁰.

7.2.1.3 Épaississement dynamique par centrifugation

La boue floculée grâce à l'ajout de polymères est épaissie sous l'effet de la force centrifuge. Ce procédé de traitement est adapté aux petites unités d'épuration notamment de type industriel, du fait qu'il permet d'économiser en terme d'espace. Actuellement une nouvelle génération de centrifugeuses est mise en place qui permet de combiner l'épaississement et la déshydratation dans une seule et même machine.

La centrifugeuse permet d'atteindre les concentrations les plus élevées en épaississement, ce qui la rend attractive comme traitement, mais vu ces effets négatifs sur la texture de la boue le choix des

³⁰ Source : L'épaississement des boues : Les règles de bonne gestion - Canler J., Cauchi A., Duchène Ph., Fernandes P., Larigauderie A., Leboucher G. & Pujol J.R, avril 2002.

traitements ultérieurs de boues se trouve influencer car la boue sortie de centrifugeuse présente une aptitude moindre à la déshydratation, ce qui augmente la consommation des réactifs.

7.2.1.4 Récapitulatif sur les rendements et les performances des techniques d'épaississement

Le tableau 19 résume les performances des différents modes d'épaississement, en fonction de l'origine de boues.

TABEAU 19 : EXEMPLES DES PERFORMANCES EN EPAISSISSEMENT DE BOUES³¹

Modes d'épaississement	Origine des boues	Type de boues	Concentration boue épaissie (g/l)	Consommation des adjuvants
Statique	Sidérurgie Traitement de surface	Primaires Physico-chimiques	1000 15 à 20	Non Non
Table d'égouttage	Eaux usées urbaines IAA Papeterie	Biologiques Biologiques Primaires	40 à 70 40 à 70 100 à 150	PC* 4 à 8 kg/t MS PC 4 à 8 kg/t MS PC 1 à 3 kg/t MS
Décantation centrifuge	Eaux usées urbaines IAA	Biologiques	40 à 80	PC 0 à 6 kg/t MS
Flottation	Eaux usées urbaines IAA	Biologiques Biologiques	35 à 50 35 à 50	PC 1 à 2 g/m ³ PC 1 à 2 g/m ³
	Raffinerie	Physico-chimiques	30	Sulfate d'aluminium + polymère
	Papeteries	Physico-chimiques	50 à 100	Sulfate d'aluminium + polymère

PC* : polymère cationique

On peut constater que le degré de l'épaississement des boues (concentration g/l) issues de l'industrie agroalimentaire ainsi que la quantité appliquée de polymères est identique à ceux de boues urbaines.

Ces techniques présentent des avantages et des inconvénients au niveau de l'exploitation et des consommations énergétiques (annexe 11).

7.2.2 Déshydratation

La siccité³² des boues conditionne la filière d'élimination/valorisation. Déshydrater les boues, c'est abaisser la teneur en eau et augmenter leur siccité. Ce traitement permet de rendre la structure physique des boues compatible avec les installations de traitements disponibles.

³¹ Source : Dauvergne, 2007

³² La siccité définit le pourcentage pondéral de matières sèches (MS) contenue dans une boue, en général mesuré après un chauffage à 105°C jusqu'à obtention. Égale à 0 %, elle caractérise un liquide sans MS, mais supérieure à 90 %, elle s'applique à un produit sec dont la teneur en MS est de 900 g/kg, l'humidité étant alors de 10 %.

Pour la déshydratation subséquente des boues, il est d'une grande importance quelle que soit la destination finale des boues (Valorisation en agriculture, valorisation thermique, stockage dans des décharges contrôlées de manière isolée (mono - décharge) ou avec les déchets ménagers, incinération). Le taux de déshydratation des boues dépend de ces destinations.

Les boues d'épuration peuvent être utilisées en agriculture, selon les besoins, avec des teneurs très différentes en matières sèches. La valorisation agricole est la seule méthode d'élimination pour laquelle on peut utiliser directement la boue liquide avec des teneurs en matières sèches d'environ 5%. Mais il faut être conscient que l'économie de la déshydratation est toutefois payée par des dépenses considérablement élevées pour le transport. Comparée à la boue déshydratée, la boue liquide contient, en moyenne, cinq à dix fois plus d'eau. Par conséquent, il faut déplacer cinq à dix fois plus de bien à transporter. Ces dépenses supplémentaires peuvent être justifiées quand on a besoin d'une teneur élevée en azote. En règle générale, la teneur en azote est réduite lors de la déshydratation des boues.

Si on envisage, par contre, la mise en décharge en commun avec des déchets ménagers ou l'incinération, il faut déshydrater la boue par voie mécanique.

Sont considérées comme machines appropriées **les filtres à bandes, les centrifugeuses et les filtres-presses à chambres**. Outre la technique mécanique, ils se distinguent en ce qui concerne le résultat de déshydratation, leur consommation d'adjuvants de floculation et de filtration, leur consommation d'énergie, la pression exercée et les coûts.

On obtient sans aucun doute le meilleur rendement de déshydratation avec le filtre-presse à chambres, mais, en même temps, à des frais plus élevés.

Le domaine d'utilisation de la centrifugeuse est très large, mais le résultat de déshydratation est un peu plus faible.

Avec des filtres à bandes, on a essayé d'augmenter le rendement de déshydratation par un guidage des bandes de plus en plus compliqué, mais souvent le résultat n'était pas très satisfaisant.

Comme dans la plupart des pays industrialisés, en Allemagne, on utilise de plus en plus des centrifugeuses dans la plupart des stations d'épuration à cause de leur simplicité technique. Les filtres-presses à chambres occupent la deuxième place, surtout aux installations où on souhaite un haut degré de déshydratation ; les filtres à bandes sont à la dernière place.

Les différents systèmes de déshydratation comprennent des différences liées aux adjuvants nécessaires et au taux de siccité obtenus (annexe 12).

7.2.3 Séchage naturel

Séchage solaire sur lits de séchage

Il s'agit du séchage naturel des boues dans des lits de séchage associés généralement aux stations d'épuration adoptant des systèmes extensifs mais aussi en systèmes d'épuration intensifs³³. Malgré le désavantage de cette pratique, résidant dans la perte partielle d'éléments nutritifs, elle permet de réduire significativement la teneur en eau et de faciliter la manipulation et le transport. La valeur organique des boues séchées reste entière et permet d'améliorer les propriétés physiques et chimiques des sols.

³³ Cette partie a été développée par Soudi et Bazza (2003 ; 2007).

Le temps de séchage (pour attendre 30 à 60% de siccité) varie habituellement entre 3 et 6 semaines pour une épaisseur de 30 cm à 40 cm de boues, et cela dépend fortement des conditions climatiques. Ainsi, on comprend que cette durée va irréfutablement varier d'une région à l'autre. Par ailleurs, il est possible d'en améliorer le rendement en ajoutant des polyélectrolytes aux boues, ce qui a pour effet de hausser la vitesse de drainage.

Ajoutons que le contexte climatique des régions du Maroc, généralement semi - aride et aride, demeure favorable à cette pratique. L'espace requis ne fait pas non plus défaut dans ces régions.

Sur le plan sanitaire, il a été montré par des essais réalisés au Maroc et plus précisément à Ouarzazate³⁴, que les œufs de parasites ont complètement disparus des boues après 8 mois de séjour dans les lits de séchage (annexe 14). La connaissance du niveau de contamination helminthique des boues demeure une priorité si on désire les utiliser en agriculture.

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 compostage des boues ou leur 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.

Ces pratiques de séchage ont montré toutefois d'autres inconvénients :

- Temps de séchage relativement long (dépassant un mois) ;
- Les risques de mauvaises odeurs ;
- Les risques de pollution des eaux souterraines lorsque les surfaces ne sont pas suffisamment imperméabilisées ;
- L'hygiène des opérateurs qui manipulent les boues n'est pas garantie ;
- Lieu de reproduction des germes et des insectes ;
- Difficultés de vidange et de remise en état des lits ;
- Consommation de beaucoup de surfaces (emprise au sol est d'environ 1 m² pour 4 à 5 habitants raccordés).

Selon EPA³⁵ la superficie requise en fonction du volume annuel de boues est rapportée dans la Figure 12.

³⁴ Source : Réutilisation des eaux usées à des fins agricoles - Rapport de synthèse. Ouarzazate, Maroc. PNUD, FAO, MARA - Xanthoulis D. 1996.

³⁵ Source : Estimating Sludge Management Costs. Handbook EPA/625/6-85/010 - EPA, 1985.

Superficie requise en « acres »
(Multiplier par 0.047 pour convertir en ha)

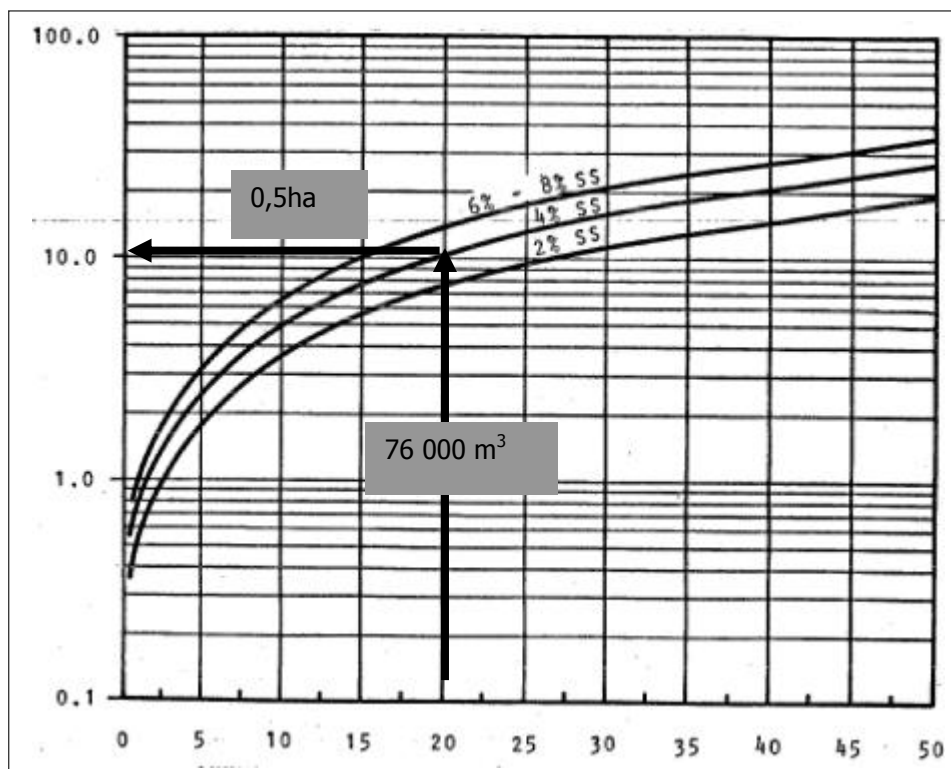


FIGURE 12 : SUPERFICIE REQUISE POUR LE SECHAGE NATUREL EN FONCTION DU VOLUME ANNUEL EN MILLIONS DE GALLONS (MULTIPLIER PAR 3785 POUR CONVERTIR EN M³)

7.2.4 Séchage en lits plantés ou bio séchage³⁶ (traitement et valorisation)

Il s'agit d'une technique en développement et consiste en des lits de séchage plantés. Ce type de procédé permet d'amplifier l'élimination de l'eau. En effet, en plus de la percolation par gravité et l'évaporation directe, il y a évapotranspiration par les plantes. Plusieurs types de végétaux peuvent être utilisés dont les plus importantes sont les roseaux (Genus *Phragmites*, *Phragmites australis*) d'où l'appellation *Phragmicompostage* et certaines graminées. Les lits à roseaux sont généralement privilégiés car ils requièrent moins de travail.

Le sous-produit organique résultant présente une structure granulaire rappelant celle d'un sol bien structuré et aéré. L'activité biologique mise en œuvre par des micro-organismes et les macro - organismes (vers de terre, lombrics etc.) permet une humification de la matière organique fraîche des boues. Il s'agit donc d'un excellent produit d'amendement des sols.

³⁶ Source : Manuel d'utilisation des boues résiduelles issues des stations d'épuration des eaux usées : Etat de l'art et tentatives d'adaptation aux pays de Proche Orient. FAO - Soudi B. et M. Bazza. 2003.

7.2.5 Séchage naturel sous-serre

Dans le cas des zones caractérisées par un fort régime pluviométrique, on peut adopter un séchage sous serre simple. Il s'agit de serres semi-ouvertes latéralement qui protègent les lits contre les pluies. Le plastique de couverture peut être soulevé ou enlevé durant les périodes sèches.

7.2.6 Séchage solaire en conditions contrôlées

Pour le cas des stations d'épuration qui produisent de grandes quantités de boues et qui sont caractérisées par une forte sensibilité de voisinage, un autre procédé sophistiqué et de haut niveau technologique a été mis au point³⁷. Il consiste à utiliser des serres ventilées.

Le retournement des boues se fait de manière télécommandée par un engin appelé « sanglier électrique ». Ce procédé est consommateur d'énergie mais des études ont montré que cette consommation est fortement réduite dans les régions ensoleillées.

En somme, on peut dire que le séchage des boues est adapté au contexte des régions d'Afrique du Nord et de Moyen Orient où on dispose d'un grand gisement solaire.

Il est clair que d'autres techniques de séchage thermique existent mais elles se caractérisent généralement par une forte consommation d'énergie et un très faible rendement thermique. Plusieurs recherches d'optimisation sont en cours notamment en Allemagne, en Autriche et en Hollande.

Selon les concepteurs, ce système convient à des tailles de centres allant de 500 EH aux grandes installations de plus de 1.000.000 EH.

On peut aussi dire que ce procédé peut être adapté à certaines industries agroalimentaires ainsi qu'à l'industrie de papeterie qui sont de grandes productrices de boues.

Le sous-produit digéré « composté » peut être valorisé, s'il répond aux normes de qualité en vigueur, comme produit d'amendement des sols.

7.2.7 Séchage thermique

Le séchage thermique peut permettre une élimination quasi-totale de l'eau (siccité d'environ 95 %). Les boues obtenues sont pulvérulentes ou en granulés.

On distingue un séchage direct et un séchage indirect.

Séchage direct : Il se fait par conduction. La chaleur est transmise aux boues à travers une paroi d'échange. L'eau évaporée est évacuée par un courant d'air. Ce procédé implique un brassage mécanique des boues afin d'augmenter et de garantir le contact de celles-ci avec la surface d'échange, sur laquelle l'épaisseur de boues ne dépasse pas quelques millimètres. L'utilisation d'équipements mécaniques pour le brassage permet aussi l'évacuation des boues. Cette technique n'est pas à utiliser dans tous les cas et notamment dans le cas de boues abrasives ; elle produit en outre des poussières (d'où des risques d'inflammation).

Séchage indirect : Il consiste en la mise en contact direct des boues à sécher avec un fluide caloporteur : le séchage se fait alors par convection. Le fluide utilisé peut être une fumée de combustion ou de l'air chauffé. De plus, ce fluide est en général recyclé car les quantités nécessaires

³⁷ Source : Thermo – System, <http://www.thermo-system.com/fr/produits/>.

sont assez importantes. La vapeur d'eau extraite des boues est évacuée avec les gaz. Ce procédé utilise moins d'équipements mécaniques, les risques d'abrasion sont alors limités.

En raison des coûts énergétiques, ce procédé reste peu utilisé, malgré son intérêt manifeste sur la réduction des volumes à manipuler. Le coût énergétique moyen de séchage ramené à la tonne d'eau extraite (tEE) est de l'ordre de 930 KWh/tEE.

Le séchage thermique devrait connaître un nouveau développement dans les années à venir car les autres filières de traitement des boues, dont l'incinération, se renchérissent sous l'effet des nouvelles conditions réglementaires et économiques.

Les différents seuils de séchage sont déterminés en fonction de la destination des boues comme le montre le Tableau 20 :

TABLEAU 20 : LES DIFFERENTS SEUILS DE SECHAGE EN FONCTION DE LA DESTINATION FINALE DES BOUES³⁸

Destination	Séchage partiel 30 à 45 %	Séchage poussé 60 à 90 %	Séchage total Plus de 90 %	Objectifs
Agriculture	Non (Aucun intérêt technique ni économique)	Oui (toute la gamme possible de 60 à 90 %)	Oui	Transport et stockage Stabilisation, voire hygiénisation (plus de 90 %)
Four spécifique	Oui (de 35 à 45 %)	Non (Aucun intérêt technique ni économique)	Oui	Auto - combustible
Co-incinération	Non (Aucun intérêt technique ni économique)	Oui (aux alentours de 60 %)	Oui (Aux alentours de 90 %)	Exploitation du four Transport et stockage

7.2.8 La stabilisation aérobie et anaérobie

La question de stabilisation des boues a suscité beaucoup de débat : une stabilisation des boues serait-elle nécessaire et quelle méthode de stabilisation choisir ?

La réponse à cette question devient simple lorsqu'on se rend compte des nuisances olfactives générées par des stations d'épuration lorsque les boues ne sont pas stabilisées. On ne peut alors renoncer à une stabilisation que dans le cas où la STEP se trouve loin des zones d'habitations.

En pratique, il existe deux méthodes de stabilisation: **une stabilisation aérobie et une stabilisation anaérobie.**

En général, la stabilisation aérobie consomme de l'énergie et lors de la digestion anaérobie on obtient de l'énergie. De plus, la stabilisation aérobie est d'une portée moins considérable que la stabilisation anaérobie. Outre l'empêchement d'odeurs et la production d'énergie, la stabilisation anaérobie, c.-à-d.

³⁸ Source : Traiter et valoriser les boues. Collection. Ouvrage collectif OTV. Paris 86240 Ligugé OTV 1997.

la digestion des boues, présente aussi des avantages importants pour la déshydratation mécanique des boues. Il est plus difficile de déshydrater les boues après une stabilisation aérobie.

En résumé, on peut constater que, pour les raisons mentionnées, la stabilisation anaérobie à une température de 37° C, avec un temps de séjour entre 20 et 30 jours et à une teneur en matières solides d'environ 5 % de MS est une technique très appropriée pour la stabilisation des boues dans les stations d'épuration. Le principe de fonctionnement d'un digesteur est illustré par le schéma ci-après³⁹.

Cette technique de stabilisation anaérobie est généralement pratiquée pour des installations de taille supérieure à 50 000 EH. Ce système est mis en service sur la première phase de la STEP de Marrakech. Les boues traitées sont de 80m³/jour pour la première phase. La digestion anaérobie des boues est également le principe retenu pour la STEP de la RADEEF à Fès. Le volume qui sera traité de boues est de 100 T de MS/jour à l'horizon 2012. Un projet de récupération de l'énergie dans le cadre d'un projet MDP sera mis en œuvre.

La digestion des boues présente les avantages suivants⁴⁰ :

- Réduction considérable de la quantité de boues : abattement de 35 à 40% du taux de matière sèche et de 50 % des matières volatiles
- Réduction de charge organique est réduite et donc du pouvoir fermentescible et de là des nuisances olfactives
- Facilitation de la gestion du stockage, du transport et de la manutention
- Hygiénisation des boues du fait de la réduction des germes pathogènes
- Réduction des risques de toxicité des éléments traces (piègeage des métaux sous une forme non disponible pour les organismes vivants) et une réduction des teneurs en contaminants organiques (hydrocarbures halogénés)
- Lissage des variations de la production des boues par leur stockage dans les digesteurs grâce à leurs capacités élevées et donc évitement des nuisances
- La production de biogaz, une énergie renouvelable et stockable, qui peut être convertie en différentes formes d'énergie utile
- Réduction des émissions de GES lorsque les boues sont stockées en CET et contribue à la lutte contre l'effet de serre.

En somme, après la digestion anaérobie, les boues sont stabilisées, hygiénisées et leur volume est réduit. Elles remplissent donc les conditions nécessaires à l'épandage et après séchage ou déshydratation, lorsque la siccité est supérieure à 30%, elles deviennent alors des déchets ultimes susceptibles d'être mises en décharge (selon la réglementation européenne car la celle du Maroc ne couvre pas encore cet aspect).

En Allemagne, Plus de ¾ des stations d'épurations fonctionnent avec des systèmes de stabilisation anaérobie.

7.2.9 Stabilisation chimique

Différentes méthodes basées sur l'usage de différents produits sont adoptées. Dans certaines situations, ces méthodes viennent se substituer ou s'ajouter à la méthode de stabilisation biologique. Celle-ci nécessite des ouvrages importants et lorsque la réduction du montant des investissements est un objectif prioritaire, le pouvoir fermentescible de la boue peut être diminué, au moins temporairement, par la seule adjonction d'agents chimiques qui génère par la suite une inactivation

³⁹ Source : Etat de la valorisation du biogaz sur site de station d'épuration en France et en Europe Bonnier S. ,2008.

Elaboration de la stratégie nationale pour la gestion des boues des stations d'épuration au Maroc
Phase 1 : Rapport provisoire (R118₀)

des germes pathogènes⁴⁰. On se propose de rapporter ci-après et de manière succincte les principales options de stabilisation chimique.

Stabilisation à la chaux

Cette stabilisation est obtenue par addition de chaux aux boues. C'est le réactif le plus utilisé du fait de son coût réduit, son alcalinité et effet favorable sur le renforcement de la structure physique de la boue grâce au pouvoir floculant du calcium. Cet apport de chaux peut être réalisé sur des boues liquides ou des boues déshydratées :

- Le chaulage des boues liquides génère des boues de durée de stockage limitée, vue les risques de reprise de fermentation.
- Le chaulage des boues solides améliore davantage la durée de stockage des boues traitées.

Le chaulage s'opère par l'addition de la chaux vive (CaO) ou éteinte ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), mais la chaux vive est souvent préférée car elle est plus dense, et donc moins coûteuse à transporter et à stocker et permet surtout, grâce au caractère exothermique de la réaction d'hydratation, une hygiénisation par élévation de température et un gain supérieur de siccité, de l'eau libre de la boue devenant eau de constitution de la chaux éteinte comptabilisée alors comme matière sèche.

Concernant les doses à appliquer, exprimées en chaux éteinte, elles varient de 20 à 50 % selon le type de boue. Il s'effectue souvent par malaxage de la boue pâteuse et de chaux pulvérulente après l'étape de déshydratation, mais pour le cas d'une déshydratation sur filtre à plateaux pour lequel la chaux est ajoutée en amont sous forme de lait de chaux à raison de 100 g/l⁴¹.

La stabilisation à la chaux peut être effectuée au niveau des lits de séchage ce qui réduit fortement les odeurs et le développement des insectes. L'intérêt de la chaux est important dans le cas de l'épandage agricole sur des sols acides. Au Maroc pour les sols en général légèrement alcalins, cet intérêt est moins marqué.

Stabilisation aux nitrites

La stabilisation aux nitrites est une technique qui consiste à soumettre la boue épaissie à l'action des ions nitrites (NO_2^-) dans un milieu acide. Par ailleurs, on distingue entre deux modes qui sont (i) mode de stabilisation par hygiénisation partielle et (ii) de stabilisation par hygiénisation poussée qui sont succinctement décrits ci-après :

- (i) Mode de stabilisation par hygiénisation partielle: la boue épaissie est admise dans un milieu acide maintenu à un pH de l'ordre de 3. Elle est alors soumise, pendant un minimum de 30 mn, à l'action des ions nitrites.
- (ii) Mode de stabilisation par hygiénisation poussée : la boue épaissie est admise dans un milieu acide maintenu à un pH de l'ordre de 2. Elle est alors soumise, pendant au moins de 2 heures, à l'action des ions nitrites avec forte concentration.

⁴⁰ (Office national de l'eau, Janvier 2001)

⁴¹ Source : Lutte contre la pollution des eaux - traitement des boues d'épuration. Revue technique de l'ingénieur, G 1450 - Guibelin E., 1999.

7.2.10 Compostage ou co-compostage (Option de traitement et valorisation)

Le compostage des boues s'affiche actuellement comme étant la filière la plus écologiquement viable en matière de gestion intégrée et durable des boues. En effet, le recours aux procédés de co-compostage s'inscrit dans une logique d'utilisation raisonnée des ressources naturelles avec un retour au sol de la matière organique, et donc par là même dans une politique de développement durable. Cette option est en pleine expansion aussi bien en Europe notamment en Allemagne, en France et en Italie, aux Etats Unis (Virginia, Caroline du Nord, Floride etc.) et au Canada. Aux Etats Unis, on compte près de 300 unités de compostage des boues.

Le développement de cette option peut être expliqué par les éléments suivants :

- **Les directives et réglementations**
 - Directives européennes sur le thème de la protection des sols ;
 - Le recours en CET avant 2002 qui était non limité est devenue une solution désormais proscrite pour les déchets non ultimes par les réglementations française et européenne ;
 - L'encouragement de la production d'un produit de classe A aux Etats Unis par l'Agence de Protection de l'Environnement (EPA) ;
 - La parution le 18 mars 2004 de l'arrêté rendant d'application obligatoire la norme NFU 44-095 sur les composts comportant des matières issues du traitement des eaux et présentant un intérêt agronomique
- **L'aspect économique**
- **L'application directe du compost et la facilité de sa manipulation** rend le compostage une option plus économique.
- **La flexibilité de la filière** et la disponibilité de plusieurs options techniques et de dimensionnement adaptables aux différentes conditions locales ;
- **La qualité du produit et la diversité d'usage**
Grâce à sa qualité hygiénique et son aspect, le compost produit est commercialisable et plus accepté par les agriculteurs. Il offre aussi une diversité d'usage du compost en sylviculture, agriculture, horticulture, etc.

Le compostage ou le co-compostage des boues est une option qui requiert un séchage préalable ou une déshydratation pour que la siccité soit entre 30% et 45%.

Le compostage des boues est un processus de bioconversion ou fermentation aérobie des matières organiques fraîches en un produit organique stabilisé et riche en humus appelé « compost ».

Le compostage est aussi producteur de chaleur (énergie thermique) à partir de la dégradation des liaisons carbonées. Les bactéries thermophiles produisent environ 4,3 kWh/kg d'O₂ utilisé⁴². Ainsi, cette filière ne requiert pas d'énergie mais au contraire il est souvent nécessaire, en dernière phase de compostage, d'ajouter de l'eau pour éviter la dessiccation du tas en compostage et donc la réduction de l'activité de biodégradation.

Les boues n'étant pas composables seules, elles sont mélangées à diverses matières organiques disponibles à proximité des STEP : copeaux de bois, sciure de bois, bois de taille de l'arboriculture et autres déchets comme la litière des volailles, déchets verts des espaces verts, et les déchets de cultures, etc.). Les boues peuvent aussi être co-compostées avec les déchets ménagers.

Deux paramètres importants doivent être respectés pour garantir un bon démarrage du processus de compostage :

- une teneur en eau comprise entre 50 et 60 % et

⁴² Source : Evans, 1983.

- un rapport C/N compris entre 25 et 35.

Les copeaux de bois ou sciure de bois sont des agents structurants permettant de garantir une aération convenable et une régularisation de la teneur en eau mais aussi, grâce à leurs rapports C/N élevés, ils sont mélangés aux boues dans des proportions permettant de réajuster le rapport C/N du mélange à composter à la valeur mentionnée ci-dessus (annexe 13).

La figure 13 résume la filière de compostage des boues.

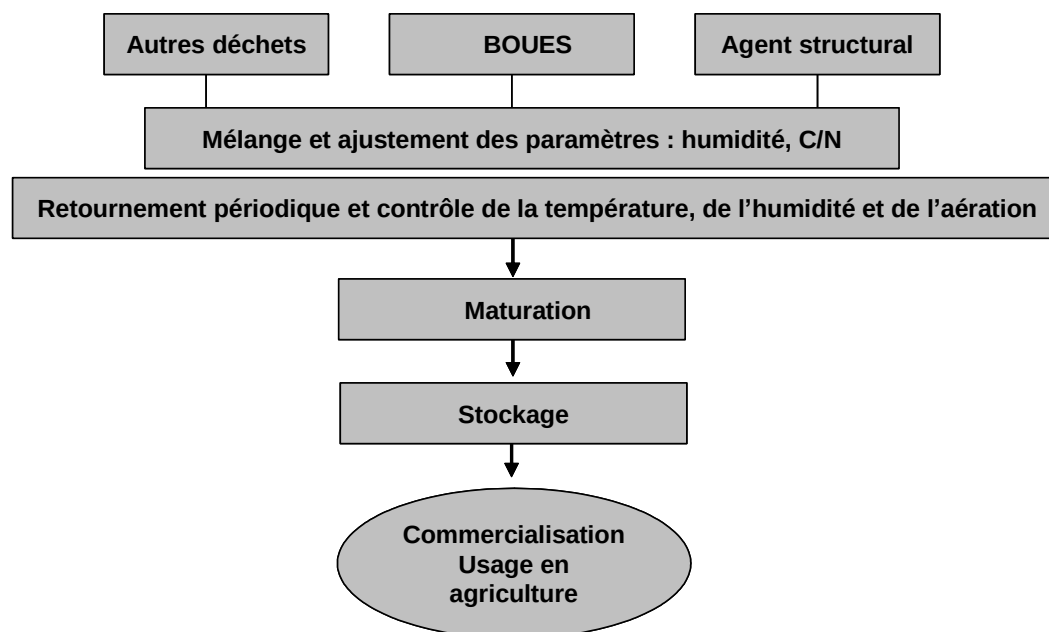


FIGURE 13: FILIERE DE CO-COMPOSTAGE⁴³

Le détail technique de ce procédé ainsi que les conditions et les modalités d'utilisation du compost seront détaillés dans le guide de bonnes pratiques de gestion des boues objet de la phase 2.

7.2.11 Options de valorisation proprement dites

7.2.11.1 Valorisation verte

La valorisation « verte » englobe la valorisation des boues en agriculture, en sylviculture et pour la réhabilitation des sols dégradés.

Valorisation agricole

La valorisation des boues en milieu agricole consiste à épandre des boues préalablement traitées et stabilisées sur des sols présentant des besoins en matière organique et en fertilisants.

⁴³ Source : Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost: Cas des petites et moyennes communes au Maroc. Actes Editions, Série agriculture & Environnement. Ouvrage préparé pour l'UNIDO et ENDA Maghreb Soudi, B. 2001.

La voie agricole est, certes une voie très importante pour la valorisation des boues puisqu'elle permet de réintégrer la matière organique des boues et ses divers éléments fertilisants dans les cycles de production agricole, mais son application reste tributaire aux types de traitement qui permet de pallier non seulement le risque environnemental mais aussi le risque sanitaire lié aux deux contraintes majeurs : (i) les pathogènes et (ii) les Éléments Traces Métalliques (ETM).

Puisque les boues concentrent les contaminants initialement présents dans les eaux, une telle pratique doit bien évidemment être maîtrisée et cadrée d'un point de vue réglementaire en ce qui concerne les questions de santé publique et d'impacts sur la qualité des sols et des eaux. Ces aspects seront détaillés dans la partie relative au cadre réglementaire et normatif.

En somme, la valeur agronomique des boues se manifeste par :

- Leur valeur fertilisante dans la mesure où elles permettent de fournir des quantités importantes d'éléments fertilisants majeurs (N, P et K) et d'éléments mineurs et essentiels
- Leur valeur organique à travers l'amélioration des propriétés physiques, chimiques et physicochimiques des sols.

Dans le but de capitaliser ces avantages et en même temps d'éviter les nuisances environnementales ou sanitaires, une pratique rationnelle de leur utilisation s'impose. Ces aspects seront également développés dans le guide de bonnes pratiques de gestion et de valorisation des boues (Phase 2).

Valorisation des boues pour la réhabilitation et la végétalisation des sites dégradés

La dégradation des écosystèmes a diverses origines, elle peut être consécutive à des phénomènes naturels ou bien être directement liée à des interventions humaines incontrôlées qui ont pour conséquences la surexploitation ou la destruction du couvert végétal pérenne, et par la suite le décapage de la couche superficielle du sol peut survenir, ce qui ne fait qu'accroître les processus d'érosion et de désertification.

Face à ces processus de dégradation qui s'amplifient jour après jour à l'échelle internationale, plusieurs solutions peuvent être envisagées. Mais dans cette partie on est intéressé le plus au volet de valorisation des boues issues de traitement des eaux usées dans la réhabilitation des milieux naturels dégradés et leur végétalisation.

Cette voie de valorisation consiste à un apport de matière organique en quantité élevée, pour protéger les sols contre l'érosion, améliorer la diversité biologique ainsi que la stabilité des milieux. Ce type de débouché pour les boues est ponctuel permettant au couvert végétal de se réinstaller et au paysage de cicatriser.

L'utilisation raisonnée des déchets organiques, en général et les boues des STEP en particulier, en végétalisation peut permettre de restaurer ou réactiver les fonctions essentielles du sol et aujourd'hui plusieurs sites ont fait preuve de la réussite d'utilisation des boues compostées dans la réhabilitation écologique des espaces perturbés⁴⁴.

Dans le contexte particulier marocain les ressources en sols subissent plusieurs processus de dégradation dont les plus importants sont :

- L'érosion hydrique qui touche plusieurs bassins versants et provoque une dégradation spécifique dépasse souvent 3 000 tonnes/km².an.
- L'érosion éolienne assez intense dans le Sud et le Sud-est du pays.

⁴⁴ Source : Végétalisation des espaces dégradés en altitude", Editions Cemagref de Grenoble, p 144 - Dinger 1997

- La salinisation et la sodification des sols, phénomènes assez prononcés dans les zones arides, à forte évaporation et dans les périmètres irrigués où la trilogie irrigation – salinité – drainage n’est pas maîtrisée.

L’utilisation des boues en tant que produit organique d’amendement des sols se justifie pleinement si on considère le faible niveau de matière organique des sols marocains à cause de la faiblesse du couvert végétal, de la forte minéralisation et de la mauvaise gestion des résidus organiques. En effet, la perte en matière organique est importante et la perte décadaire moyenne enregistrée en zones irriguées a été estimée en moyenne à 20%⁴⁵

Dans un cadre plus ou moins similaire, on peut aussi, grâce à l’apport de boues, réhabiliter des sites ayant perdu le couvert végétal suite aux travaux d’aménagement comme les talus routiers et autoroutiers, les friches industrielles ou urbaines et les sites d’enfouissement.

Valorisation des boues en sylviculture

La valorisation sylvicole de boues vise à les épandre, après stabilisation, sur des sols où l’on pratique la sylviculture présentant des besoins en fertilisants. Cela a pour effet de maintenir ou d’améliorer la fertilité des sols, à court et à long terme, surtout dans les stations forestières où leur faible fertilité constitue un frein majeur à la croissance des arbres naturels ou plantés. Ainsi, il est possible d’augmenter la production de matière ligneuse grâce à l’ajout d’un amendement organique aux sols forestiers permettant d’équilibrer leur bilan humique, de maintenir leur structure et d’améliorer leur fertilité.

La valorisation des boues dans l’épandage sylvicole est reconnue en tant que meilleure pratique environnementale⁴⁶. Les résultats d’un essai en 2003 concorde cette vision, en effet, cet essai a consisté à utiliser les boues pour la régénération d’un sol appauvri en le plantant en forêt dans trois localités de l’Ecosse a permis de générer un biotope riche en variétés des oiseaux et des autres animaux⁴⁷.

Pour les boues issues de la STEP d’Agadir, les gestionnaires de la réserve forestière du M’ZAR ont été identifiés comme utilisateurs potentiels de boues qui pourraient servir de fertilisant des cultures à gibier ainsi qu’amendement organique pour la reconstitution des sols dunaires⁴⁸.

En guise de conclusion, l’exigence de la qualité des boues destinées aux différents modes de valorisation constitue la voie à suivre pour fiabiliser et développer ces filières de valorisation, la qualité des boues à épandre renferme à la fois leurs valeurs agronomiques et les risques sanitaires (ETM, CTO, Pathogènes).

Malgré que plusieurs études aient montrés que les taux de transfert des ETM contenus dans les boues incorporées au sol vers les végétaux sont minimales, l’épandage répété des boues ayant des teneurs

⁴⁵ Source : Compostage et valorisation du compost : Pratiques d’une agriculture durable in. Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture ,No 54 - Soudi.1999.

⁴⁶ Source : UE, 2002.

⁴⁷ Source : Plan d’action pour la gestion des boues des stations d’épuration des eaux usées, Rapport final - Ministère de l’environnement et du développement durable, Office national de l’assainissement liquide, Coopération Tuniso-allemande ONAS-KFW, Ghariani F., Soudi B., Baumgart H., Gredigk-Hoffmann S. & Bolle F.W., - août 2006..

⁴⁸ Source : Etude des filières de traitement et de valorisation des sous-produits de la décantation des eaux usées – Rapport 4 – RAMSA – 2006.

considérables en ETM pourrait, à long terme, provoquer dans les sols des accumulations incompatibles avec la qualité des plantes⁴⁹

Au même titre que les ETM, les boues peuvent contenir des Composés Traces Organiques (CTO) qui sont des produits chimiques (hydrocarbures, détergents, solvants, produits de nettoyage ou de désinfection...) plus ou moins dégradés par l'activité microbiologique du sol. Ces composés peuvent devenir toxiques pour les micro-organismes des sols à haute dose apportée par les boues d'épandage. Mais à signaler que des expérimentations ont montré que les CTO apportées par les boues ne passent pas du sol vers les plantes et qu'ils se dégradent dans le sol à des vitesses variables et n'ont donc pas un flux cumulatif contrairement aux ETM⁵⁰.

7.2.11.2 Valorisation thermique

Par valorisation thermique des boues d'épuration, on entend l'auto-incinération de la boue en utilisant le potentiel de chaleur contenu dans la masse organique, sans chauffage additionnel ou de support. Selon le principe « La valorisation est meilleure que l'élimination », il faut alors utiliser le mieux possible l'énergie ou le contenu de chaleur dans la boue, résultant lors de l'incinération des matières organiques. En revanche, ceci exige que la grande proportion d'eau soit déjà séparée par voie mécanique afin que la dépense énergétique pour l'évaporation de l'eau ne soit pas trop grande lors du procédé de combustion.

La meilleure voie de valorisation est sans doute celle lors de laquelle la quantité de matières résiduelles qui doivent être mise en décharge reste la moins élevée. Dans ce contexte, il faut se rendre compte que la boue d'épuration, par rapport à la matière sèche, contient 50 % de composants minéraux qui restent même après une valorisation thermique. En fin de compte, il est question de recycler ces matières.

Un paramètre important pour l'incinération est la valeur calorifique du combustible, en l'occurrence la boue d'épuration (Annexe 17). On constate que la masse organique (sans eau et cendres) a une valeur calorifique d'environ 20.000 jusqu'à 22.000 kJ/kg.

De la boue non digérée avec une teneur en matières organiques d'environ 60 – 70 % a une valeur calorifique (sans eau) entre 14.000 et 16.000 kJ/kg. Selon le degré de digestion de la boue, elle possède (comme mélange de boue primaire et de boue activée), en raison de la gazéification et, avec cela, la réduction de la matière organique, un pourcentage minéral d'environ 50 % (sans eau) ; la valeur calorifique n'est que 10.500 à 11.000 kJ/kg.

Le détail concernant l'optimisation technique et économique de l'installation et l'exploitation de cette filière sera repris dans le guide de bonnes pratiques de gestion et de valorisation des boues.

7.2.11.3 Valorisation des boues dans des cimenteries

Une voie d'utilisation qui permet une valorisation complète des boues et sans résidus, c'est l'incinération commune des boues d'épuration lors de la production de ciment.

