



ASSISTANCE TECHNIQUE AU PROGRAMME DE DEVELOPPEMENT DE L'ALIMENTATION EN EAU POTABLE RURALE ET DE L'ASSAINISSEMENT- PHASE II

RESULTAT 7.2:

ETUDE D'OPPORTUNITES DE VALORISATION DES BOUES DES STEP-ONEE : PLAN PRIORITAIRE D'INTERVENTION POUR LES STEPs d'AL HOCEIMA ET DE NADOR

RAPPORT FINAL

Préparé par les experts :
Brahim SOUDI (Coordonnateur)
Félicien PONCELET
Raoul GRELA

Octobre, 2016

TABLE DES MATIERES

<u>LISTE DES ABREVIATIONS</u>	5
<u>I. CADRE ET OBJECTIFS DE LA PRESTATION</u>	6
<u>II. ELIMINATION ET VALORISATION DES BOUES D'EPURATION AU MAROC : CONTRAINTES ET ISSUES</u>	8
<u>III. DIAGNOSTIC DE SITUATION DANS LES STEPS D'AL HOCEIMA ET DE NADOR</u>	10
III.1. STEP DE NADOR	10
III.1.1. CONTEXTE DE MISE EN PLACE DE LA STEP	10
III.1.2. DESCRIPTION DE LA FILIERE « EAU »	10
III.1.3. DESCRIPTION DE LA FILIERE « BOUES »	11
III.1.4. QUANTITE ET QUALITE DES BOUES PRODUITES	11
III.1.5. DESTINATIONS ACTUELLES ET POINTS DE BLOCAGE	12
III.2. STEP D'AL HOCEIMA	13
III.2.1. DESCRIPTION DE LA STEP	13
III.2.2. DESCRIPTION DE LA FILIERE « EAU »	14
III.2.3. FILIERE DE TRAITEMENT « BOUES »	14
III.2.4. GISEMENT ET QUALITE DES BOUES PRODUITES	14
III.2.5. DESTINATIONS ACTUELLES ET POINTS DE BLOCAGE	15
<u>IV. APERÇU SUR LES REFERENCES ET TENDANCES INTERNATIONALES EN MATIERE DE GESTION DES DECHETS</u>	17
IV.1. PRINCIPALES FILIERES ADOPTEES A L'INTERNATIONAL ET LEUR ADAPTABILITE DANS LES ZONES DE L'ETUDE	17
IV.1.1. MODES DE PRE-TRAITEMENT AVANT ELIMINATION ET/OU VALORISATION	17
IV.1.1.1. Séchage sous serre	17
IV.1.1.2. Stabilisation	20
IV.1.1.3. Conclusion	21
IV.1.2. LES FILIERES COMMUNES D'ELIMINATION ET DE VALORISATION	22
IV.1.2.1. Valorisation verte	22
IV.1.2.2. Valorisation énergétique	24
IV.1.2.3. Mise en décharge	27
IV.1.3. REVUE DES PRINCIPALES DESTINATIONS DES BOUES AU NIVEAU EUROPEEN ET DANS LES PAYS DU MENA	29
IV.1.3.1. Union Européenne (UE)	29
IV.1.3.2. Allemagne	29
IV.1.3.3. Canada : le Québec	30
IV.1.3.3. France	31
IV.1.3.4. Pays du MENA	32
	2

IV.2. REVUE SYNTHETIQUE DU CADRE REGLEMENTAIRE ADOPTE A L'INTERNATIONAL	33
IV.3. RESPONSABILITES INSTITUTIONNELLES DE GESTION DES BOUES	34
IV.4. ANALYSE DES ASPECTS REGLEMENTAIRES ET INSTITUTIONNELS SPECIFIQUES AU MAROC	35
<u>V. PROPOSITION DES OPTIONS DE GESTION DES BOUES DES DEUX STEPS</u>	<u>38</u>
V.1. LES FILIERES A PRMOUVOIR	38
V.2. CLASSEMENT DES OPTIONS DE TRAITEMENT – ELIMINATION – VALORISATION (TEV)	40
<u>VI. PRE-FAISABILITE TECHNICO-ECONOMIQUE ET DIMENSIONNEMENT DES OPTIONS PROPOSEES POUR LA GESTION DES BOUES</u>	<u>43</u>
VI.1. SECHAGE SOLAIRE SOUS –SERRE : TRAITEMENT PREALABLE COMMUN AUX DEUX SITES	43
VI.1.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT	43
VI.1.2 SELECTION DE LA MEILLEURE TECHNOLOGIE	44
VI.1.2.1. Comparaison des scénarii sur la base des données actuelles	44
VI.1.2.2. Projection 2030	45
VI.1.2.3. Distance de transport à coût constant	46
VI.2.STEP DE NADOR	47
VI.2.1. MISE EN DECHARGE	47
VI.2.1.1. Mise en décharge des boues à 20% de MS dans un nouveau site de décharge – Nador	47
VI.2.1.2. Mise en décharge des boues à 20% de MS dans des casiers spécifiques (mono-décharge) du site actuel de décharge – Nador	49
VI.2.1.3. Production de terres végétales à partir de boues à 20% de MS et de terres minérales gratuites – Nador	52
VI.2.1.4. Estimation des coûts	52
VI.2.2. VALORISATION ENERGETIQUE DES BOUES DE LA STEP DE NADOR	53
VI.2.2.1. Opportunités locales de valorisation énergétique des boues	53
VI.2.2.2. Séchage solaire sous serre	54
VI.2.2.3. Mono-incinération en chaudière industrielle	56
VI.2.2.4. Co-incinération en cimenterie	59
VI.2.2.5. Gazéification	61
La valorisation des boues de STEP par gazéification pourrait être envisagée dans le cadre d'un programme proactif, mais semble difficilement envisageable à court ou moyen terme.	63
VI.2.2.6. Carbonisation hydrothermale	63
VI.2.2.7. Comparaison des options au regard de la faisabilité	64
VI.2.3. VALORISATION VERTE	65
VI.2.3.1. Potentiel de valorisation	66
VI.2.3.2. Aptitude des sols à l'épandage	67
VI.2.3.3. Description de la technologie de compostage	69
VI.2.3.4. Estimation des coûts des options de valorisation verte	71
VI.3. STEP D'AL HOCEIMA	74
VI.3.1. MISE EN DECHARGE DES BOUES A 20% DE MS	74
VI.3.1.1. Eléments de construction et de dimensionnement du stockage	74

VI.3.1.2. Production de terres végétales à partir de boues à 20% de MS et de terres minérales gratuites – Al Hoceima	76
V.3.1.3. Estimation des coûts	76
VI.3.2. VALORISATION ENERGETIQUE	77
VI.3.2.1. Opportunités locales de valorisation énergétique des boues	77
VI.3.2.2. Production de briquettes	77
VI.3.2.3. Carbonisation hydrothermale	81
VI.3.2.4. Comparaison des options au regard de la faisabilité	81
VI.3.3. VALORISATION VERTE	82
VI.2.3.1. Potentiel de valorisation	83
IV.2.3.2. Aptitude des sols à l'épandage	84
VI.2.3.3. Estimation des coûts	85
<u>VII. CLASSEMENT DES OPTIONS DE TRAITEMENT, D'ELIMINATION ET DE VALORISATION ET RECAPITULATIF DES COUTS</u>	87
<u>VIII. CONCLUSIONSET RECOMMANDATIONS</u>	89
<u>ANNEXE 0 : COMPTE-RENDU DES VISITES DE TERRAIN ET D'ENTREVUES AVEC LES ACTEURS AU NIVEAU DES DEUX PROVINCES D'AL HOCEIMA ET DE NADOR</u>	94
<u>ANNEXE A. RESULTATS D'ANALYSE DES BOUES DES STEPS DE NADOR, ET D'AL HOCEIMA</u>	101
<u>ANNEXE B. DESCRIPTION TECHNIQUE D'AMENAGEMNT ET DE GESTION DE LA MISE EN DECHARGE DES BOUES DE STATION D'EPURATION</u>	102
<u>ANNEXE C : DETAIL DE CALCUL DES COUTS ET BILAN PREVISIONNELS DES OPTIONS DE MISE EN DECHARGE DES BOUES DES STEPs D'AL HOCEIMA ET DE NADOR</u>	122
<u>ANNEXE D. BASE DE DIMENSIONNEMENT DE LA PLATEFORME DE COMPOSTAGE</u>	142
<u>ANNEXE E : PRODUCTION DE TERRE VEGETALE A PARTIR DE TERRE MINERALE A L'AIDE DE BOUES DE STATION D'EPURATION</u>	144

LISTE DES ABREVIATIONS

ADEME:	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie(France)
CAPEX :	Capital expenditure (Coût ou dépenses d'investissement)
CE:	Commission européenne
CTO:	Composés Traces Organiques
DAE:	Direction d'Assainissement et de l'Environnement
DAO:	Direction de l'Audit et l'Organisation
DPA:	Direction Patrimoine Assainissement
DR:	Direction Régionale-ONEE
DRA:	Direction Régionale del 'Agriculture
EPA :	Environmental Protection Agency
EPT :	Eléments Potentiellement Toxiques
ETM :	Eléments Traces Métalliques
FAO :	Organisation des Nations unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
HAP :	Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques
HT :	Hors Taxe
IAE :	Indice d'Acceptabilité à L'épandage
IPEMED :	Institut de Prospective Economique du monde MEDiterranéen
MAPM :	Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime
MEF :	Ministère de l'Economie et des Finances
MS :	Matière Sèche
MV :	Matière Volatile
ONAS :	Office National de l'Assainissement (Tunisie)
ONEE :	Office National de l'Eau et d'Electricité
ONSSA :	Office National de Sécurité Sanitaire des produits Alimentaires
ONCA :	Office National du Conseil Agricole
OPEX :	Operational expenditure (Coût ou dépenses d'exploitation)
MENA :	Middle East and North Africa
PCB :	Polychlorobiphényles
PCI :	Pouvoir Calorifique Inférieure
PNA :	Plan National d'Assainissement et d'épuration des eaux usées
STEP :	Station d'Epuration des Eaux Usées
UE :	Union Européenne
USA :	United States of America

I. CADRE ET OBJECTIFS DE LA PRESTATION

Jusqu'en 2005, le secteur de l'assainissement accusait un très grand retard et ne figurait pas dans le tableau des priorités. Cette situation, caractérisée par une insuffisance de collecte et d'épuration des eaux usées, générait des impacts négatifs sanitaires et environnementaux. Le coût annuel de dégradation correspondant à cette situation de sous assainissement était évalué, par la Banque mondiale (2003), à 4,3 milliards de Dirhams, soit 1,2% du PIB.

En réponse à cette situation, le Maroc a lancé, à partir de 2006, le Programme National d'Assainissement et d'Épuration des eaux Usées (PNA) dont les objectifs spécifiques consistent à : i) atteindre un taux de raccordement global au réseau d'assainissement en milieu urbain de 75% en 2016, de 80% en 2020 et de 100% en 2030, ii) atteindre un volume des eaux usées traitées de 50% en 2016, de 60% en 2020 et de 100% en 2030. Les 330 villes et centres urbains concernés totalisent environ plus de 10 millions d'habitants. Les effets attendus résident dans l'amélioration des conditions environnementales et sanitaires dans les communes concernées, la dépollution des bassins hydrauliques, le développement touristique et la création d'emplois.

Rappelons qu'il a été procédé, en 2008, à une revue stratégique du PNA¹ en vue d'affiner la stratégie d'investissement et consolider le dispositif financier et institutionnel du programme.

En termes de bilan, le tableau de bord sectoriel (MEF, 2015)², relate que le taux de raccordement au réseau en milieu urbain a atteint à fin 2013 environ 73%, avec des niveaux prévus de 75% en 2016, de 80% en 2020 et de 100% à l'horizon 2030. Le taux d'épuration est passé de 8% en 2005 à 38% en 2015³ et continue à augmenter eu égard au rythme soutenu de collecte et d'épuration.

Dans le cadre du PNA, l'ONEE-Branche eau a intensifié le rythme d'assainissement. Le parc actuel des stations d'épuration de l'Office affiche 66 STEPs en exploitation, 37 STEPs en cours de réalisation et 59 STEPs projetées.

Force est de constater que ce programme de traitement et d'épuration des eaux usées entrepris par l'ONEE, a pris actuellement sa vitesse de croisière, et semble s'orienter avec les objectifs nationaux tracés. Ainsi, l'accroissement des réseaux des eaux usées et les filières de traitement induisent intrinsèquement la génération de quantités de plus en plus importantes des boues. Dans cette optique, la problématique de la gestion de ces boues, devient persistante et préoccupante, et incite à terme, à la mise en place d'une stratégie durable pour ne pas compromettre le programme initial de l'assainissement liquide.

A cet effet, et dans le cadre l'Assistance Technique au programme de développement de l'alimentation en eau potable rurale et de l'assainissement- phase II, et plus exactement dans le

¹ KfW et Banque mondiale. 2008. Revue stratégique du PNA. Rapport N°. Rapport No. 40298-MA

² Ministère de l'Economie des Finances. 2015. Tableau de bord sectoriel.

³ <http://www.pncl.gov.ma/fr/grandchantiers/Pages/PNA.aspx>: Portail national des collectivités locales

cadre du résultat 7.2 relative à l'étude d'opportunités de valorisation des boues des STEPs-ONEE, la DAE de l'ONEE a mis en concours la présente expertise, afin de faire un diagnostic et une analyse de situation qui débouchera sur une vision plausible de gestion des boues générées par les Stations d'Épuration de l'ONEE.

Faisant suite logique d'une première mission achevée, et livrée en Novembre 2015, dédiée à une analyse de la situation existante de gestion des boues, la présente mission fait focus sur le diagnostic de la gestion des boues générées par les STEP d'Al Hoceima et de Nador et la proposition de solutions urgentes et des options à développer dans le court, moyen et long terme. Le ciblage de ces deux STEPs se justifie, comme il sera étayé plus loin, par une situation de blocage de toutes les options d'élimination et de valorisation et par les nuisances environnementales générées par l'accumulation des boues.

La présente mission a pour objectif d'identifier des solutions spécifiques pour la gestion des boues issues de ces deux STEPs. Les solutions techniques ou technologiques devront être justifiées, techniquement faisables, économiquement viables, et formulées pour le très court terme, le court terme, et le moyen terme. Une vision long terme, basée sur la situation de référence et sur des hypothèses ou conditionnalités (cadre institutionnel et réglementaire, information et formation, potentiel de valorisation verte ou énergétique, etc.) sera également développée.

Ainsi, trois experts ont été mobilisés :

L'expert N°1, Brahim SOUDI, chargé de trois volets : la filière verte, le diagnostic institutionnel, et la coordination de la mission dans sa globalité.

L'Expert N°2, Raoul GRELA, chargé de la filière noire, a axé son intervention sur l'identification des sites potentiels de décharge (mono-décharge ou décharge mixte) des boues sur la base de considérations géotechniques, le dimensionnement optimal et l'évaluation des coûts des options d'évacuation des boues hors-STEPs et leur acheminement vers des sites de décharges.

L'Expert N°3, Félicien PONCELET chargé de la filière rouge ou valorisation énergétique, a procédé à une analyse des filières possibles et estimé leur coût dont notamment l'incinération sur site ou dans des cimenteries existantes à proximité du site de la STEP. Sa tâche s'est dédiée à définir les conditions à satisfaire pour une valorisation efficace, et à identifier les éventuels types de traitement supplémentaires pour les boues.

Une mission d'investigation de terrain a été organisée du 24 au 27 Mai, 2016 (Cf. Compte – rendu Annexe 0).

II. ELIMINATION ET VALORISATION DES BOUES D'EPURATION AU MAROC : CONTRAINTES ET ISSUES

Ce volet a été développé dans le rapport de la première mission, livré en Novembre 2015. Il est toutefois, jugé utile, ne serait-ce que pour définir les conditionnalités de mise en œuvre de certaines des options qui seront proposées, de rappeler succinctement les principaux éléments de blocage.

La situation caractérisant la problématique cruciale liée à la gestion des boues est une conséquence directe des lacunes juridiques notamment le manque de clarté du statut des boues dans la loi 28-00 sur les déchets, l'absence de normes d'élimination et de valorisation et celles fixant les conditions d'utilisation des boues notamment en cas d'épandage.

La promotion des voies de valorisation et d'élimination, requiert ainsi un cadre institutionnel, réglementaire et normatif clair et explicite. L'encadré suivant relate de manière succincte les principales contraintes entravant le développement des filières d'élimination et de valorisation des boues.

Principales contraintes entravant les filières d'élimination et de valorisation des boues et recommandations

Volets institutionnel et réglementaire

Sur le plan réglementaire les boues sont des déchets repris sous la dénomination 19 08 05, boues provenant du traitement des eaux usées urbaines. Ces déchets ne sont pas catalogués comme des déchets dangereux.

Par ailleurs la loi 28-00 relative aux déchets et à leur élimination, dans son article 3, définit les déchets assimilés aux déchets ménagers comme « tout déchet provenant des activités économiques, commerciales ou artisanales et qui par leur nature, leur composition et leurs caractéristiques, sont similaires aux déchets ménagers ». Dans la mesure où ces boues présentent des teneurs en eau, en carbone, en sable, en argile, ... assez semblables aux déchets organiques des ménages et que ces boues ne contiennent pas de substances toxiques, celles-ci pourraient être assimilées à des déchets ménagers. Leur acceptation dans des décharges de déchets ménagers après la publication de la loi 28-00 (publiée en 2006) confirme cette approche. Néanmoins ce flux de déchets n'est pas pris en considération dans les plans provinciaux de gestion des déchets ménagers et assimilés.

Si les boues sont considérées comme des déchets résultant d'un procédé industriel, elle doivent être pris en considération dans l'élaboration des plans directeurs régionaux de gestion des déchets industriels, conformément aux articles 10, 11 et 12 de la loi 28-00 relative aux déchets et à leur élimination.

Vu qu'il n'existe toujours pas de décharge destinée aux déchets industriels au Maroc et que les plans directeurs provinciaux ne prennent pas en considération les flux de boues de station d'épuration, on peut considérer que le législateur classe les boues biologiques de stations d'épuration des eaux usées urbaines dans la catégorie des déchets industriels.

Néanmoins, pour des boues biologiques non contaminées, l'assimilation à des déchets ménagers reste possible.

Parmi les freins du développement des filières de gestion des boues, on note :

- La discordance entre les exigences des gestionnaires des destinations finales (décharges, installations d'incinération ou agriculteurs) et la qualité des boues issues des stations d'épuration,
- L'insuffisance en matière de prise des responsabilités par les acteurs intervenant dans la gestion des boues ; par rapport à ce point, il y a lieu de rappeler la non application des clauses de la récente loi organique 113-14, relative aux communes et qui stipule dans son article 83, que l'assainissement liquide et solide et les stations de traitement des eaux usées sont une compétence propre de la commune. Conformément à ces attributions, la mise en œuvre des solutions de gestion des boues est tributaire de la mise à disposition des espaces, des infrastructures et des moyens techniques de la commune.
- L'absence d'une entité leadership, relevant notamment du Département de l'Agriculture, qui se charge de la planification de valorisation agricole, de l'établissement des plans d'épandage, de l'encadrement des usagers ainsi que du suivi et de la surveillance des périmètres de valorisation. Comme il a été mentionné dans le rapport de la première mission, il est recommandé de s'inspirer des dispositions du Décret (tunisien), fixant les conditions et les modalités de gestion des boues provenant des ouvrages de traitement des eaux usées en vue de son utilisation dans le domaine agricole (Journal Officiel de la République Tunisienne, 9 janvier, 2007).
- Le faible niveau d'information sur les filières de gestion des boues. Un plan de renforcement des acteurs concernés s'avère aussi nécessaire.
- L'absence de réglementation des voies d'élimination et de valorisation. Concernant la mise en décharge qui est la voie d'élimination privilégiée au Maroc, il est nécessaire de définir le statut des boues d'épuration urbaines, préciser leur classe de décharges, les conditions d'acceptation, notamment le niveau de siccité, et les obligations des producteurs de boues. Par ailleurs, la valorisation agricole, qui constitue une solution verte et durable susceptible de résorber une grande part de gisements, devra également faire l'objet d'un Décret ou Arrêté, stipulant les normes de réutilisation des boues en agriculture, sylviculture, en espaces verts et végétalisation des décharges, et définissant et les modalités de gestion comme l'établissement des plans directeurs régionaux, des registres de production de boues, les programmes d'épandage, etc.
- Le retard pris par le Maroc vis-à-vis de sa loi 28-00 qui prévoit depuis 2006 la publication de plans provinciaux de gestion des déchets ménagers et assimilés et de plan régionaux de gestion des déchets industriels et la faible implication des responsables provinciaux et régionaux de l'ONEP dans l'élaboration de ces plans qui vont cependant significativement impacter la gestion future des boues de stations d'épuration.

Volet technique

Si on considère les STEPs à boues activées, objets de la présente étude, les prétraitements adoptés (épaississement et déshydratation mécanique) ne permettent pas de dépasser une siccité de 20 à 22% au maximum. Ce niveau de siccité est pénalisant dans le sens où il n'est pas approprié pour la majorité des voies d'élimination et de valorisation. En effet, même la solution de mise en mono-décharge ou en décharge mixte n'est pas optimale à cette siccité et ce pour deux raisons essentielles : i) le transport des boues revient au transport de l'eau ce qui génère un surcoût, et ii) la surproduction des lixiviats, contrainte majeure dans la gestion des décharges. C'est pour cela, et de manière anticipée, qu'il est recommandé par cette étude de procéder à un séchage solaire sous serre.

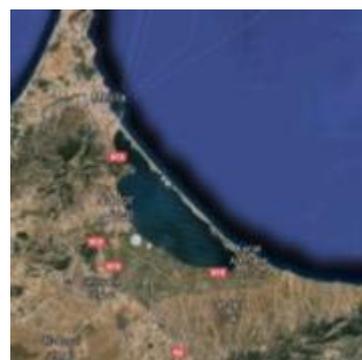
Concernant ce volet technique, il convient de signaler qu'il n'est basé sur aucun référentiel technique adapté et testé dans le contexte marocain. En effet, en dehors de quelques travaux de recherche, assez fragmentaires et conduits en conditions contrôlées, il n'existe pas à ce jour de projet pilote de valorisation agricole ou énergétique réalisé à une échelle représentative et avec succès.

III. DIAGNOSTIC DE SITUATION DANS LES STEPS D'AL HOCEIMA ET DE NADOR

III.1. STEP DE NADOR

III.1.1. CONTEXTE DE MISE EN PLACE DE LA STEP

La mise en place de la STEP avait un objectif double : i) l'assainissement de la ville de Nador et de ses sept (7) communes voisines regroupant environ 250 000 habitants, et ii) la dépollution de la lagune Marchica. Celle-ci constitue à la fois un enjeu écologique et économique pour la région. Elle est classée site Ramsar depuis 2005. Avant l'installation des ouvrages d'épuration, cette lagune a été classée « hot spot » de pollution tellurique par le Plan d'action pour la Méditerranée. La révision de ce plan en 2015, a démontré, conformément aux critères d'évaluation adoptés par le PAN, que la zone n'est plus hot spot après la mise en service de la STEP.



Vue de la lagune et emplacement de la STEP

La STEP de Nador possède une capacité de traitement de 26 000 m³/j.

III.1.2. DESCRIPTION DE LA FILIERE « EAU »

L'épuration est basée sur un système de traitement biologique par boues activées à faible charge avec l'élimination biologique des nutriments (azote et phosphore). Le procédé est composé de : i)

un prétraitement comprenant un dégrillage fin et un dessablage-déshuilage combiné avec un traitement biologique des graisses extraites, ii) un acheminement des eaux usées prétraitées vers des réacteurs biologiques en fonctionnement parallèle comportant séquentiellement une zone anaérobie, une zone anoxie et une zone d'aération où se déroulent les procédés d'élimination du phosphore, de nitrification / dénitrification et d'élimination de la pollution carbonée.

A la sortie d'aération, la liqueur mixte transite vers une zone de dégazage, composée d'un ouvrage par ligne de traitement. L'étape de clarification se fait sur deux ouvrages circulaires, équipés de pont racleur à succion de boues.

Avant le rejet dans le milieu récepteur, les eaux clarifiées subissent un micro tamisage et une désinfection par rayonnements ultraviolets (UV), pour réduire la charge bactériologique, assurée par deux réacteurs UV, installés en parallèle, chacun dimensionné pour le débit de pointe.

III.1.3. DESCRIPTION DE LA FILIERE « BOUES »

Les boues biologiques résultant de l'épuration, subissent un épaissement mécanique, assuré par quatre filtres rotatifs (deux par file de traitement), suivi d'une déshydratation sur deux centrifugeuses fonctionnant en parallèle. La siccité des boues épaissies est de 4% et celle des boues déshydratées est de 20%. Un chaulage des boues déshydratées s'opère afin d'atteindre une siccité de 25% et d'obtenir une meilleure hygiénisation de celles-ci (réduction des nuisances olfactives) avant l'évacuation vers la décharge de Nador.

Pour le contrôle des odeurs, un système de désodorisation de l'air vicié par lavage chimique, est mis en place sur deux tours.

III.1.4. QUANTITE ET QUALITE DES BOUES PRODUITES

La quantité de boues produites après déshydratation est de 60 T/j, soit environ 4 380 Tonnes de MS/an sur la base d'une siccité de 20%. Cette quantité est actuellement réduite à cause de l'allongement du temps de séjour des boues dans les ouvrages suite à la saturation de l'aire de dépôt intra-STEP et au refus de mise en décharge. Il en résulte une chute de la performance épuratoire de la STEP.

Pour que les solutions étudiées soient prévues pour répondre à la demande de traitement des boues sur 15 ans, il a été jugé utile de projeter la production des boues jusqu'à 2030. Durant cette période, la population raccordée à la STEP de Nador devrait augmenter. En effet, selon une progression géométrique, soit en prenant les données de l'année 2014 (date du dernier recensement) pour référence :

$$\text{Population}_{\text{année } x} = \text{Population}_{\text{année } 2014} * (1 + \text{taux d'accroissement})^{x-2014}$$

Avec :

- $\text{Population}_{\text{année } 2014} = 223\ 122 \text{ hab.}^{[4]}$

⁴Donnée tirée du rapport FAO/ONEE - Mission 1 : diagnostic de la situation actuelle et ébauche d'une vision d'amélioration des performances (2015).

- Taux d'accroissement pour la région Oriental = 0,96% ^[5]

Avec une production de boues moyenne par habitant de 60 g MS/j, la production de boues de la STEP de Nador devrait atteindre 5 690 t MS/an en 2030.

Sur le plan qualitatif les résultats d'analyse des boues montrent leur bonne aptitude à la valorisation verte. Le détail des résultats d'analyse des boues est rapporté en annexe A.

III.1.5. DESTINATIONS ACTUELLES ET POINTS DE BLOCAGE

Comme illustré par les photos ci-après, les boues sont actuellement stockées directement sur le site réservé à l'extension de la STEP. Les impacts environnementaux et les nuisances générées sont de portée majeure, eu égard à la sensibilité de la lagune et de son environnement.



Les communes ne semblent pas se sentir concernées par la problématique de la gestion des boues des stations d'épurations publiques, ce qui apparaît contradictoire avec la loi organique 113-14 relative aux communes, qui stipule, dans son Article 83, que l'assainissement liquide et solide et les stations de traitement des eaux usées relèvent des compétences propres de la commune (chapitre II de la loi).

Aujourd'hui, la commune se considérant, à tort, comme étrangère à la problématique de l'élimination des boues de « sa » station, ne cherche pas non plus à contribuer au développement de solutions dans le cadre de ses autres activités et responsabilités, alors que des solutions pouvant être rapidement mises en œuvre sont disponibles.

Un travail de concertation basé sur l'analyse des nouvelles lois organiques, du contrat liant la commune et l'ONEE-Banche Eau, timidement amorcé, est indispensable, de manière à clarifier les responsabilités de chacun et les potentialités immédiates de valorisation des boues disponibles.

⁵Haut Commissariat au Plan. 2014. Note sur les premiers résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2014

III.2. STEP D'AL HOCEIMA

III.2.1. DESCRIPTION DE LA STEP

La conception et la réalisation de la STEP d'Al Hoceima sont fondées sur le principe d'un processus biologique d'épuration par boues activées à faible charge, sur une période annuelle de 8 à 9 mois. Durant la période de trois à quatre mois, correspondant à une surcharge estivale, il est prévu un prétraitement d'élimination d'une fraction de la charge organique brute (25% de DBO5 et 50% de MES), avant la phase aérée, par une décantation primaire et une stabilisation aérobie des boues fraîches. Cette station a été réalisée et mise en fonctionnement en 1995 -1996. En 2011, il a été procédé à l'extension et à la réhabilitation des ouvrages existants de cette STEP. Cette extension a été dimensionnée pour faire doubler la capacité de traitement des eaux usées en la faisant passer de 4.800 m³/j à 9.600 m³/j. Ce projet permettra ainsi de répondre aux besoins en assainissement liquide de la ville à l'horizon 2025.

Les cartes suivantes montrent l'emplacement et la configuration de la STEP.



III.2.2. DESCRIPTION DE LA FILIERE « EAU »

L'épuration est basée sur un système de traitement biologique par boues activées à faible charge avec l'élimination biologique des nutriments (azote et phosphore). Le procédé est composé de : i) un prétraitement comprenant un dégrillage fin et un dessablage-déshuilage combiné avec un traitement biologique des graisses extraites, ii) un acheminement des eaux usées prétraitées vers des réacteurs biologiques en fonctionnement parallèle comportant séquentiellement une zone anaérobie, une zone anoxie et une zone d'aération où se déroulent les procédés d'élimination du phosphore, de nitrification / dénitrification et d'élimination de la pollution carbonée.

En sortie d'aération, la liqueur mixte transite vers une zone de dégazage, composée d'un ouvrage par ligne de traitement. L'étape de clarification se fait sur deux ouvrages circulaires, équipés de pont racleur à succion de boues.

III.2.3. FILIERE DE TRAITEMENT « BOUES »

Les boues biologiques produites sont épaissies par sédimentation gravitaire puis déshydratées par centrifugation. Le processus est assuré par deux centrifugeuses fonctionnant en parallèle. Les boues ainsi déshydratées sont stockées à 20% de siccité dans un silo.

Un chaulage des boues déshydratées est prévu afin d'atteindre une siccité de 25% et d'obtenir une meilleure hygiénisation de celles-ci (réduction des nuisances olfactives). Cependant, à l'heure actuelle, cette étape du procédé n'est pas opérationnelle.

III.2.4. GISEMENT ET QUALITE DES BOUES PRODUITES

La station d'épuration produit en moyenne 20T/j de boues à 20% de matière sèche, soit 4T/j de matière sèche (MS) ou 1 460 Tonnes de MS/an.

Pour que les solutions étudiées soient prévues pour répondre à la demande de traitement des boues sur 15 ans, il a été jugé utile de projeter la production des boues jusqu'à 2030. Durant cette période, la population raccordée à la STEP d'Al Hoceima devrait augmenter. En effet, selon une progression géométrique, soit en prenant les données de l'année 2014 (date du dernier recensement) pour référence :

$$\text{Population}_{\text{année } x} = \text{Population}_{\text{année } 2014} * (1 + \text{taux d'accroissement})^{x-2014}$$

Avec :

- Population_{année 2014} = 54 430 hab.^[6]
- Taux d'accroissement pour la région Tanger -Tétouan- Al Hoceima = 1,49% ^[7]

⁶Donnée tirée du rapport FAO/ONEE - Mission 1 : diagnostic de la situation actuelle et ébauche d'une vision d'amélioration des performances (2015).

⁷Haut Commissariat au Plan. 2014. Note sur les premiers résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2014

Avec une production de boues moyenne par habitant de 60 g MS/j, la production de boues de la STEP d'Al Hoceima devrait atteindre 1 510 t MS/an en 2030.

Considérant la production actuelle de 1 460 Tonnes de MS/an et le taux d'accroissement de la population (1,49%), la production à l'horizon 2030 serait de l'ordre de 1 850 tMS/an, soit 20% de plus par rapport à la production estimée sur la base du ratio de production des boues.

Quant à la STEP de Nador, la production actuelle est de l'ordre de 4 380 Tonnes de MS/an. Considérant le taux d'accroissement de la population (0,96%), la production à l'horizon 2030 serait de l'ordre de 5 103 Tonnes de MS/an, soit 10% moins que la production estimée sur la base du ratio de production des boues (5690 t MS/an).

Ainsi, la différence entre la production actuelle et la production projetée à l'horizon 2030 sur la base du ratio de production des boues, peut être justifiée par la différence du taux d'accroissement de la population et la différence de la production actuelle des deux STEP.

Sur le plan qualitatif, les résultats d'analyse des boues montrent leur bonne aptitude à la valorisation verte. Le détail des résultats d'analyse des boues est rapporté en annexe A.

III.2.5. DESTINATIOS ACTUELLES ET POINTS DE BLOCAGE

Les boues sont jusqu'à présent transportées jusqu'au site de lagunage d'Imzouren/Bni Bouayach à une distance de 20 km, où elles sont stockées dans des lits de séchage (Cf. photo, ci-après).

Cette filière n'est plus envisageable, suite à une opposition des riverains au site de stockage en raison des fortes nuisances olfactives.



Le tableau 1 rapporte la quantité et la qualité des boues issues des deux STEP.

Tableau 1. Quantité et qualité des boues produites aux deux STEP

Paramètres de qualité	Nador	El Hoceima	Valeur seuil la plus restrictive
Quantité des boues produites (Tonnes MS/an)			
Actuelle	1 460	1 510	
Projection 2030	4 380	5 690	
Teneur des boues en éléments fertilisants (mg/kg MS)			
Azote total	8 556,39	16 300,00	
P ₂ O ₅	46 074,80	38 472,00	
K ₂ O	8 411,22	4 891,08	
CaO	77 153,59	58 494,92	
MgO	19 073,68	10 943,46	
Concentration des boues en ETM (mg/kg MS)			
Zinc	-	624	2 000 (Tunisie)
Cuivre	122	127,4	800 (Allemagne)
Plomb	45,2	81,4	750 (Portugal)
Chrome	18,7	25,4	500 (Tunisie)
Cadmium	0,675	0,82	10 (France, Allemagne)
Mercuré	1,05	1,844	8 (Allemagne)
Nickel	18,4	27,6	200 (France, Tunisie, Allemagne)
Concentration des boues en CTO (µg/kg MS)			
Total des 7 PCB	0	-	6 mg/kg (UE)
Fluoranthène	<0.01	-	0,8 mg/kg (UE)
Banzo(a)antheracène	<0.01	-	
Benzo(b)fluoranthène	<0.01	-	
Benzo(a)pyrène	<0.01	-	
Nombre des œufs d'helminthes (nombre d'œufs/L ou /100g de MS)			
Type de traitement des boues	Épaississement (floculation)	Épaississement et déshydratation avec polymérisation et chaulage	-
Etat des boues	Solide	Solide	-
Total des œufs (nombre d'œufs/L ou /100g de MS)	143,8	1 565	3 œufs/10g MS (France)
PCB : polychlorobiphényles, CTO : Composés traces organiques, ETM : Eléments traces métalliques			

IV. APERÇU SUR LES REFERENCES ET TENDANCES INTERNATIONALES EN MATIERE DE GESTION DES DECHETS

Dans le but d'éclairer les orientations stratégiques de gestion des boues au Maroc, il a été jugé utile de réaliser un benchmark ciblant les aspects institutionnels, réglementaires et les filières techniques d'élimination et de valorisation des boues.

IV.1. PRINCIPALES FILIERES ADOPTEES A L'INTERNATIONAL ET LEUR ADAPTABILITE DANS LES ZONES DE L'ETUDE

IV.1.1. MODES DE PRE-TRAITEMENT AVANT ELIMINATION ET/OU VALORISATION

On se limitera ici à faire une revue des modes de prétraitements des boues adaptées aux procédés intensifs d'épuration de type boues activées et qui suivent les opérations classiques d'épaississement et de déshydratation mécanique. Aussi, on se propose de faire focus sur le séchage et la stabilisation des boues.

IV.1.1.1. Séchage sous serre

Le séchage solaire des boues en conditions contrôlées est une technique développée en tant qu'alternative aux autres méthodes de séchage thermiques très coûteuses à cause de leur forte consommation d'énergie et de leur faible rendement calorifique. Cette nouvelle technologie de séchage solaire sous serre connaît actuellement un essor important en Autriche, en Allemagne et dans d'autres pays comme la France, l'Italie et les USA.

Cette technique emploie l'énergie solaire dont le gisement est particulièrement important dans nos régions de Sud de la Méditerranée. Le modèle Thermo-system est actuellement le plus emblématique. D'ailleurs, cette technique est en essor au Maroc plus précisément à la STEP de Marrakech qui connaîtra la plus grande installation de séchage de boues résiduelles sous serre au monde (surface de séchage de 40 320 m² et une production de boues de 75 000 tonnes /an).

C'est une technologie qui permet de réduire le volume des boues de manière rapide pour atteindre au moins 70% de siccité ce qui est en faveur de toutes les voies d'élimination et de valorisation. On note aussi une nette réduction des coûts de transport (Mathioudakis et al. 2010).

La consommation moyenne d'électricité est de 29 à 44 kWh/tonne d'eau extraite comparée à la fourchette de consommation de 70 à 110 kWh requise par les procédés conventionnels de séchage. Il est recommandé à procéder à une déshydratation mécanique préalable pour avoir une siccité d'environ 20% avant le séchage solaire. Il s'agit des cas des deux STEPs concernées par la présente étude.

Une étude sur les performances de ce dispositif de séchage solaire de type Thermo-System dans la STEP de Brisbane Water's Wacol (Horn et al. 2004), montre la dessiccation des boues varie en fonction des saisons et suit un rythme plus élevé pendant les saisons chaudes et ensoleillées. (Figure 1). Comme le montre cette figure, ces performances seraient très améliorées en conditions climatiques marocaines.

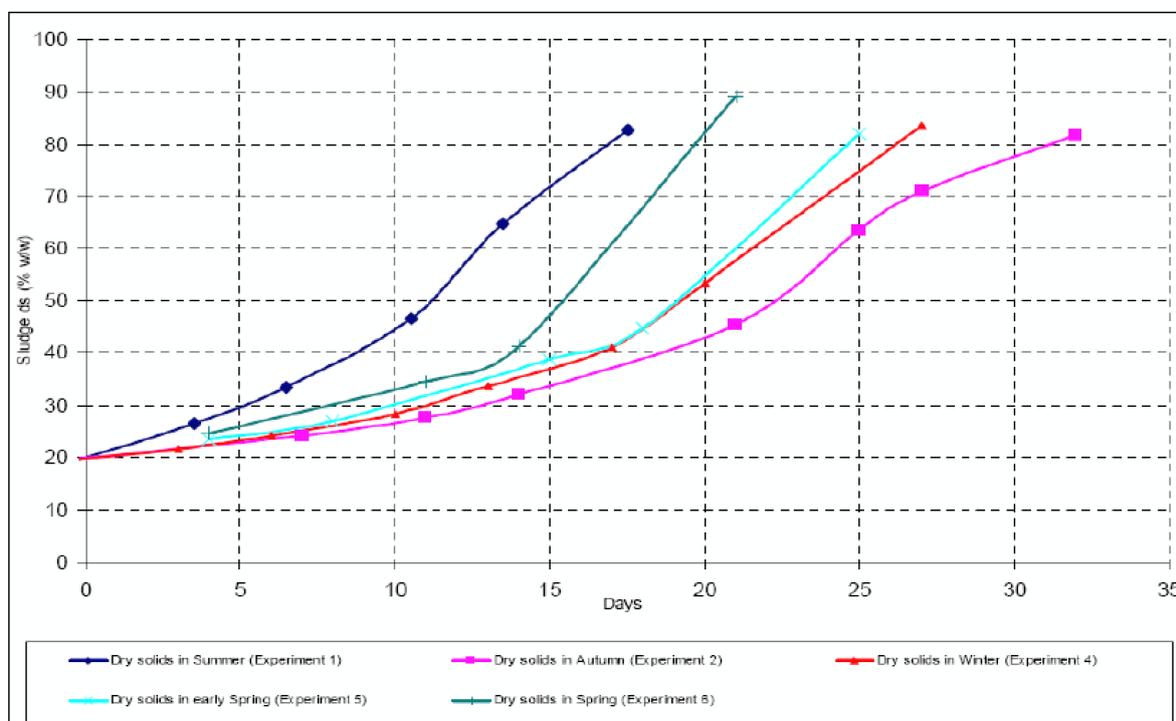


Figure 1. évolution de la teneur en matière sèche des boues en fonction des saisons (Horn, et al. 2004)⁸

L'encadré suivant relate quelques expériences internationales

Revue de quelques expériences internationales dans le séchage sous serre des boues

Plusieurs recherches sur le séchage sous serre des boues ont été menées dans le monde, ce qui a contribué au développement de cette technique. Ainsi, en 2003, le nombre d'installations dépassait les 48, 65% desquelles sont sises essentiellement en Allemagne, en Autriche et en Suisse. Le reste est réparti entre la France, l'Italie et les Etats Unis d'Amérique (Bux et Bauman, 2003)⁹. Aujourd'hui, ce chiffre a certainement grimpé, vu les quantités de boues qui ne peuvent être qu'en augmentation continue et l'obligation de réduire les émissions de CO₂.

