

Possibilités et enjeux de la réutilisation et de la valorisation dans la filière assainissement

Focus sur les pays du sud
de la Méditerranée

pS-Eau

programme
Solidarité-Eau

Possibilités et enjeux de la réutilisation et de la valorisation dans la filière assainissement

Focus sur les pays du sud de la Méditerranée



Coordination et rédaction :

Mélodie Boissel, pS-Eau

Contributions et relectures :

Ehssan Elmeknassi, COSTEA (impacts environnementaux positifs et négatifs- retour au sol des matières, risques sanitaires, contexte au Maroc)

Benjamin Noury, consultant (modèles organisationnel et économique, aspects sociologiques, contexte en Tunisie)

Bruno Valfrey, Hydroconseil (éléments contextuels pour orienter les choix aux différents maillons de la filière, modèles organisationnel et économique, contexte en Palestine)

Christophe Brossé, CARL (impacts environnementaux positifs et négatifs- retour au sol des matières, risques sanitaires)

Samuel Martin Ruel, AFD (impacts environnementaux positifs et négatifs – GES et bilan énergétique, risques sanitaires)

Marie Thérèse Abi Saab, LARI (contexte au Liban)

Antoine Buge, AFD (contexte en Palestine)

Benhassane Lhoucine, Chef de Division Ressources en Eau- LPÉE, CEREP (contexte au Maroc)

Christophe Le Jallé, pS-Eau

Charlie Gervais, pS-Eau

Sophie de La Bassetière, pS-Eau

Carole Chemin, pS-Eau

Sophie Renard, pS-Eau

Ana Sanchez, pS-Eau

Études de cas :

Maxime Decaens, Hamap, **Nael Ali-Ahmad**, municipalité de Ramallah

Rafaella Vimón Vicary, Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée, **Moulaye Lakbir Lakbiri**, responsable du service urbanisme et environnement de la province de Tata au Maroc

Josselin Ravaz, Métropole de Lyon (coordinateur programme Eaurizon), **Heriony Andrianandrasana**, Practica

Sylvain Cottalorda, pS-Eau

Crédits photos : **Benjamin Noury**, **ANAMANA**, **Hamap Humanitaire**, **Practica Foundation**, pS-Eau

Photo de couverture : STEP de Tata, Maroc, © pS-Eau 2024

Illustration et mise en page : **HYBRID**

Impression : **Pure Impression**, juin 2025

Préface

Le sixième des 17 objectifs du développement durable de l'agenda 2030 des Nations unies vise un accès universel et équitable à l'eau potable, à l'assainissement et à l'hygiène. Il nous encourage vers une gestion durable de cette ressource, et nous exhorte à redoubler d'efforts vers les personnes les plus vulnérables souffrant de la rareté de l'eau. Cet objectif intègre la notion de gestion transfrontalière de cette ressource, essentielle à la gestion durable mais aussi favorable à la paix et à la coopération.

L'eau est le premier marqueur du changement climatique, dont les effets sur la ressource en eau et les milieux s'intensifient, obligeant à accélérer l'adaptation des territoires. Il s'agit de renforcer la résilience des milieux naturels et des activités face à la baisse de la disponibilité des ressources en eau, à l'assèchement des sols, à la perte de biodiversité, à la détérioration de la qualité des eaux et à l'amplification des risques naturels.

L'intérêt des décideurs s'est jusqu'ici porté avant tout sur l'approvisionnement en eau plutôt que sur sa gestion après son utilisation. Les deux aspects sont pourtant indissociables. La collecte, le traitement, la réutilisation de l'eau et la valorisation des produits issus des systèmes d'assainissement sont au fondement même d'une économie circulaire, conciliant développement économique et utilisation durable des ressources.

La réutilisation des eaux usées traitées peut améliorer la sécurité alimentaire et la résilience agricole face aux changements climatiques. La valorisation des boues par épandage ou méthanisation peut réduire la dépendance aux engrais chimiques et aux combustibles fossiles. D'autres possibilités existent telles que la récupération de chaleur ou la récupération de phosphore ou de nitrates.

Face aux défis environnementaux et sanitaires croissants, il est essentiel de repenser la gestion des déchets et des eaux usées. Cet ouvrage explore les possibilités et les enjeux de ces pratiques, en mettant l'accent sur les pays du sud de la Méditerranée. Il fait le point sur les connaissances actuelles et les expériences pratiques en matière de réutilisation et de valorisation des produits issus des systèmes d'assainissement.

Pour que ces solutions soient efficaces, il est essentiel de les considérer très en amont afin qu'elles soient adaptées à chaque contexte géographique, climatique et humain permettant d'en tirer le maximum d'effets positifs et utiles. Cet ouvrage se veut une contribution à cette réflexion et un outil pour celles et ceux qui souhaitent s'engager dans cette voie.

Je formule le vœu que les coopérations décentralisées qui se construisent autour des enjeux de l'eau sur le bassin méditerranéen trouveront dans cet ouvrage la source d'inspiration utile à leur projet.

Sauvons l'eau !

Nicolas Mourlon,
directeur général de l'agence de l'eau
Rhône Méditerranée Corse



Introduction

Ce guide aborde la question de la réutilisation et valorisation des produits issus des systèmes d'assainissement.

Il a été élaboré par le pS-Eau dans le cadre d'un partenariat avec l'INRAE, cofinancé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, l'Office Français de la Biodiversité et l'Agence Française de Développement.

Il s'appuie sur des échanges avec de nombreux porteurs de projets et experts et bénéficie des contributions et relectures de différents membres du réseau du pS-Eau.

Ce guide s'adresse plus particulièrement aux acteurs de la coopération décentralisée et non gouvernementale ainsi qu'aux autorités organisatrices des services d'assainissement et autres partenaires locaux.

Il a pour objectif de donner des clés de compréhension et des ressources afin d'identifier et de prendre en compte :

- Les possibilités de réutilisation et valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement, en adoptant une vision large qui englobe l'ensemble des formes d'assainissement et procédés de traitement possibles ainsi que l'ensemble des produits sortants et leurs usages possibles ;
- Les enjeux principaux que représente l'intégration d'une réutilisation et d'une valorisation de ces produits, qui doivent être pris en compte pour aborder un projet d'assainissement intégrant une réutilisation/valorisation.

Ce guide aborde ces possibilités et enjeux dans le cas du contexte des pays du sud de la Méditerranée, en particulier le Maroc, la Tunisie, la Palestine et le Liban.

Il analyse ensuite la façon dont ces enjeux sont pris en compte dans plusieurs cas d'études, en particulier dans ces pays.

Dans l'ensemble du guide :

-  Les produits entrants et sortants sont indiqués dans une flèche.
-    Un code couleur permet de les identifier facilement.
-  Les usages finaux sont dans une butée.
-   Les renvois vers un traitement ou un usage sont dans des pastilles.
-  Elles correspondent à la pagination.
-  Les cotraitements sont indiqués par ce pictogramme.
-  Les informations spécifiques au contexte méditerranéen par celui-ci.
- ^[3] Les notes numériques renvoient aux blocs EN SAVOIR + sous la forme : [3]

Reconsidérer la filière de l'assainissement en y intégrant la valorisation et la réutilisation

On considère communément que la filière de l'assainissement est composée de 3 maillons :

➤ Un maillon amont, ayant pour objectif premier de réduire l'exposition des usagers aux excréta, dans un souci de **salubrité**. Ce maillon regroupe les installations pour le recueil des eaux usées et excréta, et leur stockage temporaire (éventuellement pour un traitement partiel) :

- les toilettes ;
- les dispositifs de lave-main, les douches et éviers ;
- le cas échéant, les différents types d'installations individuelles (fosses, puits).

➤ Un maillon intermédiaire, qui vise à évacuer les eaux usées et boues de vidange vers une zone de stockage et/ou de traitement, dans un souci de **salubrité**. Ce maillon consiste en l'évacuation des résidus non traités sur place, soit par :

- un réseau d'égouts, dans le cas d'un système d'assainissement collectif ;
- des camions vidangeurs, dans le cas d'un système d'assainissement non-collectif.

➤ Un maillon aval de traitement permettant de **réduire l'impact environnemental**. Ce maillon regroupe les technologies qui assurent le dépôt des eaux usées et des boues de vidange ainsi que leur traitement, avec ou sans valorisation. Les équipements de ce maillon sont :

- une station d'épuration des eaux usées vers laquelle convergent les réseaux d'égout, dans le cas d'un système d'assainissement collectif ;
- un site de dépotage et de traitement des boues de vidange apportées par les camions, dans le cas d'un système d'assainissement non-collectif.

Pour s'inscrire dans une démarche de circularité des flux, il est aussi possible de considérer que l'assainissement consiste à répondre à un **objectif de salubrité et de réduction de l'impact environnemental**, mais également à celui de permettre le **retour au sol et au cycle de l'eau des matières et des flux**, et de **produire des matières valorisables** dans d'autres chaînes de production. La filière de l'assainissement doit donc être repensée pour y intégrer la réutilisation et la valorisation qui peuvent devenir un maillon en soi de la filière.

S'ajoute alors à la filière de l'assainissement :

- Un maillon supplémentaire « valorisation / réutilisation », qui consiste à appliquer aux eaux usées et boues de vidange des procédés permettant une **circularité des flux et des matières** et de **produire des matières premières mobilisables pour d'autres chaînes de production**.

MAILLON AMONT
COLLECTE

MAILLON INTERMÉDIAIRE
TRANSPORT

MAILLON AVAL
TRAITEMENT

MAILLON
RÉUTILISATION/
VALORISATION

Objectifs :

- Salubrité
- Préservation de l'environnement

Objectifs :

- Circularité des flux et matières
- Production de matières premières mobilisables pour des usages anthropiques

Sommaire

CHAPITRE 1 : Quels sont les différents produits réutilisables et valorisables issus de la filière de l’assainissement et leurs usages possibles, selon les choix opérés aux différents maillons ?..... 12

Ce chapitre s’attache à **caractériser les produits** issus des différents types d’équipements et de procédés de traitement qui peuvent être mis en œuvre au niveau des différents maillons de la filière de l’assainissement. Il s’appuie en particulier sur une **synthèse des procédés de traitement**, produite par l’INRAE dans le cadre du partenariat ayant conduit à la production de ce guide, qui a investigué la bibliographie existante afin d’affiner la caractérisation des produits sortants, en particulier concernant la présence et la nature des pathogènes.

Ce chapitre présente ensuite les usages de réutilisation/valorisation de façon large et exhaustive pour l’ensemble des produits issus de la filière de l’assainissement. Les voies couramment envisagées ou mises en œuvre, notamment dans les pays du sud de la Méditerranée, sont mises en avant.

Ce premier chapitre est illustré par une « matrice des possibilités de réutilisation/valorisation » permettant de donner une vision globale de la façon dont la réutilisation peut s’inscrire dans la filière de l’assainissement.

1 Quels sont les produits sortants du maillon amont ? 20

1.1 Solutions sans prétraitement ou prétraitement sommaire..... 23

1.2 Solutions qui opèrent un traitement partiel 26

Quels sont les produits sortants du maillon aval-traitement ?..... 34

2 Quels sont les produits sortants des procédés de traitement des eaux usées ?..... 35

2.1 Traitements primaires des eaux usées 36

2.2 Traitements secondaires..... 39

2.3 Traitements tertiaires..... 45

3 Quels sont les produits sortants des procédés de traitement des boues d’épuration au sein des STEP et des boues de vidange au sein des STBV ? 54

3.1 Traitements primaires : séparation solides-liquides / épaissement..... 55

3.2 Traitements secondaires : stabilisation et déshydratation 56

3.3 Traitements additionnels d’hygiénisation 65

4 Quels sont les usages possibles des produits sortants des systèmes d’assainissement ?..... 75

4.1 Irrigation et amendement des sols pour des usages agricoles et non agricoles..... 76

4.2 Retour des flux et matières au cycle de l’eau et au sol 82

4.3 Usages du potentiel énergétique des matières 85

4.4 Usage des eaux et produits ultimes pour des activités industrielles et artisanales..... 88

LA MISE EN DECHARGE 93

CHAPITRE 2 : Quels sont les enjeux à prendre en compte pour intégrer une réutilisation/valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement ? 96

Ce chapitre apporte un éclairage synthétique sur les paramètres de contexte à prendre en compte pour orienter les choix pour l'ensemble de la filière de l'assainissement. Il est précisé en quoi ces paramètres contextuels, qui constituent des critères de choix, sont impactés par l'introduction d'un maillon réutilisation/valorisation.

Ce chapitre se penche ensuite sur plusieurs enjeux essentiels qu'implique l'intégration d'un maillon réutilisation/valorisation dans la filière de l'assainissement. Un travail bibliographique, d'analyse de retours d'expérience, d'échanges avec des porteurs de projets et d'experts, a conduit à dégager des grands axes de questionnement. Ces enjeux sont à considérer avec attention pour de tels projets. Ils sont illustrés par des exemples et remarques concernant le contexte méditerranéen.

Quels sont les paramètres contextuels à considérer pour orienter les choix à chaque maillon de la filière de l'assainissement et comment la réutilisation valorisation les impacte ? 98

Enjeu 1 : Quels impacts environnementaux positifs et négatifs ? 110

- La mobilisation d'une « nouvelle » ressource en eau 111
- Le retour au sol des matières 114
- La réduction de l'émission de gaz à effet de serre (GES) 120
- Cohérence environnementale de la filière de l'assainissement vis-à-vis de son bilan énergétique 124

À retenir concernant les impacts environnementaux positifs et négatifs 128

Enjeu 2 : Comment gérer les risques sanitaires liés à la réutilisation/valorisation des produits de l'assainissement ? 129

Danger, exposition et risque 130

Gestion des risques :

1^{ère} approche : Conditionner les usages, à la qualité des produits sortant du système de traitement 134

2^{ème} approche : Considérer les barrières post-traitement : modalités d'usage des produits issus de la filière de l'assainissement 141

3^{ème} approche : Restreindre les usages et modalités d'usage 147

À retenir : comment gérer les risques sanitaires liés à la réutilisation/valorisation ? 150

Enjeu 3 : Quels modèles organisationnels et économiques ? 153

Modèles organisationnels - Qui s'occupe de quoi ? 154

Modèles économiques - Qui paye quoi ? Qui est rémunéré pour quoi ? 159

À retenir concernant les modèles organisationnels et économiques 167

Enjeu 4 : Quels impacts et prise en compte des aspects sociologiques ? 168

Les aspects sociologiques à prendre en compte 169

Comment intégrer les aspects sociologiques ? 172

À retenir concernant l'intégration des aspects sociologiques 176

CHAPITRE 3 : Contexte dans différents pays méditerranéens..... 180

Le troisième chapitre développe les éléments précédemment abordés, dans le contexte des pays du sud du bassin méditerranéen, afin de comprendre et d'illustrer les enjeux et usages de la réutilisation/valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement.

La réutilisation/valorisation des produits issus de l'assainissement au Maroc 182

La réutilisation/valorisation des produits issus de l'assainissement en Tunisie 190

La réutilisation/valorisation des produits issus de l'assainissement en Palestine 198

La réutilisation/valorisation des produits issus des systèmes d'assainissement au Liban 203

CHAPITRE 4 : Études de cas 208

Un quatrième chapitre présente des exemples de systèmes d'assainissement qui intègrent un maillon réutilisation/valorisation dans la filière de l'assainissement. Ces études de cas portent sur des projets menés dans le cadre de la coopération décentralisée.

Les deux premiers cas sont des projets menés au Maroc et en Palestine. Le troisième cas d'étude porte sur un type de systèmes peu développé dans les pays du sud de la Méditerranée mais largement répandu en Afrique de l'Ouest et en Asie du Sud-Est.

ÉTUDE DE CAS 1 : Réutilisation des eaux usées pour l'irrigation d'espaces verts à Tata, Maroc ; Coopération décentralisée : Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée / province de Tata 210

ÉTUDE DE CAS 2 : Optimisation de la STEP de Ramallah en Palestine pour développer la réutilisation des boues ; Coopération décentralisée : Toulouse Métropole (AMO Hamap Humanitaire) / municipalité de Ramallah 221

ÉTUDE DE CAS 4 : Valorisation des boues de vidange à Fianarantsoa, Madagascar ; Coopération décentralisée : Grand Lyon / Région Haut de Matsiatra, Commune Urbaine Fianarantsoa 228

Lexique et définitions

CEC (Capacité d'échange cationique) : Quantité totale de cations qu'un sol peut retenir sur ses particules, exprimée en $\text{cmol}(+)/\text{kg}$, reflétant sa fertilité et sa capacité à retenir les nutriments.

DBO (Demande Biologique en Oxygène) : Quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes pour dégrader la matière organique présente dans l'eau, indicatif de la pollution organique biodégradable.

DBO₅ (Demande Biologique en Oxygène à 5 jours) : Mesure de la DBO après 5 jours d'incubation, utilisée pour estimer la charge organique biodégradable sur le court terme.

DCO (Demande Chimique en Oxygène) : Quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques et certains composés inorganiques présents dans l'eau, souvent plus élevée que la DBO.

ETM (Éléments Traces Métalliques) : Métaux présents en très faibles concentrations dans l'environnement, parfois essentiels à faible dose mais souvent toxiques à forte concentration.

Log : La réduction des germes pathogènes est exprimée en logarithmes décimaux, noté Log 10 et plus simplement Log. Chaque unité de Log correspond à une réduction d'un facteur dix. Ainsi, un abattement de 1 Log représente une réduction du pathogène concerné de 90 %. Si la population d'origine est de 100 (10×10), seuls 10 germes auront survécu. Une réduction de 2 log correspond donc à une élimination de 99 % du pathogène concerné, de 3 Log de 99,9 %, etc.

MES (Matières en Suspension) : Particules solides présentes dans un liquide qui ne se dissolvent pas et qui peuvent affecter la qualité de l'eau et sa transparence.

MS : Teneur en Matières Sèches, aussi appelée siccité.

MVS (Matières Volatiles Séchées) : Part de matière organique contenue dans un échantillon après séchage et combustion, utilisée pour estimer la teneur en matière organique dans les boues ou les sédiments.

NH₃ (Ammoniac) : Forme gazeuse ou dissoute d'azote réduite, toxique pour les organismes aquatiques, surtout à pH élevé.

NH₄⁺ (Ion ammonium) : Forme ionisée et moins toxique de l'ammoniac, stable à pH acide, source d'azote assimilable pour les plantes.

NTU : Nephelometric Turbidity Unit, unité de mesure de la turbidité de l'eau basée sur la diffusion de la lumière par les particules en suspension.

UFC (Unité Formant Colonie, en anglais : CFU = *Colony Forming Unit*) : Unité de mesure microbiologique utilisée pour estimer le nombre de bactéries viables (ou autres micro-organismes) présentes dans un échantillon.

CHAPITRE 1

Quels sont les différents produits réutilisables et valorisables issus de la filière de l'assainissement et leurs usages possibles, selon les choix opérés aux différents maillons ?

Le chapitre 1 présente le panorama des produits issus de la chaîne de l'assainissement et leurs possibilités de réutilisation et valorisation.

Il n'est pas voué à être lu de façon linéaire. Il se consulte en examinant la « matrice des possibilités de réutilisation/valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement ».

Cette matrice présente une vision globale des catégories de produits pouvant être obtenus et des catégories d'usages qu'ils peuvent connaître.

Ce chapitre permet d'apporter des précisions sur les caractéristiques de ces catégories de produits entrants.

Ces caractéristiques décrites s'appuient sur la littérature disponible, qui constitue fréquemment les ressources de références considérées par l'OMS.

Il est essentiel de les considérer comme des indications générales et des ordres de grandeur. En effet, les caractéristiques des produits sortants dépendent des caractéristiques des produits entrants, souvent difficiles à connaître en particulier concernant les boues de vidange. Elles dépendent également des conditions d'utilisation et d'exploitation des équipements et procédés de traitement : leur performance théorique sur l'abattement des polluants ne peut être assurée que dans des conditions d'utilisation optimales.

Le chapitre permet également d'apporter des précisions sur les différents usages possibles.

Il est essentiel de considérer ces usages comme des possibilités dont les risques, les bénéfices, la pertinence et la viabilité, doivent être évalués en se penchant sur les enjeux qui font l'objet du **chapitre 2**. Ces enjeux seront illustrés d'expériences et de pratique de pays méditerranéens.

Ce chapitre est structuré de la façon suivante :

1. Quels sont les produits sortants du maillon amont ?
Quels sont les produits sortants du maillon aval - traitement ?
2. Quels sont les produits sortant des procédés de traitement des eaux usées (stations d'épuration : STEP)
3. Quels sont les produits sortant des procédés de traitement des boues issues des STEP et des boues de vidange traitées en STBV (station de traitement des boues de vidange)
4. Quels sont les usages possibles des produits sortants des systèmes d'assainissement

Pour chacun des équipements ou procédés de traitement des maillons amont et aval (parties 1 à 3), la structure est la suivante :

PRODUITS ENTRANTS

Caractéristiques du produit entrant.

Les produits entrants au niveau d'un procédé de traitement sont les produits sortants d'un équipement du maillon amont ou d'un procédé de traitement précédemment appliqué.

DESCRIPTION DE L'INSTALLATION ou **DESCRIPTION DU PROCÉDÉ**

Description succincte de l'équipement / du procédé de traitement

Des ressources spécifiques à certains équipements et procédés de traitement sont indiquées.

POUR EN SAVOIR + :

L'objet de ce guide n'est pas de décrire précisément les différents équipements et procédés de traitement. Pour en savoir plus, les ressources suivantes peuvent être consultées :

- [Compendium des systèmes et technologies d'assainissement – 2e édition actualisée, Eawag, WSSCC, IWA, Tilley et al., 2016](#)
- [Choisir des solutions techniques adaptées pour l'assainissement liquide, pS-Eau, Frenoux et al., 2010](#)
- [Wastewater Treatment and Reuse: A Guide to Help Small Towns Select Appropriate Options, World Bank, Brault et al., 2022](#)
- [Gestion des Boues de Vidange – Approche intégrée pour la mise en œuvre et l'exploitation, IWA, Strande L., Ronteltap M., Brdjanovic D., 2018](#)

PRODUITS SORTANTS

PRODUITS SORTANTS

(ce paragraphe se décline pour chacun des produits sortants)

Caractéristiques du produit sortant.

Ces caractéristiques sont décrites, en particulier concernant la présence de pathogènes, s'appuyant sur la synthèse bibliographique élaborée par l'INRAE dans le cadre du partenariat ayant conduit à la publication de ce guide :

POUR EN SAVOIR + :

- « État des lieux de l'abattement sur les microorganismes pathogènes par les différents procédés de traitements des produits et sous-produits de l'assainissement », INRAE, A. Meunier, S. Guillaume, S. Besnault, M. Boissel et R. Lombard Latune, 2025.

Destinations possibles du produit sortant :

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Traitements supplémentaires possibles 120

les intitulés renvoient à un autre procédé de traitement abordé dans les **parties 2 ou 3**

Usages et débouchés possibles

Usages possibles 145

les intitulés renvoient aux usages abordés dans la **partie 4**

À l'issue des parties 1, 2 et 3, il est indiqué les sources dont sont issues les caractéristiques énoncées pour les produits entrants et sortants.

Pour la partie 4 relative aux usages possibles des produits sortants des systèmes d'assainissement, la structure est la suivante :

PRODUIT RÉUTILISÉ

Il est rappelé quel est ou quels sont le(s) produit(s) concerné(s),

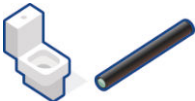
USAGES POSSIBLES

Les usages possibles du produit réutilisé.

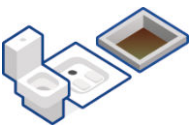
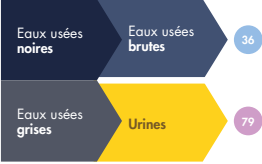
ENJEUX

Y sont évoqués les enjeux relatifs à ces usages qui sont à considérer pour estimer l'adéquation de l'usage vis-à-vis du contexte. Ces enjeux font l'objet du **chapitre 2**.

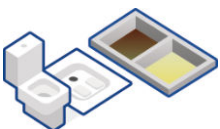
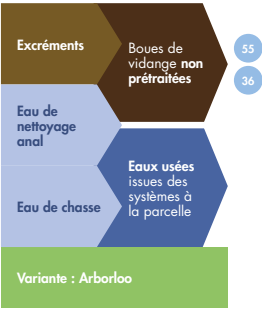
MAILLON AMONT - COLLECTE



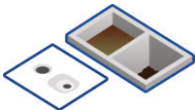
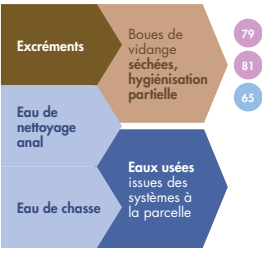
23 TOILETTES AVEC APPORT D'EAU
- AVEC OU SANS SÉPARATION D'URINES
- RELIÉES À UN RÉSEAU DE COLLECTE DES EAUX USEES



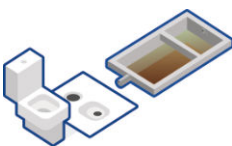
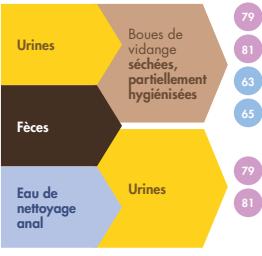
24 TOILETTES AVEC OU SANS APPORT D'EAU,
- SANS SÉPARATION D'URINES,
- RELIÉES À UNE FOSSE PLACÉE SOUS LE TROU DE DÉFÉCATION, ÉTANCHE OU NON ÉTANCHE



26 TOILETTES AVEC OU SANS APPORT D'EAU,
- SANS SÉPARATION D'URINES,
- RELIÉES À UNE DOUBLE FOSSE NON ÉTANCHE



28 TOILETTES SANS APPORT D'EAU,
- AVEC SÉPARATION D'URINES,
- RELIÉES À UNE OU DEUX FOSSE(S) ÉTANCHE(S) UTILISÉES EN ALTERNANCE POUR LA COLLECTE DES MATIÈRES FÉCALES,
- ET UN OU DEUX RÉSERVOIR(S) POUR LA COLLECTE DES URINES

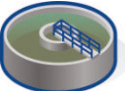


31 TOILETTES AVEC OU SANS APPORT D'EAU, AVEC OU - SANS SÉPARATION D'URINES,
- RELIÉES À UN DISPOSITIF DE TRAITEMENT PAR DÉCANTATION ET/OU DE DIGESTION ANAÉROBIE

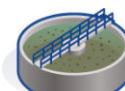
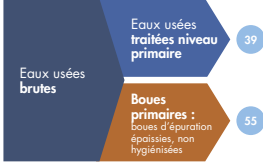


Traitement primaire des eaux

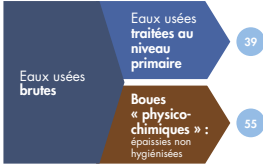
Traitement secondaire des eaux



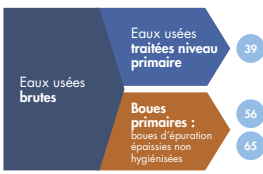
36 DÉCANTEUR / OUVRAGE DE SEDIMENTATION PRIMAIRE



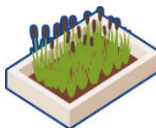
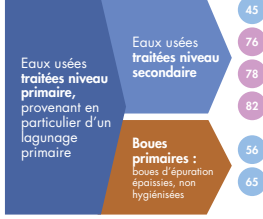
37 TRAITEMENT PRIMAIRE AMÉLIORÉ : COAGULATION/FLOCCULATION



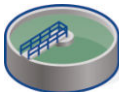
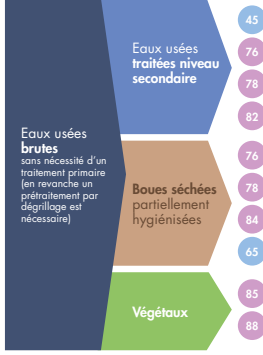
38 LE LAGUNAGE PRIMAIRE



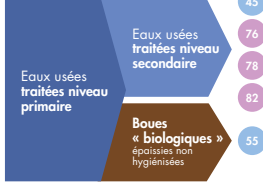
39 LE LAGUNAGE SECONDAIRE



41 LES FILTRES PLANTÉS DE VÉGÉTAUX



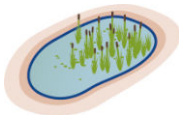
44 PROCÉDÉS À BOUE ACTIVÉE



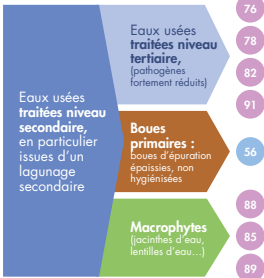
DE LA FILIÈRE DE L'ASSAINISSEMENT

MAILLON AVAL - TRAITEMENT

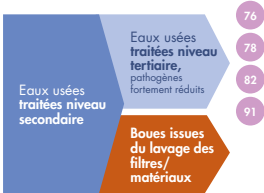
Traitement tertiaire des eaux



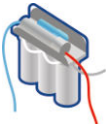
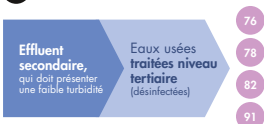
45 LAGUNE DE MATURATION



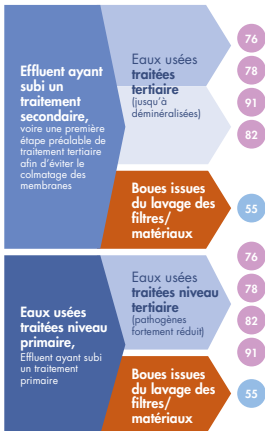
47 FILTRATION ET ADSORPTION SUR SABLE OU MATÉRIAUX FILTRANTS



50 TRAITEMENT ULTRA-VIOLET (UV)



48 FILTRATION MEMBRANAIRE



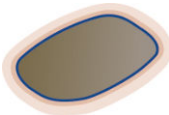
51 OZONATION



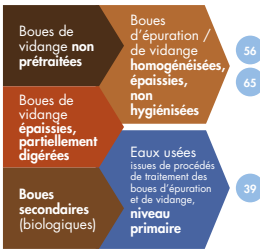
52 CHLORATION



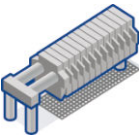
Traitement primaire : séparation solide-liquide / épaississement



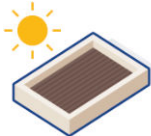
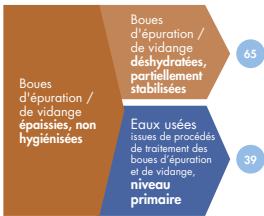
55 BASSIN DE SÉDIMENTATION - ÉPAISSISSEMENT



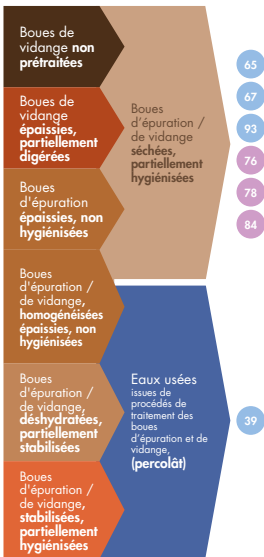
Traitement secondaire : stabilisation et déshydratation