Avec les températures élevées dans les fours à ciment, en particulier les polluants organiques sont oxydés par voie thermique. Les matières inorganiques accumulées dans les cendres, y inclus les métaux lourds, sont fixées dans le clinker; à condition que les poussières dans les fumées soient séparées autant que possible et recyclées dans le processus d'incinération. Seul le mercure éventuellement contenu dans la boue ne peut pas être éliminé de cette manière.

⁴⁹ Source : L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines, INRA - Dudkowski.

⁵⁰ Source : Idem .

Comme la production de ciment nécessite beaucoup d'énergie, de grandes quantités de combustibles (charbon, gaz naturel, pétrole) sont utilisées dans les fours à ciment. Pour le fabricant, il est économique de se servir des combustibles les plus avantageux. C'est pourquoi on utilise très souvent, outre le gaz naturel et le pétrole qui ont une haute valeur calorifique, de grandes quantités de charbon de ballast qui sont broyées et séchées sur place et insufflées sous forme de poussière dans le foyer.

Les possibilités techniques de la valorisation des boues d'épuration dans l'industrie du ciment dépendent du combustible utilisé et de la technique de combustion. Si on utilise principalement du charbon de ballast comme source d'énergie, la boue peut être mélangé avec le charbon avant qu'il soit broyé et séché, puis les deux matières sont co-incinérées. La quantité additionnelle de boue dépend de la capacité d'évaporation du broyage-séchage, c'est pourquoi les boues devraient avoir une valeur calorifique d'environ 4.000 kJ/kg au minimum. Pour cette raison, seulement des boues déshydratées par des filtres-presses à chambres ou déshydratées à un haut degré par séchage naturel entrent en ligne de compte (dans cette gamme, les boues digérées et les boues brutes ont des pouvoirs calorifiques différents, à une teneur égale en eau).

A titre d'information, on se propose de donner un certain nombre d'information sur la procédure de co-incinération des déchets par Holcim Maroc. De par les caractéristiques particulières du procédé cimentier (hautes températures, long temps de séjour, etc.), les fours permettent de valoriser ou d'éliminer complètement la plupart des déchets, sans aucun résidu. Grâce aux installations spécifiques de réception et d'injection de déchets mises en place dans les unités d'Holcim, ce traitement se fait dans le plus strict respect des normes et principes environnementaux.

Pour cela une procédure d'acceptation et de contrôle des déchets qui permet de s'assurer de leur conformité aux impératifs du procédé de fabrication du ciment et aux exigences environnementales. Cette procédure est illustrée par la figure 14.

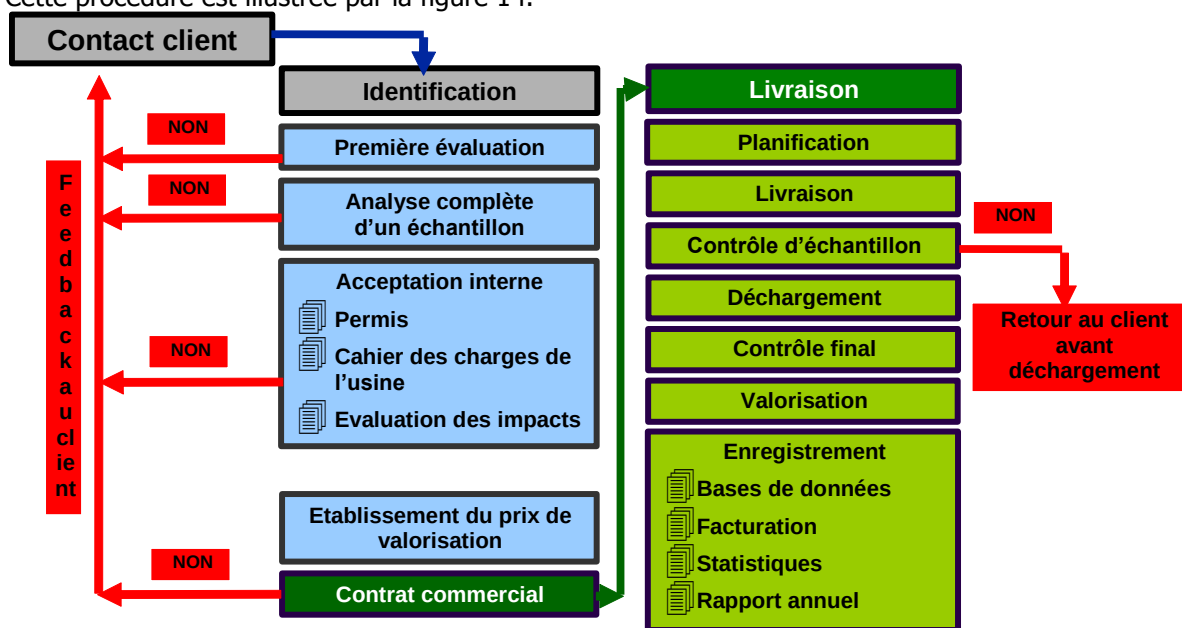


FIGURE 14 : PROCEDURE D'ACCEPTATION ET DE CONTROLE DE DECHETS⁵¹

La première étape de cette procédure est la prise d'échantillons du déchet avec une fiche d'identification type et une fiche de sécurité que le client remplit et les retourner avec un échantillon

⁵¹ Source : Holcim, Hind Baddag, Intervention lors de France expo 2006

représentatif correspondant pour chacun des déchets qu'il désire soumettre à la procédure d'acceptation. A cette fiche, le client peut joindre toute analyse déjà réalisée, notice technique, fiche produit, etc.

A l'issue de cette première étape, et après une phase d'analyse rigoureuse au sein du laboratoire spécifique "déchets", Holcim se prononce sur l'acceptabilité du déchet en question communique les conditions commerciales pour l'élimination des déchets.

L'élimination des boues issues des STEP dans les cimenteries est en cours d'essai actuellement au Maroc par différents groupes cimentiers.

7.2.12 Options d'élimination

7.2.12.1 Mise en décharge

Trois constats se répètent dans la littérature internationale traitant de ce sujet : (i) la mise en décharge semble être la moins coûteuse en termes de coûts internes et (ii) la mise en décharge n'est pas retenue parmi les options écologiquement durables et (iii) la mise en décharge est la solution de dernier recours lorsque les autres technologies ou options de valorisation s'avèrent difficiles à justifier dans un contexte donné pour des raisons techniques, sanitaires, environnementales, ou économiques.

Aussi, sur le plan réglementaire, on assiste à une restriction croissante en Europe et aux USA vis-à-vis de l'option de mise en décharge des boues d'épuration étant donnée leur teneur élevée en matière organique.

Il est clair que cette option s'opère conformément à certaines directives environnementales : l'étanchéisation des alvéoles, la gestion des lixiviats et du méthane.

Mono-décharge (boues seules)

La contrainte majeure de la mono-décharge réside dans la teneur élevée de l'eau dans les boues. Cette teneur ne doit pas généralement dépasser 65 % selon les normes de l'Agence Européenne de l'Environnement. D'ailleurs les boues très humides génèrent un surcoût de transport (transport de l'eau) sans parler des problèmes de gestion des eaux une fois déposées dans la décharge.

Dans ce type de décharge, les aspects les plus importants à gérer et maîtriser sont :

- Le stockage et la répartition des boues sur le sol pour le contrôle de l'odeur et des rongeurs
- La collecte des lixiviats et des eaux pluviales et leur traitement
- Les aspects hygiéniques des opérateurs
- L'émission des gaz (CO₂ et CH₄). En général, les gaz émis contiennent 50 à 60 % de CH₄ et 40 à 50 % de CO₂.

Il est clair que tous les autres critères classiques de choix de site doivent être pris en considération : distance des habitations, vulnérabilité de l'aquifère, etc.

Dans l'évaluation économique de cette option, il est important de considérer le coût de terrain, le coût de transport, la durée de vie de la décharge et les coûts externes liées pour la minimisation des nuisances.

Pour le stockage des boues dans une mono-décharge, l'exigence la plus importante est de les déshydrater autant que possible, car :

- La réduction du volume économise des coûts, parce que moins d'eau est transportée ;

- On économise également le volume de décharge, ce qui a pour conséquence une prolongation de la durée d'exploitation de la décharge ;
- La stabilité de la décharge est améliorée (une mono-décharge n'est stable et ne peut être construite sans digues qui l'entourent que si la boue est déshydratée jusqu'à une teneur en matière sèche d'environ 40 à 45 %).

Pour cela, la déshydratation par les centrifugeuses ou les filtres-presses à chambres est nécessaire. En ce qui concerne les filtres-presses à chambres, la teneur élevée en matières solides est obtenue surtout grâce à l'addition d'adjuvants de conditionnement (chaux et sels de fer). Si on ne considère que la teneur en matières solides dans la boue, les centrifugeuses et les filtres-presses à chambres atteignent à peu près le même degré de déshydratation. Le gâteau de filtration des filtres-presses à chambres est stable de soi-même.

L'épaississement est nécessaire en tout cas avant la déshydratation ; car le degré de déshydratation possible dépend de l'épaississement. De plus, les agrégats de déshydratation doivent être alimentés uniformément. Cela exige un réservoir de stockage qui peut être conçu comme épaississeur.

Sous ces aspects, le schéma pour le traitement et l'élimination des boues peut être modifié pour une période de transition, comme présente dans la figure suivante :

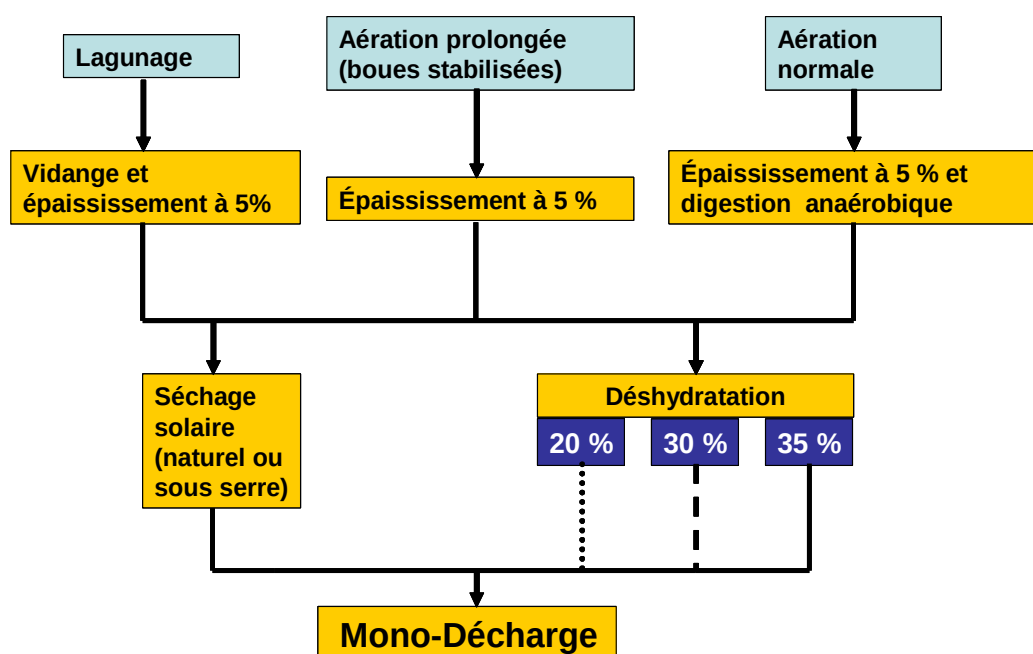


FIGURE 15 : SCHEMA DES VOIES DE TRAITEMENT DANS LE BUT D'UNE MISE EN DECHARGE
Décharge mixte (boues et déchets ménagers)

Dans les décharges mixtes, la part prépondérante est celle des déchets solides municipaux. Les boues sont considérées comme un additif secondaire qui représente 20 à 25 % du volume total du mélange. Comme les institutions chargées de la gestion des déchets ménagers ne sont pas concernées par les boues, on assiste en général à des réticences de la part des communes et/ou compagnies concernées. Cette réticence est attribuée au fait que les boues compliquent la gestion des décharges et particulièrement lorsque les boues sont très humides. Cette problématique est plus accentuée au Maroc que dans les pays industrialisés car les déchets ménagers sont déjà très humides (60% en moyenne).

7.2.12.2 Incinération

L'incinération est une technique de combustion des boues à des températures très élevées pour l'élimination de l'eau et la calcination de la matière organique qu'elles contiennent. Cette option permet : (i) une réduction de l'espace pouvant être occupé par les boues avant incinération de plus 65% et (ii) une destruction des pathogènes et une dégradation des composés organiques toxiques.

Cette option présente quelques inconvénients assez sérieux :

- (i) Elle exige de grands volumes et elle est non adaptée aux petits centres urbains et à la plupart des unités industrielles.
- (ii) Les coûts sont relativement élevés (Cf. partie relative aux ordres de grandeur des coûts)
- (iii) Elle exige l'installation de procédés de traitement des émissions gazeuses et des fumées pouvant contenir des substances toxiques, telles que l'arsenic, le mercure, le plomb, etc.
- (iv) Elle exige un personnel hautement qualifié.
- (v) Elle requiert un entretien des équipements très coûteux.

Plusieurs types de technologies d'incinération sont disponibles : le four rotatif tubulaire, le four à pulvérisation, la co - incinération ou le four à lit fluidisé. Ce dernier est bien adapté au cas des boues industrielles ou urbaines qui nous concerne dans la présente étude. En somme, on peut dire que malgré les sous-options qui consistent à récupérer de l'énergie, cette option est assez coûteuse et ne s'adapte qu'aux très grandes stations. Il serait difficile de l'intégrer parmi les options à promouvoir dans le contexte marocain.

En outre, les expériences des autres pays montre que le public est généralement réticent à ce type d'installation.

7.3 Principales destinations des boues à l'échelle internationale

7.3.1 Pays européens et Etats-Unis d'Amérique

Le Tableau 21 : et la Figure 16 relatent les principales destinations des boues des stations d'épuration dans les pays européens et aux Etats-Unis d'Amérique. Ces données permettent de constater que les boues sont destinées, à des proportions variables selon les pays, à l'épandage agricole, à la décharge, à l'incinération et à d'autres voies d'élimination. Notons toutefois, qu'avant l'année 2000, la moyenne pondérée au niveau européen montre une prédominance de la décharge (52 %) suivi de l'épandage agricole (30 %), tandis que l'épandage agricole gagne de plus en plus en importance (Tableau 21 :). Aux USA, la filière agricole domine avec une proportion de 55 %. La décharge et l'incinération sont pratiquées à des proportions comparables.

TABLEAU 21 : DESTINATIONS DES BOUES EN EUROPE ET AUX ETATS UNIS EN 1999⁵²

Pays	Répartition				
	Agriculture	Décharge	Incinération	Rejets	Autres, compostage...
Moyenne pondérée UE (1999)	30 %	52 %	9 %	8 %	1 %
Moyenne pondérée UE (2005)	42 %	14 %	22 %	-	22 %
Etats-Unis	55 %	19 %	17 %	-	9 %

⁵² Source : Eurostat 2005, ADEME - Traitement OPECST.

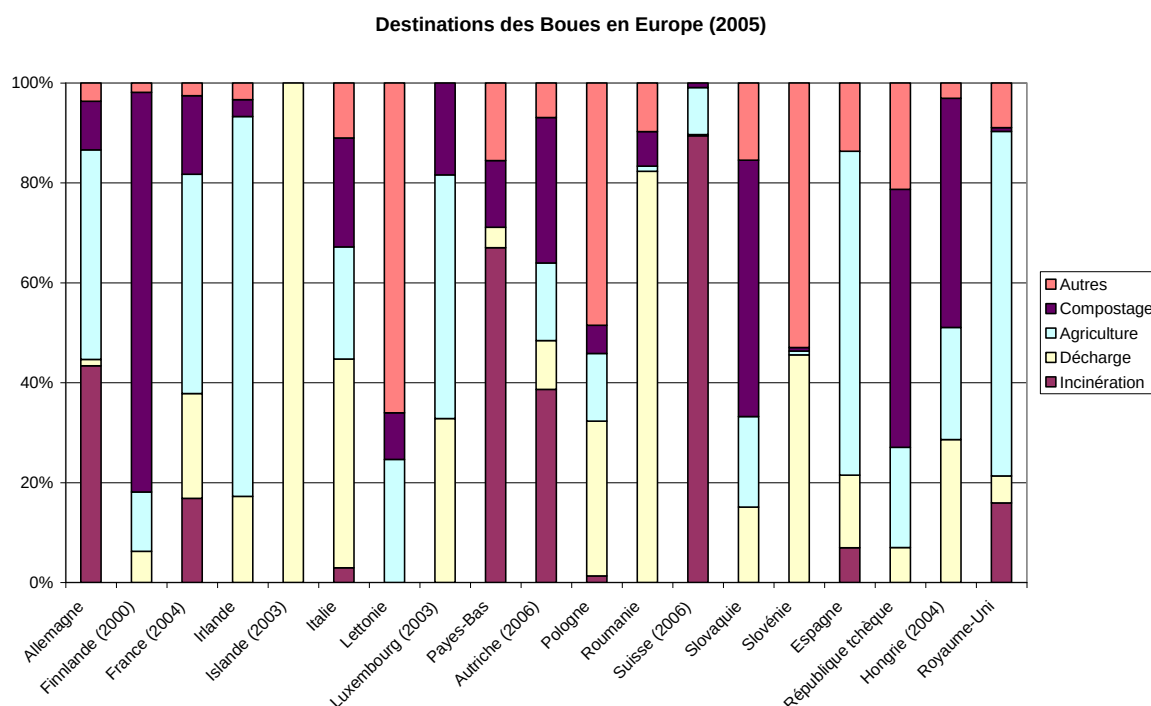


FIGURE 16: DESTINATIONS DES BOUES EN EUROPE

7.3.2 Allemagne

En Allemagne, la répartition des principales filières de gestion des boues est la suivante :

- Incinération : ~ 50%
- Epandage agricole : ~ 29%
- Végétalisation et réhabilitation des sites dégradés : ~ 18%

La mise en décharge a nettement régressée pour atteindre seulement 0,2 %.

Le Tableau 22 : présente le développement de la valorisation et de l'élimination des boues pendant la période 1983 à 2007.

TABEAU 22 : EVOLUTION DES OPTIONS D'ELIMINATION / DE VALORISATION DES BOUES EN ALLEMAGNE

	1983	1991	1996	2001	2003	2007
Agriculture, re végétalisation	30 %	35 %	66 %	63 %	57 %	46,7 %
Mise en décharge	54 %	48 %	11 %	7 %	3 %	0,2 %
Incinération, co-incinération	15 %	10 %	20 %	26 %	37 %	49,4 %
Autres	1 %	7 %	3 %	4 %	3 %	3,7 %

On peut constater qu'à cause de l'interdiction de la mise en décharge de déchets avec une teneur de plus de 5 % de matière organique, la mise en décharge des boues d'épuration a fortement diminué pendant les dernières 10 années, et la quantité de boues incinérées ou co-incinérées a continuellement augmenté. La valorisation en agriculture et l'utilisation pour la re – végétalisation diminuent de plus en plus. A cause des valeurs limites futures plus strictes, on s'attend encore, dans le court et moyen terme, à une diminution des proportions occupées par ces dernières filières.

7.3.3 Le Japon

Les filières adoptées au Japon sont les suivantes : 72% pour l'incinération et le reste pour la construction et la valorisation en cimenterie.

7.3.4 La Suisse

Ces dernières décennies, une proportion de près de 40% de boues produites est destinée à l'utilisation en agriculture. Depuis les années 2000, on assiste à un processus d'extinction de cette filière suite à un grand débat sur la valeur écologique des boues. Cette discussion s'est soldée par une reconnaissance de la valeur fertilisante des boues mais en même temps par une crainte de porter atteinte, à long terme, aux sols et à la santé humaine et animale.

Ainsi, ce processus d'interdiction de la valorisation agricole des boues rendra nécessaire l'incinération de toutes les boues produites en Suisse les 200 000 tonnes de matière sèche par année.

7.3.5 La France : cas des boues industrielles

À titre de benchmarking, on peut développer ci-après les traitements préconisés en France ainsi que les principales destinations des gisements de boues industrielles.

En France, le choix de la filière de traitement, valorisation ou élimination de boues industrielles est fonction de la dangerosité des boues, de la proximité des installations de traitement, des coûts engendrés, de la faisabilité logistique ainsi que de la gestion des risques.

Mais pour le moment, la majorité des boues industrielles sont incinérées ou bien conservées en centre de stockage, mais la mise en décharge est abandonnée depuis 2002 suite à la décision du Parlement d'interdiction de mise en décharge des déchets, y compris les boues, sauf ceux dits déchets "ultimes" c'est à dire ceux qui, aux conditions économiques et techniques du moment, n'auront pas pu être utilisés comme matière ou comme source d'énergie. Toutefois, lorsque certaines boues sont issues de stations biologiques et que leurs caractéristiques le permettent, elles peuvent alors suivre la filière agricole par épandage.

Les déchets des industries agro-alimentaires françaises (eaux usées, eaux de lavage, boues et sous-produits) peuvent être valorisés par épandage direct sous réserve d'innocuité et d'efficacité agronomique. Cet épandage est soumis à autorisation et déclaration et nécessitent un plan d'épandage et suivi agronomique annuel.

Les boues primaires de papeteries en France, sont souvent mélangées aux boues secondaires (ou biologiques). Les boues sont généralement déshydratées (centrifugeuse, presses à bande, presses à vis, filtre-presses) avant valorisation énergétique sur site ou stockage en benne ou en silo avant enlèvement hors site⁵³. Tandis que les boues issues du traitement physico-chimique et contenant des

⁵³ Source : ADEME 2002

substances dangereuses subissent un stockage en centre de stockage des déchets dangereux après stabilisation, ou une incinération en unité d'incinération de déchets dangereux.

Le tableau 23 résume l'expérience française en matière de gestion de boues industrielles.

TABEAU 23 : GESTION DES BOUES INDUSTRIELLES EN FRANCE

Modes de gestion de boues	Techniques adoptées	Secteurs industriels concernés
Réduction de volume	épaississement et/ou déshydratation	Tous secteurs confondus
Stabilisation	Digestion aérobie et anaérobie	
Amélioration de la consistance	chaulage	
Epandage agricole	Epandage liquide, pâteux ou solide	- Papeterie et pâte à papier - Agro-alimentaire - Sidérurgie - Textile
Compostage	Addition de déchets verts/organiques aux boues permet leur biodécomposition aérobie et thermophile et produit du compost.	- Papeterie et pâte à papier - Agro-alimentaire
Co-processing	Co-processing dans les fours de cimenteries	Secteur chimie parachimie
Co-incinération avec les ordures ménagères	Incinération dans des fours spécifiques aux ordures ménagères	Tous secteurs confondus
Mise en décharge	Les boues industrielles peuvent être éliminée soit dans: - Classe 2 : lorsqu'elles ne présentent pas de caractère dangereux et qu'elles sont considérées comme déchets ultimes inaptes à une valorisation (présence de métaux lourds, de polluants organiques) - Classe 1 : lorsque les boues sont dangereuses et qu'elles sont considérées comme déchets ultimes	Tous secteurs confondus
Incinération spécifique	Incinération dans des fours adaptés	Secteur chimie parachimie

7.3.6 Récapitulatif

Pour tenter de faire une synthèse de l'expérience internationale dans le domaine de réglementation des options d'élimination et/ou de valorisation des boues, on peut dire qu'il existe deux grandes tendances de développement.

D'une part, on peut constater que, grâce à (la prévision de) de l'interdiction de la mise en décharge des matières organiques et recyclables, le coût relativement élevé de l'incinération et la réticence de l'opinion publique à cette option, les gouvernements favoriseront comme filière d'élimination la valorisation des boues en agriculture.

Toutefois, le processus de développement de cette filière se heurte chaque fois à diverses contraintes qui s'expriment à des degrés différents selon les pays. Ces contraintes, souvent de natures conflictuelles, font que la pratique d'épandage des boues est instable et demeure soumise à des contestations, des prises de position et des blocages. Les principales contraintes qui ressortent des expériences internationales sont rapportées ci-après :

- Les restrictions des normes d'épandage ;
- La concurrence des autres produits d'amendements organiques qui, d'après les agriculteurs, doivent être logiquement éliminés (valorisés) en priorité ;

- La réticence des consommateurs et des agro-industriels à cause de la présence éventuelle, dans les boues, des substances dangereuses pouvant être transférées dans les chaînes alimentaires. De ce fait, les agro-industriels ont des exigences de qualité qui récusent les exploitations ayant reçu des boues ;
- Les agriculteurs ne sont pas toujours demandeurs de boues ce qui incite à la mise en place des mesures incitatives ;
- L'innocuité des boues à long terme n'a pas été suffisamment bien élucidée ; et
- La directive nitrate n'incite pas les agriculteurs à récupérer les boues.

D'autre part, on peut observer que les discussions sur les substances dangereuses existant dans les eaux usées et les boues d'épuration jouent, de plus en plus, un rôle important. Ainsi, ces discussions causent des controverses à l'égard de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture. Les substances les plus dangereuses existant dans les boues sont les produits chimiques industriels et les médicaments. Les projets de recherche actuels analysent, de manière intense, la concentration et le sort de ces groupes de substances dans l'environnement. En Allemagne, les discussions actuelles se consacrent aux valeurs limites plus strictes et à de nouvelles valeurs limites. En plus, on effectue des recherches pour la récupération des nutriments, particulièrement le phosphore, des boues d'épuration. Les processus pour la récupération, développés jusqu'à ce jour, ne sont pas encore standardisés et loin d'être économiques.

Si l'on exclut la décharge et la valorisation en agriculture à l'égard de l'élimination/l'utilisation des boues d'épuration, il ne reste plus que l'incinération. En Allemagne aussi, l'incinération a gagné en importance pendant les dernières années. Ici, on doit noter que cette filière d'élimination présente aussi des inconvénients vis-à-vis de la pollution atmosphérique et compte – tenu des coûts élevés comparés aux autres filières d'élimination.

En plus, les options de valorisation des boues en forêt et pour la végétalisation sont à considérer. Elles ont connu de fortes restrictions mais commencent à être reconsidérées dans certains pays. Il est important aussi de souligner l'intérêt croissant de la variante de compostage et de valorisation agricole des boues compostées.

7.4 *Ordres de grandeur des coûts des filières gestion des boues*

Les filières de gestion et d'élimination des boues au Maroc sont encore peu développées pour permettre de développer un référentiel suffisant. La présentation des ordres de grandeur des coûts fait donc référence aux expériences internationales en la matière.

7.4.1 Remarque méthodologique

L'analyse sera centrée exclusivement sur les coûts internes de chaque filière de gestion, les coûts externes seront traités par la suite. En effet, le choix d'une filière de traitement et de valorisation des boues des STEPs doit s'appuyer sur ses performances techniques traduites en une analyse économique. La question fondamentale est :

« Quels coûts pour quels bénéfices ? ». Ce qui suppose de mener une analyse « coûts avantages » approfondie de chaque filière afin d'y intégrer tous les enjeux d'ordre technique, économique, social car les coûts et les avantages (bénéfices) sont aussi biens internes qu'externes (impacts positifs ou négatifs sur les différents acteurs impliqués, sur l'environnement...).

Nous pensons qu'à ce stade d'analyse, il serait plus « simple » de connaître le coût direct de chaque filière identifiée dans la partie technique et une fois la réflexion avancée, une analyse « coûts avantages » sera menée pour les filières qui auraient été identifiées pour le Maroc.

7.4.2 La notion de coût

Il s'agit de calculer le coût moyen actualisé (CMA) ou le coût total d'une Tonne de Matière Sèche (TMS) correspondant à une capacité donnée de traitement et de valorisation des boues. Ce coût comprend la charge annuelle de l'investissement et les dépenses d'exploitation.

La charge annuelle, appelée aussi « **amortissement économique** », couvre l'amortissement du capital (au sens classique du terme : usure et obsolescence) mais aussi sa rémunération (quand des ressources sont immobilisées dans ce projet au lieu de l'être dans un autre d'une autre nature) au taux d'actualisation (taux d'opportunité du capital). Cette charge se calcule donc comme une annuité d'un emprunt au taux i et une durée n . Ainsi si une capacité de traitement et de valorisation de 10 TMS/jour nécessite un investissement de 125000 Euros amorti sur 15 ans avec un taux d'actualisation de 5%, le coût d'investissement annuel (ou charge annuelle d'investissement)⁵⁴ de cette capacité sera de 12030 euros⁵⁵ et non de 8333 (125000/15), la différence (3704) correspond au coût d'opportunité du capital investi dans ce projet, c'est-à-dire au coût de l'immobilisation des ressources financières dans ce projet. Les calculs se feront sur la base d'une durée de 15 ans et d'un taux d'actualisation de 5%.

Les dépenses d'exploitation (DE) correspondent à tout ce qui est nécessaire pour faire fonctionner l'activité : entretien de l'équipement, main d'œuvre, énergie, consommable etc. Elles sont exprimées par TMS, de ce fait :

Le CMA = (charge annuelle d'investissement/ quantité de TMS annuelle) + DE par une TMS

Charge annuelle d'investissement = Investissement total pour la mise en place d'une capacité de traitement * coefficient d'actualisation

Coefficient d'actualisation = $i / [1 - (1+i)^{-n}]$

7.4.3 Rappel des éléments techniques

Les caractéristiques physiques et chimiques des boues "brutes" sont directement liées à celles des eaux usées reçues par la station d'épuration et au procédé d'épuration (type de traitement) des eaux pratiqué dans ladite station, qu'il s'agisse d'eaux usées domestiques, d'effluents industriels ou d'eaux pluviales.

Une fois recueillies, ces boues "brutes" vont subir divers traitements spécifiques, adaptés d'une part à leur nature, mais également à leur destination finale.

La littérature scientifique distingue deux types d'intervention : le traitement proprement dit d'une part et la valorisation des boues de l'autre.

7.4.3.1 Le traitement

Trois opérations se succèdent généralement⁵⁶ : l'épaississement, la stabilisation et la déshydratation.

⁵⁴ Appelée aussi « amortissement économique ».

⁵⁵ Ce résultat est obtenu en utilisant la formule suivante : $i / [1 - (1+i)^{-n}]$

⁵⁶ Source : <http://www.cieau.com/toutpubl/sommaire/texte/8/contenu/8521.htm>

- L'épaississement consiste à réduire le volume des boues en enlevant une partie de l'eau de façon à obtenir un taux de siccité (concentration en matières sèches) de 1,5 à 15% selon les techniques utilisées. Ce qui revient à dégager entre 1,5 et 15 grammes de matières sèches par litre de boue. Les techniques peuvent être gravitaires ou accélérées (flottation, égouttage ou centrifugation)
- la stabilisation vise à diminuer le caractère fermentescible des boues (nuisances olfactives). La stabilisation peut être obtenue par des moyens biologiques, chimiques ou thermiques. « Si elle intervient après l'épaississement, la stabilisation est souvent obtenue par digestion anaérobie. Lorsqu'elle est mise en œuvre après déshydratation, elle est réalisée par chaulage (ajout de chaux), compostage ou séchage »⁵⁷. Au Maroc, dans la majorité des STEPs (quand elles fonctionnent) domine le procédé d'épuration par lagunage anaérobie facultatif avec un niveau de traitement primaire/secondaire⁵⁸. Cela signifie qu'il est possible de procéder à la stabilisation des boues avant leur déshydratation. De ce fait, la digestion anaérobie est recommandée⁵⁹ et permettra la production de biogaz et dégagera des « digestats » qui seront par la suite déshydratés afin d'être valorisés⁶⁰.
- La déshydratation permet d'augmenter le taux de siccité des boues facilitant ainsi leur valorisation par un retour au sol à travers l'épandage ou le compostage ou leur élimination à travers leur incinération ou co-incinération avec les déchets solides ménagers par exemple. La déshydratation recourt à trois grandes familles de techniques : la filtration, la centrifugation et le lit de séchage. Par exemple, la filière de digestion anaérobie se traduira par la production de « digestats » qu'il importe de traiter afin de le rendre apte à l'épandage ou le compostage. Le coût de la déshydratation ne concernera donc que celui du traitement des digestats.

7.4.3.2 La valorisation des boues

Les objectifs de la valorisation sont :

- Un retour au sol : valorisation verte
- Elimination par mise en décharge
- Recyclage de matière par incinération ou co-incinération.

Ces objectifs commandent en dernière instance le choix des différents procédés techniques de traitements des boues.. D'après le projet « Sound Sludge »⁶¹ supporté par le programme LIFE de l'UE, une filière comporte plusieurs files dont une file boue et chaque file comporte un nombre donné « d'opérations unitaires ». Ainsi la file boue comprend Epaississement (*statique, table ou grille égouttage, centrifugeuse*), - Déshydratation (*lits de roseaux, décanteuse centrifuge, filtre à bandes, filtre presse, centrifugeuse directe*)- Chaulage- Méthanisation avec ou sans hydrolyse préalable (*thermique ou ultrasons*) - Digestion aérobie mycélienne – OVH - Séchage (*solaire ou thermique*) – Épandage – Compostage - Incinération- Co-incinération- Enfouissement- Stockage intermédiaire- Transport

⁵⁷ Source : op cit

⁵⁸ Source : CNE : Stratégie de proximité du Département de l'Environnement », Rabat, 2009, p 9-10

⁵⁹ Source : BM : « Revue Stratégique du Programme National d'Assainissement » ; Rapport No. 40298-MA, 2008, p 43

⁶⁰ Il faut mentionner par exemple, le Projet MDP relatif à la STEP de Fès qui prévoit la digestion anaérobie permettant de produire du biogaz et des digestats (boues digérées), ces derniers seront déshydratés en faisant appel à la technique des filtres à bandes ; http://www.cdmmorocco.ma/download/activit/Act81_Presentation-3-Projet-MDP-STEP-de-Fes.pdf.

⁶¹ Source : « Système expert Eco Boue, Guide utilisateur » <http://extranet.groupeirhenvironnement.com/soundsludge/?q=taxonomy/term/6> - Elise Maigrat / Jolanda Boisson (IRH IC).

7.4.4 Les filières de valorisation des boues

En effet, on va distinguer six filières de traitement de boues afin de les rendre soit valorisables (valorisation verte et production d'énergie), soit de les éliminer.

- Filière de valorisation par digestion anaérobie
- Valorisation par séchage solaire sous serre haute technologie
- Valorisation par séchage thermique
- Valorisation par co-compostage
- Valorisation par chaulage
- Elimination par incinération.

7.4.4.1 Le coût de la filière de valorisation par digestion anaérobie

Comme cela a été souligné plus haut, la digestion par anaérobie permet de produire du biogaz et des boues digérées qui seront par la suite déshydratées en vue de leur valorisation. Le schéma suivant précise ce procédé :

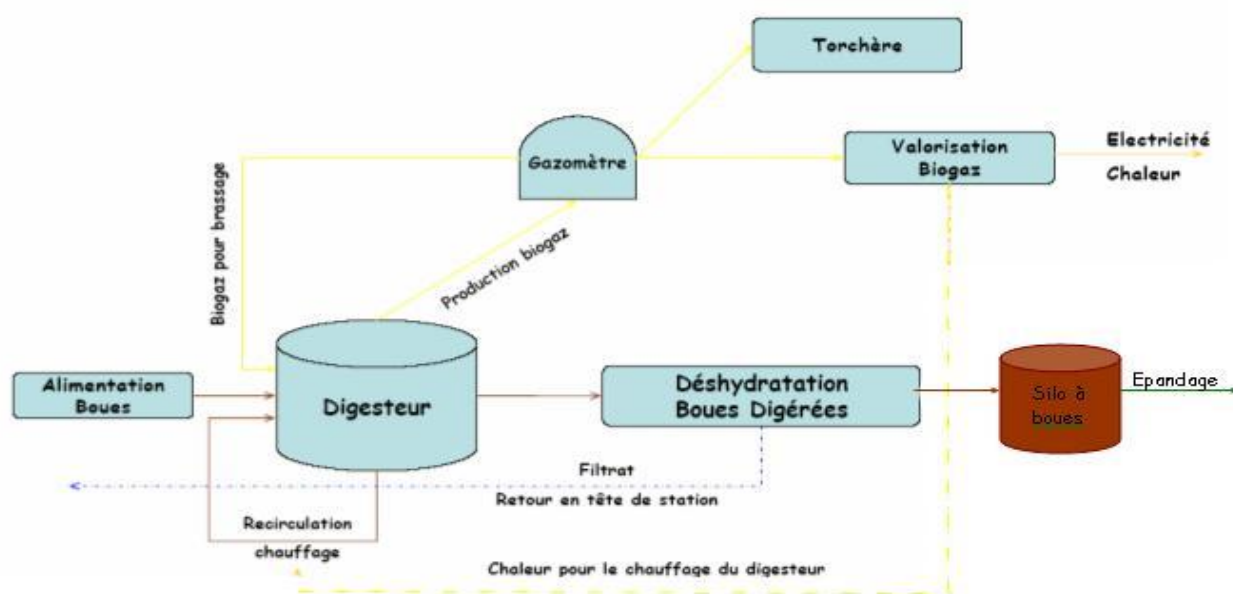


FIGURE 17 : PROCEDE DE VALORISATION PAR DIGESTION ANAEROBIE⁶²

Ce procédé nécessite un digesteur, un gazomètre et un silo à boues. Il existe différents types de digesteur, le choix du digesteur varie en fonction du type de déchets à traiter et de l'application visée. Les boues issues de l'épuration des eaux usées sont des boues fraîches qu'il importe d'épaissir (augmenter le taux de siccité) avant de les déshydrater. En effet, Les boues qui sortent des digesteurs sont séchées en général sur lits de séchage ou par voie de séchage thermique ou naturel pour être utilisées par la suite comme engrais, fertilisant...

Le graphique suivant précise les différentes étapes de cette filière :

⁶² Source : DUBOIS Vincent (ENSAT), HERPIN Pierre (ENSIACET)
<http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0405/beiere/4/html/binome3/index3.htm>

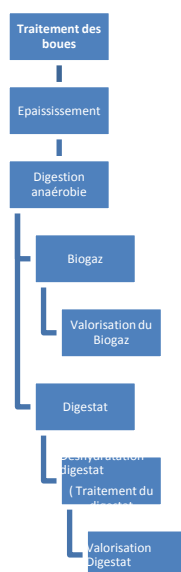


FIGURE 18 : ETAPES DE LA FILIERE DE DIGESTION ANAEROBIE

Le coût de la filière comprend l'épaississement, la stabilisation (digestion anaérobie) et la déshydratation. Afin de déterminer le coût de ces opérations, on s'appuiera essentiellement sur les données du projet « Sound Sludge »⁶³. Pour le calcul de ces coûts, les auteurs ont utilisé trois sources de données : analyses de 126 cas en France, revue de la littérature scientifique et technique et rencontres avec les différents acteurs et partenaires concernés par la problématique.

Pour chaque opération, ils ont distingué les coûts d'investissement et les coûts d'exploitation. Ils ont exprimé les premiers sous forme d'équations, dans la plus grande majorité des cas, linéaires, ce qui parfois ne permet pas de prendre en considération les économies d'échelle qui permettent une baisse du coût unitaire au fur et à mesure que la capacité installée augmente. Sauf indication, tous les coûts sont exprimés en euros, année 2007.