Les performances de ce type d'installation, quelque soit sa taille sont aujourd'hui prouvées. Les coûts de séchage ainsi que la consommation en énergie sont réduits de moitié par rapport aux techniques de séchage thermiques traditionnelles, et plus encore les émissions de CO₂ sont réduites d'un facteur de sept (Bux, 2012).

⁸ Horn, S., Barr, K., McLellan, J., Bux, M.. 2004. Accelerated air-drying of sewage sludge using a climate-controlled solar drying hall. Brisbane Water, GPO Box 1434, Brisbane, QLD 4001, Australia et University of Hohenheim, Institute 495, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, Germany

⁹ Bux M. ve Baumann R. (2003) Performance, Energy Consumption and Energetic Efficiency Analysis of 25 Solar Sludge Dryers. Water Environment Federation, WEFTEC, ABD.

Une étude portant sur l'évaluation de 25 installations de séchage sous serre des boues à l'Europe a ressorti que la quantité d'eau à évaporer par m² varie entre 0.6 et 1.0 tonnes. Dans le cas d'un chauffage additionnel, 3,5 tonnes d'eau peuvent être évaporées par la même unité de surface (Bux, 2003). Dans le cas du séchage des boues déshydratées, il a été démontré en Allemagne, en Autriche, et en Suisse que la quantité d'eau à évaporer par m² varie entre 0,5 et 1,1 tonnes, indépendamment de la taille des sites (Bux, 2003). Les normes de construction retenues en France pour évaporer 0,8 tonnes d'eau et 1m² et dans le cas de chauffage supplémentaire (plancher chauffant) la quantité d'eau à évaporer par m² varie entre 1,7 et 2 tonnes d'eau (Brison et al., 2012¹⁰).

Les expériences récentes dans le sud de l'Allemagne ont montré que pour le séchage solaire des boues déshydratées mécaniquement sans chauffage d'appoint à une teneur finale en matières sèches de 60-70%, la surface nécessaire par tonne de boues humides est de 0,8 à 1,2 m², et pour les boues n'ayant subi aucune déshydratation nécessite une surface de 0,3 à 0,5 m² (Bux, 2003).

Un projet pilote de séchage sous serre des boues a été réalisé en Grèce sur une surface de 66 m². Il a montré qu'une durée de 9 à 18 jours entre les mois de Mai et Septembre est suffisante pour atteindre une siccité de 95%, et que la teneur en éléments traces métalliques était conforme à la Directive 86/278/EEC (Mathioudakis et al. 2010)

La figure 2 récapitule l'évolution de la teneur en eau es boues ou inversement leur siccité ainsi que leur consistance suite aux trois étapes de prétraitements¹¹ : épaissement, déshydratation et dessiccation notamment par le séchage solaire.

¹⁰Brison C., *Le séchage solaire des boues : État actuel de l'art et retours d'expérience*, [en ligne] disponible sur <www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae_36_chap_1_2.pdf>, consulté le 20/04/2012

¹¹GIZ/Projet PGPE/Maroc.2014. *Formation « Planification, construction, exploitation et fermeture des décharges contrôlées au Maroc »*

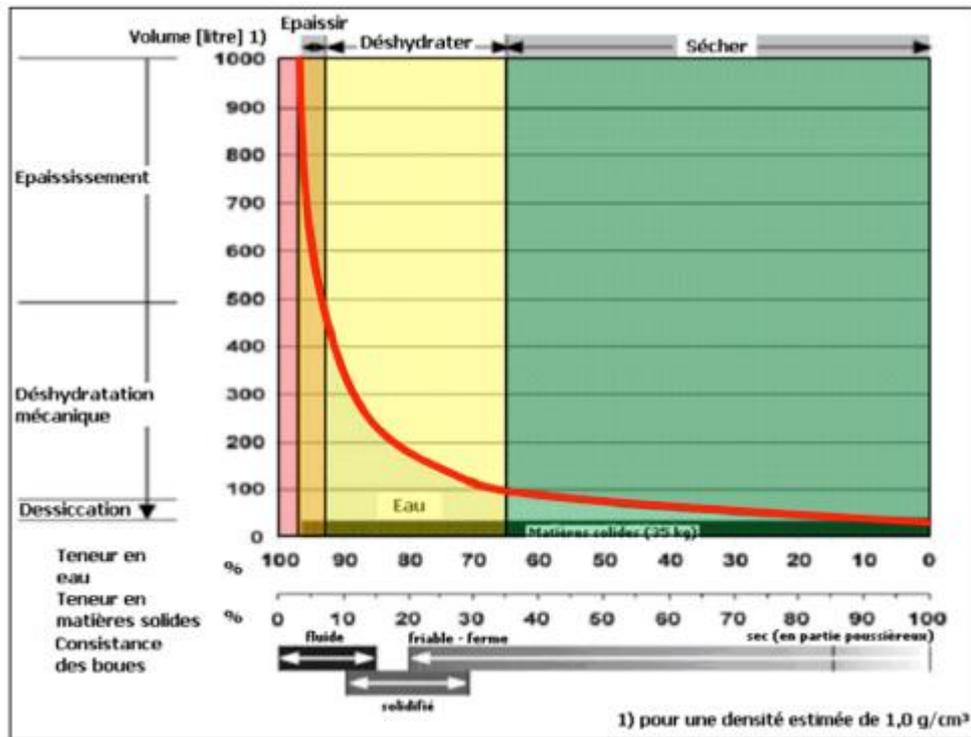


Figure 2. Evolution de la teneur en eau des boues suite aux trois procédés de traitement : épaissement, déshydratation et séchage

- Boues en sortie du traitement des eaux
- Epaississement des boues
- Déshydratation des boues
- Séchage des boues

IV.1.1.2. Stabilisation

L'objectif de la stabilisation est de réduire la fermentescibilité des boues (contrôle des nuisances olfactives) et leur hygiénisation.

Bien que le séchage lui-même est une forme de stabilisation, selon la littérature internationale, il est recommandé à procéder à une stabilisation préalable lors de l'opération d'épaississement et/ou déshydratation mécanique. La synthèse des références internationales permet de déduire les deux types de stabilisation les plus recommandées, et adaptées au contexte des deux STEPs, objets de la présente étude : la stabilisation chimique et le compostage.

Stabilisation chimique

La méthode la plus communément utilisée est la stabilisation chimique à la chaux. Les boues chaulées permettent ainsi un amendement calcique des sols. *Toutefois, au Maroc, la dominance des sols basiques qui sont en majorité riches en carbonates de calcium incitent à proscrire cette*

option de stabilisation. En effet, un apport de boues chaulées augmente le risque rétrogradation des éléments nutritifs notamment le phosphore sous forme de phosphates calciques.

Aussi, comme il sera précisé plus loin, les boues chaulées engendrent des difficultés d'exploitation en cas de leur mise en décharge. En effet, elles peuvent provoquer un colmatage des conduites de collecte des lixiviats.

La méthode de stabilisation chimique aux nitrites semble être la plus recommandée dans notre contexte. Ce type de 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 :

- 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.
- 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.

Compostage ou co-compostage des boues

Comme il sera étayé plus loin, le compostage est la meilleure option de traitement des boues pour leur valorisation verte. Le compostage des boues ou leur co-compostage avec d'autres déchets organiques, est un processus de fermentation aérobie qui passe obligatoirement par une phase thermophile permettant la suppression des germes pathogènes. Il s'agit ainsi, d'un procédé assurant à la fois la stabilisation et l'hygiénisation de la boue, mais également le séchage. Le compost mature et affiné, constitue un excellent produit d'amendement organique.

IV.1.1.3. Conclusion

Ces prétraitements, ont un triple objectif :

- i. Concentrer les boues et réduire leur volume par extraction d'eau (épaississement et/ou déshydratation) suivis par un séchage solaire ;
- ii. Stabiliser les boues en réduisant leur caractère fermentescible et en assurant leur hygiénisation
- iii. Améliorer la consistance des boues afin de faciliter et minimiser les coûts des opérations de reprise, de transport, de stockage et d'élimination finale.

IV.1.2. LES FILIERES COMMUNES D'ELIMINATION ET DE VALORISATION

Selon leur composition et leur qualité, les boues peuvent avoir quatre destinations possibles :

- i. L'épandage agricole incluant l'usage en sylviculture et la réhabilitation des sols dégradés ;
- ii. Le compostage et la valorisation du compost ;
- iii. L'incinération, la co-incinération ou un autre procédé de valorisation énergétique ; et
- iv. La mise en décharge mixte ou mono-décharge.

IV.1.2.1. Valorisation verte

La valorisation verte des boues est multiforme. Différentes options, testées et adoptées dans plusieurs pays sont succinctement décrites ci-après et illustrées par la figure 4.

Valorisation en agriculture

Cette option est d'un grand usage partout dans le monde. Comme il a été rapporté par Hébert (2008), une étude financée par la Commission européenne a clairement montré que l'épandage agricole des boues ou biosolides municipaux demeure, moyennant une réglementation stricte, une option nettement préférable, sur les plans environnemental et économique, à leur mise en décharge contrôlée ou leur combustion.

Valorisation en foresterie (sylviculture)

L'épandage des boues sur les sols forestiers améliore la croissance des arbres et augmente la production de la biomasse, renforce le couvert végétal du sous-bois et permet de régénérer les habitats de la faune (Pion et Hébert, 2010)¹².

Restauration et réhabilitation

Les boues sont également utilisés pour le reboisement et la végétalisation des routes, la restauration des sites miniers et anciennes carrières, la couverture/végétalisation finale des casiers de décharges contrôlés en phase de fermeture, la remise en état des zones de glissement de terrain, d'ailleurs assez récurrente dans la région d'Al Hoceima.

Fabrication de terreaux

Les boues constituent une matière importante dans la fabrication de terreaux ou substrats pour pépinières forestières ou ornementales. En effet, ces substrats sont confectionnés en mélangeant la

¹²Pion, A, et M. Hébert. 2010. Valorisation sylvicole des biosolides municipaux au Québec : bilan et perspectives d'avenir. Développement durable, Environnement et Parcs Québec, septembre 2010, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/matieres/articles/valo-sylvicole-biosolide.pdf> (consulté le 13-01-2011).

matière minérale et la matière organique riche en éléments nutritifs. Les terreaux sont souvent utilisés pour l'aménagement des espaces verts et la stabilisation des pentes,

Fabrication du compost

Etant donné leur faible ratio C/N (5 à 10), les boues doivent être co-composées avec des déchets verts, plus ligneux, pour fabriquer un compost. Comme il a été signalé auparavant, Le compostage est une fermentation aérobie qui passe par une phase thermophile pour l'assainissement (suppression de pathogènes) et abouti à un produit final, stable et hygiénique et riche en substances humiques, appelé compost. Celui-ci constitue un excellent produit d'amendement des sols.

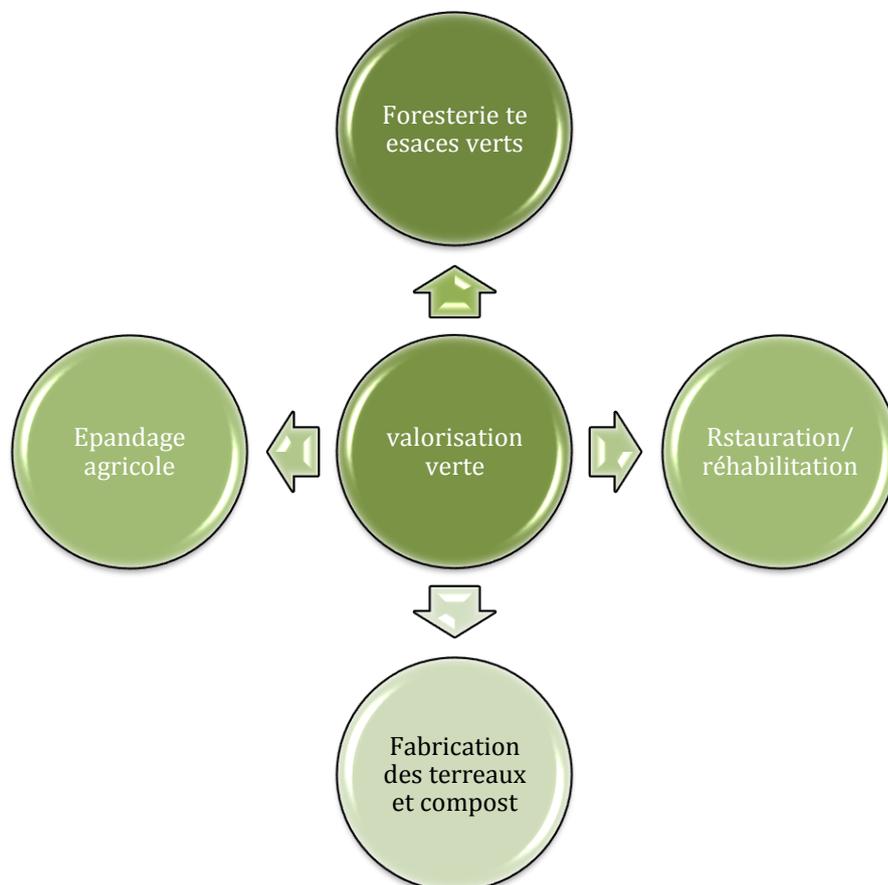


Figure 4. Les options de valorisation verte

Cette filière est avantageuse si les traitements effectués permettent un usage sécurisé conditionné par une qualité de boues acceptable du point de vue environnemental et sanitaire et profitable pour une valorisation agronomique. Cette qualité est évaluée par :

- i. La valeur agronomique des boues en termes de teneurs en matière organique et en éléments nutritifs (azote, phosphore et potassium). On considère qu'en moyenne, 100

tonnes de boues humides (5 % de siccité) contient 190 kg d'azote, 195 kg de phosphore et 30 kg de potassium. Les boues apportent aussi d'autres éléments oligo-éléments comme le bore (B), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le manganèse (Mn) et le zinc (Zn). La minéralisation de la matière organique des boues, à l'intérieur du sol, libère des substances inorganiques nutritives. Parmi les facteurs qui influencent le taux de minéralisation, il y a lieu de mentionner, le pH, la température et l'humidité. Dans les conditions des zones de l'étude, ces facteurs sont tous à un niveau optimal favorable à la minéralisation.

- ii. Le niveau de concentration en éléments indésirables (éléments traces métalliques, polluants organiques, pathogènes) qui dépend de la qualité des eaux usées dont elles sont issues, et de la performance des procédés de traitement mis en œuvre en termes d'hygiénisation et de stabilisation.

IV.1.2.2. Valorisation énergétique

Il s'agit de détruire les matières organiques par combustion à de très hautes températures (+500°C). Il en résulte de la chaleur, de la fumée et des cendres. L'incinération des boues dépend de leurs teneurs en matière organique et en matière sèche. C'est pour ses raisons qu'il est nécessaire de déshydrater et de sécher préalablement les boues afin d'augmenter leur pouvoir calorifique et de réduire les volumes à traiter. Pour des raisons techniques, le seuil de siccité pour l'auto-combustion des boues dans un four spécifique est comprise entre 25 et 45% (AMORCE, 2012)¹³

Les boues d'épuration peuvent faire objets de trois options d'incinération :

- Une Mono-incinération;
- Une co-incinération des boues avec des déchets ménagers;
- Une co-incinération en cimenterie.

La chaleur résultante de la combustion est récupérée. Elle est valorisée selon trois voies, soit pour l'alimentation d'un réseau de chauffage, soit convertie en électricité à l'aide d'une turbine à vapeur couplée à un alternateur, soit pour la cogénération qui consiste en une production couplée de deux formes d'énergie, l'électricité et de la chaleur dans la même centrale.

Mono-Incinération ou incinération spécifique

Le four à lit fluidisé est l'un des procédés les plus utilisés dans l'incinération des boues. Les températures de combustion sont généralement comprises entre 850°C et 950°C. Il s'agit d'un lit de sable maintenu en suspension à l'aide de l'air insufflé par le fond de la chambre de combustion. Dans un objectif de maximisation de la valeur calorifique, les boues doivent être déshydratées. Une siccité supérieure à 35% est préférée pour le cas des boues brutes, tandis que pour les boues

¹³ AMORCE. 2012. *Boues de Station d'Épuration : Techniques de traitement, Valorisation et Élimination*. In. DT 51 / Série Technique

digérées une siccité supérieure à 45% est recommandée. La boue d'épuration ainsi préparée comme combustible, peut être utilisée pour la production de l'électricité en utilisant sa teneur en énergie (Ghariani et al., 2006).

Co-Incineration avec les déchets ménagers

Compte tenu de la composition des boues, la co-incinération des boues s'avère nécessaire. D'un point de vu technique, les principaux paramètres dont il faut tenir compte lors du processus d'incinération sont, les proportions du mélange, la composition des déchets ménagers et la composition des boues.

Ce procédé nécessite l'usage du four à grille. Les boues sont introduites sous deux formes, soit elles sont justes déshydratées, soit elles sont juste pré-séchées. Cette voie d'élimination n'est envisageable qu'en cas de proximité de la station d'épuration et du four, pour plus d'économie des coûts (AMORCE, 2012).

Co-incinération des boues dans les cimenteries

L'incinération des boues d'épuration lors de la production du ciment est l'une des voies de valorisation qui permet une élimination complète et sans résidus des boues. 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 compris les métaux lourds, sont fixées dans le clinker, les poussières et les fumées doivent être recyclées autant que possible dans le processus d'incinération.

Les boues destinées à cette voie de valorisation doivent avoir une valeur calorifique d'environ 4.000 kJ/kg au minimum. Pour cette raison, seules les boues de siccité élevée sont utilisées dans cette technique (MDCEnv, 2010).

Comme le montre la figure 5, il est commun de considérer que la capacité des boues à être incinérées est fonction de leur taux d'humidité ainsi que de leur concentration relative en matières volatiles (MV)

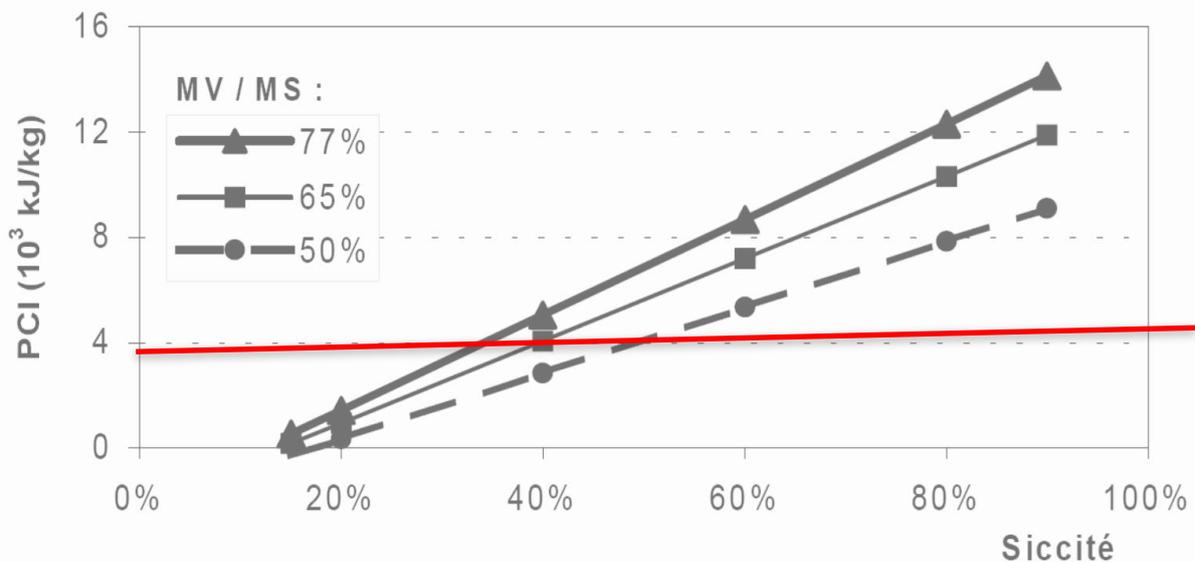


Figure 5. Relation entre le PCI et la siccité des boues et effet du rapport « Matières volatiles (MV) /Matières solides (MS)»¹⁴

Incinération : voie d'élimination ou de valorisation

L'opération d'incinération peut être vue comme une opération de valorisation ou comme une opération d'élimination. En France, à l'instar d'autres pays européens, cette qualification est définie par l'article 34.1 de l'Arrêté du 20 septembre 2002 (modifié le 3 oct. 2012) telle que : « L'opération de traitement d'un déchet par incinération peut être qualifiée d'opération de valorisation énergétique si toutes les conditions suivantes sont respectées :

- la performance énergétique de l'installation est supérieure ou égale à 0,25 (calcul précisé en annexe de l'Arrêté);
- l'exploitant évalue chaque année la performance énergétique de l'installation et les résultats de cette évaluation sont reportés dans le rapport annuel d'activité;
- l'exploitant met en place les moyens de mesures nécessaires à la détermination de chaque paramètre pris en compte pour l'évaluation de la performance énergétique. Ces moyens de mesure font l'objet d'un programme de maintenance et d'étalonnage défini sous la responsabilité de l'exploitant. La périodicité de vérification d'un même moyen de mesure est annuelle. L'exploitant doit tenir à disposition de l'inspection des installations classées les résultats du programme de maintenance et d'étalonnage ;
- le pouvoir calorifique supérieur du déchet faisant l'objet du traitement est supérieur à 2 500 kcal/kg (soit 10 467 kJ/kg). »

Si ces conditions ne sont pas respectées, l'opération de traitement du déchet par incinération est alors qualifiée d'opération d'élimination.

¹⁴Sabine LEMONNIER-DAVID – Nicolas GIRARD. 2010. Discussion sur le PCI de différentes biomasses : UV Moyens Modernes de Production de l'Énergie (PPT)

IV.1.2.3. Mise en décharge

La mise en décharge des boues est la solution de dernier recours. En effet, comme il est mentionné plus loin, cette option est en cours d'interdiction dans plusieurs pays européens et nord américains. De manière unanime, la mise en décharge est un gâchis car les boues sont source de matière organique de nutriments et d'énergie. En outre la mise en décharge des boues dans les décharges communales est associée à plusieurs désavantages : i) la diminution de la durée de vie des décharges sachant que trouver un nouveau site d'implantation d'une nouvelle décharge n'est pas évidente et parfois quasi-impossible (problématique cruciale pour les collectivités locales), ii) la surproduction de lixiviats, et iii) les difficultés d'exploitation (les nuisances olfactives susceptibles d'être générées par reprise de la fermentation après un certain temps, menace de la stabilité des pentes de déchets à court et à long terme, iv) coût élevé de transport et particulièrement en cas de faible niveau de siccité.

Toutefois, la mise en décharge demeure dans certaines circonstances, à l'instar de celles sévissant dans les zones d'étude, la solution d'urgence ou de rechange en attendant que les autres options de valorisation se développent et que le cadre institutionnel adéquat mis en place.

- i. Sur le plan technique, toute une ingénierie est développée en matière d'aménagement du site de décharge et de sa gestion. Un benchmark synthétisant ce volet est rapporté en Annexe B. Cette revue a débouché sur les recommandations suivantes relatives à la création de casiers de stockage des boues d'épuration.
- ii. Le cadre institutionnel marocain permet actuellement une mise en décharge de classe 1 aisée de boues de station d'épuration pour autant que celles-ci présentent une siccité compatible avec les différentes activités menées sur le casier, en particulier la circulation des engins et des véhicules de collecte sur les déchets.
- iii. La qualité des boues des deux stations d'épuration est très favorable à différents modes de valorisation, dont la valorisation agricole et forestière et de très nombreux pays ont déjà abandonné ou sont en train d'abandonner la mise en décharge au profit de valorisations agricoles ou thermiques. Ne vont plus en décharge que les boues présentant des qualités telles que leur valorisation est trop coûteuse ou impossible.
- iv. Les avantages et inconvénients des différentes techniques ont été présentés et de l'analyse des différentes options possibles, en considérant que :
 - le potentiel élevé de valorisation de ces boues, notamment en agriculture, et le déficit général en matière organique des sols des climats méditerranéens ;
 - la volonté de l'état marocain de développer la valorisation agronomique des boues de station d'épuration ;
 - les travaux de reforestation développés dans de nombreux territoires marocains ;
 - la bonne qualité des produits par les stations d'épurations étudiées ;

- la mise en décharge ne peut être considérée comme une solution durable de gestion des déchets ;
- le séchage solaire des boues permettant d'amener leur siccité à 40 ou 50% permettrait une manutention aisée dans les casiers des décharges des déchets ménagers et assimilés ;

Conduisent à :

- considérer que les boues ne doivent pas durablement être mises en décharge ;
 - opter pour des casiers en forme de tranchées dont la taille peut être rapidement ajustée en fonction de l'évolution des besoins ;
 - produire sur les décharges existantes de la terre végétale permettant au minimum de produire la terre de couverture finale des casiers en cours ou en fin d'exploitation ;
 - développer des pépinières forestières et de plantes paysagères qui exploitent les boues pour améliorer le développement des jeunes plants.
- v. La technique de mise en décharge retenue est du type tranchées larges pour les raisons suivantes :
- c'est un système bien adapté aux boues faiblement déshydratées ;
 - la construction des casiers peut être anticipée de quelques mois, ce qui permet de ne construire que la surface de casiers nécessaire et de minimiser les risques liés à l'investissement ;
 - la technique ne mobilise pas de machines spécifiques à la gestion des boues, il s'agit d'engins de génie civil déjà utilisés au Maroc ;
 - la surface de déversement des boues est très réduite, ce qui réduit les risques de nuisances olfactives ;
 - c'est une solution réversible, il reste possible de venir récupérer les boues par la suite, une fois qu'une solution de valorisation peut être mise en œuvre.

Elle est donc particulièrement adaptée en tant que solution transitoire de durée encore difficile à déterminer.

Cette technique a été mise en œuvre à très petite échelle sur la décharge d'Al Hoceima, où des petites dépressions, en périphérie du site, ont été exploitées pour déverser des boues et les recouvrir de terres.

IV.1.3. REVUE DES PRINCIPALES DESTINATIONS DES BOUES AU NIVEAU EUROPEEN ET DANS LES PAYS DU MENA

IV.1.3.1. Union Européenne (UE)

En 2006¹⁵, le gisement des boues produit les 15 pays de l'UE, soit environ 10 millions tonnes de MS, se répartit en termes de destinations comme le montre la figure 6.

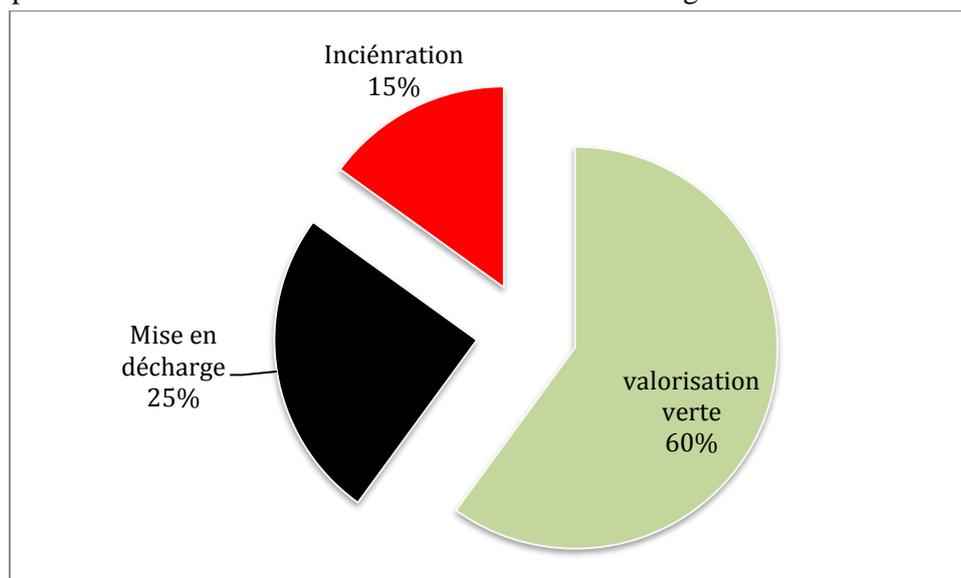


Figure 6 : Destinations des boues au niveau de l'Union européenne

Soulignons que la proportion des gisements des boues mise en décharge connaît, au niveau de l'union européenne une diminution significative. En effet, la règle qui consiste à ne mettre dans les décharges que les déchets ultimes se concrétise à un rythme soutenu.

IV.1.3.2. Allemagne

Les proportions des différentes filières d'élimination et de valorisation des boues en Allemagne sont illustrées par la figure 7.

¹⁵ Milieu Ltd and WRc, 2008, *Environmental, economic and social impacts of the use of sewage sludge on land Draft Summary, Report 1 Assessment of Existing Knowledge*,

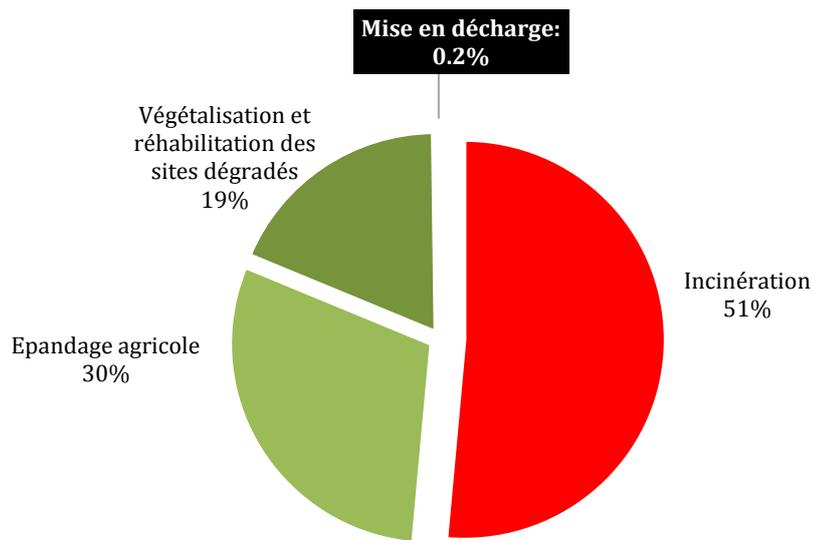


Figure 7 : Les différentes filières de gestion des boues en Allemagne (2013)¹⁶

Comme le montre cette figure, la mise en décharge des boues a nettement régressé pour atteindre seulement 0.2%, alors que le taux était de 54% en 1983. L'interdiction de cette option a permis l'adoption d'autres filières dont l'incinération est la plus dominante avec un pourcentage de 51%. L'utilisation des boues en agriculture a atteint une valeur aux alentours de 29 % en 2011 et 30% en 2013.

IV.1.3.3. Canada : le Québec

La nouvelle politique québécoise de gestion des matières résiduelles, et son plan d'action 2011-2015, stipule que la planification régionale de gestion des matières résiduelles tient compte de la production et de la gestion des boues résiduaires et qu'à terme, la quantité de boues mises en décharge ou éliminées soit nulle pour privilégier la filière de valorisation verte par épandage direct ou après compostage et la filière de production de biogaz.

La figure 8, montre les principales destinations selon le Bilan 2013.

¹⁶Département de l'Environnement. 2011 La Stratégie Nationale de Gestion des Boues des Stations d'Épuration au Maroc. (2011). Rapport phase I. Version définitive.

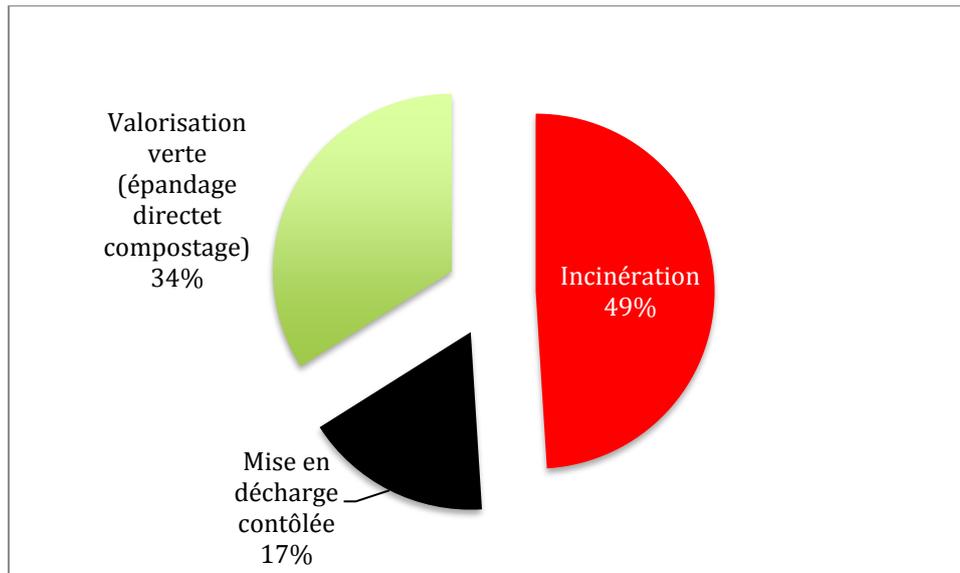


Figure 8. Destinations des boues au Québec

IV.1.3.3. France

Les proportions des différentes destinations des boues, en France, sont illustrées par la figure 9.

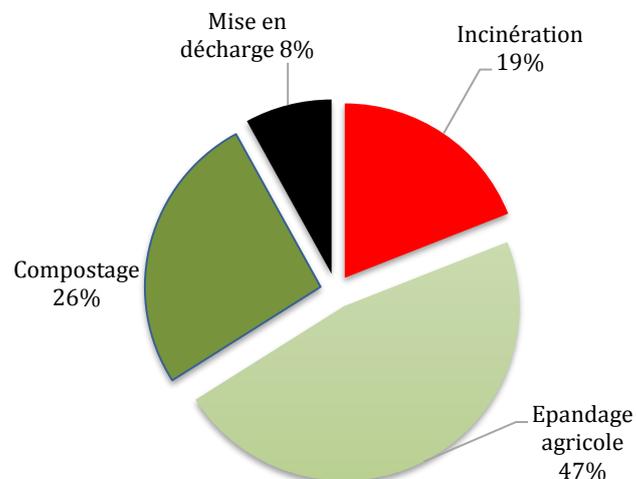


Figure 9. Les principales filières de gestion des boues en France¹⁷

La principale filière de gestion est la filière verte (l'épandage agricole direct et compostage) avec une proportion de 73% suivie de la filière rouge. Ces deux filières sont adoptées conformément à la réglementation nationale et européenne (directive ERU). La mise en décharge est peu adoptée avec une proportion d'environ 8%.

¹⁷ <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/lessentiel/ar/306/305/assainissement-boues-depuration-leur-traitement.html>

IV.1.3.4. Pays du MENA

De manière générale, on note que dans l'ensemble de ces pays, la filière « boues » est insuffisamment intégrée à la filière « épuration » lors de la planification des projets d'assainissement liquide. Ce n'est que lors de la dernière décennie, suite à une augmentation de la production des boues et aux nuisances qu'elles génèrent, que des efforts ont été déployés, à un rythme variable selon le pays, pour trouver des solutions de traitement, d'élimination et de valorisation. A l'instar de la situation marocaine, les contraintes entravant la gestion des boues sont souvent d'ordres institutionnel et réglementaire.

La majeure partie des gisements est déposée dans des décharges mixtes ou dans des étangs de stockage. En effet, bien que des initiatives soient menées à une échelle pilote, et que les gestionnaires sont conscients de la nécessité de minimiser la mise en décharge des boues et de promouvoir la valorisation verte, suivie de la valorisation énergétique, la gestion des boues n'est pas encore maîtrisée.

En Tunisie, après une situation de blocage qui a duré plus de 12 ans, notamment de la valorisation verte, on note actuellement des avancées importantes suite à la parution des textes réglementaires en 2007 (Décret n°2007-13 du 3 janvier 2007, fixant les conditions et les modalités de gestion des boues provenant des ouvrages de traitement des eaux usées en vue de son utilisation dans le domaine agricole), impliquant le Ministère de l'Agriculture dans l'élaboration des plans régionaux de valorisation agricole des boues.

IV.1.3.5. Récapitulatif du benchmark international et recommandations pour le Maroc

La revue de ces expériences permet de faire les déductions suivantes :

- i. Les boues sont de plus en plus considérées comme « ressource ». Ainsi, leur mise en décharge est une option taxée de non durable. Ainsi, la plupart de ces pays ont tendance à une minimisation progressive des filières d'élimination et de mise en décharge des boues.
- ii. La prépondérance de la filière verte et de la filière rouge (incinération) est une la tendance majeure dans la plupart des pays de l'UE et le Canada.
- iii. En absence de terrains aptes à l'épandage, la voie à privilégier est la valorisation énergétique.
- iv. En matière de valorisation verte, on note deux options : un épandage direct des boues et le compostage et valorisation du compost. Aussi bien en France qu'au Canada, l'option privilégiée est celle qui consiste à convertir les boues en une matière appelée « biofertilisant ». Il s'agit du passage de la logique « déchet » vers la logique « valeur fertilisante ». Ainsi, la réglementation d'usage relève de celle des matières fertilisantes. Soulignons en passant, que des décennies, les boues d'épuration sont plutôt appelées « biosolids ».

Au Maroc, la filière verte se justifie davantage étant donnée le faible niveau de fertilité des sols, et particulièrement leur faible niveau en matière organique. La filière de valorisation énergétique

demeure également envisageable lorsque les opportunités sont offertes dans le contexte des STEPs.

IV.2. REVUE SYNTHETIQUE DU CADRE REGLEMENTAIRE ADOPTE A L'INTERNATIONAL

La plupart des pays disposent de cadres légaux réglementant le traitement, la valorisation et la mise en décharge des boues.

Les normes et standards en relation avec ces différentes destinations sont normalement établis à travers des directives ou lois nationales. Dans l'Union européenne (EU), par exemple, une batterie minimale de normes et standards est établie par la Directive européenne sur les boues. La valorisation agricole des boues d'épuration des eaux usées urbaines est réglementée par la directive 86/278/CEE du 12 juin 1986 (modifiée en 2009) relative à la protection de l'environnement et notamment des sols lors de l'utilisation des boues d'épuration en agriculture. Cette directive fixe les valeurs limites des éléments traces métalliques dans les boues utilisées en agriculture ainsi dans les sols récepteurs de cette matière. Elle décrit aussi les périodes d'interdiction d'épandage, et les conditions d'utilisation ainsi les analyses recommandées. Les prescriptions de cette directive européenne, ont été transposées dans la réglementation nationale de chaque Etat membre à travers des décrets et des arrêtés.