56 DÉSHYDRATATION MÉCANIQUE



61 LITS DE SÉCHAGE

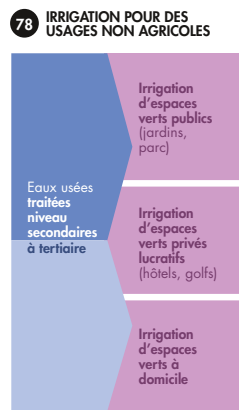
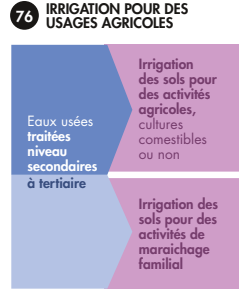
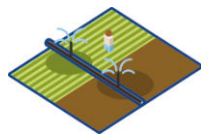
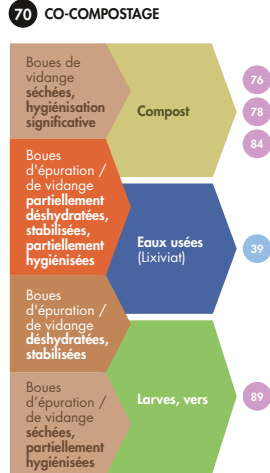
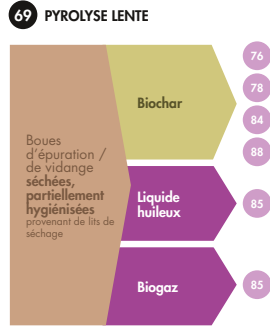
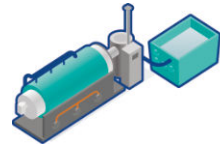
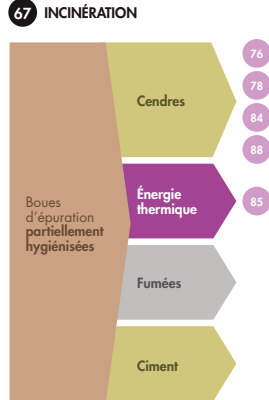
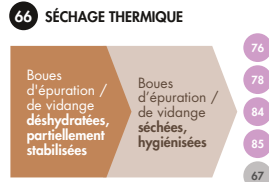
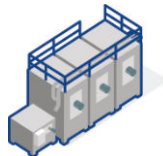
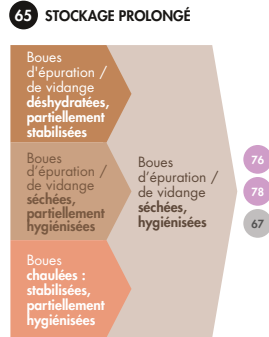
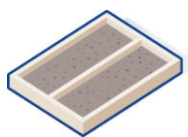
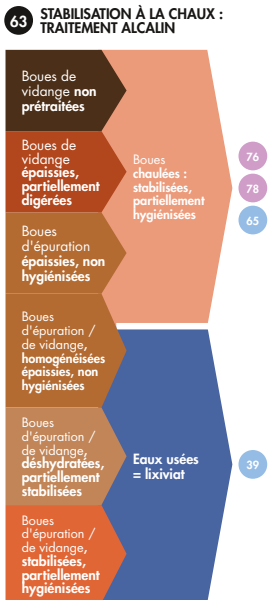
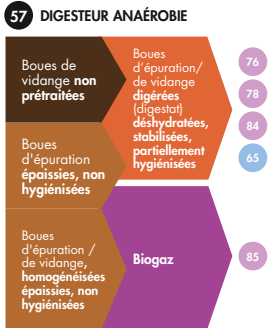


MAILLON AVAL - TRAITEMENT

Traitement secondaire :
stabilisation et déshydratation

Traitement additionnel d'hygiénisation

Irrigation et amendement
agricoles et



DE LA FILIÈRE DE L'ASSAINISSEMENT

MAILLON RÉUTILISATION / VALORISATION

des sols pour des usages non agricoles



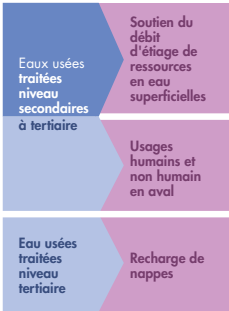
79 AMENDEMENT DES SOLS POUR DES USAGES AGRICOLES ET NON AGRICOLES



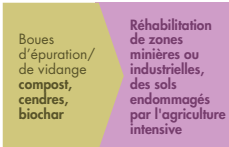
Retour des flux et matières au cycle de l'eau et au sol



82 RETOUR AU GRAND CYCLE DE L'EAU



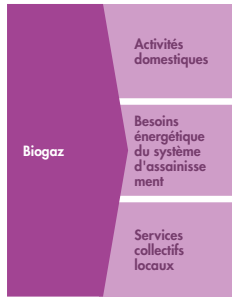
84 RESTAURATION DES SOLS



Usages du potentiel énergétique des matières



85 USAGE DU BIOGAZ POUR DES ACTIVITÉS À DOMICILE, COLLECTIVES OU INDUSTRIELLES



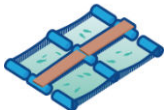
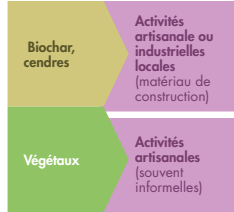
86 COMBUSTION DES PRODUITS DE L'ASSAINISSEMENT



Usage des eaux et produits ultimes pour des activités industrielles et artisanales



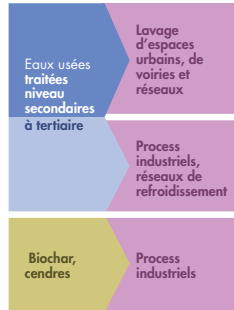
88 USAGE DE PRODUITS ULTIMES COMME MATIERE PREMIERE



89 USAGE DE PRODUITS ULTIMES POUR L'ALIMENTATION ANIMALE



91 USAGE DES EAUX POUR LES ESPACES URBAINS ET L'INDUSTRIE



1.

Quels sont les produits sortants du maillon amont ?

Le maillon amont consiste à collecter les produits entrants au niveau d'une interface utilisateur (toilette, latrine).

Cette interface peut éventuellement permettre une collecte séparée des urines et fèces, et collecter également des eaux de chasse ou de lavage anal (il s'agit alors d' « eaux noires »), éventuellement en mélange avec des eaux ménagères (eaux grises).

Cette interface peut éventuellement être connectée à une ou plusieurs fosses (utilisées alors en alternance). Le stockage plus ou moins prolongé, des fèces et des urines, mélangées ou séparées, en présence ou non d'apport d'eau (chasse, nettoyage), permet alors d'opérer une première étape de traitement. Le biogaz dégagé peut également être récupéré.

Les équipements du maillon amont peuvent aussi être connectés à un système de traitement non collectif à la parcelle ou à un réseau de collecte des eaux usées.

Cette partie 1 aborde les caractéristiques des produits qui peuvent être obtenus à l'issue du maillon amont en fonction des choix opérés et leurs devenir possibles : valorisation/réutilisation, étapes suivantes dans la filière de l'assainissement.



Produits entrants dans la filière d'assainissement

FÈCES

Les fèces (semi-solides) désignent la matière fécale seule non mélangée à de l'urine ou de l'eau.

En moyenne un être humain produit 150 g de fèces /jour^[1], cela peut toutefois varier considérablement d'une région à l'autre.

Les fèces sont composées d'eau, de protéines, de graisses non digérées, de polysaccharides, de biomasse bactérienne, de cendres et de résidus de nourriture non digérés.

La Matière Solide (MS) représente 25 % de la masse des fèces. La matière organique représente entre 84 et 93 % de cette Matière Solide, et peut se décomposer comme suit :

- 25-54 % de biomasse bactérienne,
- 2-25 % de matière protéique ou azotée,
- 25 % de glucides ou tout autre matière végétale non azotée non digérée,
- 2-15 % de lipides non digérés.

Parmi les 25 à 54 % de biomasse bactérienne de la fraction solide organique, on retrouve de nombreuses bactéries tant pathogènes que non pathogènes.

URINES

La quantité moyenne d'urine produite varierait entre 0,6 et 2,6 litres/personne/jour avec une valeur médiane retenue de 1,4 litres/personne/jour.^[1]

L'urine est constituée entre 91 et 96 % d'eau. Les 4 à 9 % restants de sa composition sont constitués de matières dissoutes ou de fractions solides dans le cas d'urine séchée.

Il s'y concentre la majorité des nutriments valorisables pour l'amendement des sols, excrétés par le corps humain (azote, phosphore, potassium).

L'urine pure (non contaminée par des fèces) ne contient le plus souvent que des micro-organismes non pathogènes.

Cependant, l'urine peut aussi dans de rares cas être contaminée. Principalement en zone tropicale, la schistosomiase (ou bilharziose) est l'une des principales maladies transmissibles par l'urine.

Il existe également un risque de contamination croisée de l'urine par des matières fécales.

EXCRÉMENTS

On appelle excréments, ou excréta, le mélange de l'urine et des fèces, non dilués par de l'eau de chasse.

EAUX NOIRES

Les eaux noires sont un mélange d'urine, de fèces et d'eau de chasse, et/ou de l'eau de nettoyage anal (si l'eau est utilisée pour ce type de nettoyage) et/ou des matériaux de

nettoyage sec. Les eaux noires contiennent les agents pathogènes des fèces et les nutriments de l'urine, qui sont dilués dans l'eau de chasse.

EAUX GRISES

Les eaux grises (aussi appelées eaux ménagères) correspondent aux eaux provenant du lavage des aliments, des vêtements et de la

vaisselle, de même que des douches et lavabos, mais pas des toilettes.

EAUX DE CHASSE

L'eau de chasse est l'eau utilisée pour évacuer les déchets dans les toilettes.

EAUX DE NETTOYAGE ANAL

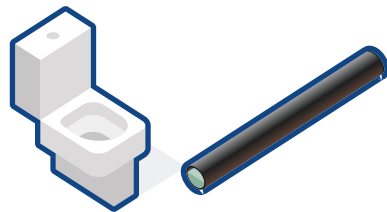
L'eau de nettoyage anal désigne l'eau utilisée pour se nettoyer après la défécation.



1.1 Solutions sans prétraitement ou prétraitement sommaire

1.1.1 Interface utilisateur :

- toilettes avec apport d'eau (eau de chasse),
- avec ou sans séparation d'urines,
- reliées à un réseau de collecte des eaux usées



PRODUITS ENTRANTS

EAUX NOIRES

Fèces + urines + eau de chasse

EAUX GRISES

DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Toilettes à chasses d'eau pour une évacuation en réseaux.

PRODUITS SORTANTS

EAUX USÉES BRUTES

L'OMS considère que les eaux usées brutes sont des excréments dilués par un facteur 100 dans de l'eau de chasse. La pollution dans les eaux usées est présente sous trois formes :

➤ La pollution particulaire, dite aussi décantable (particules supérieures à 1-10 μm) est composée d'une fraction minérale (sable, limons, etc.) et d'une fraction organique (matière organique, floccs, fragment de biofilm, etc.).

➤ La pollution colloïdale, constituée de très petites particules (0,001 à 1 à 10 μm) qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes et peuvent

même traverser certains filtres (argiles, bactéries, oxydes et hydroxydes, etc.). Du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas une tendance naturelle à s'accrocher les unes aux autres. La pollution colloïdale est la principale cause de la turbidité et de la couleur de l'eau.

➤ La pollution dissoute, qui englobe toutes les particules solubles dissoutes dans l'eau.

Destination possible

Acheminement par un réseau vers une STEP

36

(si séparation)

URINES

Il est rare que les systèmes de toilettes à chasse d'eau reliées à un réseau de collecte des eaux usées permettent de séparer les urines.

Les caractéristiques des urines et leurs usages possibles sont développés dans la partie In-

terface utilisateur « toilettes sans apport d'eau, avec séparation d'urines », reliée à une ou deux fosse(s) étanche(s) utilisées en alternance pour la collecte des matières fécales et un ou deux réservoir(s) pour la collecte des urines (2.2.3).

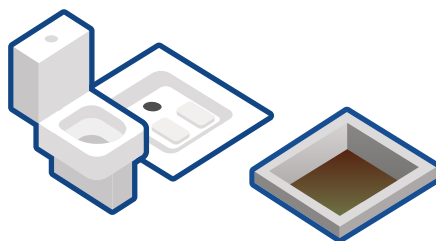
Usages possibles

Amendement des sols pour des activités non agricoles et de maraîchage familiales

79

1.1.2 Interface utilisateur :

- toilettes avec ou sans apport d'eau,
- sans séparation d'urines,
- reliées à une fosse placée sous le trou de défécation, étanche ou non étanche



PRODUITS ENTRANTS

EXCRÉMENTS

Fèces + urines

EAUX DE NETTOYAGE ANAL**EAUX DE CHASSE**

Éventuellement

DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Une fois remplies, les fosses sont soit abandonnées soit vidangées. Dans le cas des latrines où de l'eau est utilisée pour la chasse, le contenu est plus fluide et peut être pompé. Les fosses des latrines traditionnelles ne sont pas vidangées, mais une nouvelle fosse est creusée à proximité de la fosse remplie. La superstructure de la toilette est alors déplacée d'une fosse à une autre.

POUR EN SAVOIR + :

- [Compendium des systèmes et technologies d'assainissement 2e édition actualisée, Eawag WSSCC IWA, Elizabeth Tilley, Lukas Ulrich, Christoph Lüthi, Philippe Reymond et Christian Zurbrügg, 2016](#) : Système 1: Système avec fosse unique et production de boue.

PRODUITS SORTANTS

Boues de vidange non
prétraitées

BV NON TRAITÉES

Les boues de vidange sont fortement chargées en pathogènes.

Destination possible

Le traitement des boues de vidange conjointement avec les eaux usées dans une station d'épuration des eaux usées peut perturber les processus de cette station. Il est essentiel que la station d'épuration ait été conçue pour recevoir ces boues de vidange et ne soit pas trop éloignée de la zone de collecte.

Transport vers une STBV 55

Transport vers une STEP pour un
co-traitement avec les eaux usées 36

Eaux usées issues des
systèmes à la parcelle

EAUX USÉES

Destination possible

➤ Cas de la fosse étanche

Évacuation via un réseau de collecte
collectif, éventuellement
conjointement avec des eaux grises

➤ Cas de la fosse non étanche

Les fosses non étanches permettent une infiltration lente qui contribue à une élimination partielle des petites particules et des pathogènes. Elles sont adaptées aux sols perméables et aux zones rurales peu peuplées où le niveau piézométrique de la nappe souterraine est suffisamment profond pour éviter les risques de contamination.

Infiltration

Variante : Arborloo

Une fosse simple et peu profonde est utilisée pour recueillir les matières fécales, la terre, la cendre de bois et les feuilles séchées. Lorsque la fosse atteint presque sa capacité maximale, son contenu est recouvert d'une épaisse couche de terre. Ensuite, **un arbre fruitier est planté sur la fosse**.

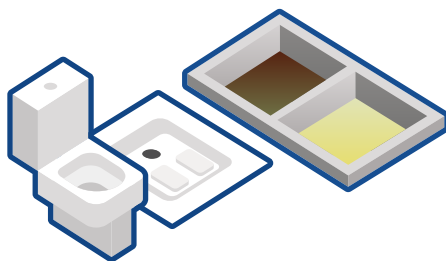
Simultanément, une autre fosse peu profonde est creusée en périphérie et la structure des toilettes est déplacée vers cette nouvelle fosse. Ce processus présente l'avantage d'une réutilisation directe avec une exposition minimale au compost ou aux excréments frais, qui sont recouverts et non retirés de la fosse.



1.2 Solutions qui opèrent un traitement partiel

1.2.1 Interface utilisateur :

- toilettes avec ou sans apport d'eau
- sans séparation d'urines
- reliées à une double fosse non étanche



PRODUITS ENTRANTS

EXCRÉMENTS

Fèces + urines

EAUX DE NETTOYAGE ANAL

EAUX DE CHASSE

Éventuellement

DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Deux fosses non étanches sont utilisées en alternance, connectées à des toilettes à chasse d'eau manuelle avec siphon ou sans chasse. La phase liquide de ces fosses s'infiltre lentement dans le sol qui doit être poreux et le niveau de la nappe phréatique suffisamment profond pour éviter les risques de contamination. Une partie des germes pathogènes migre dans le sol, mais peut être filtrée en fonction de la nature du sol. La phase solide reste emprisonnée dans la fosse et s'assèche progressivement avec le temps.

POUR EN SAVOIR + :

- [Compendium des systèmes et technologies d'assainissement – 2e édition actualisée](#), Eawag, WSSCC, IWA, Tilley et al. (2016) - Système 2 et 3: Système avec fosse sèche sans production de boue ; Système avec chasse manuelle sans production de boue.

PRODUITS SORTANTS

Boues de vidange séchées,
hygiénisation partielle

BV SÉCHÉES PART-HYG

La température dans la fosse augmente peu en raison des conditions internes telles que le niveau d'oxygène, d'humidité et le rapport carbone sur azote. Par conséquent, le matériau n'est que partiellement hygiénisé.

➤ Cas de l'absence d'apport d'eau de chasse et de deux fosses non étanches

Les recommandations de l'OMS pour assurer une réduction de 6 log dépendent de la température ambiante :

Pour des températures comprises entre 2 et 20 °C : un stockage de 1,5 à 2 ans permet d'éliminer les bactéries, les virus et protozoaires en dessous des niveaux à risque. Certains œufs peuvent résister en petits nombres.^[2]

Pour des températures comprises entre 20 et 35 °C : un stockage supérieur à 1 an, permet l'inactivation des virus, bactéries et protozoaires et de la plupart des types d'œufs helminthes (des œufs d'ascaris pouvant subsister).^[2]

Usages et débouchés possibles

Les boues séchées présentent des qualités bénéfiques pour l'amélioration des sols et peuvent être utilisées en agriculture. Si les conditions de stockage optimales n'ont pas pu être appliquées, les boues séchées peuvent être transportées vers un site extérieur pour co-compostage ultérieur.

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Il existe un risque de re-croissance bactérienne en cas de réhumidification. Ainsi, si le matériau extrait est humide en raison de l'infiltration pendant la saison des pluies ou en raison de la nature peu poreuse du sol, un traitement supplémentaire est nécessaire.

Des matériaux peuvent être utilisés pour favoriser la dessiccation en absorbant l'humidité des excréments, tels que les cendres, la chaux, la terre, la sciure, le paillage, le broyat de coquillage, etc. Parfois, des cendres ou de la chaux éteinte sont ajoutées pour augmenter l'abattement des bactéries, ce qui permet d'optimiser la réduction de certains pathogènes et de réduire les temps de stockage nécessaires pour obtenir les mêmes niveaux de performance. Il est également possible de les co-composter sur place avec des déchets verts.

Des durées de stockage moindres peuvent être appliquées pour tous les systèmes sous les climats très secs, lorsque l'humidité est inférieure à 20 %.

Si la matière est re-humidifiée, certaines souches peuvent se développer à nouveau.^[4]

➤ Cas d'un apport d'eau de chasse et de deux fosses non étanches

Par rapport à des toilettes sans apport d'eau, un temps de stockage plus long, de 2 à 3 ans, est requis, considérant le temps nécessaire à l'élimination de la fraction liquide supplémentaire, constituée par l'eau de chasse.^[2]

Amendement des sols pour
des activités de
maraîchage familiales

79

Amendement des sols à
domicile (non agricole)

81

Traitements supplémentaires
d'hygiénisation, en particulier
stockage prolongé, co-compostage
(à la parcelle ou collectif)

65

➤ Cas de l'absence d'apport d'eau de chasse et de deux fosses non étanches

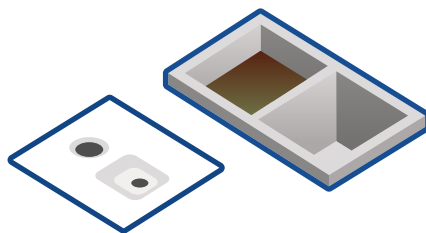
Destination possible

Infiltration

Les fosses non étanches permettent une infiltration lente qui contribue à une élimination partielle des petites particules et des pathogènes. Elles sont adaptées aux sols perméables et aux zones rurales peu peuplées où le niveau piézométrique de la nappe souterraine est suffisamment profond pour éviter les risques de contamination.

1.2.2 Interface utilisateur :

- toilettes sans apport d'eau,
- avec séparation d'urines,
- reliées à une ou deux fosse(s) étanche(s) utilisées en alternance pour la collecte des matières fécales,
- et un ou deux réservoir(s) pour la collecte des urines



Nom usuel : «Toilettes sèches à séparation d'urine»

PRODUITS ENTRANTS

URINES

Séparément

FÈCES

EAUX DE NETTOYAGE ANAL

Éventuellement, doit être séparée de l'urine

DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Deux chambres de déshydratation sont utilisées pour la collecte, le stockage et la dessiccation des matières fécales. Elles sont employées en alternance.

De plus, un ou plusieurs réservoirs sont utilisés en alternance pour recueillir les urines. Il est envisageable d'avoir des toilettes à trois compartiments, comprenant une cuvette triple avec séparation des fèces, de l'urine et de l'eau de lavage anal.

POUR EN SAVOIR + :

- Compendium des systèmes et technologies d'assainissement – 2e édition actualisée, Eawag, WSSCC, IWA, Tilley et al. (2016) - Système 4: Système sec avec séparation des urines.

PRODUITS SORTANTS

Si les conditions sont optimales :

**Boues de vidange séchées,
partiellement hygiénisées**

BV SÉCHÉES PART-HYG

La température dans la fosse augmente peu en raison des conditions internes telles que le niveau d'oxygène, d'humidité et le rapport carbone sur azote. Par conséquent, le matériau n'est que partiellement hygiénisé.

Usages possibles

Amendement des sols pour
des activités de
maraîchage familiales

79

Amendement des sols à
domicile (non agricole)

81

**Procédés de traitement
supplémentaires possibles**

Traitements in-situ
complémentaires : co-compostage,
chaulage, stockage prolongé

63

Traitements supplémentaires
d'hygiénisation, en particulier
stockage prolongé, co-compostage
(à la parcelle ou collectif)

65

URINES**Usages possibles**

L'urine pure ne contient aucun agent pathogène. Cependant, une contamination croisée avec les matières fécales est possible. Les utilisateurs peuvent être porteurs de virus et de bactéries qui se retrouvent alors dans les urines.

Ainsi, l'OMS recommande un stockage de 6 mois (à une température de 20 °C) des urines avant usage. Une durée moindre peut

Amendement des sols pour
des activités de
maraîchage familiales

79

Amendement des sols à
domicile (non agricole)

81

être considérées en cas d'usage pour des cultures non destinées à être consommées directement par l'humain, en particulier les cultures fourragères.

Pour éviter la volatilisation de l'ammoniac gazeux NH_3 , qui est toxique pour de nombreux pathogènes et qui constitue le mécanisme responsable de leur élimination, il est recommandé de stocker les urines dans un récipient hermétique.

La présence d'une concentration élevée d'ammoniac gazeux NH_3 rend l'urine efficace pour le traitement des matières fécales, par exemple en l'ajoutant aux matières stockées dans les procédés à double fosse et de compostage.^[4]

Variante : Ajout de matières facilitant la dégradation des pathogènes

Lorsqu'il existe une source appropriée et constante de matières issues du sol, de cendres ou de composés organiques tels que des feuilles, des herbes, des coques de coco, des glumelles de riz, des copeaux, etc., cela favorise l'accélération du processus de décomposition, ce qui entraîne une réduction de la durée de stockage nécessaire.

Variante : Tiger Worm Toilets

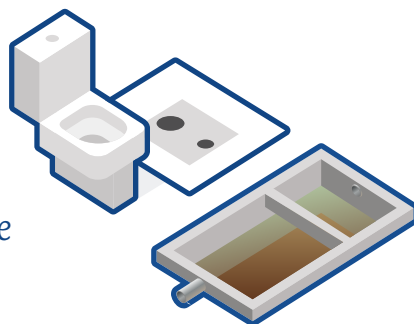
Les toilettes à lombricompostage (ou vermicompost) reposent sur le principe de la décomposition des matières fécales directement dans la fosse par des vers de terre, sans ajout d'autres matières. Oxfam a testé ces toilettes dans six pays lors de situations d'urgence ou post-catastrophe, publiant un manuel détaillé à ce sujet. Cependant, la principale limitation de ces toilettes réside dans le besoin de compétences spécifiques, y compris celles de spécialistes externes, pour leur installation et leur bon fonctionnement ainsi que pour assurer leur entretien correct à long terme.

POUR EN SAVOIR + :

- Voir le [site d'OXFAM : Tiger Worm Toilets](#)

1.2.3 Interface utilisateur :

- toilettes avec ou sans apport d'eau,
- avec ou sans séparation d'urines,
- reliées à un dispositif de traitement par décantation et/ou de digestion anaérobie



PRODUITS ENTRANTS

EXCRÉMENTS → Fèces + urines

EAUX DE NETTOYAGE ANAL

EAUX DE CHASSE → Éventuellement

DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

◀ Cas de la fosse septique :

Une fosse septique est composée d'au moins deux compartiments étanches. Le processus subi par les boues de vidange est celui de la sédimentation-épaississement et de dégradation anaérobie (en l'absence d'oxygène). Cependant cette dégradation anaérobie est partielle, car l'accumulation des boues est plus rapide que leur dégradation.

◀ Cas du digesteur anaérobie :

La méthanisation consiste à créer dans un réacteur appelé digesteur, les conditions favorables à dégradation anaérobie (en l'absence d'oxygène) par des micro-organismes, produisant un digestat (produit humide, riche en matière organique partiellement stabilisée) et du biogaz (mélange gazeux saturé en eau).

L'usage de digesteurs à domicile peut être envisagé dans le cas d'une exploitation agri-

cole, en particulier si les excréments et autres produits entrants précités, peuvent être mélangés avec des excréments bovins. En effet, cela garantit un apport de biomasse permettant de produire du biogaz en quantité suffisante pour un usage à domicile. Les excréments bovins favorisent également le processus de méthanisation.

Différents modèles de digesteurs sont utilisés, variant selon le mode d'alimentation (discontinu, semi-continu ou continu), la méthode de stockage du biogaz et la teneur en matières sèches du substrat.

Dans le cas d'installations à domicile, le processus de digestion est incomplet car il se déroule dans des conditions mésophile (environ 35 °C). Ainsi, Les digesteurs à domicile permettent un niveau de traitement similaire à une fosse septique, mais présentent l'avantage supplémentaire de la production de biogaz.

POUR EN SAVOIR + :

- [Compendium des systèmes et technologies d'assainissement – 2e édition actualisée](#), Eawag, WSSCC, IWA, Tilley et al.(2016)

Système utilisant le biogaz :

- [Household Biogas Digesters – A Review](#), Molecular Diversity Preservation International, Rajendran et al. (2012)

- [Guide de dimensionnement et de construction - Le réacteur anaérobie compartimenté et ses variantes \(Maroc\)](#), Programme AGIRE – Ministère de l'Eau (Maroc), GIZ (2019)
- [Guide de dimensionnement, de construction et d'utilisation des sous-produits - Digesteur à dôme fixe, Digesteur parallélépipédique](#), Programme AGIRE – Ministère de l'Eau (Maroc)

PRODUITS SORTANTS

Boues de vidange épaissies,
partiellement digérées

BV ÉPAISSIES PART-DIG

Cas de la fosse septique :

Le processus de dégradation anaérobie est très incomplet.

Procédés de traitement
supplémentaires possibles

Traitements supplémentaires
en STBV

55

Cas du digesteur anaérobie

Biologiquement stabilisé par digestion anaérobie, les matières sont ensuite plus faciles à déshydrater que les boues fraîches. Le procédé anaérobie implique que la matière soit riche en azote. Cependant, il reste une

charge en pathogènes, notamment du fait que les processus de digestion réalisés à domicile sur site ne permettent pas d'atteindre des températures élevées de manière significative.

Usages possibles

Amendement des sols pour
des activités de
maraîchage familiales

79

Amendement des sols à
domicile (non agricole)

81

Procédés de traitement
supplémentaires possibles

Pour un épandage agricole, la digestion anaérobie doit avoir été réalisée pendant 15 jours à une température comprise entre 35 et 55 °C, ou pendant 60 jours à une température de 20 °C.^[10] Si ces conditions n'ont pas pu être remplies, il sera nécessaire de collecter les boues pour un traitement supplémentaire au sein d'une STBV.

Traitements supplémentaires à la parcelle
complémentaires : co-compostage,
chaulage, stockage prolongé

Traitement supplémentaires
en STBV

55

Eaux usées issues des systèmes
à la parcelle

EAUX USÉES

Destination et usages possibles

L'eau évacuée par surverse peut être infiltrée à domicile, par exemple via une tranchée d'infiltration.

Les eaux usées peuvent également être évacuées via un réseau collectif, conjointement ou non avec les eaux grises.

Les eaux usées peuvent être utilisées pour l'irrigation et l'amendement des sols.

Infiltration

Évacuation via un réseau
de collecte spécifiqueIrrigation pour des activités de
maraîchage familiales

79

BIOGAZ

➤ Cas de la fosse septique :

Produit en faible quantité et généralement évacué par aération.

➤ Cas du digesteur anaérobie

Une valorisation du biogaz produit peut se faire localement.

Usages possibles

Usages du potentiel énergétique
des matières (biogaz)

85

Quels sont les produits sortants du maillon aval-traitement ?

S'ils ne sont pas valorisés (ou infiltrés, concernant les eaux) à la parcelle, les produits sortants du maillon amont sont transportés jusqu'à un système de traitement.

Le maillon « transport » est également appelé « maillon intermédiaire ».

Il existe deux grands modes de transport des produits issus du maillon amont :

- Transport en réseau : Les produits transportés sont alors des eaux usées brutes ;
- Transport hors réseaux : Les produits transportés sont alors des boues de vidange, éventuellement prétraitées, selon l'équipement du maillon amont dont elles sont issues.

Différentes solutions techniques et organisationnelles de transport peuvent être mises en œuvre et n'influent pas de manière significative sur les caractéristiques des produits de l'assainissement et donc leurs usages possibles. Les différentes solutions techniques de transport ne sont pas développées dans le guide. Les ressources suivantes peuvent être consultées pour en savoir plus.

Les eaux usées brutes et boues de vidange, produits sortant du maillon amont, transportés via le maillon intermédiaire, sont ainsi les produits entrants au niveau du maillon aval-traitement.

Les eaux usées brutes sont transportées en réseau jusqu'à une station d'épuration : STEP.

Les boues de vidange sont transportées hors réseaux jusqu'à une station de traitement des boues de vidange : STBV.

Les procédés de traitement au sein des STEP et STBV, séparent une phase liquide et une phase pâteuse. Ainsi, les STEP et les STBV mettent toutes deux en œuvre des procédés de traitement des eaux et des boues.