Le coût d'investissement

a) L'épaississement :

On a retenu l'épaississement gravitaire qui permet, d'après les auteurs, un taux de siccité de 6,7% tout en évitant l'utilisation d'adjuvants (polymères par exemple). Ce coût d'investissement est exprimé par l'équation suivante⁶⁴ :

$$I = 23459 \text{ TMS/j} + 52877 \quad (1)$$

Avec I : Investissement ; TMS/J : tonne de matière sèche par jour

b) La digestion anaérobie : l'investissement est exprimé par l'équation suivante :

$$I = 17863 \text{ TMS/j} + 300951 \quad (2)$$

c) La déshydratation par centrifugeuse

⁶³ Source : « Système expert Eco Boue, Economical and environmental background data » in <http://extranet.groupeirhenvironnement.com/soundsludge/?q=taxonomy/term/6> - Elise Maigrat / Jolanda Boisson (IRH IC) Henk van der Woerd / Jochem Jantzen (TME).

⁶⁴ Remarque : cette équation et les autres qui suivront expriment le coût d'installation d'une capacité de traitement de TMS, c'est ce coût qui sera annualisé dans les conditions déjà signalées afin de calculer l'investissement annuel. Toutes les équations qui seront utilisées par la suite sont tirées du « DF2 economic background »

$$I = 113601 \text{ TMS/j} + 115914 \quad (3)$$

Après calcul, on obtient les résultats suivants :

TABLEAU 24 : COUT D'INVESTISSEMENT ANNUEL PAR TMS (EN EUROS)

tMS/j	TMS/an	Stabilisation Coût annuel par TMS	Digestion anaérobie Coût annuel par TMS	Déshydratation Coût annuel par TMS	Coût d'investissement Coût annuel par TMS
1	360	20,42*	128,35	61	209,77
5	1 800	9,10	63,95	37	110,05
10	3 600	7,69	55,9	33	96,59
50	18000	6,56	49	31	86,56

* Ce chiffre est obtenu comme suit : l'application de l'équation 1 donne un coût d'installation d'une TMS/j de 76336 euros, en appliquant un taux d'actualisation de 5% et une durée de 15 ans, on obtient une charge annuelle d'investissement de 7351 euros que l'on divise par le tonnage annuel, ce qui donne 20,42 € par TMS.

Les dépenses d'exploitation

Le tableau suivant donne un certain nombre de valeurs relatives aux différentes dépenses d'exploitation :

TABLEAU 25 : VALEURS UNITAIRES DU PROJET « ECO BOUE »⁶⁵

Type de dépense	Entretien et changement de pièces	Nombre d'heure par semaine (heure /semaine	Electricité KWh/TMS	Chaleur KWh/TMS	Réactif (Kg/TMS)
Stabilisation Quantité unitaire (moyenne des 27 pays de l'UE)	1% du coût d'investissement	1	10	-	-
Digestion anaérobie Quantité unitaire (moyenne des 27 pays de l'UE)	2% du coût d'investissement	2	100		
Déshydratation Quantité unitaire (moyenne des 27 pays de l'UE)	10% du coût d'investissement	10	200		7

⁶⁵ Source : « DF2 economic background » Elise Maigrat / Jolanda Boisson (IRH IC) Henk van der Woerd / Jochem Jantzen (TME)

Type de dépense	Entretien et changement de pièces	Nombre d'heure par semaine (heure / semaine)	Electricité KWh/TMS	Chaleur KWh/TMS	Réactif (Kg/TMS)
Séchage thermique	10% du coût d'investissement	30		$970 * (SF - SI) / (SF * SI)$	
Séchage solaire	3% du coût d'investissement	5		$50 * (SF - SI) / (SF * SI)$	
Valeur unitaire (moyenne européenne 2007)		30€/h	0,07€/kWh	0,03€/kWh	(polymère) 5 €/Kg

Après calcul, on obtient les résultats suivants :

TABLEAU 26 : COUT D'EXPLOITATION PAR TMS

tMS/j	TMS/an	Epaississement Coût par TMS	Digestion anaérobie Coût I par TMS	Déshydratation par TMS	Coût d'exploitation Coût € par TMS
1	360	7	29	121	157
5	1 800	3	15	61	80
10	3 600	2	14	53	69
50	18000	1	12	47	59

De ce fait, le coût total par TMS est donné par le tableau suivant :

TABLEAU 27 : COUT TOTAL PAR TMS

TMS/j	TMS/an	CMA parTMS
1	360	366,77
5	1 800	190,05
10	3 600	165,59
50	18000	145,56

A titre de comparaison, d'après une étude menée par RECORD⁶⁶ sur la méthanisation des déchets organiques⁶⁷ le coût de la digestion anaérobie se présente comme suit :

TABLEAU 28 : COUT TOTAL D'UNE TMS- DIGESTION ANAEROBIE

capacité STEP	production boues	amortissement sur 20 ans	coût d'exploitation	coût total
EH	TMS/an	TMS/an	TMS/an	TMS/an
10 000*	180	118	42	160
25 000	450	86	35	121
50 000	900	67	31	98
100 000	1800	53	27	80
200 000	3600	41	25	66
* A raison de 18Kg MS/EH/an				

⁶⁶ Source : Recherche Coopérative sur les Déchets et l'Environnement ; <http://www.record-net.org/record/liens.php>

⁶⁷ Source : Etude réalisée en 2003, p 23 ; <http://www.record-net.org/record/download.php>

Les données projet Sound Sludge nous ont permis de calculer le coût de toute la filière, y compris la déshydratation des boues (avec un taux de siccité compris entre 30 et 40%), ce qui les rend déjà valorisable, par contre l'étude Record ne donne que le coût de la digestion anaérobie sans intégrer la déshydratation, par conséquent on ne comparera que le coût de la digestion anaérobie.

TABEAU 29 : DIGESTION ANAEROBIE : ESTIMATION DU COUT ANNUEL PAR TMS EN EUROS

capacité STEP EH	TMS/j	TMS/an	Projet « sound Sludge » Année 2007	« Record » Année 2003
100 000	5	1 800	79	80
200 000	10	3 600	70	66

Malgré quelques différences dans certaines hypothèses (amortissement sur 20 ans au lieu de 15 ans ; la non pris en compte du coût d'opportunité du capital), on obtient des résultats équivalents. Cela reste évidemment des ordres de grandeurs qu'il faudra affiner le moment venu.

Ce procédé permet la production du biogaz et des digestats, ces derniers contiennent 30% de matières sèches, pour les rendre apte à la valorisation agricole ou à l'incinération, il faudrait augmenter leur taux de siccité (supérieur à 60%), ce qui occasionne d'autres dépenses. C'est dans le cadre d'une analyse coût-bénéfice globale qu'il importe d'en tenir compte en même temps que les gains en termes d'énergie et de carbone. A ce niveau, et comme cela a été déjà souligné, il s'agit de donner simplement des ordres de grandeurs des seuls coûts directs de chaque filière.

7.4.4.2 Filière de valorisation par séchage solaire sous serre haute technologie

Les boues épaissies c'est-à-dire entrant à partir de 6 à 8% % de matières sèches sont séchées jusqu'à 70 voire 80 % de siccité. Ce qui permet leur valorisation :

- compostage pour valorisation agricole ;
- compostage pour revégétalisation de sol ;
- valorisation énergétique ;
- retour à l'épandage.

Cette filière s'appuie sur ce qui a été analysé au niveau technique.

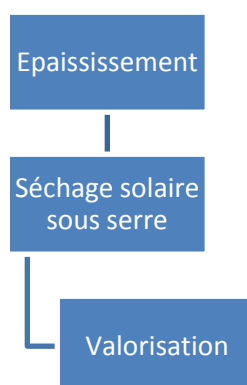


FIGURE 19 : ÉTAPES DE LA FILIERE DE VALORISATION PAR SECHAGE SOLAIRE

Coût d'investissement

Les informations sur cette filière sont issues du même document⁶⁸

a) L'épaississement :

On a retenu l'épaississement gravitaire qui permet, d'après les auteurs, un taux de siccité de 6,7% tout en évitant l'utilisation d'adjuvants (polymères par exemple). Ce coût d'investissement est exprimé par l'équation suivante :

$$I = 23459 \text{ TMS/j} + 52877 \quad (1)$$

Avec I : Investissement ; TMS/J : tonne de matière sèche par jour

b) Séchage solaire⁶⁹ : l'investissement est exprimé par l'équation suivante :

$$I = 831163 \text{ TMS} - 49839 \quad (4)$$

Après calcul, on obtient les résultats présentés dans le tableau suivant.

TABLEAU 30 : COUT D'INVESTISSEMENT ANNUEL PAR TMS ; SECHAGE SOLAIRE

tMS/j	TMS/an	Epaississement Coût annuel par TMS	Séchage Coût annuel par TMS	Coût d'investissement Coût annuel par TMS
1	360	20,42*	209	229,40
5	1 800	9,10	220	229,10
10	3 600	7,69	221	228,70
50	18000	6,56	222	228,60

On remarque que le coût d'investissement annuel de l'opération séchage d'une TMS installée augmente avec la capacité, cela est du probablement à la nature de l'équation utilisée dont le signe négatif de la constante en fait presque une équation de type $Y = aX$ avec un coût moyen constant égal au coefficient a.

Située au coeur de la plaine d'Alsace, la petite commune d'Ensisheim (13.500 EH)⁷⁰ dispose de sa propre station d'épuration depuis 1989. Elle a procédé à la construction d'une serre avec une capacité de traitement de 1500 tonnes de boues par an avec un taux de siccité de 16% soit 240 tonnes de matières sèches par an. Le coût d'installation est de 692000 euros. Si on annualise cet investissement sur 15 ans avec un taux d'actualisation de 5%, on obtiendra un investissement annuel de 66 640 euros et un coût d'investissement de 278 euros par TMS.

⁶⁸ Source : <http://extranet.groupeirhenvironnement.com/soundsludge/?q=taxonomy/term/6>

⁶⁹ Source : Le document ne précise pas le type de séchage solaire, mais on peut penser qu'il s'agit de séchage solaire sous serre.

⁷⁰ Source : <http://www.projetsdeurope.gouv.fr/IMG/pdf/OP27-Alsace.pdf>.

Dans un document « annexe 9 »⁷¹ consacré aux différentes filières de valorisation des boues dans le seul recyclage agricole, il est mentionné que le coût d'installation d'une TMS séchée thermiquement varierait entre 2000 et 2500 euros (prix 2800), ce qui nous donnerait un coût d'investissement annuel par TMS entre 192 et 240⁷² proches de ceux que nous avons calculés pour le seul séchage solaire.

Les dépenses d'exploitation

Les résultats des dépenses d'exploitation sont présentés dans le tableau suivant.

TABLEAU 31 : COUT D'EXPLOITATION PAR TMS ; SECHAGE SOLAIRE

tMS/j	TMS/an	Epaississement	Séchage	Coût d'exploitation
		Coût par TMS	par TMS	Coût
				€ par TMS
1	360	7	115	122
5	1 800	3	101	104
10	3 600	2	99	101
50	18000	1	98	99

Le coût de fonctionnement pour l'opération séchage (avec renouvellement du matériel et équipement) varie entre 80 et 100 euros/TMS.

Le coût total d'une TMS séchée sous serre s'avère plus important entre **330 et 350 euros**. Cependant à la fin du processus on obtient une matière sèche (80%) prête à être valorisée. C'est l'énergie solaire, accentuée par la présence de la serre, qui transforme ces boues en granulats, quasiment inodores et prêts à l'épandage ou au compostage.

7.4.4.3 Filière de valorisation par séchage thermique

L'analyse technique a montré que le séchage thermique ne peut s'appliquer qu'aux boues déshydratées avec un taux de siccité de 15 à 20%⁷³. C'est en fonction de la destination des boues que l'on détermine le niveau de séchage (voir partie technique). Ainsi une co-incinération (la boue séchée aura le même pouvoir calorifique qu'une ordure ménagère) nécessite un séchage poussé (entre 60 et 90%), un épandage agricole ou une valorisation matière (réintégration des boues dans la fabrication d'autres produits comme la brique, la céramique, ciments)⁷⁴ nécessitent un séchage total (>90% MS). Comme dans le séchage solaire, les boues sont épaissies, déshydratées (15 à 20% MS) puis séchées (séchage total).

Coût d'investissement

Le coût d'épaississement et de déshydratation sont les mêmes que pour le séchage solaire, celui du séchage thermique (95%) est donné par l'équation suivante⁷⁵ :

⁷¹ Source : <http://www.e-cartes.cg29.fr/anc/guide-annexes/annexes/annexe09.pdf>; Dorénavant, on citera ce document sous la référence « annexe 9 ».

⁷² EN leur appliquant la formule $i / [1 - (1+i)^{-n}]$ avec $i = 5\%$ et $n = 15$ ans

⁷³ Source : ADEME : « Séchage thermique des boues urbaines et industrielles », p 8, 2004

⁷⁴ Source : Op cit, p 2.

⁷⁵ Source : Elise Maigrat / Jolanda Boisson (IRH IC) Henk van der Woerd / Jochem Jantzen (TME), op cit

$$I = 2 \cdot 10^6 \ln (\text{TMS}/j) + 110190 \quad (5)$$

TABLEAU 32 : COUT D'INVESTISSEMENT ANNUEL PAR TMS ; SECHAGE THERMIQUE

tMS/j	TMS/an	Epaississement Coût annuel par TMS	Déshydratation Coût annuel par TMS	Séchage thermique Coût annuel par TMS	Coût d'investissement Coût annuel par TMS
1	360	20,42	209	29*	23
2		13,5	46	200	260
5	1 800	9,10	220	178	407
10	3 600	7,69	221	126	355
50	18000	6,56	222	42	271
*A cause de la forme de l'équation, le coût de séchage pour une tonne n'est pas significatif					

Dépenses d'exploitation

TABLEAU 33 : COUT D'EXPLOITATION ANNUEL PAR TMS ; SECHAGE THERMIQUE

	Dépenses d'exploitation par TMS			
	Epaississement	Déshydratation	Séchage	Total
1	7,15	63,74	160,95*	231,84
2	4	40	394	438,82
5	2,51	26,50	332,20	361,21
10	1,93	21,85	265,23	289,01
50	1,47	18,12	167,93	187,52
* Même remarque				

Le coût total par tonne varie entre 458 et 700 euros la TMS, le coût du poste séchage varie entre 200 et 600 euros dont la plus grande partie relève des dépenses d'exploitation, essentiellement en énergie. C'est le plus important point faible de ce procédé.

TABLEAU 34 : COUT TOTAL ANNUEL PAR TMS

tMS/j	Epaississement	Déshydratation	Séchage	Total
1	27,57	272,74	189,95	490,26
2	17,75	86,47	594,10	698,32
5	11,61	246,50	510,20	768,31
10	9,62	242,85	391,23	643,70
50	8,03	240,12	209,93	458,08

Certains exemples montrent que le coût pourra être plus élevé, c'est le cas de la future station d'épuration de l'Auxerrois à Appoigny (Yonne)⁷⁶ qui a opté pour le séchage thermique dans le cadre de sa STEP où les boues passeront par les étapes suivantes :

- Épaississement par flottation ;
- Déshydratation par centrifugation (boues à 80% d'humidité) ;
- Traitement final des boues par séchage thermique (boues à 10 % d'humidité) puis conditionnement sous forme de granulés ensachés (grands sacs de 2 m3).

Le coût d'investissement du séchage thermique est estimé à 3,28 millions €⁷⁷ pour une production de MS qui varie entre 600 et 1200 tonnes, en l'annualisant aux mêmes conditions (taux 5% et durée 15 ans), le coût annuel d'investissement sera de 315864 €, soit un coût d'investissement qui varierait entre 263 et 526 € et un coût d'exploitation qui se situerait entre 138 et 276€⁷⁸, soit un coût total de 400 et à 800€/TMS.

Par rapport au séchage solaire, il est plus onéreux, surtout en matière d'énergie, ainsi pour évaporer 1 tonne d'eau contenue dans les boues il faut 1 000 kWh par séchage thermique et 100 kWh par séchage solaire⁷⁹.

Au vu de cette analyse, il s'avère que ce type de séchage est indiqué pour des STEPs de grande taille, les boues obtenues peuvent servir de substitut ou compléter les combustibles classiques (fioul...), car les boues séchées ont une valeur calorifique importante, d'environ 20.000 jusqu'à 22.000 kJ/kg. Même si son coût direct s'avère élevé, afin de se prononcer sur cette filière, il importe, comme nous l'avons déjà dit de le faire dans le cadre d'une analyse coûts - avantages.

7.4.4.4 Valorisation par co-compostage

D'après l'analyse technique des filières réalisée plus haut, afin de rendre les boues aptes à être compostées, elles doivent être épaissies et déshydratées (20%). De même elles doivent être mélangées à diverses matières organiques disponibles à proximité des STEPs : copeaux de bois, sciure de bois, bois de taille de l'arboriculture et autres déchets comme la litière des volailles, déchets verts des espaces verts, et les déchets de cultures, déchets ménagers, etc.).

Par conséquent, le coût de cette valorisation comprend celui de l'épaississement et de la déshydratation des boues. Nous avons pu avoir une idée sur le coût de compostage en nous basant sur un projet initié par la « Société Martiniquaise des Eaux »⁸⁰

Ce projet consiste en la construction d'une usine organisée de la façon suivante :

- Préparation des produits (mélange boue / co-produit) ;
- Compostage en casiers pendant 4 semaines ;
- Criblage et séparation compost et co-produit recyclé ;
- Maturation pendant 1 mois ;
- Stockage pendant 6 mois maximum.

⁷⁶ Source : Abelardo Zamorano : « Le séchage thermique des boues de la future station d'épuration de L'Auxerrois à Appoigny (Yonne) Chronique d'une dépense énergétique et monétaire annoncée » ; 2008 ; <http://yonne.lautre.net/spip.php?article3028>

⁷⁷ L'investissement comprend le génie civil (1,55), le sécheur (1,5), dispositif d'ensachage (0,23).

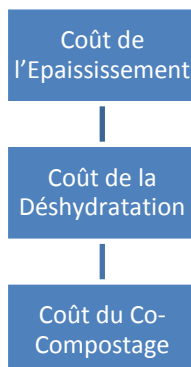
⁷⁸ En ajoutant les dépenses dues à l'entretien de 1% de l'investissement.

⁷⁹ Par exemple, Au travers du programme VALIREB, l'INSA de Lyon et la société Degremont collaborent sur un projet de valorisation des résidus de traitement thermique des boues de station d'épuration dans des matériaux de construction ; http://www.actu-environnement.com/ae/news/insa_degremont_valorisation_boues_2161.php4

⁸⁰ Source : Société Martiniquaise des Eaux : Projet d'usine de compostage des boues issues du traitement des eaux usées, NOTE DE PRESENTATION ; Version 2 du 15 juin 2009.

Sa capacité est de 10 000 tonnes de boues par an qui arrivent à l'usine avec un taux de siccité de 20%, soit environ 2 000 TMS par an. Lors du compostage, on constate une perte en poids de l'ordre de 50 % à 60 % entre le substrat entrant (boues + déchets verts...) et le compost produit. De ce fait, ce projet produira entre 5 000 et 6 000 TMS par an. Ce projet nécessite un investissement de 4,9 millions d'euros.

Le coût de la filière se présente ainsi



a) Coût de l'épaississement

- Le calcul l'investissement utilise la même équation (1) :

$$I = 23459 \text{ TMS/j} + 52877 \quad (1)$$

Soit pour une capacité de 10000 T, un coût de 6,8euros/TMS.

- Le coût d'exploitation d'une TMS est de 2 euros calculé à partir des grandeurs et valeurs unitaires du Tableau 2.

b) La déshydratation par centrifugeuse

- Le calcul l'investissement utilise la même équation (3) :

$$I = 113601 \text{ TMS/j} + 115914 \quad (3)$$

Soit pour une capacité de 10000 T, un coût d'investissement de 31euros/TMS

- Le coût d'exploitation d'une TMS est de 48 euros calculé à partir des grandeurs et valeurs unitaires du Tableau 2.

c) Le compostage

- Le coût d'investissement d'une TMS est calculée en annualisant l'investissement de 4,9Millions d'euros sur 15 ans et avec un taux d'actualisation de 5%, ce qui donne un investissement annuel de 905 220 euros, soit un coût d'investissement annuel qui varie entre 151 (905220/5000) et 181 (905220/6000) euros /TMS
- Le coût de traitement des boues entrantes varie entre 85 et 100 euros TMS⁸¹
- A la fin du processus, on obtient entre 5000 et 6000 tonnes de compost.

⁸¹ Source : op cit, p4

TABLEAU 35 : COUT TOTAL ANNUEL PAR TMS ; Co-COMPOSTAGE

	Coût d'investissement/TMS	Coût d'exploitation/TMS	Coût total/TMS
Epaississement	6,8	2	8,8
Déshydratation	31	48	79
Compostage	151/181	85/100	236/281
Total	189/220	135/150	324/370

D'un autre côté, «l'annexe 9» donne quelques indications sur le compostage qui permet de conférer à la MS un statut de produit et non de déchet répondant ainsi à la norme NFU 44-095. Le coût d'investissement (mise en place de la capacité) varie entre 1200 et 2200 € / TMS. Ce qui donne un coût d'investissement annuel de 115 à 192€ /TMS. On est bien dans la fourchette calculée pour le projet Martiniquais.

7.4.4.5 Valorisation par chaulage

Le chaulage est considéré comme un traitement de stabilisation et d'hygiénisation des boues. La stabilisation par rajout de chaux éteinte ou vive aussi appelé chaulage connaît un développement soutenu depuis plusieurs années en raison de son efficacité vis à vis de la maîtrise des nuisances olfactives et de l'intérêt des boues pour le chaulage des sols acides.



« La stabilisation chimique bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %) élevant le pH des sols au delà de 12 » (ADEME)⁸². A la fin du processus on obtient des boues solides (taux de siccité de 30 à 40%) propices à l'épandage (terres agricoles, forestières...). Le produit obtenu doit par la suite être stocké et transporté vers les lieux prévus pour l'épandage. Le coût calculé à ce niveau ne comprend ni le stockage ni le transport.

Le coût de l'épaississement et de la déshydratation (centrifugeuse) est toujours calculé à partir de l'équation (1) et (3), celui du chaulage est donné par l'équation suivante :

⁸² Source : La stabilisation par chaulage connaît un développement soutenu depuis plusieurs années en raison de son efficacité vis à vis de la maîtrise des nuisances olfactives et de l'intérêt des boues pour le chaulage des sols acides. Environ 200 stations d'épuration pratiquent le chaulage en France, ce qui représente 2 % du parc français (exprimé en nombre de stations, soit 25 % de la capacité de traitement installée). Il s'agit généralement de stations de taille supérieure à 15 000 équivalent-habitants, avec une moyenne voisine de 40 000 équivalent-habitants » (ADEME)

$$I = 35667 * \text{TMS} + 62292 \quad (6)$$

En appliquant les équations (1), (3) et (6), le coût d'investissement annuel par TMS en fonction de la capacité installée est de :

TABLEAU 36 : COUT D'INVESTISSEMENT ANNUEL PAR TMS ; CHAULAGE

Capacité installée (TMS)	Epaississement	Déshydratation	Chaulage	Total
1	20,42	61	26	108,02
5	9	37	12,87	58,57
10	7,69	33	11,21	52,39
50	6,56	31	9,87	47,44

Selon la capacité installée, le coût d'investissement annuel par TMS varie entre environ 10 et 62 euros. Dans « l'annexe 9 » », le coût de la mise en place d'une unité de chaulage varie entre 50 000 et 200 000 euros selon le gisement de boues à traiter⁸³. Ce sont des grandeurs qui s'approchent de celles figurant au tableau, ainsi pour chauler 50T/jour, soit 18000 T/an, on aurait besoin d'un investissement qui s'élèverait à 178 000 euros, proches des 200 000 euros donnés par « l'annexe 9 ».

Le coût d'exploitation d'une tonne varie entre 96 et 168 euros (tableau 13)

TABLEAU 37 : COUT D'INVESTISSEMENT ANNUEL PAR TMS ; CHAULAGE

Coût d'exploitation				
tMS/j	Epaississement	Déshydratation	chaulage	Coût d'exploitation
	Coût par TMS	Coût par TMS	Coût par TMS	Coût par TMS
1,00	7,15	98,71	62,48	168,34
5,00	2,51	61,47	45,84	109,82
10,00	1,93	56,81	43,76	102,50
50,00	1,47	53,09	42,10	96,65

Pour le seul chaulage, il varierait entre 42 et 62 euros, inférieur aux valeurs données par « l'annexe 9 »: 75 à 100 € / TMS.

7.4.4.6 L'élimination par incinération

Il s'agit de procéder à la destruction de la matière organique. Les boues doivent être épaissies, déshydratées (20% MS) et puis incinérées.

Comme pour les autres filières, le coût d'épaississement et de déshydratation sont donnés par les équations (1) et (3), celui de l'incinération est donné par l'équation suivante :

$$I = 4 * 10^6 \ln (\text{TMS/j}) - 473676 \quad (7)$$

⁸³ Source : <http://www.e-cartes.cg29.fr/anc/guide-annexes/annexes/annexe09.pdf>

TABLEAU 38 : COUT INVESTISSEMENT PAR TMS DE LA FILIERE « INCINERATION

TMS/an	Epaississement	Déshydratation	Incinération	Coût d'investissement
	Coût annuel par TMS	Coût annuel par TMS	Coût annuel par TMS	Coût annuel par TMS
720	13,5	46	307	367
1 800	9,1	220	319	548
3 600	7,69	221	234	462
18000	6,56	222	81	310

Le document « DF2 economic background » ne donne pas d'indication sur les dépenses d'exploitation par TMS alors que le document « annexe 9 » donne un coût de 400 à 500 euros par tonne pour une incinération spécifique des boues (avec un taux de siccité de 20%), ce coût comprend l'amortissement⁸⁴ des investissement et le fonctionnement.

TABLEAU 39 : COMPARAISON ECONOMIQUE DES DIFFERENTES FILIERES D'ELIMINATION DES BOUES RESIDUAIRES EN PRENANT L'EPANDAGE COMME BASE (BASE 100) DANS LES CONDITIONS TECHNIQUES ET ECONOMIQUES DE LA FRANCE EN 1999⁸⁵ :

COUT DES FILIERES EN PRENANT POUR REFERENCE L'EPANDAGE (BASE 100)	
Epandage boues chaulées (cas du SIARCE)	100
Epandage de boues sèches ou compostées	140
Incinération	155
Centre d'enfouissement	260

⁸⁴ Sans préciser s'il s'agit d'un amortissement économique (tel que nous l'avons calculé) ou comptable (investissement divisé par le nombre d'années de vie du projet.

⁸⁵ Source : *Audit économique et environnemental des filières d'épuration – Etudes des agences de l'eau – septembre 1999. cité in* Syndicat Intercommunal d'Assainissement et de Restauration de Cours d'Eau (SIARCE) ; www.siarce.fr

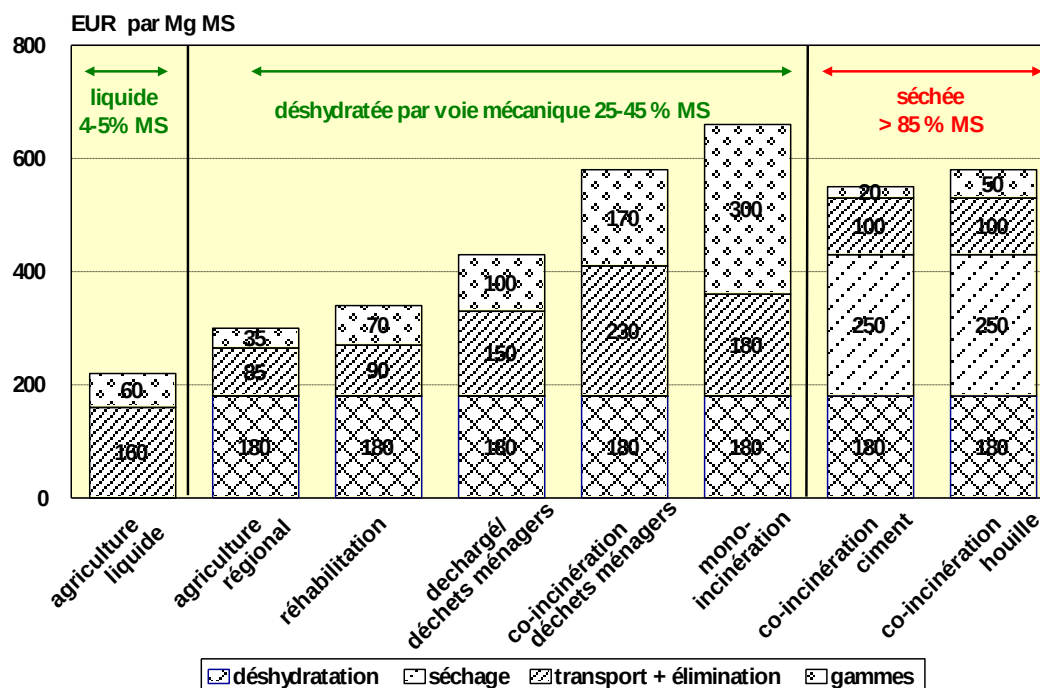


FIGURE 20 : LES COÛTS DE L'ÉLIMINATION DES BOUES D'ÉPURATION EN ALLEMAGNE

La figure ci-dessus reprend les coûts de différentes filières d'élimination des boues d'épuration en Allemagne.

Des ordres de grandeur des coûts d'élimination sont rapportés dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

TABLEAU 40 : COÛTS D'ÉLIMINATION DES BOUES EN ALLEMAGNE ET EN EUROPE (EN EURO/TONNE DE MS)

Procédé technique	Coûts spécifiques en Allemagne	Coûts spécifiques en Europe
Mono-incinération de boues déshydratées mécaniquement	145 – 405	300 -330
Mono-incinération de boues séchées	40 – 70	-
Co-incinération dans des installations d'incinération des déchets	290 – 405	210 - 300
Décharge		210 - 300

Concernant la mise en décharge le coût demandé à la RAMSA pour la mise en décharge de ses boues et de 100 dhs/tonne.

8 Cadre réglementaire, normes et standards⁸⁶

8.1 Place des boues dans l'arsenal réglementaire du Maroc

Malgré l'absence d'une réglementation spécifique sur les boues, certains textes peuvent concerner les modalités d'élimination des boues et leurs impacts : (i) Dahir 25 août 1914, (ii) la Loi 28-00 relative à la gestion des déchets, (iii) la Loi 12-03 relative aux études d'impacts sur l'environnement et la Loi 10-95 sur l'eau.

8.1.1 Dahir 25 août 1914

Le Dahir du 25 août 1914 portant réglementation des établissements insalubres, incommodes et dangereux exige dans son article 5 que le mode et les conditions d'évacuation des déchets et des résidus desdits établissements soient définis préalablement à toute autorisation.

L'arrêté viziriel du 13 octobre 1933, pris pour l'application du dahir de 1914 et portant classement de ces établissements, classe les dépôts des boues et d'immondices dans la première classe en raison des inconvénients que ces boues et immondices pourraient engendrer. Ces inconvénients consistent en odeur, en altération des eaux et en danger des mouches. Cette classification soumet ce type d'installation au système d'autorisation tel que défini par ledit Dahir.

8.1.2 Loi 12-03 relative aux études d'impacts sur l'environnement

La liste des projets assujettis à l'étude d'impact sur l'environnement mentionne, en plus des établissements insalubres, incommodes ou dangereux classés en première catégorie, deux types d'installations qui sont en relation directe avec les boues, et qui sont renfermées dans la deuxième catégorie. Il s'agit ***des installations de stockage ou d'élimination de déchets quel que soit leur nature et leur mode d'élimination ainsi que les stations de traitement des eaux usées et ces ouvrages annexes***. Ces ouvrages annexes des stations de traitement des eaux usées sont entre autres ceux destinés au traitement de boues.

8.1.3 Loi 10-95 sur l'eau

La loi 10-95 sur l'eau a été élaborée dans l'objectif principal de la préservation des ressources en eau et la lutte contre la pollution. Elle a consacré le **Chapitre VI** pour identifier une stratégie de lutte contre la pollution des eaux. Cette loi stipule dans son **article 52**, qu'aucun déversement, écoulement, rejet, dépôt direct ou indirect dans une eau superficielle ou une nappe souterraine susceptible d'en modifier les caractéristiques physiques, y compris thermiques et radioactives, chimiques, biologiques ou bactériologiques, ne peut être fait sans autorisation préalable accordée, après enquête, par l'agence de bassin. A cet article vient s'ajouter **l'article 53**, qui stipule que tout déversement, écoulement, rejet, dépôt direct ou indirect dans une eau superficielle ou une nappe souterraine visé à l'article 52 existant à la date de publication de la présente loi, doit, dans un délai fixé par l'agence de bassin, faire l'objet d'une déclaration.

⁸⁶ : Cette partie consiste en une actualisation de la synthèse dans le cadre des Plans d'action pour la gestion des boues des stations d'épuration des eaux usées, Rapport final établi par FIW (Ghariani F., Soudi B., Baumgart H., Gredigk-Hoffmann S. & Bolle F.W.), (août 2006). Cette partie intègre également certains passages et réflexions tirés du rapport provisoire de promotion de grade réalisé par Mustapha Mellouki, DRC / département de l'Environnement.

8.1.4 Loi 28-00 relative à la gestion des déchets

Les boues ont le caractère d'un déchet selon la loi n° 28-00 relative à la gestion des déchets, qui stipule que tout résidu résultant d'un processus d'extraction, exploitation, transformation, production, consommation, utilisation, contrôle ou filtration, et d'une manière générale, tout objet et matière abandonnés ou que le détenteur doit éliminer pour ne pas porter atteinte à la santé, à la salubrité publique et à l'environnement est considérée comme déchets.

De ce fait, les boues seront régies par les mêmes exigences et obligations de la loi en matières de stockage, élimination et valorisation de déchets.

Statuts des boues industrielles selon la loi 28-00

La loi 28-00 a identifié trois classes de décharge selon le type de déchets.

Décharge classe 1 : Déchets ménagers et assimilés ;

Décharge classe 2 : Déchets industriels, médicaux et pharmaceutiques non dangereux, déchets agricoles, déchets ultimes et inertes ;

Décharge classe 3 : Déchets dangereux.

Les boues issues de traitement des eaux usées industrielles peuvent être considérées comme étant des déchets industriels, destinés aux décharges de type classe 2 dans la loi 28-00, qui stipule que tout déchet résultant d'une activité industrielle, agro-industrielle, artisanale ou d'une activité similaire est dit déchet industriel. Vu que toutes les activités industrielles n'ont pas le même degré d'acuité et nocivité vis-à-vis de dégradation de ressources naturelles, on peut distinguer entre boues considérées comme **déchets industriels non dangereux** et celles classées comme **déchets dangereux**. Donc on peut constater que le statut (catégorie de déchet) de boues industrielles issues de traitement des eaux usées industrielles n'est pas figé, et sa détermination nécessite une intégration de plusieurs facteurs.

En application des articles 29 et 83 de la loi n° 28-00, les déchets sont inventoriés et classés, en fonction de leur nature et de leur provenance, dans un catalogue dénommé " Catalogue Marocain des Déchets ", ce catalogue a identifié les déchets dangereux et tenté de définir les caractéristiques du danger inhérent à ce type de déchets. Le tableau ci-après résume les dispositions réglementaires régissant les boues industrielles, issues de traitement des rejets liquides, dans le Catalogue Marocain des Déchets « CMD », dont l'extrait de ce dernier est mentionné dans la partie annexe de la présente étude, l'extrait se focalise surtout sur la mise en évidence du statut des boues issues du traitement des eaux usées industrielles, comme simple déchets industriels ou classées comme déchets dangereux.

Le caractère dangereux n'est cependant pas clairement défini : quel type de polluant ? quel niveau de concentration ? etc...

TABEAU 41 : DISPOSITIONS REGLEMENTAIRES REGISSANTES LES BOUES INDUSTRIELLES DANS LE CMD

Boues considérées comme déchets non dangereux	Boues considérées comme déchets dangereux
- Boues issues de traitement in situ des effluents de toutes les activités agro-alimentaires. - Boues issues du traitement in situ des effluents d'industrie de production et de transformation de papier, de carton et de pâte à papier - Boues provenant du traitement in situ des effluents d'industrie du cuir et de la fourrure (avec ou sans chrome) - Boues provenant de traitement in situ des effluents de toutes les activités industrielles non citées avant, et qui ne contiennent pas de substances dangereuses	Boues provenant de traitement in situ des effluents de toutes les activités industrielles non citées dans la rubrique de Boues considérées comme déchets non dangereux, et qui contiennent de substances dangereuses.

En résumé, la boue issue de traitement des effluents industriels est classée dans un premier ordre dans la catégorie des **déchets industriels**, si cette boue contient des substances dangereuses elle migre vers la catégorie de **déchets dangereux**. En mettant en valeur le constat du statut des boues, issues de traitement des effluents agro-alimentaires, dans le CMD on peut oser à classer cette boue comme **déchets assimilés** à ceux ménagers, mais ce postulat n'est vrai que sur la base d'une confirmation d'un rapport d'analyse exigé et élaboré par un laboratoire agréé.

Etant donné que les boues issues de traitement des effluents industriels sont considérées comme déchets selon la loi n° 28-00 relative à la gestion des déchets, ces boues devraient être soumises aux exigences et dispositions de la présente loi en matière de stockage, traitement et élimination. On tentera de parcourir ci-après quelques destinations :

- Mise en décharge

La réglementation marocaine distingue trois classes de décharges contrôlées pour assurer une élimination environnementale des déchets. Ces classes sont comme suit :

- **Classe 1:** décharge contrôlée destinée aux déchets ménagers et assimilés ;
- **Classe 2:** décharge contrôlée destinée aux déchets industriels, médicaux et pharmaceutiques non dangereux, des déchets agricoles, des déchets ultimes et inertes ;
- **Classe 3:** décharge contrôlée destinée aux déchets dangereux.

Donc, étant donné que le statut de boues industrielles est clair dans la loi, on peut retenir que les boues industrielles classées comme déchets dangereux seront éliminées dans la décharge de classe 3. Pour celles considérées comme déchets industriels seront éliminées dans la décharge de la classe 2, comme elles peuvent être, selon **l'article 48** de la présente loi, reçues par une décharge de la classe 1 moyennant certains aménagements spécifiques, ce qui ouvre une opportunité pour les industriels pour se débarrasser de leurs boues dans une décharge communale, à condition qu'une redevance soit payée à la commune par ces industriels générateurs de déchets.

Dans le cas où les boues industrielles (spécifiquement du secteur agro-alimentaire) sont acceptées comme déchets assimilés à ceux ménagers, ces boues peuvent être transportées et déposées dans des endroits séparés au sein des décharges contrôlées des déchets ménagers, selon **l'article 26** de la loi 28-00.

La contrainte majeure de la mise en décharge des boues réside dans la teneur élevée en eau. Ce qui peut engendrer différents problèmes, qui sont (i) la prolifération des odeurs et des rangers, (ii) la contamination des eaux souterraines par les lixiviations (iii) les émissions des gaz (méthane et dioxyde de carbone). Donc le traitement de ces boues est nécessaire afin d'assurer une élimination sûre et respectueuse de l'environnement (Cf. § 8).

- Incinération

L'incinération et la co-incinération sont aussi des options pouvant être préconisées comme voies d'élimination des déchets, mais pour les boues industrielles le co-processing dans les cimenteries semble être l'option la mieux indiquée pour leur élimination.