Aux Etats-Unis, l'Agence de Protection Environnementale (EPA), a publié les standards pour l'utilisation, la mise en décharge et le stockage des boues.

Ainsi, les membres des États au sein de l'UE et aux USA ont développé des lois et réglementations relatives à la gestion des boues, qui s'alignent avec leurs besoins spécifiques tout en demeurant en conformité avec les directives nationales.

La gestion repose sur des conditions de réutilisation afin d'assurer la sécurité sanitaire et protéger l'environnement de toute contamination possible. Toute option d'élimination ou de valorisation requière une réglementation précise qui stipule les modalités de gestions (étude préalable, les documents d'enregistrement, autorisations) et qui définit les conditions d'utilisation des boues en toute sécurité (normes, restrictions).

C'est pour cela, que des normes et standards d'élimination et de valorisation sont définis par des textes légaux au niveau des pays. Aussi, des guides, manuels et codes de bonnes pratiques sont également publiés et diffusés auprès des acteurs concernés. Dans le Royaume – Uni par exemple, le Département de l'Environnement, de l'alimentation et des affaires rurales a publié, dès 1989, le Code sur les pratiques d'utilisation des boues en agriculture. Ce Code recommande les niveaux de traitements requis, définit un protocole de monitoring des opérations d'épandage, et développe les pratiques opérationnelles préservatrices de l'environnement. Le dit Département a actualisé, en 2008, son Code de Bonnes Pratiques Agricoles, préservatrices de la santé humaine et animale et de l'environnement, et l'a disséminé auprès des gestionnaires des ressources en sols, des agriculteurs, etc.

Dans la plupart des pays, Les boues sont, réglementairement, considérées comme déchets urbains ou déchets municipaux. Lorsqu'il s'agit de boues issues des eaux usées urbaines essentiellement domestiques, ces boues sont considérées comme déchets valorisables. Ainsi, les pays d'Europe et le Canada préconisent la valorisation agricole et la valorisation énergétique, et favorisent les voies de valorisation en interdisant progressivement le dépôt des boues dans les décharges. En effet, depuis les années 2000, l'Europe voit émerger un régime de « création de valeurs ».^[18] Ce régime propose le dépassement de la logique linéaire (extraction-production-consommation-mise en décharge) qui considère le déchet comme une nuisance à prendre en charge et aborde la logique d'économie circulaire (rendre compatible croissance économique, création d'emplois et effets positifs sur l'environnement). Ainsi ce qui relevait autrefois essentiellement d'une politique de traitement des déchets, est amené à devenir de véritables politiques de marchés et de développement de filières industrielles. De nouveaux instruments (réglementaire, économique, fiscalité incitative, etc.) commencent ainsi à être développés pour répondre à ces orientations et visent à renforcer les initiatives innovantes des acteurs privés et du consommateur. En France, par soucis de dynamisme mais aussi pour favoriser une gestion des déchets durable et structurante (évitant les aléas des agendas politiques), savoirs et instruments sont produits par les agences publiques (ADEME), éco-organismes, organisations professionnelles spécifiques aux déchets ou enceintes de concertation (conférences environnementales, groupes de travail Grenelle, etc.).

Ces instruments se développent également à l'international. Au niveau européen, il convient de citer l'initiative Horizon 2020, plus grand programme de soutien à la coopération dans la recherche européenne et international. Ce programme représente une grande opportunité pour le Maroc puisque certains des appels à projet sont focalisés sur les pays méditerranéens. Il en est de même avec l'IPMED (Institut de prospective économique du monde méditerranéen) dont certains des axes de travail sont les énergies renouvelables et l'eau ou encore avec l'initiative ERANET-MED dédiée aux défis environnementaux auxquels sont confrontées les communautés euro-méditerranéennes.

IV.3. RESPONSABILITES INSTITUTIONNELLES DE GESTION DES BOUES

Généralement, force est de constater que la gestion des boues, issues de l'assainissement collectif, à l'instar des autres déchets communaux et municipaux relève de la compétence des collectivités locales et municipales ou leurs équivalents. Au Maroc, une nouvelle loi organique 113-14 stipule, entre autres que la gestion de l'assainissement relève de la compétence des communes.

Il est clair, que les autres acteurs concernés ont aussi des responsabilités relevant de leurs attributions et stipulés par des dispositions législatives. Les producteurs de boues sont contraints à livrer des boues en conformité avec la voie d'élimination et de valorisation, le Département de l'Agriculture devra avoir le leadership en matière de gestion et de suivi des opérations

¹⁸ Rémi Beulque, Helen Micheaux, Franck Aggeri. D'une politique de gestion des déchets vers une politique d'économie circulaire ? : Une mise en perspective historique par les instruments d'action publique. Conférence OPDE - Les Outils pour Décider Ensemble, Feb 2016, Rouen, France. 2016

d'épandage, le Département de l'Environnement assure le contrôle et l'inspection environnementale ainsi que l'établissement du cadre réglementaire, le Département de la santé se charge de la protection de la santé des consommateurs et des populations dans les zones d'épandage, etc.

C'est ainsi, que dans la plupart des pays, le secteur des boues est régi par un dispositif institutionnel favorisant les interrelations fonctionnelles entre les acteurs concernés, dont les prérogatives couvrent les différents volets liés directement ou indirectement à l'assainissement liquide et à l'élimination ou la valorisation des ses sous-produits (environnement, santé, hygiène, agriculture, etc.).

IV.4. ANALYSE DES ASPECTS REGLEMENTAIRES ET INSTITUTIONNELS SPECIFIQUES AU MAROC

Bien que certains de ces aspects aient été plus ou moins évoqués dans la partie relatant les contraintes liées à la gestion des boues au Maroc, il convient d'achever ce benchmark par une revue succincte des aspects réglementaires et institutionnels spécifiques au Maroc.

Les boues de station d'épuration urbaines sont des déchets repris sous la dénomination 19 08 05, boues provenant du traitement des eaux usées urbaines et sont considérés comme des déchets non dangereux.

La loi organique 113-14 intègre dans les compétences propres de la commune la gestion de ces boues.

Les définitions des déchets industriels et des déchets assimilés aux déchets ménagers permettent toutes les deux d'intégrer les boues biologiques des stations d'épuration dans leur définition. Par ailleurs le législateur marocain n'a pas tranché pour l'une ou l'autre de ces intégrations.

Le décret n° 2-09-284 du 8 décembre 2009 fixant les procédures administratives et les prescriptions techniques relatives aux décharges contrôlées prévoit deux types de décharges pour les déchets non dangereux

L'article 48 de la loi n° 28-00 prévoit 3 classes de décharges :

- Classe 1 : les décharges des déchets ménagers et assimilés ;
- Classe 2 : les décharges des déchets industriels, médicaux et pharmaceutiques non dangereux, des déchets agricoles, des déchets ultimes et inertes ;
- Classe 3 : les décharges des déchets dangereux.

En application des dispositions de l'alinéa 2 de l'article 48 de la loi n°28-00 (Une décharge de la classe 1 peut recevoir, moyennant certains aménagements spécifiques, les déchets de la classe 2. Cette mise en décharge donne lieu à la perception de redevances de mise en décharge par les communes et leurs groupements ou par les exploitants auprès des générateurs de ces déchets.), une décharge de la classe 1 peut recevoir les déchets destinés à la décharge de la classe 2 sous les

conditions suivantes : i) l'aménagement de casiers séparés et spécifiques aux déchets initialement destinés à la décharge de la classe 2, ii) le volume desdits déchets ne doit en aucun cas, dépasser un seuil fixé par arrêté conjoint du Ministre de l'intérieur et de l'autorité gouvernementale chargée de l'environnement.

Cette disposition permet donc, que les boues de l'ONEE soient considérées comme des déchets industriels ou des déchets assimilables aux déchets ménagers, de les stocker au niveau des décharges de classe 1, particulièrement s'il s'agit de quantités inférieures aux déchets ménagers.

Dans ce cas précis, la perception d'une redevance de mise en décharge par les communes ou leurs groupements entre en contradiction avec l'article 87 de la loi 113-14 qui précise que la gestion des boues des stations d'épuration urbaine est une compétence propre de la commune. La combinaison de ces deux textes conduit, dans ce cas précis, à ce que la commune se taxe elle-même.

Enfin le Décret n° 2-09-284 du 8 décembre 2009 permet à toute personne, publique ou privée, d'introduire une demande d'implantation ou d'exploitation d'une décharge contrôlée. Néanmoins, la loi 28-00 prévoit des processus de planification en matière de gestion des déchets, notamment dans ses articles 10 à 16, pour la gestion des déchets ménagers et assimilés et pour les déchets industriels. Dans ces plans les besoins en mise en décharge d'acteurs institutionnels, tels que l'ONEE doivent être pris en considération et c'est normalement à l'ONEE d'exprimer ses besoins auprès du Gouverneur dans le cas des plans provinciaux/préfectoraux de gestion des déchets ménagers et assimilés et auprès du Wali dans le cas des plans régionaux de déchets industriels, agricoles et inertes non dangereux.

Le plan directeur régional prévoit notamment :

- les sites appropriés pour l'implantation des installations d'élimination et de stockage des déchets industriels, médicaux et pharmaceutiques non dangereux, et des déchets ultimes, agricoles et inertes en tenant compte des orientations des documents d'urbanisme ;
- un inventaire prévisionnel de cinq (5) ans et de dix (10) ans, des quantités de déchets à collecter et à éliminer selon leur origine, leur nature et leur type ;
- un programme d'investissement de même durée comprenant l'évaluation des coûts de réalisation des décharges contrôlées et des installations de traitement, de stockage, de recyclage ou de valorisation de ces déchets ainsi que la réhabilitation des décharges non contrôlées.

Le plan directeur préfectoral/provincial prévoit notamment :

- les sites appropriés destinés à l'implantation des installations d'élimination et de stockage de des déchets ménagers et assimilés en tenant compte des orientations des documents d'urbanisme ;
- un inventaire prévisionnel de cinq (5) ans et de dix (10) ans, des quantités de déchets à collecter et à éliminer selon leur origine, leur nature et leur type ;

- un programme d'investissement de même durée comprenant l'évaluation des coûts de réalisation des décharges contrôlées et des installations de traitement, de valorisation, de stockage ou d'élimination de ces déchets ainsi que la réhabilitation des décharges non contrôlées.

En matière d'évaluation du gisement et de planification des infrastructures, ces deux types de plans ont les mêmes objectifs.

Considérant que les 4 plans (les deux Plans régionaux de l'Oriental et de Tanger – Tétouan – Al Hoceima et les deux Plans provinciaux/préfectoraux de la province de Nador et de la province d'Al Hoceima) ne sont pas encore achevés, il reste possible d'intégrer la gestion des boues des deux stations d'épuration dans chacun de ces plans, pour autant que l'ONEE signale ses besoins pour les années ultérieures auprès du comité de pilotage de ces plans.

Par ailleurs, sur le plan pragmatique, en considérant que :

- les infrastructures de mise en décharge des déchets ménagers et assimilés sont plus développées que les infrastructures dédiées au stockage des déchets industriels, pharmaceutiques et agricoles non dangereux,
- il est possible de considérer les déchets de dégrillage et les boues biologiques de stations d'épuration urbaines comme des déchets ménagers assimilés ;
- les décharges de classe 1 (décharges pour déchets ménagers) sont autorisées, moyennant le respect de prescriptions techniques complémentaires, à accepter des boues de station d'épuration urbaine ;
- les communes sont responsables de l'assainissement liquide et de la gestion des boues des stations d'épuration ;

Il est ainsi recommandé :

- d'orienter, durant cette phase transitoire, la mise en décharge des boues de station d'épuration urbaine vers les décharges de classe 1 gérées par les communes ou les groupements intercommunaux, généralement dans le cadre de délégations au secteur privé ;
- de contribuer activement à l'élaboration des plans provinciaux/préfectoraux de gestion des déchets ménagers et assimilés afin de faire intégrer les flux de boues produites par toutes les stations d'épuration de l'ONEE dans ces plans.

Aussi, comme il a été signalé auparavant, il est urgent d'entamer le comblement de la lacune réglementaire et normative définissant les normes et les conditions de valorisation des boues.

V. PROPOSITION DES OPTIONS DE GESTION DES BOUES DES DEUX STEP_s

V.1. LES FILIERES A PRMOUVOIR

À la lumière du benchmark international et régional, on se propose d'illustrer, selon un premier schéma générique (Figure 10), les filières envisageables de gestion des boues issues des deux STEP_s.

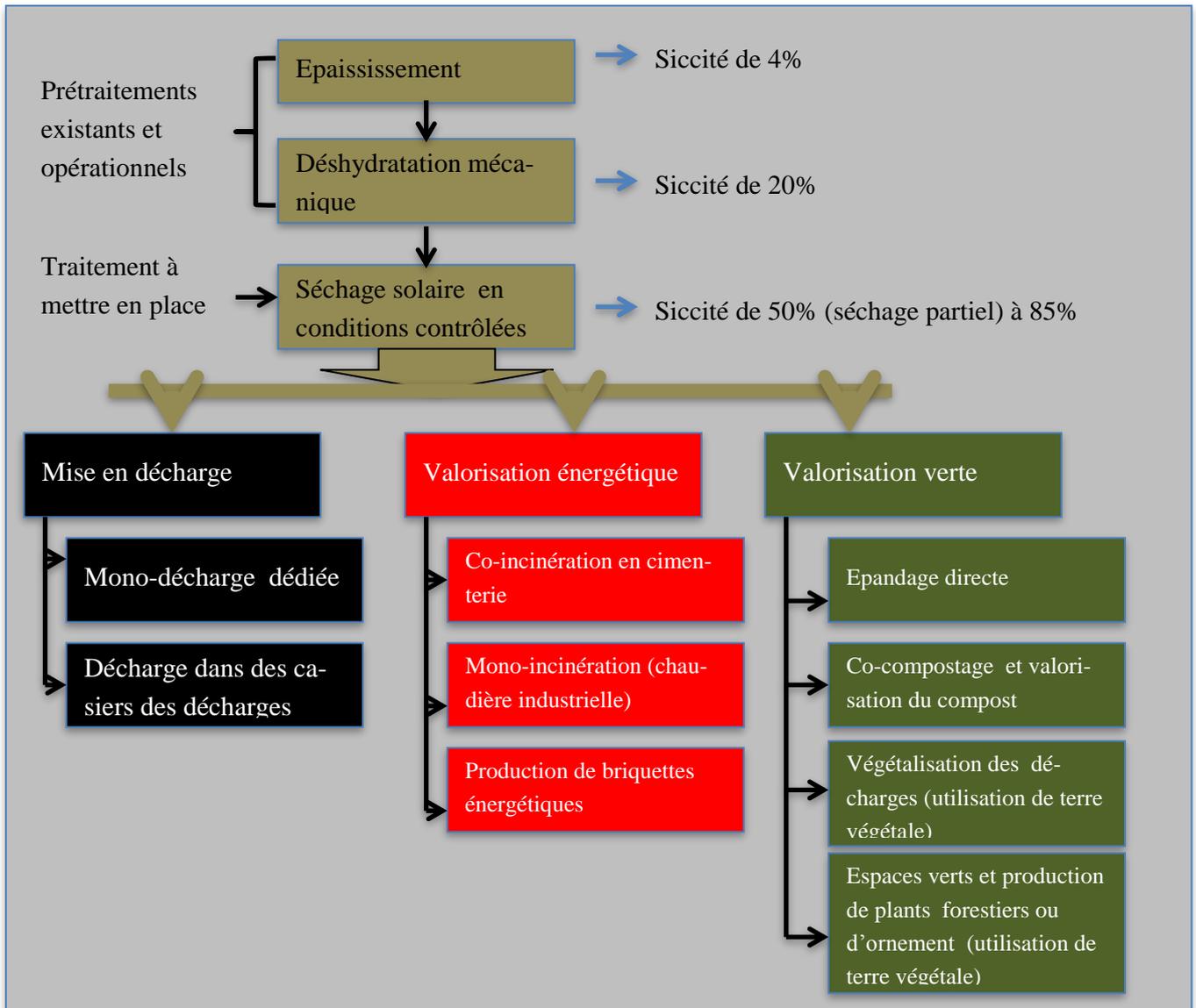


Figure 10. Filières de gestion des boues dans les deux STEP

Comme on peut le constater, le maillon central de développement des trois filières d'élimination et de valorisation réside dans l'introduction de séchage solaire. En effet, la siccité moyenne des boues déshydratées, dans les deux STEP, est d'environ 20%. Cette siccité n'est pas conforme avec les options d'élimination : mise en décharge mixte et/ou mono décharge, de valorisation énergétique et de valorisation verte. De plus, les boues produites ne sont pas suffisamment bien stabilisées et risquent de générer des nuisances olfactives.

Les seuils de séchage requis pour les options d'élimination et de valorisation préconisées sont relatés dans le tableau 2.

Tableau 2. Différents seuils de séchage en fonction de la destination finale des boues^[19]

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 (dès 85%)	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
Mise en décharge	Oui (30% minimum)	Oui	Oui	Transport et réduction des lixiviats

Pour cela, le traitement préalable proposé pour les boues des deux STEPs, permettant une optimisation technique et économique (transport) des options envisageables, et l'évitement des nuisances olfactives, est le séchage solaire en conditions contrôlées sous serre.

Les technologies proposées par différents fournisseurs sont comparées au § VI.1 au regard du coût d'investissement, de la surface nécessaire, du coût d'exploitation, et des références des fournisseurs.

Le dimensionnement de ce dispositif sera effectué sur la base de la technologie la plus appropriée pour chacune des deux STEPs, en fonction de la valeur-objectif de siccité.

Sur la base de diagnostic de situation, des entrevues avec les acteurs concernés et des visites des sites de production des boues et de leurs destinations possibles, les filières à promouvoir parmi les options envisageables sont classées au paragraphe suivant.

V.2. CLASSEMENT DES OPTIONS DE TRAITEMENT – ELIMINATION – VALORISATION (TEV)

Sur la base de diagnostic de situation, de l'analyse des opportunités, des entrevues avec les acteurs concernés et des visites des sites de production des boues et de leurs destinations possibles, les filières à promouvoir parmi les options envisageables sont illustrées par la figure 11.

¹⁹Source : Traiter et valoriser les boues. Collection. Ouvrage collectif OTV. Paris 86240 Ligugé OTV 1997.



Figure 11. Options envisageables pour l'élimination et la valorisation des boues des STEPs d'Al Hoceima et de Nador

Ainsi, partant de la situation actuelle de gestion des boues dans les deux STEPs et des contraintes techniques, institutionnelles et réglementaires conditionnant la mise en œuvre de certaines options d'élimination et de valorisation, et considérant les arrangements institutionnels en cours de formalisation entre l'Office et les collectivités locales, on se propose de relater dans la matrice suivante (Tableau 3), une proposition de modulation chronologique d'opérationnalisation des options de gestion proposées.

Tableau 3. Matrice de modulation chronologique des options de gestion des boues

Actions de préparation des actions à moyen et long terme	Parachèvement du cadre réglementaire et normatif de valorisation des boues				Décréter la responsabilité institutionnelle du MAPM et ses structures compétentes pour : i) l'élaboration des plans d'épandage, ii) leur mise en œuvre, iii) la surveillance, iv) l'endrament, etc. (S'inspirer du cadre mis en place en Tunisie)			
	Application des dispositions de la loi organique 113-14 définissant les compétences des communes et leur intégration dans les contrats de gestion déléguée				Information et formation sur la valeur ajoutée des filières de valorisation			
Mesures préalables	Acquisition de terrain pour l'installation du dispositif de séchage solaire		Mise en place du dispositif de séchage solaire		Mise en service du dispositif de séchage solaire			Démarrage et diversification de la valorisation verte et consolidation de la valorisation énergétique
Options de valorisation	Préparation de terre végétale (sol + boues) pour végétalisation		Utilisation des boues dans les espaces verts de la STEP (Option BEV)		Démarrage de la valorisation énergétique + Option BEV			
Options d'élimination	Mise en décharge		Valorisation des boues par confection d'une terre végétale pour la végétalisation (OBV)		Pilote de fabrication de briquettes combustibles (Al Hoceima) Pilotes : co-compostage et valorisation du compost + Option OBV			
Echéancier	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	A partir de 2023

VI. PRE-FAISABILITE TECHNICO-ECONOMIQUE ET DIMENSIONNEMENT DES OPTIONS PROPOSEES POUR LA GESTION DES BOUES

VI.1. SECHAGE SOLAIRE SOUS –SERRE : TRAITEMENT PREALABLE COMMUN AUX DEUX SITES

VI.1.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le séchage présente un intérêt immédiat pour la réduction significative du coût de transport des boues, et un intérêt à plus long terme, pour la valorisation énergétique par voie sèche.

Le séchage solaire permet de réduire la quantité d'eau dans les boues par évaporation jusqu'à 10%. La serre permet d'assurer le contrôle des conditions de séchage (température, vitesse de l'air) et des odeurs. Ce type de séchage fonctionne sans autre apport d'énergie que de l'électricité pour la circulation de l'air et le retournement de la boue.

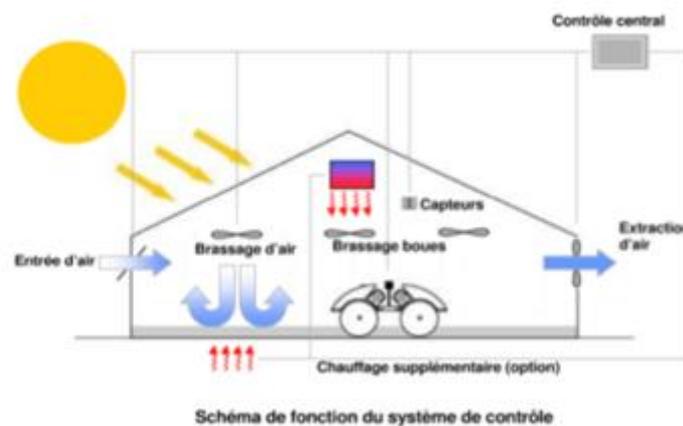


Figure 12 : Schéma de principe de fonctionnement de la serre de séchage

Bénéficiant de 320 jours d'ensoleillement par an, les régions côtières du Maroc se prêtent bien au séchage solaire, pour un coût d'exploitation limité.

Il n'existe pas de règle générale de conception, chaque constructeur dispose de sa technologie, cependant on peut retenir que la surface utile de séchage est calculée sur la base de la capacité d'évaporation des boues, paramètre qui dépend essentiellement de la saison et de la localisation géographique (UVED, 2013).

La formule qui permet de calculer la surface est la suivante :

$$S = \frac{\frac{52}{Sci/100} - \frac{52}{Scf/100}}{\text{Capacité évaporatoire}}$$

Avec :

52 : nombre de semaines dans une année ;

Sci : siccité initiale exprimée en % ;

Scf: Siccité finale exprimée en % ;

La capacité évaporatoire est exprimée en tonne par m².

VI.1.2 SELECTION DE LA MEILLEURE TECHNOLOGIE

VI.1.2.1. Comparaison des scénarii sur la base des données actuelles

Deux scénarii ont été envisagés : séchage direct des boues après épaissement (4% de siccité), ou séchage après déshydratation mécanique (20% de siccité). Cette dernière est généralement la mieux indiquée, car le séchage de boues liquides (après épaissement) n'est pas toujours possible (selon les technologies). Lorsqu'il est possible, la surface nécessaire est très grande et entraîne un coût d'investissement prohibitif.

Plusieurs technologies ont été comparées sur la base des conditions d'exploitation de la STEP de Nador (60 t/j de boues à 20% de siccité, donnée 2015). La siccité finale a été fixée à 85%, qui peut être considérée comme une valeur cible pour une valorisation énergétique.

Le tableau suivant montre les résultats obtenus d'après les devis des fournisseurs, avec un prix de l'électricité à 0,85 MAD/kWh et un taux de change de 10,884 MAD pour 1 €.

Tableau 4 : Comparaison des technologies de séchage pour la préparation de 12 t MS/jour de boues

		Thermo-System	IST-Anlagenbau	WVE	Solar tiger	Unité
Séchage 20% --> 85%	Emprise au sol	1,3	1,3	1,1	1,0	ha
	Investissement	30	48	Non communiqué		M MAD
	Dépenses en électricité	0,4	0,3	Non communiqué		M MAD/an
	Économies de transport	2 000 camions/an (identique pour les quatre technologies)				
Expérience	Au Maroc	Oui	Non	Non	Non	
	Ailleurs dans le monde	Oui	Oui	Oui	Oui	

À titre de comparaison, le séchage de la même quantité annuelle de boue par un procédé thermique, plus compact, coûterait 17 M MAD (millions de dirhams) à l'investissement, et l'énergie requise est environ de 70 kWh d'électricité et 960 kWh de gaz pour 1 tonne d'eau

évaporée (TEMA Equipement). Ainsi, le coût en énergies est tel, en l'absence de chaleur fatale disponible aux abords du site, que la différence d'investissement pourrait être compensée en un an (avec un prix du gaz à 0,90 MAD/kWh).

La technologie THERMO-SYSTEM est la moins onéreuse à mettre en place, et la seule qui bénéficie d'un retour d'expérience au Maroc. En revanche, les dépenses énergétiques sont plus élevées que pour la technologie IST-Anlagenbau. L'impact de cette différence dans la durée est étayé au paragraphe suivant.

VI.1.2.2. Projection 2030

L'installation de séchage doit être prévue pour répondre à la demande de traitement des boues sur 15 ans. Durant cette période, la population raccordée à la STEP de Nador devrait augmenter ; le sécheur doit donc être dimensionné sur la base de la production de boues estimée en 2030.

La population est réputée suivre une progression géométrique, soit d'après les données démographiques 2014 :

$$\text{Population}_{\text{année } x} = \text{Population}_{\text{année } 2015} * (1 + \text{taux d'accroissement})^{x-2015}$$

Avec :

- Population_{année 2015} = 223 122 hab. ^[20]
- Taux d'accroissement = 0,96% ^[21]

La figure 13 permet de comparer les dépenses annuelles pour les solutions décrites au paragraphe précédent, de 2016 à 2030. La production de boues est estimée en considérant 60 g MS par personne et par jour, et atteint 15,5 t MS/j en 2030, soit environ 28 200 t/an de boues à 20% de siccité. Les dépenses d'exploitation comprennent l'amortissement de l'investissement (pour le séchage de 20% à 85% de 15,5 t MS/j, hors acquisition du terrain) sur 15 ans et les dépenses en énergie, avec un prix de l'électricité constant à 0,85 MAD/kWh et un prix du gaz constant à 0,90 MAD/kWh.

²⁰Donnée tirée du rapport FAO/ONEE - Mission 1 : diagnostic de la situation actuelle et ébauche d'une vision d'amélioration des performances (2015).

²¹Haut Commissariat au Plan. 2014. Note sur les premiers résultats du Recensement Général de la Population et de l'Habitat 2014 (Donnée recensement)

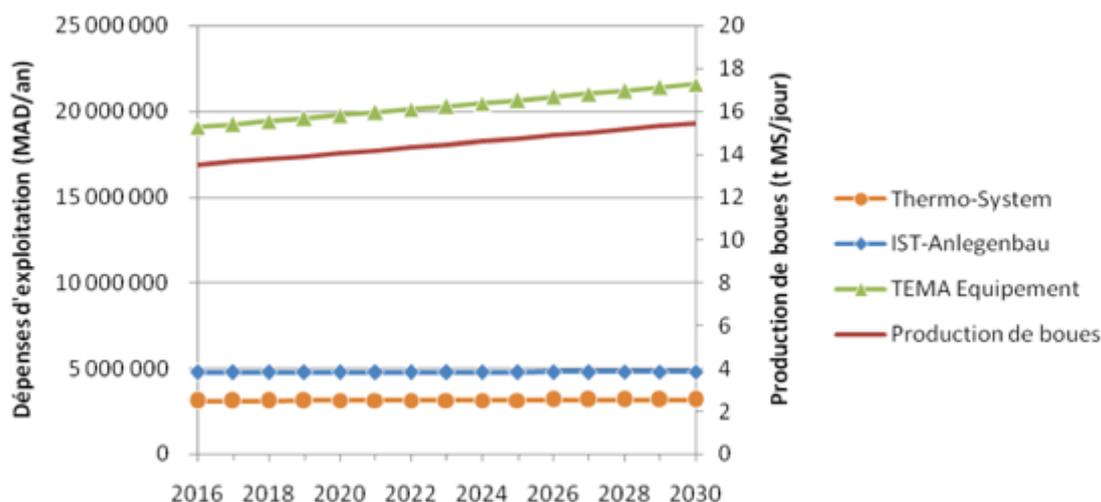


Figure 13 : Projection sur 15 ans des dépenses d'exploitation de trois technologies de séchage

La technologie TEMA Equipement est un sécheur thermique, tandis que les technologies THERMO-SYSTEM et IST-Anlagenbau sont deux sécheurs solaires sous serre. Pour ces dernières, les dépenses varient peu avec la production de boues.

Le graphe met en évidence l'avantage économique du séchage solaire par rapport au séchage thermique au gaz, à condition de disposer du terrain nécessaire au séchage solaire.

La technologie THERMO-SYSTEM génère les dépenses d'exploitation (investissement hors terrain et dépenses énergétiques) les plus réduites. C'est donc la technologie la mieux indiquée pour les cas des STEPs de Nador et d'Al Hoceima.

Une installation dimensionnée pour traiter 15,5 t MS/j de boues nécessite un investissement de 37 M MAD (millions de MAD) pour une surface de 1,6 ha (estimation d'après) ; le coût en électricité est de 0,7 M MAD/an en moyenne.

VI.1.2.3. Distance de transport à coût constant

Le coût de transport est estimé en considérant un transport en vrac dans les camions-bennes acquis par l'ONEE pour évacuer les boues de la STEP de Nador. Ceux-ci ont une consommation de 54 L/100 km pour une capacité de transport de 8 m³. Le carburant coûte 8 MAD/L.

Le coût de transport des boues humides est comparé sur la figure suivante au coût énergétique du séchage (coût d'exploitation hors amortissement de la technologie THERMO-SYSTEM) ajouté au coût de transport des boues à 85% de siccité.

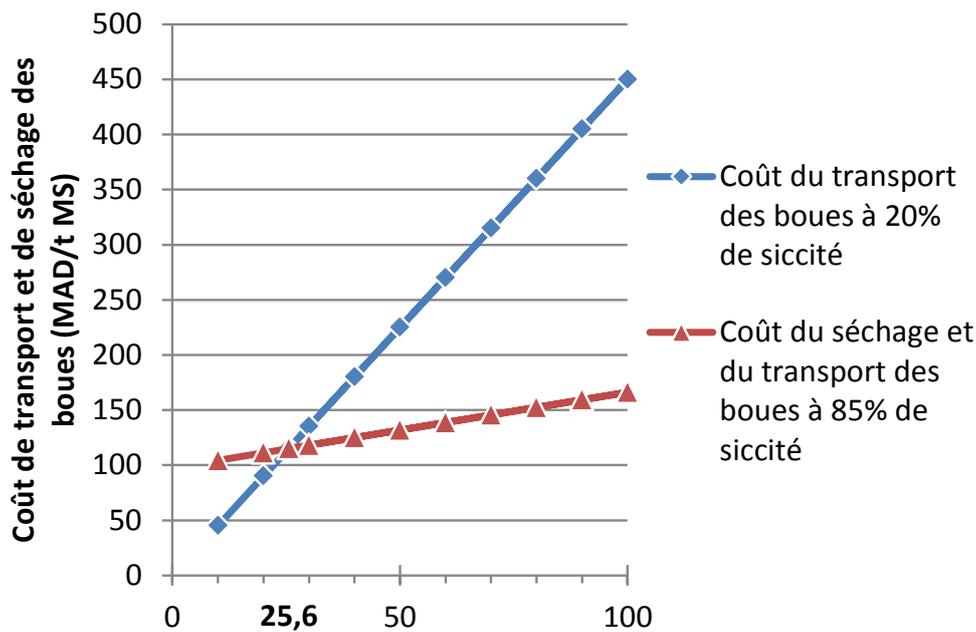


Figure 14 : Coût de transport et de séchage des boues humides et séchées

Le coût de transport des boues humides augmente de façon linéaire avec la distance parcourue, tandis qu'à cause du coût énergétique du séchage, le transport des boues sèches revient plus cher pour les faibles distances mais augmente moins vite. Les courbes se croisent à la distance de 25,6 km : au-delà de cette distance, il est plus rentable de sécher les boues avant de les transporter.

VI.2.STEP DE NADOR

VI.2.1. MISE EN DECHARGE

VI.2.1.1. Mise en décharge des boues à 20% de MS dans un nouveau site de décharge – Nador

Le stockage des boues est réalisé selon la technique des tranchées larges. Le site doit accueillir environ 21.900m³ de boues à 20% de siccité par an. Ainsi, chaque année, 3 tranchées de 15m de large, de 4m de profondeur (au-delà de cette profondeur, il devient difficile d'utiliser les engins classiques de construction) et de 170m de long (cette longueur permet d'optimiser l'espace utilisé chaque année) devront être creusées pour accueillir cette quantité.

La durée de vie prévue du site est de 15ans.

C'est un espace clôturé et surveillé avec des infrastructures dédiés et interdit au public et équipé conformément au décret 2-09-284 concernant les procédures administratives et les prescriptions techniques relatives aux décharges.

Les terres déblayées seront stockées et réutilisées comme couverture finale pour les boues une fois les tranchées remplies. L'épaisseur de remplissage des boues sera au maximum de 3m avec 1m de couverture finale, les terres de couverture seront mise en place à l'aide d'une dragline.

Le fond des tranchées sera recouvert d'une couche de protection et d'un système de collecte des lixiviats.

Comme le montre la figure 15, chaque tranchée sera espacée de 9m par rapport à la suivante (pour permettre la circulation et les manœuvres des camions, le travail des engins et le stockage des terres déblayées). Elles seront positionnées de préférence parallèlement les unes aux autres.

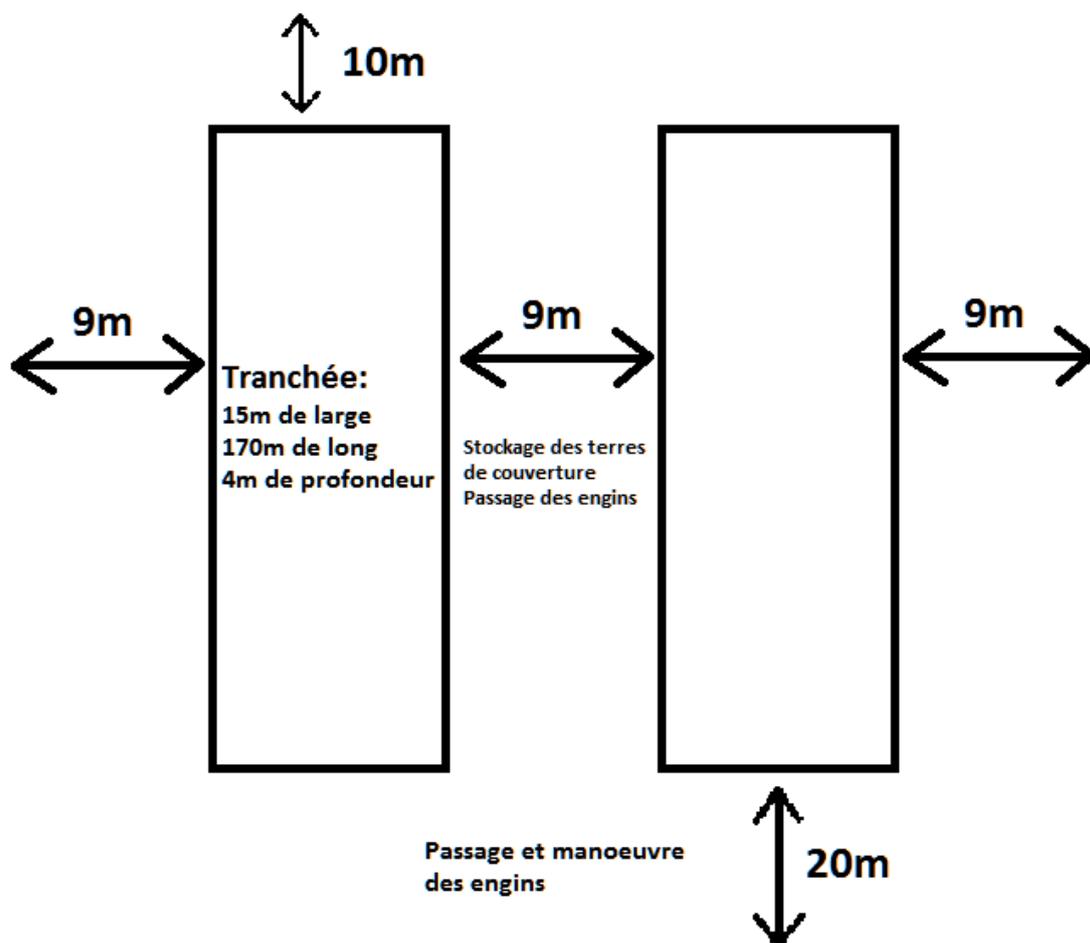


Figure 15. Schéma de principe des tranchées nécessaires pour une année – Nador

La superficie nécessaire annuellement pour gérer les quantités de boues apportées est donc de 16.200m²/an (y compris les voies de circulation des engins). A cette superficie viennent s'ajouter des bâtiments techniques et administratifs (environ 60m²), un système de gestion des eaux pluviales et un système de collecte et de traitement des lixiviats produits.

Ainsi, la superficie nécessaire pour la durée de vie du site est de minimum 24,3ha.

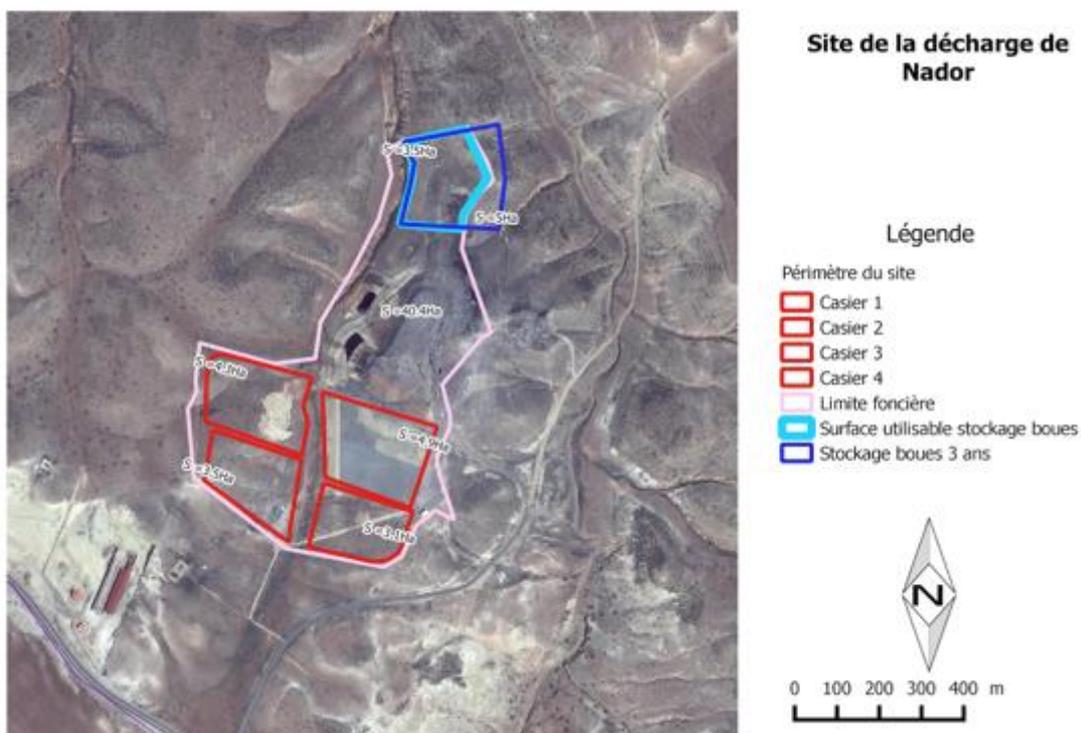
Les infrastructures complémentaires concernent :

- La clôture et les barrières ;
- Les locaux ;
- Les pistes ;
- Les fossés ;
- Les passages de fossés ;
- Les bassins ;
-

VI.2.1.2. Mise en décharge des boues à 20% de MS dans des casiers spécifiques (mono-décharge) du site actuel de décharge – Nador

Cette proposition consiste à intégrer au site actuel de la décharge de Nador les tranchées nécessaires à accueillir les boues de la station d'épuration de Nador.