Les produits sortants du maillon aval-traitement sont présentés en abordant :

Partie 2 : Quels sont les produits sortants des procédés de traitement des eaux usées ?

Partie 3 : Quels sont les produits sortants des procédés de traitement des boues de vidange et des boues d'épuration ?

POUR EN SAVOIR + :

- [Faecal Sludge Management: Systems Approach for Implementation and Operation, IWA Publishing. Édition française, 2018, Strande L., Ronteltap M., Brdjanovic D](#)
- [Choisir des solutions techniques adaptées pour l'assainissement liquide, pS-Eau, décembre 2010](#)

2.

Quels sont les produits sortants des procédés de traitement des eaux usées ?

Les procédés de traitement des eaux usées sont mis en œuvre au sein des **stations d'épuration (STEP)**. Les produits entrants dans le système de traitement sont les eaux usées brutes issues d'un équipement du maillon amont de type toilettes avec apport d'eau (eau de chasse), avec ou sans séparation d'urines, ainsi que les eaux grises, relié à un réseau de collecte des eaux usées. Ces eaux usées brutes sont parfois collectées conjointement avec des effluents industriels, ainsi que des eaux pluviales, qui doivent alors également être traitées au sein de la STEP.

Les procédés de traitement des eaux usées peuvent également concerner **les eaux issues des équipements de traitement à la parcelle**, si elles sont collectées via un réseau spécifique.

Les procédés de traitement des eaux usées concernent également les **eaux issues des procédés de traitement des boues de vidange** (cf. **partie 3**).

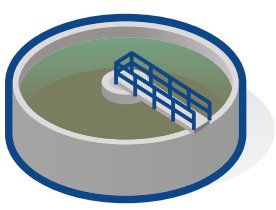


2.1 Traitements primaires des eaux usées

2.1.1 Décanteur/ Ouvrage de sédimentation primaire

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES BRUTES



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le bassin de décantation est dimensionné de manière à assurer un temps de séjour hydraulique prolongé, permettant ainsi la sédimentation des particules les plus grosses dont la vitesse de décantation est supérieure à celle de l'écoulement dans le bassin. Les matières décantables se déposent au fond du bassin, formant ce que l'on appelle les boues primaires, qui sont régulièrement extraites de l'ouvrage.

PRODUITS SORTANTS

Eaux usées traitées
niveau primaire

EAUX USÉES PRIMAIRES

Paramètres physico-chimiques : La décantation permet une réduction significative de la pollution présente sous forme particulaire, avec une élimination de 55 à 65 % des MES. 25 à 30 % de la DBO et la DCO sont éliminés.

Pathogènes : La décantation primaire élimine de l'ordre de 90 % des pathogènes, soit un abattement de 1 Log. L'effluent est encore chargé en pathogènes, notamment la fraction des virus et bactéries naturellement non fixées aux MES.^[1]

L'azote, les matières organiques et le phosphore ne sont que partiellement éliminés (25 à 30 %).

Procédés de traitement
supplémentaires possibles

Traitements secondaires 39

Boues primaires : boues d'épuration
épaissies, non hygiénisées

BE ÉPAISSIES NON-HYG

Siccité : Elles présentent une siccité de 4 à 7 %, soit un taux d'humidité de 93 à 96 %.

Ces boues contiennent une concentration élevée de microorganismes pathogènes accumulés par sédimentation, notamment des helminthes, des protozoaires, ainsi qu'en moindre quantité des virus et des bactéries naturellement associés aux MES.^{[1] [4]}

Pathogènes : Elles présentent un taux de MVS se situant entre 40 et 60 %.

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Sédimentation, déshydratation

55

Dans le cas d'une filière de traitement par boues activées au niveau du traitement secondaire, les boues primaires sont mélangées avec les boues secondaires biologiques (boues mixtes).

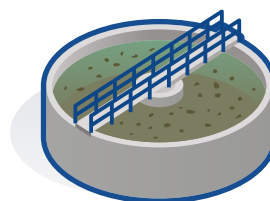
Variante : Décanteur lamellaire

Le décanteur lamellaire présente une surface de décantation plus importante, ce qui permet d'améliorer le processus de sédimentation, réduisant ainsi à la fois le temps de traitement et l'espace au sol. En plus du mécanisme physique de sédimentation, un processus biologique de biodégradation par digestion anaérobie a lieu. Bien que cette configuration permette d'optimiser le traitement de la DBO et de la DCO, les performances en termes d'élimination des agents pathogènes demeurent inchangées.

2.1.2 Traitement primaire amélioré : Coagulation/floculation

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES BRUTES



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le traitement primaire amélioré vise à renforcer l'efficacité du traitement primaire conventionnel en ciblant une réduction supplémentaire de la pollution colloïdale par l'ajout de coagulants.

PRODUITS SORTANTS

Eau usées traitées
niveau primaire

EAUX USÉES PRIMAIRES

Paramètres physico-chimiques : Élimination accrue des MES, allant de 50-65 % à plus de 70 %.^[1]

L'abattement de la DBO et DCO, l'azote et le phosphore sont améliorés entre 55 et 60 %.^[4]

Pathogènes : L'effluent primaire est encore chargé en pathogènes.

Taux d'abattement de 1 à 2 log pour les bactéries, les virus et les protozoaires, et jusqu'à 3 log pour les œufs d'helminthe.^[8]

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Traitements secondaires

39

Boues primaires dites « physico-chimiques » :
boues d'épuration épaissies non hygiénisées

BE PRIMAIRES

(PHYICOCHEMISQUES SI
COHAG. FLOC.)

Siccité : Elles présentent une siccité d'environ 4 à 7 %.^[4]

Pathogènes : Elles présentent un taux de MVS entre 40 et 60 %.^[4]

Outre les pathogènes évoqués pour les boues primaires issues des ouvrages de sédimentation primaire, ces boues contiennent les produits coagulants/floculants employés qui peuvent limiter les possibilités de valorisation.

Procédés de traitement
supplémentaires possibles

Les boues primaires sont mélangées avec les boues secondaires (boues mixtes).

Sédimentation, déshydratation

55

2.1.3 Le lagunage primaire

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES BRUTES

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le bassin anaérobie, relativement profond (de 2 à 5 mètres), est traversé par l'effluent à traiter, circulant lentement par gravité sur plusieurs jours. Ce bassin est utilisé comme étape de traitement primaire dans un système de lagunage.

PRODUITS SORTANTS

Eau usées traitées
niveau primaire

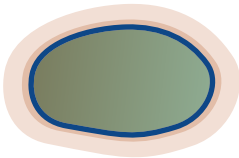
EAUX USÉES PRIMAIRES

Les eaux et les boues issues d'un traitement primaire de lagunage ne présentent pas une qualité suffisante pour envisager une réutilisation directe.

Procédés de traitement
supplémentaires possibles

Traitements secondaires, en
particulier lagunage secondaire

39



Boues primaires : boues d'épuration épaissies non hygiénisées

BE ÉPAISSIES NON-HYG

Ces boues s'accumulent au fond des bassins par décantation.

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Déshydratation 56

Hygiénisation 65



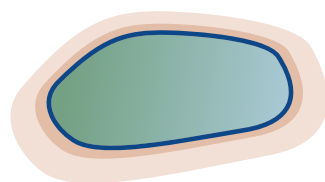
2.2 Traitements secondaires

2.2.1 Le lagunage secondaire

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES PRIMAIRES

Eaux usées traitées niveau primaire,
(provenant en particulier d'un lagunage primaire)



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le bassin aérobie/anaérobie facultatif, dont la profondeur est intermédiaire (1,5 à 2 mètres), permet à l'effluent à traiter de circuler lentement et gravitairement sur plusieurs jours. Il nécessite un temps de rétention plus long, généralement de 4 à 5 jours, et une grande surface au sol. La partie inférieure du bassin est en condition anaérobie (sans oxygène), tandis que la partie supérieure est aérobie (avec oxygène).

PRODUITS SORTANTS

Eaux usées traitées niveau secondaire

EAUX USÉES SECONDAIRES

Paramètres physico-chimiques : Le lagunage secondaire vise principalement à l'élimination de la DBO et peut atteindre jusqu'à 90 %, tandis que l'abattement de l'azote se situe généralement entre 30 et 50 %.^[1]

En ce qui concerne le phosphore, son élimination est généralement inférieure à 35 %.^[5] De plus, la turbidité et DCO peuvent être élevées en raison de la présence d'algues.

Pathogènes : Un abattement jusqu'à 2 log peut être considéré pour les bactéries. Les kystes de protozoaires et les helminthes subissent une réduction quasi-totale. L'abattement des microorganismes libres, qui ne sont pas fixés aux particules (virus et certaines bactéries), n'est en revanche pas significatif.^[5]

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Traitements tertiaires 45

Usages et débouchés possibles

Pour des usages agricoles, les réglementations imposent généralement des seuils d'éléments pathogènes présents dans les eaux usées traitées correspondant à un niveau de traitement tertiaire. Toutefois, certaines modalités d'usages (modes d'irrigation, choix de des cultures...) permettent de réduire l'exposition au agents pathogènes, permettant d'envisager l'usage d'eaux usées de niveau secondaires. En outre, l'usage d'eaux usées traitées de niveau secondaires pour l'irrigation en agriculture se pratique de façon informelle dans de nombreuses régions du monde. L'enjeu du risque sanitaire est développé dans le [chapitre 2](#).

Irrigation des sols pour des usages agricoles 76

Irrigation des sols pour des usages non agricoles 78

Retour au grand cycle de l'eau 82

Boues primaires : boues d'épuration épaissies non hygiénisées

BE ÉPAISSIES NON-HYG

Les boues liquides sont extraites du bassin de lagunage à une fréquence d'environ 10 ans. Cependant cette durée est très variable selon les contextes.

Siccité : Les boues présentent une teneur en matière sèche d'environ 15 %.^[1]

Composition : Les temps de rétention prolongés sur plusieurs années favorisent une dégradation anaérobie, ce qui permet d'atteindre des taux de MVS inférieurs à 50 %.^[5] Elles sont relativement stables/minéralisées, mais encore chargées en pathogènes accumulés par sédimentation (helminthes, protozoaires, virus et bactéries fixés aux MES).^[1] Les boues liquides contiennent également de l'azote et du phosphore.

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Déshydratation 56

Hygiénisation 65

Variante : Ajout de matières facilitant la dégradation des pathogènes

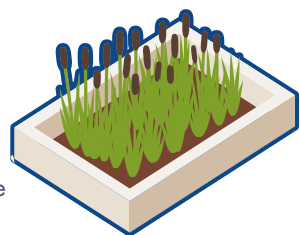
Un apport d'oxygène mécanisé et un brassage des effluents permettent de réduire les temps de séjour requis et par conséquent de diminuer la taille des bassins et leur emprise au sol. De plus, un traitement primaire n'est pas indispensable et la lagune aérée peut recevoir directement des eaux usées brutes. Toutefois, il est important de noter que cette méthode n'entraînera pas une amélioration significative de l'abattement des pathogènes.

2.2.2 Les filtres plantés de végétaux

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES BRUTES

sans nécessité d'un traitement primaire (en revanche un prétraitement par dégrillage est nécessaire).



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

La mise en place de plusieurs casiers en parallèle permet d'alterner leur utilisation, certains étant laissés au repos tandis que d'autres sont alimentés. Ce processus favorise l'autorégulation de la population bactérienne, contrôlant ainsi la biomasse produite et prévenant le colmatage. L'alimentation des casiers se fait de manière intermittente par bâchée, où une lame d'eau de plusieurs centimètres est déversée à la surface. Les eaux usées brutes traversent ensuite le massif filtrant avant d'être collectées par le système de drainage. Les MES sont filtrées en surface, tamisées par la couche de graviers la plus fine, puis retenues à la surface où elles se minéralisent en formant une couche de dépôt. À l'intérieur du filtre, notamment au niveau des systèmes racinaires des roseaux, des biofilms se forment, favorisant le développement de processus biologiques qui dégradent de manière aérobie les composés organiques carbonés et azotés dissous.

POUR EN SAVOIR + :

- [Les filtres plantés de végétaux pour le traitement des eaux usées domestiques en milieu tropical : Guide de dimensionnement de la filière tropicalisée](#), INRAE, Lombard Latune & Molle (2017)
- [Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement – Filtre planté horizontal de petite taille](#), Programme AGIRE – Ministère de l'Équipement et de l'Eau (Maroc, AGIRE (2019)
- [Planted Drying Beds for Faecal Sludge Treatment: Lessons Learned Through Scaling Up in Dakar, Senegal](#), Sandec, Dodane et al. (2011)

PRODUITS SORTANTS

Eaux usées traitées
niveau secondaire

EAUX USÉES SECONDAIRES

Paramètres physico-chimiques : En raison d'une faible DBO et d'une turbidité réduite, ces eaux sont aptes à recevoir un traitement tertiaire de désinfection.^[1]

Composition : Il subsiste des concentrations significatives en pathogènes. Une partie de ces pathogènes est retenue avec les MES retenues en surface du filtre, en particulier les kystes de protozoaires, les helminthes, ainsi que les virus et les bactéries qui sont adsorbés sur ces MES.^[1]

Une configuration à deux étages à écoulement vertical en série améliore les performances d'abattement (3,3 log) par rapport à un filtre constitué d'un unique étage (1,7 log).^[8]

Procédés de traitement
supplémentaires possibles

Usages possibles

Pour des usages agricoles, les réglementations imposent généralement des seuils d'éléments pathogènes présents dans les eaux usées traitées correspondants à un niveau de traitement tertiaire. Toutefois, certaines modalités d'usages (modes d'irrigation, choix de des cultures...) permettent de réduire l'exposition au agents pathogènes, permettant d'envisager l'usage d'eaux usées de niveau secondaires. En outre, l'usage d'eaux usées traitées de niveau secondaires pour l'irrigation en agriculture se pratique de façon informelle dans de nombreuses régions du monde. L'enjeu du risque sanitaire est développé dans le [chapitre 2](#).

Traitements tertiaires 45

Irrigation des sols pour des usages agricoles 76

Irrigation des sols pour des usages non agricoles 78

Retour au grand cycle de l'eau 82

Boues séchées
partiellement hygiénisées **BE SÉCHÉES PART-HYG**

Les boues sont produites en faibles quantité et s'accumulent pendant plusieurs années (> 10 ans en climat tempéré, > 15 ans en climat tropical).^[1]

Siccité : Elles sont en partie minéralisées et déshydratées.

Composition : Elles sont encore chargées en pathogènes.

Usages et débouchés possibles

Amendement des sols pour des usages agricoles 76

Amendement des sols pour des usages non agricoles 78

Restauration des sols 84

Procédés de traitement
supplémentaires possibles

Hygiénisation 65

VÉGÉTAUX

Les végétaux sont régulièrement fauchés. La majorité des utilisations sont informelles, effectuées par les ménages, notamment comme combustible ou comme matière première pour l'artisanat.

Usages et débouchés possibles

Usages du potentiel énergétique des matières (combustion des matières)

85

Usage de produits ultimes comme matière première

88

Variante : Configurations appliquées au contexte tropical

Le dimensionnement, notamment la profondeur et le nombre de bassins, disposés en série ou en parallèle, influence les performances de traitement de certains paramètres tels que la DBO, la DCO, l'azote, les matières carbonées et les MES. Cependant, cela ne permet pas d'abattre les pathogènes.

Variante : Filtres plantés de végétaux à écoulement horizontal

Le système est alimenté de manière continue avec des conditions aérobies dans la partie supérieure et anaérobies dans la partie profonde. Un prétraitement de décantation primaire est nécessaire lorsque le filtre planté est destiné à traiter partiellement ou exclusivement des eaux noires, qu'elles soient mélangées ou non à des eaux grises. En revanche, lorsqu'il traite uniquement des eaux grises ou des effluents liquides très dilués, tels que l'eau de pluie, le prétraitement n'est pas indispensable.

Variante : Filtres plantés de végétaux avec aération forcée

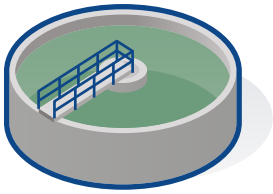
Le flux ascendant est réalisé de manière intermittente ou continue, à l'aide de tuyaux perforés placés au fond des bassins. Cependant, cette approche sacrifie l'avantage d'une technologie à faible consommation d'énergie, voire sans consommation d'énergie. L'ajout d'une aération forcée améliore grandement l'abattement des pathogènes, notamment dans les filtres à écoulement horizontal.^[8]

2.2.3 Procédés à boue activée

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES PRIMAIRES

Eaux usées traitées
niveau primaire



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Une culture libre de biomasse est développée dans un réacteur biologique, avec une aération séquencée permettant d'alterner les conditions aérobies et anaérobies. Les réactions biologiques et la séparation des boues et des effluents peuvent être réalisées soit dans deux ouvrages distincts successifs (bassin d'aération puis clarificateur), soit dans un même bassin avec deux phases distinctes dans le cas des réacteurs séquentiels par lots (Sequential Batch Reactor - SBR).

PRODUITS SORTANTS

Eaux usées traitées
niveau secondaire

EAUX USÉES SECONDAIRES

Paramètres physico-chimiques : L'abattement de la DBO est significatif, atteignant entre 80 et 95 %.^[1]

Les abattements pour l'azote et le phosphore varient de 25 à 30 %, avec une spécificité élevée atteignant entre 85 95 % pour l'azote sous forme ammoniacale.^[5]

Composition : Les abattements restent limités : jusqu'à 2 log pour les virus et bactéries (voire 3 log pour certaines souches), et 1 log pour les kystes de protozoaires et les helminthes.^[1]

Procédés de traitement supplémentaires possibles

L'effluent présente une turbidité réduite qui le rend apte à subir un traitement tertiaire.

Usages possibles

Pour des usages agricoles, les réglementations imposent généralement des seuils d'éléments pathogènes présents dans les eaux usées traitées correspondants à un niveau de traitement tertiaire. Toutefois, certaines modalités d'usages (modes d'irrigation, choix de des cultures...) permettent de réduire l'exposition au agents pathogènes, permettant d'envisager l'usage d'eaux usées de niveau secondaires. En outre, l'usage d'eaux usées traitées de niveau secondaires pour l'irrigation en agriculture se pratique de façon informelle dans de nombreuses régions du monde. L'enjeu du risque sanitaire est développé dans le [chapitre 2](#).

Traitements tertiaires

45

Irrigation des sols pour des usages agricoles

76

Irrigation des sols pour des usages non agricoles

78

Retour au grand cycle de l'eau

82

Boues secondaires, ou « boues biologiques », épaissies non hygiénisées**BE BIOLOGIQUES**

Siccité : Ces boues présentent une consistance liquide, avec une teneur en matière sèche comprise entre 1 et 5 %.^[1]

Composition : Elles sont également riches en matière organique, avec des taux de matières volatiles en suspension (MVS) pouvant varier de 50 à 80 %.^[4]

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Une portion des boues sera réintroduite dans le processus pour ensemer de nouveaux effluents primaires. Il s'agit de la **recirculation**.

Les boues excédentaires sont dirigées vers les « filières boues » de la station, pour y subir des traitements supplémentaires.

Épaississement, déshydratation, hygiénisation

55



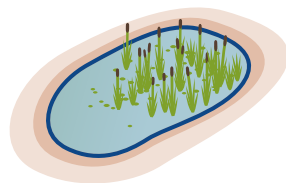
2.3 Traitements tertiaires

2.3.1 Lagune de maturation

PRODUITS ENTRANTS

Eaux usées secondaires

Eaux usées traitées niveau secondaire, (en particulier issues d'un lagunage secondaire)



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Les bassins sont moins profonds que les bassins de lagunage secondaires, variant généralement entre 1 et 1,5 mètres, avec un temps de séjour de 3 à 5 jours selon les conditions de température.^[5] Le traitement se réalise en particulier via une augmentation de la concentration en dioxygène dissous et du pH dans l'eau due à la photosynthèse des algues. L'irradiation solaire intervient également du fait de la faible profondeur du bassin combinée à la faible turbidité de l'effluent. L'intensité du rayonnement solaire et la durée d'exposition sont alors des paramètres clés pour l'abattement des pathogènes.

PRODUITS SORTANTS

Eaux usées traitées niveau tertiaire, pathogènes fortement réduits

Eaux usées tertiaires

Paramètres physico-chimiques : Pour l'azote, un abattement de 70 à 80 % est généralement observé, pouvant atteindre jusqu'à 90 % dans certaines conditions.^[5]

Le phosphore subit une réduction de 60 à 80 %, favorisée par la faible profondeur du bassin et l'obtention de pH élevés (>9).^[5]

Pathogènes : Des niveaux très élevés d'abattement sont constatés :

- Jusqu'à 5 log pour les bactéries,
- Jusqu'à 4 log pour les virus,
- Jusqu'à 2 log pour les protozoaires,
- Jusqu'à 2 log pour les helminthes, atteignant même jusqu'à 100 % dans le cas de conceptions spécifiquement axées sur l'élimination des helminthes et des protozoaires.^[1]

Ces performances permettent à l'effluent en sortie d'être utilisé directement pour certains usages de réutilisation selon les réglementations en vigueur.

Usages et débouchés possibles

Irrigation des sols pour des usages agricoles 76

Irrigation des sols pour des usages non agricoles 78

Usage des eaux pour les espaces urbains et l'industrie 91

Retour au grand cycle de l'eau 82

Boues primaires : boues d'épuration épaissies non hygiénisées

BE ÉPAISSIES NON-HYG

Les boues liquides sont extraites du bassin de lagunage à une fréquence d'environ 10 ans. Cependant cette durée est très variable selon les contextes.

Siccité : Les boues accumulées au fond des bassins présentent une siccité plus faible que celles extraites des bassins primaires et secondaires, estimée à environ 4 à 6 %.^[1]

Composition : Elles sont chargées en pathogènes, accumulés par sédimentation.

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Déshydratation 56

Hygiénisation 65

Macrophytes (jacinthes d'eau, lentilles d'eau...)

VÉGÉTAUX : MACROPHYTES

Les macrophytes (jacinthes d'eau, lentilles d'eau...) sont des plantes aquatiques qui se multiplient rapidement en surface des plans d'eau, notamment dans les bassins de maturation des lagunages.

Les jacinthes récoltées offrent une source de fibres pouvant être utilisées dans la fabrication de cordes, de textiles, de paniers, et autres produits. Les lentilles d'eau peuvent constituer une source d'alimentation animale, en particulier pour certains poissons herbivores.

Usages et débouchés possibles

Usage de produits ultimes
comme matière première 88

Usage du potentiel énergétique
des matières (Combustion de
produits de l'assainissement) 85

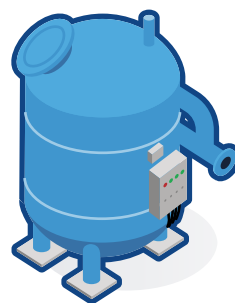
Usage de produits ultimes pour
l'alimentation animale 89

2.3.2 Filtration et adsorption sur sable ou matériaux filtrants

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES SECONDAIRES

Eaux usées traitées
niveau secondaire



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

La filtration lente consiste en l'écoulement lent ($2 \text{ à } 5 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$) gravitaire de l'effluent au travers d'un ou plusieurs massifs filtrants (en parallèle ou en série) qui peuvent avoir des compositions et granulométries variées.

La filtration peut s'effectuer au travers d'un filtrant granulaire, comme le sable ou le gravier. Les rendements peuvent être améliorés par l'ajout d'une étape de coagulation en amont, ou entre 2 étapes de filtration.

Si l'on utilise du charbon actif comme élément filtrant, le processus dominant est l'adsorption. Le charbon actif possède des propriétés d'adsorption très importantes, particulièrement efficaces pour les particules de taille très fine, allant de $0,5 \text{ à } 50 \text{ }\mu\text{m}$. D'une part, il agit comme une éponge pour ces substances polluantes, d'autre part un biofilm se forme à la surface du charbon et dégrade la pollution par des mécanismes biologiques. Ce double mécanisme en fait un choix fréquent en traitement tertiaire de finition pour éliminer une partie de la DCO réfractaire aux traitements biologiques secondaires, ainsi que de nombreux micropolluants organiques et inorganiques tels que les pesticides et les résidus médicamenteux.

PRODUITS SORTANTS

Eaux usées traitées niveau
tertiaire, pathogènes
fortement réduits

EAUX USÉES TERTIAIRES

Pathogènes : Un abattement de 3 log peut être considéré pour les bactéries, virus protozoaires et les helminthes.^[12]

Usages possibles

Irrigation des sols pour des
usages agricoles 76

Irrigation des sols pour des
usages non agricoles 78

Usage des eaux pour les espaces
urbains et l'industrie

91

Retour au grand cycle de l'eau

82

Boues issues du lavage des filtres/
matériaux

RETENTAT

Pathogènes : Les pathogènes retenus par les processus physiques (filtration et adsorption notamment) n'étant le plus souvent pas inactivés mais simplement retenus, il existe un risque important associés aux pathogènes qui ont été accumulés dans les filtres.

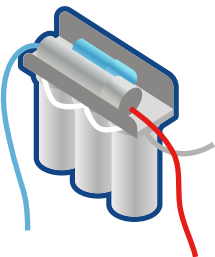
2.3.3 Filtration membranaire

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES SECONDAIRES

À TERTIAIRE

Effluent ayant subi un traitement
secondaire, voire une première étape
préalable de traitement tertiaire afin
d'éviter le colmatage des membranes.



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Ce processus implique le passage d'un effluent à travers un filtre composé d'une fine structure poreuse. Une membrane ou fibre se caractérise par son seuil de coupure, qui indique sa sélectivité ou son efficacité de séparation. Le passage de l'effluent au travers de la membrane se fait souvent sous pression pour les faibles seuils de coupure.

PRODUITS SORTANTS

Eaux usées traitées
niveau tertiaire
(jusqu'à déminéralisées)

EAUX USÉES TERTIAIRES

Pathogènes :

Cas d'une **microfiltration** : le seuil de coupure élevé, situé entre 0,1 et 10 µm, ce qui lui permet d'éliminer jusqu'à 5 à 6 log de bactéries, d'helminthes, de protozoaires et de colloïdes « grossiers », mais elle ne retient généralement pas les virus, sauf s'ils sont fixés sur les MES, avec un abattement pouvant atteindre jusqu'à 2 log.^[1]

Cas d'une **ultrafiltration** : Avec un seuil de coupure compris entre 10 nm et 1 µm, elle retient également les virus pour les seuils de

coupure les plus fins, jusqu'à 6 log, ainsi que les polymères et les protéines.^[1]

Cas d'une **nanofiltration** : L'ensemble des pathogènes (7 log) sont retenus, ainsi que les sels ionisés multivalents et les molécules de taille supérieure à 1 à 5 nm.^[1]

Cas d'une **osmose inverse** : Tous les ions et les molécules de taille supérieure sont retenus, assurant ainsi la rétention de l'ensemble des pathogènes (7 log).^[1]

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Reminéralisation

Usages possibles

Irrigation des sols pour des usages agricoles 76

Irrigation des sols pour des usages non agricoles 78

Usage des eaux pour les espaces urbains et l'industrie 91

Retour au grand cycle de l'eau 82

Boues issues du lavage des filtres/ matériaux

RETENTAT

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Retour à la file boues 55

Les eaux de lavage du filtre (rétenant) sont chargées en pathogènes retenus par mécanismes physiques de tamisage et majoritairement non inactivés. En fonction de leur destination (mise en dépôt ou valorisation), elles peuvent subir un traitement adapté.

Variante : Les bioréacteurs à membrane = traitement secondaire biologique + traitement secondaire membranaire

Ce procédé permet de réaliser conjointement un traitement secondaire et tertiaire.

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES PRIMAIRES

Eaux usées traitées niveau primaire :
Effluent ayant subi un traitement primaire

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Tout comme les procédés à boues activées, les cultures libres de microorganismes aérobies dans un bioréacteur participent à la dégradation de la matière organique et de l'azote. Cependant, au lieu de rejoindre un clarificateur, les effluents sont dirigés vers des membranes de microfiltration ou d'ultrafiltration, soit immergées dans le bioréacteur, soit situées à l'extérieur de celui-ci. Cette configuration permet également d'effectuer, outre la deuxième partie du traitement secondaire (clarification), un traitement tertiaire via le mécanisme de filtration de surface sur la membrane.

PRODUITS SORTANTS

Eaux usées traitées niveau tertiaire, pathogènes fortement réduits

EAUX USÉES TERTIAIRES

Pathogènes : Les effluents sont très peu chargés en pathogènes et des abattements très significatifs sont observés pour les protozoaires, les helminthes et les bactéries, attei-

gnant de 6 à 7 log. Pour les virus, un abattement notable allant jusqu'à 5,8 log est constaté, malgré leur taille parfois inférieure au seuil de coupure.^[1]

Usages possibles

- Irrigation des sols pour des usages agricoles 76
- Irrigation des sols pour des usages non agricoles 78
- Usage des eaux pour les espaces urbains et l'industrie 91
- Retour au grand cycle de l'eau 82

Boues issues du lavage des filtres/ matériaux RETENTAT

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Les boues sont chargées en pathogènes faiblement inactivés, et requièrent un traitement supplémentaire.^[1]

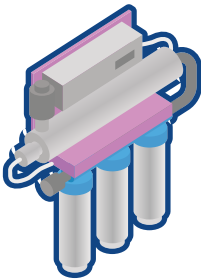
Retour à la file boues 55

2.3.4 Traitement Ultra-violet (UV)

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES SECONDAIRES

Eaux usées traitées niveau secondaire, mais qui doit présenter une faible turbidité



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Des lampes spécifiquement choisies pour leur longueur d'onde Ultra-Violet sont utilisées pour irradier les microorganismes. Le rayonnement UV présente un pouvoir bactéricide, virucide et algicide prononcé, permettant l'élimination directe des microorganismes en altérant leur métabolisme cellulaire, notamment leurs chaînes d'ADN et d'ARN.

Ces lampes, sous forme de tubes, sont placées dans une chambre d'irradiation, séparée de l'eau par des gaines en silice ou en quartz, à travers laquelle l'effluent à traiter circule.

Le rayonnement UV se mesure en micro watts.seconde/cm² (mW.s/cm²).

PRODUITS SORTANTS

Eaux usées traitées niveau
tertiaire (désinfectées)

EAUX USÉES TERTIAIRES

Pathogènes : L'irradiation UV est particulièrement efficace contre les bactéries et les virus mais la disparité de résistance entre les différentes souches est importante

Concernant les bactéries, une irradiation de 5 et 25 mW.s/cm² permet une réduction de 2 log,^[1] tandis qu'une irradiation de 90 et 140 mW.s/cm² permet d'atteindre une ré-

duction de 4 log.^[12] Les virus sont plus résistants, un abattement de 3 log nécessite une irradiation de 100 mW.s/cm², pouvant aller jusqu'à 180 mW.s/cm² pour les souches les plus résistantes (adénovirus).^[6] Les helminthes présentent en revanche une résistance au rayonnement UV.^[12]

Usages possibles

Irrigation des sols pour des usages agricoles 76

Irrigation des sols pour des usages non agricoles 78

Usage des eaux pour les espaces urbains et l'industrie 91

Retour au grand cycle de l'eau 82

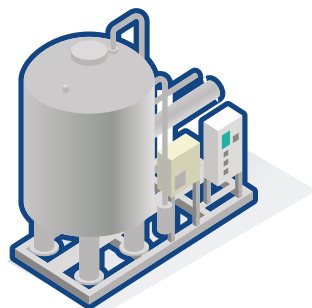
Ce procédé ne produit pas de sous-produits.