Ces procédés (incinération et co-incinération des déchets) font actuellement l'objet d'un projet de décret, qui définit les procédures administratives applicables aux installations d'incinération et de co-incinération, ainsi que les exigences techniques et les valeurs limites des émissions et des rejets issus de ces installations. Ces valeurs limites des émissions atmosphériques ont concernées à la fois les installations d'incinération des déchets, les cimenteries pratiquantes le co-processing ainsi que les installations thermiques de co-incinérations des déchets.

- Valorisation des boues en agriculture

L'article 83 de la loi 28-00 prévoit la fixation par voie réglementaire les normes et les prescriptions techniques relatives aux méthodes de valorisation des déchets.

Aucun projet de décret concernant ce volet n'est en cours, mais la définition de ces normes et ces prescriptions techniques, pour le cas des boues, doit être raisonnée en tenant compte : (i) des différentes formes de valorisation des boues en agriculture, sylviculture et dans la réhabilitation des sols dégradés et (ii) des impacts éventuels susceptibles d'avoir lieu sur les plantes, les sols et les ressources en eau souterraines et de surface.

La loi 28-00 présente toutefois quelques limites qui seront certainement comblées dans le futur proche :

- La classification des boues industrielles comme déchets assimilés à ceux ménagers sur la base d'une étude technique n'est faisable qu'en présence d'un référentiel de normes qui déterminent les seuils permettant de juger l'assimilation d'un déchet aux déchets ménagers, ce qui n'est pas prévu par l'article 26 qui postule cette possibilité d'assimilation.
- Le Catalogue Marocain des Déchets a fait l'objet de classer les déchets, y compris les boues issues de traitement des effluents industrielles, de désigner les déchets dangereux et de définir les caractéristiques du danger inhérentes à ce types de déchets (**Explosible, Comburante, Extrêmement inflammable, Facilement inflammable, Inflammable, Irritante, Nocive, Toxique, Corrosive, Infectieuse, Toxique vis-à-vis de la reproduction, Mutagène, Dangereux pour l'environnement**). Mais le terme danger reste vague sans détermination des seuils limites et quantifiables en différents éléments sources du danger, permettant de trancher entre boues industrielles considérées comme déchets dangereux et celle classées non dangereuses.

Statuts des boues urbaines selon la loi 28-00

Comme il a été mentionné auparavant, différents types de déchets sont définis par la loi 28/00. Toutefois, une difficulté persiste quant à la classification des boues urbaines parmi les autres catégories des déchets définis dans ladite loi. En effet, on ne peut pas conclure sur l'appartenance de ces boues à l'une ou l'autre des trois catégories de déchets.

Par ailleurs, l'article 26 de la loi stipule que les déchets provenant des activités économiques, commerciales ou artisanales peuvent être assimilés aux déchets ménagers sur la base d'un rapport d'analyse exigé, en cas de nécessité, par la commune et élaboré par un laboratoire agréé.

L'absence d'un référentiel de normes qui détermine les seuils permettant de juger l'assimilation d'un déchet aux déchets ménagers, de surcroît son élaboration n'est pas prévue, empêche toute solution d'assimiler les boues issues du traitement des eaux usées urbaines aux déchets ménagers et assimilés.

En somme, on peut dire qu'à ce stade, le cadre réglementaire relatif à la gestion des boues résiduaires d'origine urbaine reste insuffisant ou pas clairement défini en raison de la difficulté de classer les boues urbaines dans la liste des déchets définis par la loi 28-00 d'une part, et l'absence d'une base de référentiel de normes qui détermine les seuils permettant de juger l'assimilation de ces boues aux déchets ménagers, d'autre part, de ce fait les gestionnaires des stations d'épuration urbaines trouveront des difficultés de gérer leurs boues conformément à la loi, en l'occurrence l'élimination de ces boues dans les décharges contrôlées, surtout avec l'immense quantité des boues urbaines qui seront en évolution perpétuelle conséquente aux avancées du programme national d'assainissement liquide.

L'absence des textes d'application comme les normes et les prescriptions techniques relatives à la mise en décharge contrôlées et à la valorisation qui précisent les modalités et les procédures de la mise en œuvre de plusieurs dispositions réglementaires indispensables pour une gestion rationnelle et durable des déchets en général et les boues urbaines en particulier révèle aussi un autre vide réglementaire.

Il est important de rappeler qu'il est prévu dans le cadre de la présente étude, d'organiser un atelier qui débattrait de la forme et la teneur d'un dispositif institutionnel, organisationnel et de gestion des boues. Les travaux de cet atelier seront déclenchés après la présentation du cadre réglementaire national, de quelques références internationales et la position du problème sous forme de questions à débattre.

Ainsi, cette activité se soldera par l'élaboration d'une ébauche relatant les axes importants suivants :

- La place des boues dans les instruments juridiques existants et les lacunes à combler ;
- Les aspects institutionnels de gestion des boues en s'inspirant de la démarche institutionnelle initiée par l'ONEP en ce qui concerne les projets de traitement et de réutilisation des eaux usées. Ceci débouchera sur la gestion intégrée de l'assainissement (Collecte, filière eau, filière boue et filière air) ;
- Les principes importants dans le processus d'élaboration d'un cadre normatif définissant les valeurs limites des éléments et substances véhiculés par les boues ;
- Les orientations importantes en relation avec les conditions techniques et environnementales à respecter dans la mise en œuvre des différentes options de traitement, d'élimination et de valorisation.

8.2 Références internationales

8.2.1 Directives européennes

Les différences observées dans les modes d'élimination et de gestion des boues à travers les pays de l'union européenne sont attribuées aux particularités législatives, économiques et environnementales de chaque Etat membre. Le tableau suivant présente les directives européennes.

TABEAU 42 : DIRECTIVES EUROPEENNES DE GESTION DES BOUES DES STATIONS D'EPURATION

Référence de la Directive	Objet
Directives concernant directement la gestion des boues	
Directive 86/278/CEE du 12/06/1986 <i>[Transposition réussie dans le droit national de chaque Etat]</i>	Protection de l'environnement et notamment des sols, lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture qui fixe les valeurs limites de concentration en métaux lourds (cadmium, cuivre, nickel, plomb, zinc, mercure) dans les boues et dans les sols et les valeurs limites pour les quantités de métaux lourds pouvant être introduites dans les sols cultivés sur la base d'une moyenne de 10 ans. Elle définit les conditions d'épandages sur certaines cultures, prévoit des contrôles quantitatifs et qualitatifs et oblige les Etats membres à communiquer à la Commission européenne, tous les trois ans, un rapport sur l'application de ces règles. La transcription de cette directive dans le droit national de chaque Etat membre devait intervenir avant le 17/06/89. Il était prévu d'amender la Directive sur les boues d'épuration en 2004, mais l'amendement a été remis à une date indéfinie.
Directive 91/271/CEE du 21/05/1991 modifiée par la directive 98/15/CEE du 27/02/1998 <i>[Transposition difficile dans le droit national de chaque Etat à cause des difficultés de mise en œuvre ou non conformité]</i>	Traitement des eaux urbaines résiduaires qui impose la collecte et le traitement des ERU selon un calendrier, fixe les valeurs minimales des rejets des stations d'épuration (notamment en azote et en phosphore dans les zones sensibles), interdit le rejet de boues de stations d'épuration dans les eaux de surface à compter du 31/12/98, préconise la réutilisation des boues lorsque celle-ci est appropriée et sans effets négatifs sur l'environnement. Elle demande que l'élimination des boues fasse l'objet de règles et soit soumise à enregistrement et autorisation. La transcription de cette directive dans le droit national de chaque Etat membre devait intervenir avant le 30/06/93
Directive sur la protection de la qualité de l'eau contre la pollution par les nitrates (les boues font partie des produits pouvant générer cette pollution dans les zones vulnérables)	
Directive 91/676/CEE du 12/12/1991	La protection des eaux contre la pollution par les nitrates à partir de sources agricoles qui vise, d'une part à réduire la pollution directe ou indirecte des eaux par les nitrates d'origine agricole, d'autre part à en prévenir l'extension en imposant aux Etats membres de désigner les zones affectées par la pollution et celles susceptibles de l'être comme « zones vulnérables ». Sur ces zones, les Etats membres sont tenus d'établir des programmes d'action comportant des mesures contraignantes pour l'agriculture, des codes de bonne pratique agricole et de restreindre, entre autre, l'épandage des boues. La transcription de cette directive dans le droit national de chaque Etat membre devait intervenir avant le 20/12/93
Règlement relatif à la mobilité transfrontalière des déchets dont les boues des stations d'épuration	
Règlement (CEE) n° 259/93 du Conseil du 1/02/1993	La surveillance et le contrôle de déchets à l'entrée et à la sortie de l'Union européenne qui fait suite, entre autre, à la convention de Bâle du 22/03/89 sur le contrôle des mouvements transfrontaliers

	des déchets dangereux et de leur élimination. Ce règlement stipule les modalités techniques et administratives du transfert des déchets dont font partie les boues d'épuration
Directives relatives aux déchets dangereux	
Directive 91/689/CEE du 12/12/91	Renforce la gestion contrôlée des déchets dangereux sur la base des dispositions de la directive 75/442/CEE du 15/07/75 relative aux déchets (modifiée par la directive 91/156/CEE applicable à la gestion des déchets dangereux)
Directive 94/67/CEE du 16/12/94	Concerne l'incinération de déchets dangereux et établit les conditions techniques de fonctionnement des installations d'incinération de ces déchets et les mesures de contrôle et de surveillance à mettre en œuvre

A côté de ces directives, un certain nombre de comités techniques oeuvrant dans le cadre de normalisation au sein de la Commission Européenne de Normalisation (CEN) ont effectué des travaux en relation directe ou indirecte avec les boues. La plus importante est le TC 308 relatif à la caractérisation des boues et à l'élaboration des normes et guides de bonnes pratiques relatifs au traitement et à l'utilisation des boues.

Toutefois, on constate que les bases et le référentiel de normalisation ne sont pas clairement définis. En effet, on a défini plusieurs normes selon qu'on s'intéresse à la qualité de la boue (CEN/TC 292), à la qualité ou à la protection du sol (ISO/TC190) ou à l'amélioration du sol et le milieu de la culture (CEN/TC 223).

8.2.2 Réglementations allemandes

En Allemagne, plusieurs normes se réfèrent directement ou indirectement aux boues d'épuration. Les boues d'épuration sont caractérisées comme les déchets et, en conséquence, sont sujet à la législation sur les déchets. En plus, l'utilisation des boues d'épuration, particulièrement leur utilisation en agriculture, est régie par un cadre législatif et normatif.

8.2.2.1 Développement chronologique de la réglementation allemande

Le tableau suivant donne un aperçu chronologique sur les lois et textes en relation sur les boues d'épuration.

TABLEAU 43 : APERÇU SUR LE DEVELOPPEMENT CHRONOLOGIQUE DES REGLEMENTATIONS ALLEMANDES EN MATIERE DE GESTION DES BOUES

Année	Désignation et objet	Commentaire additionnel
1972	Loi relative à l'élimination des déchets	1 ^{ère} loi sur les déchets, aucun règlement sur les boues
1977	Loi relative à l'utilisation des engrais	Elle vise la limitation de la quantité de polluants provenant des engrais. Les boues d'épuration sont considérées comme engrais secondaires.
1982	Décret sur les boues d'épuration	Règlement sur l'utilisation des boues en agriculture définissant les valeurs limites pour les métaux lourds dans les sols et les boues
1992	Amendement du décret de 1982: Décret sur les boues d'épuration	Les valeurs limites pour le sol et les boues d'épuration sont plus restrictives
1994	La loi relative au cycle des matières et à la gestion des déchets	Cette loi énonce le principe fondamental de priorisation des options suivantes: Evitement

Année	Désignation et objet	Commentaire additionnel
		(réduction à l'amont) > Valorisation > Elimination, aucun règlement sur les boues
1998	Loi sur la protection des sols	Valeurs de précaution et de contrôle pour les sols
1999	Décret sur le fonds d'indemnisation sur les boues d'épuration	Solde de fonds établi pour des conséquences tardives potentielles à travers l'application des boues d'épuration. Actuellement, les producteurs de boues d'épuration arrêtent leur paiement dans le fonds, parce qu'un certain volume de fonds est atteint.
2001	Décret sur le dépôt des déchets	À partir de 2005 : Interdiction de déposer les boues dans des décharges à cause d'une concentration de matière organique trop élevée.
2003/2008	Décret sur l'utilisation des engrais (y compris les boues comme produit d'amendement des sols)	Règlements relatifs à l'utilisation des boues d'épuration comme engrais secondaire 2008
2009	Loi sur la fertilisation	Remplacement de la loi relative à l'engrais

Les lois et les normes les plus importantes sont brièvement présentées ci-après :

8.2.2.2 La loi relative au cycle des matières et à la gestion des déchets

En Allemagne, les boues des stations d'épuration sont considérées comme déchets. Pour cette raison, elles sont soumises aux dispositions de la Loi relative au cycle des matières et à la gestion des déchets (KrW-/AbfG).

Cette loi définit trois tâches fondamentales de la gestion des déchets : (i) le devoir de l'évitement des déchets et de leur réduction à l'amont (ii) le devoir de la valorisation des déchets et (iii) le devoir de l'élimination des déchets.

Cette loi définit et stipule que tout exploitant de stations d'épuration doit établir un plan de gestion des déchets. Ce plan spécifie les options de valorisation et d'élimination des déchets (matières retenues par le dégrilleur, sables et boues d'épuration).

Le plan de gestion des boues doit comprendre :

- un bilan (nombre et technologie d'épuration des eaux usées, quantité et qualité des boues d'épuration produites) ;
- une prévision des boues à éliminer dans l'avenir (nombre d'installations, quantité et qualité des boues) ;
- une description des voies de valorisation et d'élimination futures ;
- une évaluation de la sécurité d'élimination ;
- des informations concernant les relations publiques.

Le plan de gestion des boues doit être mis à jour tous les cinq ans.

8.2.2.3 Décret sur le dépôt des déchets

Ce décret définit les critères et les modalités d'élimination et de dépôt des déchets dans les décharges. À cause d'une concentration de matière organique trop élevée, ce décret interdit l'élimination des boues d'épuration dans les décharges à partir 2005. En conséquence, il ne reste que l'incinération comme voie d'élimination.

8.2.2.4 Décret sur les boues d'épuration

En Allemagne, la Directive sur les boues d'épuration de l'UE est mise en œuvre par l'Ordonnance sur les boues d'épuration du 15 avril 1992, basé sur la législation respective sur les déchets. Au niveau national, cette ordonnance est l'ensemble des règles relevant pour l'utilisation des boues d'épuration en agriculture. Elle contient plusieurs restrictions concernant la valorisation en agriculture. Par exemple il est interdit d'épandre sur des terres agricoles utilisées pour le jardinage de la boue fraîche ou de la boue provenant d'installations d'épuration des eaux usées qui ne traitent pas des eaux usées domestiques, municipales ou avec une charge polluante comparable. Ceci est conforme avec l'Article de la Directive sur les boues d'épuration de l'UE. D'autres interdictions concernent l'épandage de boues d'épuration sur les terrains de pâturage permanents et les exploitations forestières qui se trouvent dans les réserves naturelles et les zones de protection des eaux, ainsi que sur les accotements de fleuves et rivières.

Lors de la discussion sur l'amendement de la Directive des boues d'épuration de l'UE 86/278/CEE, on a également commencé de discuter l'amendement du décret allemand sur les boues d'épuration. Les propositions de modification discutées, à soumettre au gouvernement encore en 2009, sont les suivantes :

- (i) De nouvelles valeurs limites pour les métaux lourds pour éviter une accumulation significative des polluants dans le sol à long terme comme le montre le tableau 49.

TABLEAU 44 : PROPOSITIONS POUR LES VALEURS LIMITES POUR LES METAUX LOURDS LORS DE L'AMENDEMENT DU DECRET SUR LES BOUES D'EPURATION (EN MG/KG MS)

	Plomb	Cadmium	Chrome	Cuivre	Nickel	Mercure	Zinc
Teneurs proposées en 2007	120	2,5	100	700	60	1,6	1.500
Teneurs actuelles	900	10	900	800	200	8	2.500

- (ii) Limiter la fréquence des analyses obligatoires des métaux lourds (12 par an)
- (iii) Etablir une valeur limite pour benz(a)pyrène de 1 mg/kg MS
- (iv) Créer des conditions pour faciliter des processus de standardisation de la collecte des données
- (v) Considérer de manière rigoureuse les aspects d'hygiène en ce qui concerne l'utilisation des boues d'épuration
- (vi) Harmoniser les valeurs limites sols pour les métaux lourds avec le décret sur la protection du sol et le décret sur les déchets biologiques
- (vii) Préciser la terminologie et la nomenclature des définitions (compost des boues d'épuration, type d'usage comme en horticulture par exemple, etc.)
- (viii) Créer des conditions selon lesquelles le producteur des boues est contraint de garder des échantillons en réserve
- (ix) Établir un système de garantie de qualité reconnue qui est admis par les parties tierces indépendantes.

8.2.3 Réglementations américaines

Il serait utopique de vouloir dresser un tableau exhaustif sur l'état des lieux en matière de gestion des boues aux Etats-Unis. De manière comparable à la tendance européenne, l'option de la valorisation agricole est nettement plus privilégiée par rapport aux autres filières et par voie officielle. Toutefois, elle demeure continuellement soumise à des contestations et à des appels à des restrictions de normes et standards.

On se propose ici de rapporter les principaux événements et tractations en matière de pratiques et standards relatifs à l'utilisation des boues comme produit amendement des sols. Pour cela, on a procédé à faire une synthèse succincte de deux publications : celle faite par le Comité des Substances toxiques et pathogènes dans les bio-solides appliqués aux sols (NRC, 2002) et une publication plus récente de « *Zero Waste Committee* » et Sierra Club Conservation Policies (2008) qui a aussi concerné l'application des boues aux sols. L'essentiel de cette synthèse est succinctement développé ci-après :

1970 : EPA (Environmental Protection Agency) a promu le recyclage des boues des stations d'épuration.

1992. Le rejet en mer a été interdit et les États – Unis ont fait face à un grand problème: Que faire des 10 à 15 millions de matière sèche de boues produites annuellement ?.

1993 : La législation réglementant l'épandage agricole des boues a été établie par l'EPA dans le Code Fédéral de Réglementation (Titre 40, partie 503, Section 405 (d) de la Loi sur la qualité de l'eau (Clean Water Act). La partie 503 a concerné les aspects suivants:

- La gestion des pratiques d'épandage agricole des boues
- La concentration, les limites et la charge des éléments chimiques
- Le traitement et les conditions d'utilisation pour le contrôle et la réduction des pathogènes et l'attraction des vecteurs de maladies (insectes ou autres organismes pouvant transporter les pathogènes).

Ce rapport relate les limites de 9 éléments traces métalliques qui ont été majorés ensuite à 10 : (Arsenic, Cadmium, Chrome, Cuivre, Plomb, Mercure, Molybdène, Nickel, Sélénium, et Zinc). Il a aussi considéré l'addition de la classe des composés organiques (Dioxines).

Contrairement aux standards des éléments chimiques, les standards des pathogènes ne sont pas exprimés en terme de concentration ou de limite de chaque espèce mais ils sont basés sur les exigences technologiques permettant de réduire la présence de pathogènes et le potentiel d'exposition au traitement.

1996 : EPA fait appel au NRC (*National Research Council*) pour une évaluation indépendante des méthodes techniques et des approches d'évaluation des risques adoptées dans l'établissement des standards pour les boues en privilégiant ceux en relation avec la protection de la santé humaine.

1997: L'Institut de Gestion des Déchets de Cornell a conclu que les réglementations actuelles relatives à l'utilisation des boues pour l'amendement des sols ne permettent pas de protéger la santé humaine, la productivité agricole et l'environnement.

2002 – 2003: Cette période a été marquée par une série d'événements à l'encontre de la valorisation agricole des boues :

- (i) la publication de deux documents scientifiques (www.biomedcentral.com/1471-2458/2/11) et www.IJOEH.com/pfds/IJOEH_1104_Snyder.pdf qui ont montré la relation entre l'épandage agricole des boues et certaines maladies ;
- (ii) L'Union Nationale des Agriculteurs s'est opposé à l'application des boues sur les sols ; et
- (iii) 73 organisations agricoles, de santé et de protection de l'environnement ont pétitionné l'EPA (L'Agence de Protection de l'Environnement (associations et organisations professionnelles)).

Le processus de révision des standards et des approches d'évaluation des risques continue jusqu'à présent. Le comité du NRC reconnaît que l'épandage agricole des boues demeure une option pratique et justifiable dans la mesure où elle permet de résorber les grandes quantités de boues générées par le traitement des eaux usées et d'éviter leur enfouissement ou leur incinération. L'objectif de cette évaluation externe consiste à réviser les normes et standards des éléments traces métalliques et des pathogènes à la lumière des résultats de la recherche scientifique. Ceci permet aussi à l'EPA de renforcer ses bases scientifiques et sa crédibilité en matière de réglementation des bio-solides. Les constats que nous pouvons déduire de ces évaluations sont de trois types : (i) la nécessité de caractérisation périodique des boues à l'échelle nationale, (ii) le besoin continu en recherches dans le domaine et (iii) la nécessité d'amélioration de l'approche en matière d'investigation des effets sur la santé humaine.

8.2.4 La réglementation française

8.2.4.1 Cas des boues industrielles

Selon la réglementation française, les boues de STEP industrielles peuvent être considérées comme des déchets dangereux ou non dangereux selon la présence ou non de substances dangereuses. Elles sont soumises à la réglementation générale en matière de déchets.

Le code de l'environnement français classe les déchets industriels, y compris les boues des STEP, en deux catégories [Déchets Industriels Banals (DIB) et Déchets Industriels Dangereux (DID)]. Donc les boues, selon présence ou non de substances dangereuses, peuvent être considérées dans la classe DIB ou DID⁸⁷ (Coste, 2006).

Du fait des activités industrielles variées, il existe dans la nomenclature des déchets, 42 codes correspondant aux différents types de boues produites. Pour chaque activité, il existe un code de la nomenclature des déchets qui vise à classer les boues issues du traitement in situ des effluents industriels ; le tableau suivant reporte un résumé de statut des boues industrielles dans la réglementation française.

⁸⁷ Source : Coste 2006.

TABEAU 45 : CADRE REGLEMENTAIRE FRANÇAIS REGISSANT LES BOUES INDUSTRIELLES⁸⁸

Déchets	Code de l'environnement	Réglementation applicable
Les rejets de boues d'épuration dans le milieu aquatique sont interdits	Code Général des Collectivités Territoriales article R2224-16	Interdiction
Les producteurs de boues sont responsables de leur élimination/valorisation	Article L541-2	Responsabilité
Les boues ont le caractère de déchets et leur épandage est soumis à autorisation ou déclaration excepté pour les produits composés de boues homologuées ou possédant une autorisation provisoire de vente ou d'importation	Code Rural	Autorisation ou déclaration
Les boues de papeterie (désencrage et épuration) ne sont pas des déchets dangereux. Elles ont une siccité comprise entre 20 et 50 % de matière sèche et peuvent présenter un intérêt agronomique en raison de la teneur en matière organique et ou minérale.	arrêté papetier du 3 avril 2000	déchets non dangereux
pour les activités de traitement de surface, depuis le 31/03/98, la stabilisation/solidification des boues d'hydroxydes métalliques leur stockage en décharge est obligatoire.	-----	Obligation
Déchets	Code de nomenclature	Réglementations applicables
Boues provenant du traitement in situ des effluents pour l'industrie des produits laitiers	02 05 02	Déchets non dangereux
Boues contenant des substances dangereuses provenant du traitement biologique des eaux usées industrielles	19 08 11	Déchets dangereux
Boues provenant du traitement biologique des eaux usées industrielles autres que celles visées dans la rubrique 19 08 11	19 08 12	Déchets non dangereux
Boues contenant des substances dangereuses provenant d'autres traitements des eaux usées industrielles	19 08 13	Déchets dangereux
Boues provenant d'autres traitements des eaux usées industrielles autres que celles visées dans la rubrique 19 08 13	19 08 14	Déchets non dangereux

⁸⁸ Source : Compilation à partir : Mémento de la réglementation environnementale française et européenne ; ADEME 2001 ; [www.environnement.ccip.f/Rubrique déchets](http://www.environnement.ccip.f/Rubrique%20dechets))

La réglementation française est dotée d'autres dispositifs et dispositions : dispositions réglementaires de détenteurs et intermédiaires dans la chaîne de transfert des boues, les conditions et normes d'épandage, les normes d'éléments traces métalliques etc.

8.2.4.2 Cas des boues urbaines

En France, les boues urbaines sont gérées par un ensemble de textes de lois et d'applications qui sont élaborés selon deux logiques différentes : la logique déchet qui prévoit l'élimination et la valorisation des boues comme déchet, et la logique produit qui réfère à la réglementation relative à la mise sur le marché des engrais ou des amendements traditionnels.

Logique déchet

Les boues résiduelles d'origine urbaine constituent un déchet au sens de la loi 15 juillet 1975 sur les déchets qui précise que les boues ne peuvent être répandues sur les terres agricoles que lorsqu'elles présentent un intérêt pour l'alimentation des cultures. Par ailleurs, Les boues urbaines sont gérées par un dispositif réglementaire spécifique constitué de sept textes, qui sont résumés dans le tableau 40.

TABLEAU 46 : PRINCIPAUX DISPOSITIFS REGLEMENTAIRES RELATIF A LA GESTION DE BOUES URBAINES EN TANT QUE DECHETS EN FRANCE⁸⁹

Les textes réglementaires	Les obligations
<i>Epandage agricole</i>	
Le code de l'environnement	- Interdiction de rejet de boues d'épuration dans le milieu aquatique - Autorisation de l'épandage de ces boues sur le sol
le décret du 8 décembre 1997 relatif à l'épandage des boues	- Obligation de l'établissement d'un plan d'épandage
l'arrêté du 8 janvier 1998	- Fixation des prescriptions techniques applicables à l'épandage des boues sur des sols agricoles - Précision des modalités de la réalisation d'une étude préalable d'épandage - Les producteurs de boues sont responsables des boues jusqu'à leur élimination
la circulaire du 18 avril 2005	- précise certains points de la réglementation liée à l'épandage des boues urbaines.
<i>La mise en décharge</i>	
l'arrêté du 9 septembre 1997.	- la teneur en eau des boues admises en décharge doit être inférieure à 70%. - Les Boues d'épuration urbaines ne seront plus admises en décharge après 2002, car elles ne correspondent pas à la notion de résidu ultime.
<i>Incinération des boues</i> : Il n'existe pas de textes spécifiques à l'incinération des boues. Ce sont donc les textes de l'incinération des ordures ménagères qui s'appliquent.	
l'arrêté ministériel du 25 janvier 1991.	Définition des conditions d'incinération : - les normes de rejets atmosphériques, - les conditions d'auto-surveillance, - le devenir des résidus solides de l'incinération

⁸⁹ Source : Mémento de la réglementation environnementale française et européenne, Melquiot .P (2004) ; Boues d'épuration des eaux usées, Cadre réglementaire français, Ferstler V. (2007), DIREN 2005.

Logique produit

Plusieurs dispositions en relation avec cette logique et notamment avec l'utilisation des boues en agriculture ont été mises en place :

- Le CODE RURAL L255-1 à 11 pour les matières fertilisantes ;
- Le décret le 26 mars 2004 d'application : application obligatoire de la norme NFU 44-095 relatif au compost des boues.

La Norme NFU 44-095 relative au compost des boues fixe les dénominations, les définitions et spécifications, le marquage et les éléments de caractérisation des composts contenant des matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux usées.

Aussi, ces aspects seront détaillés dans le prochain rapport où les parties relatives à la réglementation et la normalisation des boues seront plus étoffées.

8.2.5 La réglementation tunisienne

La réglementation en matière de gestion des boues de stations d'épuration est encore relativement peu développée.

La loi relative aux déchets et au contrôle de leur gestion et de leur élimination ainsi que la norme relative aux boues de stations d'épuration sont les deux principaux textes réglementaires et normatifs.

8.2.5.1 La loi sur les déchets

Les boues de stations d'épuration ont le statut de déchets et sont donc soumises à leur réglementation et notamment la loi n° 96-41 du 10 juin 1996, relative aux déchets et au contrôle de leur gestion et de leur élimination.

Dans son **article 1^{er}**, la loi fixe le cadre approprié dans le domaine des déchets et de leurs modes de gestion permettant de réaliser les objectifs de : (i) la prévention et la réduction de la production des déchets et de leur nocivité, (ii) la valorisation des déchets par la réutilisation, le recyclage et toutes autres actions visant la récupération des matériaux réutilisables et leur utilisation comme source d'énergie ; (iii) la réservation de décharges contrôlées pour le dépôt des déchets ultimes, soit après épuisement de toutes les possibilités de valorisation.

Dans son **article 16**, la loi classe les déchets selon leur origine en déchets ménagers et déchets industriels et selon leurs caractéristiques en déchets dangereux, déchets non dangereux et déchets inertes. Elle classe aussi les décharges selon les types de déchets en trois catégories : (i) les décharges des déchets dangereux, (ii) les décharges des déchets ménagers et des déchets non dangereux et (iii) les décharges des déchets inertes.

L'article 17 laisse la possibilité qu'une seule décharge puisse « recevoir plusieurs catégories de déchets à condition que les opérations d'élimination spécifiques à chacune de ces catégories soient exécutées dans des compartiments du site séparés les uns des autres et que chaque compartiment réponde aux règles et exigences spécifiques à la catégorie de décharges concernée ».

« Une décharge peut aussi être réservée à un seul type de déchets qui se ressemblent de par leur origine, leur composition et les caractéristiques de leur lixiviat ».

L'article 18 soumet l'ouverture de décharges à l'autorisation du ministre chargé de l'environnement, après accomplissement des procédures d'approbation de l'étude d'impact conformément aux règlements en vigueur et après avis de la collectivité locale concernée et des services compétents du ministère de la santé.

Le même article stipule également que les conditions d'autorisation pour l'ouverture de décharges, les règles générales devant être respectées dans l'aménagement des catégories de décharges et les conditions de leur gestion et de leur contrôle seront fixées par décret pris sur proposition du ministre chargé de l'environnement.

L'article 23 précise que lors de la fermeture des décharges, leurs exploitants sont tenus de réaménager le site et de le remettre dans son état initial de façon à éviter toute pollution ou nuisance à la santé publique et à l'environnement. Les conditions de fermeture des décharges et de réaménagement des sites réservés à ces décharges sont fixées par décret, sur proposition du Ministre chargé de l'Environnement.

L'article 24 stipule que : « Des décrets fixeront les conditions et les modalités de gestion de certains déchets particuliers tels que les déchets des hôpitaux et les boues des stations d'épuration des eaux usées, les déchets des abattoirs, les déchets organiques et autres ».

En conclusion, on doit souligner les implications suivantes des dispositions de la loi 96-41 :

- La gestion des boues est soumise à la hiérarchie des déchets à savoir : prévention/réduction à la source, (ii) valorisation, réutilisation et recyclage, (iii) mise en décharge des déchets ultimes ;
- La mise en décharge conjointement avec d'autres catégories de déchets est possible sous certaines conditions et l'ouverture d'une décharge est soumise à une procédure d'EIE et d'autorisations ;
- Un décret est nécessaire pour fixer les modalités de gestion des boues de stations d'épuration.

8.2.5.2 La norme d'épandage agricole

En 2002, la norme tunisienne NT 106.20 (2002) concernant les boues en tant que matière fertilisante a été promulguée. Elle a été inspirée des normes, directives et réglementations internationales et a reposé sur la Loi sur les déchets 96-41.

Cette norme couvre tous les aspects importants en relation avec la valorisation des boues en tant que produit fertilisant des sols, sauf les nématodes. Pourtant la question des parasites est un aspect important pour les pays à climat chaud. La norme fixe des limites pour les Coliformes fécaux ce qui est d'un intérêt moindre car les germes sont peu résistants dans le milieu.

Un projet de cahier de charge a été préparé et est encore en attente d'approbation. On pourrait considérer que l'approbation du cahier de charge interviendrait en 2006. Il réglemente l'utilisation des boues en agriculture et précise les obligations de chaque partie (producteur des boues, CRDA et l'utilisateur) ainsi que les modalités de suivi, de contrôle et de reporting.

Les principales dispositions du cahier des charges sont les suivantes :

- Les concentrations en éléments traces doivent être conformes à la norme NT 106.20.
- Le stockage et l'entreposage temporaires ne doivent pas occasionner des nuisances (odeurs et insectes)
- Dépôt temporaire de boues stabilisées avec collecte des lixiviats en respectant une distance de 100 m (routes, habitations, cours d'eau, fossés d'assainissement, etc.)
- Les boues ne sont délivrées qu'aux exploitants autorisés par les CRDA
- Le suivi par l'ONAS porte sur : le rythme de production et volumes, provenance et méthodes de traitement, caractérisation des boues, période de production, analyse et communication aux CRDA et directions régionales du MSP
- La surveillance et les analyses
- Le CRDA assure le suivi de l'épandage.

8.2.6 La réglementation égyptienne

Les boues en Egypte sont gérées par l'arrêté du Ministre de l'habitat, n°214 de 1998 relatif aux normes d'application spécifiques pour la valorisation des boues.

Cet arrêté définit les sédiments issus des stations d'épuration des eaux usées comme étant des boues. Il fixe dans son chapitre II les normes d'application obligatoires dans le domaine de la valorisation de ces boues en agriculture.

D'autre part, l'arrêté précise les conditions de traitement, de transport, de stockage ainsi que d'utilisation des boues. A cet effet, les boues doivent être stabilisées avec une des méthodes citées dans ledit arrêté tel que la fermentation aérobie ou anaérobie, le traitement thermique ou la stabilisation avec l'ajout de la chaux vive.

Pour ce qui concerne les conditions de stockage et de transport, l'arrêté fixe 30% de siccité comme condition obligatoire et précise le volume de stockage pour différents types de sols en fonction de leur texture.

8.2.7 Standards et valeurs limites

8.2.7.1 Eléments traces métalliques

Au préalable, on peut dire que la normalisation des éléments traces dans les boues résiduaires est un processus qui est marqué par plusieurs limitations :

- Les normes sont généralement basées sur les concentrations totales or seule la fraction soluble ou bio-disponible doit être considérée ;
- La grande variabilité des normes proposées par les différents pays ;
- Les normes présentées ne tiennent pas compte en même temps de tous les paramètres influençant la bio-disponibilité des éléments traces : pH, CEC, texture et matière organique.

Les séries de normes d'éléments traces et autres micro-éléments dans les boues et dans les sols agricoles sont présentés en annexes 19 et 20. Plusieurs citations sont issues de la synthèse effectuée dans un manuel sur les boues⁹⁰.

Les normes d'éléments dans les sols agricoles dépendent de certaines propriétés comme le pH et la texture. En effet, ces facteurs déterminent la bio-disponibilité et la mobilité du métal lourd.

Les annexes 21 à 22 donnent différentes normes qui peuvent servir de base à la réflexion à mener au niveau marocain.

Actuellement les discussions portent en Allemagne (et, en partie, en Europe aussi) sur le renforcement ultérieur de ces valeurs limites. Le but, dans une évaluation par rapport aux charges, est de limiter l'input de matières polluantes de telle manière à assurer un certain équilibre entre l'input par les boues et la décharge ou la dégradation (cas des matières polluantes organiques). Sur la base de valeurs limites justifiées par la science, il doit être assuré qu'à long terme, aucune concentration de matières polluantes ne se produit dans le sol. Sur cette base, il est alors possible de décider sur la valorisation agricole.

8.2.7.2 Pathogènes

Les boues véhiculent, à l'état frais, plusieurs types de pathogènes : des bactéries, des virus et des parasites. Ces organismes se concentrent en général dans les boues. Différentes données sur les éléments pathogènes sont présentées en annexe 23.

En général, les bactéries et les virus n'ont pas une grande survie dans le sol à cause de leur faible compétitivité⁹¹. 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 sol⁹².

Une tentative de faire le point des travaux sur la survie des bactéries et des virus dans le sol, après application des boues résiduaires, 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 ;

⁹⁰ Source : Manuel d'utilisation des boues résiduaires issues des stations d'épuration des eaux usées : Etat de l'art et tentatives d'adaptation aux pays de Proche Orient. FAO – Caire. Soudi B. et M. Bazza. 2003.

⁹¹ Source : Bacterial and Viral Pathogens Associated with Land Application of Organic Wastes; dans : Journal of Environmental Quality 6, pp : 245-51, Elliott, L. F. et Ellis, J. R. (1977)

⁹² Source : Watson, 1980; et Pahren et al., 1979.

- 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.

Les directives françaises ont établi des seuils de référence pour les teneurs en micro-organismes pathogènes dans les boues hygiénisées (annexe 23).

Selon les normes microbiologiques tunisiennes, les boues doivent avoir une concentration en Coliformes Fécaux inférieur à 2×10^6 CF (en NPP/g de matière sèche). Cette norme est pratiquement le double de celle préconisée en Egypte.

En Allemagne, les germes pathogènes ne jouent aucun rôle jusqu'à ce jour. Mais lors de l'amendement du décret sur les boues d'épuration, on demande une hygiénisation des boues d'épuration avant qu'elles soient utilisées en agriculture. Comme alternative, une expertise comme part d'un système d'une garantie de qualité doit confirmer que les sols cultivés ne compromettent pas l'homme et les animaux de ferme.

8.2.7.3 Autres polluants

Pendant les dernières années, les discussions sur les micropolluants/les substances dangereuses existant dans les eaux usées se sont intensifiées. C'est la raison pour laquelle de nombreux projets de recherche se consacrent à ce domaine pour améliorer l'état des connaissances. Généralement, les polluants qui sont décomposés dans les stations d'épuration se retrouvent dans les boues d'épuration. Diverses substances dangereuses peuvent exister dans les boues d'épuration en concentration critique. Les produits chimiques industriels ne sont pas seulement des produits chimiques ayant générés lors de la production industrielle, mais aussi des produits chimiques existant dans les produits finis et, par l'utilisation desquels, entrent dans les eaux usées (annexe 24).

A côté des substances mentionnées, le vaste groupe des médicaments joue aussi un rôle central. Il y en a de hautes concentrations, particulièrement dans les eaux usées des hôpitaux. C'est la raison pour laquelle la recherche actuelle s'intéresse au sort et au comportement des médicaments dans les eaux usées. On déconseille, déjà aujourd'hui, d'utiliser les boues résultant du traitement des eaux usées des hôpitaux pour la valorisation en agriculture.

La Suisse, par exemple, interdit la valorisation des boues en agriculture à cause des polluants depuis 1^{er} mai 2003. Même en Allemagne, certaines régions (p. ex. les Pays de Bavière et de Bade-Wurtemberg) se montrent extrêmement critiques à l'égard de la valorisation des boues en agriculture à cause de ces polluants. L'amendement relatif au décret allemand sur les boues d'épuration prévoit des valeurs limites plus strictes (annexe 25)

9 Filières et technologies de gestion des boues adaptées au contexte marocain

9.1 Principes directeurs de choix

Le choix d'une telle ou telle destination des boues repose sur un certain nombre de critères dont les plus importants, listés par OTV (1997) sont les suivants :

- La nature et l'origine des eaux usées (charge polluante, boue urbaine, boue industrielle etc.) ;
- Le niveau et le type de traitement sur la filière eau ;
- Les caractéristiques des boues et les volumes produits ;
- La taille de la STEPs ;
- Les exigences réglementaires ;
- Le contexte local ;
- Les coûts d'investissement et de fonctionnement.