La superficie disponible sur le site de la décharge est de 3ha ce qui permettrait d'accueillir les boues produites par la station d'épuration de Nador sur les 2 prochaines années et pour les 3 prochaines années si on ajoute une extension dans la partie Nord du site telle que reprise sur la carte ci-dessous pour atteindre une surface totale de zone de stockage des boues de 5ha.



Le stockage des boues est réalisé selon la technique des tranchées larges Il doit accueillir environ 21.900m³ de boues à 20% de siccité par an. Ainsi, chaque année, 3 tranchées de 15m de large, de 4m de profondeur (au-delà de cette profondeur, il devient difficile d'utiliser les engins classiques de construction) et de 170m de long (cette longueur permet d'optimiser l'espace utilisé chaque année) devront être creusées pour accueillir cette quantité.

C'est un espace clôturé et surveillé avec des infrastructures dédiés et interdit au public et équipé conformément au décret 2-09-284 concernant les procédures administratives et les prescriptions techniques relatives aux décharges.

Les terres déblayées seront stockées et réutilisées comme couverture finale pour les boues une fois les tranchées remplies. L'épaisseur de remplissage des boues sera au maximum de 3m avec 1m de couverture finale, les terres de couverture seront mise en place à l'aide d'une dragline.

Le fond des tranchées sera recouvert d'une couche de protection et d'un système de collecte des lixiviats.

Comme le montre la figure 16, chaque tranchée sera espacée de 9m par rapport à la suivante (pour permettre la circulation des engins et le stockage des terres déblayées). Elles seront positionnées de préférence parallèlement les unes aux autres.

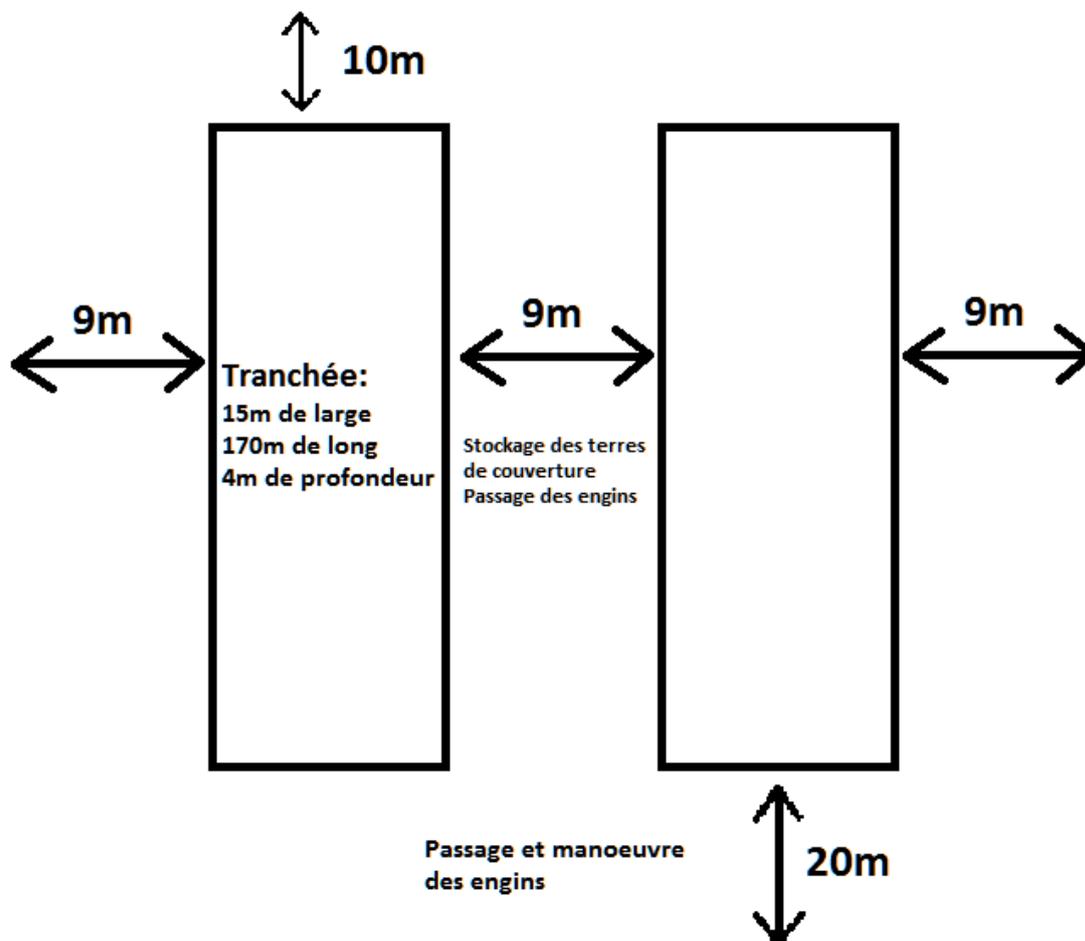


Figure 16. Schéma de principe des tranchées nécessaires pour une année – Nador

La superficie nécessaire annuellement pour gérer les quantités de boues apportées est donc de 16.200m²/an (y compris les voies de circulation des engins). A cette superficie viennent s'ajouter des bâtiments techniques et administratifs (environ 60m²), un système de gestion des eaux pluviales (commun avec le système de gestion des eaux pluviales des casiers de la décharge) et un système de collecte et de traitement des lixiviats produits (commun avec le système de traitement des lixiviats des casiers de la décharge).

Ainsi, la superficie nécessaire pour la durée de vie du site est de minimum 5ha.

Les infrastructures complémentaires concernent :

- La clôture et les barrières ;
- Les pistes ;
- Les fossés ;
- Les passages de fossés ;
-

VI.2.1.3. Production de terres végétales à partir de boues à 20% de MS et de terres minérales gratuites – Nador

La production de terres végétales est réalisée à partir d'un mélange des boues de la station d'épuration de Nador et de terres minérales dans la décharge actuelle de Nador (une fiche de description de la production de terre végétale est rapportée en fin du rapport, Annexe E). Il doit accueillir environ 21.900m³ de boues à 20% de siccité par an et permettra de produire 33.690m³ de terres végétales par an.

C'est un espace clôturé et surveillé avec des infrastructures dédiés et interdit au public. Les opérateurs privés ou publics accédant au site de décharge que lors des heures d'ouverture du site sous la surveillance d'un responsable présent sur le site.

La durée de vie du site est de 15 ans.

Le site comprendra une dalle de mélange des terres permettant le déchargement des terres et des boues et leur mélange d'une surface de 300m² permettant d'accueillir les quantités journalières de terres végétales produites (environ 100T/j). Cette dalle de 25cm d'épaisseur sera réalisée en béton armé et comportera une butée de 50cm d'épaisseur, 20m de long et 4m de haut. Le site sera également doté d'un système de gestion des eaux pluviales et des lixiviats.

Le mélange des terres sera réalisé à l'aide d'un chargeur sur pneu muni d'un godet mélangeur.

La superficie du site sera de 1ha.

VI.2.1.4. Estimation des coûts

Les coûts d'investissement pour la mise en décharge des boues de la STEP de Nador et à la confection de terre végétale sont récapitulés dans le tableau 5. Rappelons que la superficie requise est de 24 hectares et que les boues mises en mono-décharge sont à leur siccité actuelle de 20%. Les hypothèses de calcul et dimensionnement et le détail des coûts d'investissement et d'exploitation avec amortissement sont rapportés en annexe C.

Tableau 5: Récapitulatif des coûts d'investissement et d'exploitation de la mise en décharge des boues de la STEP de Nador (Voir détail en annexe C)

Options/Aménagements	Investissement (HTVA)	Durée de vie	Coût d'exploitation à la tonne hors amortissement (HTVA)	Coût à la tonne, exploitation et amortissement compris (HTVA)
Aménagement de tranchées en site propre pour la STEP de Nador (monodécharge spécifique)	10 297 968	15	350	386
Aménagement de tranchées sur le site de la décharge Nador pour la STEP de Nador (monodécharge sur site de la décharge actuelle)	4 697 552	3	385	418
Aménagement d'une unité temporaire de production de terre végétale dans le site de la décharge de Nador	5 623 052	15	79	111

VI.2.2. VALORISATION ENERGETIQUE DES BOUES DE LA STEP DE NADOR

VI.2.2.1. Opportunités locales de valorisation énergétique des boues

Comme le montre la figure 17, trois consommateurs potentiels d'énergie ont été identifiés à proximité de la STEP, Cosumar (36 km) Holcim (115 km), et Sonasid (16 km).



Figure 17 : Parties prenantes territoriales dans la gestion des boues de Nador

VI.2.2.2. Séchage solaire sous serre

Quelle que soit l'option de valorisation énergétique retenue, les boues doivent être séchées.

Faisabilité technique

Le séchage solaire convient au séchage de boues préalablement déshydratées. Si certaines technologies peuvent être adaptées au séchage de boues liquides (avant déshydratation), il s'agit de procédés discontinus, qui ne répondent pas pleinement à la problématique de gestion des boues.

L'étape de centrifugation des boues de la STEP de Nador permet d'atteindre une siccité de 20%, compatible avec le séchage solaire sous serre.

La production de boues de la STEP de Nador représente 5 040 t MS/an (moyenne 4 380 t MS en 2016 et 5 690 t MS en 2030), soit 25 180 t brut/an. Selon la solution de valorisation énergétique envisagée, les boues sont séchées à 85% ou 90%. Cette siccité assure que les boues soient hygiénisées (absence de germes pathogènes) et limite considérablement les émissions d'odeur.

En tenant compte des conditions météorologiques de la région nord-orientale du Maroc, la technologie THERMO-SYSTEM possède une capacité évaporatoire de 1,38 t/m²/an. La superficie requise pour le séchage est dimensionnée sur la projection 2030.

Ainsi, si on dimensionne l'installation de Nador pour arriver à 85% de siccité, soit plus que 21 769 t/an d'eau évaporée (projection 2030), cette superficie est de 1.6 ha.

$$A \text{ [ha]} = (1/S_i - 1/S_f) \times M \text{ [t MS/an]} / (C \text{ [t/m}^2\text{/an]} \times 10\,000)$$

A : superficie, en hectares

S_i et S_f : % de matière sèche de la boue à son état initial (S_i) et final (S_f)

M : quantité annuelle de boues, en tonnes de matière sèche par an

C : capacité évaporatoire, en tonnes d'eau par m² et par an --> C x 10 000 est en t/ha/an

Faisabilité environnementale

La faisabilité environnementale du séchage est analysée à la lumière du gain sur le transport des boues et étayée par les données relatées dans le tableau 6.

Les boues séchées à 85% correspondent au volume de 400 camions (368 camions pour des boues séchées à 90%), contre 2 620 camions pour transporter la même quantité de matière sèche à 20% de siccité. L'économie en termes de gaz à effet de serre est de 7 550 kg/km CO₂ équivalent (7 620 kg/km CO₂ équivalent pour des boues séchées à 90%).

La consommation d'électricité pour le séchage génère 473 t/an CO₂ équivalent en moyenne (481 t/an CO₂ équivalent pour sécher les boues à 90 %).

Tableau 6 : Intérêt environnemental du séchage

Opportunité de valorisation	Siccité	Distance (km)	Émissions de CO ₂ (t/an CO ₂ équivalent)		
			Électricité	Transport	Balance
Cosumar	85%	34	473	-254	218
Holcim	90%	115	481	-876	-396
Sonasid	85%	16	473	-120	353

D'un point de vue environnemental, en prenant en compte le mix du Maroc (très carboné), le séchage est bénéfique pour des distances supérieures à 63 km avant même de prendre en compte une valorisation des boues.

Faisabilité économique

L'investissement pour sécher les boues de la STEP de Nador, en accord avec les projections de production en 2030 (16 t MS/j) de 20% à 85% de siccité s'élève à 37 M MAD (millions de MAD) environ (estimation d'après devis Thermo-System). La surface à acquérir est de 1,6 ha. Le séchage jusqu'à 90% de siccité nécessite une surface légèrement supérieure et un investissement de 38 M MAD (millions de MAD).

Les besoins énergétiques de l'installation représentent 30 kWh/t d'eau évaporée, soit 0,50 M MAD/an en moyenne sur la période 2016-2030, en considérant un coût de l'électricité à 0,85 MAD/kWh.

En outre, en première approche (niveau étude de faisabilité) les coûts de maintenance et de prévention sont estimés sur la base d'un ratio (compris entre 4% et 5%) par rapport au coût d'investissement alloué aux équipements principaux (système de ventilation et sangliers retourneurs). Ce coût représente environ 0,60 MAD/an.

Tableau 7: Éléments économiques – Séchage solaire

Boues	Production moyenne (15 ans)	5 030		t MS/an
	Production maximale (2030)	5 690		t MS/an
	Siccité	20%		
Séchage	Capacité nominale	5 690		t MS/an
	Siccité atteinte	85%	90%	
	Superficie	1,6	1,6	ha
	CAPEX	37	38	M MAD (15 ans)
		435	443	MAD/t MS (nominal)
	Dépenses d'exploitation (moyenne)	1,09	1,10	M MAD/an
		220	221	MAD/t MS

VI.2.2.3. Mono-incinération en chaudière industrielle

Faisabilité technique

La boue de Nador est faiblement chargée en métaux lourds et ne pose pas de problème à l'incinération.

Sucrafor, filiale de Cosumar, est une sucrerie raffinée de betterave. La sucrerie a une consommation importante, mais saisonnière, d'énergie thermique sous forme de vapeur. Le rapport du GIZ^[22] fait état de besoins énergétiques de 60 t/h de vapeur à 33 bar et 380°C.

La saisonnalité de la consommation nécessite de produire un combustible facilement stockable. À part cette contrainte, la valorisation des boues de Nador sous forme de vapeur est techniquement aisée.

La composition des boues est compatible avec la mono-incinération, avec un traitement et un contrôle adapté des fumées. La siccité à atteindre pour produire un combustible possédant un contenu énergétique comparable au bois est de 85% (soit 18 MJ/kg). La boue sèche est solide (granuleuse) et peut être stockée en vrac (andains sous hangar ou big-bag).

Le choix d'un four spécifique adapté à la combustion des boues permet de les valoriser sans prétraitement supplémentaire.

Les boues fournissent une énergie (en entrée) de 30 GWh en moyenne. Sachant que l'on peut estimer en ordre de grandeur que la production de vapeur pour les besoins de Cosumar (60 t/h à 33 bar) devrait nécessiter une installation d'une puissance de 40 MW, la quantité de vapeur produite à partir des boues équivaut à plus de 700 h de fonctionnement (45 000 t de vapeur, avec un rendement énergétique de 91%).

Dans le cadre de cette option, Cosumar est donc susceptible de capter la totalité du gisement. Pour l'industriel, l'investissement dans une chaudière dédiée à la combustion des boues peut se justifier si la régularité et l'homogénéité de l'approvisionnement peut être garantie.

Faisabilité environnementale

La valorisation des boues issues d'un traitement biologique comme combustible de substitution permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre, car celles-ci sont considérées comme étant d'origine biogénique. Par exemple, 1 tonne de boue à 85% de siccité équivaut en contenu énergétique à 460 Nm³ de gaz soit 1 280 kg CO₂ équivalent évités. L'économie annuelle liée à la substitution du gaz naturel par les boues est supérieure 7 420 t/an CO₂ équivalent en moyenne.

²² <https://www.giz.de/de/downloads/giz2011-fr-potentiels-biomasse-region-oriental.pdf>

Lorsque l'on compare cette économie aux 218 t/an CO₂ équivalent dues au séchage et le transport des boues, la balance est largement favorable à la combustion des boues.

En outre, les boues de la STEP de Nador contiennent peu de métaux; les cendres sont donc a priori valorisables, par exemple pour la fabrication d'éléments en béton.

Faisabilité économique

Les coûts liés au sécheur solaire sont décrits au titre VI.2.2.2.

Le coût de reprise de la boue séchée devra faire l'objet d'une convention avec Cosumar. À titre informatif, en France le coût moyen de reprise est de 70 € HT/t de matière brute (766 MAD)^[23]. Le coût de transport des boues jusqu'au site de Cosumar (34 km) est estimé à 0,12 M MAD/an en moyenne.

La mise en place de cette option de valorisation nécessite l'installation d'une chaudière dédiée à la production de vapeur à partir des boues. En ordre de grandeur, une installation de ce type nécessite un investissement de 150 M MAD, traitement des fumées inclus. Les dépenses d'exploitation associées (électricité, consommables pour le traitement des fumées, maintenance, sécurité) reviennent à environ 3 M MAD/an.

En outre, sur la base du prix du gaz naturel à 0,9 MAD/kWh, les économies apportées par la combustion des boues s'élèvent à 26,14 M MAD/an en moyenne.

²³ <http://www.actu-environnement.com/ae/news/boues-step-urbaines-retour-experience-adherents-amorce-17228.php4>

Tableau 8 : Éléments économiques – Mono-incinération en chaudière industrielle

Boues	Production moyenne (15 ans)	5 690	t MS/an
	Production maximale (2030)	5 030	t MS/an
	Siccité	20%	
Séchage	Capacité nominale	5 690	t MS/an
	Siccité atteinte	85%	
	Superficie	1,6	ha
	CAPEX	37 435	M MAD (15 ans) MAD/t MS (nominal)
	Dépenses d'exploitation (moyenne)	1,09 220	M MAD/an MAD/t MS
	Reprise des boues	Équilibre à trouver entre les deux parties	
	Économies d'énergie	-	M MAD/an
Transport des boues	Distance	34	km
	Dépense en carburant (moyenne)	0,12 23	M MAD/an MAD/t MS
	Économie par rapport au transport de la boue humide (moyenne)	- 0,65 - 130	M MAD/an MAD/t MS
	CAPEX	150 1 757	M MAD (15 ans) MAD/t MS (nominal)
Combustion	Dépenses d'exploitation (moyenne)	3 596	M MAD/an MAD/t MS
	Reprise des boues	Équilibre à trouver entre les deux parties	
	Économies d'énergie (moyenne)	- 26,14 5 190	M MAD/an MAD/t MS

Conclusion

La mono-incinération en chaudière industrielle est une option qui pourra être étudié avec Cosumar en tant que partie prenante. Cette option permet de valoriser l'ensemble du gisement de boues de la STEP de Nador, avec une visibilité sur 15 ans. Le revers de la mono-utilisation d'un équipement dédié est que les coûts (investissement et coûts d'exploitation) associés sont élevés, d'autant plus si la chaudière n'est pas utilisée au maximum de sa capacité.

Cette option permet malgré tout à Cosumar de réduire sa facture énergétique, et de rentabiliser l'investissement dans la chaudière dédiée.

La négociation du coût de reprise des boues sèches est un point central pour trouver un équilibre financier satisfaisant pour les deux parties.

Néanmoins, suite au contact de Cosumar, deux points paraissent jouer en la défaveur de la valorisation énergétique des boues pour ce type d'application :

- La présence de produits énergétiques concurrentiels (types grignons d'olives) ;
- Des réticences à l'utilisation de boues de STEP, à mettre en perspective avec un manque d'information sur l'innocuité et la valeur de ce déchet en tant que combustible de substitution.

VI.2.2.4. Co-incinération en cimenterie

Faisabilité technique

La cimenterie Holcim fait partie du groupement Ecoval pour la valorisation des déchets en cimenterie. La température du four pour la fabrication de ciment est de l'ordre de 1 450°C. D'après le rapport du GIZ (2011) sur le potentiel de valorisation de la biomasse dans la région de l'Oriental^[24], à l'heure actuelle, Holcim produit l'énergie nécessaire à son activité à partir de tels que pneus (7% de la chaleur produite), déchets miniers (3% de la chaleur produite), et sous-produits de raffinage du pétrole. En 2011, la valorisation de biomasse était à l'étude.

Ecoval a rédigé un cahier des charges d'acceptabilité des déchets dans les installations de ses membres. Malgré les premiers essais peu concluants, la valorisation des boues de Nador dans la cimenterie d'Holcim dans le respect du cahier des charges d'Ecoval reste à envisager.

La composition des boues est compatible avec la co-incinération en cimenterie. Les spécifications techniques des déchets acceptés peuvent varier selon le cahier des charges défini par les cimentiers. Ces cahiers des charges fixent le plus souvent une humidité maximale comprise entre 15% et 5%, et un contenu énergétique (PCI) de l'ordre de 20 MJ/kg sur matière brute. Le PCI des boues séchées à 90% de siccité atteint 19 MJ/kg : la valorisation des boues de la STEP de Nador en cimenterie semble donc faisable.

Holcim est susceptible d'utiliser tout ou partie du gisement de boues, selon ses besoins. Cette option ne peut pas être envisagée comme unique exutoire, mais doit au contraire forcément être complémentaire avec une autre voie de valorisation, dans le cas où le cimentier ne reprendrait plus les boues (soit parce qu'il se dirigerait vers d'autres combustibles de substitution, soit à cause d'une baisse d'activité).

Faisabilité environnementale

La valorisation des boues issues d'un traitement biologique comme combustible de substitution permet également de réduire les émissions de gaz à effet de serre, car celles-ci sont considérées comme étant d'origine biogénique. Par exemple, 1 tonne de boue à 90% de siccité équivaut en

²⁴ <https://www.giz.de/de/downloads/giz2011-fr-potentiels-biomasse-region-oriental.pdf>

contenu énergétique à 500 Nm³ de gaz soit 1 660 kg CO₂ équivalent évités. L'économie annuelle liée à la substitution du gaz naturel par les boues est supérieure 7 400 t CO₂ équivalent/an en moyenne.

De plus le séchage permet de réduire l'impact environnemental du transport. La balance est donc largement favorable à la combustion des boues.

Faisabilité économique

Les coûts liés au sécheur solaire sont décrits au titre VI.2.2.2.

Le coût de reprise de la boue séchée devra faire l'objet d'une convention avec Holcim. À titre informatif, en France le coût moyen de reprise est de 70 € HT/t de matière brute (766 MAD)^[25].

Le coût de transport des boues jusqu'au site d'Holcim (115 km) est estimé à 0,40 M MAD/an en moyenne.

Aucun investissement n'est nécessaire pour Holcim.

En outre, sur la base du prix du gaz naturel à 0,9 MAD/kWh, les économies apportées par la combustion des boues s'élèvent à 26,06 M MAD/an en moyenne.

²⁵ <http://www.actu-environnement.com/ae/news/boues-step-urbaines-retour-experience-adherents-amorce-17228.php4>

Tableau 9 : Éléments économiques - Co-incinération en cimenterie

Boues	Production moyenne (15 ans)	5 690	t MS/an
	Production maximale (2030)	5 030	t MS/an
	Siccité	20%	
	Capacité nominale	5 690	t MS/an
	Siccité atteinte	90%	
Séchage	Superficie	1,6	ha
	CAPEX	38 443	M MAD (15 ans) MAD/t MS (nominal)
	Dépenses d'exploitation (moyenne)	1,10 221	M MAD/an MAD/t MS
	Reprise des boues	Équilibre à trouver entre les deux parties	M MAD/an
	Économies d'énergie	-	M MAD/an
Transport des boues	Distance	115	km
	Dépense en carburant (moyenne)	0,40 79	M MAD/an MAD/t MS
	Économie par rapport au transport de la boue humide (moyenne)	- 2,21 - 439	M MAD/an MAD/t MS
	CAPEX	- -	M MAD (15 ans) MAD/t MS (nominal)
	Dépenses d'exploitation (moyenne)	-	M MAD/an MAD/t MS
Combustion	Reprise des boues	Équilibre à trouver entre les deux parties	
	Économies d'énergie (moyenne)	- 26,06 5 174	M MAD/an MAD/t MS

Conclusion

La co-incinération en cimenterie est une option intéressante qui pourra être étudiée avec Holcim en tant que partie prenante. Cette option peut permettre de valoriser l'ensemble du gisement de boues de la STEP de Nador. Toutefois, Holcim peut se fournir avec d'autres combustibles de substitution, et cette option ne peut pas être envisagée comme l'unique exutoire des boues.

La négociation du coût de reprise des boues sèches est un point central pour trouver un équilibre financier satisfaisant pour les deux parties.

VI.2.2.5. Gazéification

Faisabilité technique

Le site Sonasid de Nador est un laminoir produisant 650 000 t/an de rond à béton et fil machines. Les besoins énergétiques liés à la production sont élevés. L'énergie est consommée à la fois sous forme d'électricité (four à arc électrique pour la fusion de la ferraille – 1 600°C) ou de

combustibles liquides ou gazeux (en particulier fioul pour les fours de réchauffage – 1 100 à 1 300°C).

En outre, Sonasid poursuit une stratégie innovante d'efficacité énergétique, qui s'est traduite à Nador par le développement d'une unité d'injection mixte d'huile filtrée et de coke de pétrole pour alimenter le four de réchauffage des billettes (la matière première) du laminoir^[26].

La gazéification des boues peut être envisagée sur le site de Sonasid pour réduire sa dépendance aux énergies fossiles.

La gazéification des boues de STEP est un procédé qui commence à se développer en Europe, avec quelques démonstrateurs de taille industrielle. La faisabilité technique est démontrée, bien que ce type de projet semble difficilement envisageable à court ou moyen terme au Maroc.

Faisabilité environnementale

La valorisation des boues issues d'un traitement biologique comme combustible de substitution permet également de réduire les émissions de gaz à effet de serre, car celles-ci sont considérées comme étant d'origine biogénique. Par exemple, 1 tonne de boue à 85% de siccité se substituera à 330 Nm³ de gaz soit 900 kg CO₂ équivalent évités et 1 430 kWh d'électricité soit 1 170 kg CO₂ équivalent évités (pour le mix électrique marocain). L'économie annuelle liée à la substitution du gaz naturel par les boues est supérieure 12 000 t/an CO₂ équivalent en moyenne. La balance est donc largement favorable à la combustion des boues.

Faisabilité économique

Les coûts liés au sécheur solaire sont décrits au titre VI.2.2.2.

Le coût de reprise de la boue séchée devra faire l'objet d'une convention avec Sonasid. À titre informatif, en France le coût moyen de reprise est de 70 € HT/t de matière brute (766 MAD)^[27].

Le coût de transport des boues jusqu'au site de Sonasid (16 km) est estimé à 0,05 M MAD/an en moyenne. Il est à noter que cette distance est inférieure à l'équilibre entre le coût énergétique du séchage et le coût de transport ; autrement dit, le coût énergétique du séchage n'est pas compensé par les économies sur le coût de transport.

L'estimation du coût d'investissement et des coûts d'exploitation d'un gazéifieur associé à une turbine électrique doit faire l'objet d'une étude spécifique car il s'agit d'un projet innovant.

²⁶ http://lematin.ma/journal/2015/siderurgie_sonasid-developpe-son-propre-mix-energetique/220867.html

²⁷ <http://www.actu-environnement.com/ae/news/boues-step-urbaines-retour-experience-adherents-amorce-17228.php4>

En outre, sur la base du prix du gaz naturel à 0,9 MAD/kWh, les économies apportées par la combustion des boues s'élèvent à 19,05 M MAD/an en moyenne, tandis que les économies d'électricité s'élèvent à 7,20 M MAD/an en moyenne.

Tableau 10 : Éléments économiques - Gazéification

Boues	Production moyenne (15 ans)	5 690	t MS/an
	Production maximale (2030)	5 030	t MS/an
	Siccité	20%	
	Capacité nominale	5 690	t MS/an
	Siccité atteinte	85%	
	Superficie	1,6	ha
Séchage	CAPEX	37 435	M MAD (15 ans) MAD/t MS (nominal)
	Dépenses d'exploitation (moyenne)	1,09 220	M MAD/an MAD/t MS
	Reprise des boues	Équilibre à trouver entre les deux parties	M MAD/an
	Économies d'énergie	-	M MAD/an
	Distance	16	km
Transport des boues	Dépense en carburant (moyenne)	0,05 11	M MAD/an MAD/t MS
	Économie par rapport au transport de la boue humide (moyenne)	- 0.31 - 61	M MAD/an MAD/t MS
	CAPEX	?	M MAD (15 ans) MAD/t MS (nominal)
	Dépenses d'exploitation (moyenne)	?	M MAD/an MAD/t MS
Gazéification	Reprise des boues	Équilibre à trouver entre les deux parties	
	Économies d'énergie - gaz et électricité (moyenne)	- 26,26 5 214	M MAD/an MAD/t MS

Conclusion

La gazéification des boues de STEP est un procédé qui commence à se développer en Europe, avec quelques démonstrateurs de taille industrielle. Ce type d'installation présente un avantage d'un point de vue environnemental sur les autres voies de valorisation énergétique actuellement disponibles, avec une efficacité énergétique supérieure et une plus grande souplesse dans l'utilisation de l'énergie. La faisabilité technique est démontrée, néanmoins il s'agit de procédés innovants, avec encore très peu de retour d'expérience sur les aspects économiques.

La valorisation des boues de STEP par gazéification pourrait être envisagée dans le cadre d'un programme proactif, mais semble difficilement envisageable à court ou moyen terme.

VI.2.2.6. Carbonisation hydrothermale

Faisabilité technique

La carbonisation hydrothermale consiste à carboniser la matière organique en phase aqueuse, sous ~20 à 35 bar et 200°C. La réaction est exothermique, ce qui permet de limiter les besoins énergétiques pour la chauffe des intrants en mettant à profit la chaleur dégagée par la réaction. Ce procédé permet de produire une boue de charbon à partir des boues de STEP.

La boue de charbon déshydratée peut être valorisée en agriculture sous forme de « *Terra Preta* », ou séchée pour produire un charbon à PCI élevé. Le charbon est facilement stockable et peut être cédé ou, dans le meilleur des cas, vendu comme combustible à des consommateurs d'énergie thermique. La Cosumar, par exemple, pourrait être intéressée par l'utilisation du charbon pour ses campagnes de production.

Les points forts de la carbonisation hydrothermale sont :

- La production d'un combustible à haute valeur ajoutée sans émissions de GES ;
- Le combustible est facilement stockable en big bag ;
- La densité énergétique du charbon permet d'optimiser le transport (augmentation de la quantité de MJ transporté par camion).

Une expérimentation a été conduite sur les boues de Nador ; elle conclut à des résultats intéressants mais des charges de maintenance élevées (cf. note 24).

Dans ces conditions, la faisabilité technique n'est pas démontrée.

VI.2.2.7. Comparaison des options au regard de la faisabilité

Le tableau 11 résume les conclusions des études de préfaisabilité des différentes options de valorisation énergétique des boues de la STEP de Nador.

Tableau 11: Faisabilité des différentes options de valorisation énergétique des boues de la STEP de Nador

	Mono-incinération	Co-incinération	Gazéification	Carbonisation hydrothermale
Siccité des boues	85%	85%	85%	20%
Distance du site de valorisation	34 km	115 km	16 km	16 km
Faisabilité technique	+	++	-	--
Faisabilité environnementale	++	++	++	SO
Faisabilité économique	+/-	+/-	--	SO
Part du gisement concerné	100%	Jusqu'à 100% (variable)	100%	SO

SO : sans objet (lorsque la faisabilité technique n'est pas démontrée)

La mono-incinération en chaudière industrielle et la co-incinération en cimenterie sont deux options faisables à la fois techniquement, économiquement et sur le plan environnemental. La co-incinération en cimenterie a l'avantage d'être très facile à mettre en œuvre puisqu'aucun investissement n'est nécessaire au niveau de la cimenterie, alors la mono-incinération nécessite un investissement conséquent. La mono-incinération présente l'avantage d'assurer la valorisation de la totalité du gisement dans la durée, nécessaire pour rentabiliser l'investissement dans la chaudière dédiée.

Dans les deux cas, la négociation sur le coût de reprise des boues, éventuellement contractualisé par un accord de partenariat, est un point central pour assurer l'équilibre économique des deux parties, et la pérennité des échanges.

La valorisation énergétique est intrinsèquement liée à la présence d'un ou plusieurs repreneurs à une distance raisonnable, avec le risque que leurs besoins varient dans le temps et ne permettent pas la valorisation de la totalité du gisement. La reproductibilité de ce type de solutions, lorsqu'elles dépendent d'un unique repreneur n'est pas garantie.

La présence d'autres combustibles de substitution sur le marché est un paramètre qui peut jouer en la défaveur des boues, notamment à cause des craintes liées à leur utilisation. Un contrôle régulier de la qualité des boues et une bonne information des potentiels utilisateurs est indispensable pour assurer la pérennité des projets de valorisation énergétique.

VI.2.3. VALORISATION VERTE

En dehors de l'option de valorisation des boues pour la production de terre végétale, développée parmi les solutions urgentes d'élimination et de valorisation des boues dans la décharge, deux opportunités de valorisation des boues semblent être pertinentes :

- i. La valorisation agricole et sylvicole des boues **par épandage directe des boues sèches** ; et
- ii. La valorisation des boues **par co-compostage et valorisation du compost**. Cette option permettra, à l'instar de ce qui se pratique au Canada, aux Etats-Unis et en France, de classer ce produit comme biofertilisant à travers une réglementation spécifique (passage de la logique déchet à la logique produit). Le compost peut être utilisé pour diverses fins : cultures à haute valeur ajoutée, confection des substrats pour la production de plans ornementaux ou forestiers, entretien des espaces verts accessibles au public, revégétalisation de sites, etc.

Eu égard à sa capacité de résorption, et la commodité de la pratique d'application aux sols, c'est la valorisation agricole qui représente la meilleure opportunité dans la zone d'étude.

VI.2.3.1. Potentiel de valorisation

a- Gisement potentiel valorisable

La quantité de boues produites après déshydratation est de 60 tonnes/jour, soit environ 4 380 Tonnes de MS/an sur base d'une siccité de 20%. Le tonnage valorisable variera selon la teneur en matière sèche atteinte après chaque procédé de prétraitement parmi ceux envisageables dans le cadre de cette étude :

Déshydratation mécanique + séchage solaire aboutissant à au moins une siccité de 70% : Dans ce cas, les boues, répondant aux normes de qualité, peuvent être épandues directement sur les sols agricoles ou forestiers

Déshydratation mécanique + séchage solaire partiel aboutissant à environ 50% siccité : Dans ce cas, les boues peuvent être co-compostées avec des déchets verts et déchets ligneux pour produire un compost de teneur en eau finale inférieure ou égale à 30%.

Ainsi, pour le premier cas, on disposera d'un gisement annuel actuel valorisable, par épandage direct, de 1250 tonnes de MS de boues. Dans le second cas, le gisement compostable est de 2 920 tonnes. Or, le compostage permet, après fermentation aérobie, de réduire la masse initiale de 40 à 50%, soit une quantité finale de boues compostées de près de 1 500 tonnes à 70% de siccité. Comme il sera étayé plus loin, les boues doivent être mélangées avec des déchets verts (agricoles, forestiers) à un ratio de 1 part de boues pour 2 ou 2.5 parts de déchets verts et d'autres déchets de préférence ligneux (écorce, sciures de bois.), le tonnage de compost boues + déchets verts sera de l'ordre de 4 500 tonnes.

b- Superficies potentielles d'épandage

En moyenne, on considère, pour une valorisation sécurisée à long terme, l'utilisation de 4 à 5 tonnes de MS/ha.an aussi bien en épandage direct qu'en cas d'application du compost. Ainsi, les superficies théoriques potentielles d'épandage sont respectivement :

- i. **280 ha (épandage direct) et de 1000 ha (co-compostage) à l'année de base**, or le cadre réglementaire ne permet pas à ce stade de valoriser ce potentiel.
- ii. **980 ha et 3160 ha à l'horizon 2030**

Ceci suppose que la totalité du volume actuel des boues est destinée à la valorisation verte.

Il est important d'attirer l'attention sur le fait que, sur le plan agronomique, la dose optimale de boues devra en principe varier en fonction du type de sol et le type de plantes (cultures, espaces verts, espèces forestières, etc.) et de la composition des boues. Ainsi, les données d'analyses des boues et des sols sont indispensables dans l'établissement d'un plan d'épandage. Les gestionnaires des sols et agriculteurs, avec l'appui des conseillers agricoles, décideront de

l'optimisation du plan de fumure et examineront des apports complémentaires d'engrais minéraux pour couvrir le besoin des cultures.

IV.2.3.2. Aptitude des sols à l'épandage

Comme le montre la carte des sols (Figure 18), les types de sols dominants de la zone de Nador sont les sols d'érosion, les sols peu évolués d'apport, les sols bruns calcaires, les sols isohumiques, les sols fersiallitiques et les rendzines.

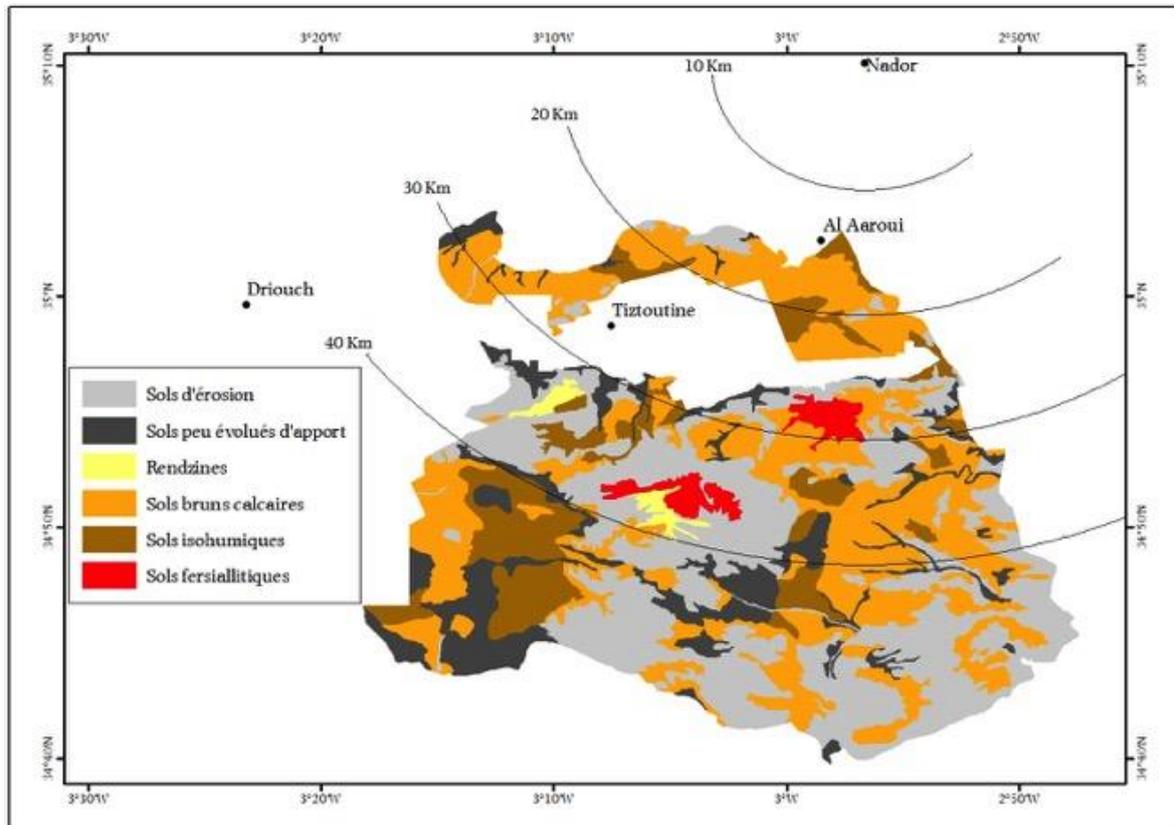


Figure 18. Carte des types de sol de la zone de Nador

Le tableau 12 relate les superficies des différents types de sols et leurs principales caractéristiques des sols en relation avec l'aptitude à l'épandage. Comme on peut le constater, le pH des sols de la zone est généralement basique, variant entre 8,1 pour les rendzines et 8,5 pour les sols peu évolués d'apport. La plupart des sols sont assez bien pourvus en calcaire. Les grandeurs de ces deux indicateurs (pH et calcaire) réconfortent la proscription du chaulage pour la stabilisation des boues. La teneur en matière organique est généralement moyenne, variant entre 1,5% pour les sols isohumiques et 2,8% pour les sols fersiallitiques. La texture est à dominance limoneuse.