2.3.5 Ozonation

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES SECONDAIRES

Eaux usées traitées niveau
secondaire



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

L'ozone (O₃) est un gaz à la fois instable et odorant, généralement produit industriellement à l'aide d'un générateur d'ozone. Ce processus implique le passage de l'air ou de l'oxygène sec entre deux électrodes soumises à une différence de potentiel élevée, souvent autour de 15 000 volts.

PRODUITS SORTANTS

Eaux usées traitées niveau
tertiaire (désinfectées)

EAUX USÉES TERTIAIRES

Pathogènes : L'effluent traité peut être considéré comme hygiénisé, notamment en ce qui concerne les bactéries. Cependant, pour les autres pathogènes, cela dépend de leur concentration dans l'effluent à traiter.

Les abattements obtenus sont de 6 log pour les bactéries et les virus, 4 log pour les protozoaires et 3 log pour les helminthes.^[1]

Usages possibles

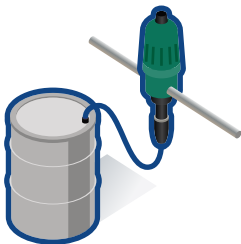
Irrigation des sols pour des usages agricoles	76
Irrigation des sols pour des usages non agricoles	78
Usage des eaux pour les espaces urbains et l'industrie	91
Retour au grand cycle de l'eau	82

Ce procédé ne produit pas de sous-produits.

2.3.6 Chloration

PRODUITS ENTRANTS

EAUX USÉES SECONDAIRES Effluent secondaire



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le chlore gazeux, le dioxyde de chlore et l'hypochlorite de sodium sont différents agents désinfectants chlorés utilisés dans le traitement de l'eau.

Le chlore gazeux (Cl_2), lorsqu'il se dissout dans l'eau, produit de l'acide hypochloreux, qui agit comme agent oxydant et empêche la croissance des bactéries et des protozoaires en altérant leurs membranes cellulaires.

Le dioxyde de chlore (ClO_2), fabriqué sur place à partir de chlorite de sodium et d'acide chlorhydrique, est plus sélectif dans son action et efficace contre une gamme plus large de pathogènes, y compris les spores, les bactéries et les virus. Il est également plus rapide dans son action et nécessite un temps de contact plus court.

L'hypochlorite de sodium (NaOCl), ou eau de Javel, est dilué dans l'eau pour former une solution désinfectante. Bien qu'il puisse être stocké, sa stabilité est limitée à deux mois maximum. L'hypochlorite de sodium peut être fabriqué sur place par électrolyse du sel, évitant ainsi les problématiques de transport et de stockage.

L'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$) est un solide blanc disponible sous différentes formes concentrées à 70 % (poudre, granulés, pastilles) ce qui peut présenter un avantage pour la réduction des risques, néanmoins il est toxique et irritant.

PRODUITS SORTANTS

Eaux usées traitées niveau tertiaire (désinfectées)

EAUX USÉES TERTIAIRES

Pathogènes : Les bactéries peuvent être considérées comme éliminées par l'action de la chloration, mais l'élimination des autres pathogènes dépend de leur concentration dans

l'effluent traité. Le taux de chloration doit être ajusté en fonction du niveau d'abattement désiré et du temps de contact nécessaire.

Les valeurs d'abattement de référence sont les suivantes : 6 log pour les bactéries, 3 log pour les virus, 1,5 à 3 log pour les protozoaires et 1 log pour les helminthes.^[12]

La performance du chlore Cl₂ est moindre voir négligeable sur les kystes de protozoaires, spores et certains virus qui présentent des enveloppes externes plus résistantes.^[7] Le dioxyde de chlore présente une efficacité plus importante que le chlore pour l'élimination des bactéries, des virus mais aussi des spores et kystes. Son action est également rapide : temps de contact 2 à 3 fois plus court que pour le chlore.^[8]

Les réactions d'oxydation pendant le processus de chloration peuvent générer des sous-produits. Il s'agit des THM (trihalométhanés) et les TOX (composés organiques totaux halogénés), qui sont présents dans l'effluent traité. Des études sont menées pour évaluer leurs propriétés toxiques et épidémiologiques, ainsi que leur impact sur la santé. Cependant, l'OMS estime que les risques pour la santé associés à ces sous-produits restent faibles par rapport à ceux résultant d'une désinfection insuffisante de l'eau.^[1]

Usages possibles

Irrigation des sols pour des usages agricoles 76

Irrigation des sols pour des usages non agricoles 78

Usage des eaux pour les espaces urbains et l'industrie 91

Retour au grand cycle de l'eau 82

Ce procédé ne produit pas de sous-produits.

Variante : Processus d'Oxydation Avancée (AOP)

Les processus d'oxydation avancée (AOP), encore en cours de développement, impliquent la combinaison de divers mécanismes ou procédés, tels que des réactions chimiques, l'utilisation d'UV et la cavitation (Formation de cavités gazeuses), dans le but de générer des oxydants plus réactifs. Contrairement aux méthodes traditionnelles de désinfection, les AOP ne ciblent pas uniquement les pathogènes, mais également les polluants et les micropolluants.

3.

Quels sont les produits sortants des procédés de traitement des boues d'épuration au sein des STEP et des boues de vidange au sein des STBV ?

Les procédés de traitement concernent :

1. Les boues d'épurations issues des procédés de traitement des eaux usées (développés dans la partie 3). Les procédés de traitement sont alors mis en œuvre au sein de stations d'épuration (STEP).

2. Les boues de vidange issues des équipements du maillon amont. Les procédés de traitement sont alors mis en œuvre au sein de stations de traitement des boues de vidanges (STBV)



3.1 Traitements primaires : épaissement

3.1.1 Bassin de sédimentation - épaissement

PRODUITS ENTRANTS

BV NON TRAITÉES

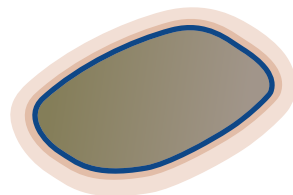
Boues de vidange non prétraitées
(provenant de systèmes à la parcelle)

BV ÉPAISSIES PART-DIG

Boues de vidange épaissies, partiellement digérées
(provenant de systèmes à la parcelle)

BE BIOLOGIQUES

Boues secondaires (biologiques) (provenant de procédés de traitement des eaux type boues activées)



DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

L'épaissement des boues vise à les rendre plus homogènes, partiellement stables, et à réduire leur teneur en humidité, facilitant ainsi leur déshydratation ultérieure et leur manipulation dans les processus de traitement suivants. Cette étape implique de laisser les boues s'épaissir sur une période allant d'une semaine à un mois. Deux bassins de décantation-épaissement sont généralement utilisés en parallèle ou en alternance pour cette opération.

PRODUITS SORTANTS

Les helminthes, ainsi qu'une partie des virus et des bactéries adsorbés aux particules, sont capturés dans les matières décantées épaissies,

tandis que les virus et les bactéries non adsorbés restent dans l'effluent en surface.^[1]

Boues d'épuration / de vidange homogénéisées, épaissies, non hygiénisées

BE/BV HOMOGÉNÉISÉES

EPAISSIES, NON-HYGIÉNISÉES

Siccité : Les boues restent liquides, avec une siccité inférieure à 10 %.

Composition : Ces procédés n'ont pas pour vocation première l'inactivation des pathogènes.

On observe une faible performance pour l'abattement de certains microorganismes, tels que les kystes de protozoaires (moins de 1 log). Pour les œufs d'helminthes, l'OMS retient une valeur de 3 log, mais cela dépend fortement du temps de séjour appliqué.^[1]

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Déshydratation

56

Hygiénisation

65

Eaux usées issues de procédés de traitement des boues d'épuration et de vidange, niveau primaire

EAUX USÉES PRIMAIRES

Ce traitement primaire permet l'abattement d'environ 50 à 60 % des MES présentes dans cet effluent.^[13] L'effluent (surnageant) évacué contient une charge significative de pathogènes et nécessite un traitement ultérieur.

Procédés de traitement supplémentaires possibles

STEP ou STBV : traitement secondaire

39



3.2 Traitements secondaires : stabilisation et déshydratation

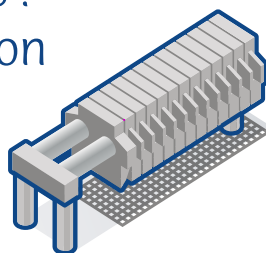
3.2.1 Déshydratation mécanique

PRODUITS ENTRANTS

BE/BV HOMOGÉNISÉES

EPAISSIES, NON-HYGIÉNISÉES

Boues d'épuration / de vidange homogénéisées, épaissies, non hygiénisées (provenant de bassins de sédimentation)



Au niveau de STEP, il est préférable que les boues d'épuration en provenance de traitement de type boues activées et leurs variantes, aient subi un épaississement préalable. En outre, la déshydratation mécanique, procédé consommateur d'énergie, est peu cohérente pour une application à des boues d'épuration issues de lagunes.

La déshydratation mécanique peut être envisagée pour des STBV traitant des volumes importants de boues de vidange. Il est préférable qu'elles aient alors subi un épaississement préalable.

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Ce processus implique la séparation de la phase solide et liquide afin d'augmenter la siccité des boues. Différentes technologies peuvent être utilisées à cet effet :

Filtres à plateaux : La boue épaissie est soumise à une forte pression par des vérins hydrauliques, entre deux plateaux filtrants, formant des gâteaux secs. Le procédé est répété par cycles

Filtres à bandes : La boue est compressée entre deux bandes filtrantes qui nécessitent un lavage fréquent pour maintenir leur porosité.

Filtre presses à vis : La vis tourne dans un cylindre perforé en comprimant progressivement la boue, formant un bouchon de boue déshydratée en sortie de vis.

Centrifugation : La centrifugation entraîne le liquide dans un mouvement rotatif rapide, poussant les boues à l'extérieur.

PRODUITS SORTANTS**Boues d'épuration/ de vidange déshydratées, partiellement stabilisées****BE/BV DÉSHYDRATÉES PART-STAB**

Siccité : Les niveaux de siccité atteints se situent entre 16 et 22 % pour une centrifugeuse, entre 14 et 18 % pour un filtre à bande, entre 30 et 35 % pour un filtre à plateaux, et entre 15 et 25 % pour les presses à vis.^[9]

Composition : Les boues déshydratées sont encore chargées en pathogènes, ces procédés de déshydratation mécanique n'ayant pas pour objectif de les éliminer.^[1]

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Hygiénisation

65

La déshydratation est utile pour préparer les boues à un traitement ultérieur d'hygiénisation. En effet, ce traitement supplémentaire est optimisé du fait de la réduction du volume de boues à traiter.

Eaux usées issues de procédés de traitement des boues d'épuration et de vidange, niveau primaire**EAUX USÉES PRIMAIRES**

Cette eau reste encore chargée en pathogènes et peut être renvoyée en tête de la station de traitement.

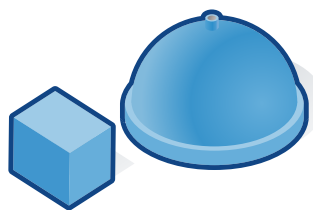
Procédés de traitement supplémentaires possibles

Traitements secondaires

39

3.2.2 Digesteur anaérobie**PRODUITS ENTRANTS****BV NON TRAITÉES****Boues de vidange non prétraitées**
(provenant de systèmes à la parcelle)**BE ÉPAISSIES NON-HYG****Boues d'épuration : épaissies non hygiénisées**
(provenant de lagunes)**BE/BV HOMOGÉNÉISÉES****Boues d'épuration/de vidange homogénéisées, épaissies non hygiénisées** (provenant de bassin de sédimentation)

ÉPAISSIES, NON-HYGIÉNISÉES



Les boues d'épuration ou de vidange doivent être « fraîches » et non stabilisées, avec un taux de MVS élevé. Ainsi, il n'est pas judicieux de réaliser une digestion de boues de vidange prétraitées (qui ont déjà subi une digestion partielle).

En revanche, que ce soit pour les boues de vidange ou les boues d'épuration, un épaississement préalable est préférable, afin d'assurer une concentration en matières sèches de 40 à 50 g/L.^[10]

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

La méthanisation consiste à créer dans un réacteur, appelé digesteur, les conditions favorables à dégradation anaérobie (en l'absence d'oxygène) par des micro-organismes, produisant un digestat (produit humide, riche en matière organique partiellement stabilisée) et du biogaz (mélange gazeux saturé en eau).

Les digesteurs anaérobies peuvent être sophistiqués, avec un brassage mécanique et un dispositif de chauffage maintenant des conditions thermophiles ($> 50-55\text{ }^{\circ}\text{C}$) pour un séjour prolongé.

Ils peuvent également être de petite taille et ne pas faire intervenir de brassage ni de chauffage externe, restant ainsi à température ambiante. Le processus reste alors mésophile (environ $35\text{ }^{\circ}\text{C}$).^[9]

Deux configurations principales de digesteurs sont utilisées :

➤ **La configuration à dôme fixe** maintient un volume constant de boues dans le réacteur. Lorsque du gaz est produit, il exerce une pression, poussant les boues vers une fosse d'expansion. Une fois que le gaz est retiré, les boues retournent au réacteur. Cette configuration, communément appelée digesteur hydraulique chinois, a été développée dans de nombreux pays asiatiques et africains, notamment au Népal, en Inde, au Kenya, au Nigeria, en Ouganda, en Tanzanie et au Ghana

➤ **La configuration à dôme flottant**, quant à elle, voit le dôme monter et descendre avec la génération et la récupération du gaz. Dans certaines configurations, il peut également se dilater, similaire à un ballon. Ce type de digesteur a été développé principalement en Thaïlande et en Inde.

POUR EN SAVOIR + :

- [Comprehensive Overview of Biogas for Sanitation Options – Training of Trainers](#), PM Umwelt-Projekt-Management GmbH (UPM), UPM (2021)
- [La valorisation des déchets ménagers organiques et des boues de vidange de fosses septiques par digestion anaérobie](#), International Journal of Innovation and Scientific Research, Ukondalemba et al. (2016)
- [La digestion des boues de station d'épuration : état de l'art et paramètres clés](#), INRAE, Falipou et al. (2020)



Co-méthanisation externe

Le producteur de boues peut disposer d'un méthaniseur au niveau de la station et utiliser ainsi l'énergie pour les besoins internes et/ou en revendre une partie à des gestionnaires d'énergie. Il est également possible d'évacuer ses boues vers une installation tierce pour une co-méthanisation avec d'autres déchets. La co-méthanisation est intéressante car les boues d'épuration ont en moyenne un potentiel méthanogène moins élevé que les autres substrats organiques comme les restes de nourritures, les déchets végétaux ou les lisiers.^[1]

PRODUITS SORTANTS

Boues d'épuration/de vidange digérées (digestat) : déshydratées, stabilisées, partiellement hygiénisées

BE/BV DIGÉRÉES PART-HYG

Le digestat est biologiquement stabilisé et partiellement hygiénisé, il est encore chargé en pathogènes, en particulier en cas d'absence de traitement thermophile.

Les performances de la digestion anaérobie sur les microorganismes dépendent du temps de séjour dans le réacteur, ainsi que des températures atteintes dans le réacteur : conditions mésophiles (aux alentours de 35 °C) ou thermophiles (50 à 55 °C).

Les conditions thermophiles permettent un abattement des bactéries toujours supérieur à 3,5 log et peut dépasser 7 log pour un temps de séjour relativement courts (entre 4 et 20 jours).^[11]

En conditions mésophiles, un temps de séjour plus important (entre 30 et 60 jours) est nécessaire pour atteindre un abattement de 5 log.^[12]

Les conditions thermophiles permettent également un meilleur abattement des virus (>3 log).^[11]

En revanche, qu'elle soit mésophile ou thermophile, la digestion anaérobie n'affecte pas ou très peu certaines souches de bactéries (dites sporulées) ainsi que les kystes de protozoaires.^[11]

Concernant la réduction des œufs d'helminthe, une inactivation moyenne de 0,5 log peut être considérée.^{[21][5]}

Usages possibles

Durant la digestion anaérobie, l'azote minéralisé est en grande partie converti en ammonium (40 à 70 %) qui est directement disponible pour les plantes. Le digestat présente une valeur agronomique plus importante que des boues fraîches car l'azote est plus rapidement disponible pour les végétaux.^[5] Le digestat peut être valorisé en tant qu'amendement agricole, après un traitement complémentaire d'hygiénisation et stabilisation.

Amendement des sols pour des usages agricoles

76

Amendement des sols pour des usages non agricoles

78

Restauration des sols

84

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Si le digestat est déshydraté en sortie de digestion anaérobie, alors une grande partie de l'azote sera éliminé avec le lixiviat et leur teneur en élément fertilisant sera diminuée (Gay, 2002).

Dans l'optique d'un traitement ultérieur, la digestion des boues présente l'avantage de diminuer les quantités de boues à prendre en charge.

La digestion peut réduire le pouvoir calorifique des boues et les rendre moins auto-combustibles.

Hygiénisation

65

BIOGAZ

Le biogaz est composé principalement de méthane 50 à 70 % et de dioxyde de carbone de 30 à 40 %, avec des traces de gaz comme le sulfure d'hydrogène (H_2S).

Le biogaz peut être utilisé pour la production de chaleur et d'électricité pour une utilisation au niveau de la STEP/STBV ou bien pour une exportation.

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Purification

Selon la filière de valorisation, le biogaz doit subir un **traitement de purification** plus ou moins poussé pour purifier le gaz, notamment en éliminant le sulfure d'hydrogène (H_2S), car ce gaz se transforme en dioxyde de soufre (SO_2) lors de la combustion des matières et peut être corrosif. Ce processus de purification implique souvent la condensation de l'eau et la désulfuration.

Usages possibles

Usages du potentiel énergétique des matières (biogaz) pour la cuisson, le chauffage, la production d'électricité...

85

Variante : Réacteur anaérobie compartimenté (RAC)

Il comporte une série de cloisons à travers lesquelles les eaux usées sont contraintes de passer.

Variante : Le digesteur anaérobie à lit de boues à flux ascendant (Réacteur UASB)

Les eaux usées y pénètrent par le bas et remontent vers le haut.

3.2.3 Lits de séchage

PRODUITS ENTRANTS

BV NON TRAITÉES

Boues de vidange non prétraitées
(provenant de systèmes à la parcelle)

BV ÉPAISSIES PART-DIG

Boues de vidange épaissies, partiellement digérées (provenant de systèmes à la parcelle)

BE ÉPAISSIES NON-HYG

Boues d'épuration : épaissies non hygiénisées
(provenant de procédés de traitement des eaux de type lagunes)

BE/BV HOMOGÉNISÉES

Boues d'épuration/de vidange homogénéisées, épaissies, non hygiénisées (provenant de bassin de sédimentation)

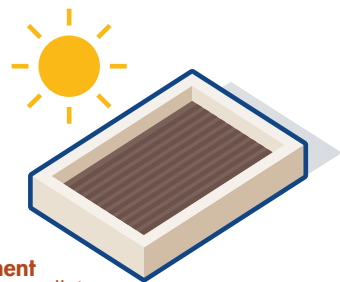
EPAISSIES, NON-HYGIÉNISÉES

BE/BV DÉSHYDRATÉES PART-STAB

Boues d'épuration/de vidange déshydratées, partiellement stabilisées (provenant d'une déshydratation mécanique)

BE/BV DIGÉRÉES PART-HYG

Boues d'épuration/de vidange digérées : stabilisées, partiellement hygiénisées (provenant de digesteurs)



Les boues d'épuration ou vidange doivent de préférence avoir subi un traitement primaire (épaississement voire déshydratation) visant à réduire leur volume afin de les homogénéiser et de réduire l'emprise du lit de séchage.

Cela est moins nécessaire pour les boues issues de lagunes, qui sont plus concentrées.

Les lits de séchage peuvent toutefois être alimentés avec des boues d'épuration ou de vidange non épaissies. Ainsi, les lits de séchage acceptent tous types de boues. Un dégrillage reste nécessaire.

Si un chaulage doit être effectué, cela se réalise plutôt par la suite.

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Trois types de lits de séchages sont couramment utilisés.

◀ Lits de séchage non plantés

Les boues sont disposées sur un lit de sable recouvert d'une couche de gravier, sur un substrat étanche en béton ou en maçonnerie. Elles en sont retirées une fois qu'elles ont atteint la teneur en solides souhaitée.

◀ Lits de séchage solaires couverts

Dans des serres, les lits de séchage sont ventilés naturellement ou mécaniquement et les boues sont régulièrement retournées. Étant donné que les parois de la serre bloquent les UV, ces derniers ne participent pas au processus de désinfection, qui dépend alors des mécanismes de déshydratation, de dessiccation

et d'augmentation de température. La serre permet également d'empêcher la pluie de pénétrer et de réhumidifier ainsi les boues.

◀ Lits de séchage plantés

Outre l'évaporation, le processus de dessèchement est favorisé par l'évapotranspiration des plantes et le système racinaire des plantes maintient une bonne perméabilité dans la couche de boues et un milieu propice à la dégradation des polluants par des bactéries, améliorant ainsi la réduction du volume des boues. Les lits fonctionnent en continu plutôt qu'en mode par lots, ce qui signifie que les boues sont constamment déposées sur les lits par bûchée.

PRODUITS SORTANTS

Boues d'épuration/de vidange séchées, partiellement hygiénisées

BE/BV SÉCHÉES PART-HYG

Siccité : Le temps nécessaire à une augmentation de la siccité et un abattement des pathogènes significatifs, dépend des caractéristiques propres des boues ainsi que des conditions climatiques locales.^[9] Pour atteindre des siccités de l'ordre de 15 à 30 %, un temps de séjour de 4 à 15 jours est nécessaire dans les climats chauds et arides ; et de 15 à 30 jours dans les climats tempérés et humides.^[9]

- Lits de séchage solaires couverts : Des niveaux de siccité équivalents sont atteints plus rapidement, mais la réduction des pathogènes est moindre du fait de l'absence d'action des UV.
- Lits de séchage plantés : La siccité des boues varie entre 25 et 55 %, selon le climat et les caractéristiques des matières entrantes.^{[18] [19]}

Procédés de traitement supplémentaires et destinations possibles

En fonction de l'abattement des pathogènes qui a pu être atteint, qui dépend en particulier du temps de séjour des boues sur les lits, un traitement supplémentaire d'hygiénisation peut être nécessaire.

Le séchage permet l'augmentation de la siccité et la réduction des volumes, facilitant la logistique de transport pour des traitements supplémentaires (séchage thermique, co-compostage) ou pour une évacuation en décharge ou une incinération.

Usages possibles

Une utilisation directe comme amendement des sols agricoles est envisageable dans le cas d'un séchage prolongé permettant l'élimination des pathogènes.

Pathogènes : Les procédés de traitement ne sont pas spécifiquement conçus dans cet objectif.

Les bactéries subissent une inactivation partielle jusqu'à 4 log,^[20] mais le plus souvent inférieure à 1 log, et peuvent redevenir actives en cas de réhydratation.

Les virus peuvent subir une réduction allant jusqu'à 2 log.^[20]

Les protozoaires, sensibles à la chaleur et à la dessiccation, sont éliminés. L'influence des paramètres temps/température est notable : à des températures entre 5 et 20 °C, il faut entre 1 et 6 mois pour une élimination totale.

Selon l'OMS, une inactivation de 0,5 log des œufs d'helminthe nécessite un temps de séjour de 0,3 à 0,6 mois.

Hygiénisation 65

Incinération 67

Mise en décharge 93

Amendement des sols pour des usages agricoles 76

Amendement des sols pour des usages non agricoles 78

Restauration des sols 84

Eaux usées issues des procédés de traitement des boues d'épuration ou de vidange (percolât)

EAUX USÉES

L'effluent a subi un traitement significatif mais est encore chargé en pathogènes.

Paramètres physico-chimique : Plusieurs études ont révélé que l'élimination des matières solides ainsi que la réduction de la DCO et de la concentration en azote sont généralement insuffisantes pour permettre un rejet dans un cours d'eau. L'abattement de la DBO et DCO est amélioré en cas de lit planté.^{[18] [19] [20]}

Pathogènes : Une réduction significative des pathogènes, notamment des helminthes et des protozoaires, est observée. Cependant, ces résultats dépendent de la conception du lit et du massif filtrant, de la nature des matières entrantes, ainsi que des paramètres d'exploitation du procédé.^{[9] [19] [20]}

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Traitements secondaires, voire primaires si retour en tête

39

3.2.4 Stabilisation à la chaux : traitement alcalin

PRODUITS ENTRANTS

BV NON TRAITÉES

Boues de vidange non prétraitées (provenant de systèmes à la parcelle)

BV ÉPAISSIES PART-DIG

Boues de vidange épaissies, partiellement digérées (provenant de systèmes à la parcelle)

BE ÉPAISSIES NON-HYG

Boues d'épuration : épaissies non hygiénisées (provenant de procédés de traitement des eaux de type lagunes)

BE/BV HOMOGENÉISÉES

Boues d'épuration/de vidange homogénéisées, épaissies, non hygiénisées (provenant de bassin de sédimentation)

ÉPAISSIES, NON-HYGIÉNISÉES

BE/BV DÉSHYDRATÉES PART-STAB

Boues d'épuration/de vidange déshydratées, partiellement stabilisées (provenant d'une déshydratation mécanique)

BE/BV DIGÉRÉES PART-HYG

Boues d'épuration/de vidange digérées : stabilisées, partiellement hygiénisées (provenant de digesteurs)

Les matières peuvent être brutes ou avoir subi préalablement un traitement d'épaississement ou une déshydratation. Tout les types de boues peuvent être chaulés.

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

L'ajout de chaux augmente le pH à 12, inhibant l'activité biologique, éliminant les pathogènes et améliorant la viscosité et les propriétés physiques des boues.

Dans les STEP, le chaulage peut être effectué après le traitement d'épaississement et de déshydratation ou bien en amont pour améliorer l'efficacité de la déshydratation. Pour les matières déjà déshydratées, plus épaisses et moins humides, l'utilisation de broyeurs ou de malaxeurs est nécessaire pour un mélange efficace avec la chaux.



Dans le cas de systèmes d'assainissement avec collecte de boues de vidange acheminées vers une STBV, la chaux peut être ajoutée directement dans le camion vidangeur. Elle peut également être introduite sur le terrain qui reçoit les boues pour épandage.

PRODUITS SORTANTS

Boues chaulées : stabilisées,
partiellement hygiénisées

BE/BV CHAULÉES

Composition : Les bactéries sont totalement éliminées.

L'abattement pour les virus est de 4 log à 6 log selon le type de virus.

L'impact sur les œufs d'helminthes est faible ou inexistant.^[9]

L'utilisation de chaux vive permet l'abattement total des pathogènes par augmentation de la température, y compris les protozoaires et les helminthes, mais peut être dangereuse.

Les matières obtenues ont un pH élevé supérieur à 8.

Usages possibles

Le processus de chaulage des boues contribue à réduire la quantité de métaux lourds solubles, et ainsi à réduire la quantité qui sera en contact avec la terre et disponible pour les plantes.

Etant donné le pH élevé, les boues sont plus adaptées aux sols acides et doivent être évitées sur les sols déjà alcalins (pH supérieur à 7). De plus, elles sont généralement moins riches en azote que d'autres types de boues car une partie de l'azote est convertie en ammoniac pendant le traitement.

Amendement des sols pour des
usages agricoles

76

Amendement des sols pour des
usages non agricoles

78

Procédés de traitement supplémentaires possibles

Afin d'assurer une élimination de l'ensemble de la charge pathogène, le traitement alcalin peut être suivi d'un traitement visant plus spécifiquement les helminthes et protozoaires, par exemple le séchage pour des matières non déshydratées, et/ou le stockage prolongé pour des matières déjà déshydratées.

Hygiénisation

65

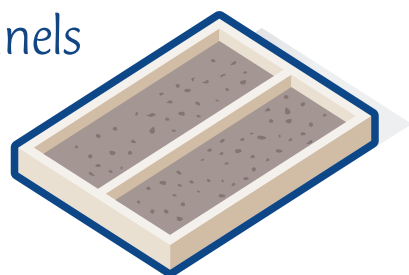
Lixiviats

Eaux usées

Le chaulage a pour effet un égouttage significatif, il est donc essentiel de mettre en place des mesures pour collecter et évacuer ces lixiviats.



3.3 Traitements additionnels d'hygiénisation



3.3.1 Stockage prolongé

PRODUITS ENTRANTS

BE/BV DÉSHYDRATÉES PART-STAB

Boues d'épuration/de vidange déshydratées, partiellement stabilisées (provenant d'une déshydratation mécanique)

BE/BV SÉCHÉES PART-HYG

Boues d'épuration/de vidange séchées, partiellement hygiénisées (provenant de lits de séchage)

BE/BV CHAULÉES

Boues chaulées : stabilisées, partiellement hygiénisées

Les boues doivent préférentiellement avoir subi un premier traitement de déshydratation, afin de réduire l'emprise des ouvrages. Si les boues ont été digérées, il est préférable qu'elles aient ensuite été déshydratées.

Il n'y a pas d'intérêt à leur avoir fait subir au préalable un séchage sur lits ou bien un chaulage. Cependant, le stockage prolongé est souvent utilisé pour affiner l'hygiénisation suite à ces procédés, tout en s'adaptant à la temporalité des besoins de la filière de valorisation.

À noter que le stockage prolongé, réalisé à la parcelle, de boues séchées issues de systèmes à double fosses, permet de poursuivre leur hygiénisation.

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Durant le stockage, il ne doit pas être apporté de matière fécale fraîche et le site de stockage doit être protégé de l'intrusion d'eau extérieure. Un système de drainage doit être mis en place pour collecter les lixiviats.

PRODUITS SORTANTS

Boues d'épuration/de vidange séchées, hygiénisées

BE/BV SÉCHÉES HYG

Siccité : Les produits résultants sont des solides compacts, parfois secs, avec une teneur en matières sèches dépassant souvent 85 %, ^[1] et

peuvent être partiellement ou entièrement hygiénisés et biologiquement stabilisés.

Composition :

Un objectif d’abattement de 6 log des pathogènes (bactéries, virus, protozoaires, helminthes) nécessite une durée de stockage qui dépend des conditions climatiques :

- Température ambiante 2-20 °C : un stockage d’environ 1,5 à 2 ans est nécessaire.
- Températures ambiantes comprises entre 20 et 35 °C : une durée de stockage d’un an suffit.