On se propose de compléter cette liste par d'autres critères liés directement ou indirectement aux critères relatifs au contexte local et aux exigences réglementaires:

- Les exigences spécifiques du secteur utilisant les boues (type d'agriculture, type de cimenterie, etc.)
- La vulnérabilité et/ou la sensibilité des composantes de l'environnement (sol, eau souterraine et eau de surface)
- Les exigences en matière de technicité pour le fonctionnement et la maintenance des équipements

Nous sous-entendons aussi que le critère relatif au contexte local rapporté par OTV (1997) englobe le critère de sensibilité de voisinage. En effet, certains éléments de l'environnement sont relativement très sensibles aux nuisances potentielles olfactives (habitations, zone touristique, etc.). Il est clair que cet aspect devrait être pris en considération tout à fait à l'amont lors de l'étude de choix de site de la STEP ou même de l'unité industrielle elle-même lorsqu'il s'agit du secteur industriel.

9.2 Filières adaptées au contexte marocain

9.2.1 Démarche adoptée pour le choix de filières sur base des critères de choix retenus

9.2.1.1 Catégorisation des boues

Avant de proposer les filières de gestion des boues adaptées au contexte marocain, il est primordial de les catégoriser selon leur niveau de toxicité.

Ainsi, on pourra considérer les catégories suivantes :

- Catégorie 1 : Boues ne présentant pas de risque de toxicité. Ce seront à priori les boues d'épuration des eaux usées urbaines (BU) et les boues d'épuration des eaux usées industrielles (BI) issues des industries agro-alimentaires et industries de papier et carton⁹³. Ceci peut aussi concerner les boues issues des stations de traitement dans le secteur du textile et cuir.

⁹³ Des valeurs de teneurs limites sont cependant à définir. Car des eaux usées urbaines traitant des rejets industriels pourront accumuler des métaux lourds qui pourront se révéler toxiques suivant la valorisation effectuée.

- Catégorie 2 : Les boues d'épuration des eaux usées industrielles (BI) issues des secteurs de mécanique, de métallurgie et électrique ainsi que du secteur chimique para – chimique avec a priori des teneurs en éléments toxiques.

9.2.1.2 Élaboration des schémas de filières

Schéma des filières adaptées aux catégories 1

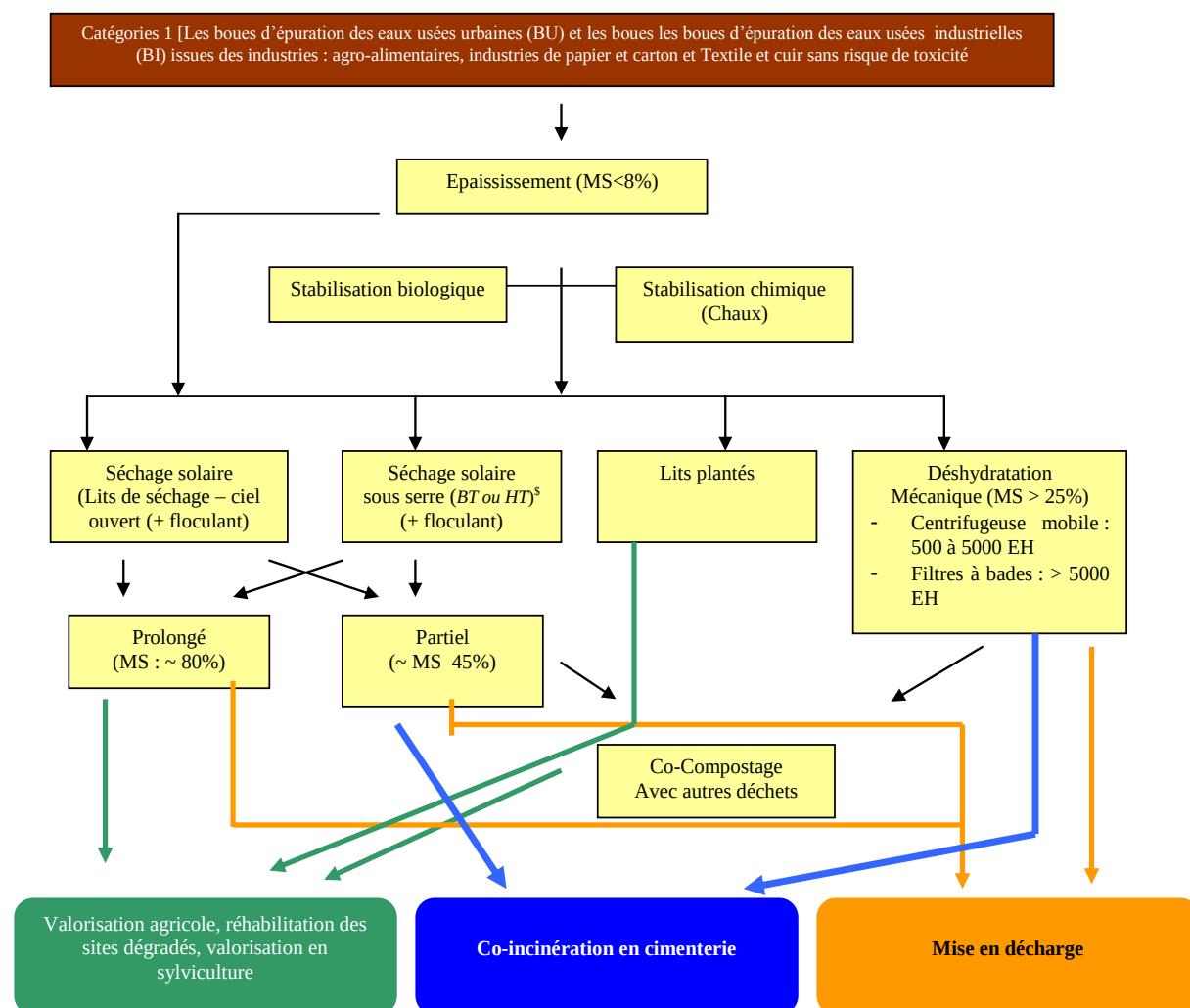


FIGURE 21 : SCHEMA D'UNE FILIERE DE TRAITEMENT/VALORISATION DES BOUES (SANS RISQUES DE TOXICITE)

En somme, trois destinations importantes sont à promouvoir au Maroc et sont rapportées ci-après selon un ordre de préférence:

- La valorisation verte : valorisation agricole, réhabilitation des sites dégradés, valorisation en sylviculture et en pépinières forestières et de plantes ornementales ;
- La valorisation dans les cimenteries ;
- La mise en décharge mixte ou mono-décharge selon les situations et les contraintes. Il est clair que la mono décharge constitue une solution de dernier recours.

Il est clair qu'un certain nombre de traitements ou de prétraitements ou de transformations préalables sont nécessaires pour l'accès à ces destinations.

Soulignons aussi qu'en fonction des contraintes spécifiques des STEP, certaines options seront privilégiées par rapport à d'autres. En effet, pour le cas des unités industrielles, l'espace est souvent non disponible et de ce fait le séchage sous serre (haute technologie) et la déshydratation occuperont la première place de choix.

Comme il a été mentionné auparavant, ce schéma des filières est dicté par un certain nombre d'éléments caractérisant le contexte marocain dont les plus importants :

- Le type de procédés d'épuration assez diversifiés mais dominés par les systèmes extensifs ou semi – extensifs ;
- Le grand gisement solaire qui caractérise le territoire national ;
- Le faible niveau de matière organique dans les sols et leur soumission aux divers processus de dégradation comme il a été mentionné auparavant ;
- Le souci d'économie d'énergie ;
- Le souci d'adoption de technologies durables ;
- Le développement du secteur cimentier et ses efforts en matière d'intégration de la dimension de valorisation des déchets. Cet aspect est étayé dans l'encadré ci-après :

Lors des entretiens avec la responsable de l'activité « traitement des déchets » au sein d'Ecoval, on a constaté que cette structure est en cours de développement et d'optimisation des alternatives d'élimination – valorisation des déchets et notamment les boues dans les fours de cimenteries. On peut citer quelques initiatives déjà entreprises par Ecoval dans ce domaine :

- *Co-incinération des boues de la STEP d'une entreprise d'huilerie végétale, avec une quantité d'environ 20 tonnes de boues, cette expérience est jugée réussie et les boues du secteur sont considérées comme source appréciable de combustible de substitution (PCI important).*
- *D'autres essais ont été réalisés avec les boues de la STEP d'une industrie de traitement de surface, et ces boues sont considérées attractives pour la co-incinération dans les fours de cimenteries vue leur teneur considérable en fer, ce qui va diminuer davantage les charges de la société Holcim Maroc, en terme d'intrant pour la fabrication du produit final (diminution des frais de minerais de fer utilisé pour la correction de la composition de produit final).*
- *L'expérience de la plate-forme Ecoval a touché même le secteur des déchets urbains, en essayant avec les boues de la STEP de Nador mais cette tentative a connu un problème lié aux mauvaises odeurs, d'où la nécessité de stabilisation des boues avant leur acceptabilité pour la co-incinération dans les fours de cimenterie. Suite aux entretiens récents effectués auprès des responsables de l'assainissement à l'ONEP et avec la responsable de l'activité déchets au niveau d'Ecoval, une reprise de cette expérience à Nador semble être en cours de lancement.*

Ainsi, Ecoval compte mettre en place un atelier dédié seulement à la réception et traitement des boues issues des différents secteurs industriels et des STEP urbaines.

Schéma des filières adaptées à la catégorie 2

Les filières adaptées pour la catégorie 2 sont les mêmes que celles proposées pour les catégories de boues 1 et 2. Toutefois, la filière « valorisation verte » sera de préférence exclue pour éviter les risques de contamination des sols et des eaux et le transfert des polluants à travers les produits végétaux.

Les filières adaptées à cette catégorie 2 sont illustrées par le schéma suivant :

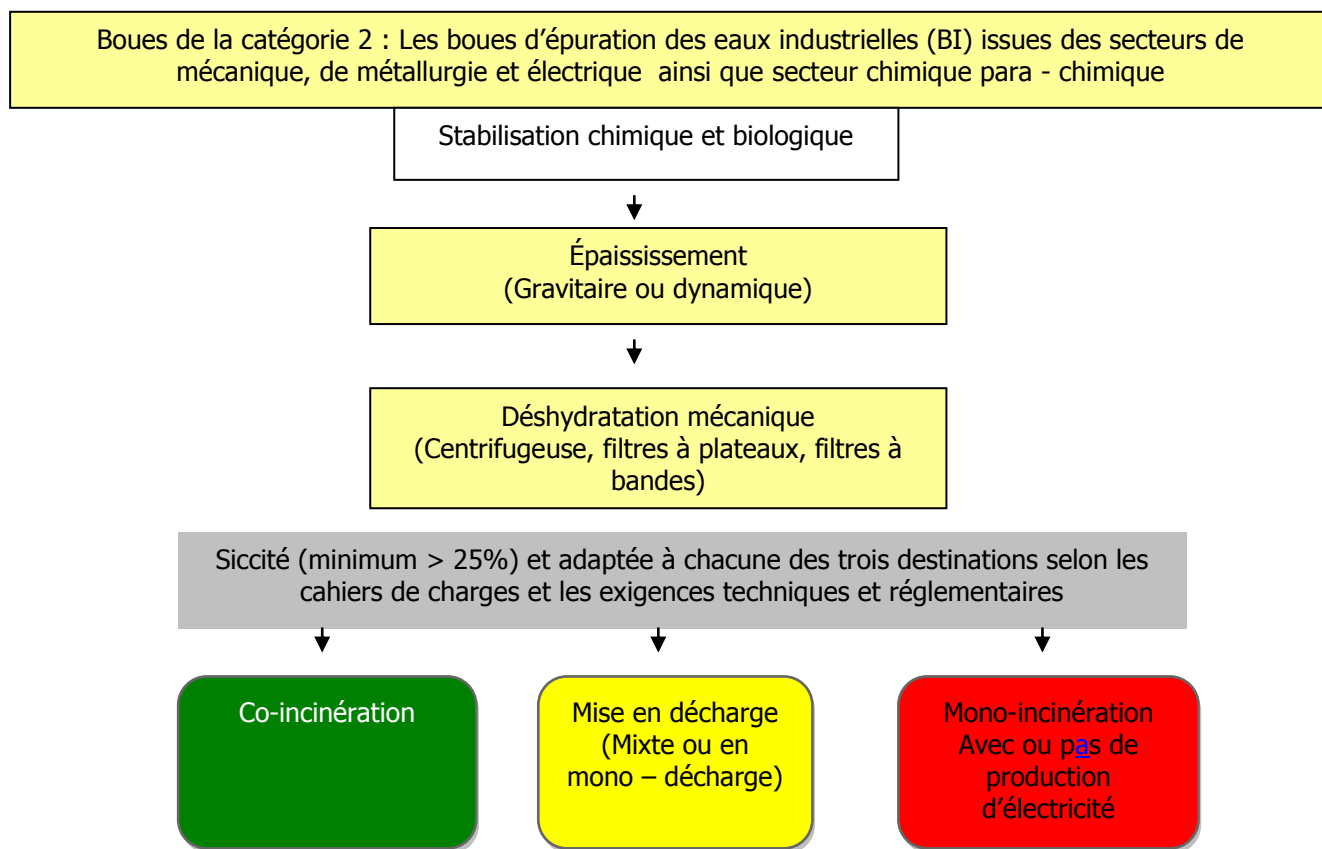


FIGURE 22 : FILIERE DE TRAITEMENT/VALORISATION DES BOUES DE CATEGORIE 2

Il est clair que d'autres traitements appropriés des boues peuvent les rendre valorisables. À ce propos, on assiste actuellement au développement de procédés de décontamination des boues notamment des éléments traces métalliques comme celui de METIX-AC de la Lyonnaise des Eaux basé sur biolixiviation avec sulfate ferreux et en présence d'une bactérie acidifiante.

Aussi, il est important de souligner que d'autres voies de valorisation comme le revêtement des talus routiers ou autoroutiers et en construction (briqueterie, etc. ;) peuvent être expérimentés localement sur base des expériences internationales notamment japonaise.

9.2.1.3 Filières à développer à travers des expériences pilotes

Il est fortement recommandé de réfléchir de mettre en place des pilotes en matière de stabilisation et de digestion anaérobie des boues avec récupération et valorisation de méthane. Cette technologie est particulièrement recommandée pour les grandes unités agro-industrielles et l'industrie de papier.

Comme il a été détaillé auparavant (Cf. 7.2.8), la digestion anaérobie offre plusieurs avantages et plusieurs opportunités dont les plus importants résident la réduction des quantités de boues de plus de 30%, l'hygiénisation des boues et la production de biogaz et sa valorisation en réduisant les émissions des GES. Il est intéressant à réfléchir sur la faisabilité de capitalisation de cette technologie dans le cadre des MDP.

9.3 Conditionnalités et mesures d'accompagnement

9.3.1 Conditionnalités

Il est important à ce niveau de rappeler que la mise en œuvre de ces filières est soumise à un certain nombre de conditionnalités et requiert un ensemble de mesures d'accompagnement. Les plus importantes sont succinctement décrites ci-dessous. Ces mesures d'accompagnement seront planifiées dans le cadre du Plan d'Action qui sera élaboré dans la phase 2 de l'étude.

- i. La mise en place d'un dispositif organisationnel, institutionnel et de gestion définissant les tâches, les responsabilités et les rôles des acteurs concernés : les opérateurs dans le domaine de l'assainissement (ONEP, régies et concessionnaires, industriels et leurs représentants) et les autres départements et institutions concernés (Ministère de l'Agriculture et des Pêches Maritimes, Ministère de la Santé, Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement avec ses trois départements, Ministère du Commerce, de l'Industrie et des Nouvelles Technologies, Ministère de l'Intérieur, etc.). Un parallèle avec l'organisation institutionnelle à mettre en place pour les eaux usées est à réaliser.
- ii. L'élaboration du cadre réglementaire des boues et la finalisation du cadre déjà existant reliant les boues aux autres déchets (ménagers et assimilés, industriels et déchets dangereux). Les aspects importants devant être pris en compte sont : appartenance aux classes de déchets définies par la loi 28 – 00, nomenclature et catégorisation (boues des STEP urbaines, boues des STEP industrielles, boues de curage des réseaux, boues de dragage, boues de traitement de l'eau potable etc.), normes et conditions d'utilisation, etc. En effet, si on affiche la valorisation verte comme étant la filière à promouvoir, il s'impose de mettre en place, le plutôt possible :
 - Un cadre réglementaire, normatif, d'utilisation, de contrôle et de surveillance ; et
 - Un dispositif partenarial entre les producteurs de boues et les usagers potentiels avec des cahiers de charges.

Les particularités importantes, et adaptées au contexte marocain, à prendre en considération dans une éventuelle réglementation de la filière de valorisation verte sont les suivantes :

- Éviter l'usage des boues pour les cultures à haute valeur ajoutée et destinée à l'export car il serait difficile de réussir les certifications de bonnes pratiques agro-environnementales exigées actuellement. L'usage des boues risque de porter préjudice à ce secteur. Même pour le marché local, il serait difficile de garantir la durabilité de cette filière.
- Éviter l'usage des boues en zones irriguées pour trois raisons essentielles : (i) ces systèmes sont généralement caractérisés par des systèmes de polyculture – élevage et il serait difficile que les boues concurrencent le fumier et les autres déchets agricoles, (ii) le risque de pollution azotée suite aux amendements avec les boues est élevé étant données les conditions de température et d'humidité favorables pour la microflore minéralisatrice et nitrifiante en plus de la fertilisation minérale classique généralement pratiquée de manière peu rationnelle, et (iii) comme mentionné, certains produits agricoles ou horticoles peuvent être destinés à l'export.
- Éviter l'utilisation des boues dans les bassins versants vulnérables à l'érosion et qui sont à l'amont des retenues de barrages. Ceci permettra d'éviter les risques

d'eutrophisation étant donnée la teneur élevée du phosphore et aussi de l'azote dans les boues.

Il serait important de privilégier dans le cadre de la valorisation verte les options suivantes :

- L'amendement des sols pour le cas des cultures fourragères à condition que les boues soient bien stabilisées et de préférence compostées et que les concentrations en éléments traces métalliques soient inférieures aux normes qui seront élaborées.
- L'amendement des sols forestiers dégradés (à condition qu'ils ne se trouvent à l'amont des retenues de barrages) et la réhabilitation des sols agricoles dégradés.
- L'utilisation des boues pour les pépinières forestières et ornementales.
- L'utilisation des boues stabilisées pour les amendements localisés de certains arbres fruitiers (olivier, figuier, etc.).

Il s'agit là seulement de quelques orientations stratégiques pour nourrir les réflexions sur le processus de réglementation et pour attirer l'attention sur certains points importants à intégrer pour la durabilité de la gestion des boues.

Ce volet sera étoffé en phase de 2 de la présente étude et plus exactement dans la partie consacrée aux volets institutionnel et réglementaire.

9.3.2 Mesures d'accompagnement

À côté de ces conditionnalités qui constituent le socle pour une stratégie de gestion durable des boues, un certain nombre de mesures d'accompagnement sont nécessaires pour la mise en œuvre des filières de gestion des boues.

De manière anticipée par rapport au plan d'action qui sera élaboré dans le cadre de la présente étude, on peut énoncer trois mesures d'accompagnement importantes :

- La formation des exploitants des STEP sur la gestion de la filière boues et sur les différentes filières à promouvoir ;
- La promotion de partenariat public – privé en matière de gestion des boues et de prestation de services ;
- L'élaboration d'un guide de bonnes pratiques de gestion des boues (activité prévue dans le cadre de la présente étude) qui donnera le détail sur les différentes options de traitement, d'élimination et de valorisation des boues : Principe, conditions d'adoption, schéma des composantes de la filière, conditions d'élimination e/ou de valorisation, techniques de minimisation des nuisances olfactives et moustiques, etc. Il est clair que ce guide ne sera qu'une première version qui devra être réédité une fois les cadres réglementaires et institutionnels en relation avec les modes de gestion des boues sont élaborés.

9.4 *Chronologie de l'adoption des filières proposées*

Cet exercice consiste à faire une proposition de chronologie d'adoption des filières de gestion de boues mais surtout des destinations car les traitements préalables en découlent comme le montrent les schémas de filières présentés précédemment.

Comme le montre le tableau suivant, l'élaboration de cette chronologie s'est basée sur :

- Les destinations finales correspondant aux filières recommandées ;
- Le potentiel et / ou les limites de résorption des différentes destinations sur base des hypothèses qualitatives mais plausibles ;
- L'état actuel de réglementation.

TABEAU 47 : CHRONOLOGIE D'ADOPTION DES OPTIONS DE GESTION DES BOUES

Option destination	de	Court terme	Moyen terme	Long terme		Variantes de traitements préalables et contexte d'adoption
		2011 – 2015	2015 – 2020	2020 – 2025	2025 – 2030 et après	
Option 1. Incinération en phase d'établissement						- MS de 45% en moyenne - Valeur Calorifique > 4000Kj/Kg - STEP de moyenne de grande taille > 50 000 EH - Surveillance des éléments traces métalliques
Option 2. Incinération en option établie						
Option 3. Mise en décharge Option 3.1. Mise en décharge – arrangements locaux provisoires						- Option valable pour l'ensemble du territoire marocain mais demeure une option non écologiquement durable. Cette option s'impose lorsque les autres options ne sont pas possibles
Option 3.2. Mise en décharge – conditions institutionnalisées – CPS						
Option 4 : Valorisation verte Option 4.1. Valorisation en sylviculture						Cas de boues compostées : - STEP < 10 000 EH dans une zone à demande appréciable en compost - Pour une économie d'échelle en termes de coûts d'installation des plateformes de compostage, si c'est possible, il est recommandé de regrouper les boues des petites stations Boues séchées en lits de séchage naturel classique :
Option 4.2. Valorisation en agriculture						

Option 4.3. Valorisation pour la réhabilitation des sols et sites dégradés					Maroc) Séchage sous serre ventilée avec retournement télécommandé (Haute technologie) : valable pour les STEP à grande sensibilité du voisinage aux nuisances olfactives. Séchage en lits plantés : valable pour une large gamme de production des boues : 5000 à 15 000 tonnes de boues épaissies (~ 5%) et stabilisées
Mono – incinération avec ou sans production d'électricité (adopter en dernier recours)					

La lecture de ce tableau de modulation chronologique de l'adoption des filières de gestion des boues permet de faire ressortir trois orientations stratégiques importantes :

- (i) **Dans le court terme**, il est urgent de mettre en place des arrangements institutionnels et des cahiers de spécifications techniques pour la mise en œuvre des deux filières (co-incinération en cimenteries et mise en décharge contrôlée) pouvant résorber les boues d'ici à l'horizon 2015. Certains de ces aspects seront développés dans la partie relative à l'élaboration du Dispositif Organisationnel, Institutionnel et de gestion prévue pour la phase 2 de l'étude.
- (ii) **Dans le moyen et long terme**, soit de 2015 à 2030 et après, les options de co-incinération en cimenteries et de mise en décharge devront être établies sur le plan technique et réglementaire et adoptées lorsque le contexte et les pré-requis le permettent.
- (iii) La valorisation dite verte, si elle remplit les conditionnalités développées plus haut et qui seront étayées dans le manuel de bonnes pratiques de gestion, devra être promue une fois le cadre institutionnel, normatif et réglementaire est établi. En effet, si cette filière est celle la plus recommandée et aussi celle permettant de résorber (valoriser) le plus de boues, **la durabilité de son adoption et de son développement devra être rigoureusement cadrée sur le plan technique et réglementaire**. Cela permettra d'éviter les risques et des « accidents » pouvant instaurer une réticence de son acceptabilité de la part des institutions concernées ou les usagers. L'expérience tunisienne est assez démonstrative à ce niveau. En effet, avant 1998, on assistait, dans le plupart des régions en Tunisie, à une forte demande des boues par les agriculteurs et suite à un « incident » dont le lien de causalité avec les boues n'a pas été justifié, il y avait blocage de l'option de valorisation agricole. Actuellement, l'Office National d'assainissement et les départements concernés développent un plan et des arrangements institutionnels pour la redynamisation de cette option.

Entre 2015 et 2030, les différentes destinations recommandées peuvent être adoptées à des proportions variables selon les contextes. Il est difficile à ce stade de se prononcer sur l'évolution des valeurs de ces proportions en fonction du temps. On recommande toutefois :

- (i) d'opter pour une tendance vers la minimisation progressive de la mise en décharge et la promotion de la valorisation verte et énergétique ; et

- (ii) de promouvoir la recherche et la mise en place de projets pilotes sur la digestion anaérobie, la valorisation des déchets dans les matériaux de construction ou de revêtement et l'extraction du phosphore des boues.

9.5 Tentatives de régionalisation des options de valorisation et d'élimination

Comme il a été souligné auparavant, il serait difficile de territorialiser avec exactitude les options d'élimination et/ou de valorisation car les critères de choix sont multiples et dépendent du contexte spécifique de chaque STEP. On tente toutefois de fournir quelques indications concernant les trois principales destinations :

- (i) Pour le cas des cimenteries, la valorisation sera située à proximité des cimenteries (rayon de 30 à 50 km maximum) qui sont rapportées sur la carte rapportée en annexe 7. L'élimination des boues en cimenterie ne se faisant pas encore systématiquement, il n'est pas possible d'évaluer à ce jour la capacité d'absorption des différentes cimenteries sur le territoire national.
- (ii) Pour le cas de la valorisation verte, on peut globalement adopter la territorialisation préconisée par le Ministère de l'Agriculture dans stratégie de 2002 qui consistait à définir 9 ensembles agro-écologiques indiqués sur la figure suivante. A priori, et conformément aux conditionnalités de valorisation agro-sylvo-pastorale, on peut dire que les boues peuvent être valorisées dans tous ces ensembles à l'exception des zones irriguées en grande hydraulique (Ensemble VI) et les zones relevant des autres ensembles mais situées à l'amont des retenues de barrages (voir carte en annexe 8).
- (iii) Pour le cas de la mise en décharge contrôlée, on peut dire que cette option est omniprésente partout dans le Royaume et les boues y seront acheminées à une proportion dépendant des autres destinations possibles.

Soulignons que ces tentatives demeurent assez génériques et d'orientation, les décisions de choix d'une ou plusieurs options à proportions variables seront motivées et dictées par le contexte de chacune des 330 STEPs prévues pour la totalité du Royaume d'ici 2030.

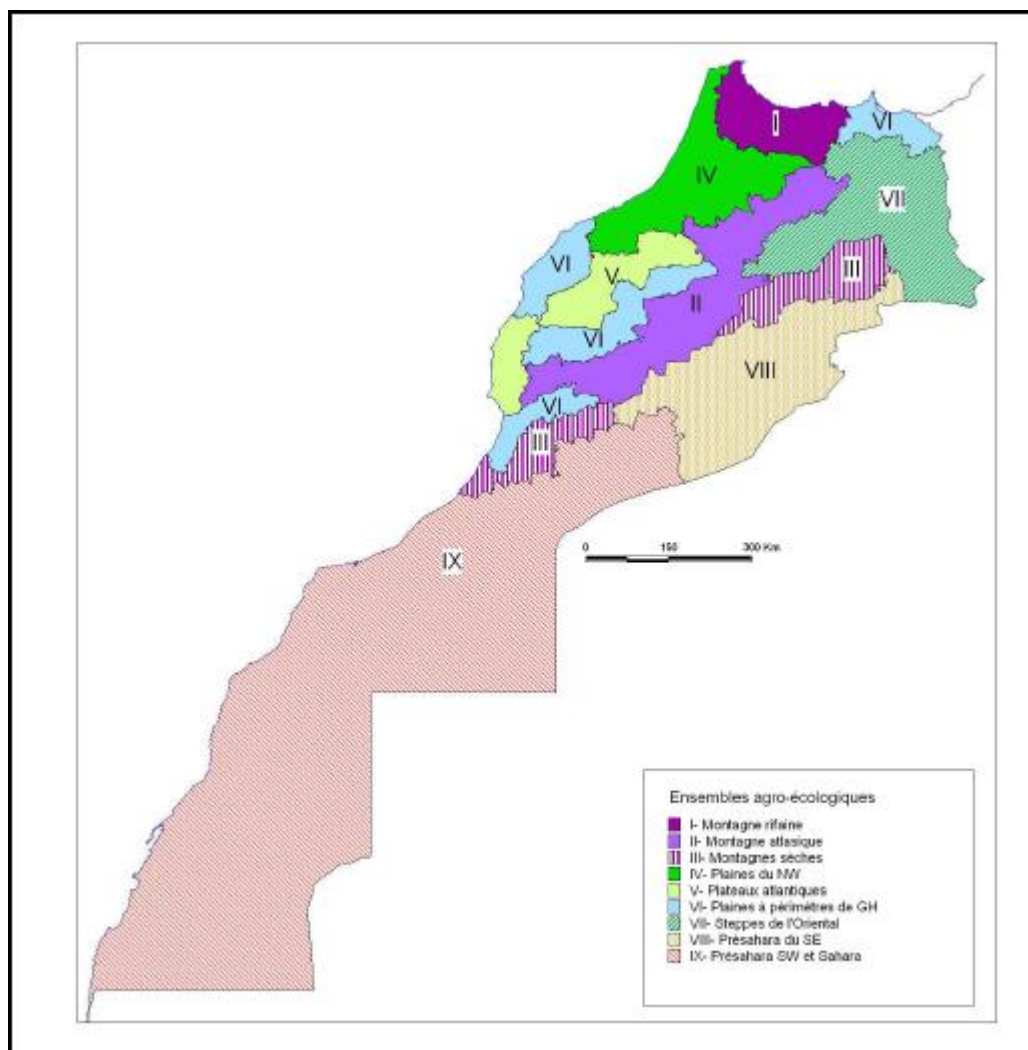


FIGURE 23 : LES GRANDS ENSEMBLES AGRO-ÉCOLOGIQUES DU MAROC⁹⁴

Légende :

1. Montagnes rifaines à système agro-sylvo-pastoral fragile

(Contexte de fragilité induisant d'importantes formes de dégradation.).

2. Montagnes humides

(De larges surfaces reçoivent plus de 400 mm de pluie. La forêt recouvre une bonne partie de la surface.)

3. Montagnes arides

(De larges surfaces reçoivent moins de 400 mm.)

4. Plaines et collines avec plus de 400 mm

(Sols souvent favorables et risques limités de dégradation.)

5. Plaines, plateaux et collines semi arides avec moins de 400 mm

(Activité agricole importante - *bour* intermédiaire ou défavorable – associée à l'élevage et îlots de PMH).

6. Plaines et plateaux steppiques, arides ou subarides, à activité pastorale principale

(Associée à des mises en culture aléatoires et quelques surfaces en PMH).

7. Plaines, plateaux et collines semi-arides mais avec implantations fortes de Grande Hydraulique

(Agriculture avec moins de 400 mm + grande hydraulique ou à potentiel d'irrigation élevé.

8. Régions présahariennes et sahariennes à large développement des oasis.

9. Régions présahariennes et sahariennes à faible développement des oasis

⁹⁴ Source : Atlas de l'Agriculture : Pour une territorialisation de l'agriculture (Document de synthèse, Deuxième édition 2008)

10 Conclusion et recommandations

Un premier constat qui mérite d'être fait consiste à dire que cette étude stratégique est venue à point nommé pour sur le plan chronologique. Ceci se justifie par le développement du secteur industriel et les incitations et obligations qui l'incombent en matière de traitement des rejets et par le PNA qui vient développer et intensifier le dispositif de traitement et de réutilisation des eaux usées domestiques.

Aussi, les institutions qui sont concernées par la problématique des boues manifestent un besoin en matière d'identification des options de gestion adaptées au contexte du pays et de planification des actions pour la mise en œuvre de ces options ainsi que des mesures d'accompagnement.

Sur le plan de production de boues, les chiffres relatés montrent que la quantité de boues subira un accroissement important. Elle atteindra un total (boues urbaines et boues industrielles) près de 600 000 Tonnes de MS/an en 2030.

Les options de traitement, d'élimination et de valorisation examinées proposées selon une hiérarchisation et selon une catégorisation des boues sont : (i) les traitements classiques d'épaississement, de déshydratation et de séchage dans la STEP ou à sa proximité, (ii) les voies d'élimination représentées essentiellement par la mise en décharge dans les décharges contrôlées mixtes (déchets ménagers et boues) ou dans les mono-décharges et (iii) la valorisation verte en agriculture, en sylviculture et pour la réhabilitation des sols dégradés ainsi que pour les opérations de végétalisation.

Ces différentes options ont été modulées selon la chronologie de leur adoption. Ainsi, il a été proposé de promouvoir, développer et organiser les options de co-incinération en cimenterie et de mise en décharge dans le court et moyen terme et de développer les options de valorisation dite verte de manière progressive dans le moyen et long terme. Toutefois, l'adoption de ces dernières, qui s'affichent les plus durables, requiert de régler un certain nombre dispositions techniques, réglementaires et de normalisation. Aussi, des plans spécifiques de gestion par STEP seront nécessaires et tiendront compte des spécificités du milieu environnant, des contraintes et des opportunités locales. Il est clair que toutes les catégories d'options peuvent être adoptées à des proportions variables selon le contexte des centres urbains ou des unités industrielles.

Évidemment et comme il a été précisé, certaines catégories de boues, pouvant présenter des risques sanitaires et environnementaux, sont exclues de la valorisation verte.

Aussi, des options en matière de réduction de la production des boues à l'amont ont été aussi mentionnées : (i) l'augmentation des exigences d'épuration des eaux usées notamment domestiques permet de réduire la production spécifique des boues (kg MS / Kg de DBO₅) ; (ii) la promotion, dans le long terme et pour certaines STEPs, la digestion anaérobie et (iii) l'adoption de technologies appropriées (qualifiées de technologies propres) pour la réduction de la production des boues par le secteur industriel.

Sur le plan économique, des ordres de grandeur des coûts des différentes options ont été documentés et comparés. Aussi, en plus des coûts internes classiques et dans le but d'intégrer le concept de gestion intégrée et durable, il a été recommandé de considérer un certain nombre d'externalités négatives et positives associées à certaines options de traitement, d'élimination et de valorisation. Par rapport aux options retenues, il ressort que la mise en décharge peut se révéler une option moins coûteuse par rapport aux options de valorisation, notamment en agriculture, mais l'intégration des externalités peut inverser les coûts. Ce volet a été traité de manière indicative et il est recommandé, dans le cadre des plans spécifiques de gestion des STEPs, de réaliser une étude de faisabilité technique, économique et environnementale des différentes options possibles.

Sur le plan réglementaire, cette première phase s'est focalisée sur la revue des textes existants, notamment la loi sur les déchets 28 – 00 et le décret de classification des déchets, qui sont en relation directe ou indirecte avec les boues. Aussi, une analyse des références internationales a été effectuée. Globalement, ce volet a permis de conclure que :

(ii) à l'échelle internationale, on dispose d'une diversité de références. Sur le plan de gestion de destination des boues, la plupart des pays favorisent la logique de valorisation verte. Toutefois, on assiste paradoxalement à une restriction de plus en plus sévère, notamment en ce qui concerne les teneurs en éléments traces métalliques. Aussi, la liste des paramètres de qualité deviendra de plus en plus large en intégrant d'autres substances pouvant présenter des risques sanitaires ; et

- (i) à l'échelle nationale, il est recommandé de mettre en place un cadre réglementaire et institutionnel pour les boues et d'élaborer des normes pour différents usages et pour les différentes destinations. Pour cela, un certain nombre de références internationales ont été synthétisées dans ce rapport et serviront de plateforme pour déclencher ce processus. La Direction de Contrôle et de la Réglementation au sein du Département de l'Environnement est en cours d'initiation d'une démarche de réglementation et de normalisation des boues.

Rappelons que ce volet sera approfondi lors de la seconde phase de l'étude et notamment à l'organisation d'un atelier sur le Dispositif Organisationnel et Institutionnel de Gestion des boues.

11 Contenu de la seconde phase

Il ne s'agit pas ici de reprendre les Termes de Référence de l'étude mais de rappeler les aspects importants qui feront l'objet de la seconde phase. Ceci permettra au lecteur d'établir la relation entre les apports de cette phase relatés dans le présent rapport et les autres aspects complémentaires ou d'approfondissement.

Ainsi, les volets importants qui seront traités sont :

- i. L'ébauche de **dispositif organisationnel, institutionnel et de gestion** des boues incluant les aspects de normalisation ;
- ii. **L'élaboration d'un plan d'action** pour la mise en œuvre des éléments stratégiques avec un cadre estimatif des budgets. Dans ce plan, plusieurs actions seront considérées : les études complémentaires, la mise en œuvre des projets pilotes, les besoins en formation et en renforcement des capacités, la finalisation de l'ébauche institutionnelle etc. ;
- iii. **La production d'un manuel technique** qui traitera des bonnes pratiques de gestion des boues (quoique les standards nationaux des différents usages ne soient pas encore élaborés). Ce manuel rapportera la description technique des différentes options de traitement, d'élimination et de valorisation et précisera les conditions de leur adoption ;
- iv. Des fiches de projets pilotes au moins pour une unité industrielle et pour une station d'épuration des eaux usées domestiques. Les modalités seront précisées en concertation avec les responsables au niveau de la DEPP et en coordination avec l'ONEP et les Régies.

ANNEXES

Annexe 1

Références bibliographiques et liste des personnes rencontrées

ADEME (2001) : Les boues d'épuration municipales et leur utilisation en agriculture : Fiche technique 3832 élaborée par le Comité Technique Permanent sur l'épandage des boues d'épuration.

ADEME. (2003) Synthèse _ rapport d'étude de la réalisation d'un référentiel technique et économique d'unité de traitement de déchets organiques par méthanisation avec et sans valorisation du biogaz.

ADEME (2000) Composts de boues de stations d'épuration municipales : Qualité, performances agronomiques et utilisations.

ADEME. (1999) Situation du recyclage agricole des boues d'épuration urbaines en Europe.

Adler E. (2008) Environnement et Technique N° 278, Juillet / Août 2008, page 59, Gestion biologique des déchets : un nouvel arrêté pour encourager le retour au sol des fermentescibles.

Assobhei O. & Mountadar M. (2006) Production des boues de traitement des eaux usées au Maroc, MOROCOMP (LIFE TCY05/MA000141).

Baker, D. F. et Bouldin, D.R. et Elliott, H.A. et Miller, J.R. (1985): Criteria and recommendation for land application of sludges in the Northeast. Bulletin 851. PA State Univ. Agr. Exp. Stat., University Park, PA.

Bergs, C.-G. (2009) : Konsequenzen der Novelle der Klärschlammverordnung und der novellierten Düngemittelverordnung, In: Pinnekamp, J. (Hrsg.): 42. Essener Tagung für Wasser- und Abfallwirtschaft: Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen, S. 60/1-60/13, ISBN 978-3-938996-23-2.

Bonnier S. (2008) Etat de la valorisation du biogaz sur site de station d'épuration en France et en Europe.

Caevel B., Vos M., O. Pollet & J. chabrier, juillet 2008, inventaire et critères de choix de filières de traitement et valorisation pour les boues urbaines et industrielles.

Canler J., Cauchi A., Duchène Ph., Fernandes P., Larigauderie A., Leboucher G. & Pujol .R, avril 2002, L'épauississement des boues : Les règles de bonne gestion.

Collection OTV ouvrage collectif N°2. (1997) Traiter et Valoriser les Boues, INFINITES Communication.