Tableau 12. Caractéristiques des sols de la zone de Nador

Type de sol	Superficie (en hectares)	Dominance de calcaire (carbonate de calcium)	Texture	pH	Teneur en matière organique (%)
Sols d'érosion	43 064 (37%)	-	-	-	-
Peu Evolués d'apport	14 732 (12.7%)	++	Argilo-Limoneuse	8,5	1,6
Bruns calcaires	40 987 (35,2%)	++++	Limoneuse	8,2	2,6
Isohumiques	13 689 (11,8%)	++	Limoneuse	8,2	1,5
Fersiallitiques	2 653 (2.3%)	+	Limoneuse fine	8,2	2,8
Rendzines	1 201 (3,2%)	+++	Limono-argileuse	8,1	2

Les sols d'érosion, d'un point d'aptitude d'épandage, et de par leur situation en relief accidenté et leur faible profondeur, sont à exclure des zones d'épandage. Les autres sols se prêtent à l'épandage des boues et peuvent être classés comme suit en termes d'aptitude à l'épandage :

- 1) Les sols fersiallitiques (couvrant seulement 2.3%) et les sols isohumiques (couvrant seulement 11.8%), et loin après :
- 2) Les sols bruns calcaires et rendzines et les sols peu évolués d'apport alluvial/colluvial.

On peut ainsi déduire que sur une superficie totale de 116 326 ha, on compte près de 15% qui sont aptes à l'épandage soit environ 17 500 ha. Si on considère la « distance économiquement viable de transport » inférieure à 30 km (voir carte), on estime une superficie d'épandage « réalisable » d'environ 4 000 ha. Cette superficie cadre avec celle estimée sur base du gisement actuel et projeté à l'horizon 2030.

Il est clair que les données de base usuelles d'estimation de la distance économique sont le coût de transport, la valeur fertilisante des boues et la sécheresse. Pour notre cas, les boues transportées sont sèches (suite au séchage solaire préconisée) ce qui atténue la contrainte « Coût de transport de l'eau » dans le cas actuel où la sécheresse est en moyenne de 20%. A juste titre, le rayon économique calculé en Tunisie est de 49 km et 102 km respectivement pour une boue à 25% d'humidité et une boue à 70% d'humidité. De toute évidence, l'augmentation du rayon permettrait d'augmenter significativement la superficie d'épandage potentielle. Toutefois, en dehors de l'aptitude des sols à l'épandage qui doit être prise en compte, d'autres facteurs devront être pris en considération dont le plus important est le fait que, dans le contexte des deux régions concernées, connue par la vocation de l'élevage, le coût de transport, même d'une boue sèche, au-delà de 25-30 Km est équivalent à près de 40% le prix d'achat du tonnage équivalent transporté en fumier (estimations selon les ordres de grandeur de coût et de prix du tonnage équivalent en fumier de 400,00 à 500,00 DH, et prix de carburant estimé pour le transport de boues sur 30 km à 150 DH (l'amortissement et les autres frais et charges fixes du véhicule non inclus)). Ainsi, en plus de la méconnaissance actuelle de la valeur agronomique des boues par les usagers, le fumier devient un produit concurrentiel et économiquement plus viable à partir de ce rayon.

Aussi, il est important de signaler qu'il est prématuré d'établir un calendrier d'épandage avant d'arrêter les types des cultures. Cet aspect devra être formalisé et s'inscrire dans le plan d'épandage.

VI.2.3.3. Description de la technologie de compostage

Tenant compte du climat de la région, et à la lumière du benchmark international, la technologie retenue pour el compostage des boues, est celle des andains périodiquement retournés.

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 utilisé²⁸. 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 compostables seules à cause de leur C/N faible, elles sont mélangées à diverses matières organiques disponibles à proximité des STEPs : copeaux de bois, sciure de bois, bois de taille de l'arboriculture, litière des volailles, déchets verts des espaces verts, et les déchets de cultures, etc.).

Deux paramètres importants doivent être respectés pour garantir un bon démarrage du processus de compostage : *i) une teneur en eau comprise entre 50 et 60 % et, ii) un rapport C/N compris entre 25 et 35 au moment du mélange* (paramètre de démarrage). Il est clair que ce rapport, suite à la biodégradation de la matière organique et particulièrement les chaînes carbonées, chutera normalement à 10 ou 12 en fin de fermentation.

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. Le schéma de la filière de compostage est illustré par la figure 19.

²⁸ Source : Evans, 1983.

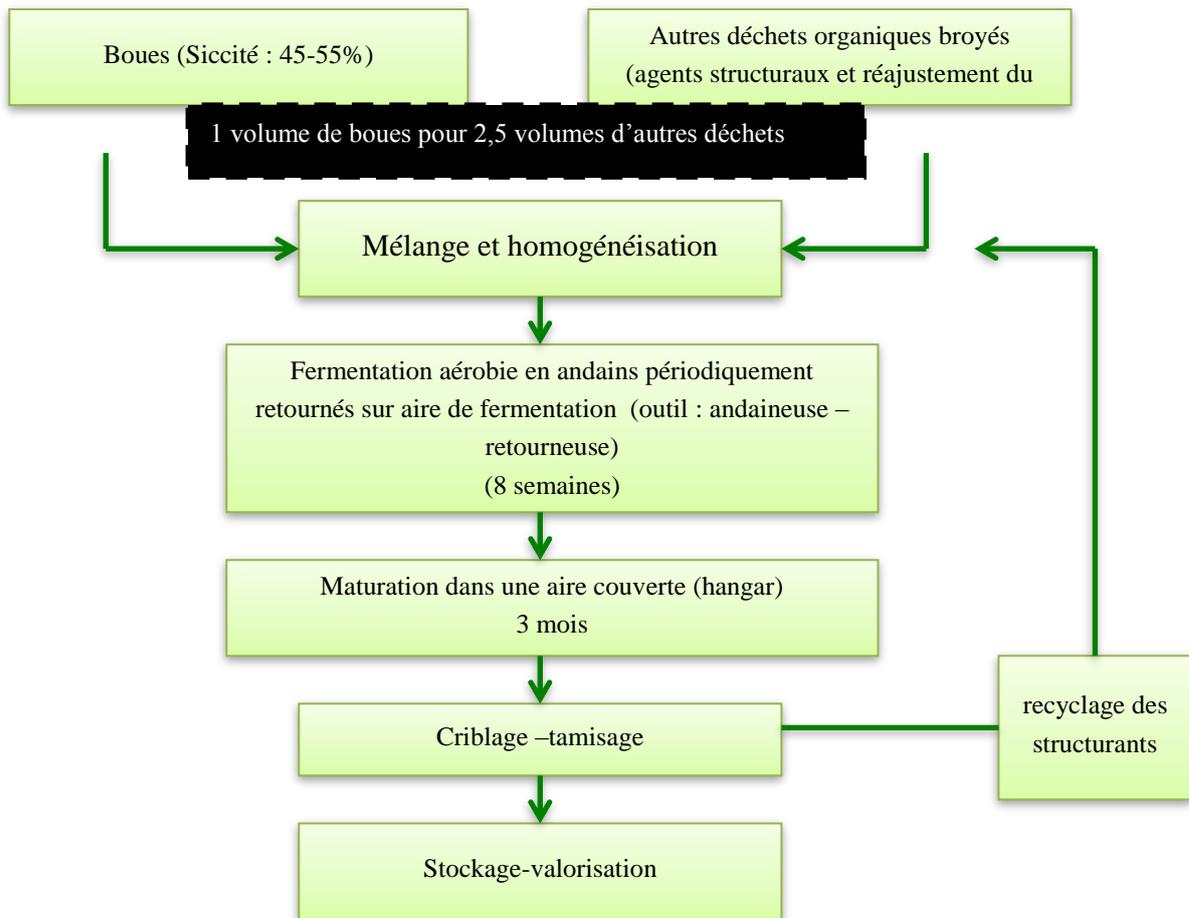


Figure 19. Illustration de la filière de co-compostage des boues

Éléments techniques de dimensionnement et de conduite du compostage

La plateforme est équipée de : i) une aire de réception de 320 m² avec un pont-bascule, ii) une aire de fermentation et de 1,8 ha, et iii) une aire d'affinage et de maturation de 250 m². Les andains doivent avoir une hauteur d'au moins 1.5 mètres à 2 mètres, la largeur dépendra du type de la retourneuse andaineuse (3 à 4 m).

Les bases de dimensionnement sont rapportées en Annexe D. Un suivi de l'humidité et de la température est nécessaire.

Humidité



Les tas en compostage ne doivent pas être desséchés auquel cas l'activité de décomposition est entravée et ne doivent pas être trop humides pour éviter la création des conditions d'anaérobiose et par conséquent l'émanation de mauvaises odeurs. Pour réguler et maintenir une humidité et une aération optimales, on aura recours au retournement

(brassage et aération). En périodes pluvieuses, on peut opter pour deux options : confectionner des serres qui peuvent être latéralement ouvertes (voir figure 20), ou encore mieux couvrir les andains par une bâche spéciale (fibres de polypropylène , voir figure 21), disponible sur le marché, permettant un échange gazeux et évitant la pénétration de l'eau.

http://www.eau-loire-bretagne.fr/les_rendez-vous_de_leau/les_rencontres/Rencontres_2012/Boues-8_Saur.pdf

Figure 20 andains sous serre naturellement ventilées



<http://www.vercom.fr/bache-en-fibres-de-polypropylene-lesto/>

Figure 21. Illustration de la bâche de couverture des andains

Température

Le paramètre « température » est crucial. C'est le paramètre « secret » du compostage. En effet, le tas en compostage devra nécessairement passer par une phase thermophile qui correspond à une élévation de température à environ 65°C. Cette phase permet la suppression des pathogènes. Ainsi, un suivi de la température est nécessaire pour s'assurer que cette phase thermophile a eu bel et bien lieu et qu'elle a duré 5 à 7 jours. Après cette phase, la température devra chuter graduellement. Il faut également veiller à ce que la température ne monte pas au delà de 68 °C pour éviter que le tas brûle.

VI.2.3.4. Estimation des coûts des options de valorisation verte

L'estimation des coûts des deux principales options de valorisation verte (épandage direct et co-compostage et valorisation du compost) s'est basée sur les hypothèses suivantes :

- 1) Eu égard au potentiel théorique et réalisable de valorisation des boues sèches et/ou boues co-compostées et à la superficie totale apte à l'épandage (voir argumentaire plus haut), les coûts de ces deux options correspondent à l'horizon 2030
- 2) Les coûts n'incluent pas le coût de l'opération préalable de séchage solaire sous - serre (Ce coût est repris dans la partie réservée au séchage solaire); rappelons que le séchage est un dispositif commun retenu pour toutes les filières
- 3) Pour le souci d'une économie d'échelle, il est proposé à ce que les usagers s'organisent en une coopérative de service qui s'occupera du transport et de l'opération d'épandage (cette option permettra aussi de mieux maîtriser les bonnes pratiques et les conditions

d'épandages, de faciliter le renseignement du registre d'épandage et de s'assurer du respect du plan d'épandage une fois ces instruments sont réglementés)

- 4) Pour la pratique d'épandage, il a été recommandé d'adopter les mêmes équipements et les mêmes coûts que pour l'épandage de fumier, pratique assez maîtrisée en agriculture. Des réajustements seront adoptés pour l'arboriculture.

Le tableau 13 récapitule ces coûts.

Tableau 13. Coûts estimatifs des options de valorisation verte

Options	Investissement		Fonctionnement	
	Rubriques	Coût (DH/280 ha)	Rubriques	Coût (DH/tonne de MS)
Epanchage direct 85% (après séchage solaire sous serre) 1250 tonnes de MS	3 unités de Matériel d'épandage pour 280 ha (3 Tracteurs 70 CV, 3 Chargeurs frontaux, 6 épandeurs de 10 tonnes)	1 600 000,00	Transport du site du séchage Par kilomètre aller-retour	3,00
TOTAL pour l'épandage de 1250 tonnes de MS sur 280 ha		1 600 000,00	Base sur un rayon moyen de 20 km et de 3 unités x 10 tonnes par voyage : 42 voyages	157 500,00 par campagne d'épandage
Co-Compostage (boues-déchets verts : 1 :2.5) Siccité des boues à composter (50%) . Le compost à épandre est 30% après compostage Epandage de 4500 tonnes de compost	Terrain 1,86 ha*	1 300 000,00	Gasoil (2000 litres/an)	18 000,00
	Imperméabilisation de la plateforme (570 m2) et du système de drainage et de récupération du jus liquide	1000 000,00	Main d'œuvre qualifiée (1 technicien et 5 Ouvriers qualifiés + 1 chauffeur)	300 000,00
	Retourneuse-andaineuse tractée ou tractopelle	600 000,00	Entretien, et autres	100 000,00
	Broyeur des déchets verts	500 000,00	Epandage sur même base que l'épandage direct	567 000,00
	Bâches fibres de polypropylène imperméable à l'eau et permettant l'échange gazeux	50 000,00		
	Cribleur	500 000,00		
	Autres outillages de monitoring	200 000,00		
	Matériel d'épandage	1 600 000,00		
TOTAL pour le compostage et l'épandage de 4 500 tonnes de compost à base de boues et d'autres déchets		5 250 000,00		885 000,00
Co-compostage :	Epandage direct :			
Investissement global : 5 250 000,00 DH	Investissement global : 1 600 000,00 DH			
Total fonctionnement (plateforme et épandage) : 885 000,00 DH	Coût exploitation /épandage : 157 500,00 DH			
Investissement unitaire(CAPEX) : 1160 DH/tonne de MS	Investissement pour toute la superficie : 1280 DH/tonne de MS			
Coût unitaire d'exploitation/épandage : 200 DH/tonne de MS	Fonctionnement /exploitation : 126 DH/tonne de MS			

Coûts pris en charge par les usagers organisés en coopérative de servie avec éventuel appui par le FDA (Fonds de Développement Agricole)

Coûts pris en charge par le gestionnaire de la plateforme de co-compostage dans le cadre d'un contrat PPP

* : *Le coût de cette rubrique peut augmenter de manière significative selon que le site identifié se situe en terrain agricole ou dans une assiette foncière relevant du périmètre urbain.*

VI.3. STEP D'AL HOCEIMA

VI.3.1. MISE EN DECHARGEDES BOUES A 20% DE SICCCITE

VI.3.1.1. Eléments de construction et de dimensionnement du stockage

Le stockage des boues est réalisé selon la technique des tranchées larges. Le site doit accueillir environ 7300m³ de boues à 20% de siccité par an. Ainsi, chaque année, 2 tranchées de 15m de large, de 4m de profondeur (au-delà de cette profondeur, il devient difficile d'utiliser les engins classiques de construction) et de 90m de long (cette longueur permet d'optimiser l'espace utilisé chaque année) devront être creusées pour accueillir cette quantité.

La durée de vie prévue du site est de 15 ans.

C'est un espace clôturé et surveillé avec des infrastructures dédiés et interdit au public et équipé conformément au décret 2-09-284 concernant les procédures administratives et les prescriptions techniques relatives aux décharges.

Les terres déblayées seront stockées et réutilisées comme couverture finale pour les boues une fois les tranchées remplies. L'épaisseur de remplissage des boues sera au maximum de 3m avec 1m de couverture finale, les terres de couverture seront mise en place à l'aide d'une dragline.

Le fond des tranchées sera recouvert d'une couche de protection et d'un système de collecte des lixiviats.

Comme le montre la figure 22, chaque tranchée sera espacée de 9m par rapport à la suivante (pour permettre la circulation et les manœuvres des camions, le travail des engins et le stockage des terres déblayées). Elles seront positionnées de préférence parallèlement les unes aux autres.

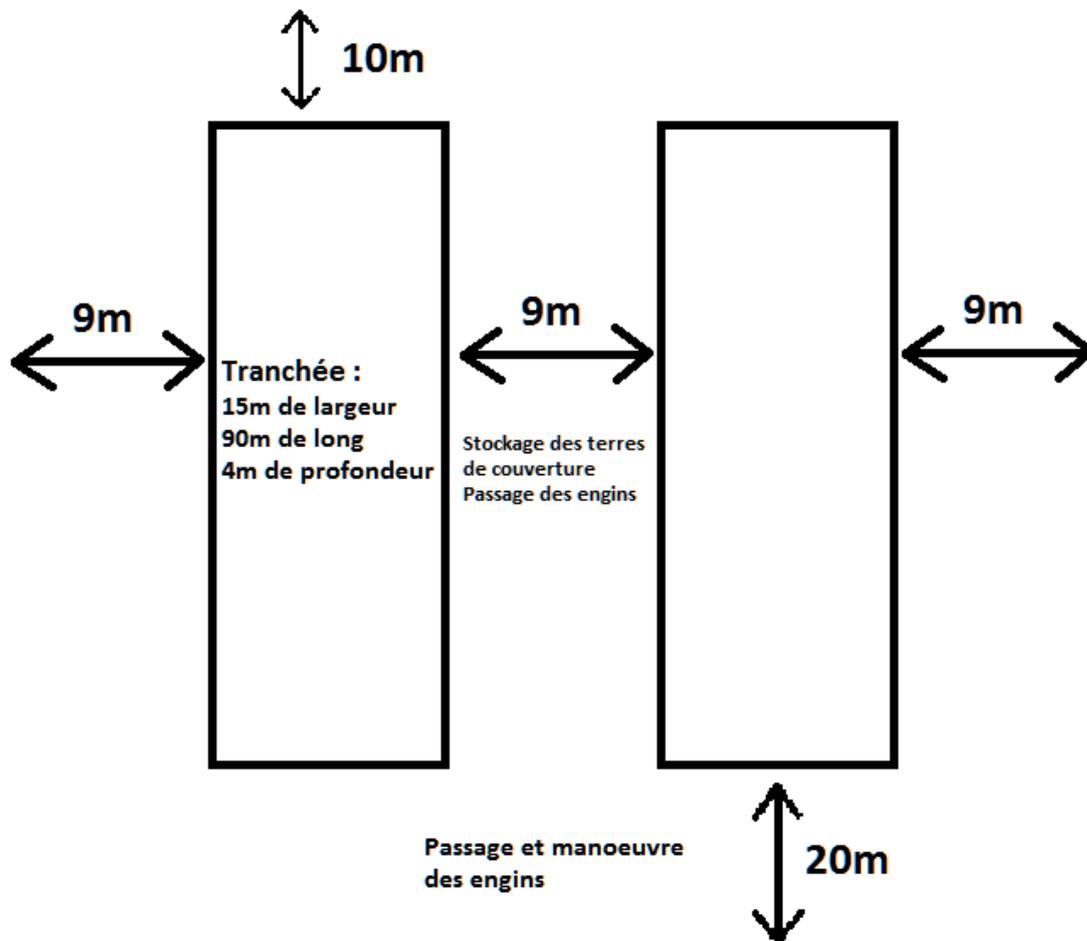


Figure 22. Schéma de principe des tranchées nécessaires pour une année – Al Hoceima

La superficie nécessaire annuellement pour gérer les quantités de boues apportées est donc de 6.840m²/an (y compris les voies de circulation des engins). A cette superficie viennent s'ajouter des bâtiments techniques et administratifs (environ 60m²), un système de gestion des eaux pluviales et un système de collecte et de traitement des lixiviats produits.

Ainsi, la superficie nécessaire pour la durée de vie du site est de minimum 10,3ha.

Les infrastructures complémentaires concernent :

- La clôture et les barrières ;
- Les locaux ;
- Les pistes ;
- Les fossés ;
- Les passages de fossés ;
- Les bassins ;
-

VI.3.1.2. Production de terres végétales à partir de boues à 20% de MS et de terres minérales gratuites – Al Hoceima

La production de terres végétales est réalisée à partir d'un mélange des boues de la station d'épuration d'Al Hoceima et de terres minérales. Elle doit accueillir environ 7.300m³ de boues à 20% de siccité par an et permettra de produire 11.230m³ de terres végétales par an.

C'est un espace clôturé et surveillé avec des infrastructures dédiés et interdit au public. Les opérateurs privés ou publics accédant au site de décharge que lors des heures d'ouverture du site sous la surveillance d'un responsable présent sur le site.

La durée de vie du site est de 15 ans.

Le site comprendra une dalle de mélange des terres permettant le déchargement des terres et des boues et leur mélange d'une surface de 200m² permettant d'accueillir les quantités journalières de terres végétales produites (environ 35T/j). Cette dalle de 25cm d'épaisseur sera réalisée en béton armé et comportera une butée de 50cm d'épaisseur, 20m de long et 3m de haut. Le site sera également doté d'un système de gestion des eaux pluviales et des lixiviats.

Le mélange des terres sera réalisé à l'aide d'un chargeur sur pneu muni d'un godet mélangeur.

La superficie du site sera de 1ha.

V.3.1.3. Estimation des coûts

Les coûts d'investissement pour la mise en mono - décharge à la confection de terre végétale sont récapitulés dans le tableau 14. Rappelons que la superficie du site qui sera réaménagé est d'environ 19 hectares et que les boues mises en mono-décharge sont à leur siccité actuelle de 20%. Les hypothèses de calcul et dimensionnement et le détail des coûts d'investissement et d'exploitation avec amortissement sont rapportés en annexe C.

Tableau 14: Récapitulatif des coûts d'investissement et d'exploitation de la mise en décharge des boues d'Al Hoceima (Voir détail en annexe C)

Options/Aménagements	Investissement (HTVA)	Durée de vie	Coût d'exploitation à la tonne hors amortissement (HTVA)	Coût à la tonne, exploitation et amortissement compris (HTVA)
Aménagement de tranchées en site propre pour la STEP de Al Hoceima	6 079 570	15	431	487
Aménagement d'une unité temporaire de production de terre végétale à Al Hoceima	5 877 411	15	168	261

VI.3.2. VALORISATION ENERGETIQUE

VI.3.2.1. Opportunités locales de valorisation énergétique des boues

Le territoire d'Al Hoceima souffre d'enclavement. Les zones industrielles les plus proches sont à Nador (150 km, environ 2 h) ou Tanger (300 km, environ 5 h). Mis à part le tourisme, aucune industrie n'est présente sur le territoire. La valorisation énergétique ne peut donc pas être pensée à partir des consommateurs.



Figure 23 : Situation géographique régionale d'Al Hoceima

Néanmoins, la situation d'enclavement d'Al Hoceima peut être vue comme une opportunité pour l'expérimentation territoriale d'innovations dans la production d'énergie à partir de boues de la STEP. Deux voies de valorisation innovantes peuvent être envisagées : la production de briquettes (voie sèche) ou de charbon (voie humide).

L'avantage de ces techniques est qu'elles permettent de produire un combustible transportable, pouvant être vendu à plusieurs petits consommateurs d'énergie.

Le pilote aura un caractère démonstratif. Il sera installé sur le site de la STEP. Il n'a pas vocation à valoriser une part importante du gisement de boues.

VI.3.2.2. Production de briquettes

Faisabilité technique

La production de briquettes ou de pellets à partir de boues de STEP a l'avantage de faciliter la valorisation des boues en leur conférant une forme solide plus aisée à manutentionner,

conditionner et pouvant être acceptée dans des chaudières de petite taille. De ce fait, le gisement peut être fractionné et valorisé chez une multitude de consommateurs d'énergie.

Les boues doivent être séchées à 90% de siccité ; à cette siccité, elles sont hygiénisées (absence de germes pathogènes et les émissions d'odeur sont réduites). Les boues sèches sont convoyées à travers plusieurs presses successives pour former une briquette ou un pellet solide sous l'action de la pression.

Figure 24: Boues de STEP (siccité 93%) avant et après l'opération de briquetage (photos RUF briquetting Systems)



Si le principe est relativement simple, le procédé est encore peu appliqué aux boues. RUF Briquetting Systems dispose de quelques références sur ce type de projet. Dans le cas où cette option serait retenue, il s'agirait d'une installation pilote, visant à démontrer la viabilité et la reproductibilité du procédé. La viabilité repose en particulier sur le contrôle de l'innocuité du combustible et une bonne information sur sa valeur énergétique, de façon à lever les réticences liées à l'utilisation d'un combustible produit à partir de boues de STEP.

Une unité de production de briquettes de 200 kg/h environ est disponible sur catalogue. La part de gisement concernée dépend du nombre d'heures de fonctionnement, adaptable selon la demande en briquettes. Par exemple, si la presse fonctionne 1 000 h, 20 t de boues peuvent être valorisées de cette manière, soit 12% du gisement.

Faisabilité environnementale

La production de boues de la STEP d'Al Hoceima, lorsqu'elles sont séchées à 90% de siccité, représente 1 650 t (moyenne 2016-2030). La consommation d'électricité pour le séchage génère 142 t/an CO₂ équivalent en moyenne.

La production des briquettes consomme également de l'électricité. En première approximation (dans l'attente de précision de la part du fournisseur), la puissance est estimée à 25 kW pour 200 t/h de boues, ce qui correspond à 17 t/an CO₂ équivalent en moyenne (pour 1000 h de fonctionnement).

On considère que le volume apparent des briquettes est équivalent à celui du vrac. La production de 200 t de briquettes correspond au volume de 13 camions, contre 21 camions pour transporter la même quantité de matière sèche à 20% de siccité. Si les briquettes parcourent en moyenne 100 km de la STEP vers leur lieu de valorisation, le potentiel de réchauffement climatique à 100 ans correspondant à cette étape de transport est de 4 t/an CO₂ équivalent.

Les chaudières de petite taille peuvent avoir des rendements plus faibles que des chaudières industrielles ; avec un rendement moyen de 85% l'économie annuelle par rapport à la combustion du gaz naturel représente 1 930 t CO₂ équivalent/an en moyenne. La balance est donc largement favorable à la combustion des boues.

Faisabilité économique

L'investissement pour sécher les boues de la STEP d'Al Hoceima, en accord avec les projections de production en 2030 (4 t MS/j) de 20% à 90% de siccité s'élève à 10 M MAD (millions de MAD) environ (estimation d'après devis Thermo-System). La surface à acquérir est de 0,5 ha, permettant d'accueillir le pilote de production de briquettes.

L'investissement pour le pilote de production des briquettes s'élève à environ 2 M MAD.

Les besoins énergétiques de l'installation représentent 30 kWh/t d'eau évaporée pour le séchage, et 125 kWh/t de boues à 90% pour la production des briquettes (200 t ; 1 000h de fonctionnement). Ainsi, en moyenne sur la période 2016-2030, en considérant un coût de l'électricité à 0,85 MAD/kWh, les dépenses en électricité s'élèvent à 0,17 M MAD/an.

Enfin, les coûts de maintenance et de prévention du sécheur sont estimés sur la base d'un ratio (compris entre 4% et 5%) par rapport au coût d'investissement alloué aux équipements principaux (système de ventilation et sangliers retourneurs). Ce coût représente environ 0,17 MAD/an.

Le retour d'expérience sur la production de briquettes à partir de boues de STEP étant faible, et compte-tenu de la variabilité de ce type de déchet, il est difficile d'évaluer les coûts de maintenance et de prévention. Pour des procédés de type presse, ces coûts peuvent varier de 2% à 7% du coût des équipements par an, en fonctionnant 7 000h/an. La valeur intermédiaire de 5%, au prorata du temps de fonctionnement (1 000h) conduit à un coût annuel de 0,01 M MAD/an.

Le prix du combustible devra être fixé par une étude de marché. Il faut en premier lieu assurer, en transformant une petite part du gisement uniquement, que les briquettes produites trouveront un repreneur avant de pouvoir chercher la rentabilité économique.

Tableau 15 : Éléments économiques – Production de briquettes

Boues	Production moyenne (15 ans)	1 485	t MS/an
	Production maximale (2030)	1 510	t MS/an
	Siccité	20%	
	Capacité nominale	1 510	t MS/an
Séchage	Siccité atteinte	90%	
	Superficie	0,5	ha
	CAPEX	10 117	M MAD (15 ans) MAD/t MS (nominal)
	Dépenses d'exploitation	0,31 208	M MAD/an MAD/t MS (moyenne)
Production de briquettes	Capacité nominale	0,18	t MS/h
	CAPEX	2 1 163	M MAD (15 ans) MAD/t MS (nominal)
	Dépenses d'exploitation (pour 1 000 h de fonctionnement)	0,18 900	M MAD/an MAD/t MS
	Vente des briquettes	Étude de marché à prévoir	M MAD/an
Transport des briquettes	Distance	Sites multiples	km
	Dépense en carburant	-	M MAD/an MAD/t MS (moyenne)
	Économie par rapport au transport de la boue humide	-	M MAD/an MAD/t MS (moyenne)
	CAPEX	- -	M MAD (15 ans) MAD/t MS (nominal)
Combustion	Dépenses en électricité	-	M MAD/an MAD/t MS (moyenne)
	Achat des briquettes	Étude de marché à prévoir	M MAD/an
	Économies d'énergie	0,72 4 000	M MAD/an (pour 1 000 h de fonctionnement) MAD/t MS (moyenne)

Conclusion

La production de briquettes énergétiques est un projet qui peut apporter une grande valeur ajoutée dans la gestion des boues de STEP à moyen terme. Les boues ainsi conditionnées peuvent être valorisées auprès de multiples utilisateurs, limitant la dépendance de la solution à un acteur en particulier.

À plus court terme, ce type de projet doit démontrer l'innocuité des boues pour favoriser leur utilisation sur une petite fraction du gisement, avant de pouvoir rechercher l'équilibre économique. Dans le même temps, cette solution est indissociable d'une campagne d'information auprès des utilisateurs potentiels.

VI.3.2.3. Carbonisation hydrothermale

Faisabilité technique

La carbonisation hydrothermale consiste à carboniser la matière organique en phase aqueuse, sous ~20 à 35 bar et 200°C. La réaction est exothermique, ce qui permet de limiter les besoins énergétiques pour la chauffe des intrants en mettant à profit la chaleur dégagée par la réaction. Ce procédé permet de produire une boue de charbon à partir des boues de STEP.

La boue de charbon déshydratée peut être valorisée en agriculture sous forme de « terra preta », ou séchée pour produire un charbon PCI élevé. Le charbon est facilement stockable et peut être cédé ou, dans le meilleur des cas, vendu comme combustible à des consommateurs d'énergie thermique.

Les points forts de la carbonisation hydrothermale sont :

- La production d'un combustible à haute valeur ajoutée sans émissions de GES ;
- Le combustible est facilement stockable en big bag ;
- La densité énergétique du charbon permet d'optimiser le transport (augmentation de la quantité de MJ transporté par camion).

Une expérimentation a été conduite sur les boues de Nador ; elle conclut à des résultats intéressants mais des charges de maintenance élevées (cf. note 24).

Dans ces conditions, la faisabilité technique n'est pas démontrée.

VI.3.2.4. Comparaison des options au regard de la faisabilité

Le tableau suivant résume les conclusions des études de préfaisabilité des différentes options de valorisation énergétique des boues de la STEP d'Al Hoceima.

Tableau 16: Faisabilité des différentes options de valorisation énergétique des boues de la STEP d'Al Hoceima

	Production de briquettes	Carbonisation hydrothermale
Siccité des boues	90%	20%
Distance du site de valorisation	Sites multiples	16 km
Faisabilité technique	+/-	--
Faisabilité environnementale	+	SO
Faisabilité économique	+/-	SO
Part du gisement concerné	100%	SO

SO : sans objet (lorsque la faisabilité technique n'est pas démontrée)

Dans le cas de la STEP d'Al Hoceima, l'éloignement des gros consommateurs d'énergie écarte d'emblée les solutions de valorisation industrielle (mono-incinération ou co-incinération en cimenterie).

La carbonisation hydrothermale aurait l'avantage de produire une terre noire valorisable en agriculture, mais il s'agit d'un procédé qui n'est pas encore mature.

La production de briquettes énergétiques peut se révéler intéressante à moyen terme. Les boues ainsi conditionnées peuvent être valorisées auprès de multiples utilisateurs, limitant la dépendance de la solution à un acteur en particulier. À plus court terme, ce type de projet, associé à une campagne d'information, peut être mis en œuvre de façon à convaincre les utilisateurs potentiels de l'innocuité et de la valeur des boues de STEP comme combustible de substitution.

Au titre d'une installation de démonstration, la mise en place de la production de briquettes énergétiques devrait être soutenue par la collectivité. L'intérêt est de valider l'opportunité de valoriser les boues d'autres STEP selon un nouvel exutoire, avec une multitude d'utilisateurs finaux potentiels, et donc moins risqué pour les municipalités en termes de pérennité.

VI.3.3. VALORISATION VERTE

De manière anticipée, on peut annoncer que le potentiel de valorisation verte à Al Hoceima est relativement plus faible que dans la zone de Nador.

De la même manière, deux options sont retenues : i) l'épandage direct sur des sols forestiers et sur une plus faible superficie de sols agricoles, et ii) la mise en place d'une plateforme à petite échelle dont le compost pourra être valorisé pour la fabrication des substrats pour la production des plans de pépinières forestières ou ornementales. Comme il a été traité dans la partie relative à la mise en décharge, une autre forme de valorisation verte réside dans la production de la terre végétale.

Il est important de souligner que les mêmes ratios et paramètres de dimensionnement, ainsi que les éléments techniques de conduite et de gestion de la plateforme de compostage, adoptés pour les boues de Nador sont appliqués pour les boues d'Al Hoceima (Cf. VI.1.3).

VI.2.3.1. Potentiel de valorisation

a- Gisement potentiel valorisable

La station d'épuration produit en moyenne 20T/j de boues à 20% de matière sèche, soit 4T/j de matière sèche (MS) ou 1 460 Tonnes de MS/an. Avec une production de boues moyenne par habitant de 60 g MS/j, la production de boues de la STEP d'Al Hoceima devrait atteindre 1 510 t MS/an en 2030.

Le tonnage valorisable variera selon la teneur en matière sèche atteinte après chaque procédé de prétraitement parmi ceux envisageables dans le cadre de cette étude :

Déshydratation mécanique + séchage solaire aboutissant à au moins une siccité de 70% : Dans ce cas, les boues, répondant aux normes de qualité, peuvent être épandues directement sur les sols agricoles ou forestiers

Déshydratation mécanique + séchage solaire partiel aboutissant à environ 50% siccité : Dans ce cas, les boues peuvent être co-compostées avec des déchets verts et déchets ligneux pour produire un compost de teneur en eau finale inférieure ou égale à 30%.

Ainsi, pour le premier cas, on disposera d'un gisement annuel actuel valorisable, par épandage direct, de 800 tonnes de boues. Dans le second cas, le gisement de boues pour le compostage pilote est de 300 tonnes soit un tonnage de co-compost de 750 tonnes par an. Or, le compostage permet, après fermentation aérobie, de réduire la masse initiale de 40 à 50%, soit une quantité finale de boues de compostées de près de 375 tonnes à 70% de siccité. Comme il été étayé plus haut, les boues doivent être mélangées avec des déchets verts (agricoles, forestiers) à un ratio de 1 part de boues pour 2 ou 2.5 parts de déchets verts et d'autres déchets de préférence ligneux (écorce, sciures de bois).

b- Superficies potentielles d'épandage

En moyenne, on considère, pour une valorisation sécurisée à long terme, l'utilisation de 4 à 5 tonnes de MS/ha.an aussi bien en épandage direct qu'en cas d'application du compost. Ainsi, les superficies théoriques potentielles d'épandage sont respectivement :

- **180 ha (épandage direct) et de 170 ha (co-compostage et valorisation du compost à petite échelle) à l'année de base**, or le cadre réglementaire ne permet pas à ce stade de valoriser ce potentiel.

- **234 ha (épandage direct) et de 221 ha (application du compost issu d'une plateforme de compostage à petite échelle**

Ceci suppose que la totalité du volume actuel des boues est destinée à la valorisation verte.

Il est important d'attirer l'attention sur le fait que, sur le plan agronomique, la dose optimale de boues devra en principe varier en fonction du type de sol et le type de plantes (cultures, espaces verts, espèces forestières, etc.) et de la composition des boues. Ainsi, les données d'analyses des boues et des sols sont indispensables dans l'établissement d'un plan d'épandage. Les gestionnaires des sols et agriculteurs, avec l'appui des conseillers agricoles, décideront de l'optimisation du plan de fumure et examineront des apports complémentaires d'engrais minéraux pour couvrir le besoin des cultures.

IV.2.3.2. Aptitude des sols à l'épandage

Comme le montre la carte des sols (Figure 25), les types de sols dominants de la zone d'Al Hoceima sont les sols minéraux bruts et les sols peu évolués d'apport, suivis des sols bruns calcaires, les sols isohumiques et les sols fersiallitiques, et dans une moindre mesure les sols sodiques.

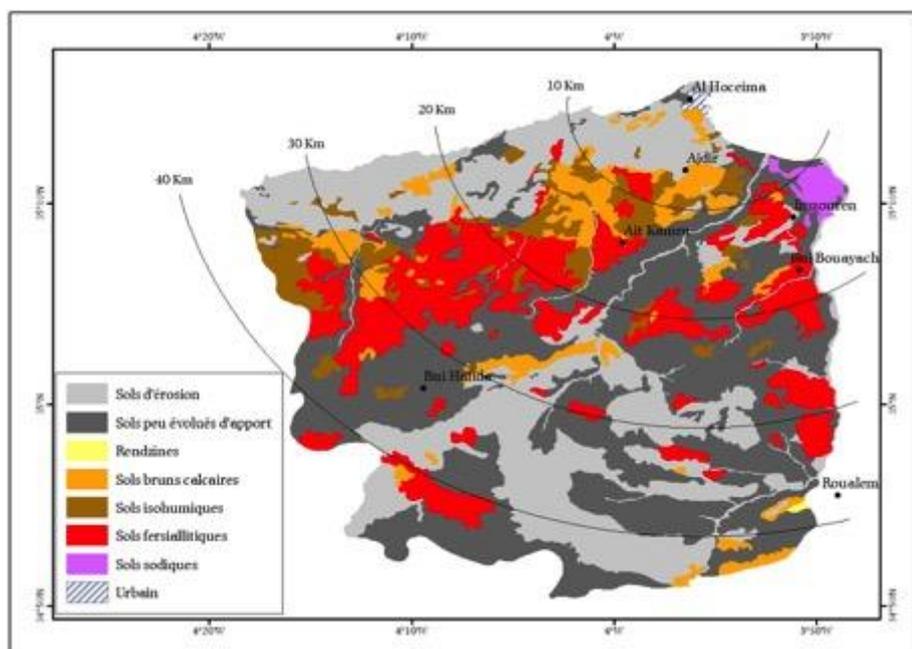


Figure 25. Carte des types de sol de la zone d'Al Hoceima

Le tableau 16 relate les superficies des différents types de sols et leurs principales caractéristiques des sols en relation avec l'aptitude à l'épandage. Comme on peut le constater, Le pH des sols de la

zone est généralement basique, variant entre 8 pour les sols fersiallitiques et 8,5 pour les sols sodiques. La teneur en matière organique est généralement moyenne, variant entre 1,4% pour les sols sodiques et 2,7% pour les sols bruns calcaires et fersiallitiques. La texture est dominance limon-argileuse.