Cependant, une re-croissance de certaines souches est possible en cas de réhumidification. Les virus et protozoaires sont réduits en dessous des niveaux à risque, mais certains œufs d’helminthe peuvent résister.^[12]

Usages possibles

Amendement des sols pour des usages agricoles76

Amendement des sols pour des usages non agricoles78

Destination possible

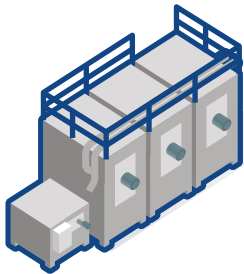
Incineration67

3.3.2 Séchage thermique

PRODUITS ENTRANTS

BE/BV DÉSHYDRATÉES PART-STAB

Boues d’épuration/de vidange déshydratées, partiellement stabilisées (provenant d’une déshydratation mécanique)



Les conditions d’acceptation des boues au sein d’un incinérateur requièrent qu’elles aient été séchées. Toutefois, il n’y a pas d’intérêt à ce qu’un traitement d’hygiénisation ait été appliqué. La nécessité d’une fiabilité de la qualité des boues implique que les boues de vidanges sont peu adaptées.

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Les boues sont exposées à des températures élevées, généralement supérieures à 50 °C, dans des séchoirs spécialisés.

PRODUITS SORTANTS

Boues d’épuration/de vidange séchées, hygiénisées

BE/BV SÉCHÉES HYG

Siccité : La teneur en matières sèches des boues séchées sortantes se situe généralement entre 90 et 95 %.

Composition : Les pathogènes sont entièrement éliminés si les températures sont maintenues suffisamment longtemps et de manière uniforme dans les boues. Par exemple, une heure à 60 °C, une journée à 50 °C et une semaine à 45 °C sont nécessaires.^[21]

Usages possibles

Amendement des sols pour des usages agricoles 76

Amendement des sols pour des usages non agricoles 78

Restauration des sols 84

Usages du potentiel énergétique des matières (combustion des matières) 85

Les produits sortants peuvent être utilisés comme combustible solide en raison de leur fort pouvoir calorifique.

Destination possible

Incinération 67

3.3.3 Incinération

PRODUITS ENTRANTS

BE SÉCHÉES PART-HYG

Boues d'épuration partiellement hygiénisées
(provenant de lits de séchage)



Une siccité minimale de 60 à 80 % est recommandée,^[7] les boues doivent donc être séchées. L'incinération est plutôt adaptée dans le cas de boues issues de STEP.

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Les boues sont brûlées, ce qui entraîne l'élimination totale de l'eau interstitielle et la destruction des matières organiques par leur combustion en présence d'oxygène.

Le producteur de boues peut disposer d'un incinérateur au niveau de la station. Le mono-incinérateur est coûteux en investissement et en fonctionnement et est complexe à exploiter. Ces inconvénients peuvent être compensés par une possible rentabilité énergétique par l'utilisation du pouvoir calorifique des boues.

i Co-incinération externe

Le responsable du système d'assainissement peut également évacuer ses boues vers une installation tierce pour une co-incinération avec d'autres déchets.

i Incinération en cimenterie

La valorisation des boues d'épuration par co-incinération peut être envisagée dans les domaines de la fabrication de ciment, surtout pour les boues contaminées. Les boues destinées à cette voie de valorisation doivent avoir une valeur calorifique importante, de 10 à 12 MJ/kg. Pour cette raison, seules les boues de siccité élevée sont utilisées dans cette technique.^[26]

PRODUITS SORTANTS

CENDRES

Dépourvues de toute présence d'agents pathogènes après exposition à des températures supérieures à 80 °C,^[21] ces boues peuvent ce-

pendant contenir des substances toxiques telles que les métaux lourds ou leurs oxydes.

Usages possibles

Des niveaux significatifs de potassium et de phosphore sont présents, ce qui en fait un engrais agricole sans risque sanitaire et un conditionneur de sol viable.

En raison de sa forte porosité, la cendre peut servir de matériau filtrant lors du traitement de l'eau, en éliminant les polluants de l'eau par adsorption.

- Amendement des sols pour des usages agricoles 76
- Amendement des sols pour des usages non agricoles 78
- Restauration des sols 84
- Usage de produits ultimes comme matière première 88

ÉNERGIE THERMIQUE

Usages possibles

- Usages du potentiel énergétique des matières (combustion des matières) 85

FUMÉES

Les fumées doivent être traitées pour réduire leur impact environnemental.

CIMENT

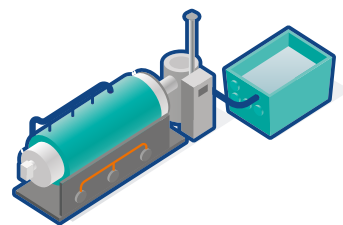
Dans le cas d'une incinération dans un four à cimenterie, les boues sont incorporées au produit final.

3.3.4 Pyrolyse lente

PRODUITS ENTRANTS

BE/BV SÉCHÉES PART-HYG

Boues d'épuration/de vidange
séchées, partiellement hygiénisées
(provenant de lits de séchage)



Une siccité minimale de 60 à 80 % est recommandée ; les boues d'épuration ou de vidange doivent donc être séchées.

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

La pyrolyse est un procédé permettant de dégrader un composé organique par une élévation de la température dans une atmosphère pauvre en oxygène. La pyrolyse, dite "flash" (menée entre 500 °C et 650 °C), maximise la production de gaz et minimise la production de biochar (les caractéristiques de ce produit sont définies ci-dessous). Lorsque les températures atteignent 900 °C à 1 000 °C, on parle de gazéification, permettant d'obtenir du gaz de synthèse contenant principalement du CO (Monoxyde de carbone), de l'H₂ (Hydrogène) et du méthane en faible proportion.

La pyrolyse lente se déroule en l'absence d'oxygène avec un temps de rétention mesuré en heures, et requiert une température d'au moins 200 °C. Le bon équilibre entre siccité et température permet au système d'être potentiellement autosuffisant en énergie. La pyrolyse à basse température génère des volumes plus importants de biochar, un charbon dur, poreux et hautement hygiénisé. Pour optimiser le rendement et l'énergie intrinsèque du biochar produit, la température de chauffage idéale se situe autour de 300 °C.

POUR EN SAVOIR + :

- [To char or not to char? Review of technologies to produce solid fuels for resource recovery from faecal sludge](#), Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development, Andriessen et al. (2019)
- [Faecal matter-saw dust composite briquette and pellet fuels: production and characteristics](#), WEDC Conference Proceedings, Nyaanga et al. (2018)

PRODUITS SORTANTS

BIOCHAR

Le biochar produit est un matériau hygiénisé, hautement poreux.^[9]

Usages possibles

Le biochar n'est pas un fertilisant mais il facilite et accélère les réactions chimiques souterraines. Il en découle une meilleure activité des micro-organismes et des bactéries fixatrices d'azote et, par conséquent, une meilleure fertilité du sol.

Amendement des sols pour des
usages agricoles 76

Amendement des sols pour des
usages non agricoles 78

Restauration des sols 84

Usage de produits ultimes
comme matière première 88

LIQUIDE HUILEUX

La phase liquide est constituée d'un mélange d'hydrocarbures et d'eau. Les huiles issues de la pyrolyse peuvent potentiellement être utilisées en tant que combustible dans les chaudières industrielles, par exemple, en substitution aux combustibles élaborés à partir du pétrole.

Usages possibles

Usages du potentiel énergétique des matières (combustion des matières)

85

BIOGAZ

Les fractions gazeuses et liquides peuvent être utilisées pour maintenir la température de chauffage du réacteur et sécher la matière première de la pyrolyse et ainsi assurer un bilan énergétique positif.

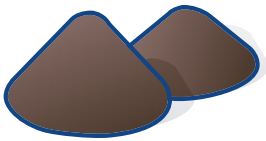
Usages possibles

Usages du potentiel énergétique des matières (biogaz)

85

3.3.5 Co-compostage

PRODUITS ENTRANTS



BV SÉCHÉES PART-HYG	Boues de vidange séchées, hygiénisation significative, (systèmes à double fosses permettant un stockage prolongé, avec ou sans séparation d'urines)
BE/BV DIGÉRÉES PART-HYG	Boues d'épuration/boues de vidange digérées : partiellement déshydratées, stabilisées, partiellement hygiénisées
BE/BV DÉSHYDRATÉES STAB	Boues d'épuration/de vidange déshydratées, stabilisées (provenant d'une déshydratation mécanique)
BE/BV SÉCHÉES PART-HYG	Boues d'épuration / de vidange séchées, partiellement hygiénisées (provenant de lits de séchage)

Les boues d'épuration de vidange doivent être au moins déshydratées, voire séchées. Il n'y a pas d'intérêt à avoir fait subir aux boues un traitement de chaulage préalable.

Si les boues ont été digérées, il est préférable qu'elles aient ensuite subi un traitement de déshydratation/séchage.

DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le compostage constitue un procédé de traitement par fermentation aérobie (en présence d'oxygène). Les matières sont stockées (à l'air libre, sous forme de tas, en andains), laissées au repos suffisamment longtemps pour que les processus biologiques conduisent à une augmentation de la température assurant un abattement des pathogènes, mais brassées régulièrement pour maintenir des conditions aérobies.

La composition des boues (trop riches en eau et présentant un ratio carbone/azote trop faible) ne permet pas de les composter seules. Elles doivent être mélangées avec des déchets verts ou avec des biodéchets ménagers ou in-

dustriels. Des matériaux carbonés fibreux à faible teneur en humidité, tels que la paille de céréales, les déchets de coton, les copeaux de bois, les feuilles, les cosses de fruits ou la sciure de bois peuvent également être utilisés.

POUR EN SAVOIR + :

- [Co-composting of Solid Waste and Fecal Sludge for Nutrient and Organic Matter Recovery](#), International Water Management Institute (IWMI), Cofie et al. (2016)
- [Guide de traitement et de valorisation agricole – Boues issues des dispositifs d'épuration en milieu rural marocain](#), Programme AGIRE – Ministère de l'Équipement et de l'Eau (Maroc), Khiyati (2019)

Co-compostage externe

Il peut être difficile pour le gestionnaire de la station de traitement (STEP ou STBV) d'assurer un co-compostage directement sur site. Le compostage constitue une filière d'évacuation de son point de vue, c'est le gestionnaire de la plateforme de compostage qui en assurera la valorisation.

PRODUITS SORTANTS

COMPOST

Composition : Le compostage peut permettre d'atteindre un abattement allant jusqu'à 7 log pour les quatre types de pathogènes, bactéries, virus, protozoaires et helminthes. Le produit est alors un compost hygiénisé et stabilisé.

Cependant, ces performances nécessitent des conditions strictes et maîtrisées : Le rapport entre la teneur de carbone et d'azote (rapport C/N) doit se situer entre 25 et 30, la teneur en eau être supérieure à 50 %, la teneur en oxygène supérieure à 5 % et le pH compris entre 6,5 et 8, et ceci de manière homogène

dans l'ensemble des matières. La température est un paramètre particulièrement important. L'OMS recommande d'atteindre des températures de 55°-60°C de manière homogène dans la matière durant 1 mois, suivi d'une période de maturation de 2 à 4 mois.

En dehors de ces conditions, il n'est pas possible de garantir la qualité du compost obtenu. Ainsi, l'efficacité d'un compostage peut être remis en question si les capacités techniques ne permettent pas de garantir ces conditions.^[13]

Usages possibles

Le compost peut être valorisé en tant qu'amendement organique améliorant la structure et la fertilité des sols. C'est sa propriété de conditionneur de sol qui est particulièrement intéressante. Tous les éléments nutritifs du compost ne sont pas immédiatement disponibles pour la plante la première année d'application, ainsi ses propriétés fertilisantes sont moins intéressantes.^[14]

Amendement des sols pour des usages agricoles

76

Amendement des sols pour des usages non agricoles

78

Restauration des sols

84

Hautement enrichis en azote, avec des concentrations similaires à l'urine, ces effluents présentent également une charge significative en agents pathogènes.

Procédés de traitement et destination possibles

Traitements secondaires

39

Variante : Vermicompostage

Le vermicompostage, évoqué plus haut à l'échelle de toilettes domestiques, peut également être envisagé au niveau d'une station de traitement.

L'introduction de vers de terre dans les matières à traiter, permet une accélération du processus, mais implique l'impossibilité d'atteindre des températures élevées, au risque de nuire aux vers.

L'abattement des pathogènes est limité en l'absence de phase thermophile. Le lombricompost obtenu ne peut être considéré comme hygiénisé. Cependant, il reste riche en nutriments tels que l'azote, le phosphore et le potassium.^[15]

Les larves de la mouche soldat noire, *Hermetia illucens*, peuvent également être utilisées à la place des vers.^[25]

PRODUITS SORTANTS

LARVES, VERS

En plus du compost, les larves ou vers sont valorisables car ils présentent une valeur nutritionnelle.

Usages possibles

Usage des eaux et produits ultimes
pour l'élevage ou l'aquaculture

89

POUR EN SAVOIR + :**● Ressources et bibliographie pour ce chapitre**

- [1] - C. Rose, A. Parker, B. Jefferson et E. Cartmell, «The Characterization of Feces and Urine: A Review of the Literature to Inform Advanced Treatment Technology,» *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 17, p. 1827-1879, 2015.
- [2] - T. M. P. Martin, F. Esculier, F. Levavasseur et S. Houot, «Human urine-based fertilizers: A review,» *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 52, n° 16, p. 890-936, 2020.
- [3] - A. Austin, «Health Aspects of Ecological Sanitation,» chez First International Conference on Ecological Sanitation: Conference Report, Nanning, China, 2002.
- [4] - P. OMS, *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: Volume II – Wastewater use in agriculture*, OMS, 2006.
- [5] - D. Mara, *The design of Pour-Flush-Latrines*, PNUD IRBD / The World Bank, 1985.
- [6] - K. Tayler, *Le Traitement des boues de vidange : Un guide pour les pays à revenus faibles et intermédiaires* (Édition française 2020), Practical Action Publishing, 2018.
- [7] - A. Meunier, S. Guillaume, S. Besnault, M. Boissel et R. Lombard Latune, «Etat des lieux de l'abattement sur les microorganismes pathogènes par les différents procédés de traitements des produits et sous-produits de l'assainissement,» INRAE, 2025.
- [8] - J.-P. Canler et J.-M. Perret, *La réduction de boues par voie biologique par le procédé MycET – Document de Synthèse*, IRSTEA, 2013.
- [9] - OMS, *Directives OMS pour l'utilisation sans risques des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, Volume 2 : Utilisation des eaux usées en agriculture*, OMS, 2012.
- [10] - M. Von Sperling, L. Chernicharo et C. Augusto, *Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions, Vol. 1*, IWA Publishing, 2006.
- [11] - J. Nivala, J. Boog, T. Headley, T. Aubron, S. Wallace, H. Brix, S. Mothes, M. van Afferden et R. A. Müller, «Side-by-side comparison of 15 pilot-scale conventional and intensified subsurface flow wetlands for treatment of domestic wastewater,» *Science of The Total Environment*, vol. 658, p. 1500-1513, 2019.
- [12] - D. Mara, *Domestic wastewater treatment in developing countries*, Earthscan Publications, 2004.
- [13] - B. Cédar, «Évaluation du procédé UV/H₂O₂ pour la désinfection et l'élimination des micropolluants en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées en petites stations d'épuration,» 2016.
- [14] - M. R. Templeton, R. C. Andrews et R. Hofmann, «Particle-Associated Viruses in Water: Impacts on Disinfection Processes,» *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 38, n° 13, p. 137-164, 2008.
- [15] - C. Juery, «Document Techniques FNDAE N°2: Définition des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine d'emploi des appareils de désinfection,» FNDAE, 2003.
- [16] - U. Heinss, S. A. Larmie et M. Strauss, «Solids separation and pond systems for the treatment of faecal sludges in the tropics,» 1998.

- [17] - S. Martin Ruel, Interviewee, [Interview]. 11 04 2025.
- [18] - A. M. Pourcher et C. Druilhe, «Impact de la digestion anaérobie sur les pathogènes : revue bibliographique,» chez Journée Recherche et Innovation Biogaz Méthanisation (JRI), Limoges, 2016.
- [19] - D. Lorine, «Impact de la méthanisation agricole mésophile voie liquide sur le devenir de Clostridia pathogènes et de gènes de résistance aux antibiotiques,» 2021.
- [20] - R. G. Feachem, D. J. Bradley, H. Garelick et M. Duncan, «Sanitation and disease, health aspects of excreta and wastewater management,» World Bank, 1983.
- [21] - OMS, «Directives OMS pour l'utilisation sans risques des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, Volume 4 : Utilisation des excréta et des eaux ménagères en agriculture,» OMS, 2012.
- [22] - C. Andrade, M. Sperling et E. Manjate, «Treatment of septic tank sludge in a vertical flow constructed wetland system,» Engenharia Agrícola, vol. 37, pp. 811-819, 2017.
- [23] - I. Kengne, P.-H. Dodane, A. Akoa et D. Koné, «Vertical-flow constructed wetlands as sustainable sanitation approach for faecal sludge dewatering in developing countries,» 2009.
- [24] - A. Godfree et J. Farrell, «Processes for Managing Pathogens,» journal of environmental quality, 2005.
- [25] - T. Koottatep, N. Surinkul, C. Polprasert, A. Kamal, D. Koné, A. Montangero, U. Heinss et M. Strauss, «Treatment of septage in constructed wetlands in tropical climate: Lessons learnt from seven years of operation,» Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research, vol. 51, p. 119-126, 2005.
- [26] - C. Thomann et M. C. F. Floriat, «Quelles solutions pour valoriser les boues d'épuration ?,» Amorce, 2019.
- [27] - A. Mansoor, Sustainable composting: Case studies and guidelines for developing countries, WEDC, 2004.
- [28] - W. Berger, Technology review of composting toilets. Basic overview of composting toilets (with or without urine diversion), GIZ, 2011.
- [29] - B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen et C. Zurbrugg, Black Soldier Fly Biowaste Processing, 2017.
- [30] - A. v. Schaik, J. Prosser et D. Graham, «The Suitability of Using Vermicomposting for the Stabilization of Septic Tank Waste,» Journal of Bioremediation & Biodegradation, vol. 7, n° 15, 2016.

4.

Quels sont les usages possibles des produits sortants des systèmes d'assainissement ?

Cette partie présente les différents usages possibles des produits issus de la filière de l'assainissement, classés selon différentes catégories.

La **situation des pays méditerranéens** vis-à-vis de ces usages est précisée, ces éléments étant détaillés par la suite dans le **chapitre 3**.

Les **enjeux associés à chacun de ces usages** sont introduits.

Ils sont à prendre en compte afin d'évaluer les risques, les bénéfices, la pertinence et la viabilité de l'usage corrélé à une catégorie de produit donnée.

Ces enjeux, développés dans le **chapitre 2**, sont les suivants :

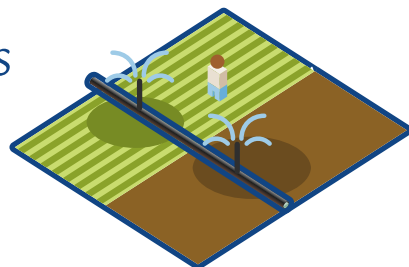
- **Enjeu 1** : Impacts environnementaux positifs et négatifs
- **Enjeu 2** : Risques sanitaires
- **Enjeu 3** : Modèles organisationnels et économiques
- **Enjeu 4** : Impacts et prise en compte des aspects sociologiques

Les enjeux 1 et 2 concernent les différents usages de façon plus ou moins prégnante. L'ensemble des usages sont concernés par les enjeux 3 et 4.



4.1 Irrigation et amendement des sols pour des usages agricoles et non agricoles

4.1.1 Irrigation pour des usages agricoles



PRODUIT RÉUTILISÉ

EAUX USÉES SECONDAIRES

Eaux usées traitées niveau secondaire à tertiaire

À TERTIAIRES

Usages possibles

Irrigation des sols pour des activités agricoles, cultures comestibles ou non

ACTIVITÉS AGRICOLES

Irrigation des sols pour des activités de maraîchage familial

MARAÎCHAGE FAMILIAL

Face aux effets du changement climatique sur la disponibilité des ressources en eau, la réutilisation des eaux usées s'impose de plus en plus comme une stratégie pour mobiliser une « nouvelle » ressource.

La réutilisation des eaux usées traitées se pratique également de manière informelle et non encadrée, à partir d'eaux de tout niveau de qualité.

ENJEUX

→ Risque sanitaire

Chapitre 2 : Enjeu 2 129

Selon les procédés de traitement appliqués et selon les catégories de pathogènes considérés, les traitements secondaires et tertiaires ont permis un abattement plus ou moins significatif des pathogènes. Différents acteurs sont susceptibles d'être exposés au risque sanitaire que représente la présence éventuelle de ces pathogènes, en particulier les travailleurs agricoles et les consommateurs des produits finaux.

Pour des usages agricoles, les réglementations imposent généralement des seuils d'éléments pathogènes présents dans les eaux usées traitées correspondants à un niveau de traitement tertiaire. Toutefois, certaines modalités d'usages (modes d'irrigation, choix de cultures...) permettent de réduire l'exposition aux agents pathogènes, permettant d'envisager l'usage d'eaux usées de niveau secondaires. En outre, l'usage d'eaux usées traitées de niveau secondaires pour l'irrigation en agriculture se pratique de façon informelle dans de nombreuses régions du monde. L'enjeu du risque sanitaire est développé dans le [chapitre 2](#).

→ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Chapitre 2 : Enjeu 1 **110**

L'usage des eaux usées traitées pour l'irrigation agricole peut être développé dans le cadre d'une stratégie de mobilisation d'une nouvelle ressource en eau.

Les nutriments contenus dans les eaux usées traitées, tels que l'azote, le phosphore et le potassium, offrent une opportunité précieuse d'enrichir les sols en nutriments essentiels pour la croissance des plantes. L'usage des eaux usées traitées pour l'irrigation agricole est également pertinente de par ses propriétés fertilisantes.



Focus Méditerranée

Cet usage représente un enjeu important dans les pays du bassin méditerranéen, confrontés à un stress hydrique qui s'accroît et à une pression forte du secteur agricole sur les ressources en eau. Cet usage est développé depuis plusieurs décennies en Tunisie, mais pour l'instant peu concrétisé au Maroc.^[A] ^[B] Le Liban commence à s'y intéresser. En Palestine, la réutilisation des eaux usées traitées est également un enjeu géopolitique, dans un contexte d'occupation qui contraint l'accès aux ressources en eau.

Les pratiques de réutilisation informelles concernent notamment les contextes où l'assainissement n'est pas entièrement fonctionnel, comme au Liban, où l'on utilise des eaux usées primaires.^[C] Cette pratique est également répandue dans les situations où les ressources en eau conventionnelles sont insuffisantes, par exemple dans certaines régions de Tunisie et du Maroc. Les bénéfices environnementaux, économiques et sociaux doivent être mis en balance avec le risque sanitaire, qui n'est alors pas maîtrisé.

Les enjeux associés à l'irrigation agricoles par des usées traitées, seront développés dans le chapitre 2.

A. « Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture : analyse de l'état des lieux et perspectives – cas de la Tunisie, » FAO ; Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche Maritime (Tunisie), 2021

B. « Élaboration du Plan Directeur National de Réutilisation des Eaux Usées Traitées en Tunisie – Phase 2 : Prospective de la filière à l'horizon 2050, » Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, 2022.

C. K. Eid-Sabbagh, S. Roukoz, M.-H. Nassif, N. Velpuri et J. Mateo-Sagasta, « Analysis of Water Reuse Potential for Irrigation in Lebanon, » International Water Management Institute (IWMI), 2022.

4.1.2 Irrigation pour des usages non agricoles

PRODUIT RÉUTILISÉ

EAUX USÉES SECONDAIRES

Eaux usées traitées de niveau
secondaire à tertiaire

À TERTIAIRES



Usages possibles

Amendement d'espaces verts
publics (jardins, parc)

ESPACES VERTS PUBLICS

L'irrigation d'espaces verts à des fins non agricoles peut être envisagée avec des eaux usées traitées, afin de réserver l'usage d'eau potable à des usages domestiques.

Amendement d'espaces verts privés
lucratifs (hôtels, golfs)

ESPACES VERTS PRIVÉS

Ce débouché peut soutenir le développement de nouvelles infrastructures, avec des bénéfices économiques significatifs. Toutefois, la question de l'impact environnemental se pose lorsque ces usages mobilisent des ressources en eau additionnelles plutôt que substitutionnelles.

Irrigation d'espaces verts à domicile

ESPACES VERTS À DOMICILE

Cela est envisageable grâce à des systèmes de traitement à la parcelle, à condition que les personnes ne soient pas directement exposées aux eaux usées traitées.

ENJEUX

→ Risque sanitaire

Chapitre 2 : Enjeu 2 129

Selon les procédés de traitement appliqués et selon les catégories de pathogènes considérés, les traitements secondaires à tertiaires permettent un abattement plus ou moins significatif des pathogènes.

Bien qu'il n'y ait pas ingestion de plantes irriguées avec les eaux usées (usage non agricole), plusieurs types de personnes sont susceptibles d'être exposées aux eaux usées lors de leur usage. L'identification des personnes exposées et des voies de contamination et l'adaptation des modalités d'irrigation peut permettre de réduire le risque de contact avec d'éventuels agents pathogènes dans les eaux usées traitées.

→ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Chapitre 2 : Enjeu 1 110

L'usage non agricole des eaux usées traitées peut être développé dans le cadre d'une stratégie de mobilisation d'une ressource en eau alternative.

La qualité des eaux usées traitées, les besoins et caractéristiques des cultures irriguées, les caractéristiques du sol, doivent être considérées, afin de ne pas nuire au sol et aux plantes. Il est tout aussi important d'identifier les caractéristiques hydrogéologiques du sol, la présence de ressources en eau et la possibilité de ruissèlement ou infiltration des eaux usées traitées.



Focus Méditerranée

Au Maroc et en Tunisie, l'irrigation des espaces verts publics avec des eaux usées traitées est désormais systématique et obligatoire. L'irrigation d'espaces verts privés lucratifs (hôtels, golfs) est très répandue et continue de se développer. Ce type d'usage présente l'avantage que les utilisateurs sont, en principe, en mesure de payer pour cette ressource et disposés à le faire, ce qui peut contribuer à équilibrer le modèle économique. Cependant, il reste limité à certaines zones touristiques.

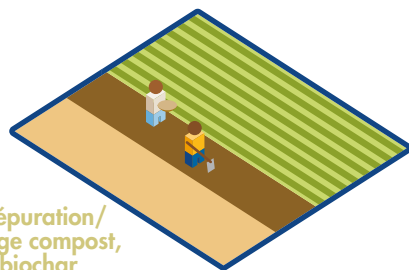
Les enjeux associés à l'irrigation agricole par des usées traitées, seront développés dans le chapitre 2.

4.1.3 Amendement des sols pour des usages agricoles et non agricoles

PRODUIT RÉUTILISÉ

BE/BV COMPOST, CENDRES, BIOCHAR

Boues d'épuration/
de vidange compost,
cendres, biochar



Les boues d'épuration/de vidange traitées présentent des propriétés fertilisantes et structurantes pour les sols. Le digestat présente une fraction d'azote ammoniacal, directement disponible pour les plantes, qui est plus élevé.^[1] Selon les traitements d'hygiénisation que ces boues ont subi, il peut subsister des éléments pathogènes. De plus, les boues concentrent les métaux s'ils étaient présents dans les eaux brutes.

Le compost présente des propriétés intéressantes pour améliorer la structure des sols. Ces propriétés fertilisantes sont moindres. Le compost peut être considéré comme exempt de pathogènes, si le procédé de compostage a été maîtrisé, ce qui peut être complexe dans certains contextes en particulier lorsqu'il s'agit de petits systèmes de traitement ou d'installations à la parcelle.

Biochar : La présence de pores et la surface élevée du biochar offrent un environnement propice au développement des micro-organismes bénéfiques du sol, favorisant ainsi la fixation des minéraux essentiels et l'amélioration de la qualité du sol. Sa teneur élevée en carbone permet la séquestration du carbone dans les sols. Le biochar améliorerait le rendement agricole de 25 % par application de 15 tonnes/ha.^[2] Le biochar est exempt de toute bactérie en raison de la carbonisation.

Cendres : Les cendres de boues incinérées contiennent des quantités importantes de potassium et de phosphore. Les cendres sont également très alcalines et peuvent servir d'amendement pour les sols acides. Les cendres peuvent contenir des métaux lourds si ces derniers étaient présents dans les eaux usées brutes.

Usages possibles

Amendement des sols pour des activités agricoles, cultures comestibles ou non

ACTIVITÉS AGRICOLES

Amendement des sols pour des activités de maraîchage familial

MARAICHAGE FAMILIAL

Les matières organiques issues du traitement des boues peuvent être utilisées comme amendements organiques et fertilisants pour les sols agricoles. Cela représente une opportunité précieuse, en particulier dans les régions où les terres agricoles sont appauvries ou les engrais chimiques coûteux.

L'une des méthodes suivantes devrait être utilisée pour traiter les boues d'épuration avant l'épandage agricole :^[3]

- Digestion aérobie pendant 40 jours à 20 °C ou 60 jours à 15 °C ;
- Digestion anaérobie pendant 15 jours entre 35 et 55 °C ou 60 jours à 20 °C ;
- Séchage à l'air pendant au moins 3 mois. 2 de ces mois doivent être caractérisés par des températures quotidiennes moyennes supérieures au point de congélation ;

- Compostage ou co-compostage à des températures supérieures à 40 °C pendant cinq jours. La température de l'ensemble des matières à composter doit être supérieure à 55-65 °C pendant au moins quatre heures au cours des cinq jours ;

- Stabilisation à la chaux pour augmenter le pH à plus de 12 pendant 30 minutes, ou pour augmenter le pH à plus de 9 pendant plus de six mois si la température est supérieure à 35 °C et/ou si l'humidité est inférieure à 25 %.

En tant que produit totalement hygiénisé, le compost peut être appliqué à des cultures variées, qu'elles soient destinées ou non à la consommation humaine, et contribue à maintenir ou restaurer la fertilité des sols. Il peut être valorisé pour des cultures spécifiques à haute valeur ajoutée, comme le vétiver, utilisé notamment dans l'industrie de la parfumerie.

Amendement d'espaces verts publics (jardins, parc)

ESPACES VERTS PUBLICS

Les produits issus des boues de vidange peuvent également être utilisés pour l'entretien des espaces verts publics, tels que les jardins et les parcs.

Dans les espaces verts publics, tels que les jardins et parcs, le compost offre une solution pour maintenir la qualité des sols et favoriser

la végétation. Il peut remplacer les fertilisants chimiques, réduisant ainsi les impacts environnementaux. Utilisé dans les projets d'aménagement paysager urbain, il contribue à une gestion durable des espaces verts tout en s'intégrant aux politiques de valorisation des déchets organiques.

Amendement d'espaces verts privés lucratifs (hôtels, golfs)

ESPACES VERTS PRIVÉS

Les hôtels, golfs et autres infrastructures privées à vocation lucrative peuvent également bénéficier de l'utilisation des produits issus du traitement des boues. Ces espaces nécessitent souvent un entretien intensif pour maintenir des pelouses et des aménagements paysagers de haute qualité. L'utilisation de ferti-

sants naturels provenant de ces ressources peut répondre à ces besoins tout en offrant une alternative économique et écologique. Cet usage, souvent localisé dans des zones touristiques, représente également une opportunité de commercialisation ciblée.