Dinger F., 1997, Végétalisation des espaces dégradés en altitude", Editions Cemagref de Grenoble, p 144.

Dridi, B. et Zerrouk, F. (2000) : Apport de boues d'épuration et propriétés d'un sol en Algérie Cahiers d'Etudes et de Recherches francophones/agricultures ; Vol 9, N° 1, pp : 68-71.

Dudkowski A., août 2000, L'épandage agricole des boues de stations d'épuration d'eaux usées urbaines, INRA.

Duchène Philippe. 1990. Les systèmes de traitement des boues des stations d'épuration des petites collectivités. Documentation technique N° 9 de FNDAE, France.

Elliott, L. F. et Ellis, J. R. (1977) : Bacterial and Viral Pathogens Associated with Land Application of Organic Wastes; dans : Journal of Environmental Quality 6, pp : 245-51.

El Naim M. Abd et El Houseini, M. (2002) : Environmental aspects of sewage sludge application in Egypt 17th WCSS, 14–21 August 2002, Thailand.

EPA. 1985. Estimating Sludge Management Costs. Handbook EPA/625/6-85/010.

EPA. 2000. Biosolids Technology Fact Sheet § Belt Filter Press.

Eurostat (2005):

http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1090,1&_dad=portal&_schema=PORTAL.

FODEP – Clean Tech /FiW.2002, Etude sectorielle sur la pollution industrielle.

Ferstler V. (2007) Boues d'épuration des eaux usées, Cadre réglementaire français.

Gabteni, N. et Gallali, T. (1988) : Étude expérimentale des interactions entre éléments métalliques et la minéralisation de la matière organique d'une boue résiduaire ajoutée à un sol. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XXIV, no 3, pp : 255-261.

Ghariani F., Soudi B., Baumgart H., Gredigk-Hoffmann S. & Bolle F.W., (août 2006), Ministère de l'environnement et du développement durable, Office national de l'assainissement liquide, Coopération Tuniso-allemande ONAS-KFW, Etablissement des plans d'intervention pour la gestion des boues de dix stations d'épuration des eaux usées de l'ONAS.

Ghariani F., Soudi B., Baumgart H., Gredigk-Hoffmann S. & Bolle F.W., (août 2006), Ministère de l'environnement et du développement durable, Office national de l'assainissement liquide, Coopération Tuniso-allemande ONAS-KFW, Plan d'action pour la gestion des boues des stations d'épuration des eaux usées, Rapport final.

Guibelin E., 1999, Lutte contre la pollution des eaux - traitement des boues d'épuration. Revue techniques de l'ingénieur, G 1450.

GLS, le Memotec n°18 (2002). Le séchage thermique des boues d'épuration, GLS, <<http://www.gls.fr/memotec18.htm>>, consulté 23 avril.

GLS, le Memotec n°21. (2006). La production des boues issues de l'épuration des effluents urbains, GLS, <<http://www.gls.fr/memotec18.htm>>, consulté 23 avril.

GLS. 2006. La production de boues issues de l'épuration des effluents urbains. Memotec N°21.

Haut Commissariat du Plan. (2004) Recensement général de la population et de l'habitat de 2004.

Haut Commissariat du Plan. (2004) Population du Maroc par année civile et par milieu de 2004 à 2030.

Hamdani I. et B. Soudi (Encadrant) (2008) Gestion des boues des stations d'épuration au Maroc : quantification, caractérisation et options de traitement et de valorisation, Mémoire de troisième cycle, Institut agronomique et vétérinaire Hassan II. Rabat.

IRGT -Institut royal pour la Gestion durable des Ressources naturelles et la Promotion des Technologies propres. 2005, Gestion des Boues en Belgique.

Ivashechkin, P., Pinnekamp, J. (2005): Literaturauswertung zum Vorkommen gefährlicher Stoffe im Abwasser und in Gewässern. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, unveröffentlicht, 2005.

Jemali A. et B. Soudi. 1998. Valorisation agricole des boues résiduelles : Valeur fertilisante et efficacité d'utilisation de l'azote par le Ray gras d'Italie. In. Proceedings of International Workshop on « Sewage Treatment and Reuse for small communities: Mediterranean and European Experiences » Edited by R. Choukr Allah.

MCI - Avril 1996, Note technique : Développement industriel Ecologiquement durable au Maroc.

Med CPL, Fiche 51, 2000.

Melquiot .P (2004) Mémento de la réglementation environnementale française et européenne.

Norme Tunisienne Enregistrée NT 106.20 (2002). Matières fertilisantes – Boues des ouvrages d'épuration des eaux usées. Editée par l'Institut National de Normalisation et de la Propriété Industrielle.

OFEFP.2003. Fiche d'information N°1 sur l'interdiction des boues d'épuration : Questions et réponses concernant les boues d'épuration.

OTV (1997) : Traiter et valoriser les boues. Collection. Ouvrage collectif OTV. Paris 86240 Ligugé.

Patricia Le Strat, 2006. Les procédés "écologiques" pour le traitement des boues urbaines. L'Eau , L'Industrie, les nuisances , N° 286.

RAMSA Etude de valorisation des boues de la station d'épuration – 2006.

Robert G. , Graham Tony A. Kuipers T. Terry Tousey Joseph C. Snodgrass David E. Prouty. 2008. Patent Application for invention § Applicants : Systems and Methods for Processing Municipal Wastewater Treatment Sewage Sludge.

Roy de Lachaise, A. , M. Blanchard , M-J. Teil), S. Théry (1), D. Duriez , A. Branthomme , J-M. Mouchel , M. Chevreuil. 2003. Valorisation agricole des boues urbaines et industrielles: Impact à l'échelle des Bassins Versants. Colloque Piren organisé par Cereve et SIAAP les 4 et 5 Février 2003.

Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, chargé de l'eau et de l'environnement, Département de l'Environnement. (2008), Note de synthèse sur l'état d'avancement du PNA et les actions réalisées en 2008.

Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, chargé de l'eau et de l'environnement, Département de l'Environnement, Direction de la Surveillance et de la Prévention des Risques, Note de Programme National d'Assainissement Liquide et d'Epuration des Eaux Usées (PNA).

Secrétariat d'Etat auprès du Ministère de l'Energie, des Mines, chargé de l'eau et de l'environnement, Département de l'Environnement, Direction des Normes et des Standards, projet de décret sur l'incinération et la co-incinération des déchets.

Soudi, B. 2001. Compostage des déchets ménagers et valorisation du compost: Cas des petites et moyennes communes au Maroc. Actes Editions, Série agriculture & Environnement. Ouvrage préparé pour l'UNIDO et ENDA Maghreb.

Soudi, B. et Jemali A..1998. Valorisation agricole des boues résiduelles : Impact des amendements sur la dynamique de l'azote des sols. In. Proceedings of International Workshop on « Sewage Treatment and Reuse for Small Communities : Mediterranean and European Experiences » Edited by R. Choukr Allah.

Soudi B. et H. Chrifi. 2007. Options de gestions de déchets solides municipaux adaptées aux contextes des Pays du Sud. Enda Maghreb & Coopération Suisse.

Soudi B. et M. Bazza. 2003. Manuel d'utilisation des boues résiduaires issues des stations d'épuration des eaux usées : Etat de l'art et tentatives d'adaptation aux pays de Proche Orient. FAO – Caire.

DRPE, Mars 2002, Volume II : éléments méthodologiques d'élaboration des projets relatifs aux valeurs limites de rejets industriels.

Soudi.1999. Compostage et valorisation du compost : Pratiques d'une agriculture durable in. Bulletin de Transfert de Technologie en Agriculture ,No 54.

DRPE, Mars 2002, Elaboration des dossiers techniques relatifs aux relatifs aux valeurs limites de rejets industriels dans le domaine public hydraulique.

USA-CERL (Us Army Construction Engineering Research Laboratory) (1999): Alternative sludge dewatering techniques at wastewater treatment facilities.

US Patent 6855256 (2005). Hybrid chemical and biological process for decontaminating sludge from municipal sewage.

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

LISTE DES PERSONNES RENCONTREES

Institution	Personne	Objet :
Ministère de l'Intérieur DRSC	M. Saïdi	Recueil des données sur les régions
	M. Jaouani	Recueil des données sur les régions
SEEE – département de l'eau/DRPE	Mme Jahouer	Etude des possibilités de réutilisation des eaux usées traitées
SEEE - FODEP	Jamal Abboud Anis Aboulhajja	Données sur les projets financés par le FODEP
ECOVAL	Hind Baddag	Informations sur valorisation en cimenteries
GTZ – PGPE - Mohammedia	Abdelaziz MRANI	Données sur industriels
ONEP	M. Lhani	Données ONEP
	Mme Bourziza	Données ONEP
FAO	Alexandre Adler	Echnages sur étude ONEP
SEEE - DRC	M. Mellouki	Données réglementaires
RAMSA	M. Benzine	Données sur station M'Zar

ANNEXE 2

SITUATION DES STEPS EXISTANTES

	Ville ou Centre	Préfecture ou Province	CAPACITE (m3/J)	CAPACITE (annuel en m3)	Procédé
1	AGADIR	AGADIR	50000	18250000	Infiltration Perco
2	DRARGUA	AGADIR	607	221555	Infiltration Perco
3	BENSARGO	AGADIR	750	273750	Infiltration Perco
4	AL HOCEIMA	AL HOCEIMA	4800	1752000	Boues Activées
5	BENI BOUAYACH	AL HOCEIMA	5400	1971000	Lag A + F
6	IMZOUEN	AL HOCEIMA	5415	1976475	Lag A + F + M
7	TARGUIST	ALHOCEIMA	981	358065	Lag A + F
8	AZILAL	AZILAL	2800	1022000	Lag A + F
9	BEN SLIMANE	BEN SLIMANE	5600	2044000	Lag A + F + M
10	BENI MELLAL	BENI MELLAL	11000	4015000	Boues Activées
11	BERKANE	BERKANE	13000	4745000	Lag A + F
12	OUTAT EL HAJ	BOULEMANE	880	321200	Lag A + F
13	SID L'MOKHTAR	CHICHAOUA	414	151110	Lag A + F
14	BIOUGRA	CHTOUKA/A.BAHA	1156	421940	Lag A + F + inf/perco
15	AIN TAOUJDATE	EL HAJEB	1500	547500	Lag A + F
16	ERRACHIDIA	ERRACHIDIA	8282	3022930	Lag A
17	RISSANI	ERRACHIDIA	1180	430700	Lag A + F
18	ESSAOUIRA	ESSAOUIRA	9250	3376250	Lag A + F + M
19	BOUARFA	FIGUIG	1500	547500	Lag A
20	GUELMIM	GUELMIM	5560	2029400	Lag A + F
21	M'RIRT	KHENIFRA	2200	803000	Lag A + F
22	BEJAAD	KHOURIBGA	3500	1277500	Lag A + F
23	TARFAYA	LAAYOUNE	800	292000	Lag A + F
24	MARRAKECH	MARRAKECH	90720	33112800	Boues Activées
25	MEKNES	MEKNES	96000	35040000	Lag Aéré
26	ALAAROUJ	NADOR	2380	868700	Lag A + F
27	KALAAT M'GOUNA	OUARZAZATE	613	223745	Lag A + F
28	OUARZAZATE	OUARZAZATE	9011	3289015	Lag A + F
29	BEN AHMED	SETTAT	1850	675250	Lag A + F
30	BERRECHID	SETTAT	17210	6281650	Lag A + F
31	EL GARA	SETTAT	1384	505160	Lag A + F
32	SETTAT	SETTAT	13500	4927500	Lag A + F + M
33	SIDI ELAIDI	SETTAT	150	54750	Boues Activées
34	DAR GUEDDARI	SIDI KACEM	708	258420	Lag A + F
35	SKHIRAT	SKHIRAT-TEMARA	3500	1277500	Lag A + F + M
36	TAOURIRT	TAOURIRT	5400	1971000	Lag A + F
37	AKKA	TATA	380	138700	Lag A + F
38	FAM EL HISN	TATA	400	146000	Lag A + F
39	FOUM ZGLJID	TATA	210	76650	Lag A + F
40	TATA	TATA	980	357700	Lag A + F
41	TIZNIT	TIZNIT	4900	1788500	Lag A + F + M
42	TAFRAOUT	TIZNIT	432	157680	Lag A + F
43	TAFOGHALT	BERKANE	180	65700	Lit Bacter
44	KETTARA	MARRAKECH	520	189800	Chenal Algal
45	NADOR	NADOR	10000	3650000	Boues Activées
46	SIDI ABDERAZAK	KHEMISSSET	87	31755	Lag A
47	SAADA	MARRAKECH	438	159870	Lag A + F + M
48	DEROUA	SETTAT	Inconnue	Inconnue	Lag A + F
49	SOUALEM	SETTAT	Inconnue	Inconnue	Lag A + F

	Ville ou Centre	Préfecture ou Province	CAPACITE (m3/J)	CAPACITE (annuel en m3)	Procédé
50	DAR BOUZZA	CASABLANCA	Inconnue	Inconnue	Inconnue
51	CHICHAOUA	CHICHAOUA	1500	547500	Lag A + F

ANNEXE 3

Situation des centres pour lesquels existent des projets de stations de traitement

	Ville ou Centre	Préfecture ou Province	CAPACITE (m3/J)	Procédé
1	AHFIR	BERKANE	520	Lag A + F
2	AINELAOUA	SKHIRATE/TEMARA	4600	Lit Bacter
3	AIT BAH	CHTOUKA/A.BAHA	398	Lag A + F
4	AITOURIR	AL HAOUZ	1750	Lag A + F
5	AMIZMIZ	AL HAOUZ	850	Lag A + F
6	ARFOUD	ERRACHIDIA	2270	Lag A + F
7	ASSA	ASSA/ZAG	627	Lag A + F
8	AZROU	IFRANE	4150	Lag A + F
9	BEN GUERIR	K.SRAGHNA	7250	Boues Activées
10	BOUIZAKARNE	GUELMIM	116	Lag A + F
11	BOUJDOUR	BOUJDOUR	2950	Lag A + F
12	CHEFCHAOUEN	CHEFCHAOUEN	5475	Lag A + F
13	DAKHLA	OUE DDAHAB	4100	Lag A + F
14	DARCHAOUI	TANGER	65	Lag A + F
15	EL HAJEB	EL HAJEB	2270	Lag A + F
16	ESSEMARA	ESSEMARA	2500	Lag A + F
17	FES	FES	129800	Boues Activées
18	GUERCIF	TAZA	3900	Lag A + F
19	IFRANE	IFRANE	3500	Lag A + F
20	IMINTANOUTE	CHICHAOUA	2160	Lag A + F
21	IMOUZAR MARMOUCHA	BOULEMANE	500	Lag A + F
22	JRADA	JRADA	2030	Lag A + F
23	KARIA	EL JADIOA	900	Lag A + F
24	KELAAT SRAGHNA	K. SRAGHNA	9150	Lag A + F
25	KENITRA	KENITRA	65000	Lag A + F
26	KHEMISSET	KHEMISSET	11000	Lag Aéré
27	KHENIFRA	KHENIFRA	5260	Lit Bacter
28	KHOURIBGA	KHOURIBGA	17600	Boues Activées
29	LAAYOUNE	LAAYOUNE	21600	Boues Activées
30	NADOR	NADOR	23100	Boues Activées
31	OUEZZANE	SIDI KACEM	3850	Lag A + F
32	OULAD TEIMA	TAROUDANNT	6000	Lag A + F
33	RAS EL MA	NADOR	75	Lag A + F
34	ROMMANI	KHEMISSET	2000	Lag Aéré
35	SAIDIA	BERKANE	21900	Lag aere
36	SID ZOUINE	MARRAKECH	1037	Lag A + F
37	SIDI KACEM	SIDI KACEM	11100	Lag A + F
38	SIDI SLIMANE ECHARAA	BERKANE	5040	Lag A + F
39	SIDI SMAIL	EL JADIDA	631	Lag A + F
40	SIDI YAHYA EL GHARB	KENITRA	1700	Lag A + F
41	SIDIIFNI	TIZNIT	1538	Lag A + F
42	SIDI ALLAL EL BAHRAOU	KHEMISSET	1372	Lag A + F
43	SOUK EL ARBAA	KENITRA	5200	Lag A + F
44	TAMESLOHTE	AL HAOUZ	864	Lag A + F

	Ville ou Centre	Préfecture ou Province	CAPACITE (m3/J)	Procédé
45	TAN TAN	TAN TAN	4595	Lag A + F
46	TAOUNATE	TAOUNATE	2506	Lag A + F
47	TAROUDANNT	TAROUDANNT	830	Lag A + F
48	TEMSIA	INEZGANE/A. MELLOUL	1280	Lag aere
49	TIFLET	KHEMISSSET	4900	Lag aere
50	TINGHIR	OUARZAZATE	3750	Lag A + F
51	ZAG	ASSA/ZAG	300	Lag A + F
52	ZAGORA	ZAGORA	10400	Lag A + F
53	ZAIO	NADOR	3100	Lit Bacter
54	ZAQUIAT CHEIKH	BENI MELLAL	1354	Lag A + F
55	AIT IAAZA	TAROUDANNT	250	Lag A + F
56	OULAD BERHIL	TAROUDANNT	4595	Lag A + F
57	DEMNATE	AZILAL	1300	Lag A + F
58	AGHBALA	BENI MELLAL	320	Lag A + F
59	TOUNFIT	KHENIFRA	700	Lag A + F
60	OUAD ZEM	KHOURIBGA	4700	Lag A + F
61	HAD KOURT	SIDI KACEM	538	Lag A + F
62	TAHLA	TAZA	2135	Lag A + F
63	OUAD AMLIL	TAZA	1010	Lag A + F
64	BOUZNKA	BEN SLIMANE	5070	Lag A + F + M
65	MHAYA	MEKNES	400	Oxylab
66	BNI YAKHLEF	MOHAMMADIA	7000	Lag A + F
67	EL Marsa	LAAYOUNE	2500	Lag A + F
68	Ait Ben Haddou		86	Fosse + Infiltration
69	Tnine des oudayas		1728	Lag A + F
70	M'Belksiri		2800	Lag A + F
71	Melloussa		2350	Boues Activées
72	El Aioune	OUJDA-ANGAD	3800	Lag A + F
73	Sidi Yahia Zaer	TEMARA	1000	Lag A + F
74	JORF LASFAR	EL JADIDA	23000	Boues Activées
75	OUJDA	OUJDA-ANGAD	40000	Lag Aéré
76	Sidi Rahal		3500	Lag A + F + M

Villes pour lesquelles des projets sont identifiés (sans identification de capacité ni de système de traitement) :

- Midelt,
- Missouri,
- Lakhass,
- Nouaceur (Lydec, zone aéroportuaire),
- El Ksiba,
- Assa,
- Laaounate (APD Lagunage en cours de validation),
- Oulad Amrane (APD Lagunage en cours de validation),
- Taliouine,
- Beni Drar (APD Lagunage en cours de validation),
- Taфраout,
- Ouled Ghanem (Filtre à sable en cours de validation),
- Tah,
- Melloussa (Boues activées ?),
- Jorf Lasfar.

ANNEXE 4

Caractérisation de boues issues de certaines STEP

La caractérisation des boues des stations d'Agadir, Skhirat, Drarga, Bouregreg, Mrirt, Taoujdate, Tafoghalte, Taourirt et Tiznit a été effectuée en 2008 dans le cadre d'un mémoire de troisième cycle à l'IAV Hassan II réalisé par Hamdani et encadré par Souidi.

Paramètres physico-chimiques des boues urbaines

STEP source	pH	CE (mS/cm)	C/N	MO (%)
Moyenne Agadir	6,87	2,6	1,2	62,05
Moyenne Skhirat	7,17	2	9,6	50,82
Moyenne Drarga	7,61	2,91	11,5	55,3
Moyenne Bouregreg	6,82	4,6	7,5	56,7
Moyenne Mrirt	7,37	5,65	10,7	56,17
Moyenne Taoujdate	7,49	2,92	12	66,44
Moyenne Tafoghalte	7,4	0,98	11,31	47,43
Moyenne Taourirt	7,97	6,06	11,41	55,02
Moyenne Tiznit	7,17	2,96	11,02	77,78

Moyennes des teneurs d'éléments majeurs des boues urbaines

STEP	Aluminium (mg/kg)	Calcium (mg/kg)	Fer (mg/kg)	Potassium (mg/kg)	Magnésium (mg/kg)	Manganèse (mg/kg)	Sodium (mg/kg)	Potassium (mg/kg)
Agadir	32 277	75 708	908	9 103	10 402	350	7 331	13 098
Skhirat	27 775	85 837	842	7 345	8 757	278	2 480	8 512
Drarga	29 238	76 460	863	6 362	9 143	276	2 608	11 130
Bouregreg	26 938	71 246	889	8 483	9 267	257	3 899	10 286
Mrirt	26 134	64 926	882	6 315	9 494	298	3 447	14 768
Taoujdate	43 976	74 409	844	10 201	5 607	328	1 607	6 435
Tafoghalte	30 989	60 765	987	6 515	6 741	331	2 343	14 853
Taourirt	11 978	32 386	810	2 438	5 181	280	2 347	18 886
Tiznit	34 623	71 396	1043	13 040	10 755	294	8 240	7 457

Teneur des boues d'épuration en ETM en (Mg/Kg/MS)

STEP	Chrome	Cadmium	Cuivre	Nickel	Plomb	Zinc
Agadir	39,9	1,6	144,4	17,2	235,5	867,1
Skhirat	46,9	1,96	235,7	19,5	129,1	856,5
Drarga	49,4	1,5	257,5	21,5	120,1	993,3
Bouregreg	42,8	2,1	231,8	20,1	136,9	758,8
Mrirt	56,4	2,5	368,1	23,7	113,8	1 113,3
Taoujdate	60,9	0,9	232,9	21,4	82,1	803,8
Tafoghalte	52,8	1,2	245,8	23,8	111,8	1 111,5
Taourirt	36,3	1,1	260,04	20,7	90,8	1 342,1
Tiznit	34,6	0,7	222,5	16,6	88,1	237,9
Valeurs limites réglementaire (Tunisie)	500	20	1000	200	800	2000
Valeurs limites réglementaire (UE)	1000	20	1000	200	800	2000

Une autre caractérisation a été réalisée dans le cadre d'une étude de valorisation des boues issues de la step du Mzar à Agadir.

Teneurs en éléments fertilisants des boues sechees de la station d'Agadir du Mzar

Eléments fertilisants	Concentration en ppm
Azote Total	20 000
Acide phosphorique	30 000
Potasse	3 000
Magnésie	20 000
Chaux	130 000

Teneurs en ETM des boues séchées de la station d'Agadir du Mzar

Eléments Traces métalliques	Concentration en ppm
Cadmium	10,18
Chrome	56,83
Cuivre	444,67
Mercuré	0,25
Nickel	42,7
Plomb	225,1
Zinc	985,33

ANNEXE 5

Liste des centres pris en compte pour la projection de la production des boues

Ville ou Centre	Préfecture ou Province	BV	Région	ABH	Phase PNA
AOURIR	AGADIR	Tamri	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	2
Bensargaou	Agadir	Souss	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	0
DRARGA	AGADIR	Souss	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	2
GRAND AGADIR (*)	AGADIR	Tamri	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	1
TAGADIRT NAABADOU	AGADIR	Souss	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	2
TAGHAZOUT	AGADIR	Tamri	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	2
AITOURIR	AL HAOUZ	Tamri	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	1
AMIZMIZ	AL HAOUZ	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
GHMATE	AL HAOUZ	tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	
LALLA TAKERKOUT	AL HAOUZ	tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	
Mly. BRAHIM	AL HAOUZ	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	2
SIDI ABDELLAH GHIAT	AL HAOUZ	tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	
TAHANNAOUT	AL HAOUZ	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	2
TAMESLOHTE	AL HAOUZ	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
AIT KAMRA	AL HOCEIMA	Cotiers Méditerranées	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
AJDIR HOCEIMA	AL HOCEIMA	Cotiers Méditerranées	Taza-alhousseima- taounat	Loukkhos	2
AL HOCEIMA	AL HOCEIMA		Taza-alhousseima- taounat	Loukkhos	1
BENI BOUAYACH	AL HOCEIMA	Cotiers Méditerranées	Taza-alhousseima- taounat	Loukkhos	1
BNI HADIFA	AL HOCEIMA	Cotiers Méditerranées	Taza-alhousseima- taounat	Loukkhos	2
IMZOURN	AL HOCEIMA	Cotiers Méditerranées	Taza-alhousseima- taounat	Loukkhos	1
ISSAGUEN	AL HOCEIMA	Cotiers Méditerranées		Sebbou	2
MNOUD	AL HOCEIMA	Cotiers Méditerranées	Taza-alhousseima- taounat	Loukkhos	2
SIDI BOUAFIF	AL HOCEIMA	Cotiers Méditerranées	Taza-alhousseima- taounat	Loukkhos	2
TAMASSINT	AL HOCEIMA	Cotiers Méditerranées	Taza-alhousseima- taounat	Loukkhos	2
TARGUIST	ALHOCEIMA	Cotiers Méditerranées	Taza-alhousseima- taounat	Loukkhos	1
LAGUIRA	AOUSSERD	Saquia El Hamra	Oued-Eddahab-Lagouira	Sahara	2
ASSA	ASSA/ZAG	Draa	Guelmim Es-smara	Sahara	1
ZAG	ASSA/ZAG	Draa	Guelmim Es-smara	Sahara	1
AFOURAR	AZILAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	1
AGHBALA	AZILAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	
AZILAL	AZILAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	1
BNI AYAT	AZILAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
BZOU	AZILAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
DEMNAE	AZILAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2

Elaboration de la stratégie nationale pour la gestion des boues des stations d'épuration au Maroc
Phase 1 : Rapport provisoire (R118₀)

Ville ou Centre	Préfecture ou Province	BV	Région	ABH	Phase PNA
FOUM JAMAA	AZILAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
OUAOUIZAGHT	AZILAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
BEN SLIMANE	BEN SLIMANE	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	2
BOUZNKA	BEN SLIMANE	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	2
MILLILA	BEN SLIMANE	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	2
SIDI BETTACHE	BEN SLIMANE	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	2
TNINE TOUALAA	BEN SLIMANE	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	2
AGHBALA	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Moulouya	2
BENI MELLAL (*)	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
BRADIA	BENI MELLAL	Oum Er Rbia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	
DAR OULD ZIDOUH	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
EL KSIBA	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	1
FQUIH BEN SALAH	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
HAD BOUMOUSA	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
HEL MRABAA	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
KASBA TADLA	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	1
OULAD AYAD	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	1
OULAD M'BAREK	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
OULAD YAICH	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	
SIDI JABER	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
SIDI JABER	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
SOUK SEBT O.NEMA	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	2
ZAOUAT CHEIKH	BENI MELLAL	Oum Er Rabia	Tadla Azilal	Oum Er Rbia	1
AHFIR	BERKANE	Isly	Orientale	Moulouya	1
AIN ERRAGADA	Berkane	Moulouya	Orientale	Moulouya	
AKLIM	BERKANE	Moulouya	Orientale	Moulouya	2
BERKANE	BERKANE	Moulouya	Orientale	Moulouya	1
BOUHDILA	BERKANE	Moulouya	Orientale	Moulouya	2
LAATAMNA	BERKANE	Isly	Orientale	Moulouya	2
MADAGH	BERKANE	Moulouya	Orientale	Moulouya	2
SAIDIA	BERKANE	Isly	Orientale	Moulouya	1
SIDI SLIMANE ECHARAA	BERKANE	Moulouya	Orientale	Moulouya	1
SIDI SLIMANE ECHARAA	BERKANE	Moulouya	Orientale	Moulouya	2
Tafoghalt	Berkane	Draa	Souss-Massa-Draâ	tensift	0
BOUJDOUR	BOUJDOUR	Saquia El Hamra	Laâyoune-Boujdour-Sakia-El Hamra	Sahara	1
BOULEMANE	BOULEMANE	Sebou	Fès-Boulmane	Sebbou	1
GUIGOU	BOULEMANE	Sebou	Fès-Boulmane	Sebbou	1
Immouzar Marmoucha	Boulmane	Moulouya	Fès-Boulmane	Sebbou	0
MISSOUR	BOULEMANE	Moulouya	Orientale	Moulouya	1
OUTAT EL HAJ	BOULEMANE	Moulouya	Orientale	Moulouya	1
BOUMALENE DADES	BOULMANE	Ziz-Rheris	Fès-Boulmane	Guir Ziz	
CASABLANCA	CASABLANCA	Cotiers Atlantiques	casablanca	Bouregreg	0
MEDIOUNA	CASABLANCA	Cotiers Atlantiques	casablanca	Bouregreg	0
AMTAR	CHEFCHAOUEN	Cotiers Méditerranées	Tanger-Tétouan	Loukkhos	2
BAB BERRED	Chefchaouen	Sebou	Tanger-Tétouan	Loukkos	
BAB BERREO	CHEFCHAOUEN	Cotiers Méditerranées	Tanger-Tétouan	Loukkhos	1

Ville ou Centre	Préfecture ou Province	BV	Région	ABH	Phase PNA
BAB TAZA	CHEFCHAOUEN	Cotiers Méditerranées	Tanger-Tétouan	Loukkhos	1
BRIKCHA	CHEFCHAOUEN	Loukous	Tanger-Tétouan	Loukkhos	1
CHEFCHAOUEN	CHEFCHAOUEN	Cotiers Méditerranées	Tanger-Tétouan	Loukkhos	1
ELJABHA	CHEFCHAOUEN	Cotiers Méditerranées	Tanger-Tétouan	Loukkhos	1
MOQRISSAT	CHEFCHAOUEN	Sebou	Tanger-Tétouan	Sebbou	1
STEHATE	CHEFCHAOUEN	Cotiers Méditerranées	Tanger-Tétouan	Loukkhos	2
ZOUMI	CHEFCHAOUEN	Sebou	Tanger-Tétouan	Sebbou	1
CHICHAOUA	CHICHAOUA	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
IMINTANOUTE	CHICHAOUA	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
SID L'MOKHTAR	CHICHAOUA	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
BELFAA	CHTOUKA AIT BAHA	Cotiers Guelmim Tiznit	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	2
MASSA (*)	CHTOUKA AIT BAHA	Cotiers Guelmim Tiznit	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	2
SIDI BIBI	CHTOUKA AIT BAHA	Cotiers Guelmim Tiznit	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	2
AIT BAHA	CHTOUKA/A.BAHA	Cotiers Guelmim Tiznit	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	1
BIOUGRA	CHTOUKA/A.BAHA	Cotiers Guelmim Tiznit	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	1
DAR EL KABDANI	Driouch	Moulouya	Orientale	Moulouya	
MIDAR	Driouch	Moulouya	Orientale	Moulouya	
TAFRISSET	Driouch	Moulouya	Orientale	Moulouya	
AGOURAI	EL HAJEB	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	1
AIN TAOUJDATE	EL HAJEB	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	1
AIT BOUBIDMANE	EL HAJEB	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	
EL HAJEB	EL HAJEB	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	1
SEBAA AIYOUN	EL HAJEB	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	1
SEBT JAHJOUH	EL HAJEB	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	
AZEMMOUR	EL JADIDA	Oum Er Rabia	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
ELJADIDA (*)	EL JADIDA	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
Jorf Lasfar	El Jadida	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	0
KARIA	EL JADIDA	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
LAAOUANATE	EL JADIDA	Oum Er Rabia	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
LBIR JDID	EL JADIDA	Cotiers Atlantiques	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
LOUALIDIA (*)	EL JADIDA	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
OULAD AMRANE	EL JADIDA	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
OULAD FREJ	EL JADIDA	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
OULAD GHADBANE	EL JADIDA	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
Ouled Ghanem	El Jadida	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	0
SIDI BENNOUR	EL JADIDA	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	2
SIDI SMAIL	EL JADIDA	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1

Ville ou Centre	Préfecture ou Province	BV	Région	ABH	Phase PNA
TNINE CHTOUKA	El Jadida	Oum Er Rabia	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	0
ZEMAMRA	EL JADIDA	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
ASSAHRIJ	El Kalaa Des Sraghna	tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	
SIDI RAHHAL	El Kalaa Des Sraghna	tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	
Mly ABDELLAH	ELJADIDA	Oum Er Rabia	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
SIDI BOUZID	ELJADIDA	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
AOUFOUS	Errachidia	Ziz-Rheris	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	
ARFOUD	ERRACHIDIA	Ziz-Rheris	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	1
BOUDNIB	ERRACHIDIA	Guir	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	1
ERRACHIDIA	ERRACHIDIA	Ziz-Rheris	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	1
ERRICH	ERRACHIDIA	Ziz-Rheris	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	1
GOULMIMA	ERRACHIDIA	Ziz-Rheris	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	1
GOURRAMA	Errachidia	Guir	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	
JORF	ERRACHIDIA	Ziz-Rheris	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	1
LKHENG	ERRACHIDIA	Ziz-Rheris	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	2
MY ALI CHERIF	ERRACHIDIA	Ziz-Rheris	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	2
RISSANI	ERRACHIDIA	Ziz-Rheris	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	1
TINEJDAD	ERRACHIDIA	Ziz-Rheris	Meknes-Tafilalt	Guir Ziz	1
AIT DAOUD	ESSAOUIRA	Cotier Essaouira	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
EL HANCHANE	ESSAOUIRA	Cotier Essaouira	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
ESSAOUIRA	ESSAOUIRA	Cotier Essaouira	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
OUNAGHA	Essaouira	tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	
SMIMOU	ESSAOUIRA	Cotier Essaouira	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
TAFETACHTE	Essaouira	tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	
TALMEST	ESSAOUIRA	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
TAMANAR	ESSAOUIRA	Cotier Essaouira	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
ESSEMARA	ESSEMARA	Saquia El Hamra	Guelmim Es-smara	Sahara	1
KSAR MAJAS	FAHS-ANJRA	Tangerois	Tanger-Tétouan	Loukkhos	2
KSAR SGHIR	FAHS-ANJRA	Tangerois	Tanger-Tétouan	Loukkhos	2
FES (*)	FES	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	1
MIY YACOUB	FES	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	1
SKHINATE	FES	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	1
BNI TADJITE	Figuig	Guir	Orientale	Guir Ziz	
BOUANANE	Figuig	Guir	Orientale	Guir Ziz	
BOUARFA	FIGUIG	Figuig	Orientale	Moulouya	1
FIGUIG	FIGUIG	Figuig	Orientale	Moulouya	1
FIGUIG	FIGUIG	Figuig	Orientale	Moulouya	2
TALSINT	FIGUIG	Guir	Orientale	Guir Ziz	2
TENDRARA	Figuig	Moulouya	Orientale	Moulouya	
BOUIZAKARNE	GUELMIM	Massa	Guelmim Es-smara	Sahara	1
GUELMIM	GUELMIM	Massa	Guelmim Es-smara	Sahara	1

Elaboration de la stratégie nationale pour la gestion des boues des stations d'épuration au Maroc
Phase 1 : Rapport provisoire (R118₀)

Ville ou Centre	Préfecture ou Province	BV	Région	ABH	Phase PNA
TAGANTE	GUELMIM	Massa	Guelmim Es-smara	Sahara	2
TAGHJIT	GUELMIM	Massa	Guelmim Es-smara	Sahara	1
AIN LEUH	IFRANE	Sebou	meknes-Tafilalt	Sebbou	1
AZROU	IFRANE	Sebou	meknes-Tafilalt	Sebbou	1
HAD OUED IFRANE	IFRANE	Sebou	meknes-Tafilalt	Sebou	
IFRANE	IFRANE	Sebou	meknes-Tafilalt	Sebbou	1
SIDI ADDI	IFRANE	Sebou	meknes-Tafilalt	Sebbou	1
TIMAHDITE	IFRANE	Sebou	meknes-Tafilalt	Sebbou	1
LQLIAA (*)	INEZGANE/A. MELLOUL	Souss	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	1
TEMSIA	INEZGANE/A. MELLOUL	Souss	Sous -Massa -Draa	Souss Massa	1
AIN BNI MTHAR	JERADA	Moulouya	Orientale	Moulouya	1
OUED EL HEIMER	Jerada	Moulouya	Orientale	Moulouya	
SIDI BOUBKER	Jerada	Moulouya	Orientale	Moulouya	
TOUISSIT	Jerada	Moulouya	Orientale	Moulouya	
DEBDOU	JRADA	Moulouya	Orientale	Moulouya	1
JRADA	JRADA	Moulouya	Orientale	Moulouya	1
KELAAT SRAGHNA	K. SRAGHNA	Cotiers Safi El Jadida	Marrakech-Tensift-Alhaouz	Oum Er Rbia	1
BEN GUERIR	K.SRAGHNA	Cotiers Safi El Jadida	Marrakech-Tensift-Alhaouz	Oum Er Rbia	1
LA ATTAOUIA	K.SRAGHNA	Oum Er Rabia	Marrakech-Tensift-Alhaouz	Oum Er Rbia	1
SIDI BOU OTHMANE	K.SRAGHNA	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
SKHOUR RHAMNA	K.SRAGHNA	Oum Er Rabia	Marrakech-Tensift-Alhaouz	Oum Er Rbia	1
TAMALLALT	K.SRAGHNA	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
ARBAOUA	KENITRA	Loukous	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Loukkhos	1
DAR BEL AMRI	KENITRA	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	2
KENITRA	KENITRA	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
LALLA MIMOUNA	KENITRA	Drader Souier	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
MEHDIA	KENITRA	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
Mly BOUSSELHAM	KENITRA	Drader Souier	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
SIDI ALLAI TAZI	KENITRA	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
SIDI TAIBI	KENITRA	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	2
SIDI YAHYA EL GHARB	KENITRA	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
SIDI SLIMANE	KENITRA	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
SOUK EL ARBAA	KENITRA	Drader Souier	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
AIT IKKOU	KHEMISSET	Sebou	rabat-salé-zemours-zear	Sebbou	2
AIT YADINE	KHEMISSET	Sebou	rabat-salé-zemours-zear	Sebbou	2
BRACHOUA	KHEMISSET	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	2
EZZHILIGA	KHEMISSET	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	2
KHEMISSET	KHEMISSET	Sebou	rabat-salé-zemours-zear	Sebbou	1
LAGHOUALEMEN	KHEMISSET	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	2
MAAZIZ	KHEMISSET	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	1
MARCHOUCH	KHEMISSET	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	2
OULMES	KHEMISSET	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	1
ROMMANI	KHEMISSET	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	1
SIDI ALLAL EL BAHRAOUI	KHEMISSET	Sebou	rabat-salé-zemours-zear	Sebbou	1
TIDDAS	KHEMISSET	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	1
TIFLET	KHEMISSET	Sebou	rabat-salé-zemours-zear	Sebbou	1
AGUELMOUS	KHENIFRA	Oum Er Rabia	Meknes-Tafilalt	Bouregreg	1
AIT ISHAQ	KHENIFRA	Oum Er Rabia	meknes-Tafilalt	Oum Er Rbia	1