D'un point de vue agronomique, les sols minéraux bruts et les sols d'érosion ne présentent aucun intérêt au vue de leur situation en relief accidenté et leur faible profondeur et fertilité.

Comme le montre la figure 26, les sols fersiallitiques et isohumiques les plus aptes à l'épandage (en termes de leurs propriétés et en termes d'amélioration de la productivité) ne représentent que 21% de la superficie totale de 154 955 ha soit 32 540 ha. Or, l'outil SIG ne permet d'estimer à seulement 20% de ces sols aptes à l'épandage soit au total 6500 ha dans le rayon de 30 km. D'autres contraintes témoignant de la faible potentialité de valorisation verte, il s'agit notamment de la contrainte topographique, des difficultés d'accès et la faible technicité des agriculteurs.

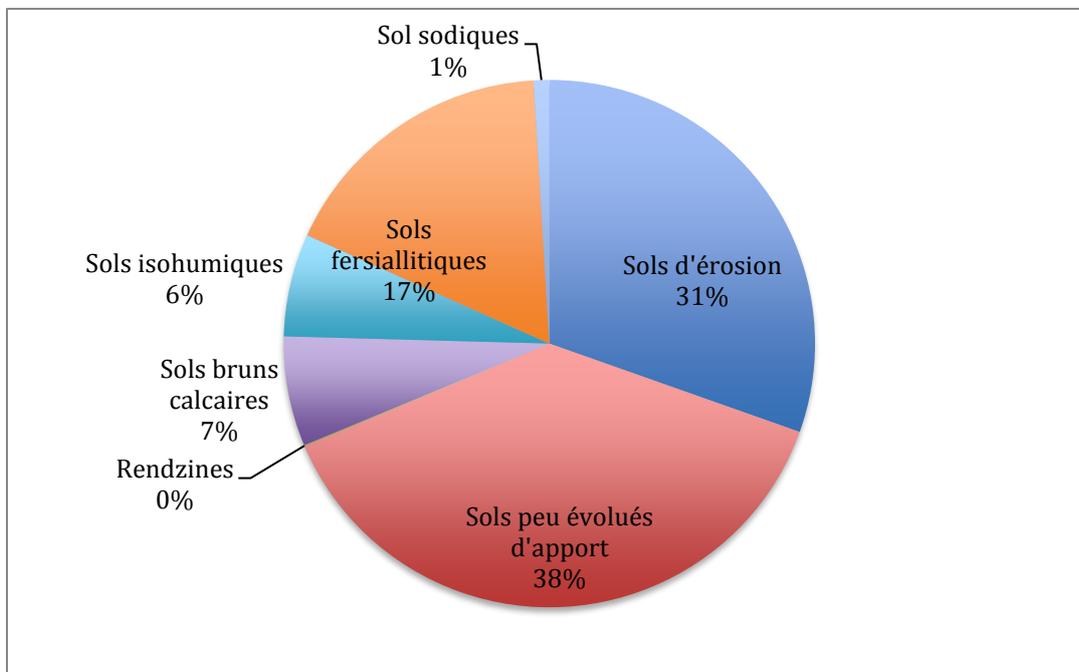


Figure 26. Répartition pondérale des types de sols de la zone d'Al Hoceima

VI.2.3.3. Estimation des coûts

L'estimation des coûts des options de valorisation verte des boues de la STEP d'Al Hoceima, s'est basée sur les mêmes ratios (avec correction du coût unitaire d'investissement sur la plateforme de compostage). Ainsi, les coûts estimatifs sont rapportés ci-après :

Co-compostage

- Investissement global (CAPEX) : 1 131 000,00 DH
- Coût total /Fonctionnement et frais d'épandage: 150 000,00 DH
- Coût unitaire/investissement : 1510 DH/tonnes de MS
- Coût unitaire exploitation : 200 DH/tonne de MS

Epandage direct

- Investissement global : 960 000,00 DH
- Coût total/Exploitation/épandage : 94 500,00 DH
- Investissement global pour toute la superficie : 1280 DH/tonne de MS
- Coût unitaire d'épandage et d'entretien des équipements: 126 DH/tonne de MS

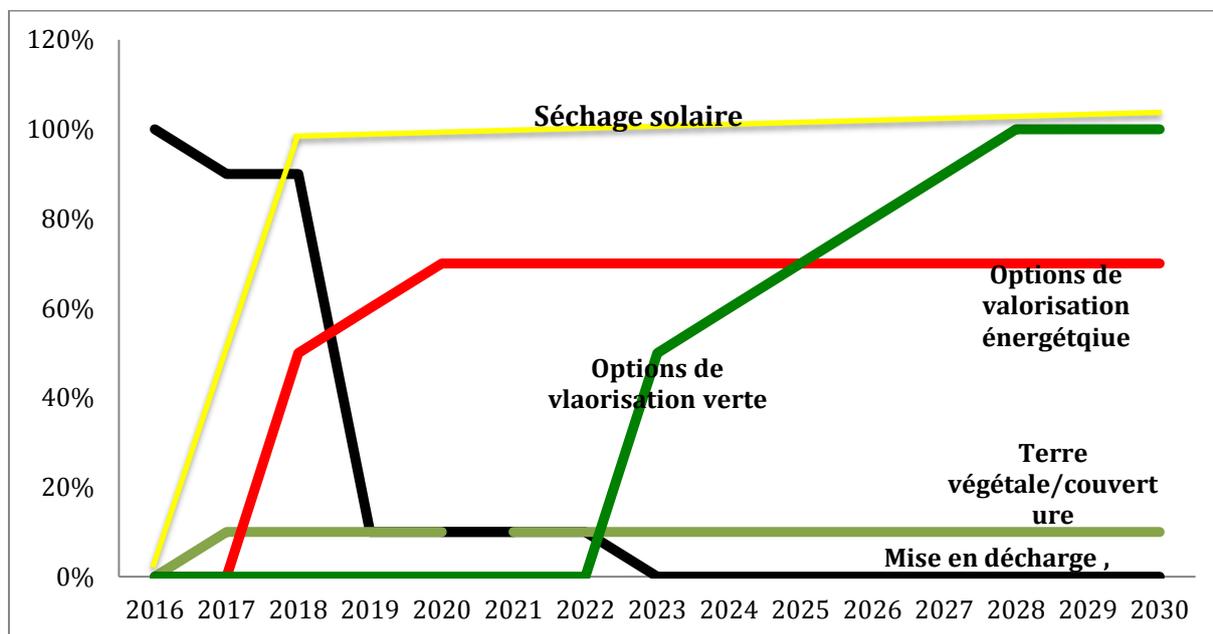
VII. CLASSEMENT DES OPTIONS DE TRAITEMENT, D'ELIMINATION ET DE VALORISATION ET RECAPITULATIF DES COUTS

Les coûts estimés des différentes filières d'élimination de valorisation des boues des STEP Hoceima et Nador sont détaillés au niveau du tableau suivant.

Tableau 17. Modulation chronologique des options d'élimination et de valorisation des boues et estimation de leurs coûts pour les deux STEPs d'Al Hoceima et de Nador

Options de valorisation		Coûts évalués		
		STEP Nador	STEP d'AL Hoceima	
Solutions immédiates	Option non durable à minimiser progressivement →	Mise en décharge mixte ou mono-décharge : solution provisoire pour le déblocage de la situation dans les deux STEPs	- Gisement des boues : 22000 TMB/an - Mono-décharge : 12 MDHS Superficie : 24 ha - Mise en dépôt mixte : 6 MDHS Superficie : 3 ha	- Gisement des boues : 5500 TMB/an - Mono-décharge : 7,20 MDHS Superficie : 10ha
	Traitement préalable en faveur de la valorisation et optimisant le transport et le stockage Option durable →	Séchage solaire après déshydratation mécanique	Séchage solaire à 85% : 37 MDHS Superficie : 1,6 ha	Séchage solaire à 85% : 10 MDHS Superficie : 0,5 ha
Solutions à long terme	Option durable →	Valorisation thermique et/ ou énergétique	Mono-incinération (sur four spécifique) : 150 MDHS (A étudier avec Cosumar) Co-incinération en cimenterie : A étudier avec Holcim	Mono-incinération (sur four spécifique) : 40 MDHS
		Valorisation verte par épandage direct et par co-compostage (agriculture, sylviculture, espaces verts, substrats de pépinières, etc.)	Co-compostage : Investissement global : 5,3 M DH Épandage direct : Investissement global : 1,6 MDH	Co-compostage : Investissement global : 1,30 M DH Épandage direct : Investissement global : 1,00 M DH

Et si on ose une vision évolutive hypothétique de mise en œuvre des options Traitement-Elimination –Valorisation ?



VIII. CONCLUSIONSET RECOMMANDATIONS

Quatre obstacles à surmonter ... Quatre mesures d'urgence... Des préalables à un système de gestion intégrée et durable des boues

Trois obstacles majeurs méritent d'être surmontés pour promouvoir les filières d'élimination et de valorisation des boues :

- 1) L'opérationnalisation de la récente loi organique 113-14, relative aux communes et qui stipule dans son article 83, que l'assainissement liquide et solide et les stations de traitement des eaux usées sont une compétence propre de la commune. Conformément à ces attributions, la mise en œuvre des solutions de gestion des boues est tributaire de la mise à disposition des espaces, des infrastructures et des moyens techniques de la commune. Ainsi, dans le contrat de convention ONEE-collectivité locale, il conviendrait de clarifier et définir la responsabilité de chaque acteur intervenant dans la gestion des boues.
- 2) L'achèvement réglementaire et normatif pour : i) la réglementation et la normalisation (normes) des voies et des conditions de valorisation, notamment verte, et ii) la mise en place d'un dispositif institutionnel, organisationnel et de gestion des boues. Pour la valorisation agricole, l'option la plus importante en matière de résorption de gisements de boues, il est urgent d'institutionnaliser un leadership qui prendra en charge la planification de valorisation agricole, l'établissement des plans d'épandage, l'encadrement des usagers ainsi que du suivi et de la surveillance des périmètres de valorisation. Comme il a été mentionné dans le rapport de la première mission, il est recommandé de s'inspirer des dispositions du Décret (tunisien), fixant les conditions et les modalités de gestion des boues provenant des ouvrages de traitement des eaux usées en vue de son utilisation dans le domaine agricole (Journal Officiel de la République Tunisienne, 9 janvier, 2007).
- 3) Une bonne et rigoureuse intégration de la gestion des boues, d'abord à l'amont de la planification des projets d'assainissement (dans le PNA2 parce que le PNA a manqué cette intégration ce qui porte préjudice à la durabilité de plusieurs ouvrages onéreusement mis en place),et ensuite dans les plans directeurs de gestion des déchets ménagers et assimilés avec une clarification du statut des boues d'épuration des eaux urbaines dans la loi 28-00. Ne sont-elles pas assimilées aux DMA à l'instar da plupart des pays ?
- 4) Expertise chétive dans le domaine de gestion des boues. Ainsi, il est temps de combler les lacunes en information et en compétences techniques et managériales de gestion des boues. L'expérience initiée en matière de valorisation agricole des boues et les échanges avec les cadres et techniciens relevant des entités hautement concernées (ORMVAs, ONSSA, ONCA, etc.), montrent un grand déficit en matière de valorisation agricole, sécurisée, surtout dans notre contexte caractérisé par des sols pauvres en matières

organiques et souvent dégradés, au moment où toutes les stratégies des pays voisins convergent vers une logique de valorisation.

Les solutions et filières préconisées

De prime abord, soulignons le maillon central de développement des trois filières d'élimination et de valorisation réside dans l'introduction de séchage solaire. En effet, la siccité moyenne des boues déshydratées, dans les deux STEPs, est d'environ 20%.

Cette siccité n'est pas conforme avec les options d'élimination : mise en décharge mixte et/ou mono décharge Rien que le transport (de 80% d'eau) est difficile à justifier (sans parler des lixiviats), de valorisation énergétique et de valorisation verte. De plus, les boues produites ne sont pas suffisamment bien stabilisées et risquent de générer des nuisances olfactives.

Aussi, les deux STEPs se localisent dans des zones sensibles (la lagune de Marchica pour Nador, et la proximité de la ville pour Al Hoceima, ainsi que leur vocation touristique candidate à un fort développement.

C'est ainsi que l'étude préconise la mise en place d'un séchage solaire sous serre comme mesure de mitigation de ces contraintes et particulièrement pour promouvoir les solutions à moyen et à long terme, respectivement de valorisation énergétique et de valorisation verte.

La mise en décharge

La mise en décharge des boues est la solution de dernier recours. Elle a été considérée dans cette étude en tant qu'option d'urgence. En effet, cette option est en cours d'interdiction dans plusieurs pays développés. De manière unanime, la mise en décharge est un gâchis car les boues sont source de matière organique de nutriments et d'énergie. En outre la mise en décharge des boues dans les décharges communales est associée à plusieurs désavantages : i) la diminution de la durée de vie des décharges sachant que trouver un nouveau site d'implantation d'une nouvelle décharge n'est pas évidente et parfois quasi-impossible (problématique cruciale pour les collectivités locales), ii) la surproduction de lixiviats, et iii) les difficultés d'exploitation (les nuisances olfactives susceptibles d'être générées par reprise de la fermentation après un certain temps, menace de la stabilité des pentes de déchets à court et à long terme, iv) coût élevé de transport et particulièrement en cas de faible niveau de siccité.

Toutefois, la mise en décharge demeure dans les circonstances et le contexte actuel des deux STEPs, la solution d'urgence ou de rechange en attendant que les autres options de valorisation se développent et que le cadre institutionnel idoine soit mis en place. Et même cette solution d'évacuation s'avère institutionnellement complexe dans sa mise en œuvre : statut des boues pas clair, décharges dimensionnées pour les DMA, siccité faible, etc.

Ainsi, comptant sur l'aboutissement des arrangements institutionnels assez bien rassurants, la présente étude a identifié des sites et a proposé des solutions d'évacuation des boues dans des

mono-décharges ou leur insertion dans des décharges mixtes. Dans cette partie de l'étude, il a été également suggéré d'opter pour la production de terre végétale pour les espaces verts et la couverture des casiers abandonnés.

Une étude de faisabilité technico-économique de valorisation des boues dans la réhabilitation des carrières mérite d'être effectuée.

La valorisation énergétique

Mono-incinération

La mono-incinération en chaudière industrielle est une option qui pourra être étudiée avec Cosumar en tant que partie prenante. Cette option permet de valoriser l'ensemble du gisement de boues de la STEP de Nador, avec une visibilité sur 15 ans. Le revers de la mono-utilisation d'un équipement dédié est que les coûts (investissement et coûts d'exploitation) associés sont élevés, d'autant plus si la chaudière n'est pas utilisée au maximum de sa capacité.

Cette option permet malgré tout à Cosumar de réduire sa facture énergétique, et de rentabiliser l'investissement dans la chaudière dédiée.

La négociation du coût de reprise des boues sèches est un point central pour trouver un équilibre financier satisfaisant les deux parties.

Néanmoins, suite au contact de Cosumar, deux points paraissent jouer en la défaveur de la valorisation énergétique des boues pour ce type d'application : i) la présence de produits énergétiques concurrentiels (types grignons d'olives), et ii) les réticences à l'utilisation de boues de STEP dans une agro-industrie, à mettre en perspective avec un manque d'information sur l'innocuité et la valeur de ce déchet en tant que combustible de substitution.

Co-incinération

La co-incinération en cimenterie est une option intéressante qui pourra être étudiée avec Holcim en tant que partie prenante. Cette option peut permettre de valoriser l'ensemble du gisement de boues de la STEP de Nador. Toutefois, Holcim peut se fournir avec d'autres combustibles de substitution, et cette option ne peut pas être envisagée comme l'unique exutoire des boues.

La négociation du coût de reprise des boues sèches est un point central pour trouver un équilibre financier satisfaisant les deux parties.

Production de briqueteries à Al Hoceima (pilote)

La production de briquettes énergétiques est un projet qui peut apporter une grande valeur ajoutée dans la gestion des boues de STEP à moyen terme. Les boues ainsi conditionnées peuvent être valorisées auprès de multiples utilisateurs, limitant la dépendance de la solution à un acteur en particulier.

À plus court terme, ce type de projet doit démontrer l'innocuité des boues pour favoriser leur utilisation sur une petite fraction du gisement, avant de pouvoir rechercher l'équilibre économique. Dans le même temps, cette solution est indissociable d'une campagne d'information auprès des utilisateurs potentiels.

La valorisation verte

La filière verte se justifie davantage étant donnée le faible niveau de fertilité des sols des deux régions, à l'instar des sols marocains en général, et particulièrement leur faible niveau en matière organique. Comme il a été souligné dans le rapport de la mission 1, et à la lumière des leçons tirées de l'initiative pilote d'épandage agricole qui n'a pas abouti, l'option de valorisation verte et particulièrement l'épandage agricole et la réhabilitation des sols dégradés, bien qu'elle soit prometteuse eu égard aux potentialités et atouts de la région, à l'aptitude d'une superficie relativement importante de sols, son opérabilité, à ce stade, ***demeure préalablement tributaire à la mise en place d'un cadre réglementaire et normatif définissant les conditions d'utilisation des boues et les normes de qualité des boues ou du compost à base de boues.***

En effet, comme il a été recommandé dans le rapport de la première mission, une clarification du "statut" des boues dans la loi sur les déchets 28-00 est nécessaire. En outre, il va falloir accélérer le processus d'établissement du Décret relatif à la valorisation des boues dont les dispositions définiront :

- Les conditions d'utilisation des boues : types de traitements préalables à la valorisation, valeurs seuils et normes, caractérisation des sols récepteurs, conditions d'interdiction de l'épandage.
- Les éléments essentiels du registre annuel dont doit disposer les producteurs des boues : le rythme de production, la période de production, les paramètres de qualité, les quantités destinées à l'épandage, etc.
- Description des modalités techniques de réalisation de l'épandage (matériels, localisation, volume des dépôts temporaires, ouvrages d'entreposage, périodes d'épandage, etc.)
- En cas de co-compostage, fortement recommandé pour passer de la logique « déchet » à la logique « produit » ou « biofertilisant », il va falloir également définir les normes spécifiques d'utilisation
- Définition des responsabilités des services compétents en matière de contrôle et de suivi
- Intégration du principe de traçabilité
- Etc.

Une inspiration des textes de l'UE, la France et de la Tunisie est recommandée.

Deux options de valorisation ont été retenues : l'épandage direct et le co-compostage des boues et la valorisation du compost. Une plateforme de compostage grandeur nature et une plateforme à petite échelle ont été proposées respectivement pour Nador et Al Hoceima.

La présente étude confirme l'intérêt technique et agro-économique de privilégier le co-compostage des boues. En effet, il s'agit d'obtenir un compost hygiénisé et normalisé comme étant un biofertilisant. L'épandage direct des boues s'avère certes la moins onéreuse mais elle demeure une solution assez conflictuelle eu égard au manque d'information et à la difficulté de maîtrise et de respect des conditions d'utilisation. Le compost à base de boues est un produit et pas un déchet ce qui permet inéluctablement de renforcer l'option de compostage. Celle-ci permet aussi de traiter, par co-compostage les déchets verts urbains, les déchets agricoles, etc.

ANNEXE 0 : COMPTE-RENDU DES VISITES DE TERRAIN ET D'ENTREVUES AVEC LES ACTEURS AU NIVEAU DES DEUX PROVINCES D'AL HOCEIMA ET DE NADOR

I. PREAMBULE

Le programme de traitement et d'épuration des eaux usées entrepris par l'ONEE, a pris actuellement sa vitesse de croisière, et semble s'orienter avec les objectifs nationaux tracés. Ainsi, l'accroissement des réseaux des eaux usées et les filières de traitement induisent intrinsèquement à la multiplication et la génération de quantités de plus en plus importantes des boues. Dans cette optique, la problématique de la gestion de ces boues, devient persistante et, nécessitera à terme, une stratégie durable pour ne pas compromettre le programme initial de l'assainissement liquide. A cet effet, la DAE de l'ONEE a mis en concours la présente expertise, afin de faire un diagnostic de la situation actuelle, et ressortir à la fin par une vision plausible de gestion des boues générées par les Stations d'Épuration de l'ONEE.

Cette expertise est scindée en deux missions : i) une première mission achevée, et livrée en Novembre 2015, a été dédiée à une analyse de la situation existante de gestion des boues, ii, la présente mission qui fait focus sur le diagnostic de la gestion des boues générées par les STEP d'Al Hoceima et de Nador et la proposition de solutions urgentes et des options à développer dans le court, moyen et long terme. Le ciblage de ces deux STEPs se justifie par une situation de blocage de toutes les options d'élimination et de valorisation et par les nuisances environnementales générées par l'accumulation des boues.

La présente mission a pour objectif d'identifier des solutions spécifiques pour la gestion des boues issues de ces deux STEPs. Les solutions techniques ou technologiques devront être justifiées, faisables, et formulées pour le très court terme, le court terme, et le moyen terme. Une vision long terme, basée sur la situation de référence et sur des hypothèses ou conditionnalités (cadre institutionnel et réglementaire, information et formation, potentiel de valorisation verte ou énergétique, etc.).

Ainsi, trois experts ont été mobilisés :

L'expert N°1 Brahim SOUDI), chargé de trois volets : la filière verte, le diagnostic institutionnel, et la coordination de la mission dans sa globalité.

L'Expert N°2 Raoul GRELA, chargé de la filière noire qui consistera à l'identification des sites potentiels de décharge (mono-décharge) des boues sur la base de considérations géotechniques. Il est également demandé le dimensionnement optimal de la zone d'accueil des boues et l'évaluation des coûts.

L'Expert N°3 Félicien PONCELET chargé de la filière rouge qui consiste à procéder à une analyse détaillée de toutes les filières possibles et leur coût dont notamment l'incinération sur site ou dans des cimenteries existantes à proximité du site de la STEP, de définir les conditions pour une valorisation efficace, et d'identifier les types de traitement supplémentaires éventuels, des boues.

II. OBJET DE LA MISSION

Cette mission de démarrage de l'expertise a été réalisée dans les deux sites : Al Hoceima et Nador du 24 au 26/05/2016 (jours effectifs hors aller-retour). Une visite des lieux et des entrevues et réunions avec les partenaires locaux ont eu lieu en présence des trois experts et des représentants de l'ONEE au niveau central et régional.

L'objectif étant de collecter les données de base et la consultation des parties prenantes concernées par la question de gestion des boues .

II. PARTIES PRENANTES CONSULTEES

Des réunions et/ou entrevues individuelles ont été organisées avec les partenaires listés ci-après :

A Nador :

- Mr le Gouverneur de Nador
- Secrétaire Général de le Province Nador
- Représentants des -Communes de Nador, Selouane et Bouareg-
- Représentant de DPA (Direction provinciale de l'Agriculture)
- Représentant de l'ONSSA
- Représentant de l'ORMVAM
- Le Chef de Service provinciale de l'Environnement
- Les représentants de l'ONEE – branche eau au niveau central et régional

A Hoceima :

- Le Secrétaire Général de la Province
- Président du Groupement des Communes-Gestionnaire décharge(Pizzorno)
- Directeur de la DPA (Direction provinciale de l'Agriculture)
- Chef de Service provinciale de l'Environnement- Province Hoceima
- Les représentants de l'ONEE – branche eau au niveau central et régional

III. DEROULÉ ET CONSTATS DE LA MISSION

III.1. MISSION À NADOR

Mardi 24/05/2016

Une visite de la STEP a été effectuée et a permis de constater que les boues sont stockées directement sur le site réservé à l'extension de la STEP. Les impacts environnementaux et les nuisances générées sont de portée majeure eu égard à la sensibilité de la lagune et de son environnement. La photo suivante illustre cet état de situation.



Après la visite la STEP, une réunion s'est tenue au niveau de la Province de Nador sous la présidence de Mr le SG de la Province et en présence des services extérieurs.

Au préalable, l'objectif de cette expertise a été présenté à Mr le Gouverneur de Nador qui a confirmé que des contacts ont été déjà entrepris par ses soins avec la DEA, relevant du Ministère de l'Intérieur, pour activer la mise en dépôt des boues au niveau de la décharge de Nador.

Par la suite, et après l'ouverture de la réunion par Mr le SG de la Province de Nador, l'audience a été informée sur l'objectif principal de l'expertise et qui consiste à l'élaboration d'un plan prioritaire à court et moyen terme pour solutionner la problématique de gestion des boues des STEPs de Nador et d'Al Hoceima.

Lors des discussions les représentants des services extérieurs ont recommandé d'opter pour d'autres filières de valorisation, notamment :

- Réhabilitation des carrières abandonnées au niveau de la Province Nador
- Compostage des boues et épandage dans les terres agricoles.
- Valorisation énergétique

En fin de mission d'autres contacts ont été pris notamment avec la Sucrierie pour une éventuelle valorisation énergétique des boues au niveau de la chaudière.

Mercredi 25/05/2016

Ce jour, une visite a été effectuée au niveau de la décharge contrôlée de Nador située à 25 Km de la Ville. Cette décharge d'une superficie de 40 ha n'est pas encore exploitée par le gestionnaire AVERDA vu la dégradation des ouvrages d'étanchéité au niveau des casiers (Conduites de drainage colmatées, géo membrane et géotextile dégradées...).

A noter que cette décharge contrôlée est construite dans la même enceinte de l'ancienne décharge. La zone réhabilitée de celle-ci est la seule qui est opérationnelle couvrant une superficie de 3 ha.

Ainsi, et étant donnée la disponibilité des terrains au niveau de cette décharge, l'Expert chargé de la filière noire examinera l'option de mise en dépôt des boues dans un casier dédié aux boues et leur utilisation pour la végétalisation des casiers lors de leur couverture.

III.2. MISSION À AL HOCEIMA

Jeudi 26/05/2016 :

Une réunion a été tenue au niveau de l'Agence Mixte d'Al Hoceima en présence des services extérieurs.

Le coordonnateur de l'expertise a procédé à un cadrage de l'étude et de ses objectifs. Les experts ont également relaté les options envisageables qui peuvent être étudiées, notamment la mise en dépôt des boues au niveau de la décharge d'Al-Hoceima (comme option prioritaire mais non durable), les options de valorisation verte telles compostage, amendement comme terre végétale pour les espaces verts, séchage renforcé et valorisation énergétique telle que la combustion au niveau des fours traditionnels.

Par la suite, une visite a eu lieu à la STEP d'Al Hoceima où les boues sont accumulées au niveau du silo de stockage sans aucune visibilité sur leur devenir.



Silo de stockage des boues au niveau de la STEP d'Al Hoceima

Les boues étaient jusqu'à présent transportées jusqu'au site de lagunage d'Imzouren/Bni Bouayach (20 km) ou elles étaient stockées dans des lits de séchage.

Cette filière n'est plus envisageable, suite à une opposition des riverains du site de stockage à cause des nuisances olfactives.



Une autre visite a été effectuée au niveau de la décharge contrôlée d'Al Hoceima située à 20 Km de la Ville. Cette décharge contrôlée est en cours d'exploitation par la Société Pizzorno dont la première tranche est en phase de saturation.



Vue de la décharge d'Al Hoceima

Compte tenu de la non disponibilité d'une grande superficie de terrains pour la mise en dépôt des boues au niveau de cette décharge, l'option avancée consisterait au mélange des boues avec les terres de couverture des casiers en exploitation. Cette option sera technico économiquement étayée dans le cadre de cette expertise. Le gestionnaire Pizzorno a informé qu'au niveau de la décharge contrôlée Oumâaza de Rabat l'option de valorisation des boues de la station de traitement avec les terres de couverture a été déjà adoptée. Ainsi, une inspiration de cette expérience a été envisagée.

D'autres options ont été également envisagées pour faire l'objet de projets pilotes ; il s'agit notamment de la valorisation énergétique des boues et la mise en place d'une plateforme de compostage au niveau de la décharge.

IV. CONSTATS MAJEURS

Il ressort des résultats de la mission I (Voir rapport de Novembre 2015) et de la consultation des parties prenantes au niveau de ces deux STEPs, que les contraintes institutionnelles et les lacunes réglementaires et normatives l'emportent sur les aspects techniques.

Ainsi, sur base du renouveau apporté par la nouvelle loi organique (Février 2015), la présente expertise, ne se limitera aux modalités techniques de gestion, mais développera des propositions d'arrangement institutionnels et de définition des responsabilités, requis pour une gestion durable des boues. Cette expertise devra également rappeler la nécessité de normalisation réglementaire des options d'élimination et de valorisation des boues.

Une constante technique majeure aux deux STEPs, réside dans le fait que la siccité maximale atteinte ne dépasse pas 22%. Ce niveau de siccité est loin de justifier techniquement et économiquement certaines options d'élimination (mise en décharge) et de valorisation énergétique ou verte. Ainsi, l'expertise anticipe sur la mise en place d'un dispositif de séchage solaire préalable. Ce dispositif sera dimensionné pour chacune des deux STEPs.

V. PROCHAINES ETAPES

A l'issue de cette mission, il sera procédé à :

La collecte des informations complémentaires notamment

- auprès de ECOVAL et COSUMAR pour la valorisation énergétique des boues au niveau de Nador,
- auprès de l'Agence Marchica et de la Direction Régionale de l'Agriculture, pour prospector les opportunités de compostage des boues de la STEP de Nador
- au niveau de la région et auprès du Service d'aménagement des espaces verts de la ville d'Al Hoceima pour étudier la faisabilité de mélange des boues avec la terre végétale.

L'élaboration d'un rapport global, tel que stipulé par les TdRs, sur base des constats de la mission sur le terrain, des données complémentaires, et de l'étude de faisabilité technico-économique et de dimensionnement des différentes options envisageables. Ce rapport relatera un diagnostic de situation et proposera et étayera les options de gestion des boues, spécifiques à chacune des deux STEPs, et les déclinera selon un ordre chronologique (solutions urgentes et options à court, moyen et long terme) en définissant les conditionnalités techniques, institutionnelles et réglementaires et managériales de leur mise en œuvre.

Etat d'avancement : Rapport en cours d'élaboration et sera livré dans les délais définis par les TDRs

La déclinaison du rapport global en des plans succincts d'intervention pour chacune des deux STEPs. Ces plans devront faciliter la lecture des recommandations techniques en vue de leur opérationnalisation dans chacun des deux sites.

ANNEXE A. RESULTATS D'ANALYSE DES BOUES DES STEPS DE NADOR, ET D'AL HOCEIMA

Tableau 2. La teneur des boues en éléments fertilisants

STEP	Teneur en mg/kg MS				
	Azote total	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
Nador	8 556,39	46 074,80	8 411,22	77 153,59	19 073,68
El Hoceima	16 300,00	38 472,00	4 891,08	58 494,92	10 943,46

Tableau 3. Concentration des boues en éléments traces métalliques (ETM)

	Concentration en mg/kg MS						
	Zinc	Cuivre	Plomb	Chrome	Cadmium	Mercure	Nickel
El Hoceima	-	122	45,2	18,7	0,675	1,05	18,4
Nador	624	127,4	81,4	25,4	0,82	1,844	27,6
Valeur seuil la plus restrictive	2 000 (Tunisie)	800 (Allemagne)	750 (Portugal)	500 (Tunisie)	10 (France, Allemagne)	8 (Allemagne)	200 (France, Tunisie, Allemagne)

Tableau 4. Concentration des boues en composés traces organiques (CTO)

	Concentration en µg/kg MS				
	Total des 7 PCB	Fluoranthène	Banzo(a)antheracène	Benzo(b)fluoranthène	Benzo(a)pyrène
Nador	0	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Valeur Seuil (mg/kg)	6 (UE)	0,8 (UE)			

Tableau 5. Nombre des œufs d'helminthes dans les boues

STEP	Type de traitement des boues	Etat des boues	Total des œufs (nombre d'œufs/L ou /100g de MS)	Valeur Seuil (France)
Nador	Epaississement (floculation)	Solide	143,8	3 œufs/10g MS
El Hoceima	Epaississement et déshydratation avec polymérisation et chaulage	Solide	1 565	

ANNEXE B. DESCRIPTION TECHNIQUE D'AMENAGEMENT ET DE GESTION DE LA MISE EN DECHARGE DES BOUES DE STATION D'EPURATION

1. TECHNIQUES DE MISE EN DECHARGE DES BOUES DE STATION D'EPURATION

La plus grande contrainte sur la mise en place d'un système de mono-décharge dans les zones tempérées est la teneur en eau des boues. Habituellement, cette teneur ne peut dépasser les 65%, si cette valeur est dépassée la boue est dans un état liquide entravant le fonctionnement des engins de transport et de manutention.

La consistance appropriée de la boue est contrôlée par un appareil de mesure de la force de cisaillement. Le plus grand problème dans le processus de mise en mono-décharge est l'efficacité du processus de déshydratation.

1.1. Description des mono-décharges

Les mono-décharges sont des unités actives spécialisées dans les boues d'épuration où les boues, ayant une siccité d'au moins 15% (ou plus en fonction du type de la mono-décharge), sont disposées et couvertes régulièrement. L'application d'une couverture distingue les mono-décharges des piles et des sites d'épandage, où les boues ne sont pas couvertes (sauf si elles sont injectées en dessous de la surface), et des sites de lagunage, qui ne reçoivent aucune couverture jusqu'à la fermeture du site. La mise en décharge des boues contenant une siccité élevée distingue les mono-décharges des sites d'épandage et de lagunage où les boues disposées contiennent moins de matières solides. Dans les mono-décharges, le manque d'oxygène permet une décomposition anaérobie. Les boues sont alors dégradées lentement par décomposition anaérobie. Si les mono-décharges sont proprement planifiées et exploitées, les sites achevés peuvent être utilisés à des fins récréatives ou autres, comme des espaces publics.

Les mono-décharges comportent deux catégories : les tranchées (où les boues sont placées dans des zones excavées en dessous de la surface du sol) et les zones de confinement (où les boues sont placées sur la surface du sol). Le tableau 1 montre les conditions (siccité des boues, sites pertinents) de ces mono-décharges spécialisées et le tableau 2 résume les critères de conception de ces dernières.

1.1.1. Tranchées

Les tranchées sont des zones excavées dans lesquels les boues sont placées entièrement en dessous de la surface du sol initiale.

Les bonnes pratiques d'ingénieries préconisent que les eaux souterraines et les substrats rocheux dans la zone d'une tranchée doivent être suffisamment profonds pour permettre l'excavation et

de maintenir des sols tampons suffisants entre le fond du dépôt des boues et la partie supérieure des eaux souterraines ou des substrats rocheux.

Avec les tranchées, le sol est uniquement utilisé pour les couvertures et non pas comme agent stabilisant. Les boues sont généralement déchargées directement des véhicules de transport dans la tranchée. L'équipement sur place est utilisé uniquement pour l'excavation et la couverture des tranchées, il n'est pas utilisé pour transporter, pousser, disposer en couches, disposer en tas ou d'autres usages des boues. La couverture est appliquée sur les boues à la fin de chaque jour de fonctionnement, elle permet de mettre une barrière entre les boues et les vecteurs, ce qui crée un environnement réducteur d'agents pathogènes dans les boues. En outre, la couverture réduit aussi les odeurs. Le sol excavé lors de la construction des tranchées est habituellement suffisant pour les couvertures de boues, de sorte que l'importation du sol est rarement nécessaire.

Il existe deux catégories basiques de tranchées : les tranchées étroites et les tranchées larges. Les tranchées étroites vont jusqu'à 3m de largeur alors que les tranchées larges dépassent les 3m de largeur. La profondeur des deux catégories de tranchées varie selon les facteurs suivants :

1. la profondeur entre la surface du sol et la partie supérieure des eaux souterraines ou des substrats rocheux ;
2. la stabilité de la paroi latérale ;
3. les limitations de l'équipement.

La longueur de la tranchée est pratiquement illimitée mais dépend inévitablement des limites (ou autres conditions) du site de la tranchée. La longueur de la tranchée peut être limitée par la nécessité d'interrompre cette dernière sur une courte distance ou de placer une digue (dans la tranchée) pour contenir des boues avec une faible siccité, l'empêchant ainsi de couler.

1.1.1.1. Tranchées étroites

Dans les tranchées étroites (largeur maximale de 3m), une couche de terre de couverture est placée après chaque dépôt de boues. Elles sont creusées et gérées à l'aide de véhicules manœuvrant sur les terres à proximité de la tranchée. Les terres excavées sont stockées à proximité de la tranchée pour être utilisées par la suite comme terres de couvertures.

Le principal intérêt des tranchées étroites est qu'elles permettent de gérer des boues avec de faibles siccités. En effet, étant donné l'étroitesse de la tranchée, les terres de couvertures ne coulent pas en dessous des boues mais sont soutenues par les terres présentes de chaque côté de la tranchée pour un effet de pont. Au-delà de 0,9m cet effet de pont ne se fait plus sentir et la siccité des boues doit alors être comprise entre 20 et 28%.

Un autre avantage des tranchées étroites par rapport aux tranchées larges est qu'elles peuvent être installées sur des terrains en pente.

Par contre le principal désavantage des tranchées étroites est qu'elles sont très consommatrices de surface (entre 2.300 à 10.600m³/ha). Par ailleurs, il est impossible d'installer de couche de protection dans ces tranchées, les boues doivent donc avoir des caractéristiques spécifiques concernant leur teneur en éléments polluants.

1.1.1.2. Tranchées larges

Les tranchées larges (largeur supérieure à 3m), sont généralement excavées en utilisant des véhicules manœuvrant à l'intérieur de la tranchée. Les terres excavées sont stockées à proximité de la tranchée pour être utilisées par la suite comme terres de couvertures.

La manière dont la couche de couverture va être appliquée est déterminée principalement par la siccité des boues et les équipements utilisés :

- entre 20 et 28% de siccité, les boues ne peuvent pas supporter le passage d'engins et les terres de couvertures devront être mises en place à l'aide d'un véhicule manœuvrant aux abords de la tranchée : ainsi si on utilise une chargeuse, la largeur de la tranchée ne pourra que légèrement dépasser les 3m ; par contre si on utilise une dragline on pourra aller jusqu'à 15m de largeur ;
- entre 28% et 32% de siccité, la boue peut supporter le passage d'engins et la couche de couverture sera mise en place par des engins manœuvrant sur les boues (bulldozer par exemple) ;
- au-dessus de 32%, les boues déversées ne vont pas se répartir uniformément dans la tranchée si elles sont déversées depuis un des bords de la tranchée. Les camions transportant les boues doivent donc venir déverser directement à l'intérieur de la tranchée. Les terres de couvertures seront mises en place soit à partir des bords de la tranchée soit par des engins manœuvrant à l'intérieur de la tranchée.

Les deux principaux avantages des tranchées larges sont :

- qu'elles sont relativement économes en surface (entre 6.000 à 27.400m³/ha) ;
- qu'elles permettent d'installer une couche de protection.

Par contre, elles sont moins adaptées à des terrains en pente que les tranchées étroites car le fond des tranchées doit être plat.

1.1.2. Zones de confinement

Dans les zones de confinement, les boues sont placées sur la surface du sol. Ainsi, cette méthode est utilisée préférentiellement dans des zones avec des eaux souterraines ou des substrats rocheux peu profonds. La siccité des boues doit être d'au moins 20%. En effet, les zones de confinement ne comportent pas de murs latéraux (contrairement aux tranchées) et les boues doivent être capables de supporter les passages d'engins. Pour assurer une bonne stabilité et une portance suffisante des boues, il est nécessaire de mélanger les boues à des agents stabilisants (terres généralement). Les grandes quantités de terres nécessaires doivent ainsi être importées si les terres ne sont pas disponibles sur le site.