Amendement des sols pour la sylviculture

SYLVICULTURE

Le compost en particulier, favorise la croissance d'arbres destinés à divers usages, tels

que le bois de chauffage, la construction ou la production de pâte à papier.

Amendement des sols pour des activités familiales non agricoles

AMENDEMENT DES SOLS À DOMICILE

À une échelle plus individuelle, les propriétaires de jardins privés peuvent également utiliser ces produits pour l'entretien de leurs espaces verts. Le compost peut être utilisé

par des particuliers pour l'entretien de leurs jardins et potagers. Il constitue une option pratique et respectueuse de l'environnement pour améliorer les sols à domicile.

ENJEUX

→ Risque sanitaire

Chapitre 2 : Enjeu 2 **129**

Les boues d'épuration et de vidange sont susceptibles de comporter des éléments pathogènes selon les traitements qui leur ont été appliqués.

→ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Chapitre 2 : Enjeu 1 **110**

La pertinence de l'incorporation dans les sols des boues d'épuration/de vidange et des produits issus de leur traitement doit être évaluée en fonction des caractéristiques du sol et des besoins des cultures, en cas d'usage agricole. En outre, l'usage des produits issus du traitement des boues et matières de compostage comme fertilisant peut permettre de substituer l'utilisation d'engrais chimiques, ce qui s'accompagne de bénéfices environnementaux et économiques potentiels.

Les boues ont tendance à concentrer les métaux, s'ils étaient présents dans les produits entrants dans le système de traitement. Cela concerne plus particulièrement le cas de STEP dans des zones urbaines, collectant des effluents industriels conjointement aux effluents domestiques. Cela constitue une problématique sanitaire et environnementale.



Focus Méditerranée

L'application des boues présente des bénéfices importants dans des contextes arides des pays méditerranéens, qui présentent des sols souvent pauvres en matières organiques. Des études ont démontré qu'elles améliorent significativement le rendement des cultures, en augmentant la matière organique du sol et en fournissant une source durable de nutriments.^[D]

Les enjeux associant l'usage des boues d'épuration/de vidange/ du compost, pour l'amendement des sols pour des usages agricoles et non agricoles, seront développés dans le [chapitre 2](#).

URINES APRÈS STOCKAGE

Usages possibles

Amendement des sols pour des activités de maraîchage familial

MARAICHAGE FAMILIAL

D. B. Soudi, « Amélioration des connaissances sur l'utilisation saine et sécurisée des eaux usées traitées pour le développement du secteur agricole dans les pays du Maghreb – Rapport Maroc, » FAO, 2020.

L'urine constitue un fertilisant intéressant pour les cultures qui manquent d'azote et peut être utilisée pour des cultures maraichères.^[4] L'OMS considère les recommandations suivantes :

- Pour les cultures consommées crues : Stockage pendant au moins 6 mois à >20 °C associé à une période de suspension d'un mois (aucune autre mesure de contrôle ne devrait être nécessaire si les déchets sont traités à ce niveau)
- Pour les aliments transformés et les cultures fourragères : stockage pendant au moins 1 mois à >20 °C ou pendant au moins 6 mois à 4 °C

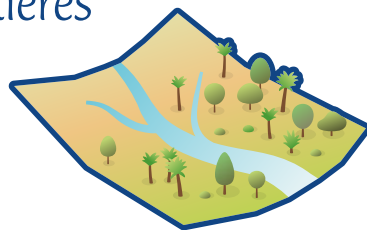
ENJEUX

→ Risque sanitaire

Chapitre 2 : Enjeu 2 129

4.2 Retour des flux et matières au cycle de l'eau et au sol

4.2.1 Retour au grand cycle de l'eau



PRODUIT VALORISÉ

EAUX USÉES SECONDAIRES

Eaux usées traitées de niveaux secondaire à tertiaire

À TERTIAIRES

Usages possibles

Soutien du débit d'étiage de ressources en eau superficielles

DÉBIT D'ÉTIAGE

Usages humains et non humain en aval

USAGES EN AVAL

Le retour à l'environnement des eaux usées traitées, sans réutilisation directe pour un usage anthropique, n'est pas à exclure du champ de possibilités de « valorisation ». L'eau usée retournée au cycle de l'eau n'est pas perdue, et bénéficie à des usagers en aval, humains et non humains (hormis en cas d'exutoire marin).

Le rejet dans une rivière ou un cours d'eau peut permettre d'assurer le maintien de son débit d'étiage. Cela peut s'avérer nécessaire si le maintien de ce débit est menacé par des

facteurs naturels (pluviométrie variable, sécheresse) ou anthropiques (volume significatif d'eau prélevé pour l'approvisionnement en eau potable ou d'autres usages).

Un réusage en aval pour des activités anthropiques est parfois dénommé « **réutilisation indirecte** ».

Pour aller plus loin, la notion de **valorisation écologique** englobe toutes les formes de réutilisations visant à maintenir la santé des écosystèmes qui ne pourraient pas être pré-

servés autrement. Ainsi, les eaux usées traitées peuvent être utilisées pour alimenter par exemple des zones humides. Ces zones jouent un rôle crucial dans la conservation

de l'eau en régulant le taux d'évapotranspiration et en assurant, dans certains cas, la recharge des aquifères.

ENJEUX

→ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Chapitre 2 : Enjeu 1 **110**



Focus Méditerranée

Au Maroc et dans d'autres pays de la région méditerranéenne, des documents d'orientations recommandent de privilégier dès que possible la réutilisation indirecte des eaux usées traitées. Celle-ci consiste à boucler le cycle de l'eau et à restituer les eaux usées traitées au milieu naturel avant d'envisager leur reprise pour d'autres usages notamment à des fins agricoles.^[E]

En Tunisie, afin de préserver la biodiversité dans des zones humides, le choix é été fait de rejeter les eaux usées traitées de certaines STEP dans des sebkhas ou des lagunes qui souffrent de déficit hydrique. Ainsi, la lagune de Korba et la lagune de Bizerte sont alimentées par des eaux usées traitées en été, évitant ainsi leur assèchement.^[F]

Les enjeux associés au retour au cycle de l'eau des eaux usées traitées, seront développés dans le [chapitre 2](#).

EAUX USÉES TERTIAIRES

Eau usées traitées niveau tertiaire

Usages possibles

Par ailleurs, la recharge artificielle des aquifère, est une pratique importante dans les régions où les taux de prélèvement dépassent la recharge naturelle. Elle peut permettre de prévenir l'intrusion d'eau salée dans les aquifères côtiers et de compléter les débits de

base des eaux souterraines pour favoriser la santé des écosystèmes.

Un réusage en aval pour des activités anthropiques est parfois dénommé « réutilisation indirecte ».

RECHARGE DE NAPPES

ENJEUX

→ Risque sanitaire

Chapitre 2 : Enjeu 2 **129**

E. B. Soudi, « Amélioration des connaissances sur l'utilisation saine et sécurisée des eaux usées traitées pour le développement du secteur agricole dans les pays du Maghreb – Rapport Maroc, » FAO, 2020.

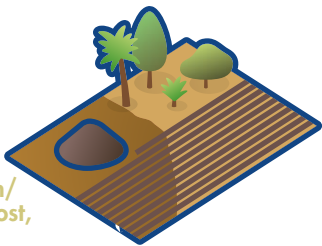
F. « Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture : analyse de l'état des lieux et perspectives – cas de la Tunisie » FAO ; Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche Maritime (Tunisie), 2021.

4.2.2 Restauration des sols

PRODUIT VALORISÉ

BE/BV COMPOST, CENDRES, BIOCHAR

Boues d'épuration/
de vidange compost,
cendres, biochar



Le retour à l'environnement des matières, sans réutilisation directe pour un usage anthropique, n'est pas à exclure du champ de possibilités de « valorisation ».

Usages possibles **Réhabilitation de zones minières ou industrielles, des sols endommagés par l'agriculture intensive** **RÉHABILITATION DES SOLS**

Les matières de vidange et boues d'épuration sont riches en nutriments utiles aux plantes et leur application peut améliorer la structure des sols.

Ces propriétés sont souvent utilisées pour restaurer des sites dégradés par une activité humaine (site minier, agriculture intensive), en particulier en améliorant l'infiltrabilité des sols.

Le compost est particulièrement adapté pour la réhabilitation de zones minières ou industrielles et des sols endommagés par l'agriculture intensive.^[5]

ENJEUX

→ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Chapitre 2 : Enjeu 1 110

 **Focus Méditerranée**

La matière organique contenue dans les boues représente une grande opportunité pour restaurer la fertilité des sols des régions arides et semi-aride au Maroc et contribuer à la lutte contre la désertification.^[G]

Les enjeux associés au retour au sol des boues d'épuration et de vidange, compost, seront développés dans le **chapitre 2**.

G. B. Soudi et W. El Khoumsi, «Valorisation agricole des boues d'épuration dans les pays du Maghreb : potentialités et défis Gestion et valorisation agricole des boues d'épuration au Maroc- Rapport national – Maroc,» FAO, 2024.



4.3 Usages du potentiel énergétique des matières

4.3.1 Usage du biogaz pour des activités à domicile, collectives ou industrielles



PRODUIT VALORISÉ

BIOGAZ

Le biogaz, en tant que combustible, peut trouver plusieurs utilités pour un usage à domicile car il offre une alternative au bois et au charbon. Pour illustrer son potentiel énergétique, 1 m³ de biogaz, composé à 60 % de méthane (CH₄), équivaut à : 0,5 litre de diesel, 1,39 kilogramme de charbon, 4,34 kilogrammes de bois sec, 0,42 kilogramme de butane, 2 kilowatt-heures (kWh) d'électricité.^[6]

Usages possibles

Diverses applications sont envisageables telles que la **cuisson** (cuisinières, fours à pain) l'alimentation de réfrigérateurs, de lampes, de chauffe-eau et de moteurs.

Pour une utilisation domestique efficace, la cuisson est la méthode privilégiée pour tirer parti du biogaz.

ACTIVITÉS DOMESTIQUES

La quantité de biogaz requise pour la cuisson varie entre 30 et 45 mètres cubes par mois en moyenne.

En effet, tous les appareils fonctionnant au butane peuvent être convertis pour fonctionner au biogaz moyennant quelques ajustements (l'agrandissement du diamètre du gicleur, la réduction des entrées d'air primaire, un emplacement protégé du vent).

Utilisation du potentiel énergétique pour le système d'assainissement

ÉNERGIE DE LA STATION

Le biogaz peut être utilisé pour la production de chaleur et d'électricité.

La cogénération, qui combine la production d'électricité avec la génération de chaleur à l'aide de moteurs à gaz ou de turbines à gaz, est une approche plus efficace que la simple production d'électricité qui, seule, présente de faibles rendements.

La chaleur et l'électricité peuvent être utilisées pour répondre aux besoins énergétiques de la station.

Il peut s'agir des besoins du digesteur lui-même (chauffage en cas de procédé thermophile, agitateurs), ou des besoins d'autres unités de traitement consommatrices d'énergie (déshydratation, aération...).

Utilisation du potentiel énergétique pour les services collectifs locaux

SERVICES COLLECTIFS LOCAUX

Il est envisageable de fournir de la chaleur ou de l'électricité à des services en réseau à proximité.

L'électricité produite par cogénération peut être injectée dans un réseau public.

Le biogaz peut également être injecté dans un réseau public. Cependant, pour garantir le bon fonctionnement des installations, il est nécessaire de désulfurer et d'éliminer l'humidité du biogaz. Il doit alors subir un proces-

sus d'épuration pour être transformé en biométhane, qui doit présenter une composition similaire au gaz naturel avec une teneur en méthane de plus de 97 %.

ENJEUX

→ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Chapitre 2 : Enjeu 1 **110**



Focus Méditerranée

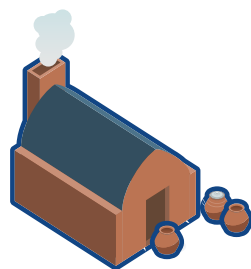
Les digesteurs à domicile sont largement développés en Chine et en Inde, mais peu dans les pays méditerranéens. Dans le cadre d'un programme soutenu par la GIZ, de telles installations ont été testées dans des zones rurales au Maroc. Leur pérennisation reste un défi.^[H]

La valorisation énergétique est peu pratiquée dans les pays méditerranéens au niveau de STEP. Des projets sont en cours en Tunisie, bien que certaines STEP déjà équipées de digesteurs fassent face à des difficultés techniques. Quelques STEP pratiquent cette voie de valorisation au Maroc. A Fès, le captage du méthane issu de la digestion des boues (près 15 000 m³/j de méthane) lié à la cogénération d'énergie électrique à partir du biogaz permet de produire environ 22 millions kWh/an d'électricité couvrant ainsi 50 % des besoins en énergie électrique de la station.^[I]

Les enjeux associés à la valorisation énergétique des boues d'épuration seront développés dans le chapitre 2.

4.3.2 Combustion de produits de l'assainissement

Lorsque les boues sont séchées, la conductivité thermique diminue fortement.^[8] Si elles proviennent de lits de séchage et d'installation à la parcelle, des particules de sables peuvent avoir été entraînées lors de leur extraction.^[9] Ainsi, les boues séchées ne sont pas des combustibles avantageux.



H. P. Guillibert et M. Elghali Khyati, «Guide d'assainissement durable en milieu rural marocain - Catalogue des techniques et outils d'aide à la décision», GIZ, 2020.

I. B. Soudi et W. El Khoumsi, «Valorisation agricole des boues d'épuration dans les pays du Maghreb : potentialités et défis Gestion et valorisation agricole des boues d'épuration au Maroc, Rapport national – Maroc», FAO, 2024.

PRODUIT VALORISÉ

BIOCHAR

Usages possibles

ACTIVITÉS DOMESTIQUES

Activités artisanales ou industrielles

ARTISANAT OU INDUSTRIE

Grâce à sa teneur élevée en carbone, le biochar présente une valeur calorifique de 17 à 25 MJ/kg équivalente à celle du charbon, ce qui en fait un combustible intéressant. Cela est valable lorsque la teneur en humidité des briquettes est inférieure à 14 %.^[10]

La température de chauffage optimale qui maximise le rendement et l'énergie intrinsèque du biochar est d'environ 300 °C. Cependant, il est observé que le pouvoir calorifique supérieur du biochar, produit à partir de matières fécales, diminue à mesure que la température de chauffage élevée du réacteur de pyrolyse augmente, ce qui a un impact

négalif sur son potentiel en tant que combustible solide.^[11]

Sous forme de briquettes, il peut ainsi être utilisé comme combustible. Cela permet d'éviter l'usage d'autres sources de combustibles moins durables.

Une étude menée auprès de 199 foyers dans le quartier informel de Kibera à Nairobi a montré que les personnes qui utilisent des briquettes de charbon pour une utilisation domestique économisent 70 % de l'argent dépensé pour l'énergie de cuisson par rapport à un usage du charbon de bois.^[10]

VÉGÉTAUX : MACROPHYTES, ROSEAUX

Usages possibles

ACTIVITÉS DOMESTIQUES

Activités artisanales ou industrielles

ARTISANAT OU INDUSTRIE

Les plantes peuvent être utilisées comme combustible, éventuellement en mélange avec du bois de chauffage.

La majorité des utilisations sont informelles, effectuées par les ménages. Ainsi, les données sur des expériences locales sont rares.

Une étude montre que certains végétaux (phragmites spp, Typha spp, A. donax et C. papyrus) permettent d'atteindre des rendements énergétiques de la combustion directe

s'élevant en moyenne à 18 MJ/kg de masse sèche permettant de réduire de 55 % les besoins en combustible de cuisson d'un village de 200 personnes.^[13]

Par ailleurs, la réutilisation des macrophytes pour produire des biocarburants en est encore au stade expérimental. Les tissus des macrophytes sont constitués à 90 % d'eau, ce qui complexifie leur transformation en carburants.^[12]

ENJEUX

→ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Chapitre 2 : Enjeu 1 110



Focus Méditerranée

Ces usages sont peu développés dans les pays méditerranéens.

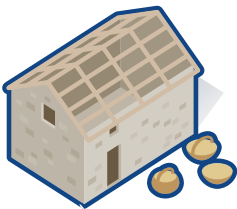


4.4 Usage des eaux et produits ultimes pour des activités industrielles et artisanales

4.4.1 Usage de produits ultimes comme matière première

PRODUIT VALORISÉ

BIOCHAR, CENDRES



Usages possibles

Activités artisanale ou industrielles locales (matériau de construction)

ARTISANAT OU INDUSTRIE

Le biochar peut être utilisé pour remplacer les granulats fins dans le béton.

Les cendres de boues peuvent être utilisées en remplacement de l'argile dans la fabrication de briques.^[14] Les cendres de boues provenant de l'incinération dans les fours à ciment peuvent être utilisées dans la fabrication

du ciment. Les matières inorganiques accumulées dans les cendres, y compris les métaux lourds, sont fixées dans le clinker. L'incorporation de cendres de boues permet de réduire les coûts liés aux matières premières conventionnelles utilisées dans la production de ciment, tout en stabilisant les métaux lourds polluants contenus dans les cendres.^[11]



Focus Méditerranée

Peu de retours d'expériences sont disponibles sur l'usage du biochar comme matériau de construction.

Au Maroc, au niveau de la STEP de Marrakech, les boues séchées sont récupérées dans le procédé de fabrication du ciment : 50 t/jour de boues séchées sont utilisées pour remplacer 18 t/jour de coke de pétrole dans la chaîne de cuisson du clinker par un apport massique de 15 t/jour de matière minérale intégrée dans la composition du clinker.^[1]

J. B. Soudi et W. El Khoumsi, «Valorisation agricole des boues d'épuration dans les pays du Maghreb : potentialités et défis Gestion et valorisation agricole des boues d'épuration au Maroc ? Rapport national – Maroc,» FAO, 2024.

ENJEUX

→ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Chapitre 2 : Enjeu 1 **110**

VÉGÉTAUX

Usages possibles

Les macrophytes et roseaux peuvent être utilisés pour la fabrication de mobilier domestique, notamment des chaises, des nattes et des matériaux de construction. Ces usages sont majoritairement informels et non structurés sous la forme de filières économiques ou de services publics. Un exemple est celui du marché situé dans la zone humide du marais de Yala au Kenya où le papyrus est transformé en nattes, sièges, paniers et matériaux de construction.^[15]

Activités artisanales
(souvent informelles)

ARTISANAT

La biomasse de roseau est une source de cellulose et d'hémicellulose. La teneur en cellulose du roseau, qui varie de 33 à 59 % selon les facteurs environnementaux, peut être utilisée pour la fabrication de papier de roseau. Cet usage existe en Chine et en Inde.^[16]



Focus Méditerranée

Ces usages sont rares et ne sont pas développés dans les pays méditerranéens.

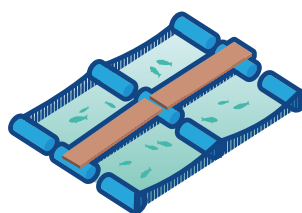
4.4.2 Usage de produits ultimes pour l'alimentation animale

PRODUIT VALORISÉ

VERS, LARVES, MOUCHES

MACROPHYTES

LENTILLES D'EAU



Usages possibles

Élevage (usage de produits ultimes pour l'alimentation animale)

ALIMENTATION ANIMALE

Les vers présentent une valeur nutritionnelle remarquable, avec une teneur en protéines allant de 60 à 70 %, entre 7 et 10 % de matières grasses, de 8 à 20 % d'hydrates de carbone, environ 2 à 3 % de minéraux, ainsi que des vitamines A et B, ainsi que 8 ou 9 acides aminés essentiels. C'est pourquoi ils sont largement utilisés comme ingrédients dans l'alimentation des animaux et des poissons.^[17]

Les larves possèdent une concentration élevée en protéines, se situant généralement entre 42 et 45 %, ainsi qu'en matières grasses, avec des valeurs variant de 10 à 40 %, largement influencées par le substrat utilisé. Elles peuvent donc être utilisées dans l'alimentation animale, en particulier pour la volaille, des poissons et des porcs.^[17]

Les macrophytes riches en protéines peuvent être utilisées fraîches ou séchées comme nourriture pour les poissons ou la volaille.^[18]

Les lentilles d'eau sont une source d'alimentation pour certains poissons herbivores. Les applications et retours d'expériences sont rares.^[19]

Ces usages présentent des enjeux sanitaires.

Peu de retours d'expériences existent sur ces usages, qui sont peu encadrés par les référentiels internationaux et réglementations nationales. **Ils ne feront pas l'objet d'un focus dans le cadre du chapitre 2.**

Le cas de d'élevage de poissons dans des bassins recevant des effluents ou des boues, où les poissons peuvent se nourrir des végétaux qui se développent, dans les bassins, est abordés ci-dessous.



Focus Méditerranée

Ces usages ne sont pas développés dans les pays méditerranéens.

ENJEUX

→ Risque sanitaire

Chapitre 2 : Enjeu 2 **129**

EAUX USÉES SECONDAIRES

Eaux usées traitées de niveaux secondaire à tertiaire

À TERTIAIRES

Usages possibles

Aquaculture (usage des eaux dans des bassins piscicoles)

AQUACULTURE

Il est possible d'élever des poissons dans des bassins recevant des effluents ou des boues, où les poissons peuvent se nourrir d'algues et d'autres organismes qui se développent dans l'eau riche en nutriments. Les poissons éliminent ainsi les nutriments des eaux usées.

Il est également possible de fertiliser des bassins piscicoles avec les effluents ou des boues et matières de vidange. Les poissons sont éle-

vés directement dans des bassins aérobies. Il existe une grande diversité dans les pratiques actuelles d'aquaculture alimentée par des déchets, impliquant des boues, des poissons et des plantes aquatiques.

De tels bassins sont courants en Asie, en particulier en Chine Indonésie, Vietnam, et Inde, souvent alimentés avec des latrines suspendues au-dessus du bassin piscicole.^[20]



Focus Méditerranée

Ces usages ne sont pas développés dans les pays méditerranéens.

ENJEUX

→ Risque sanitaire

Chapitre 2 : Enjeu 2 **129**

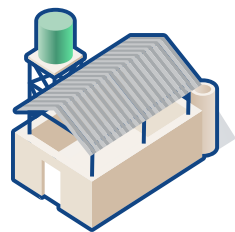
4.4.3 Usage des eaux pour les espaces urbains et l'industrie

PRODUIT VALORISÉ

EAUX USÉES SECONDAIRES

Eaux usées traitées de niveaux secondaire à tertiaire

À TERTIAIRES



Usages possibles

Lavage d'espaces urbains,
de voiries et réseaux

LAVAGE URBAIN

Cet usage est en développement, notamment en France. Il concerne le milieu urbain.

ENJEUX

→ Risque sanitaire

Chapitre 2 : Enjeu 2 **129**

→ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Chapitre 2 : Enjeu 1 **110**

Process industriels, réseaux
de refroidissement

PROCESS INDUSTRIELS

L'eau peut être vendue à des industriels, pour être utilisée dans les process de production. Les industriels peuvent acheter l'eau traitée à un niveau tertiaire ou secondaire et mettent alors en place leur propre traitement pour obtenir une qualité répondant à leurs besoins.

Une eau déminéralisée est souvent nécessaire à ces process. Par exemple, une eau de

haute qualité est nécessaire pour l'industrie électronique ou pour l'**alimentation des chaudières** à haute pression, où la principale préoccupation est l'entartrage et la corrosion des équipements. Ainsi, les industriels mettent souvent en œuvre des traitements tertiaires par le biais de techniques telles que l'ultrafiltration, voire de nanofiltration ou d'osmose inverse.^[5]

Dans l'**industrie alimentaire** et des boissons, de nombreux processus nécessitent de l'eau, notamment pour la production de vapeur et d'eau chaude destinées à la transformation, au transport et au nettoyage des produits alimentaires, ainsi qu'au nettoyage des équipements et des conteneurs.

Un usage des eaux usées traitées pour la **production de phosphate** est par exemple envisageable et est pratiqué notamment au Maroc.

Il existe quelques cas dans le monde de **production d'eau potable** à partir d'eaux usées traitées directement réutilisées, à Singapour, en Namibie, en Australie et aux États-Unis. Cet usage reste pour l'instant marginal.



Focus Méditerranée

Au Maroc, les eaux usées traitées sont utilisées pour le lavage des phosphates à Benguérir, Khouribga et Youssoufia.^[K] Des expérimentations ont été conduites dans les années 2015 pour développer un usage industriel des eaux usées traitées en Tunisie, en partenariat avec le Groupe chimique Tunisien (GCT) à Gabès.^[L]

ENJEUX

→ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Chapitre 2 : Enjeu 1

110

BIOCHAR, CENDRES

Usages possibles

Process industriels

INDUSTRIE

En raison de leur grande porosité, la cendre et le biochar peuvent également être utilisés comme matériaux filtrants dans le traitement des eaux usées, mettant en jeu le processus d'absorption et agissant comme un flocculant.



Focus Méditerranée

Ces usages ne sont pas développés dans les pays méditerranéens.

K. B. Soudi, « Amélioration des connaissances sur l'utilisation saine et sécurisée des eaux usées traitées pour le développement du secteur agricole dans les pays du Maghreb – Rapport Maroc » FAO, 2020

L. « Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture : analyse de l'état des lieux et perspectives – cas de la Tunisie » FAO ; Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche Maritime (Tunisie), 2021.

La mise en décharge

Les boues d'épuration sont parfois considérées comme des **sous-produits indésirables** générés par les procédés de traitement des eaux usées. Le producteur de boues (gestionnaire de la station d'épuration) les considère alors comme des **déchets ultimes**. Dans ce cas, les boues peuvent être mises en décharge, si des infrastructures adéquates existent.

Les boues doivent tout de même avoir subi un **traitement de déshydratation pour limiter** l'impact environnemental de leur stockage (ruissellements, infiltrations).

Quelle que soit la solution d'évacuation/valorisation choisie, l'évacuation en décharge doit toujours être possible en tant que **solution de secours**, en cas de difficulté rencontrée avec la filière de valorisation privilégiée.

Les décharges doivent permettre de maîtriser les impacts environnementaux en particulier par une gestion des lixiviats.

POUR EN SAVOIR + :**• Ressources et bibliographie pour ce chapitre**

- [1] - La digestion des boues de station d'épuration : État de l'art et paramètres clés, INRAE, E. Falipou, 2019.
- [2] - Le Traitement des boues de vidange : Un guide pour les pays à revenus faibles et intermédiaires (Édition française 2020), Practical Action Publishing, K. Tayler, 2018.
- [3] - Guidelines and regulations for fecal sludge management from on-site sanitation facilities, Resource Recovery and Reuse Series 14, International Water Management Institute (IWMI), N. Jayatilake, P. Drechsel, B. Keraita, S. Fernando, M. A. Hanjra, 2019.
- [4] - Compendium des systèmes et technologies d'assainissement - 2e édition actualisée, EAWAG, WSSCC, IWA, E. Tilley, U. Lukas, L. Christophe, 2016.
- [5] - Global Experiences in Water Reuse, Resource Recovery and Reuse Series 4, International Water Management Institute (IWMI), J. Lautze, E. Stander, P. Drechsel, A. K. da Silva, B. Keraita, 2014.
- [6] - Guide de dimensionnement et de construction – Le réacteur anaérobie compartimenté et ses variantes (Maroc), GIZ, K. M. Elghali, 2019.
- [7] - Household Biogas Digesters—A Review, —, K. Rajendran, S. Aslanzadeh, M. J. Taherzadeh, 2012.
- [8] - Drying characteristics of faecal sludge from different on-site sanitation facilities, Journal of Environmental Management, S. Getahun, S. Septien, J. Mata, T. Somorin, I. Mabbett, C. Buckley, 2020.
- [9] - Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals, —, D. L. Klass, 1998.
- [10] - A review on production, marketing and use of fuel briquettes, Resource Recovery & Reuse Series 7, International Water Management Institute (IWMI), B. Asamoah et al., 2016.
- [11] - To char or not to char? Review of technologies to produce solid fuels for resource recovery from faecal sludge, IWA Publishing, N. Andriessen, B. J. Ward, L. Strande, 2019.
- [12] - Planted drying beds for faecal sludge treatment: Lessons learned through scaling up in Dakar, Senegal, Sandec News, P.-H. Dodane, M. Mbégué, I. M. Kengne, L. Strande-Gaulke, 2011.
- [13] - Constructed wetlands for resource recovery in developing countries, Renewable and Sustainable Energy Reviews, T. Avellán, P. Gremillion, 2019.
- [14] - Sewage sludge: a review of business models for resource recovery and reuse, International Water Management Institute (IWMI), A. Taron, S. Singh, P. Drechsel, C. Ravishankar, A. Ulrich, 2023.
- [15] - Utilisation and economic valuation of the Yala swamp wetland, Kenya, —, R. Abila, 2002.
- [16] - The utilisation of reed (*Phragmites australis*): a review, —, J. F. Köbbing, N. Thevs, S. Zerbe, 2013.

- [17] - Guide to Sanitation Resource Recovery Products & Technologies, A supplement to the Compendium of Sanitation Systems and Technologies, 1st Edition, Eawag, J. McConville, C. Niwagaba, A. Nordin, M. Ahlström, V. Namboozo, M. Kiff, 2016.
- [18] - The potential of floating macrophytes as feed and phytoremediation resources to improve the environmental performance of giant gourami production in Indonesia: A life cycle assessment, Aquaculture, S. Pouil, J. Slembrouck, A. Wilfart, D. Caruso, O. Z. Arifin et al., 2024.
- [19] - Les lentilles d'eau : des plantes utiles, aliments destinés aux poissons et à d'autres animaux de rente, Faits et chiffres, FiBL, —, 2023.
- [20] - Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères - Volume 3 : Utilisation des eaux usées et des excréta en aquaculture, OMS, —, 2013.

CHAPITRE 2

Quels sont les enjeux à prendre en compte pour intégrer une réutilisation/valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement ?

Quels sont les paramètres contextuels à considérer pour orienter les choix à chaque maillon de la filière de l'assainissement et comment la réutilisation valorisation les impacte ?

Différents éléments contextuels clés sont à prendre en considération pour orienter les choix en termes de forme d'assainissement, d'équipements et de procédés de traitement, aux différents maillons de la filière de l'assainissement.

Cette publication se centre sur les enjeux de l'introduction d'un maillon «valorisation/réutilisation» dans la filière de l'assainissement.

Ainsi, cette partie rappelle de façon synthétique les éléments à prendre en compte pour orienter les choix pour l'ensemble de la filière de l'assainissement, **en précisant en quoi ils sont impactés par l'introduction d'un maillon réutilisation/valorisation.**

Les enjeux prégnants liés à l'intégration d'un maillon réutilisation/valorisation font, dans la suite du chapitre, chacun l'objet d'une partie spécifique.