Ville ou Centre	Préfecture ou Province	BV	Région	ABH	Phase PNA
EL KBAB	KHENIFRA	Oum Er Rbia	meknes-Tafilalt	Oum Er Rbia	
HAD BOUHSSOUSSEN	KHENIFRA	Oum Er Rabia	Meknes-Tafilalt	Bouregreg	1
ITZER	KHENIFRA	Moulouya	meknes-Tafilalt	Moulouya	1
KERROUCHEN	KHENIFRA	Oum Er Rabia	meknes-Tafilalt	Oum Er Rbia	1
KHENIFRA	KHENIFRA	Oum Er Rabia	meknes-Tafilalt	Oum Er Rbia	1
MIDELT	KHENIFRA	Moulouya	meknes-Tafilalt	Moulouya	1
MIY BOUAZZA	KHENIFRA	Oum Er Rabia	Meknes-Tafilalt	Bouregreg	1
M'RIRT	KHENIFRA	Oum Er Rabia	Meknes-Tafilalt	Bouregreg	1
TIGHASSALINE	KHENIFRA	Oum Er Rabia	meknes-Tafilalt	Oum Er Rbia	1
TIGHZA	KHENIFRA	Oum Er Rabia	Meknes-Tafilalt	Bouregreg	1
TOUNFIT	KHENIFRA	Moulouya	meknes-Tafilalt	Moulouya	2
AMALOU IGHTRIBEN	Khénifra	Oum Er Rabia	meknes-Tafilalt	Oum Er Rbia	
BEJAAD	KHOURIBGA	Oum Er Rabia	Chaouia - ouardigha	Oum Er Rbia	1
BOUJNIBA	KHOURIBGA	Oum Er Rabia	Chaouia - ouardigha	Oum Er Rbia	2
BOULANOUAR	KHOURIBGA	Oum Er Rabia	Chaouia - ouardigha	Oum Er Rbia	2
HATTANE	KHOURIBGA	Oum Er Rabia	Chaouia - ouardigha	Oum Er Rbia	1
KHOURIBGA	KHOURIBGA	Oum Er Rabia	Chaouia - ouardigha	Oum Er Rbia	1
OUAD ZEM	KHOURIBGA	Oum Er Rabia	Chaouia - ouardigha	Oum Er Rbia	2
El Marsa	Laayoune	Saquia El Hamra	Laâyoune-Boujdour-Sakia-El Hamra	Sahara	0
FOUM EL OUED	LAAYOUNE	Saquia El Hamra	Laâyoune-Boujdour-Sakia-El Hamra	Sahara	2
LAAYOUNE	LAAYOUNE	Saquia El Hamra	Laâyoune-Boujdour-Sakia-El Hamra	Sahara	1
TAH	Laayoune	Saquia El Hamra	Laâyoune-Boujdour-Sakia-El Hamra	Sahara	0
TARFAYA	LAAYOUNE	Saquia El Hamra	Laâyoune-Boujdour-Sakia-El Hamra	Sahara	1
KHMIS SAHEL	LARACHE	Loukous	Tanger-Tétouan	Loukkhos	1
KSAR EL KEBIR	LARACHE	Loukous	Tanger-Tétouan	Loukkhos	1
LARACHE	LARACHE	Loukous	Tanger-Tétouan	Loukkhos	1
Kattara	Marrakech	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	0
LOUDAYA	MARRAKECH	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	2
MARRAKECH	MARRAKECH	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
Saada	MARRAKECH	Sebou	Marrakech-Tensift-Alhaouz	Bouregreg	0
SID ZOUNE	MARRAKECH	Tensift	Marrakech-Tensift-Alhaouz	tensift	1
SIDI HAJJAJ OUED HASSAR	MEDIOUNA	Cotiers Atlantiques	casablanca	Bouregreg	2
AIN JEMAA	MEKNES	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	1
BOUFAKRANE	MEKNES	Sebou	Meknes-Tafilalt	Bouregreg	1
HAJ KADOOUR	MEKNES	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	1
Kahf n'sour	MEKNES	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	0
MEKNES (*)	MEKNES	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	1
MHAYA (*)	MEKNES	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	2
Mly IDRIS ZERHOUNE	MEKNES	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	1
NZALAT BNI AMAR (*)	MEKNES	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	
TOULAL	MEKNES	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	1
MHAYA	Meknès	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	0
OUISLANE	Meknès	Sebou	Meknes-Tafilalt	Sebbou	0
AGHBALOU	Midelt	Moulya	Meknes-Tafilalt	Oum Er Rbia	
BOUMIA	Midelt	Moulya	Meknes-Tafilalt	Moulouya	
ZAIDA	Midelt	Moulya	Meknes-Tafilalt	Moulouya	

Ville ou Centre	Préfecture ou Province	BV	Région	ABH	Phase PNA
ECHALLALATE	MOHAMMADIA	Cotiers Atlantiques	casablanca	Bouregreg	2
MOHAMMADIA	MOHAMMADIA	Oued el Mellah	casablanca	Bouregreg	
MOHAMMADIA + BNI YAKHLEF	MOHAMMADIA	Cotiers Atlantiques	casablanca	Bouregreg	2
SIDI MOUSSA BEN ALI	MOHAMMADIA	Cotiers Atlantiques	casablanca	Bouregreg	2
SIDI MOUSSA EL MAJDOUB	MOHAMMADIA	Cotiers Atlantiques	casablanca	Bouregreg	2
MOULAY YACCOUB	MOULAY YACCOUB	Sebou		Sebbou	2
RAS EL MA	Moulay Yacoub	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	0
AL AAROUJ	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	1
BEN TAIEB	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	1
BNI ANSAR	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	1
BNI ANSAR	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	2
BNI CHIKER	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	2
DRIOUCH	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	2
FERKHANA	Nador	Moulouya	Orientale	Moulouya	
IHADDADNE	Nador	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	
JAADAR	Nador	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	
KARIAT ARKMANE	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	1
KARIAT ARKMANE	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	2
KASSITA	Nador	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	
KEROUNA	Nador	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	
MIDANE	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	2
NADOR	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	1
RAS EL MA	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	1
SELOUANE	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	2
TAOUIMA	Nador	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	
TIZTOUTINE	Nador	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	
ZAIO	NADOR	Moulouya	Orientale	Moulouya	1
ZEGHANGHANE	NADOR	Cotiers Méditerranées	Orientale	Moulouya	2
INEZGANE	NEZGANE/A. MELLOUL	Souss	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	1
AIT MELLOUL	NEZGANE/A.MELLOUL	Souss	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	1
Ait ben Haddou	Ouarzazate	Draa	Souss-Massa-Draâ	tensift	0
BOUMALNE DADES	OUARZAZATE	Draa	Souss-Massa-Draâ	Sahara	2
KALAAAT M'GOUNA	OUARZAZATE	Draa	Souss-Massa-Draâ	Sahara	1
OUARZAZATE+TABOUNTE	OUARZAZATE	Draa	Souss-Massa-Draâ	Sahara	1
SKOURA	OUARZAZATE	Draa	Souss-Massa-Draâ	Sahara	2
TARMIGT	OUARZAZATE	Draa	Souss-Massa-Draâ	Sahara	1
TAZNAKHT	OUARZAZATE	Draa	Souss-Massa-Draâ	Sahara	1

Ville ou Centre	Préfecture ou Province	BV	Région	ABH	Phase PNA
TINGHIR	OUARZAZATE	Ziz-Rheris	Souss-Massa-Draâ	Guir Ziz	1
DAKHLA	OUED EDDAHAB	Saquia El Hamra	Oued-Eddahab-Lagouira	Sahara	1
ELARGOUB	OUED EDDAHAB	Saquia El Hamra	Oued-Eddahab-Lagouira	Sahara	2
LAGOUÏRA	OUED EDDAHAB	Saquia El Hamra	Oued-Eddahab-Lagouira	Sahara	2
EL Aïoune	OUJDA	Moulouya	Orientale	Moulouya	0
BNI DRAR	OUJDA-ANGAD	Isly	Orientale	Moulouya	2
NEIMA	Oujda-Angad	Moulouya	Orientale	Moulouya	
OUJDA	OUJDA-ANGAD	Isly	Orientale	Moulouya	1
BOUKNADEL	RABAT - SALE	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	0
RABAT	RABAT - SALE	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	0
SALE	RABAT - SALE	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	0
Sidi yahia Zaer	RABAT - SALE	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	0
Sidi Rahal	RABAT - SALE	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	0
TEMARA	RABAT - SALE	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	0
Tnine des oudayas	RABAT - SALE	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	0
AYIR	SAFI	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	2
BEDOUZZA	SAFI	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	2
BOUGUEDRA	SAFI	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	2
HRARA	SAFI	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	2
IGHOUD	SAFI	Tensift	Doukala -Abda	tensift	2
JAMAAT SHAIM	SAFI	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	2
LAAKARTA	SAFI	tensift	Doukala -Abda	tensift	
SAFI	SAFI	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	1
SEBT EL MAARIF	SAFI	Oum Er Rabia	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	
SEBT GZOUA	SAFI	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	2
SIDI AHMED	SAFI	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	tensift	2
SOUIRA KDIMA	SAFI	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	2
YOUSOUFIA	SAFI	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	tensift	2
AIN CHEGGAG	SEFROU	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	2
BHALIL	SEFROU	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	2
EL MENZEL	SEFROU	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	2
IMOUZZER KANDAR	SEFROU	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	2
RIBATE EL KHEIR	SEFROU	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	2
SEFROU	SEFROU	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	1
ZAOUÏAT BOUGRINE	SEFROU	Sebou	fès-Boulmane	Sebbou	2
BEN AHMED	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	1
BERRECHID	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	1
DEROUA	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	1
EL BOROUJ	SETTAT	Oum Er Rabia	Chaouia - ouardigha	Oum Er Rbia	2
EL GARA	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	1
GUISSER	SETTAT	Oum Er Rabia	Chaouia - ouardigha	Oum Er Rbia	2
LOULAD	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	2
OULAD ABBOU	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	2
OULAD H'RIZ SAHEL	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	2

Ville ou Centre	Préfecture ou Province	BV	Région	ABH	Phase PNA
OULAD M'RAH (HAJJAJ)	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	2
OULAD SAID	SETTAT	Oum Er Rabia	Chaouia - ouardigha	Oum Er Rbia	2
OULED ABBOU	SETTAT	Oum Er Rabia	Chaouia - ouardigha	Oum Er Rbia	
RAS EL AIN CHAOUIA	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	2
SETTAT	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	1
SIDI ALI BEN HAMDOUNE	SETTAT	Oum Er Rabia	Chaouia - ouardigha	Oum Er Rbia	
SIDI ELAIDI	Settat	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	0
SIDI RAHAL CHATAI	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	2
SOUALEM	SETTAT	Cotiers Atlantiques	Chaouia - ouardigha	Bouregreg	1
AL HOUAFATE	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	2
DAR GUEDDARI	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
Had Court	Sidi Kacem		Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	0
HAD KOURT	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	2
JORF EL MELHA	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	2
KHNICHET	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	2
M'Belksiri	Sidi Kacem	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Loukkhos	0
MECHRA BEN KSIRI	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	2
OUEZZANE	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
SIDI AL KAMEL	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	2
SIDI KACEM	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
SIDI REDOUANE	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	2
TEROUAL	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	2
ZIRARA	SIDI KACEM	Sebou	Gharb-Chrarda-Beni Hssen	Sebbou	1
AIN EL AOUDA	SKHIRATE/TEMARA	Bouregreg	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	
SKHIRAT	SKHIRAT-TEMARA	Cotiers Atlantiques	rabat-salé-zemours-zear	Bouregreg	0
EL OUATIA	TAN TAN	Saquia El Hamra	Guelmim Es-smara	Sahara	2
TAN TAN	TAN TAN	Draa	Guelmim Es-smara	Sahara	1
ASSILAH	Tanger	Tangerois	Tanger-Tétouan	Loukkhos	
DAR CHAOUI	TANGER	Tangerois	Tanger-Tétouan	Loukkhos	1
GUEZNAYA	TANGER	Tangerois	Tanger-Tétouan	Loukkhos	2
Melloussa	TANGER	Tangerois	Tanger-Tétouan	Loukkhos	0
TANGER (*)	TANGER	Tangerois	Tanger-Tétouan	Loukkhos	0
TNINE SIDI ELYAMANI	TANGER	Tangerois	Tanger-Tétouan	Loukkhos	2
AIN AICHA	TAOUNATE	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
AIN DORIJ	Taounate	sebou	fès-Boulmane	Sebbou	
AIN GDAH	TAOUNATE	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
AIN MAATOUF	TAOUNATE	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
BOUHOUDA	TAOUNATE	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
GHAFAI	TAOUNATE	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
KARIA BA MOHAMED	TAOUNATE	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
TAOUNATE	TAOUNATE	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	1
THAR ESSOUK	TAOUNATE	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebou	
THAR ESSOUK	TAOUNATE	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
TIGHZA	Taounate	sebou	fès-Boulmane	Sebbou	
TISSA	TAOUNATE	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
DEBDOU	TAOURIRT	Moulouya	Orientale	Moulouya	2
ELATOUN MELLOUK	TAOURIRT	Moulouya	Orientale	Moulouya	1
MADAGH	TAOURIRT	Moulouya	Orientale	Moulouya	2
TAOURIRT	TAOURIRT	Moulouya	Orientale	Moulouya	1

Ville ou Centre	Préfecture ou Province	BV	Région	ABH	Phase PNA
AIT IAAZA	TAROUDANNT	Souss	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	2
EL GUERDANE	TAROUDANNT	Souss	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	2
IGHERM	TAROUDANNT	Souss	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	2
OULAD BERHIL	TAROUDANNT	Souss	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	2
OULAD TEIMA	TAROUDANNT	Souss	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	1
TALIOUINE	TAROUDANNT	Souss	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	1
TAROUDANNT	TAROUDANNT	Souss	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	1
AOULOZ (*)	taroudant	souss	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	4
AKKA	TATA	Draa	Guelmim Es-smara	Sahara	1
FOUM EL HIN	TATA	Draa	Guelmim Es-smara	Sahara	1
FOUM ZGUID	TATA	Draa	Guelmim Es-smara	Sahara	1
TATA	TATA	Draa	Guelmim Es-smara	Sahara	1
AJDIR (TAZA)	TAZA	Cotiers Méditerranées	Taza-alhousseima- taounat	Loukkhos	2
AKNOUL	Taza	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Moulouya	
GUERCIF	TAZA	Moulouya	Orientale	Moulouya	1
MATMATA	TAZA	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
OUAD AMLIL	TAZA	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
OULAD ZBAIR	TAZA	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
TAHLA	TAZA	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
TAINASTE	TAZA	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebou	
TAZA	TAZA	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	1
TIZI OUASLI	Taza	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Moulouya	
ZRAZDA	TAZA	Sebou	Taza-alhousseima- taounat	Sebbou	2
DAR BNI KARRICH	TETOUAN	Cotiers Méditerranées	Tanger-Tétouan	Loukkhos	2
KARIA	TETOUAN	Cotiers Méditerranées	Tanger-Tétouan	Loukkoos	
OUAD LAOU	TETOUAN	Cotiers Méditerranées	Tanger-Tétouan	Loukkhos	1
TETOUAN (*)	TETOUAN	Cotiers Méditerranées	Tanger-Tétouan	Loukkhos	0
ALNIF	Tinghir	Draa	Souss-Massa-Draâ	Guir Ziz	
AGLOU	TIZNIT	Massa	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	2
LAKHSAS	TIZNIT	Massa	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	2
MIRLEFT	TIZNIT	Massa	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	2
SIDIIFNI	TIZNIT	Massa	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	1
TAFRAOUT	TIZNIT	Cotiers Guelmim Tiznit	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	2
TIZNIT	TIZNIT	Massa	Souss-Massa-Draâ	Souss Massa	1
EHEMAIA	Yousoufia	Cotiers Safi El Jadida	Doukala -Abda	Oum Er Rbia	
AGDZ	ZAGORA	Draa	Souss-Massa-Draâ	Sahara	2
MHAMID EL GHIZLAINE	ZAGORA	Draa	Souss-Massa-Draâ	Sahara	2
TAGOUNITE	ZAGORA	Draa	Souss-Massa-Draâ	Sahara	2
TAMEGROUTE	ZAGORA	Draa	Souss-Massa-Draâ	Sahara	2
TAZARINE	ZAGORA	Ziz-Rheris	Orientale	Guir Ziz	2
ZAGORA	ZAGORA	Draa	Souss-Massa-Draâ	Sahara	1

ANNEXE 6

Questionnaire – STEPs Industrielles

A. Présentation de l'industrie

Nom de l'Entreprise

Adresse de l'unité

Date de création

Secteur d'activité

☐ IAA

☐ ITC

☐ ICP

☐ IMME

Activité principale

Activité secondaire

B. Identification de la STEP de l'industrie

Type de procédé

Schéma synoptique

Composition des influents

Composition des effluents

Commentaires sur la STEP (filière eau)

C. Filière boue

Quantités de boues produites

Modes de traitement (si additifs, les quantifier)

Schéma de la filière boue

Équipement utilisé et durée de fonctionnement

Teneur en matière sèche avant la destination finale

Destinations des boues

D. Environnement et contexte de la STEP

Habitations (type, distance, sensibilité)

Autres infrastructures (type, distance, sensibilité)

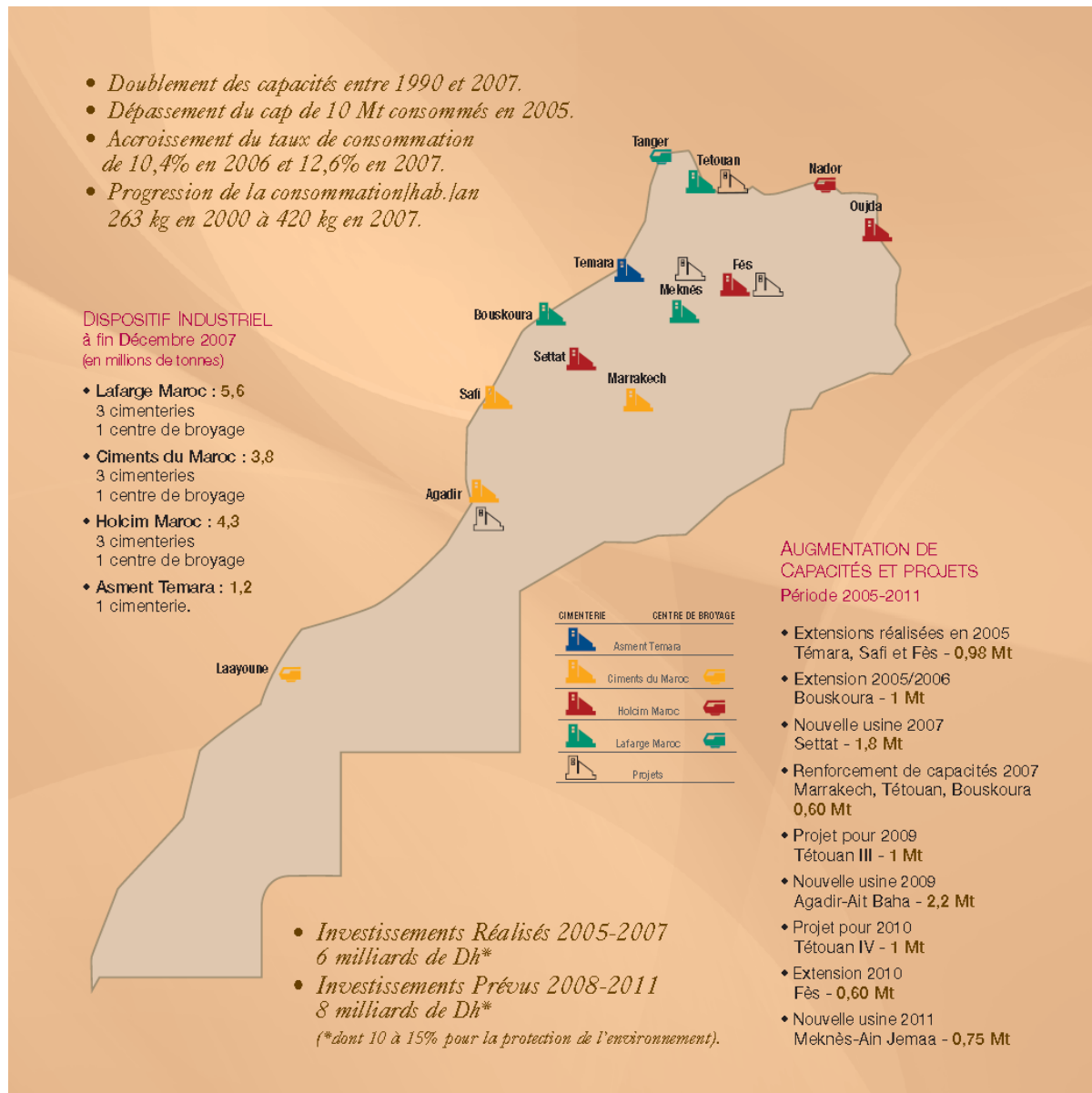
Activités agricoles (nature, potentiel, distance, etc.)

Cimenterie (capacité, distance, etc.)

Pépinières forestières et/ou ornementales etc.

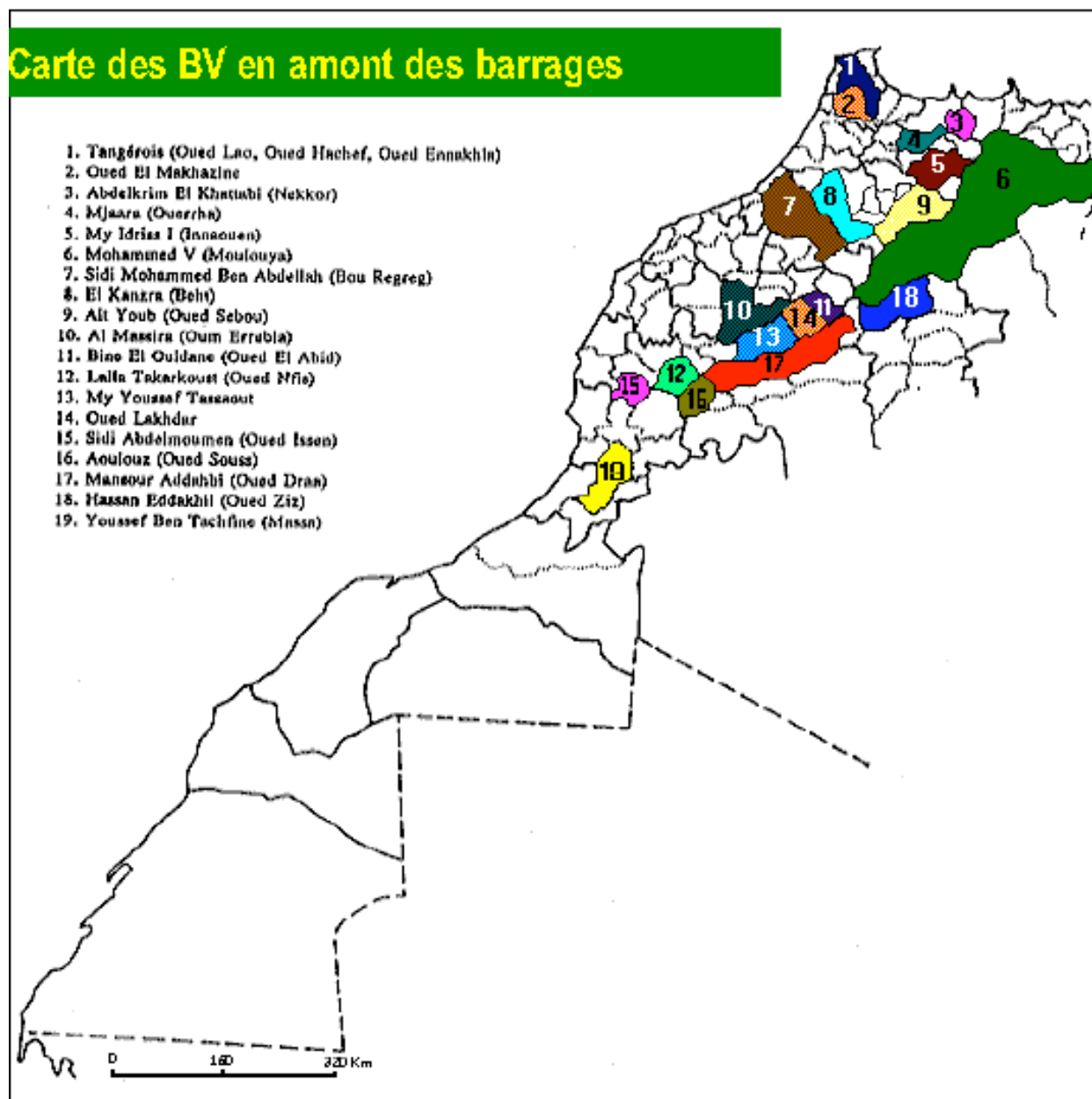
ANNEXE 7

Carte de répartition des cimenteries au Maroc (APC, <http://www.apc.ma/telechargement.php>)



Annexe 8

Carte des bassins versants en amont des barrages (rapportée par Mustapha EL HADDAD , Association Internationale Forêts Méditerranéennes Maroc, 2006)



Annexe 9

Fiche sur les unités industrielles visitées

Dans le but d'avoir une idée générale sur les modes actuels de gestion de boues, des visites sont organisées vers quelques STEP industrielles. Le choix des STEP visitées a été conditionné par la possibilité d'accès.

Les STEP industrielles visitées sont en nombre de trois correspondants respectivement à l'activité de boissons gazeuses (IAA), traitement de surface (IMME) et textile (ITC).

Les échantillons de boues prélevés lors de ces visites ont été analysés aux laboratoires du Département Ressources Naturelles et Environnement à l'Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II, et du Centre National de l'Energie, des Sciences et des Techniques Nucléaires (CNESTEN).

Description des unités visitées

Unité de Textile

La STEP de l'unité de textile visitée a été mise en service en 2009. Elle a été construite à l'aide de l'octroi du financement par le fond de dépollution industrielle (FODEP).

Le mode de fonctionnement de ladite station est permanent avec une capacité maximale de l'ordre de **5000m³/j**, tandis que le débit actuel entrant est de **1500m³/j**, car l'unité industrielle est encore en chantier, elle renferme une ligne de Traitement des eaux usées et une ligne de Traitement des boues.

Traitement des boues

Après le traitement physico-chimique de l'eau usée et qui constitue aussi un traitement favorisant la formation de floccs de boues, la boue en sortie subit une déshydratation par le biais d'un filtre à bande.

Pendant notre visite, la boue concernée est celle extraite du bassin du physico-chimique ; alors que le curage des bassins d'oxydation biologique n'est pas encore réalisé puisque la mise en service de la station est récente.

La capacité du traitement du filtre à presse est de **850 kg de boue/j**, or le volume de boues produit est varié entre **750 et 800 Kg/j**.

Unité de traitement de surface

La station d'épuration des eaux usées de l'unité dont l'activité principale est la galvanisation à chaud, est mise en place en 2002. Elle est mise par l'industriel lui-même, sans financement étranger, vu la conscience des responsables de l'approche du développement durable et préservation de l'environnement.

La capacité maximale de la station se traduit par un débit nominal de **72m³/j**, et qui présente aussi le débit entrant actuel, ce qui peut perturber le système en cas d'augmentation de production par l'unité.

La station d'épuration de l'unité assure les 2 filières de traitement qui sont (i) Traitement des eaux usées (ii) Traitement des boues.

Traitement des boues

Les boues d'épuration qui sont générées par les différents bassins de traitement ainsi que celles décantées au niveau de décanteur lamellaire, sont pompées vers le filtre à presse où elles subissent une déshydratation donnant des boues à siccité meilleure.

La quantité de boue produite est d'ordre de **450kg/j**, les boues générées sont dites primaires physico-chimiques et elles sont destinées actuellement vers une décharge communale, en attendant la confirmation officielle d'élimination par co-processing dans les cimenteries Holcim (des expérimentations de boues de l'entreprise dans les fours de cimenterie sont en cours).

Unité de boissons gazeuses

La station d'épuration des eaux usées de l'unité dont l'activité principale est la fabrication et la mise en bouteille des boissons gazeuses, est très récente, elle a été mise en service le **26/ 10/2008**.

La station de l'unité est financée par le FODEP dans le cadre des projets de dépollution. La capacité maximale de la station se traduit par un débit nominal de **1000m³/j**, alors que le débit entrant est de **250m³/j**.

La station d'épuration de l'unité assure les 2 filières de traitement qui sont (i) Traitement des eaux usées (ii) Traitement des boues.

Traitement des boues

Les boues d'épuration qui sont générées par la filière du traitement des eaux usées, subissent deux traitements, qui sont (1) Epaissement dynamique par flottation indirecte (2) Déshydratation par une centrifugeuse.

Epaissement dynamique par flottation indirecte

Après le traitement de la floculation, le mélange (eaux à traiter+boues floculées) est ensuite introduit dans le flottateur. Les boues flottées sont récupérées dans un local de stockage avant d'être pompées vers une décanteuse centrifugeuse.

Déshydratation par une décanteuse centrifugeuse

Les boues épaissies sont introduites dans une centrifugeuse pour améliorer leur siccité, avant d'être évacué vers la décharge publique. La quantité des boues produites est de l'ordre de **80 à 100Kg/j**.

Résultats d'analyses des différents échantillons de boues

Paramètres mesurés		Boues de l'entreprise de boissons gazeuses	Boues de l'entreprise de textile	Boues de l'entreprise de traitement de surface
Siccité (%)		23	14	53
pH		7,449	7,287	7,047
CE (ms/cm)		1,64	8,33	12,50
Carbone organique		11	6	2
Azote kjeldehl (%MS)		2	0,76	0,09
C/N		5,5	8	22
Matière organique (% MS)		22	12	4
Azote minéral	N- NH ₄ (mg/kg MS)	252	140	140
	N-NO ₃ (mg/kg MS)	56	56	84
Phosphore assimilable ppm (mg/kg de boues)		433	77	5
Potassium ppm (mg/kg de boues)		1296	860	55
ETM ppm	Ca	8397,301	4612,00	913,208
	Ti	29,406	42,19	---
	Cr	107,066	8,10	134,771
	Mn	19,537	59,62	201,135
	Fe	1826,839	1758,50	52677,715
	Ni	29,699	6,26	52,417
	Cu	25,444	101,95	7,136
	Zn	73,241	585,14	26323,291
	Pb	76,029	9,16	38,694

ANNEXE 10 :

Estimation de la production des boues par secteur d'activité et par bassin versant

Industrie agro-alimentaire (IAA)											
Etude FODEP 2001/2002					Projection boues [tMS/an] (taux d'accroissement 1,5%)						
Code d'activité	DBO [t/an]	MES [t/an]	MES/DBO	Coefficient	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
1011	7 889,34		0,00	0,33	2 572,7	2 771,5	2 985,7	3 216,5	3 465,1	3 732,9	4 021,4
1015	19,83	0,67	0,03	0,35	6,9	7,4	8,0	8,6	9,2	10,0	10,7
1021	447,93	99,54	0,22	0,46	205,8	221,7	238,8	257,3	277,2	298,6	321,7
1022	6,50	46,77	7,20	4,64	44,4	47,9	51,6	55,5	59,8	64,5	69,4
1032	13 826,55	6 180,92	0,45	0,59	8 217,4	8 852,5	9 536,6	10 273,6	11 067,6	11 923,0	12 844,4
1041		124,90			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1042	43,96	26,64	0,61	0,69	30,3	32,7	35,2	37,9	40,8	44,0	47,4
1111	1 284,59		0,00	0,33	418,9	451,3	486,2	523,7	564,2	607,8	654,8
1112	526,86	55,79	0,11	0,39	205,3	221,2	238,2	256,7	276,5	297,9	320,9
1121	107,42	42,97	0,40	0,57	60,8	65,5	70,6	76,0	81,9	88,2	95,1
1131	6,99	3,33	0,48	0,61	4,3	4,6	5,0	5,3	5,8	6,2	6,7
1132	681,74	583,87	0,86	0,84	572,6	616,9	664,6	715,9	771,3	830,9	895,1
1141	3 696,85		0,00	0,33	1 205,5	1 298,7	1 399,1	1 507,2	1 623,7	1 749,2	1 884,4
1142	8 469,29	943,24	0,11	0,39	3 327,8	3 585,0	3 862,0	4 160,5	4 482,0	4 828,4	5 201,6
1143	4,18	5,09	1,22	1,06	4,4	4,8	5,1	5,5	6,0	6,4	6,9
1144	336,81	3 316,49	9,85	6,23	3 150,7	3 394,2	3 656,5	3 939,1	4 243,5	4 571,4	4 924,7
1151	14 327,20	4 257,97	0,30	0,50	7 226,9	7 785,4	8 387,1	9 035,3	9 733,6	10 485,8	11 296,2
1152	9 687,32	5 214,60	0,54	0,65	6 287,8	6 773,7	7 297,2	7 861,2	8 468,8	9 123,2	9 828,3
1153	156,69	146,24	0,93	0,89	138,8	149,6	161,1	173,6	187,0	201,5	217,0
1163	843,11	1 134,19	1,35	1,13	955,5	1 029,3	1 108,8	1 194,5	1 286,9	1 386,3	1 493,4
1164	1 614,48	845,07	0,52	0,64	1 033,5	1 113,4	1 199,4	1 292,1	1 392,0	1 499,6	1 615,5
1171	18 494,37	28,28	0,00	0,33	6 048,0	6 515,4	7 018,9	7 561,4	8 145,8	8 775,3	9 453,5
1173	390,77	868,38	2,22	1,66	648,5	698,6	752,6	810,7	873,4	940,9	1 013,6
1181	337,91	699,12	2,07	1,57	529,7	570,6	614,7	662,2	713,4	768,5	827,9
1211	353,67	153,11	0,43	0,59	207,2	223,2	240,5	259,0	279,1	300,6	323,9
1221	8,28		0,00	0,33	2,7	2,9	3,1	3,4	3,6	3,9	4,2
1231	253,96	14,51	0,06	0,36	91,5	98,6	106,2	114,4	123,3	132,8	143,1
1241	1 274,11	553,96	0,43	0,59	747,9	805,7	867,9	935,0	1 007,3	1 085,1	1 169,0
1242	2 141,43	927,22	0,43	0,59	1 254,7	1 351,6	1 456,1	1 568,6	1 689,8	1 820,4	1 961,1
1251	14,06	20,99	1,49	1,22	17,2	18,5	19,9	21,5	23,1	24,9	26,9
Somme	87 246,20	26 293,86			45 217,55	48 712,14	52 476,81	56 532,43	60 901,48	65 608,19	70 678,66

Industrie textile et cuir (ICT)											
Etude FODEP 2001/2002					Projection boues [tMS/an] (taux d'accroissement 1,5%)						
Code d'activité	DBO [t/an]	MES [t/an]	MES/DBO	Coefficient	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
1312	384,65	1 605,28	4,17	2,83	1 088,6	1 172,7	1 263,4	1 361,0	1 466,2	1 579,5	1 701,6
1313	41,62	74,32	1,79	1,40	58,2	62,7	67,5	72,7	78,3	84,4	90,9
1322	891,10	616,00	0,69	0,74	660,2	711,2	766,2	825,4	889,2	957,9	1 031,9
1323	847,27	1 810,05	2,14	1,61	1 362,3	1 467,6	1 581,0	1 703,2	1 834,9	1 976,7	2 129,4
1332	37,10	180,29	4,86	3,24	120,3	129,6	139,6	150,4	162,0	174,5	188,0
1333	29,78	170,45	5,72	3,76	161,9	174,4	187,9	202,4	218,1	234,9	253,1
1351	205,29	211,51	1,03	0,94	193,8	208,8	225,0	242,4	261,1	281,3	303,0
1362	65,81	260,07	3,95	2,70	177,5	191,2	206,0	221,9	239,1	257,5	277,4
1381	1 111,38	3 968,92	3,57	2,47	2 743,8	2 955,8	3 184,3	3 430,4	3 695,5	3 981,1	4 288,7
1382	19,24	186,28	9,68	6,13	177,0	190,6	205,4	221,3	238,4	256,8	276,6
1411	503,71	2 237,07	4,44	2,99	1 506,5	1 622,9	1 748,4	1 883,5	2 029,0	2 185,9	2 354,8
1421	5,08	49,16	9,68	6,13	46,7	50,3	54,2	58,4	62,9	67,8	73,0
1431	1 557,80	2 250,52	1,44	1,19	1 858,3	2 001,9	2 156,6	2 323,3	2 502,9	2 696,3	2 904,7
1511	486,05	1 740,62	3,58	2,47	1 202,9	1 295,8	1 396,0	1 503,9	1 620,1	1 745,3	1 880,2
Somme	6 185,86	15 360,54			11 357,95	12 235,74	13 181,37	14 200,08	15 297,52	16 479,77	17 753,39

Industrie Chimie et Parachimie (ICP)											
Etude FODEP 2001/2002					Projection boues [tMS/an] (taux d'accroissement 1,5%)						
Code d'activité	DBO [t/an]	MES [t/an]	MES/DBO	Coefficient	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
1621		47,53			45,2	48,6	52,4	56,5	60,8	65,5	70,6
1622	2,65	4,23	1,60	1,29	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9	5,3
1711	15 372,43	9 394,26	0,61	0,69	10 649,5	11 472,5	12 359,2	13 314,4	14 343,3	15 451,9	16 646,0
1712	873,51	1 791,13	2,05	1,56	1 359,5	1 464,6	1 577,8	1 699,7	1 831,1	1 972,6	2 125,1
1721	42,04	132,13	3,14	2,21	93,0	100,2	107,9	116,3	125,2	134,9	145,3
1722	10,80	34,09	3,16	2,22	24,0	25,8	27,8	30,0	32,3	34,8	37,5
1731	361,69	468,35	1,29	1,10	399,0	429,8	463,0	498,8	537,3	578,9	623,6
1733	17,24	22,33	1,29	1,10	19,0	20,5	22,1	23,8	25,6	27,6	29,7
1811	0,25	0,30	1,22	1,06	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
1812	13,14	15,97	1,22	1,06	13,9	14,9	16,1	17,3	18,7	20,1	21,7
1821		38,85			36,9	39,8	42,8	46,1	49,7	53,6	57,7
1831		2 451,09			2 328,5	2 508,5	2 702,4	2 911,2	3 136,2	3 378,6	3 639,7
1861		10 228,65			9 717,2	10 468,2	11 277,2	12 148,8	13 087,7	14 099,1	15 188,8
1871		32,69			31,1	33,5	36,0	38,8	41,8	45,1	48,5
2511	6 772,71	1 099,86	0,16	0,42	2 868,5	3 090,2	3 329,0	3 586,3	3 863,5	4 162,0	4 483,7
2512**	1 496,97	7 250 901,01	7 250 901,01	7 250 901,01	6 888 356,0	7 420 715,7	7 994 218,3	8 612 043,5	9 277 616,7	9 994 628,1	10 767 052,9
2522	0,57	1,71	3,00	2,13	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	1,9
2531		67,19			63,8	68,8	74,1	79,8	86,0	92,6	99,8
2541	0,87	9,60	11,09	6,98	9,1	9,8	10,6	11,4	12,3	13,2	14,3
2552	9,17	4,52	0,49	0,62	5,7	6,1	6,6	7,1	7,7	8,3	8,9
2561	1 331,74	2 071,31	1,56	1,26	1 677,1	1 806,7	1 946,3	2 096,7	2 258,8	2 433,3	2 621,4
2562		36,43			34,6	37,3	40,2	43,3	46,6	50,2	54,1
2571	12,16	69,15	5,69	3,74	65,7	70,8	76,2	82,1	88,5	95,3	102,7
2611		12,15			11,5	12,4	13,4	14,4	15,5	16,8	18,0
2623	57,34	57,34	1,00	0,93	53,1	57,2	61,6	66,4	71,5	77,1	83,0
Somme	26 375,28	7 278 991,90			29 510,78	31 791,49	34 248,46	36 895,32	39 746,74	42 818,53	46 127,71
Somme avec l'industrie chimique à base minérale					6 917 866,73	7 452 507,17	8 028 466,77	8 648 938,82	9 317 363,44	10 037 446,60	10 813 180,66