Les zones de confinement permettent également d'installer plus simplement la couche de protection.

Dans ces zones, le mélange boues/agents stabilisants (terres) est placé par épaisseurs successives. Les terres de couvertures sont généralement mises en place après chaque épaisseur. Des terres de couvertures supplémentaires peuvent être nécessaires pour assurer la stabilité des épaisseurs mises en place. Si les boues ne sont pas recouvertes quotidiennement, il faut faire particulièrement attention aux caractéristiques de composition en agents pathogènes et en vecteurs de maladies.

On distingue trois types de zones de confinement :

- les zones de confinement par tas ;
- les zones de confinement par couches ;
- les casiers ou enceintes de confinement endiguées.

1.1.2.1. Zone de confinement par tas

Une zone de confinement par tas accepte des boues avec au moins 20 % de siccité. Les boues peuvent ensuite être mélangées avec un agent stabilisant pour produire un mélange avec une plus grande capacité de portance. Les ratios de stabilisation varient de 0,5 à 2 volume de terre pour chaque volume de boues. Le ratio dépend de la siccité des boues et des besoins nécessaires pour la stabilité des tas et la capacité de portance (dictée par le nombre de tas et le poids de l'équipement). Le mélange des boues avec de la terre, afin d'améliorer la capacité de portance, se fait dans une zone dédiée pour ensuite être transporté vers la zone de remplissage. Dans cette dernière, le mélange est empilé dans des tas d'environ 1,8 m de hauteur. Une couche de couverture, d'au moins 0,9 m d'épaisseur, peut être appliquée au sommet des tas. L'épaisseur de la couche de couverture doit atteindre 1,5 m si des tas supplémentaires sont appliqués sur le premier tas.

Un équipement léger de basses pressions au sol ou avec des lames de chenilles adaptées aux marécages est généralement recommandé pour les opérations telles que le mélange, le tassage de boues et des couches de couverture, où les engins roulent au-dessus des boues. Des engins plus lourds peuvent être plus appropriés pour le transport de la terre et du mélange boues/terre.

Le principal avantage des zones de confinement par tas est l'utilisation efficace des sols, avec des taux d'élimination des boues de 5.700 à 26.400 m³/ha. Le principal inconvénient est le besoin constant de pousser et d'empiler les tas qui croulent, ce qui augmente les besoins en main-d'œuvre et en équipements. De plus certains affaissements sont inévitables, en particulier dans les zones à fortes précipitations. L'affaissement peut parfois être minimisé en fournissant un confinement en terre des tas. Par exemple, les tas sont souvent construits sur un terrain plat pour empêcher les écoulements, si le site sélectionné contient une pente raide, une paroi latérale peut être aménagée afin de contenir les tas d'un côté.

1.1.2.2. Zone de confinement par couches

Une zone de confinement par couche accepte des boues avec au moins 20 % de siccité. Les boues sont ensuite mélangées avec un agent stabilisant pour produire un mélange avec une plus grande capacité de portance. Les ratios de stabilisation varient de 0,25 à 1 volume de terre pour chaque volume de boue. Comme pour les zones de confinements par tas, le ratio dépend de la siccité des boues et des besoins nécessaires pour la stabilité des couches et la capacité de portance (dictée par le nombre de couches et le poids de l'équipement).

Le mélange des boues avec de la terre, afin d'améliorer la capacité de portance, peut se faire soit dans la zone de remplissage ou dans une zone séparée dédiée. Le mélange est réparti uniformément dans la zone de confinement avec une épaisseur de couches qui varie de 0,15 à 0,9 m. Une couverture intermédiaire de 0,15 à 0,3 m d'épaisseur peut être appliquée entre les couches consécutives. La couverture finale, si elle est appliquée, doit avoir une épaisseur qui varie de 0,6 à 1,2 m.

Un équipement léger de basses pressions au sol ou avec des lames de chenilles adaptées aux marécages est généralement recommandé pour les opérations telles que le mélange, le dépôt des couches de boues et des couches de couverture, où les engins roulent au-dessus des boues. Des engins plus lourds peuvent être plus appropriés pour le transport de terre. Les zones stratifiées doivent être construites sur un terrain plat pour empêcher les boues de couler. Cependant, la stratification peut être réalisée sur un terrain légèrement incliné, si la siccité des boues est élevée et/ou si l'agent stabilisant utilisé est suffisant.

Un des avantages des zones de confinement par couches est qu'elles sont (à la fin du remplissage) relativement stables en ce qui concerne la capacité de portance, donc elles exigent moins de maintenance, cependant la main-d'œuvre et l'équipement sont nécessaires pour pousser et empiler les monticules croulants. Un des inconvénients de la méthode est la pauvre utilisation du sol avec des taux d'élimination des boues qui varient de 3.780 à 17.000 m³/ha.

1.1.2.3. Casier ou enceinte de confinement endiguée

Dans un casier (enceinte de confinement endiguée), les boues sont placées entièrement au-dessus de la surface du sol et sont complètement entourées par des digues, ou une combinaison de digues et de pentes naturelles si la zone de confinement se trouve au pied d'une colline escarpée. Les véhicules à benne déposent les boues directement dans la zone de confinement à travers les côtés des digues. La couverture intermédiaire peut être appliquée à certains endroits pendant le remplissage, et la couverture finale peut être appliquée quand on interrompt le remplissage.

Le confinement endigué exige des boues avec au moins 20 % de siccité. Pour les boues contenant des matières solides entre 20% et 28%, le matériau de couverture doit être appliqué par des équipements adaptés à un terrain solide au-dessus des digues. Dû à sa longue portée, la dragline est le meilleur équipement pour l'application de la couverture dans cette situation. Le couvercle intermédiaire devrait être de 0,3 à 0,6 m d'épaisseur, et la couverture finale devrait être 0,9 à 1,2 m d'épaisseur.

Pour les boues avec 28 % ou plus de siccité, le matériau de couverture peut être appliqué par un engin qui pousse et étale la terre de couverture au-dessus des boues. Le bulldozer est le meilleur équipement pour l'application de la couverture dans cette situation. La couverture intermédiaire devrait être de 0,6 à 0,9 m d'épaisseur et la couverture finale devrait de 1,2 à 1,5 m d'épaisseur.

Le sol n'est généralement pas ajouté aux boues comme un agent stabilisant à l'exception des ajouts occasionnels qui peuvent être nécessaire afin de rendre possible les opérations décrites ci-dessus.

Les casiers sont relativement grands : généralement de 15 à 30 m de largeur, 30 à 60 m de long et de 3 à 9 m de profondeur, ou plus grands. Ainsi, un des avantages des casiers est l'utilisation efficace des sols, avec des taux d'élimination des boues de 9.100 à 28.400 m³/ha. Un des inconvénients des casiers est que la profondeur de remplissage et le poids des couvertures de terre intermédiaires et finales ajoutent un supplément de charge significatif sur les boues. Par conséquent, une grande partie de l'humidité des boues est véhiculée dans les digues environnantes et dans l'étage du casier. Pour les casiers qui ne disposent pas d'un système de collecte des lixiviats, les concentrations d'arsenic, de chrome et de nickel dans les boues doivent respecter les limites présentes dans la loi.

Tableau 6 : Comparaison des caractéristiques de boues et de sites de dépôt pour les différentes catégories de mono-décharges

Types	Siccité de la boue	Mono-décharge		Pente au sol
		Caractéristiques de la boue	Hydrogéologie	
Tranchée étroite	15-28%	Stabilisée ou non stabilisée	Eaux souterraines ou substrats rocheux profonds	<20%
Tranchée large	≥20%	Stabilisée ou non stabilisée	Eaux souterraines ou substrats rocheux profonds	<10%
Zone de remplissage par tas	≥20%	Stabilisée ou non stabilisée	Eaux souterraines ou substrats rocheux peu profonds	Convient pour les terrains en pente aussi longtemps que la surface plane est préparée au préalable pour le buttage
Zone de remplissage par couches	≥20%	Stabilisée ou non stabilisée	Eaux souterraines ou substrats rocheux peu profonds	Convient pour les pentes moyennes mais les surfaces planes restent plus adéquates
Casier	≥20%	Stabilisée ou non stabilisée	Eaux souterraines ou substrats rocheux peu profonds	Convient pour les terrains en pente aussi longtemps que la surface plane est préparée au préalable pour des digues internes

Tableau 7 : Critères de conception pour les différentes catégories de mono-décharges Mono-décharge

Type	Siccité de la boue	Profondeur de la tranchée	Stabilisation nécessaire	Agent stabilisant	Ratio de stabilisation ²⁹	Épaisseur de la couverture intermédiaire	Épaisseur de la couverture finale	Terre im-portée nécessaire	Taux de stockage des boues ³⁰ (surface de remplissage réelle)	Équipements
Tranchée étroite	15 - 20%	0,6 - 0,9m	Non	-	-	-	0,6-0,9m	Non	2.300 - 10.600 m ³ /ha	Pelleteuse avec chargeur, excavateur à tranchée ³¹
	20 - 28%	0,9 - 3m	Non	-	-	0,9-1,2m	Non			
Tranchée large	20 to <28%	3m	Non	-	-	-	0,9-1,2m	Non	6.000 - 27.400 m ³ /ha	Chargeuse sur chenilles, dragline, racleur, bulldozer ³²
	>28%	3m	Non	-	-	1 ,2-1,5m	Non			
Zone de remplissage par tas	≥20%	-	Oui	Terre	0,5 - 2 terre : 1 boue	0,9m	0,9-1,5m	Non	5.700 - 26.400 m ³ /ha	Chargeuse sur chenilles, pelleteuse avec chargeur, bulldozer ³³
Zone de remplissage par couches	≥20%	-	Oui	Terre	0,25 - 1 terre : 1 boue	0,15-0,3m	0,6-1,2m	Oui	3.780 - 17.000 m ³ /ha	Bulldozer, chargeuse sur chenille, niveleuse ³³
Casier	20 à <28%	-	Non	Terre	0,25-0,5 terre : 1 boue	0,3-0,6m	0,9-1,2m	Oui	9.100 - 28.400 m ³ /ha	Dragline, bulldozer, racleur ³²
	≥28%	-	Non	Terre	1 boue	0,6-0,9m	1 ,2-1,5m	Oui		

²⁹ Données en volume.

³⁰ Ces taux sont basés sur des expériences de conception et des pratiques d'ingénieries établies.

³¹ Équipements terrestres.

³² Équipements terrestres pour une siccité de boues <28%. Équipements spécialisés pour les boues pour une siccité de boues ≥28%.

³³ Équipements spécialisés pour les boues.

1.2. Conception des mono-décharges (EPA, Process Design Manual - Surface Disposal of Sewage Sludge and Domestic Septage 1995)

1.2.1. Tranchées

Les tranchées sont séparées en deux catégories : les tranchées de moins de 3m de large et les tranchées de plus de 3m de large.

1.2.1.1. Paramètres de dimensionnement

Le tableau 3 donne les principaux paramètres de dimensionnement des tranchées, les facteurs déterminants et les considérations à prendre en compte dans le dimensionnement des tranchées.

Tableau 8. Paramètres de dimensionnement des tranchées

Paramètres de dimensionnement	Facteurs déterminants	Considérations		
Profondeur de la tranchée	Profondeur de la nappe et du lit rocheux Perméabilité des sols Pouvoir d'échange cationique des sols	On recommande d'avoir une épaisseur d'au moins 60cm à 1,5m entre le bas de la tranchée et la nappe ou le lit rocheux. Cependant des perméabilités plus fortes peuvent nécessiter des épaisseurs plus élevées		
	Matériel de terrassement	Le matériel de terrassement permet généralement d'excaver efficacement jusqu'à 3m de profondeur, moins efficacement jusqu'à 6m et pas au-delà		
	Stabilité des parois	C'est le principal facteur déterminant la profondeur. Les engins transportant les boues doivent pouvoir circuler dessus et des essais sur le terrain doivent être menés.		
Espacement³⁴	Stabilité des parois	En règle générale, on prendra 30 à 50 cm d'espacement minimal entre les tranchées pour chaque 30cm de profondeur		
	Stocks de terres Accès des véhicules	Un espace suffisant doit être disponible entre les tranchées pour permettre de disposer les terres stockées pour la couverture et pour permettre l'accès et la libre circulation des véhicules de transport et d'exploitation		
Largeur	Siccité	Siccité de 15 à 20% : 60 à 90cm Siccité >20% : >90cm		
	Matériel	La plupart des équipements peuvent gérer des largeurs allant jusqu'à 3m		
Longueur	Pour des largeurs allant jusqu'à 12m, on peut utiliser par exemple une dragline			
	Efficacité du matériel	Selon le matériel disponible pour l'exploitation du site, différentes largeurs sont préférables		
Orientation	Siccité Pentes	Si la siccité est faible et le fond des tranchées n'est pas plat, les tranchées doivent être discontinues ou supportées par des digues		
	Disponibilité en surface Pentes	Les tranchées doivent être positionnées préférentiellement en parallèle Pour des siccités faibles, chaque tranchée devrait être parallèle aux contours topographiques		
Épaisseur de boues	Largeur Méthode de couverture	Largeur de tranchée 60 à 90cm	Méthode de couverture Véhicules de travaux publics	Distance minimale à la surface 30 à 60cm
		>90cm	Véhicules de travaux publics	90cm
		>3m	Véhicules spécialisés dans les boues	1,2m

³⁴C'est le paramètre le plus difficile à évaluer : il doit être aussi petit que possible pour optimiser l'espace mais suffisamment grand pour soutenir et permettre le passage de camions. Dans tous les cas, le test de tranchées en grandeur nature sur site est indispensable.

Épaisseur de la couverture	Largeur Méthode de couverture	Largeur de tranchée	Méthode de couverture	Épaisseur de couverture
		60 à 90cm	Véhicules de travaux publics	60 à 90cm
		>90cm	Véhicules de travaux publics	90cm à 1,2m
		>3m	Véhicules spécialisés dans les boues	1,2m à 1,5m

Étant donné la grande variété de boues et de conditions sur site, les chiffres donnés dans ces tableaux ne doivent jamais être pris tels quels et les paramètres de dimensionnement doivent être choisis après mure réflexion et testés. Il est notamment important de tester différentes configuration des murs latéraux pour les tranchées comme présenté dans la figure ci-dessous :

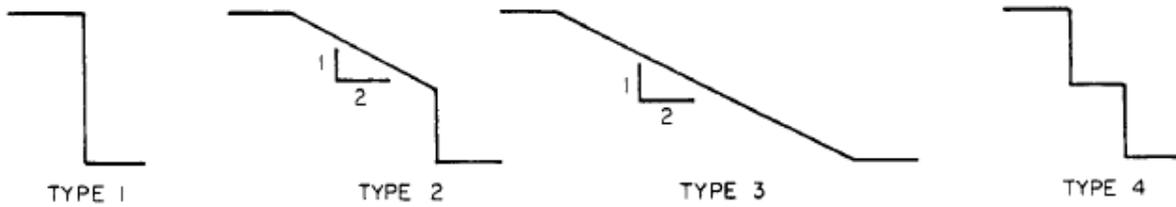


Figure 1. Types de murs latéraux pour les tranchées

1.2.1.2. Modes d'exploitation

Les figures suivantes illustrent les modes d'exploitation les plus courants pour des tranchées étroites et les tranchées larges :

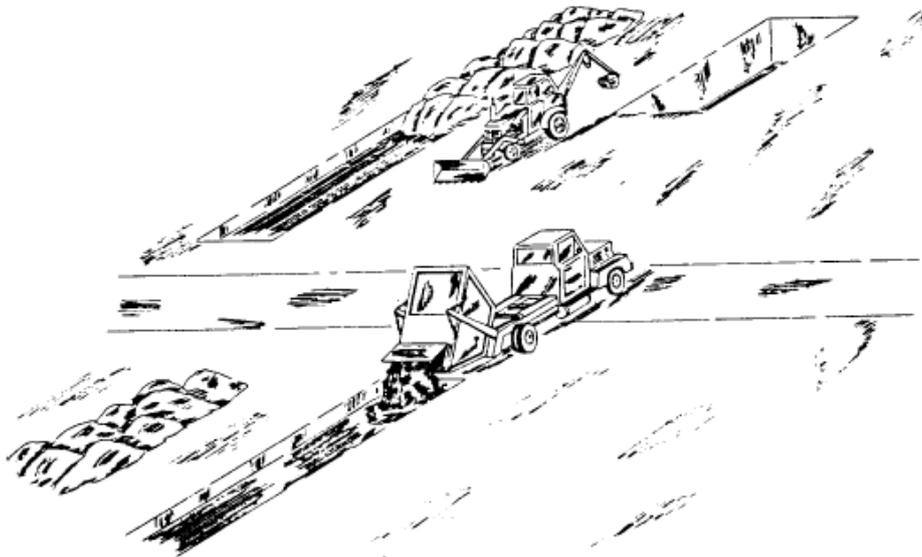


Figure 2. Exploitation de tranchées étroites (les tranchées étroites sont généralement construites au fur et à mesure)

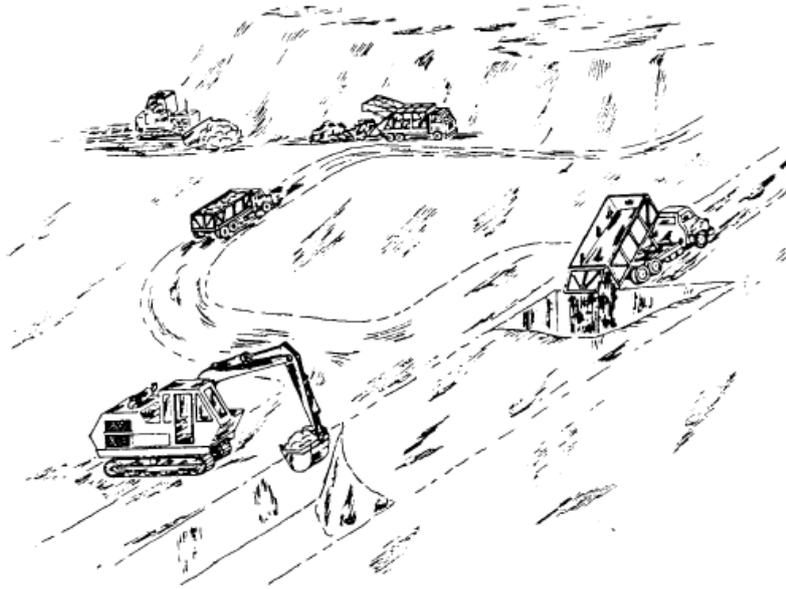


Figure 3. Exploitation de tranchées larges

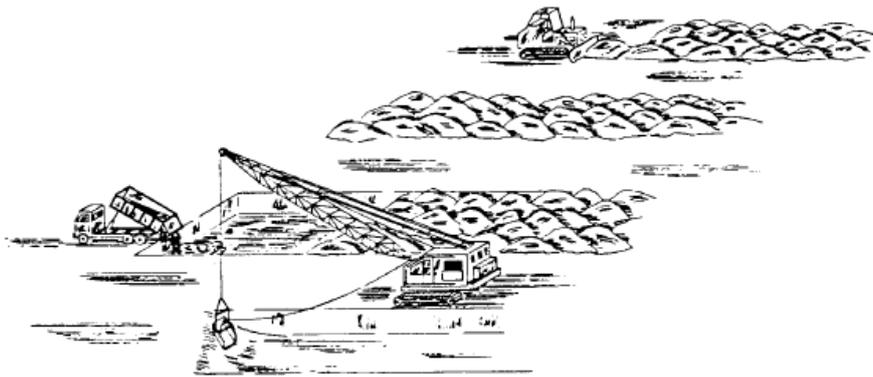


Figure 4. Exploitation de tranchées larges à l'aide de draglines

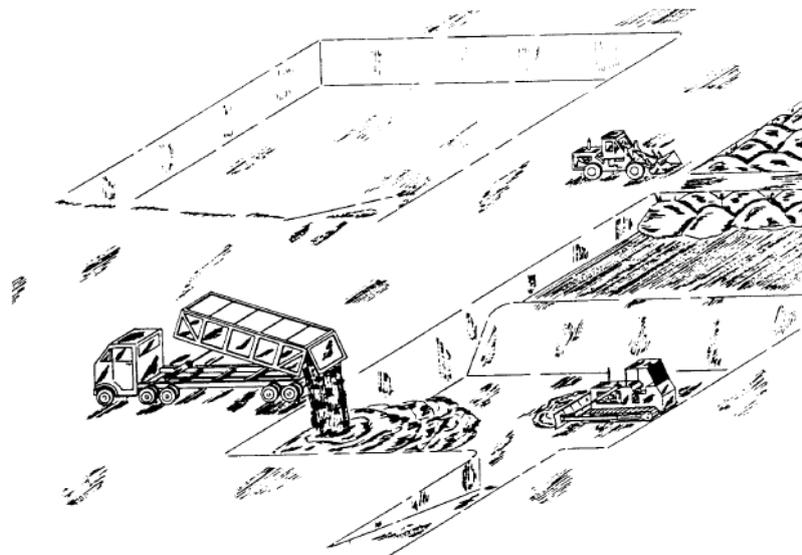


Figure 5. Exploitation de tranchées larges avec des digues intérieures

Les tranchées étroites consomment beaucoup d'espace et nécessite la mise en place de nombreuses routes d'accès. Les tranchées larges peuvent nécessiter la construction de route d'accès des deux côté de la tranchée. Les tranchées larges peuvent nécessiter la construction de digues intermédiaires comme sur l'image ci-dessus.

Il est recommandé que les tranchées soient préparées au minimum une semaine à l'avance par rapport aux besoins de mise en décharge.

Une zone de déversement des boues doit être aménagée en bordure des tranchées pour permettre le déversement direct des boues. Cette zone doit être maintenue propre de toutes boues et remise à niveau de manière périodique.

Les boues doivent être réparties uniformément dans la tranchée et les tranchées ne doivent pas être trop remplies pour éviter que les boues ne débordent lors de la pose de la couverture finale de la tranchée (on peut par exemple placer des marqueurs sur les murs latéraux des tranchées). Une fois ce niveau atteint, le matériau de couverture est appliqué (provenant soit des terres stockées suite au creusement de la tranchée, soit des terres provenant du creusement d'une nouvelle tranchée). Suivant la siccité des boues, on utilisera différent type d'équipement pour réaliser cette couverture.

La première couche de matériaux de couverture doit être mise en place avec précaution pour éviter tout débordement des boues.

1.2.2. Zones de confinements

Comme il a été développé plus haut, on distingue trois types de zones de confinement :

- les zones de confinement par tas ;
- les zones de confinement par couches ;
- les casiers ou enceintes de confinement endiguées.

1.2.2.1. Paramètres de dimensionnement

Le tableau suivant donne les principaux paramètres de dimensionnement des zones de confinements et les considérations à prendre en compte dans leur dimensionnement.

Tableau 9. Paramètres de dimensionnement des zones de confinement

Paramètres de dimensionnement	Considérations		
Ratio de mélange	Méthode	Siccité	Ratio de mélange
	Confinement par tas	20-28%	2 terres : 1 boues
		28-32%	1 terres : 1 boues
		>32%	0,5 terres : 1 boues
	Confinement par couches	15-20%	1 terres : 1 boues
		20-28%	0,5 terres : 1 boues
		28-32%	0,25 terres : 1 boues
		>32%	Non requis
	Casiers	20-28%	0,5 terres : 1 boues
		28-32%	0,25 terres : 1 boues
		>32%	Non requis
Procédure de mise en place de la couverture	Méthode	Siccité	Procédure d'application de la couverture
	Confinement par tas	>20%	Véhicules spécialisés dans les boues
	Confinement par couches	>15%	Véhicules spécialisés dans les boues
	Casiers	20-28%	Véhicules de Travaux Publics
		>28%	Véhicules spécialisés dans les boues
Largeur de casier (pour les casiers)	Procédure d'application de la couverture	Équipement utilisé	Largeur
	Véhicules spécialisés dans les boues	Dragline	<12m
	Véhicules de Travaux Publics	Bulldozer	Non limitatif
Épaisseur de chaque dépôt/couche	Méthode	Siccité	Épaisseur de chaque dépôt/couche
	Confinement par tas	>20%	1,8m
	Confinement par couches	15-20%	30cm
		>20%	60 à 90cm
	Casiers	20-28%	1,2m à 1,8m
		>28%	1,8m à 3m
Épaisseur de la couche de couverture intermédiaire	Méthode	Procédure d'application de la couverture	Épaisseur de la couche de couverture intermédiaire
	Confinement par tas	Véhicules spécialisés dans les boues	90cm
	Confinement par couches	Véhicules spécialisés dans les boues	15 à 30cm
	Casiers	Véhicules de Travaux Publics	30 à 60cm
		Véhicules spécialisés dans les boues	60 à 90cm

Paramètres de dimensionnement		Considérations	
Nombre de dépôt/couche	Méthode	Siccité	Profondeur de chaque dépôt/couche
	Confinement par tas	20-28%	1 maximum
		>28%	3 maximum
	Confinement par couches	>15%	Généralement entre 1 et 3
	Casiers	>20%	Généralement entre 1 et 3
Épaisseur totale de confinement (pour le confinement par casier)	Procédure d'application de la couverture	Épaisseur totale de l'ensemble des couches/dépôts	
	Véhicules spécialisés dans les boues	Pas plus que 1,2m en dessous du haut des digues	
	Véhicules de Travaux Publics	Pas plus que 90cm en dessous du haut des digues	
Épaisseur de la couverture finale	Méthode	Procédure d'application de la couverture	Épaisseur de la couche de couverture intermédiaire
	Confinement par tas	Véhicules spécialisés dans les boues	30cm
	Confinement par couches	Véhicules spécialisés dans les boues	30cm
	Casiers	Véhicules de Travaux Publics	90cm à 1,2m 1,2m à 1,5m
		Véhicules spécialisés dans les boues	

Étant donné la grande variété de boues et de conditions sur site, les chiffres donnés dans ces tableaux ne doivent jamais être pris tels quels et les paramètres de dimensionnement doivent être choisis après mure réflexion et testés.

L'utilisation de sable fin comme terres de mélange permet d'absorber facilement l'excès d'humidité des boues.

Pour les couvertures intermédiaires du confinement par casier il est intéressant d'utiliser un massif drainant très perméable qui agit alors comme un système de collecte de lixiviats produits par l'humidité des boues qui seront placées au-dessus.

1.2.2.2. Modes d'exploitation

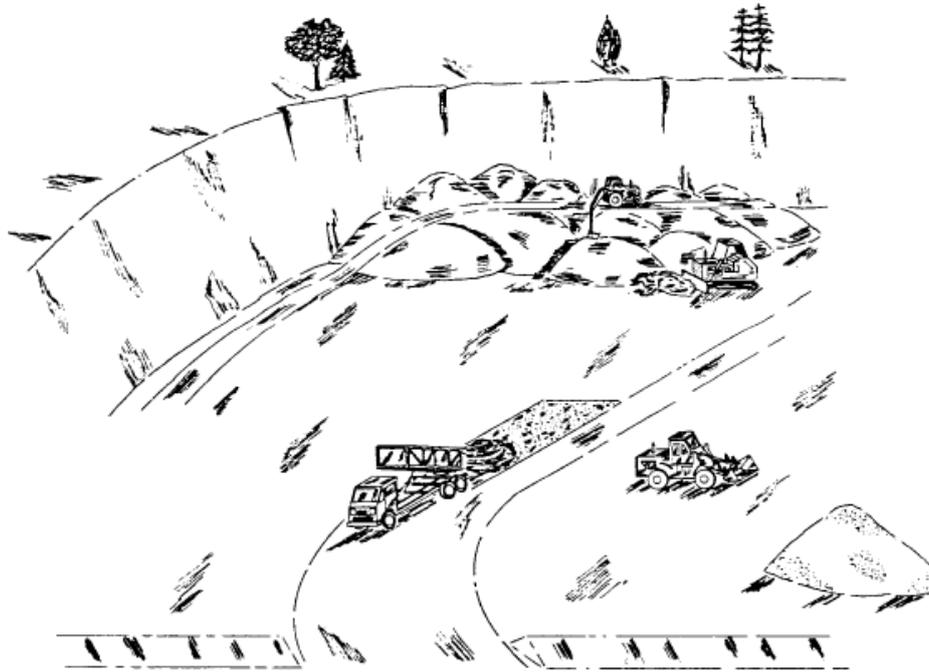


Figure 6. Exploitation de zones de Confinement par tas

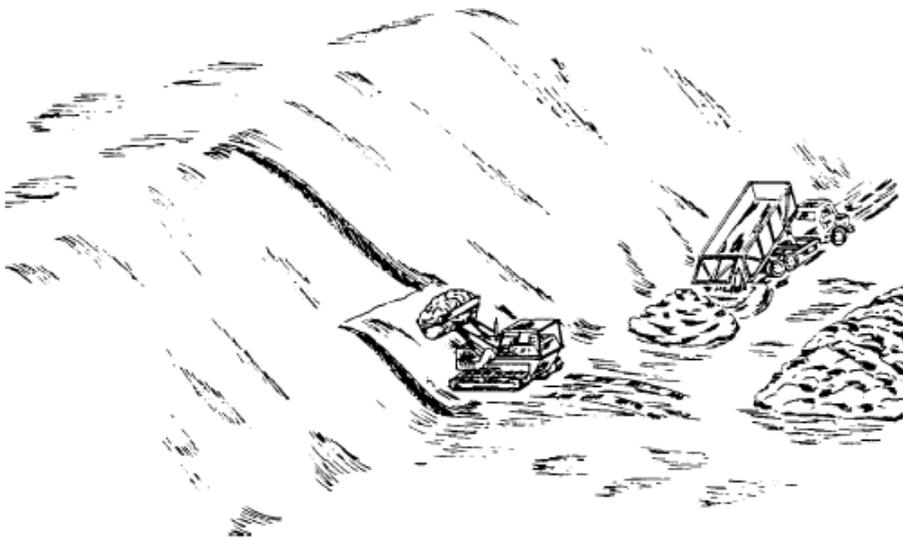


Figure 7. Exploitation de zones de Confinement par couches

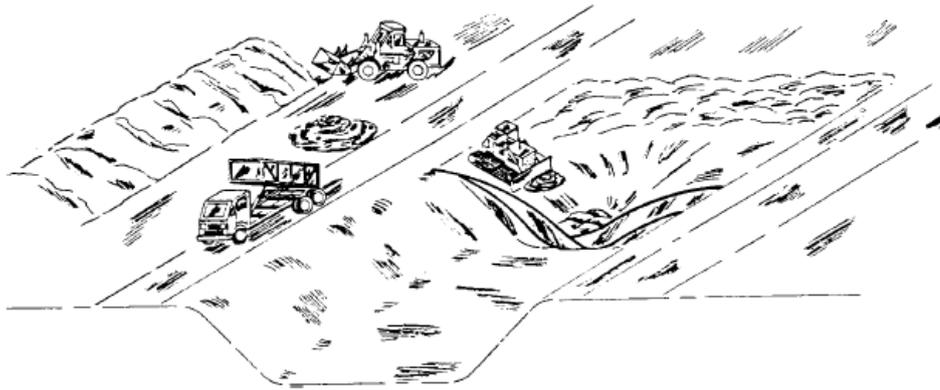


Figure 8. Exploitation de zones de confinement dans des tranchées

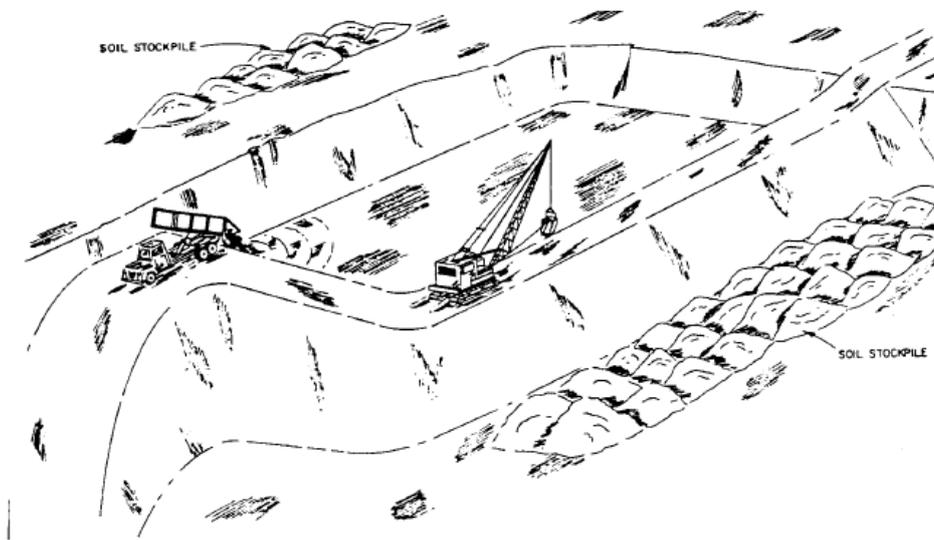


Figure 9. Exploitation de zones de casiers

Les boues sont déversées soit directement dans la zone de confinement, soit dans la zone de mélange avec les agents stabilisants. La zone de déversement doit être maintenue propre et relativement plate pour permettre le passage des camions.

Les véhicules de transport ne doivent pas rouler au-dessus des zones de confinement remplies. Dans le cas du confinement par tas, les boues sont mise en place par étage successifs, chaque étage étant couvert d'une couche de terres suffisante pour permettre le passage des équipements d'exploitation du site.

1.2.3. Fond de casier

Dans le cas de tranchées de faible largeur, l'utilisation d'un géotextile est impossible. Cependant pour les autres configurations l'emploi d'un géotextile est envisageable et recommandé.

On utilise principalement deux types de géotextiles :

- en simple couche consistant d'un géotextile et d'un système de collecte du lixiviat ;

- en double couche consistant en deux couches chacune formées d'un géotextile auquel est superposé un système de collecte.

Dans le cas de boues activées, on recommande d'utiliser comme couche passive de protection des terres dont la conductivité hydraulique est inférieure à 1×10^{-7} cm/sec une fois compacté.

1.2.4. Digue et stabilité des talus

Cette partie s'applique au cas des zones de s et des tranchées larges avec digues intérieures.

Des défauts dans les digues peuvent causer des dommages important sur le géotextile et provoquer des déversements non souhaités. Ainsi il est important de les concevoir avec soins en s'assurant qu'elles sont suffisamment stables pour soutenir la charge et les conditions hydrauliques auxquelles les digues seront soumises durant : la construction, l'exploitation et la post-exploitation.

Les digues et les talus auront des pentes comprises entre 2 :1 et 3 :1.

Des études détaillées sont nécessaires pour déterminer la stabilité des pentes.

1.2.5. Stabilisation biologique et inhibition de l'activité microbienne

Les boues déshydratées et stabilisées contiennent toujours des agents pathogènes qui doivent être pris en compte. Le traitement à la chaux permet d'augmenter le pH des boues jusqu'à pH 12 mais l'effet d'inactivation des agents pathogènes n'est que temporaire. (EEA 1997)

1.2.6. Collecte des lixiviats

Il est recommandé de poursuivre les activités de vérification régulière et d'entretien des systèmes de collecte des lixiviats au minimum trois ans après le dernier dépôt de boues et que le lixiviats soit collecté régulièrement.

Le système de collecte des lixiviats doit comporter :

- une base de faible perméabilité qui est soit une couche de terre, soit une couche de géo synthétique/géotextile ;
- une couche de drainage à forte perméabilité constituée soit de matériaux granulaires naturels (sable ou gravier) ou d'un matériau synthétique drainant ;
- des conduites perforées de collecte des lixiviats à l'intérieur de la couche de drainage à forte perméabilité pour collecter le lixiviats et le transporter rapidement ;
- un filtre de protection entourant les conduites, si nécessaire, pour empêcher un colmatage des conduites et des perforations ;
- un puisard ou des puisards de collecte des lixiviats où le lixiviat peut être récolté ;

- une couche de protection au-dessus de la couche de forte perméabilité qui prévient son colmatage ;
- une couche finale de protection servant de surface de roulement pour le trafic et l'exploitation.

Tous ses composants doivent être conçus pour supporter leur propre poids, le poids des boues, des couvertures intermédiaires, des couvertures finales et des équipements d'exploitation. Une attention particulière doit être donnée sur cet aspect à la couche drainante et aux conduites.

La pente du système de collecte de lixiviats doit être de 2% pour permettre une collecte efficace des lixiviats autant pendant la période d'exploitation que pendant la période de post gestion.

Les pertes en eau des boues dépend de nombreux facteurs mais restent faibles dans le cas de boue déshydratées et chaulées. Cette caractéristique se vérifie au niveau de la STEP de Nador qui stocke des boues depuis plusieurs mois sans avoir constaté d'importants écoulements de lixiviats.

Une autre source de lixiviats résulte du contact entre les eaux pluviales et les boues. Cette quantité dépend du processus d'exploitation.

Les tranchées de stockage permettent de minimiser facilement cette production de lixiviats par une couverture qui suit les déversements de quelques jours. Il s'agit de la technique la moins génératrice de lixiviats et on doit s'attendre à ne pas dépasser les 50l de lixiviats par tonne de boues brutes.

Si les boues sont déshydratées à plus de 30% de MS, la production de lixiviats est uniquement générée par le contact entre les boues et les eaux pluviales.

1.2.7. Gestion des eaux de surface

Selon les bonnes règles de gestion des décharges, tous les drainages en amonts du site doivent en être déviés. Les zones de travail dans la mono-décharge doivent avoir une pente comprise entre 2% (pour éviter la formation de retenues d'eau) et 5% (pour réduire les vitesses d'écoulement et minimiser l'érosion). La végétation peut être utilisée pour réduire les vitesses d'écoulement. Des bassins de décantation seront a priori également nécessaires pour décanter les solides contenus dans les eaux de surface du site. (EPA 1988)

1.2.8. Biogaz

La dégradation de la matière organique présente dans les boues produit du méthane et d'autres gaz comme le sulfure d'hydrogène. Un système de collecte des gaz est donc nécessaire, cependant, la conversion du méthane en énergie n'est souvent pas économiquement rentable.

1.2.9. Réhabilitation et post gestion

1.2.9.1. Couverture finale

Le système de couverture finale doit permettre de :

- minimiser l'infiltration ou les précipitations dans les boues ;
- favoriser un bon drainage en surface ;
- résister à l'érosion ;
- restreindre les déplacements gazeux et/ou améliorer sa valorisation ;
- isoler les boues des vecteurs de maladies ;
- améliorer l'esthétique ;
- minimiser la maintenance à long-terme.

Il est important de prendre en considération l'impact de tassements excessifs et des affaissements causés par la dégradation, la déshydratation des boues qui peuvent contribuer à :

- la formation de retenues d'eau en surface ;
- une rupture du système de collecte des gaz ;
- une fracture de la couche d'infiltration ;
- une rupture des géomembranes.

Le tassement peut se produire dès la pose des boues et jusqu'à plusieurs années après leur pose. Ces tassements peuvent être contrôlés via : les caractéristiques de la boue apportée (siccité, contenu en composés volatiles, taille des particules et configuration), les méthodes de mise en décharge et les caractéristiques des agents stabilisateurs. Plus la siccité est forte, moins on peut espérer avoir de tassements.

Dans les tranchées, les boues peuvent se stratifier en une couche solide et une couche liquide. Dans ce cas, la partie solide se tasse rapidement. Par ailleurs, les mono-décharges sont plus sujettes aux tassements que les décharges mixtes.

1.2.9.2. Post gestion

Un programme de maintenance régulière est nécessaire pour maintenir le site en bon état durant la post gestion. Des inspections régulières doivent être réalisées et documentées. Parmi les opérations potentiellement nécessaires durant la phase de post-gestion, on cite :

- le nivellement de la couche d'érosion de la couche de couverture ;
- la maintenance et la surveillance de la végétation de couverture ;
- la maintenance et la surveillance du système de collecte des lixiviats pendant au moins les trois années suivant le dépôt des dernières boues. Des mesures sur les lixiviats permettent de décider si la maintenance et la surveillance doivent être poursuivies ;
- surveillance des gaz et du système de collecte des gaz ;
- l'accès au site et sa sécurité.