1. Cadres sectoriels officiels et pratiques relatives à l'assainissement

◀ Paramètre : Cadre réglementaire et stratégique

Le cadre réglementaire du pays concerné est à examiner afin de tenir compte des prescriptions éventuellement existantes en termes de qualité et de contrôle des produits issus du traitement des eaux usées et des modalités de gestion des services

◀ Paramètre : Modalités éventuellement préexistantes de gestion des excréta, urines, eaux grises

Au-delà du cadre officiel, les pratiques locales formelles ou informelles qui sortent des champs couverts par ce cadre ou qui se l'approprient en procédant à des adaptations locales, sont importantes à identifier.

La prise en compte de ces paramètres est pleinement à considérer quand on introduit un maillon réutilisation/valorisation. En effet, les réglementations liées aux usages sont également à intégrer et les enjeux liés aux risques sanitaires et environnementaux font l'objet de débats.

➔ Risque sanitaire

Enjeu 2 129

➔ Modèles organisationnels et économiques

Enjeu 3 153

2. Population et habitat

◀ Paramètre : Démographie et typologie de l'habitat

La démographie et la projection de son évolution constituent des données d'entrée clé pour le choix de la forme d'assainissement. En effet, le **choix des procédés de traitement** et leur **dimensionnement** sont liés à la densification et l'évolution de la typologie de l'habitat.

La densité de l'habitat influe sur le choix d'une **forme d'assainissement en réseau ou hors réseau**. Un habitat dense s'accompagne d'un rapport favorable entre le linéaire de réseau et le nombre d'usagers du service, tandis que, dans les zones à habitat dispersé, les coûts d'investissement et de fonctionnement liés à la collecte par réseau peuvent devenir prohibitifs.

Par ailleurs, une disposition des rues très étroites peut rendre difficile l'accès aux fosses de latrines et justifier des modalités de transport avec des moyens moins volumineux que des camions vidangeurs, ou bien des mini-réseaux de collecte localisés.

➔ Pas d'impact majeur en cas de réutilisation/valorisation

◀ Paramètre : Disponibilité foncière

La possibilité, pour le gestionnaire de la STEP ou de la STBV, d'acquérir un terrain qui présente les caractéristiques requises (hors zones inondables, éloignement cohérent de la zone de collecte, exutoire adapté à proximité, topographie favorable...) constitue un facteur de faisabilité décisif. Cela conditionne tant la faisabilité même de la mise en place d'un système d'assainissement et la **forme d'assainissement**, que le **choix des procédés de traitement**.

La question de l'emprise et de la disponibilité du foncier peut se poser également pour des ouvrages liés au transport (réseau, ouvrages de stockage intermédiaire de matières de vidange).

Les systèmes de traitement secondaires extensifs des eaux (lagunage, filtres plantés de végétaux) ont une emprise foncière significativement plus importante que les systèmes de traitement secondaires intensifs (boues activées notamment).

Les caractéristiques des produits issus de la filière de l'assainissement, requises en fonction du/des usages ciblés, peuvent nécessiter des traitements supplémentaires de désinfection (eaux) ou hygiénisation (boues et matières de vidange), qui nécessitent une emprise foncière plus ou moins importante.

La disponibilité foncière ne représente pas d'enjeux pour les traitements tertiaires des eaux, hormis pour le lagunage de maturation.

Le séchage des boues de vidange peut requérir une emprise importante, tandis que les solutions de déshydratation mécaniques sont plus compactes.

3. Services essentiels et activités artisanales et industrielles

◀ Paramètre : Alimentation en eau potable et consommations d'eau

L'existence ou non d'un service d'approvisionnement en eau fonctionnel influe sur le **choix d'un mode d'assainissement en réseau ou hors réseau**. En effet, un réseau d'égout nécessite un débit minimal d'eaux usées pour fonctionner correctement, car des volumes insuffisants peuvent provoquer des colmatages, tandis que des consommations d'eau élevées impliquent la nécessité de vidanger fréquemment des fosses étanches. En outre, les consommations d'eau constituent une donnée d'entrée clé pour **dimensionner l'ensemble des équipements et procédés** à tous les maillons de la filière. Les niveaux de consommation d'eau doivent être considérés non pas de façon théorique, mais faire l'objet d'une estimation basée sur une analyse des pratiques locales.

➔ Pas d'impact majeur en cas de réutilisation/valorisation

◀ Paramètre : Gestion des eaux pluviales et des inondations

Ce paramètre influe plus particulièrement le **choix d'une forme d'assainissement en réseau ou hors réseau**. Si la collecte des eaux usées est envisagée conjointement avec des eaux pluviales (réseaux unitaires), ou si des eaux claires parasites s'introduisent sans des réseaux séparatifs, cela induit un surdimensionnement et/ou une complexification du **dimensionnement** des systèmes de collecte et de traitement. Si le choix est porté sur un système d'assainissement en réseau, ce paramètre influe sur le **choix des procédés de traitement**, certains étant plus résilients aux variations de volumes et de charges.

➔ Pas d'impact majeur en cas de réutilisation/valorisation

◀ Paramètre : Gestion des déchets

Les modalités formelles ou les pratiques informelles de gestion des déchets solides impactent le **choix d'une forme d'assainissement en réseau ou hors réseau**. En effet, les réseaux d'assainissement peuvent drainer les déchets, entraînant un risque d'obstruction, et ces déchets peuvent également être acheminés jusqu'au système de traitement et en perturber le fonctionnement, malgré la présence d'un prétraitement par dégrillage. Par ailleurs, un service de collecte de boues de vidange hors réseau peut éventuellement s'appuyer sur les modalités existantes de collecte de déchets solides.

➔ Pas d'impact majeur en cas de réutilisation/valorisation

◀ Paramètre : Pratiques domestiques

Les caractéristiques des eaux grises dépendent des pratiques des ménages (volumes d'eau consommés, type de produits de nettoyage).

➔ Pas d'impact majeur en cas de réutilisation/valorisation

◀ Paramètre : Activités artisanales ou industrielles

Les caractéristiques des eaux dites non domestiques dépendent des activités artisanales et industrielles existantes. Certaines activités peuvent générer des effluents dont la charge polluante est susceptible de perturber le fonctionnement des réseaux de collecte et systèmes de traitement (typiquement, les tanneries, les stations de lavage de véhicules, etc.). Certaines activités peuvent induire la présence de micropolluants dans les effluents.

Les caractéristiques des produits issus de la filière de l'assainissement, requises en fonction du/des usages ciblés, peuvent comporter des résidus de polluants ou de micropolluants issus de ces activités.

➔ **Risque sanitaire**

Enjeu 2 **129**

4. Caractéristiques naturelles

◀ Paramètre : Pédologie, géotechnique, hydrogéologie

Ce paramètre influe sur **le choix de l'interface utilisateur (latrines) et des procédés de traitement** à tous les maillons de la filière.

En particulier, les caractéristiques géotechniques, la capacité d'infiltration du sol, sa capacité d'auto-épuration, et la présence de ressources en eau souterraine, influent sur le choix puis le **dimensionnement** de solutions selon si elles nécessitent ou non des terrassements importants, voire des fondations ou encore une infiltration des eaux. Cela conditionne la possibilité de faire du sol un exutoire des eaux usées traitées par infiltration et, plus généralement, influe sur le choix de la localisation des systèmes de traitement.

Une collecte en réseau augmente les volumes de terrassement nécessaires pour le maillon transport, mais les latrines à chasse d'eau associées ne nécessitent pas de terrassements, contrairement aux équipements à la parcelles comportant différents types de fosses.

Les systèmes de traitement intensifs sont susceptibles de nécessiter des fondations selon la nature du sol pour assurer la stabilité des ouvrages de génie civil.

S'il existe un risque de contamination des ressources en eau souterraines, lié à la nature du sol ou à la présence d'une nappe peu profonde et non isolée, les latrines à fosses non étanches sont à proscrire.

Les procédés de traitement supplémentaires éventuellement nécessaires peuvent améliorer la qualité des produits susceptibles de contaminer des ressources en eau par infiltration, mais introduire des éléments nocifs vis-à-vis des caractéristiques du sol. Les produits issus de la filière de l'assainissement peuvent également être bénéfiques pour les sols. En outre, ce paramètre est à considérer spécifiquement au niveau des sites de réutilisation/valorisation et doit influencer sur leur choix.

➔ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Enjeu 1 **110**

◀ Paramètre : Topographie

La topographie influe sur le choix d'une forme d'assainissement en réseau ou hors réseau. Le transport gravitaire sera privilégié afin de limiter le nombre de postes de relevage. Cette analyse peut conduire à différencier, au sein de la localité ciblée, des zones pour lesquelles une forme d'assainissement en réseau est cohérente avec la topographie et des zones pour lesquelles une forme d'assainissement hors réseau est plus adaptée.

La topographie est également un paramètre pour **le choix du site de traitement, et donc du procédé de traitement** en fonction de la surface disponible.

➔ Pas d'impact majeur en cas de réutilisation/valorisation

◀ Paramètre : Activités artisanales ou industrielles

Le climat est un élément central dans le **choix des procédés de traitement**, en particulier la pluviométrie, la température et l'ensoleillement.

La pluviométrie impacte le taux de remplissage des fosses des latrines non étanches, pour lesquelles les eaux ne sont pas orientées vers un dispositif d'épandage, notamment dans le cas de nappes affleurantes. La fréquence de vidange et les quantités et caractéristiques des boues à traiter sont impactées. Pour les systèmes en réseau, la pluviométrie impacte les volumes et la concentration des eaux usées à traiter, par l'intrusion d'eaux claires parasites dans les systèmes de collecte, bien que la mise en place de réseaux séparatifs se généralise. Dans le cas des réseaux non séparatifs, la pluviométrie augmente également le ruissellement et donc les concentrations en métaux lourds (issus notamment du trafic automobile) qui peuvent compliquer le processus de traitement ou le rendre plus onéreux.

Les traitements supplémentaires de désinfection (eaux) ou hygiénisation (boues et matières de vidange), s'avèrent plus ou moins adaptés au contexte climatique.

Les systèmes de traitement tertiaire des eaux par lagunage qui reposent notamment sur l'action des UV ainsi que les procédés de traitement des boues par séchage sur lits, sont optimisés dans des conditions de fort ensoleillement. Cependant, les fortes températures peuvent engendrer un bilan hydrique défavorable (une partie significative de l'eau est perdue par évaporation).

Ce paramètre est également central dans la justification environnementale de l'introduction d'un maillon réutilisation/valorisation.

➔ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Enjeu 1 **110**

5. Capacités techniques et financières locales existantes et opportunités de les développer

Les acteurs concernés à tous niveaux sont à identifier :

- Les usagers du système d'assainissement dans leur diversité et avec leurs éventuels besoins différenciés (femmes, enfants, personnes en difficulté financière, artisans, industriels...)
- Les acteurs déjà impliqués (de façon formelle ou informelle) ou envisagés pour assurer les différentes fonctions de la filière de l'assainissement : vidange de latrines et leur transport/l'exploitation de réseaux de collecte, exploitation de STEP / STBV, contrôle de la qualité des produits sortants...
- Les acteurs impliqués dans la régulation du service d'assainissement, dans la définition de la réglementation, dans la mise au point des politiques et stratégies nationales.

Selon les contextes, ces acteurs peuvent être de nature très différente : acteurs étatiques, déconcentrés, décentralisés ou associatifs, entreprises privées d'envergure, autoentrepreneurs ou petites entreprises.

Les usagers des produits issus de l'assainissement sont à considérer.

De nouvelles fonctions et des acteurs associés pour assurer leur fonctionnement sont à prendre en compte.

Les acteurs impliqués dans la régulation des secteurs concernés pas les débouchés de réutilisation/valorisation sont à impliquer.

→ Modèles organisationnels et économiques

Enjeu 3 153

→ Aspects sociologiques

Enjeu 4 166

► **La forme d'assainissement et les procédés de traitement** doivent être en cohérence avec les capacités techniques, organisationnelles et financières des différents acteurs impliqués. Cela ne signifie pas que l'état initial de ces capacités doit conditionner strictement les solutions choisies : l'identification de lacunes peut conduire à établir un programme de formation afin de renforcer ces capacités. Toutefois, les solutions choisies doivent rester réalistes avec le niveau de connaissance initial ainsi que les modalités possibles des formations dispensées dans le cadre de projets de développement ou s'appuyant sur des offres locales (degré de professionnalisation, durée, possibilité de « rafraîchissement »...).

Les capacités locales peuvent être insuffisamment prises en compte lors de l'étude de faisabilité, lorsque l'ingénierie (souvent internationale) est apportée via l'aide au développement au stade du projet, sans que ne soient suffisamment anticipées les modalités de gestion du système une fois le projet achevé. **Ainsi, les coûts et la technicité nécessaires à l'exploitation et la maintenance du système doivent être cohérents avec les capacités des acteurs locaux à réaliser les opérations techniques, à pérenniser des mécanismes de facturation et de recouvrement des coûts.**

Les caractéristiques des produits issus de la filière de l'assainissement, requises en fonction du/des usages ciblés, peuvent nécessiter des traitements supplémentaires de désinfection (eaux) ou hygiénisation (boues et matières de vidange).

Ces procédés de traitement sont plus ou moins énergivores, délicats à exploiter et sobres en termes de consommation de réactifs et de renouvellement d'équipements. De plus, des difficultés à exploiter les équipements et procédés de traitement dans les conditions optimales pour lesquelles ils sont conçus peuvent compromettre les caractéristiques des produits qu'ils sont théoriquement censés permettre d'obtenir. Ainsi, ces paramètres qui régissent le réalisme des choix de solutions de traitement permettant d'obtenir des produits valorisables devraient être pris en compte dans la stratégie de gestion du risque sanitaire.

→ Risque sanitaire

Enjeu 2 129

→ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Enjeu 1 110

→ **Modèles organisationnels et économiques**

Enjeu 3 **153**

→ **Aspects sociologiques**

Enjeu 4 **168**

◀ **Paramètre : Consommation énergétique et coûts d'exploitation associés**

Certains procédés de traitement sont particulièrement énergivores : traitements secondaires des eaux par boues activées (en particulier du fait du système d'aération).

Tandis que d'autres fonctionnent avec peu ou pas d'électricité : traitements secondaires extensifs des eaux, tels que le lagunage et les filtres plantés de végétaux.

Ces procédés de traitement sont plus ou moins énergivores, délicats à exploiter et sobres en termes de consommation de réactifs et de renouvellement d'équipements. De plus, des difficultés à exploiter les équipements et procédés de traitement dans les conditions optimales pour lesquelles ils sont conçus peuvent compromettre les caractéristiques des produits qu'ils sont théoriquement censés permettre d'obtenir. Ainsi, ces paramètres qui régissent le réalisme des choix de solutions de traitement permettant d'obtenir des produits valorisables devraient être pris en compte dans la stratégie de gestion du risque sanitaire.

→ **Modèles organisationnels et économiques**

Enjeu 3 **153**

→ **Impacts environnementaux positifs et négatifs**

Enjeu 1 **110**

◀ **Paramètre : Technicité des opérations d'exploitation et de maintenance**

Tous les procédés de traitement nécessitent que le gestionnaire ait une connaissance claire des opérations de maintenance et d'exploitation à effectuer et de leur fréquence. En cas de dysfonctionnement, le gestionnaire doit disposer des connaissances permettant d'analyser les causes et d'effectuer des mesures correctives, ou bien doit pouvoir solliciter un acteur pour bénéficier d'un appui.

Certains procédés de traitement nécessitent des **opérations de maintenance et d'exploitation peu fréquentes et réalisables suite à des formations succinctes** : traitements secondaires extensifs des eaux, tels que le lagunage et les filtres plantés de végétaux.

Dans le cas d'une réutilisation, certains procédés de traitement nécessitent des opérations de maintenance et d'exploitation peu fréquentes et réalisables suite à des formations succinctes : traitement tertiaire des eaux par lagunage de maturation, lits de séchage des boues.

D'autres procédés **nécessitent des compétences avancées**, en particulier du fait d'ajustements fréquents à apporter aux paramètres qui les régulent : traitements secondaires des eaux par boues activées.

Dans le cas d'une réutilisation, certains procédés de traitement nécessitent des opérations de maintenance et d'exploitation peu fréquentes et réalisables suite à des formations succinctes : traitement tertiaire des eaux par lagunage de maturation, lits de séchage des boues.

→ **Modèles organisationnels et économiques**

Enjeu 3 **153**

➤ **Paramètre : Consommation de réactifs et renouvellement d'équipements**

Certains procédés de traitement s'accompagnent de matériaux et matériels spécifiques (souvent non produits localement) dont le renouvellement peut s'avérer complexe. L'éloignement d'un centre urbain, une situation d'enclavement, peut complexifier encore (modalité de transport, de stockage) voire rendre impossible l'accès à des pièces de rechange ou des réactifs, et rendre irréalistes certaines solutions de traitement.

Traitement de décantation avec coagulation-floculation.

Cette problématique concerne particulièrement les procédés de traitement tertiaires de désinfection : chloration, ozonation, UV, traitements membranaires.

→ **Modèles organisationnels et économiques**

Enjeu 3 **153**

6. Débouchés des produits issus de la filière de l'assainissement

Ces paramètres sont particulièrement importants si l'on souhaite introduire un maillon réutilisation/valorisation.

➤ **Paramètre : Identification des dangers liés à l'usage de certains produits, des personnes exposées à ce danger et du risque associé**

Ce paramètre concerne les usages agricoles, mais également tous les usages qui impliquent un contact avec les eaux, les boues et les matières de vidange ainsi que les sols et les cultures irriguées/amendées.

Il ne concerne pas les usages suivants : usages énergétiques, activités industrielles et artisanales.

→ **Risque sanitaire**

Enjeu 2 **129**

◀ **Paramètre : Existence d'un bénéfice environnemental à la réutilisation/valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement**

Ce paramètre s'intègre aux paramètres « Pédologie, hydrogéologie » et « Contexte climatique »

➔ **Impacts environnementaux positifs et négatifs**

Enjeu 1 **110**

◀ **Paramètre : Existence d'un besoin de réutilisation/valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement pour des activités anthropiques ou opportunité de le développer**

Le ou les débouchés des produits issus de la filière de l'assainissement constitue(nt) un élément clé du diagnostic du contexte afin d'orienter la faisabilité de l'ensemble de la filière. Les utilisateurs potentiels du/des produits font alors partie des acteurs à impliquer.

➔ **Modèles organisationnels et économiques**

Enjeu 3 **153**

➔ **Aspects sociologiques**

Enjeu 4 **168**

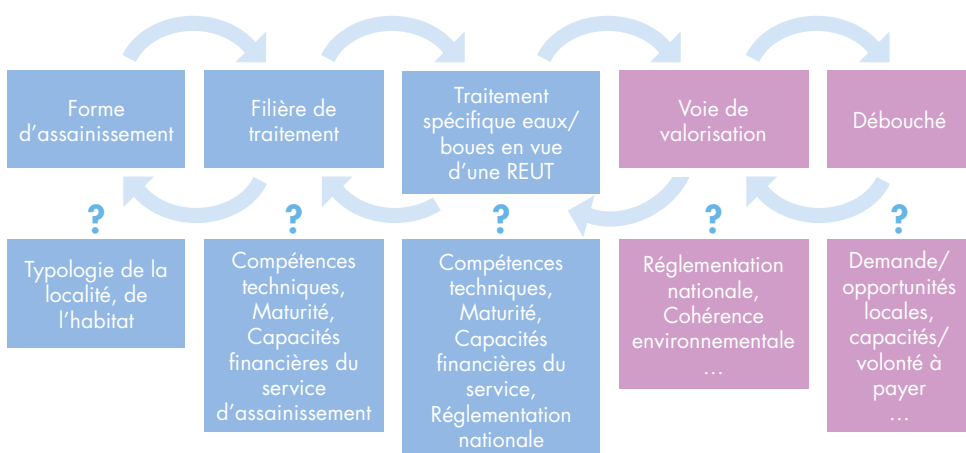
En conclusion, pour s'orienter dans les choix possibles :

Les orientations en termes de forme d'assainissement, d'équipement et de procédés de traitement, de voies de réutilisation/valorisation et de filière de débouchés :

- S'appuient sur un diagnostic ayant identifié et analysé l'ensemble des éléments contextuels pertinents et résultent d'une analyse de faisabilité, qui a permis de comparer plusieurs scénarios possibles
- Découlent d'une démarche d'implication de l'ensemble des acteurs concernés
- Intègrent le choix des équipements et des technologies, mais également le choix d'un modèle de fonctionnement de la filière de l'assainissement d'un point de vue organisationnel et financier.

Les éléments contextuels guident les choix de façon non linéaire, mais itérative.

En particulier, l'identification de débouchés pour les produits issus de la filière de l'assainissement peut constituer un élément clé, duquel découlent des options examinées pour les maillons traitement, transport, collecte.



POUR EN SAVOIR + :

• Les paramètres contextuels à considérer pour orienter les choix à chaque maillon de la filière de l'assainissement :

- Choisir des solutions techniques adaptées pour l'assainissement liquide, pS-Eau, Monvois, J.; Gabert, J.; Frenoux, C.; Guillaume, M. (GRET), 2010
- Wastewater Treatment and Reuse: A Guide to Help Small Towns Select Appropriate Option, The World Bank, GWSP, J.-M. Brault, K. Buchauer, M. Gambril. 2022
- Mémento de l'assainissement : Mettre en œuvre un service d'assainissement complet, durable et adapté, Éditions Quæ, Éditions du Gret, J.Gabert et al., 2018.
- Gestion des Boues de Vidange – Approche intégrée pour la mise en œuvre et l'exploitation, IWA, Strande L., Ronteltap M., Brdjanovic D., 2018, [anglais](#)



Enjeu 1 : Quels impacts environnementaux positifs et négatifs ?

Réutiliser ou valoriser les produits de l'assainissement, dans leur diversité, apparaît comme une option vertueuse dans un esprit de circularité des flux et des matières.

Les bénéfices environnementaux liés à la mobilisation d'une « nouvelle » ressource en eau, au retour au sol des matières et à la réduction de l'émission de gaz à effet de serre, sont souvent considérés comme des justifications de la cohérence d'un projet visant à introduire un maillon réutilisation/valorisation à la filière de l'assainissement.

Cette partie requestionne ces bénéfices en examinant les impacts environnementaux positifs et négatifs à considérer.



La mobilisation d'une « nouvelle » ressource en eau

EAUX USÉES SECONDAIRES

À TERTIAIRE

Produit réutilisé/valorisé concerné :
Eaux usées traitées niveau
secondaire à tertiaire

Usages concernés

Irrigation des sols pour des activités
agricoles, cultures comestibles ou non

ACTIVITÉS AGRICOLES

Amendement d'espaces verts
publics (jardins, parc)

ESPACES VERTS PUBLICS

Amendement d'espaces verts privés
lucratifs (hôtels, golfs)

ESPACES VERTS PRIVÉS

Soutien du débit d'étiage de
ressources en eau superficielles

DÉBIT D'ÉTIAGE

Usages humains et non
humains en aval

USAGES EN AVAL

Aquaculture (usage des eaux
dans des bassins piscicoles)

AQUACULTURE

Lavage d'espaces urbains,
de voiries et réseaux

LAVAGE URBAIN

Process industriels, réseaux
de refroidissement

PROCESS INDUSTRIELS

Impacts environnementaux positifs et négatifs

La réutilisation des eaux usées traitées se présente comme une stratégie efficace pour **atténuer les prélèvements d'eau douce** dans les aquifères et les cours d'eau. Cette approche cherche à offrir une solution face à la raréfaction des ressources en eau due à la pression croissante exercée par les activités humaines et en particulier agricoles ainsi qu'aux effets du changement climatique.

Les eaux usées traitées apparaissent alors comme le gisement d'une « nouvelle » ressource, qui serait jusqu'alors insuffisamment « exploitée », amenant à considérer qu'il y aurait un « retard » dans le développement de la réutilisation des eaux usées traitées.

Cette vision est cependant à déconstruire pour remettre en perspective quels sont les réels bénéfices environnementaux de la réutilisation des eaux usées traitées. La réutilisation des usées traitées ne peut prétendre être réalisée dans une démarche de préservation des ressources en eau, que si elle est envisagée comme la mobilisation d'une **ressource de substitution** et non comme une **ressource additionnelle**.

Les eaux usées traitées peuvent en effet être considérées comme des ressources additionnelles, permettant le développement de nouveaux usages. Cette perspective peut s'accompagner de bénéfices économiques et sociaux, cependant, à l'échelle du bassin versant, la ressource en eau ne s'en trouve alors

pas davantage préservée, mais plutôt davantage sollicitée.

Selon les contextes, les impacts peuvent être neutres. Par exemple, le débit du rejet d'eaux usées peut être négligeable vis-à-vis du débit du cours d'eau qui constitue le milieu récepteur. La réutilisation sur un site agricole à proximité du cours d'eau peut également permettre une infiltration dans la nappe d'accompagnement du cours d'eau. Les im-

pacts peuvent être négatifs si le débit du rejet d'eaux usées constitue le débit d'étiage du cours d'eau en saison estivale, sa suppression prive ainsi les usagers de la ressource en aval. En revanche, l'impact positif de la réutilisation des eaux usées traitées apparaît systématique dans le cas où elle est envisagée en remplacement d'un rejet en mer, permettant de réinjecter de l'eau douce dans le cycle de l'eau.

◀ L'adaptation au contexte

Le cheminement de l'eau utilisée pour des usages domestiques mis en œuvre par les services d'eau et d'assainissement est imbriqué dans le grand cycle de l'eau et en détourne déjà son cours naturel. La réutilisation des eaux usées traitées en sortie d'un système de traitement, implique d'acheminer ces eaux sur le site de réutilisation, plutôt que de les rejeter dans l'environnement, souvent directement à proximité. **La réutilisation des eaux usées traitées revient à réorienter, pour un usage anthropique, un flux déjà existant.** Les eaux

usées traitées qui ne sont pas « réutilisées » ne sont pas « perdues » ! Elles retournent dans l'environnement et servent à d'autres utilisateurs humains et non humains en aval.

La réutilisation de l'eau doit être envisagée conjointement avec une analyse d'impact qui place le projet dans une vision de Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE). Les usages et usagers sont à identifier et un bilan hydrologique devrait être réalisé à l'échelle du bassin versant.



Focus Méditerranée

Au Maroc et en Tunisie, la réutilisation des eaux usées traitées constitue un axe important de la stratégie et la réglementation du secteur de l'eau et l'assainissement, prenant sa place en tant que ressource en eau non conventionnelle qui serait à développer pour augmenter « l'offre », afin de participer à rééquilibrer « l'offre » et « la demande ». En effet, le changement climatique, avec des épisodes de sécheresse prolongés de plus en plus fréquents, une réduction et une irrégularité des précipitations, entraîne une réduction des ressources en eaux conventionnelles disponibles et un stress hydrique croissant. Dans ce contexte, l'usage des eaux usées traitées est fortement incité, et même rendu obligatoire, en substitution de l'usage d'eau de surface ou souterraines, en particulier pour l'irrigation d'espaces verts publics et au niveau d'aménagements touristiques tels que les hôtels ou les terrains de golf.

Cependant, la cohérence environnementale de ces usages est à examiner dans le cadre d'une approche de GIRE. Par exemple, l'évaluation du projet d'arrosage des golfs et des espaces verts de la ville de Marrakech montre que le développement de cet usage ne permet plus le maintien de la zone humide et la réalimentation de l'Oued Tensift. Cette situation a amené les agriculteurs soit à abandonner leurs activités de culture et d'élevage, soit à recourir à l'utilisation des eaux souterraines déjà surexploitées.^[A]

A. B. Soudi, « Amélioration des connaissances sur l'utilisation saine et sécurisée des eaux usées traitées pour le développement du secteur agricole dans les pays du Maghreb – Rapport Maroc, » FAO, 2020

Les besoins en eau du secteur agricole sont un enjeu crucial étant donné qu'ils représentent près de 80 % des volumes consommés pour l'ensemble des usages, liés tant au changement climatique, qu'au mode d'agriculture intensive. L'usage agricole est pour l'instant peu présent au Maroc, historiquement présent en Tunisie et en développement en Palestine.

En Cisjordanie, les eaux usées traitées sont perçues comme une ressource supplémentaire qu'il est essentiel de mobiliser. La réutilisation des eaux usées traitées ne s'inscrit pas dans un rééquilibrage de l'offre et la demande, mais plutôt dans une démarche volontariste de développement de l'usage de cette ressource afin de la conserver sur le territoire cisjordanien. Cela s'accompagne d'une stratégie visant à susciter la demande, y compris dans des territoires où l'agriculture se pratique traditionnellement de façon non irriguée.

POUR EN SAVOIR + :

- **Les bénéfices, risques et l'adaptation au contexte de la mobilisation d'une « nouvelle » ressource en eau**

- Guide à la décision pour la mise en œuvre d'un projet de Réutilisation d'Eaux Usées Traitées, BRL, Savey, P., 2022
- Resource Recovery and Reuse Series n°4 - Global Experiences in Water Reuse, CGIAR, IWMI, Lautze, J.; Stander, E.; Drechsel, P.; da Silva, A. K.; Keraita, B., 2014
- Water reuse in the Middle East and North Africa, a sourcebook, IWMI, Mateo-Sagasta, J. et al, 2022



Le retour au sol des matières

EAUX USÉES SECONDAIRES

À TERTIAIRE

Eaux usées traitées niveau
secondaire à tertiaire

Usages concernés

- Irrigation des sols pour des activités agricoles, cultures comestibles ou nonACTIVITÉS AGRICOLES
- Amendement d’espaces verts publics (jardins, parc)ESPACES VERTS PUBLICS
- Amendement d’espaces verts privés lucratifs (hôtels, golfs)ESPACES VERTS PRIVÉS

BE/BV COMPOST, CENDRES, BIOCHAR

Boues d’épuration/de vidange, digestats,
compost, biochar, cendres

Usages concernés

- Amendement des sols pour des activités agricoles, cultures comestibles ou nonACTIVITÉS AGRICOLES
- Amendement d’espaces verts publics (jardins, parc)ESPACES VERTS PUBLICS
- Amendement d’espaces verts privés lucratifs (hôtels, golfs)ESPACES VERTS PRIVÉS
- Amendement des sols pour la sylvicultureSYLVICULTURE
- Réhabilitation de zones minières ou industrielles, des sols endommagés par l’agriculture intensiveRÉHABILITATION DES SOLS

URINES APRÈS STOCKAGE

Usages concernés

- Amendement des sols pour des activités de maraichage familialMARAICHAGE FAMILIAL

➤ Impacts environnementaux positifs et négatifs

Type de matière	Impacts positifs	Impacts négatifs
Boues d'épuration	• Très riches en matière organique (~50 % de la matière sèche) : améliorent la structure des sols, favorisent la rétention d'eau et la disponibilité des nutriments, favorisent la vie microbienne • Riches en éléments nutritifs : azote (N), phosphore (P), potassium (K), magnésium (Mg), calcium (Ca), oligo-éléments	• Contamination à long terme par les métaux lourds (ETM) • Contamination des eaux de surface ou souterraines par stagnation, ruissellement ou percolation • Salinisation du sol en cas d'application excessive, surtout sur sol mal drainé • Acidification du sol selon le type de boue
Eaux usées traitées	• Plus riches en matières organiques que les eaux conventionnelles si pas de traitement tertiaire • Fournissent des éléments nutritifs, notamment azote et phosphore	• Eutrophisation des eaux de surface • Contamination des nappes phréatiques par l'azote nitrique (très mobile) • Hypoxie des racines due à l'engorgement hydraulique (excès d'eau) • Salinisation du sol : stress hydrique, toxicité • Acidification du sol • Résidus de chlore (>5 mg/L) : brûlures foliaires et dommages aux cultures
Urines	• Riches en azote, en particulier sous forme de nitrates : utiles pour la nutrition des plantes	• Contamination des nappes phréatiques par l'azote nitrique



Focus Méditerranée

La matière organique contenue dans les boues représente une opportunité importante pour restaurer les sols dégradés dans les zones arides et semi-arides en améliorant leur capacité de rétention d'eau et leur fertilité. Des conditions climatiques chaudes accélèrent le processus de minéralisation de l'azote et du phosphore, qui sont alors plus facilement disponibles pour les plantes.^[B]

B. B. Soudi et W. El Khoumsi, «Valorisation agricole des boues d'épuration dans les pays du Maghreb : potentialités et défis Gestion et valorisation agricole des boues d'épuration au Maroc. Rapport national – Maroc,» FAO, 2024.