** l'industrie chimique à base minérale (un complexe chimique produisant l'acide phosphorique et de l'acide sulfurique) (on ne compte pas cet industrie, parce que ce sont des déchet spécifiques)

Industrie métallique, métallurgique et électrique (IMME)											
Etude FODEP 2001/2002					Projection boues [tMS/an] (taux d'accroissement 1,5%)						
Code d'activité	DBO [t/an]	MES [t/an]	MES/DBO	Coefficient	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
1921		73,67			70,0	75,4	81,2	87,5	94,3	101,5	109,4
2053	3,17	10,69	3,37	2,35	7,4	8,0	8,6	9,3	10,0	10,8	11,6
2073	1 255,81	216,47	0,17	0,43	539,4	581,1	626,0	674,4	726,5	782,6	843,1
2082	19,64	12,87	0,66	0,72	14,1	15,2	16,4	17,7	19,0	20,5	22,1
2211	3,23	19,97	6,18	4,04	19,0	20,4	22,0	23,7	25,5	27,5	29,6
2212		1 209,41			1 148,9	1 237,7	1 333,4	1 436,4	1 547,5	1 667,0	1 795,9
2221	0,61	3,79	6,18	4,04	3,6	3,9	4,2	4,5	4,8	5,2	5,6
2222	0,17	1,07	6,18	4,04	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
2223		5,01			4,8	5,1	5,5	5,9	6,4	6,9	7,4
2341	48,04	91,65	1,91	1,47	70,7	76,1	82,0	88,3	95,2	102,5	110,4
2356	68,10	129,93	1,91	1,47	100,2	107,9	116,2	125,2	134,9	145,3	156,6
2381		0,00			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2382	30,65	122,71	4,00	2,73	83,6	90,1	97,0	104,5	112,6	121,3	130,7
Somme	1 429,43	1 897,24			2 062,69	2 222,11	2 393,84	2 578,84	2 778,15	2 992,85	3 224,15

	Industrie agro-alimentaire (IAA)						
BASSIN	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
LOUKKOS	4 582	4 936	5 317	5 728	6 171	6 648	7 161
MOULOUYA	273	294	317	342	368	396	427
SEBOU	10 552	11 367	12 246	13 192	14 212	15 310	16 493
BOUREGRERG	14 623	15 753	16 971	18 282	19 695	21 217	22 857
TENSIFT	4 766	5 134	5 531	5 959	6 419	6 915	7 450
OUM ER RBIA	1 392	1 500	1 616	1 741	1 875	2 020	2 176
DRAA	5 411	5 830	6 280	6 765	7 288	7 852	8 458
SOUSS MASSA	2 029	2 186	2 355	2 537	2 733	2 945	3 172
ZIZ GHIR	35	38	41	44	47	51	55
SAHARA	565	609	656	706	761	820	883
TOTAL	44 229	47 647	51 329	55 296	59 570	64 174	69 133

	Industrie textile et cuir (ITC)						
BASSIN	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
LOUKKOS	1 358	1 463	1 576	1 697	1 829	1 970	2 122
MOULOUYA	4	5	5	5	6	6	7
SEBOU	1 045	1 126	1 213	1 307	1 408	1 517	1 634
BOUREGRERG	7 942	8 556	9 217	9 929	10 697	11 523	12 414
TENSIFT	818	882	950	1 023	1 102	1 187	1 279
OUM ER RBIA	57	61	66	71	77	83	89
DRAA	4	5	5	5	6	6	7
SOUSS MASSA	5	6	6	6	7	8	8
ZIZ GHIR	0	0	0	0	0	0	0
SAHARA	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	11 234	12 102	13 037	14 045	15 130	16 300	17 559

	Industrie Métallique et Métallurgique (IMME)						
BASSIN	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
LOUKKOS	177	191	205	221	238	257	277
MOULOUYA	65	70	75	81	87	94	101
SEBOU	247	266	287	309	332	358	386
BOUREGRERG	1 198	1 291	1 390	1 498	1 613	1 738	1 873
TENSIFT	3	3	3	4	4	4	4
OUM ER RBIA	0	0	0	0	0	0	0
DRAA	0	0	0	0	0	0	0
SOUSS MASSA	1	1	1	1	1	2	2
ZIZ GHIR	0	0	0	0	0	0	0
SAHARA	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL	1 691	1 822	1 962	2 114	2 277	2 453	2 643

	Industrie Chimique et Parachimique (ICP)						
BASSIN	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
LOUKKOS	629	678	730	786	847	912	983
MOULOUYA	370	398	429	462	498	536	578
SEBOU	12 856	13 849	14 920	16 073	17 315	18 653	20 094
BOUREGRERG	1 958	2 109	2 272	2 448	2 637	2 841	3 060
TENSIFT	752	810	873	940	1 013	1 091	1 175
OUM ER RBIA	121	130	140	151	162	175	189
DRAA	31	34	36	39	42	45	49
SOUSS MASSA	1 839	1 981	2 134	2 299	2 476	2 668	2 874
ZIZ GHIR	0	1	1	1	1	1	1
SAHARA	1	1	1	1	1	2	2
TOTAL	18 556	19 991	21 535	23 200	24 993	26 924	29 005

	Bassin versant	Industrie métallique, métallurgique et électrique (IMME)								
		Etude FODEP 2001/2002				Projection boues [tMS/an] (taux d'accroissement 1,5%)				
		DBO ₅ [t/an]	MES [t/an]	MES/DBO	Coeffi- cient	2010	2015	2020	2025	2030
1	Saquia El Hamra									
2	Massa									
3	Côtiers Guelmim Tiznit									
4	Côtiers Essaouira									
5	Draa									
6	Souss	2,5	0,4	0,2	0,4	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7
7	Tensift					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	Côtiers Safi El Jadida		3,0			3,3	3,6	3,8	4,1	4,5
9	Oum Er Rabia	0,1	0,4	3,3	2,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
10	Côtiers Atlantiques	868,4	1 493,0	1,7	1,4	1 368,2	1 474,0	1 587,9	1 710,6	1 842,8
11	Loukous	0,2	1,0	5,0	3,3	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0
12	Ziz-Rheris					0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	Moulouya	0,2	68,0	425,0	255,3	75,0	80,8	87,0	93,7	101,0
14	Isly	0,1	0,3	3,8	2,6	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3
15	Côtiers Méditerranées	1,4	5,0	3,6	2,5	4,0	4,3	4,7	5,0	5,4
16	Tangerois	29,4	182,0	6,2	4,0	200,7	216,2	232,9	250,9	270,3
17	Sebou	527,1	125,0	0,2	0,5	286,5	308,6	332,5	358,2	385,9
18	Bouregreg	0,2	20,0	111,1	67,0	22,1	23,8	25,6	27,6	29,7
	Total	1 429,4	1 898,1			1 962,32	2 113,97	2 277,35	2 453,35	2 642,96

ANNEXE 11

Avantages et inconvénients des différentes techniques d'épaississement

Techniques		Avantages	Inconvénients
Epaississement statique gravitaire		- simplicité et facilité d'exploitation	- Système intensif - Temps de séjour important : ▪ Risque de nuisances olfactives ▪ Risque de recirculation de pollution en tête de la STEP
Epaississement Dynamique :	Flottation	- Temps de séjour faible - traitement rapide sans anaérobiose - simplicité et facilité de l'exploitation	- Consommation d'énergie élevée : ▪ Boue classe B1 :100KWh/tMS ▪ Boue classe B2 :130KWh/tMS
	Table d'égouttage	- simplicité et facilité de l'exploitation	- Consommation importante d'eau pour lavage - Nécessité d'utilisation des polymères - Consommation d'énergie électrique : 50Kwh/ tMS
	centrifugation	- Faible temps de séjour - Système extensif - Système facilement automatisable - siccité élevée	- Consommation d'énergie ▪ Boue classe B1 :150KWh/tMS ▪ Boue classe B2 :200KWh/tMS - pollution sonore - détérioration de la texture de la boue.

ANNEXE 12

Récapitulatif sur les performances de déshydratation des boues industrielles et consommations en adjuvants

Performances en déshydratation de boues industrielles⁹⁵

Modes de déshydratation	Origine des boues	Type de boues	Siccité %	Consommation de polymère
Décantation centrifuge	Brasserie	Biologiques (digérées)	18-22	Polymère cationique 10-12 kg/tMs
	Conserverie	Primaires	11-15	Polymère cationique 8-10 kg/tMs
	Distillerie	Primaires	20-25	non
	Laiterie	Biologiques	10-13	Polymère cationique 6-10 kg/tMs
	Papeterie	Primaires	30-40	Polymère cationique 2-3 kg/tMs
Filtres à bandes	Chimie	Primaires + biologiques	25-30	Polymère anionique 2 kg/tMs
	Métallurgie	Primaires	14-17	Polymère anionique 2 kg/tMs
	Tanneries	Primaires	15-16	Polymère cationique
	Textiles	Biologique	15	Polymère cationique
Filtres à plateaux	Abattoirs de volaille	Physico-chimiques	35-40	40-50% chaux
	Carrière	Primaires	70-80	Polymère
	Papeterie	Primaires	30-40	----
	Papeterie	Biologiques	12-16	Polymère 6kg/tMS
	Tannerie	Physico-chimiques	28-30	---

Consommation d'adjuvants de floculation pour différents modes déshydratation

Agréгат de déshydratation	Consommation d'adjuvants de floculation [kg/t MS]	
	produits poudreux (100 % de substance effective)	produits liquides (40 % de substance effective)
Centrifugeuse	2 – 5	4 – 10
Filtre-presse à chambres	1 – 4	3 – 8
Filtre-presse à bande	3 – 5	5 – 9

⁹⁵ Source : Dauvergne, 2007.

Comparaison des consommations spécifiques des adjuvants de floculation en Allemagne

Type d'agents	Quantité de dosage
Agents de conditionnement organiques : - polyélectrolytes (PE) cationiques - polyélectrolytes (PE) - polymères linéaires ou branchés, - hydrosolubles, synthétiques	2 – 6 kg/t de résidu sec
Agents de conditionnement inorganiques : - suspension d'hydroxyde de calcium $[Ca(OH)_2]$	9 – 13 kg/m ³
Agents de conditionnement inorganiques : solution de sel de fer	2,5 – 10 kg/m ³

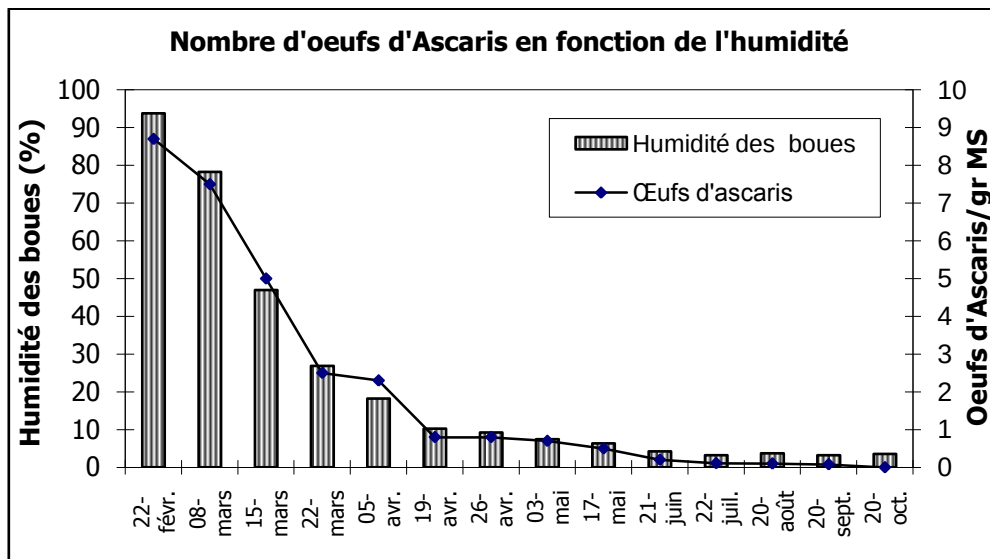
ANNEXE 13

Rapport de C/N de quelques matières organiques

Matière additive	C/N
Tiges de maïs	60 - 73
Paille	48 - 150 (80)
Ecorce de bois de feuillus (arbres à feuillage caduc)	116 - 436 (223)
Ecorce de bois de résineux	131 - 1285 (496)
Papier de journal	398 - 852
Sciure de bois	200 - 750
Copeaux de bois	212 - 1313 (641)
Feuilles	40 - 80 (54)

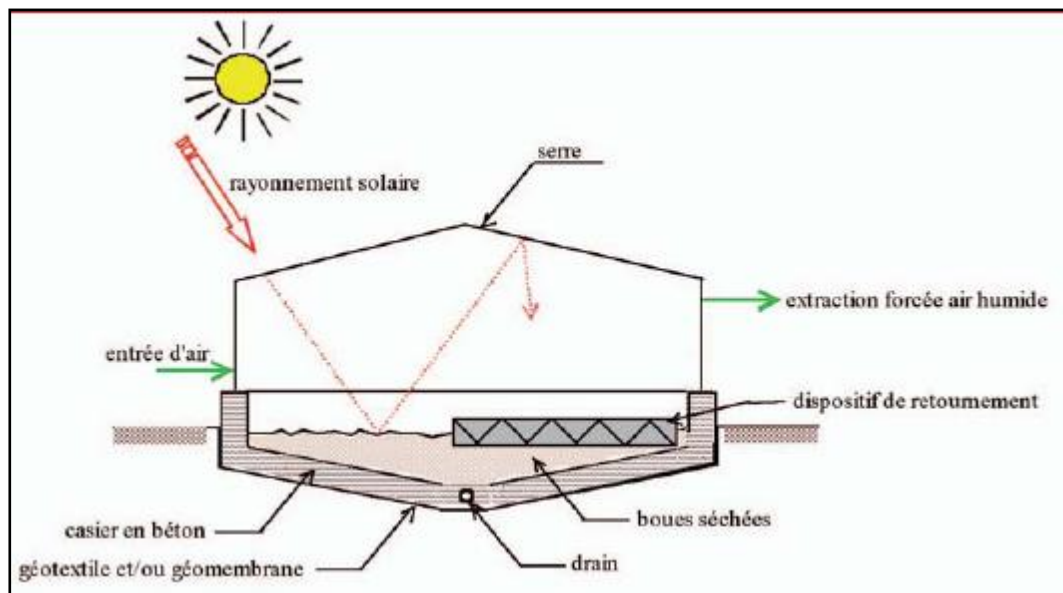
ANNEXE 14

Evolution de l'humidité des boues et du nombre d'œufs d'Ascaris dans les boues en lits sur lits de séchage de la STEP de Ouarzazate



ANNEXE 15

Principe de séchage naturel sous – serre ⁹⁶

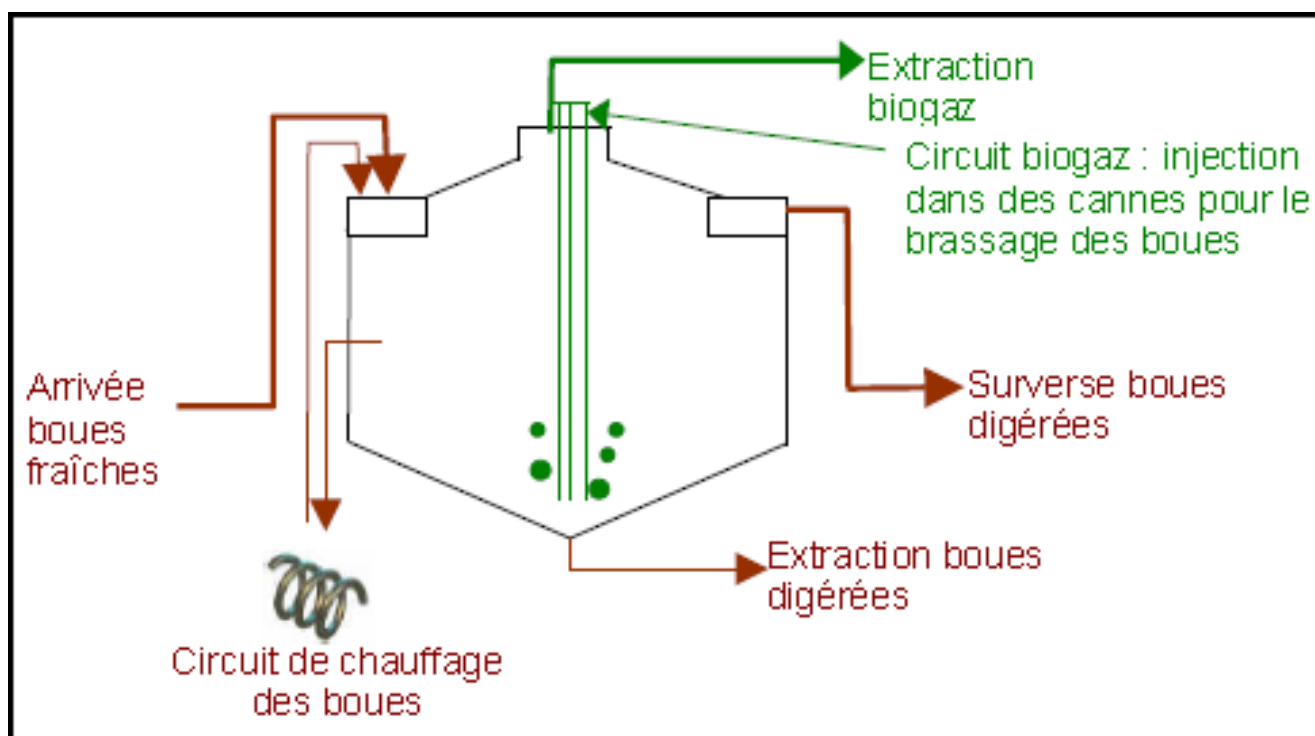


⁹⁶

Source : Les procédés "écologiques" pour le traitement des boues urbaines. L'Eau , L'Industrie, les nuisances , N° 286 - Patricia Le Strat, 2006.

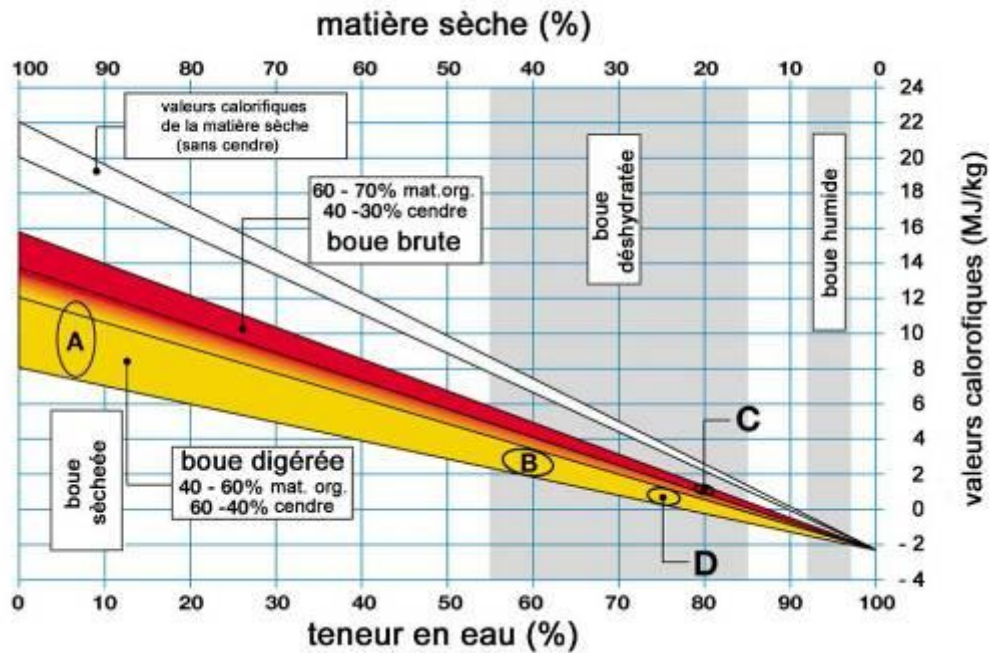
ANNEXE 16

Schéma de principe de digestion des boues et de production de biogaz



ANNEXE 17

Valeur calorifique des boues d'épuration

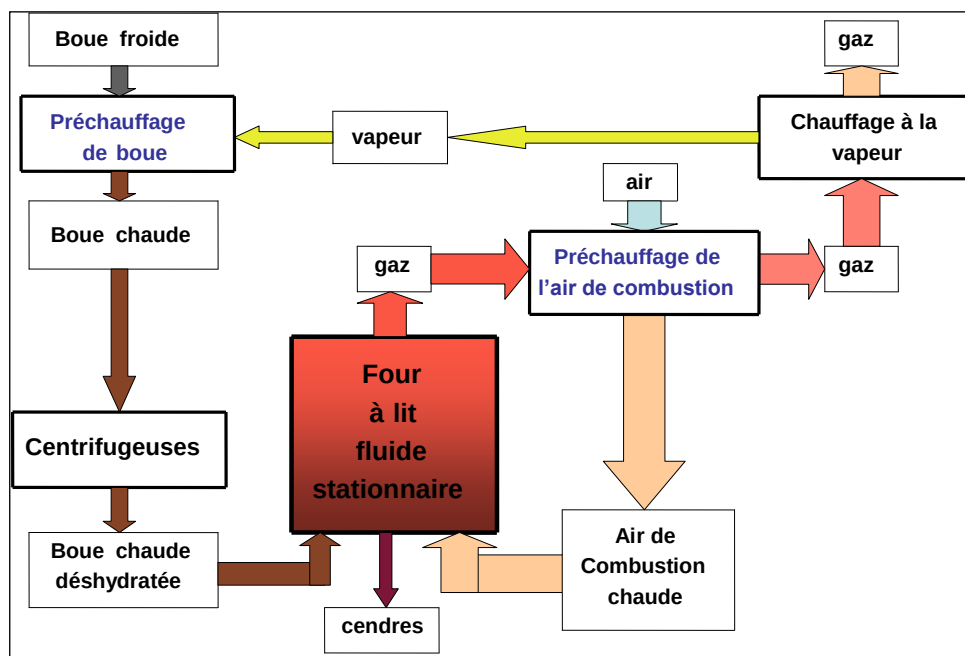


Toutefois, c'est la teneur en eau de la boue qui a la plus grande influence sur la valeur calorifique. Des boues humides à des teneurs en eau entre 90 et 95 % ou bien une teneur en matière sèche entre 5 et 10 %, stabilisées ou non, ont des pouvoirs calorifiques négatifs. Seulement à partir d'une déshydratation se soldant par une siccité de 20 à 25 % ou bien une teneur en eau de 80 à 75 % résulte une valeur calorifique d'environ 1.000 kJ/kg (les points C et D dans la figure ci-dessus). Pour cette raison il est impossible d'incinérer des boues déshydratées par des tamis à bandes presseuses sans utiliser de l'énergie additionnelle.

Jusqu'à présent, même en utilisant des centrifugeuses il est impossible d'atteindre des taux de déshydratation nécessaires pour l'incinération. Car elles n'atteignent que des teneurs en matières solides jusqu'à 35 % ou bien des teneurs en eau jusqu'à 65 %, à tel point que la valeur calorifique ne s'améliore qu'à environ 2.500 kJ/kg (dans la zone du point B de la figure ci-dessus).

ANNEXE 18

Schéma de principe de four à lit fluide stationnaire



ANNEXE 19

Teneurs limites en éléments traces métalliques dans des boues (mg/kg MS), selon les différents pays de l'Union Européenne (UE) et la Suisse⁹⁷

ETATS	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn	As	Mn	F	Co
UE	20 à 40	1000 à 1750	1000 à 1750	15 à 25	300 à 400	750 à 1200	100(a)-200(b)	2500 à 4000	-	-	-	-
France	20(a) à 40 (b)	1000(a) à 2000 (b)	1000 (a) à 2000 (b)	10(a) - 20 (b)	200(a)-400(b)	800(a)-1600(b)	-	3000(a)-6000(b)	-	-	-	-
Allemagne	5-10 (c)	900	800	8	200	900	-	200-2500(d)	-	-	-	-
Belgique - Wallonie - Flandre	10 (a) à 20 (b) 12	500 500	600(a) à 1000 (b) 750	10(a) à 16(b) 10	100(a)-300(b) 100	500(a)-750(b) 600	-	200(a)-2500(b) 2500	-	-	-	-
Danemark	0.8* - 200**	100*	1000*	0.8* - 200**	30* - 2500**	60*(g)-120*(g) -10000**	-	4000*	25(f) *	-	-	-
Espagne - pH du sol < 7 - pH du sol > 7	20 40	1000 1500	1000 1750	16 25	300 400	750 1200	-	2500 4000	-	-	-	-
Grèce	20 à 40	-	1000 à 1750	16 à 25	300 à 400	750 à 1200	-	2500 à 4000	-	-	-	-
Irlande	20	-	1000	16	300	750	-	2500	-	-	-	-
Italie	20	(e)	1000	10	300	750	-	2500	-	-	-	-
Luxembourg	20 à 40	1000 à 1750	1000 à 1750	16 à 25	300 à 400	750 à 1200	-	2500 à 4000	-	-	-	-
Pays Bas	1.25	75	75	0.75	30	100	-	300	15	-	-	-
Portugal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Royaume Uni(h)	-	-	-	-	-	1200 (h)	-	-	-	-	100 0	-
Suisse	5	500	600	5	80	500	-	2000	-	20	-	60
Valeur de référence ; Valeur limite Valeur abaissée à 5 mg/kg si épandage sur sols sableux et 5< pH < 6, sinon 10 mg/kg Valeur abaissée à 2000 mg/kg si épandage sur sol sableux et 5< pH < 6, sinon 2500 mg/kg (e) Valeur abaissée à 80 mg/kg MS si usage en jardinage domestique sinon 120 mg/kg												
Valeur à prendre en compte si usage en jardinage domestique Valeur abaissée à 60 mg/kg si usage en jardinage domestique sinon 120 mg/kg Valeurs réglementaires du S.I. n° 1263 (1989) * Valeur exprimée par rapport à la matière sèche ** valeur exprimée par rapport à la teneur en phosphore (P)												

⁹⁷ Source : Traiter et valoriser les boues. Collection. Ouvrage collectif OTV. Paris 86240 Ligugé - OTV, 1997

ANNEXE 20

Teneurs limites en éléments traces métalliques dans les sols agricoles (mg/kg sol sec), selon les différents pays de l'Union Européenne (UE) et la Suisse⁹⁸

ETATS	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn	As	Mo	F	Co	Ti
UE pH 6 à 7	1 à 3	100 à 200	50 à 140 (a)	1 à 1.5	30 75 (a)	50 à 300	150 à 300 (a)	-	-	-	-	-	-
France pH > 6	2	150	100	1	50	100	-	300	-	-	-	-	-
Allemagne	1-1.5 (b)	100	60	1	50	100	10	150 à 200 (b)	-	-	-	-	-
Belgique													
Wallonie pH > 6	1	100	50	1	50	100	-	150 à 200 (c)	-	-	-	-	-
Flandre, sols sableux	1	100	50-75 (d)	1	60-45(d)	50	-	150 à 225(d)	-	-	-	-	-
Flandre autres sols	3	150	140	1.5	75	300	-	300	-	-	-	-	-
Danemark													
Espagne													
- pH < 7	1	100	50	1	30	50	-	150	-	-	-	-	-
- pH > 7	3	150	210	1.5	112	300	-	450	-	-	-	-	-
Grèce	1 à 3	-	50 à 140	1 à 1.5	30-75	50 à 300	-	150 à 300	-	-	-	-	-
Irlande													
pH < 7	1	-	50	1	30	50	-	150	-	-	-	-	-
pH > 7	1.5	-	175	1.5	45	75	-	225	-	-	-	-	-
Italie	1.5	(e)	100	1	75	100	-	300	-	-	-	-	-
Luxembourg (f)	1 à 3	100 à 200	50 à 140 (a)	1 à 1.5	30 à 75(a)	50 à 300	-	150 à 300(a)	-	-	-	-	-
Pays – Bas	0.8	100	36	0.3	35	85	-	140	-	-	-	-	-
Portugal	Les teneurs - limites ne figurent pas dans l'arrêté: celles proposées par l'UE sont à l'étude et devraient être retenues												
Royaume Uni													
- Terres labourées (25 cm)													
pH 5 à 5.5	3(h)	40	80(h)	1(h)	50(h)	300(h)	3	200(h)	50	4	500	-	-
pH 5.5 à 6	3(h)	400	100(h)	1(h)	60(h)	300(h)	3	250(h)	50	4	500	-	-
pH 6 à 7	3(h)	400	135(h)	1(h)	75(h)	300(h)	3	300(h)	50	4	500	-	-
pH > 7	3(h)	400	200(h)	1(h)	110(h)	300(h)	3	450(h)	50	4	500	-	-
Sous pâture (7.5 cm)													
pH 5 à 5.5	3.5(i)	600	130	1.5	80	300	5	300	50	4	500	-	-
pH 5.5 à 6	3.5(i)	600	170	1.5	100	300	5	420	50	4	500	-	-
pH 6 à 7	3.5(i)	600	225	1.5	125	300	5	500	50	4	500	-	-
pH > 7	3.5(i)	600	300	1.5	180	300	5	750	50	4	500	-	-

⁹⁸ Source : Idem

ANNEXE 21

NORMES EN ETM DE DIFFERENTS PAYS

D'autres normes relativement plus anciennes et mettant en exergue l'importance du paramètre pH sont rapportées dans le tableau ci-dessous. Ces normes précisent également le taux annuel maximum à ne pas dépasser sur une période de 10 années.

Concentrations maximales permises des Eléments Potentiellement Toxiques (EPT) dans le sol après application des boues résiduaires et taux annuel maximum d'addition⁹⁹

EPT	Concentration maximale permise (mg/kg matière sèche)				Taux annuel maximum d'addition des EPT au sol durant une période de 10 ans (kg/ha) 3
	pH1 5.0 < 5.5	pH1 5.5 < 6.0	pH 6.0 - 7.0	pH2 > 7.0	
Zn	200	250	300	450	15
Cu	80	100	135	200	7,5
Ni	50	60	75	110	3
Cd	35				0,15
Pb	300				15
Hg	1				0,1
Cr	400				15
*Mo4	4				0,2
*Se	3				0,15
*As	50				0,7
*F	500				20

* Ces normes ne sont pas sujettes à la Directive 86/278/EEC.

- 1 Pour les sols ayant un pH dans la gamme de 5.0 < 5.5 et 5.5 < 6.0 les concentrations permises en Zn, Cu, Ni et Cd seront révisées lorsque leurs effets sur les cultures et les animaux d'élevage sont complètement élucidés.
- 2 L'augmentation de la concentration de EPT dans les sols à pH supérieur à 7 est appliquée seulement lorsque la teneur du sol en carbonates de calcium est supérieure à 5 %.
- 3 Le taux annuel d'addition de EPT est déterminé par la moyenne sur une période de 10 ans
- 4 Le niveau de sécurité de Mo est de 4 mg/kg. Dans cette situation, il faut tenir compte de la concentration en molybdène natif du sol.
- 5 Pour un pH supérieur ou égal à 5

D'autres normes concernant les principaux éléments traces métalliques rencontrées dans les boues sont adoptées pour l'estimation des doses évitant le dépassement des valeurs seuils (tableau suivant). Au lieu du pH, ces normes considèrent la Capacité d'Echange Cationique du sol qui renseigne sur sa capacité d'adsorption et de chélation des métaux lourds dans les complexes organo-minéraux.

⁹⁹ Source : Département de l'Environnement, Royaume Uni, 1989.

Valeurs cumulatives limites pour les principaux métaux lourds applicables aux sols cultivés en fonction de la CEC*¹⁰⁰

Métal	Teneur cumulative dans le sol en kg/ha) en fonction de la CEC		
	CEC < 5	5 < CEC < 15	CEC > 15
Pb	560	1120	2240
Zn	280	560	1120
Cu	140	280	560
Ni	140	280	560
Cd	5	10	20

* (CEC : Capacité d'Echange Cationique exprimée en méq/100 g de sol) et pour des valeurs de pH du sol maintenues supérieures à 6,5

On peut déduire de ces normes que dans les sols de texture sableuse, ayant généralement une CEC faible, on tolère des valeurs cumulatives plus faibles que dans les sols plus argileux de CEC plus élevée et donc de capacité d'adsorption plus importante. Ces normes ne sont valables que dans les sols ayant un pH supérieur à 6.5. En effet, la plupart des métaux lourds sont solubles et donc toxiques à des pH acides. Lorsque le pH est basique, la plupart de ces métaux précipitent et deviennent faiblement réactionnels.

Etant donné le lien existant entre la CEC et la teneur en argile, d'autres normes plus simples sont basées sur la classe texturale du sol (tableau suivant). Toutefois, ces normes demeurent critiquables dans la mesure où la CEC dépend également de la nature minéralogique des argiles.

Quantités maximales (en kg/ha) pouvant être accumulées dans les sols¹⁰¹

Métal	Classe texturale du sol		
	Sablo-limoneux et limon-sableux	Sableux fin – limoneux, sableux très fin limoneux, limoneux	Argilo-limoneux, sablo – argilo – limoneux, sablo – argileux et argileux
Cd	0.5	0.5	5
Zn	10	30	60
Cu	5	14	30
Ni	2	6	10
Pb	20	60	110
Cr	20	60	110

Le tableau suivant présente des valeurs limites pour la récupération des boues en Allemagne. Le but ou l'idée fondamentale de ces limites est que la teneur naturelle du sol p. ex. en métaux lourds ne soit pas dépassée même avec une durée d'application de boues de plus de 100 (cent) ans.

¹⁰⁰ Source : US. EPA, 1987.

¹⁰¹ Source : Criteria and recommendation for land application of sludges in the Northeast. Bulletin 851. PA State Univ. Agr. Exp. Stat., University Park, PA. - Baker, D. F. et Bouldin, D.R. et Elliott, H.A. et Miller, J.R. ; 1985

Valeurs limites pour la récupération des boues en Allemagne

Elément	Unité	Valeur limite
Cadmium (Cd)	mg/kg sol	10 (5)*
Mercuré (Hg)	mg/kg	8
Cuivre (Cu)	mg/kg	800
Zinc (Zn)	mg/kg	2500 (2000)*
Plomb (Pb)	mg/kg	900
Nickel (Ni)	mg/kg	200
Chrome (Cr)	mg/kg	900

Entre-temps, on discute en Allemagne (et, en partie, en Europe aussi) le renforcement ultérieur de ces valeurs limites. Le but, dans une évaluation par rapport aux charges, est de limiter l'input de matières polluantes de telle manière d'assurer un certain équilibre entre l'input par les boues et la décharge ou la dégradation (cas des matières polluantes organiques). Sur la base de valeurs limites justifiées par la science, il doit être assuré qu'à long terme, aucune concentration de matières polluantes ne se produit dans le sol. Sur cette base, il est alors possible de décider sur la valorisation agricole.

ANNEXE 22

NORMES TUNISIENNES SUR LES ELEMENTS TRACES METALLIQUES

Les normes tunisiennes enregistrées (NT 106.20, 2002), exprimées en terme de concentration totale maximale admissible (CMA) et terme de flux maximum cumulé (FMC) après 10 années, sont rapportées dans le tableau suivant.

Normes tunisiennes d'éléments traces métalliques

Eléments traces	CMA (mg/kg de MS de boue)	FMC (g/m ²)
Cd	20	0,06
Cr	500	3,00
Cu	1000	3,00
Hg	10	0,03
Ni	200	0,60
Pb	800	3,00
Zn	2000	9,00

Notons que la plupart des sols du Proche-Orient et d'Afrique du nord, à l'exception de quelques zones isolées, le pH des sols est à dominance neutre à franchement basique. Dans ce contexte, les seuils tolérés peuvent être majorés par rapport à la plupart des valeurs limites des pays du nord de l'Europe où les sols sont plus acides.

ANNEXE 23

DONNEES SUR LES ELEMENTS PATHOGENES DANS LES BOUES

Pathogènes communément rencontrés dans les boues résiduelles et les maladies qui leur sont associées¹⁰²

Type d'organismes	Pathogènes
Bactérie	Salmonelle Mycobactérium Shigella Escherichia Coli Leptospires
Virus	Enterovirus Adénovirus Virus hépatique
Protozoaire	Toxoplasme Giardia
Nématodes ou helminthes	Ascaris Toxocara
Cestodes	Ténia

Selon les directives françaises (Arrêté du 8 janvier 1998 relatif aux épandages de boues sur les sols agricoles), les seuils de références pour les teneurs en micro-organismes pathogènes dans les boues hygiénisées sont rapportés dans le tableau suivant.

Seuils de référence pour les teneurs en micro-organismes dans les boues¹⁰³

Salmonelles	Entérovirus	œufs d'helminthes pathogènes viables
< 8 NPP/10 g MS	< 3 NPPUC/10 g MS	< 3/10 g MS

NPP : Nombre le Plus Probable

NPPUC : Nombre le Plus Probable d'Unités Cytopathiques

MS : Matière Sèche

¹⁰² Source : Selon différentes sources citées par Hunt, 1984.

¹⁰³ Source : Directives françaises selon l'arrêté du 8 janvier 1998 relatif aux épandages de boues sur les sols agricoles.

ANNEXE 24

Exemples de substances dangereuses existant dans les boues d'épuration

Exemples des substances dangereuses existant dans les boues d'épuration en concentration critique¹⁰⁴

Groupe	Sous-groupe	concentration critique dans les boues
les produits chimiques industriels	alkylphénols	p-nonylphénol nonylphénol
	bisphénols	bisphénol A
	hydrocarbures halogènes	AOX, 1,4 dichlorobenzène, PCDD/F, tétrachloroéthylène
	muscs polycycliques	Galaxoide, Tonalid
	hydrocarbures aromatiques polycycliques	le total des hydrocarbures aromatiques polycycliques
	polychlorobiphényles	le total de 6 PCB et PCB-52, PCB-101, PCB-126, PCB138, PCB-153
	phthalates	dibutyle phthalate, di-éthylhexylphthalate DEHP
	agents tensioactifs	alkylebenzène sulfonate
les pesticides	organoétains	dibutylétain, tetradibutylétain

¹⁰⁴ Source : Literatúrauswertung zum Vorkommen gefährlicher Stoffe im Abwasser und in Gewässern. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben im Auftrag des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, unveröffentlicht - Ivashechkin, P., Pinnekampl, J. (2005)

ANNEXE 25

Proposition de valeurs limites pour les polluants organiques (Allemagne)

L'amendement relatif au décret allemand sur les boues d'épuration prévoit des valeurs limites plus strictes et, en outre, de nouvelles valeurs limites pour les substances organiques. Des propositions pour les valeurs limites empruntées du décret sur les boues d'épuration allemand.

Polluants organiques	Valeur limite (en mg/kg)	
	Actuelle	Proposition 2007
AOX	500 (mg/kg MS)	400 (mg/kg MS)
PCB (No. 28, 52, 101, 138, 153, 180)	0,2 (par congénère)	0,1 (par congénère)
dioxins/furanes (PCDD/PCDF)	100 (ng/kg MS)	30 (ng/kg MS)
benz(a)pyrène	-	1 mg/kg MS
agents tensioactifs perfluorés	-	200/100 (µg/kg MS)