ANNEXE C : DETAIL DE CALCUL DES COUTS ET BILAN PREVISIONNELS DES OPTIONS DE MISE EN DECHARGE DES BOUES DES STEP_s D'AL HOCEIMA ET DE NADOR

1. Bilan prévisionnel d'investissement pour l'aménagement de tranchées en site propre pour la STEP de Al Hoceima, HTVA

Hypothèses de calcul		
Durée de vie du site	15	ans
Surface du site	10,3	ha
Tonnage annuel moyen envisagé sur les 10 premières années à partir de 2017	7 300	T/an
Densité des déchets mis en place	1	T/m ³
Volume de déchets annuel moyen envisagé sur les 10 premières années à partir de 2017	7 300	m ³ /an
Nbr de tranchées à construire par an	2	
Taux d'imprévus (% sur l'investissement total)	20%	
Profondeur des tranchées	4	
Largeur des tranchées	15	
Longueur des tranchées	90	
Espacement entre les tranchées	9	
Superficie annuelle nécessaire	6 840	m ²
Durée d'amortissement des infrastructures du site	15	ans

Hypothèses de calcul pour le bilan prévisionnel d'investissement et d'exploitation de tranchées en site propre pour la STEP d'Al Hoceima

Investissements		Unité	Prix unitaire	quantités	durée d'amortissement	Investissement total		Amortissement annuel sur valeur totale		
			Dhs			Dhs	Dhs/an			
Site		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot			
	Achat du terrain	m ²	0	102 600	15	0	0			
	Abri pour le personnel, bureau, logement du gardien, local d'entretien	m ²	4 000	60	15	240 000	16 000			
	Pont à pesées	forfait	300 000	1	15	300 000	20 000			
	Clôture	ml	300	400	15	120 000	8 000			
	Barrière	forfait	15 000	1	15	15 000	1 000			
	Pistes internes	ml	300	80	15	24 000	1 600			
	Eclairage	forfait	10 000	4	15	40 000	2 667			
	Station météo	forfait	50 000	1	15	50 000	3 333			
	Alimentation électrique photovoltaïque	forfait	350 000	1	15	350 000	23 333			
	Citerne à mazout équipée d'une pompe à carburant (capacité de 4.000 litres)	forfait	20 000	1	15	20 000	1 333			
	Débitmètres et vannes bassins lixiviats				forfait	10 000	1	15	10 000	667
Gestion eaux pluviales					U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot

	Terrassement du bassin de stockage des eaux pluviales	m ³	25	900	15	22 500	1 500
	Stockage des terres excédentaires bassin	m ³	5	900	15	4 500	300
	Etanchéification bassin eaux pluviale	m ²	100	810	15	81 000	5 400
	Fossés périphériques eaux pluviales site (1m ³ /mcr)	m/courant	25	400	15	10 000	667
	Passage véhicules	m courant	600	6	15	3 600	240
	Stockage des terres excédentaires fossés	m ³	5	400	15	2 000	133
Gestion des lixiviats		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Terrassement bassin stockage lixiviats	m ³	25	900	15	22 500	1 500
	Stockage des terres excédentaires bassin	m ³	5	900	15	4 500	300
	Terrassement des digues de protection	m ³	35	360	15	12 600	840
	Terres à faible perméabilité	m ³	100	300	15	30 000	2 000
	Géomembrane bassin stockage lixiviats	m ²	50	810	15	40 500	2 700
	Argile compacté sur 50cm	m ³	200	300	15	60 000	4 000
Matériel roulant		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Dragline	forfait	3 500 000	1	15	3 500 000	233 333
Imprévus		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	20%				15	992 540	66 169
Etudes		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Etudes de conception et dossiers d'appel d'offre (5% de l'investissement)	forfait	73 135	1	15	73 135	4 876
	Suivi de chantier (3,5 % de l'investissement)	forfait	51 195	1	15	51 195	3 413
Total général						6 079 570	405 305

Bilan prévisionnel d'investissement pour les tranchées en site propre pour la STEP de Al Hoceima

Synthèse des amortissements	
	Dhs/an
Equipement du site	77 933
Gestion des eaux pluviales	8 240
Gestion du lixiviat	11 340
Matériel roulant	233 333
Etudes et suivi de chantier	8 289
Imprévus	66 169

Synthèse des amortissements pour les tranchées en site propre pour la STEP de Al Hoceima

		Frais de fonctionnement fixes				Frais de fonctionnement variables		
Charges d'exploitation HT		Total	Quantités	Prix unitaire	Prix total fixe	Quantités	Prix unitaire	Prix total variable
A. Approvisionnements et marchandises		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	Terrassement fond de tranchée (déblais) - m ³	324 000				10 800	30	324 000
	Argile compactée - m ³	199 800				4 995	40	199 800
	Fourniture et pose géotextile anti-contaminant - m ²	199 800				4 995	40	199 800
	Fourniture et pose géotextile anti-poinçonnement - m ²	274 725				4 995	55	274 725
	Fourniture et pose géomembrane - m ²	337 500				1 350	250	337 500
	Fourniture et pose de la couche drainante (50cm) - m ³	109 350				3 645	30	109 350
	Fourniture et pose de géotextile au dessus de la couche drainante - m ²	63 000				180	350	63 000
	Fourniture et pose des drains - ml	20 000				4	5 000	20 000
	Chambres de visite pour drains - U	60 000				150	400	60 000
	Collecteur de lixiviat vers bassin de lixiviat - ml	182 250				3 645	50	182 250
	couverture après remplissage - 1 m de terres - m ³	40 500				1 350	30	40 500
	électricité pour le fonctionnement du site	35 040	17 520	2	35 040			
	carburant de la dragline	350 400				43 800	8	350 400
B. services et biens divers		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	expertises	50 000	2	25 000	50 000			
	honoraires	50 000	2	25 000	50 000			
	assurances	30 000	1	30 000	30 000			
	entretiens de la dragline	525 000	1	525 000	525 000			
	vérification pont à pesées	10 000	1	10 000	10 000			

C. Rémunérations, charges sociales et pensions		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	Préposé à la pesée (ttc)	37 500	1,25	30 000	37 500			
	Conducteurs d'engin (ttc)	37 500	1,25	30 000	37 500			
	Chef d'exploitation	55 000	1,00	55 000	55 000			
	Cadre supérieur ½ temps	50 000	0,50	100 000	50 000			
	agent de nettoyage	50 000	2,00	25 000	50 000			
D. provisions, gros entretiens et réparations		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	piste d'accès au site	10 000	1	10 000	10 000			
	bâtiments administratifs et techniques	5 000	1	5 000	5 000			
	clôture	5 000	1	5 000	5 000			
	barrière	500	1	500	500			
	voirie sur le site	10 000	1	10 000	10 000			
	éclairage	2 000	1	2 000	2 000			
	fossés périphériques eaux pluviales site	3 000	1	3 000	3 000			
	équipements électromécaniques bassin dépollution lixiviats	10 000	1	10 000	10 000			
	pont à pesées	10 000	1	10 000	10 000			
	Pompes à lixiviats	2 500	1	2 500	2 500			
	Provision pour post-gestion	0	0	0	0	0	40 000	0
TOTAL CHARGES		3 149 365			988 040			2 161 325

Bilan prévisionnel d'exploitation pour les tranchées en site propre pour la STEP d'Al Hoceima

	Eclatement des coûts d'amortissement et de fonctionnement		
	Total	Charges fixes	Charges variables
Amortissements	405 305	405 305	
Approvisionnements et marchandises	2 196 365	35 040	2 161 325
Services et biens divers	665 000	665 000	0
Rémunérations, charges sociales et pensions	230 000	230 000	0
Provisions, gros entretiens et réparations	58 000	58 000	0
Total amortissement et fonctionnement	3 554 670	1 393 345	2 161 325
Répartition des deux types de charges par rapport au coût total		39%	61%
Coût à la tonne amortissements compris		487	
Coût à la tonne hors amortissements		431	

Estimation du coût à la tonne hors taxe pour les tranchées en site propre pour la STEP de Al Hoceima

2. Bilan prévisionnel d'investissement pour l'aménagement de tranchées en site propre pour la STEP de Nador, HTVA

Hypothèses de calcul		
Durée de vie du site	15	ans
Surface du site	24,3	ha
Tonnage annuel moyen envisagé sur les 10 premières années à partir de 2017	21 900	T/an
Densité des déchets mis en place	1	T/m ³
Volume de déchets annuel moyen envisagé sur les 10 premières années à partir de 2017	21 900	m ³ /an
Nbr de tranchées à construire par an	3	
Taux d'imprévus (% sur l'investissement total)	20%	
Profondeur des tranchées	4	m
Largeur des tranchées	15	m
Longueur des tranchées	170	m
Espacement entre les tranchées	9	m
Superficie annuelle nécessaire	16 200	m ²
Durée d'amortissement des infrastructures du site	15	ans

Hypothèses de calcul pour le bilan prévisionnel d'investissement et d'exploitation de tranchées en site propre pour la STEP de Nador

Investissements	Unité	Prix unitaire	quantités	durée d'amortissement	Investissement total	Amortissement annuel sur valeur totale
		Dhs		années	Dhs	Dhs/an
Site	U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
Achat du terrain	m ²	0	243 000	15	0	0
Abri pour le personnel, bureau, logement du gardien, local d'entretien	m ²	4 000	60	15	240 000	16 000
Pont à pesées	forfait	300 000	1	15	300 000	20 000
Clôture	ml	300	2 560	15	768 000	51 200
Barrière	forfait	15 000	1	15	15 000	1 000
Pistes internes	ml	300	1 080	15	324 000	21 600
Eclairage	forfait	10 000	60	15	600 000	40 000
Station météo	forfait	50 000	1	15	50 000	3 333
Alimentation électrique photovoltaïque	forfait	350 000	1	15	350 000	23 333
Citerne à mazout équipée d'une pompe à carburant (capacité de 4.000 litres)	forfait	20 000	1	15	20 000	1 333
Débitmètres et vannes bassins lixiviats	forfait	10 000	1	15	10 000	667
Gestion eaux pluviales	U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
Terrassement du bassin de stockage des eaux pluviales	m ³	25	13 500	15	337 500	22 500
Stockage des terres excédentaires bassin	m ³	5	13 500	15	67 500	4 500
Etanchéification bassin eaux pluviale	m ²	100	12 150	15	1 215 000	81 000

	Fossés périphériques eaux pluviales site (1m³/mcrt)	m/courant	25	2 560	15	64 000	4 267
	Passage véhicules	m courant	600	45	15	27 000	1 800
	Stockage des terres excédentaires fossés	m³	5	6 000	15	30 000	2 000
Gestion des lixiviats		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Terrassement bassin stockage lixiviats	m³	25	2 000	15	50 000	3 333
	Stockage des terres excédentaires bassin	m³	5	2 000	15	10 000	667
	Terrassement des digues de protection	m³	35	500	15	17 500	1 167
	Terres à faible perméabilité	m³	100	0	15	0	0
	Géomembrane bassin stockage lixiviats	m²	50	1 000	15	50 000	3 333
	Argile compacté sur 50cm	m³	200	1 000	15	200 000	13 333
Matériel roulant		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Dragline	forfait	3 500 000	1	10	3 500 000	350 000
Imprévus		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	20%				15	1 649 100	109 940
Etudes		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Etudes de conception et dossiers d'appel d'offre (5% de l'investissement)	forfait	237 275	1	15	237 275	15 818
	Suivi de chantier (3,5 % de l'investissement)	forfait	166 093	1	15	166 093	11 073
Total général						10 297 968	803 198

Bilan prévisionnel d'investissement pour les tranchées en site propre pour la STEP de Nador

Synthèse des amortissements	
	Dhs/an
Equipement du site	178 467
Gestion des eaux pluviales	116 067
Gestion du lixiviat	21 833
Matériel roulant	350 000
Etudes et suivi de chantier	26 891
Imprévus	109 940
Total	803 198

Synthèse des amortissements pour les tranchées en site propre pour la STEP de Nador

		Frais de fonctionnement fixes				Frais de fonctionnement variables		
Charges d'exploitation HT		Total	Quantités	Prix unitaire	Prix total fixe	Quantités	Prix unitaire	Prix total variable
A. Approvisionnements et marchandises		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	Terrassement fond de tranchée (déblais) - m³	918 000				30 600	30	918 000
	Argile compactée - m³	255 000				1 275	200	255 000
	Fourniture et pose géotextile anti-contaminant - m²	566 100				14 153	40	566 100
	Fourniture et pose géotextile anti-poinçonnement - m²	566 100				14 153	40	566 100
	Fourniture et pose géomembrane - m²	778 388				14 153	55	778 388
	Fourniture et pose de la couche drainante (50cm) - m³	956 250				3 825	250	956 250
	Fourniture et pose de géotextile au dessus de la couche drainante - m²	309 825				10 328	30	309 825
	Fourniture et pose des drains - ml	178 500				510	350	178 500
	Chambres de visite pour drains - U	30 000				6	5 000	30 000
	Collecteur de lixiviat vers bassin de lixiviat - ml	120 000				300	400	120 000
	couverture après remplissage (un géotextile) m²	516 375				10 328	50	516 375
	couverture après remplissage - 1 m de terres - m³	76 500				2 550	30	76 500
	électricité pour le fonctionnement du site	35 040	17 520	2	35 040			
	carburant de la dragline	1 401 600				175 200	8	1 401 600
B. services et biens divers		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	expertises	50 000	2	25 000	50 000			
	honoraires	50 000	2	25 000	50 000			
	assurances	30 000	1	30 000	30 000			
	entretiens de la dragline	525 000	1	525 000	525 000			
	vérification pont à pesées	10 000	1	10 000	10 000			
C. Rémunérations, charges sociales et pensions		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	Préposé à la pesée (ttc)	37 500	1,25	30 000	37 500			
	Conducteurs d'engin (ttc)	37 500	1,25	30 000	37 500			

	Chef d'exploitation	55 000	1,00	55 000	55 000			
	Cadre supérieur ½ temps	50 000	0,50	100 000	50 000			
	agent de nettoyage	50 000	2,00	25 000	50 000			
D. provisions, gros entretiens et réparations		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	piste d'accès au site	10 000	1	10 000	10 000			
	bâtiments administratifs et techniques	5 000	1	5 000	5 000			
	clôture	5 000	1	5 000	5 000			
	barrière	500	1	500	500			
	voirie sur le site	10 000	1	10 000	10 000			
	éclairage	2 000	1	2 000	2 000			
	fossés périphériques eaux pluviales site	3 000	1	3 000	3 000			
	équipements électromécaniques bassin dépollution lixiviats	10 000	1	10 000	10 000			
	pont à pesées	10 000	1	10 000	10 000			
	Pompes à lixiviats	2 500	1	2 500	2 500			
	Provision pour post-gestion	0	0	0	0	0	40 000	0
TOTAL CHARGES		7 660 678			988 040			6 672 638

Bilan prévisionnel d'exploitation pour les tranchées en site propre pour la STEP de Nador

	Eclatement des coûts d'amortissement et de fonctionnement		
	Total	Charges fixes	Charges variables
Amortissements	803 198	803 198	
Approvisionnements et marchandises	6 707 678	35 040	6 672 638
Services et biens divers	665 000	665 000	0
Rémunérations, charges sociales et pensions	230 000	230 000	0
Provisions, gros entretiens et réparations	58 000	58 000	0
Total amortissement et fonctionnement	8 463 875	1 791 238	6 672 638
Répartition des deux types de charges par rapport au coût total		21%	79%
Coût à la tonne amortissements compris		386	
Coût à la tonne hors amortissements		350	

Estimation du coût à la tonne hors taxe pour les tranchées en site propre pour la STEP de Nador

3. Bilan prévisionnel d'investissement pour l'aménagement de tranchées sur le site de la décharge Nador pour la STEP de Nador, HTVA

Hypothèses de calcul		
Durée de vie du site	3	ans
Surface du site	5	ha
Tonnage annuel moyen envisagé sur les 10 premières années à partir de 2017	21 900	T/an
Densité des déchets mis en place	1	T/m ³
Volume de déchets annuel moyen envisagé sur les 10 premières années à partir de 2017	21 900	m ³ /an
Nbr de tranchées à construire par an	3	
Taux d'imprévus (% sur l'investissement total)	20%	
Profondeur des tranchées	4	m
Largeur des tranchées	15	m
Longueur des tranchées	170	m
Espacement entre les tranchées	9	m
Superficie annuelle nécessaire	16 200	m ²
Durée d'amortissement des infrastructures du site	3	ans

Hypothèses de calcul pour le bilan prévisionnel d'investissement et d'exploitation de tranchées sur le site de la décharge de Nador pour la STEP de Nador

Investissements		Unité	Prix unitaire	quantités	durée d'amortissement	Investissement total	Amortissement annuel sur valeur totale
			Dhs		années	Dhs	Dhs/an
Site		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Achat du terrain	m ²	0	17 000	3	0	0
	Abri pour le personnel, bureau, logement du gardien, local d'entretien	m ²	4 000	0	3	0	0
	Pont à pesées	forfait	400 000	0	3	0	0
	Clôture	ml	300	0	3	0	0
	Barrière	forfait	15 000	0	3	0	0
	Pistes internes	ml	300	800	3	240 000	80 000
	Eclairage	forfait	10 000	4	3	40 000	13 333
	Station météo	forfait	50 000	0	3	0	0
	Alimentation électrique (ligne électrique)	ml	100	700	3	70 000	23 333
	Citerne à mazout équipée d'une pompe à carburant (capacité de 4.000 litres)	forfait	20 000	0	3	0	0
	Débitmètres et vannes bassins lixiviats	forfait	10 000	0	3	0	0
Gestion eaux pluviales		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Terrassement du bassin de stockage des eaux pluviales	m ³	25	0	3	0	0
	Stockage des terres excédentaires bassin	m ³	5	0	3	0	0
	Etanchéification bassin eaux pluviale	m ²	100	0	3	0	0
	Fossés périphériques eaux pluviales site (1m ³ /mcr)	m/courant	25	1 000	3	25 000	8 333
	Passage véhicules	m courant	600	12	3	7 200	2 400

	Stockage des terres excédentaires fossés	m³	5	1 000	3	5 000	1 667
Gestion des lixiviats		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Terrassement bassin stockage lixiviats	m³	25	0	3	0	0
	Stockage des terres excédentaires bassin	m³	5	0	3	0	0
	Terrassement des digues de protection	m³	35	0	3	0	0
	Argile compactée	m³	200	0	3	0	0
	Géomembrane bassin stockage lixiviats	m²	50	0	3	0	0
Matériel roulant		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Dragline	forfait	3 500 000	1	10	3 500 000	350 000
Imprévus		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	20%				3	777 440	235 278
Etudes		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Etudes de conception et dossiers d'appel d'offre (5% de l'investissement)	forfait	19 360	1	3	19 360	6 453
	Suivi de chantier (3,5 % de l'investissement)	forfait	13 552	1	3	13 552	4 517
Total général						4 697 552	725 315

Bilan prévisionnel d'investissement pour les tranchées sur la décharge de Nador pour la STEP de Nador

Synthèse des amortissements	
	Dhs/an
Equipement du site	116 667
Gestion des eaux pluviales	12 400
Gestion du lixiviat	0
Matériel roulant	350 000
Etudes et suivi de chantier	10 971
Imprévus	235 278
Total	725 315

Synthèse des amortissements pour les tranchées sur la décharge de Nador pour la STEP de Nador

		Frais de fonctionnement fixes			Frais de fonctionnement variables			
		Total	Quantités	Prix unitaire	Prix total fixe	Quantités	Prix unitaire	Prix total variable
Charges d'exploitation HT								
A. Approvisionnements et marchandises		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV

	Terrassement fond de tranchée (déblais) - m ³	918 000				30 600	30	918 000
	Argile compactée - m ³	255 000				1 275	200	255 000
	Fourniture et pose géotextile anti-contaminant - m ²	566 100				14 153	40	566 100
	Fourniture et pose géotextile anti-poinçonnement - m ²	566 100				14 153	40	566 100
	Fourniture et pose géomembrane - m ²	778 388				14 153	55	778 388
	Fourniture et pose de la couche drainante (50cm) - m ³	956 250				3 825	250	956 250
	Fourniture et pose de géotextile au dessus de la couche drainante - m ²	309 825				10 328	30	309 825
	Fourniture et pose des drains - ml	178 500				510	350	178 500
	Chambres de visite pour drains - U	30 000				6	5 000	30 000
	Collecteur de lixiviat vers bassin de lixiviat - ml	120 000				300	400	120 000
	couverture après remplissage (un géotextile) m ²	516 375				10 328	50	516 375
	couverture après remplissage - 1 m de terres - m ³	76 500				2 550	30	76 500
	électricité pour le fonctionnement du site	35 040	17 520	2	35 040			
	carburant de la dragline	1 401 600				175 200	8	1 401 600
B. services et biens divers		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	expertises	50 000	2	25 000	50 000			
	honoraires	50 000	2	25 000	50 000			
	assurances	30 000	1	30 000	30 000			
	entretiens de la dragline	525 000	1	525 000	525 000			
	vérification pont à pesées	0	0	10 000	0			
C. Rémunérations, charges sociales et pensions		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	Préposé à la pesée (ttc)	0	0,00	30 000	0			
	Conducteurs d'engin (ttc)	37 500	1,25	30 000	37 500			
	Chef d'exploitation	5 500	0,10	55 000	5 500			
	Cadre supérieur	10 000	0,10	100 000	10 000			
	agent de nettoyage	25 000	1,00	25 000	25 000			
D. provisions, gros entretiens et réparations		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	piste d'accès au site	0	0	10 000	0			

	bâtiments administratifs et techniques	5 000	1	5 000	5 000			
	clôture	0	0	5 000	0			
	barrière	0	0	500	0			
	voirie sur le site	10 000	1	10 000	10 000			
	éclairage	2 000	1	2 000	2 000			
	fossés périphériques eaux pluviales site	3 000	1	3 000	3 000			
	équipements électromécaniques bassin dépollution lixiviats	10 000	1	10 000	10 000			
	pont à pesées	0	0	10 000	0			
	Pompes à lixiviats	2 500	1	2 500	2 500			
	Provision pour post-gestion	0	0	0	0	0	40 000	0
TOTAL CHARGES		7 473 178			800 540			6 672 638

Bilan prévisionnel d'exploitation pour les tranchées sur la décharge de Nador pour la STEP de Nador

	Eclatement des coûts d'amortissement et de fonctionnement		
	Total	Charges fixes	Charges variables
Amortissements	725 315	725 315	
Approvisionnements et marchandises	6707 678	35 040	6 672 638
Services et biens divers	655 000	655 000	0
Rémunérations, charges sociales et pensions	78 000	78 000	0
Provisions, gros entretiens et réparations	32 500	32 500	0
Total amortissement et fonctionnement	8 198 493	1 525 855	6 672 638
Répartition des deux types de charges par rapport au coût total		19%	81%
Coût à la tonne amortissements compris		374	
Coût à la tonne hors amortissements		341	

Estimation du coût à la tonne hors taxe pour les tranchées sur la décharge de Nador pour la STEP de Nador

4. Bilan prévisionnel d'investissement et d'exploitation d'une unité temporaire de production de terre végétale à Al Hoceima, HTVA

Hypothèses de calcul		
Durée de vie du site	15	ans
Surface du site	1	ha
Tonnage annuel moyen envisagé sur les 10 premières années à partir de 2017	7 300	T/an
Densité des déchets mis en place	1	T/m ³
Volume de déchets annuel moyen envisagé sur les 10 premières années à partir de 2017	7 300	m ³ /an
Taux d'imprévus (% sur l'investissement total)	20%	
Volume de boues à 20%MS à gérer	7 300	T
Volume de terres végétales produites	11 230	m ³
Durée d'amortissement pour les infrastructures du site	15	ans

Hypothèses de calcul pour le bilan prévisionnel d'investissement et d'exploitation d'une unité temporaire de production de terre végétale à Al Hoceima

Investissements		Unité	Prix unitaire	quantités	durée d'amortissement	Investissement total	Amortissement annuel sur valeur totale
			Dhs		années	Dhs	Dhs/an
Site		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Achat du terrain	m ²	0	9 000	15	0	0
	Abri pour le personnel, bureau, logement du gardien, local d'entretien	m ²	4 000	25	15	100 000	6 667
	Pont à pesées	forfait	300 000	0	15	0	0
	Clôture	ml	300	400	15	120 000	8 000
	Barrière	forfait	15 000	1	15	15 000	1 000
	Pistes internes	ml	300	80	15	24 000	1 600
	Eclairage	forfait	10 000	4	15	40 000	2 667
	Station météo	forfait	50 000	0	15	0	0
	Alimentation électrique photovoltaïque	forfait	350 000	1	15	350 000	23 333
	Citerne à mazout équipée d'une pompe à carburant (capacité de 4.000 litres)	forfait	20 000	1	15	20 000	1 333
	Débitmètres et vannes bassins lixiviat	forfait	10 000	1	15	10 000	667
Gestion eaux pluviales		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Terrassement du bassin de stockage des eaux pluviales	m ³	25	500	15	12 500	833
	Stockage des terres excédentaires bassin	m ³	5	500	15	2 500	167
	Etanchéification bassin eaux pluviale	m ²	100	540	15	54 000	3 600
	Fossés périphériques eaux pluviales site (1m ³ /m ²)	m/courant	25	400	15	10 000	667
	Passage véhicules	m courant	600	6	15	3 600	240
	Stockage des terres excédentaires fossés	m ³	5	400	15	2 000	133

		Frais de fonctionnement fixes				Frais de fonctionnement variables		
Charges d'exploitation HT		Total	Quantités	Prix unitaire	Prix total fixe	Quantités	Prix unitaire	Prix total variable
A. Approvisionnements et marchandises		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	électricité pour le fonctionnement du site	35 040	17 520	2	35 040			
	carburant du chargeur sur pneus	350 400				43 800	8	350 400
B. services et biens divers		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	expertises	50 000	2	25 000	50 000			
	honoraires	50 000	2	25 000	50 000			
	assurances	30 000	1	30 000	30 000			
	entretiens chargeur sur pneus	525 000	1	525 000	525 000			
	vérification pont à pesées	10 000	1	10 000	10 000			
C. Rémunérations, charges sociales et pensions		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	Préposé à la pesée (ttc)	37 500	1,25	30 000	37 500			
	Conducteurs d'engin (ttc)	37 500	1,25	30 000	37 500			
	Chef d'exploitation	0	0,00	55 000	0			
	Cadre supérieur temps partiel	25 000	0,25	100 000	25 000			
	agent de nettoyage	25 000	1,00	25 000	25 000			
D. provisions, gros entretiens et réparations		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	piste d'accès au site	10 000	1	10 000	10 000			
	bâtiments administratifs et techniques	5 000	1	5 000	5 000			
	clôture	5 000	1	5 000	5 000			
	barrière	500	1	500	500			
	voirie sur le site	10 000	1	10 000	10 000			
	éclairage	2 000	1	2 000	2 000			
	fossés périphériques eaux pluviales site	3 000	1	3 000	3 000			
	pont à pesées	10 000	1	10 000	10 000			
	Pompes à lixiviats pour arrosage	2 500	1	2 500	2 500			
	Provision pour post-gestion	0	0	0	0	0	40 000	0
TOTAL CHARGES		1 223 440			873 040			350 400

Bilan prévisionnel d'exploitation d'une unité temporaire de production de terre végétale à Al Hoceima

	Eclatement des coûts d'amortissement et de fonctionnement		
	Total	Charges fixes	Charges variables
Amortissements	678 494	678 494	
Approvisionnements et marchandises	385 440	35 040	350 400
Services et biens divers	665 000	665 000	0
Rémunérations, charges sociales et pensions	125 000	125 000	0
Provisions, gros entretiens et réparations	48 000	48 000	0
Total amortissement et fonctionnement	1 901 934	1 551 534	350 400
Répartition des deux types de charges par rapport au coût total		82%	18%
Coût à la tonne amortissements compris		261	
Coût de production de la terre végétale (hors prix achat terre minérale et boues)		169	
Coût à la tonne hors amortissements		168	

Estimation du coût à la tonne hors taxe d'une unité temporaire de production de terre végétale à Al Hoceima

5. Bilan prévisionnel d'investissement et d'exploitation d'une unité de production de terre végétale dans le site de la décharge Nador, HTVA

Hypothèses de calcul		
Durée de vie du site	15	ans
Surface du site	1	ha
Tonnage annuel	21 900	T/an
Densité des déchets mis en place	1	T/m ³
Volume de déchets annuel moyen envisagé sur les 10 premières années à partir de 2017	21 900	m ³ /an
Taux d'imprévu (% sur l'investissement total)	20%	
Volume de boues à 20%MS à gérer	21 900	m ³
Volume de terres végétales produites	33 690	m ³
Durée d'amortissement pour les infrastructures du site	15	ans

Hypothèses de calcul pour le bilan prévisionnel d'investissement et d'exploitation d'une unité temporaire de production de terre végétale dans le site de la décharge de Nador

Investissements		Unité	Prix unitaire	quantités	durée d'amortissement	Investissement total	Amortissement annuel sur valeur totale
			Dhs		années	Dhs	Dhs/an
Site		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Achat du terrain	m ²	0	17 000	15	0	0
	Abri pour le personnel, bureau, logement du gardien, local d'entretien	m ²	4 000	0	15	0	0
	Pont à pesées	forfait	300 000	0	15	0	0
	Clôture	ml	300	0	15	0	0
	Barrière	forfait	15 000	0	15	0	0
	Pistes internes	ml	300	800	15	240 000	16 000
	Eclairage	forfait	10 000	4	15	40 000	2 667
	Station météo	forfait	50 000	0	15	0	0
	Alimentation électrique (ligne électrique)	ml	100	700	15	70 000	4 667
	Citerne à mazout équipée d'une pompe à carburant (capacité de 4.000 litres)	forfait	20 000	0	15	0	0
	Débitmètres et vannes bassins lixiviats	forfait	10 000	0	15	0	0
Gestion eaux pluviales		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Terrassement du bassin de stockage des eaux pluviales	m ³	25	0	15	0	0
	Stockage des terres excédentaires bassin	m ³	5	0	15	0	0
	Etanchéification bassin eaux pluviale	m ²	100	0	15	0	0
	Fossés périphériques eaux pluviales site (1m ³ /m ²)	m/courant	25	1 000	15	25 000	1 667
	Passage véhicules	m courant	600	12	15	7 200	480
	Stockage des terres excédentaires fossés	m ³	5	1 000	15	5 000	333
Gestion des lixiviats		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Terrassement bassin stockage lixiviats	m ³	25	0	15	0	0

	Stockage des terres excédentaires bassin	m ³	5	0	15	0	0
	Terrassement des digues de protection	m ³	35	0	15	0	0
	Terres à faible perméabilité	m ³	100	0	15	0	0
	Géomembrane bassin stockage lixiviats	m ²	50	0	15	0	0
	Argile compactée sur 50cm	m ³	100	0	15	0	0
Dalle de mélange des terres		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Béton armé zone de déchargement et mélange	m ³	2 500	120	15	300 000	20 000
Matériel roulant et géotextiles de couverture des andains en maturation		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Chargeur sur pneus avec godet mélangeur	forfait	3 500 000	1	7	3 500 000	500 000
	Géotextile - m ²	m ²	50	9 000	5	450 000	90 000
Imprévus		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	20%				15	927 440	61 829
Etudes		U	PU	Q	durée am.	I tot	A tot
	Etudes de conception et dossiers d'appel d'offre (5% de l'investissement)	forfait	34 360	1	15	34 360	2 291
	Suivi de chantier (3,5 % de l'investissement)	forfait	24 052	1	15	24 052	1 603
Total général						5 623 052	701 537

Bilan prévisionnel d'investissement d'une unité temporaire de production de terre végétale dans le site de la décharge de Nador

Synthèse des amortissements	
	Dhs/an
Equipement du site	23 333
Gestion des eaux pluviales	2 480
Gestion du lixiviat	0
construction de la dalle	20 000
Matériel roulant	590 000
Etudes et suivi de chantier	3 894
Imprévus	61 829
Total	701 537

**Synthèse des amortissements pour une unité temporaire de production de terre végétale dans le site de la
décharge de Nador**

			Frais de fonctionnement fixes			Frais de fonctionnement variables		
			Total	Quantités	Prix unitaire	Prix total fixe	Quantités	Prix unitaire
Charges d'exploitation HT								
A. Approvisionnement et marchandises		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	électricité pour le fonctionnement du site	35 040	17 520	2	35 040			
	carburant de la dragline	934 400				116 800	8	934 400
B. services et biens divers		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	expertises	50 000	2	25 000	50 000			
	honoraires	50 000	2	25 000	50 000			
	assurances	30 000	1	30 000	30 000			
	entretiens de la dragline	525 000	1	525 000	525 000			
	vérification pont à pesées	0	0	10 000	0			
C. Rémunérations, charges sociales et pensions		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	Préposé à la pesée (ttc)	0	0,00	30 000	0			
	Conducteurs d'engin (ttc)	37 500	1,25	30 000	37 500			
	Chef d'exploitation	5 500	0,10	55 000	5 500			
	Cadre supérieur	10 000	0,10	100 000	10 000			
	agent de nettoyage	25 000	1,00	25 000	25 000			
D. provisions, gros entretiens et réparations		PT	Q	PU	PTF	Q	PU	PTV
	piste d'accès au site	0	0	10 000	0			
	bâtiments administratifs et techniques	5 000	1	5 000	5 000			
	clôture	0	0	5 000	0			
	barrière	0	0	500	0			
	voirie sur le site	10 000	1	10 000	10 000			
	éclairage	2 000	1	2 000	2 000			
	fossés périphériques eaux pluviales site	3 000	1	3 000	3 000			
	équipements électromécaniques bassin dépollution lixiviats	10 000	1	10 000	10 000			
	pont à pesées	0	0	10 000	0			
	Pompes à lixiviats	2 500	1	2 500	2 500			
	Provision pour post-gestion	0	0	0	0	0	40 000	0
TOTAL CHARGES		1 734 940			800 540			934 400

Bilan prévisionnel d'exploitation d'une unité temporaire de production de terre végétale dans le site de la décharge de Nador

	Eclatement des coûts d'amortissement et de fonctionnement		
	Total	Charges fixes	Charges variables
Amortissements	701 537	701 537	
Approvisionnements et marchandises	969 440	35 040	934 400
Services et biens divers	655 000	655 000	0
Rémunérations, charges sociales et pensions	78 000	78 000	0
Provisions, gros entretiens et réparations	32 500	32 500	0
Total amortissement et fonctionnement	2 436 477	1 502 077	934 400
Répartition des deux types de charges par rapport au coût total		62%	38%
Coût HT à la tonne de boues, amortissements compris		111	
Coût HT de production de la terre végétale (hors prix achat terre minérale et boues), amortissements compris		72	
Coût HT à la tonne de boues hors amortissements		79	

Estimation du coût à la tonne hors taxe d'une unité temporaire de production de terre végétale dans le site de la décharge de Nador

ANNEXE D. BASE DE DIMENSIONNEMENT DE LA PLATEFORME DE COMPOSTAGE

Paramètres de dimensionnement de la plate forme de co-compostage

Paramètres de dimensionnement	
Quantité de boues, Tonnes/jr à 50% de MS	60
Densité apparente en Kg/m ³ boues	800
Densité apparente en Kg/m ³ de déchets verts(broyé)	400
Da de compost criblé Kg/m ³	700
Ratio DV:B	2,5:1
Caractéristique de l'andain	l=4; h=1,5; H=1
Volume par m de l'andain en m ³	3
Surface de l'andain en m ²	3
Surface de l'andain (Compte tenu des espaces) en m ²	4,2

Dimensionnement des aires de la plate forme

Calcul de l'aire de fermentation et de maturation	
Volume de boues, m ³ /an	13 688
Volume de DV, m ³ /an	34 219
Volume total à composter, m ³ /an	47 906
Volume à composter, m ³ /semaine	921
Volume à composter, m ³ /jr	154
Fermentation (8 sem) + Maturation (6 sem), m ³	12898
Surface nécessaire d'andain, m ²	18 057
L'aire de fermentation et de maturation est de, m ² 18100	
Calcul de l'aire de dépôt des déchets	
Masse de boues, T/an	10 950
Masse de DV, T/an	13 688
Masse totale, T/an	24 638
Aire de dépôt des déchets, m ²	316
Aire retenue, m ² 320	
Aire de stockage finale	
Réduction de la masse de 50%, en tonnes	12 319
Quantité à stocker par semaine, tonnes	237
Stockage en 15 jr, tonnes	312
Volume correspondant du compost criblé, m ³	446
	223
Aire de stockage finale m ² 250	
Surface totale m ² 18670	

Caractéristiques du matériel nécessaire à la plate forme de compostage

Matériel	Broyeur	Cribleur
Caractéristiques		
Volume à traiter, m ³ /an	34 219	17598
Puissance (KW/Heure)	79	22
Débit, m ³ /heure	40	20
Temps d'utilisation, heures/an	855	880
Durée d'utilisation, heure/jr	2,34	2,41
Durée d'utilisation, jour/an	36	36,7

ANNEXE E : PRODUCTION DE TERRE VEGETALE A PARTIR DE TERRE MINERALE A L'AIDE DE BOUES DE STATION D'EPURATION

Dans de nombreux pays, la terre végétale, c'est-à-dire contenant environ 3% de matières humiques, en poids, est rare et chère. Elle est utilisée dans les aménagements paysagers, la réhabilitation de casiers de décharge, de carrières et de sites industriels.

Une des techniques utilisées pour produire de la terre végétale consiste à mélanger de la terre pauvre en humus (terre minérale) avec de la matière organique de qualité, comme le compost de déchets verts ou les boues de station d'épuration.

Les différences entre le compost de déchets verts et les boues de station d'épuration concernent essentiellement les teneurs en éléments fertilisants et les teneurs en matières organiques stabilisées. Les analyses actuellement disponibles des boues des deux stations d'épuration ne permettent pas une caractérisation détaillée selon ces critères mais vu leur grande qualité environnementale, il est possible de considérer que 50% de la matière organique va se transformer en humus lors de la maturation du mélange boue-terres.

Considérant que les boues des stations d'épuration contiennent 30% de matière minérale et 70% de matière organique (sur la MS), 35% de la MS pourra être transformée en humus lors de la maturation du mélange terres-boues.

Sur base d'une teneur en MS de 20% et une densité des terres de 1,5T/m³, il est nécessaire d'ajouter 2,86kg de MS pour obtenir 1kg de matière humique.

Pour atteindre 3% de Matière Humique dans 1 m³ de terres, il faut donc ajouter : $1.500\text{kg} * 3\% * 2.86 = 128,7\text{kg}$ de MS ou 643kg de boues à 20% de MS par m³ de terres. Afin de faciliter les calculs d'ordre de grandeur, on considère dans la suite de ce rapport qu'il faut ajouter 650kg de boues par m³ de terre afin de produire une terre végétale après maturation du mélange permettant la transformation de la boue en éléments humiques stables.

Le temps nécessaire à la maturation du mélange terre-boues peut être évalué, en première approche, à 6 mois. Ainsi, la production de 1.000m³ de terre végétale de qualité disposant d'éléments fertilisant favorisant la croissance de végétaux, mobilise 650 T de boues brutes.

En Considérant que toutes les boues de la station sont utilisées pour la production de terre végétale, les potentiels de production sont de :

Nador : 33.692m³/an, soit la terre nécessaire à la plantation de 67.384 arbres (0,5m³/arbre)

Al Hoceima : 11.230m³/an, soit la terre nécessaire à la plantation de 22.460 arbres (0,5m³/arbre).