◀ L'adaptation au contexte

Afin que le retour au sol des matières représente un réel bénéfice pour les sols et les plantes et ne leur soit pas néfaste, il est essentiel de tenir compte de **certaines caractéristiques du sol** et de **maîtriser les quantités épanchées**, tant à court terme qu'au fil des années.

- **Les sols de texture argileuse**, riches en matière organique, ont une bonne capacité de rétention de l'eau. Ils retiennent mieux les nutriments et les métaux lourds. Les nutriments sont donc peu lessivés et restent disponibles dans les sols à long terme.

Les métaux ont tendance à se fixer sur le complexe argilo-humique et sont donc moins disponibles pour les plantes, réduisant ainsi le risque de toxicité. En revanche, en cas d'apports répétés (boues, compost, eaux usées) il peut y avoir une accumulation lente.

- **Les sols de texture sablonneuse**, pauvres en matière organique ont une faible capacité de rétention de l'eau. Les nutriments sont donc plus facilement lessivés. Les métaux lourds restent mobiles et biodisponibles pour les plantes, ce qui augmente le risque de toxicité pour les plantes. En revanche, le risque d'accumulation est moindre du fait de leur lessivage plus important.

- **Les sols acides** (pH inférieur à 6) ont tendance à favoriser la solubilité des métaux lourds, les rendant davantage disponibles et potentiellement toxiques pour les plantes.

- **Les sols basique** (pH supérieur à 7) peuvent rendre certains éléments nutritifs moins accessibles, provoquant ainsi des carences qui nuisent à la croissance des cultures.

- **Pour l'irrigation avec des eaux usées traitées**, qui peut favoriser le lessivage des nutriments, les sols de texture sablonneuse nécessitent d'adapter les pratiques d'irrigation (fréquence, volumes, modes d'irrigation) pour éviter la perte rapide de nutriments essentiels à la croissance des plantes.

Ce type de sol implique une vigilance accrue quant à l'apport de sel par les eaux usées traitées. En effet, leur faible capacité de rétention implique une infiltration rapide qui entraîne une évaporation en surface, accumulant les sels laissés en surface.

- **Pour l'application de boues**, les sols argileux et pauvre en matière organique impliquent une plus grande surveillance des quantités cumulées sur le long terme, afin d'éviter une l'accumulation excessive de nutriments et de métaux lourds.

Une nature du sol sablonneuse, permet de considérer des seuils plus souples pour la surveillance de l'accumulation des de nutriments et métaux lourds dans les sols. En effet, ils sont davantage susceptibles d'être lessivés, ce qui implique en revanche de veiller à limiter les risques de pollutions des ressources en eaux alentours par lessivage (vigilance sur la pente du terrain, proximité de ressources en eaux souterraines et de surface). L'apport de matière organique sur ce type de sol améliore progressivement ses capacités de rétention des nutriments et de l'eau.

Enfin, en cas de sol basiques, l'application de boues chaulées, qui sont alcalines, n'est pas adaptée.

- **Concernant le compost**, sa maturité et sa stabilité sont des propriétés essentielles, car un compost immature peut avoir des effets secondaires négatifs, comme des brûlures sur les cultures. Les normes de qualité exigent généralement un rapport carbone/azote (C/N) inférieur à 20, une fourchette de 12 à 15 étant idéale pour indiquer une bonne maturité.

L'application de grandes quantités de compost peut entraîner une augmentation significative de la teneur en sel dans le sol.



Focus Méditerranée

Les sols l'Afrique du Nord et du Moyen-Orient étant généralement de pH neutre à basique et riches en carbonates de calcium, l'usage de boues chaulée (pH >8) n'est pas adapté. D'autres flocculants, tels que les chlorures ferriques ou les nitrites, sont donc suggérés.^[C] Par ailleurs, les seuils tolérés peuvent être majorés par rapport à la plupart des valeurs limites des pays du nord de l'Europe où les sols sont relativement plus acides. De plus, dans les contextes de climats arides ou semi-arides où l'évapotranspiration est importante, la problématique de la salinisation des sols sableux est accentuée.

Les pays méditerranéens ne règlementent pas actuellement l'aptitude des sols à l'épandage de boues. Un décret est en cours d'élaboration au Maroc.

POUR EN SAVOIR + :

- **Sur les bénéfices, risques et l'adaptation au contexte, du retour au sol des matières, en particulier sur les paramètres à analyser dans les eaux, les boues et les sols**

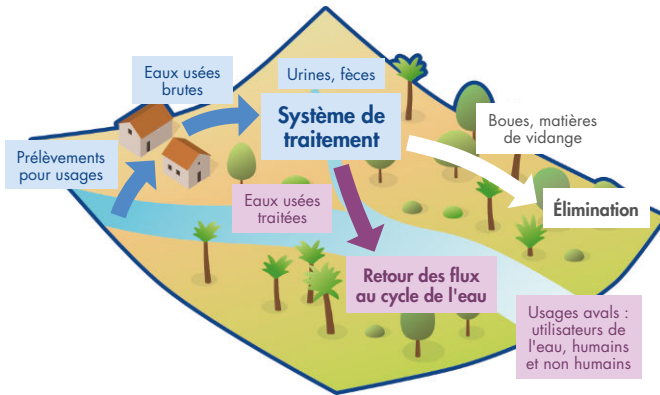
- Technical Guidance – Water Reuse Risk Management for Agricultural Irrigation Schemes in Europe, Publications Office of the European Union, Maffettone, R.; Gawlik, B.M., 2022
- Ressource Recovery and Reuse Series 03: Co-composting of Solid Waste and Fecal Sludge for Nutrient and Organic Matter Recovery, CGIAR, International Water Management Institute (IWMI), Cofie, O.; Nikiema, J.; Impraim, R.; Adamtey, N.; Paul, J.; Koné, D., 2016
- Resource Recovery and Reuse Series 14: Guidelines and Regulations for Fecal Sludge Management from On-site Sanitation Facilities, CGIAR, International Water Management Institute (IWMI), Jayathilake, N.; Drechsel, P.; Keraita, B.; Fernando, S.; Hanjra, M.A., 2019
- Effet de l'application de boues d'épuration sur la capacité d'infiltration des sols agricoles, Revue Agrobiologia, Volume 10, Numéro 3, Pages 2098–2108, Boughalem, M. ; Ienciu, A.A. ; Belhoucine, L., 2021
- Valorisation agricole des boues d'épuration dans les pays du Maghreb : potentialités et défis – Rapport national : Maroc, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), Soudi, B. ; El Khoumsi, W., 2024

C. « Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture : analyse de l'état des lieux et perspectives – cas de la Tunisie » FAO ; Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche Maritime (Tunisie), 2021.

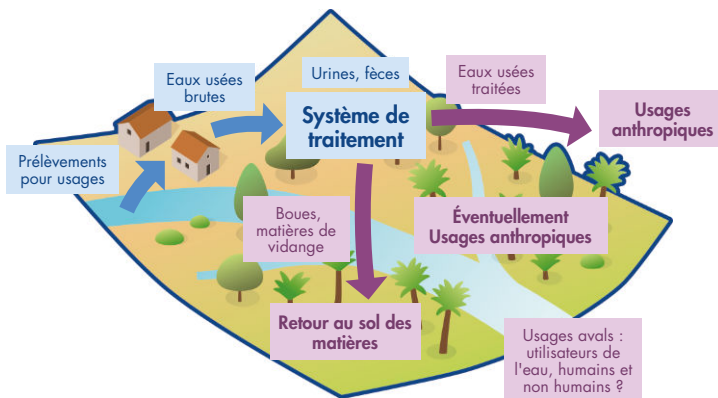
Les types d’analyses suivants peuvent être réalisés au stade de l’étude de faisabilité et au stade du fonctionnement :

	Objectifs de l'analyse	Paramètres à analyser	
		Plus spécifique à l'appli- cation de boues	Plus spécifique à l'irrigation avec des eaux usées traitées
Caractéri- sation des eaux / des boues	Valeur agronomique des boues / charge organique	• Azote total, azote ammoniacal • Nutriments et oligo-éléments • pH	
		• Matière organique (%) • Rapport C/N	• Turbidité, MES, DCO, DBO • Salinité
	Éléments traces mé- talliques (ETM)	• Respect des valeurs li- mites dans les eaux/les boues (mg/kg MS)- Flux maximum cumulé sur 10 ans (g/m²)	
		Selon l'origine des eaux usées brutes, d'autres micropol- luants peuvent être recherchés dans les eaux/les boues	
	Éléments pathogènes	• Œufs d'helminthes, Coliformes, E. coli	
Caractéri- sation des sols (étude pédolo- gique)	Éléments traces mé- talliques (ETM)	• Granulométrie • CEC (capacité d'échange cationique) • pH	
	Capacité à retenir les nutriments ; à retenir les métaux lourds; à infiltrer les eaux usées	• Matière organique (%) • Rapport C/N	• Conductivité • Perméabilité • Salinité
Étude topo-hydro-géologique		• Analyse du réseau hydrographique : fossés, puits, sources, forages	
		• Évaluation des risques de ruissellement	
		• Vérification de la pente (pour l'épandage de boues : seuil ≤ 7 %)	
Analyses initiales avant déploiement de la filière de réutilisation/valorisation > Évaluation de l'aptitude du sol à recevoir des eaux usées traitées / des boues			
Suivi : fréquence annuelle sur les eaux/les boues, tous les 10 ans sur les sols			

Les schémas suivants synthétisent les enjeux de mobilisation d'une « nouvelle » ressource en eau et de retour au sol des matières :



Le système de traitement prend en charge des urines et des fèces, éventuellement en mélange avec de l'eau prélevée dans l'environnement. En l'absence d'un maillon réutilisation/valorisation, les eaux usées traitées retournent au grand cycle de l'eau. Des usagers humains et non humains en bénéficient en aval. Les boues et matières de vidange, considérées comme des « sous-produits », sont éliminées (décharges, incinération).



Lorsque la filière de l'assainissement comporte une réutilisation des eaux, ces dernières sont acheminées jusqu'aux utilisateurs. Il faut considérer cet usage dans une vision de Gestion Intégrée des ressources en eau, tenant compte de l'ensemble des usagers humains et non humains.

Lorsque la filière de l'assainissement comporte une valorisation des boues et matières de vidange, les composants qu'elles comportent sont retournées au sol, ce qui amène un réel bénéfice environnemental si les caractéristiques et besoins du sol et des plantes sont bien pris en compte.



La réduction de l'émission de gaz à effet de serre (GES)

L'impact d'un système sur le réchauffement climatique peut être évalué en considérant les gaz à effet de serre entrants et sortant du système. Cette démarche peut être appliquée au secteur de l'assainissement. L'intégration d'un maillon réutilisation/valorisation peut permettre une réduction de l'émission de gaz à effet de serre de la filière de l'assainissement.

Les bénéfices environnementaux

L'évitement de l'émission de GES par la récupération du biogaz

Le méthane est un puissant gaz à effet de serre, ayant un potentiel de réchauffement beaucoup plus élevé que le dioxyde de carbone (CO₂). Récupérer le méthane pour sa valorisation énergétique, permet d'éviter qu'il soit libéré dans l'atmosphère, réduisant ainsi les émissions de GES de la filière de l'assainissement.

La substitution d'usages émetteurs de GES

Dans le cas où les produits issus de la filière de l'assainissement sont valorisés par un tiers en substitution d'un autre « produit » ou dans le cas où de l'énergie est produite et cédée à un tiers (valorisation du biogaz), les gaz à effet de serre qui auraient été émis pour fabriquer ce produit ou produire cette quantité d'énergie de manière classique, ne sont pas émis ; on parle alors d'émissions évitées.

BIOGAZ

Usages concernés



L'utilisation du biogaz contribue à éviter l'extraction, le transport et la combustion d'autres combustibles fossiles, activités qui génèrent des émissions de GES. Les émissions évitées correspondent aux émissions qui auraient eu lieu pour la production d'une quantité équivalente d'énergie non renouvelable.

sions évitées correspondent aux émissions qui auraient eu lieu pour la production d'une quantité équivalente d'énergie non renouvelable.

EAUX USÉES SECONDAIRES

Eaux usées traitées de niveaux secondaire à tertiaire

À TERTIAIRES**BE/BV, COMPOST, CENDRES, BIOCHAR**

Boues d'épuration/de vidange, digestats, compost, biochar, cendres

Usages concernés**Irrigation et Amendement des sols
pour des activités agricoles,
cultures comestibles ou non****ACTIVITÉS AGRICOLES**

La valorisation des nutriments provenant des produits de l'assainissement peut compléter voire substituer la consommation d'engrais chimiques. Les émissions évitées correspondent aux émissions qui auraient eu lieu pour la production de la quantité d'amendement substitué. Récupérer le phosphore est particulièrement judicieux, cette ressource étant non renouvelable, principalement exploitée à partir de gisements limités situés dans quelques pays.^[D]

Au niveau mondial, la réutilisation des eaux usées en agriculture, pourrait permettre une réduction de 30 % du tonnage de fertilisants minéraux appliqués pour l'agriculture (sur base des teneurs moyennes contenues dans les eaux usées traitées : Azote : 50mg/l ; Phosphore : 10mg/l et Potassium : 30mg/l (OMS, 2012)).^[E]

BIOCHAR, CENDRES**Usages concernés****Activités artisanale ou industrielles
locales (matériau de construction)****ARTISANAT OU INDUSTRIE**

Les émissions évitées correspondent aux émissions qui auraient eu lieu pour la production d'une quantité équivalente des matières premières substituées (ciment, briquettes).

◀ L'adaptation au contexte

Cependant, les bénéfices générés par ces usages devraient être mis en perspective avec l'ensemble des émissions de GES au niveau des différents maillons de la filière de l'assainissement. Le tableau suivant présente de façon synthétique les principaux postes

d'émission de GES, en mettant en évidence les émissions supplémentaires ou évitées du fait de l'intégration d'un maillon réutilisation/valorisation. (Les principaux GES émis sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et le protoxyde d'azote (N₂O)).

D. Mihelcic et al. 2011, cité par : Mateo-Sagasta, Javier, et al. Water Reuse in the Middle East and North Africa, a Sourcebook. International Water Management Institute (IWMI), 2022.

E. B. Soudi et W. El Khoumsi, «Valorisation agricole des boues d'épuration dans les pays du Maghreb : potentialités et défis Gestion et valorisation agricole des boues d'épuration au Maroc- Rapport national – Maroc,» FAO, 2024.

Sources d'émissions de GES	Filière de l'assainissement sans réutilisation/valorisation	Filière de l'assainissement, incluant un maillon réutilisation/valorisation
Maillons amont et transport	Les émissions générées peuvent être complexes à identifier et quantifier, d'autant plus dans le cas de latrines produisant des matières de vidanges collectées hors réseaux. Néanmoins, on peut considérer que les émissions liées aux fosses septiques et latrines sont supérieures à celles d'une STEP avec procédé aérobique correctement exploité. ^[1]	Pas de modification des émissions.
Maillon traitement	Les émissions générées par le système de traitement (STEP ou STBV). Des données et méthodologies existent pour caractériser ces émissions en fonction des procédés de traitement choisis, en particulier pour les STEP.	Les émissions générées par les procédés de traitement supplémentaires visant à obtenir les caractéristiques souhaitées des eaux et boues d'épuration/de vidange en fonction du/des usage(s) ciblé(s). Le cas échéant, l'évitement de l'émission de GES par la récupération du biogaz.
Fabrication (y compris extraction de leurs composants), transport des produits chimiques nécessaires aux procédés de traitement.	Cette estimation est particulièrement complexe, car nécessite la collecte de données hors du périmètre de la filière de l'assainissement et des acteurs qui sont impliqués dans son fonctionnement.	Les émissions provenant de la fabrication et du transport des produits chimiques éventuellement nécessaires aux traitements complémentaires, sont à considérer.
Transport des produits jusqu'à leur destination finale	Les émissions générées par la filière d'évacuation des boues/matières de vidange, si elles sont considérées comme un déchet et ne sont pas valorisées : incinération, mise en décharge L'évacuation des eaux vers un exutoire (cours d'eau, mer, infiltration) généralement gravitaire, est peu émettrice de GES.	Les émissions générées par le transport des eaux et boues/matières jusqu'à leur site de réutilisation/valorisation. La valorisation agricole des boues permet de réduire significativement les émissions de GES des boues par rapport à leur mise en décharge). ^[2]
Usage des produits en cas de valorisation	L'incinération et la mise en décharge sont des destinations finales émettrices de GES.	Les émissions évitées par le/les usage(s) du/des produit(s) issus de la filière de l'assainissement, qui substituent des usages émetteurs de GES.



Focus Méditerranée

Au Maroc, entre 2010 et 2022, les émissions GES des secteurs de l'agriculture et de l'assainissement, ont augmenté respectivement de 1 % et de 0,9 %. L'utilisation de produits issus de la filière de l'assainissement s'inscrit dans la démarche de réduire ces émissions, en substituant des usages émetteurs de GES. Rapport National d'Inventaire du Maroc à la convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques.^[F]

La démarche complète consisterait alors à identifier les sources d'émission de gaz à effet de serre, qualifier et quantifier ces émissions et s'appuyer sur ces estimations pour opérer des choix cohérents d'un point de vue environnemental aux différents maillons de la filière de l'assainissement, en particulier concernant le maillon réutilisation/valorisation. Une telle démarche est appliquée dans le cas d'une analyse de cycle de vie (ACV), méthode d'évaluation environnementale capable de quantifier les impacts sur l'ensemble du cycle de vie d'un système, depuis l'extraction des matières premières en passant par l'exploitation du système et jusqu'à sa fin de vie (démantèlement, gestion des déchets...). Dans la pratique, cette démarche est peu réaliste à mettre en œuvre en tant qu'outil d'aide à la décision, d'autant plus dans les contextes des pays à revenus faible ou intermédiaire.

Dans le secteur de l'eau et de l'assainissement, l'énergie (électricité, fioul et gaz naturel), constitue l'un des principaux postes d'émission de gaz à effet de serre. Ainsi, évaluer l'impact de la filière de l'assainissement sur l'émission de gaz à effet de serre, en réalisant son bilan énergétique, peut constituer une approche simplifiée, mais néanmoins significative et réaliste.

^F Rapport National d'Inventaire du Maroc à la convention-cadre des Nations-Unies sur les changements climatiques, Ministère de la transition énergétique et du développement durable, 2024.



Cohérence environnementale de la filière de l'assainissement vis-à-vis de son bilan énergétique

Le système de traitement (STEP, STBV) ainsi que le transport des produits jusqu'à ces systèmes de traitement (maillon intermédiaire) et sortant de ces systèmes de traitement (maillon réutilisation/valorisation), constituent des postes importants de consommation énergétique.

Postes de consommation énergétique	Filière de l'assainissement sans réutilisation/valorisation	Filière de l'assainissement, incluant un maillon réutilisation/valorisation
Maillon intermédiaire transport	Consommations énergétiques dues au transport des eaux (en réseaux, en particulier si des pompes de relevages sont nécessaires) et des matières de vidanges (camions vidangeurs)	
Maillon traitement	Consommations énergétiques du système de traitement (STEP ou STBV).	Consommations énergétiques des procédés de traitement complémentaires visant à obtenir les caractéristiques souhaitées des eaux et Boues/matières de vidange en fonction du/des usage(s) ciblé(s) Usage énergétique du biogaz produit par la digestion.
Transport des produits jusqu'à leur destination finale	Consommations énergétiques dues au transport des boues/matières de vidange, si elles sont considérées comme un déchet et ne sont pas valorisées : incinération, mise en décharge L'évacuation des eaux vers un exutoire (cours d'eau, mer, infiltration) est généralement gravitaire.	Consommations énergétiques dues au transport des eaux et boues/matières jusqu'à leur site de réutilisation/valorisation.

➤ **Consommations énergétiques des systèmes de traitement complémentaires, intégrés en vue d'une réutilisation/valorisation**

Cela implique de prendre en compte les procédés de traitement nécessaire à l'obtention des produits permettant ces usages ainsi que le transport de ces produits jusqu'au site d'utilisation. En effet, certains procédés de traitement sont énergivores, tandis que d'autres fonctionnent avec peu ou pas d'électricité.

Dans le cas d'un traitement secondaire par boues activées au niveau d'une STEP de 10 000 à 80 000 équivalents-habitants (EH), le traitement tertiaire peut représenter entre 15 % (cas d'une filtration par filtre à sable) et 65 % (ultrafiltration + UV) de la consommation en énergie de la file eau de la station. Ces pourcentages sont plus élevés

dans le cas d'un traitement secondaire par lagunage : de 40 % (dans le cas d'un traitement tertiaire par lagune de finition + filtre à sable) à 85 % (ultrafiltration).^[G]

En ce qui concerne le traitement des boues, les impacts énergétiques sont moindres. Cependant, un traitement par déshydratation mécanique des boues nécessitera de l'ordre de 50 kWh/TMS par rapport à une consommation énergétique négligeable pour un lit de séchage.

◀ Usage énergétique du biogaz produit par la digestion

Le **biogaz** (voir [chapitre 1](#)), produit par les procédés de digestion, permet de produire de l'énergie pouvant connaître différents usages, en particulier alimenter les besoins énergétiques du système de traitement (voir [chapitre 1](#)). Il convient néanmoins de rappeler que ces procédés ne sont envisageables techniquement et économiquement que pour des STEP de taille suffisante (de l'ordre de

100 000 équivalents habitants), avec des équipes d'exploitation spécifiquement formées et si la ressource énergétique a un coût suffisamment élevé. Par ailleurs, il est rare que la production d'énergie électrique à partir de biogaz permette de couvrir l'ensemble des besoins de la STEP, la fourchette habituelle d'autosuffisance électrique étant de 40-70 % grâce à la valorisation du biogaz.^[3]



Focus Méditerranée

Au Maroc, à Khouribga, la production de biogaz est utilisée pour la cogénération d'énergie électrique et thermique, couvrant 100 % des besoins en énergie thermique et entre 30 et 40 % des besoins en électricité de la STEP.^[H]

◀ Consommations énergétiques dues au transport des produits issus de l'assainissement jusqu'aux utilisateurs

Le transport des produits issus de l'assainissement jusqu'aux utilisateurs est également à prendre en compte. Pour une filière de l'assainissement qui n'inclut pas de maillon réutilisation/valorisation, il s'agit d'acheminer les produits (eaux usées traitées, boues matières de vidange) jusqu'à une destination finale.

L'exutoire des eaux se fait souvent de façon gravitaire et à proximité du site de traitement, tandis que la réutilisation peut nécessiter un système de relevage consommateur d'énergie et un linéaire de réseau plus impor-

tant pour acheminer les eaux usées traitées au niveau de sites plus éloignés.

Concernant les boues et matières de vidange issues de STEP ou de STBV, la distance de transport jusqu'aux utilisateurs est également un facteur important. L'éloignement des sites de valorisation est à considérer, et à comparer aux autres exutoires disponibles. En outre, le volume des boues/matières de vidange à transporter peut être optimisé si les procédés de traitement ont permis de réduire leur volume (déshydratation, voire séchage).

G. « Élaboration du Plan Directeur National de Réutilisation des Eaux Usées Traitées en Tunisie – Phase 2 : Prospective de la filière à l'horizon 2050, » Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, 2022.

H. B. Soudi et W. El Khoumsi, « Valorisation agricole des boues d'épuration dans les pays du Maghreb : potentialités et défis Gestion et valorisation agricole des boues d'épuration au Maroc- Rapport national – Maroc, » FAO, 2024.

➤ Consommations énergétiques évitées du fait d'usages évités grâce à la réutilisation/valorisation

L'estimation de l'évitement des consommations énergétiques liées aux usages évités, peut s'avérer complexe pour évaluer la cohérence environnementale d'un projet de réutilisation/valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement. Aussi, il est suggé-

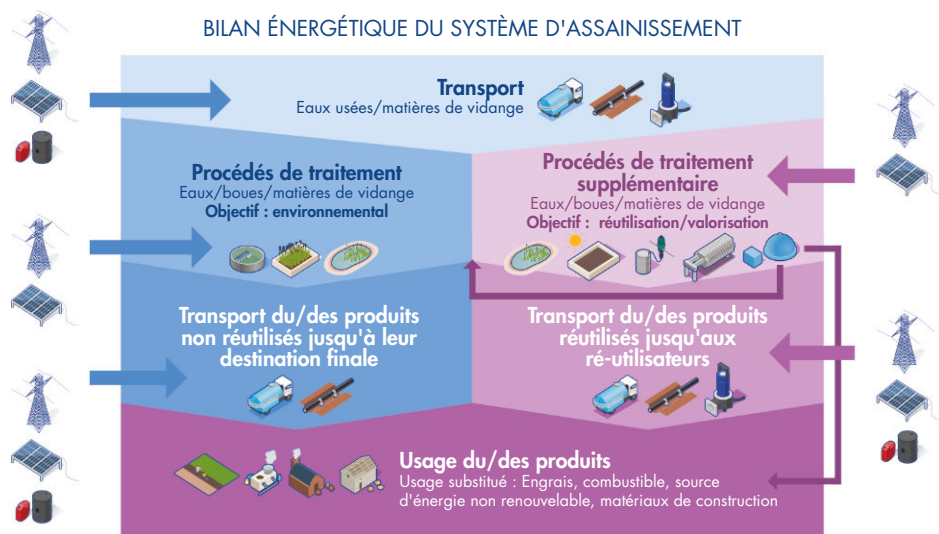
ré de s'attacher à effectuer le bilan énergétique des différents scénarios de réutilisation/valorisation de façon rigoureuse jusqu'à la fonction qui consiste à transporter les produits jusqu'à leurs utilisateurs.



Focus Méditerranée

Au Maroc, l'évitement de la consommation énergétique liée à la fabrication des 373 000 Unités Fertilisantes (UF) par an^[1] représente près de 1,42 % de la consommation totale de l'énergie commerciale et près de 7,1 % la consommation du bois de feu. En termes de réduction de l'émission de GES, cela représente un évitement de 168 300 Tq CO₂/an.^[2]

Le schéma ci-dessous synthétise les apports et gains d'énergie potentiels, à prendre en compte dans le cas d'une filière de l'assainissement incluant une réutilisation/valorisation des produits de l'assainissement.



I. Une unité fertilisante (UF) correspond à la valeur énergétique d'1 kg d'orge, soit en matière d'énergie nette : 1700 kilocalories = 7,11 mégajoules.

J. La tonne équivalent CO₂ (eq CO₂) est un indice introduit dans l'« IPCC First Assessment Report » du GIEC. Cet indice permet de comparer les impacts que les gaz à effet de serre (GES) ont sur l'environnement en simplifiant cette comparaison mais permet également de les cumuler grâce à un unique indice.

POUR EN SAVOIR + :

- **La réduction de l'émission de gaz à effet de serre et sur la cohérence environnementale de la filière de l'assainissement vis à vis de son bilan énergétique**

- Guide méthodologique des émissions de gaz à effet de serre des services de l'eau et de l'assainissement, ADEME, ASTEE, 2018
- Bilan environnemental des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées, Approches méthodologiques et bilan des données d'inventaires de gaz à effet de serre, Rapport final, ONEMA, IRSTEA, Pradel, M., Reverdy, A.L., 2013
- Les services d'eau et d'assainissement face au changement climatique Quels impacts ? Comment agir ?, pS-Eau, Gènevaux C., 2018
- Consommations énergétiques des stations d'épuration françaises, État des lieux et recommandations, AERMC, IRSTEA, 2018

- [1] - Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Task Force on National Greenhouse Gas Inventories (TFI), 2019
- [2] - The Biosolids Emissions Assessment Model (BEAM): A Method for Determining Greenhouse Gas Emissions, Canadian Biosolids Management Practices, 2009
- [3] - Le biogaz de STEP, une énergie de grande classe, suisse énergie, 2006
- Resource Recovery and Reuse Series 09: Energy Recovery from Domestic and Agro-Waste Streams in Uganda: A Socioeconomic Assessment, CGIAR, International Water Management Institute (IWMI), Gebrezgabher, S.; Amewu, S.; Taron, A.; Otoo, M., 2016



À retenir concernant les impacts environnementaux positifs et négatifs

Si l'introduction d'un maillon réutilisation/valorisation peut permettre de substituer le prélèvement de ressources en eau, un retour au sol des matières plutôt que leur élimination (incinération) ou leur mise en décharge, une récupération de l'énergie contenue dans les matières... **Le bénéfice environnemental ne va pas pour autant de soi et doit être examiné et questionné vis-à-vis de chaque contexte dans une démarche d'étude des impacts.**

La réutilisation des eaux usées traitées doit s'envisager dans une démarche de gestion intégrée des ressources en eau.

Le retour à la terre des matières doit considérer une adéquation du produit avec les caractéristiques environnementales en particulier du sol et des végétaux.

Outre l'éventuel usage du biogaz, le bilan énergétique complet de la filière de l'assainissement doit être examiné. Cet examen doit tenir compte des consommations énergétiques des procédés de traitement et en particulier des procédés introduits afin de permettre aux produits d'atteindre les caractéristiques requises. Les consommations énergétiques liées à l'acheminement des produits jusqu'au site de réutilisation/valorisation sont également à prendre en compte.

Pour aller plus loin, l'évaluation de la cohérence environnementale peut intégrer les usages en examinant dans quelle mesure ils se substituent des usages générateurs de gaz à effet de serre.

Enjeu 2 : Comment gérer les risques sanitaires liés à la réutilisation/valorisation des produits de l'assainissement ?

Le risque sanitaire cristallise des réticences face au développement de la réutilisation/valorisation des eaux usées ainsi que des boues et matières de vidange, en particulier concernant l'irrigation et l'amendement de cultures destinées à la consommation humaine.

Cette partie aborde les dangers liés à la présence de certains agents pathogènes et substances chimiques dans les produits issus de la filière de l'assainissement ainsi que pour les personnes exposées, le risque qui en résulte. En effet, les consommateurs des cultures amendées/irriguées avec des produits issus de la filière de l'assainissement ne constituent pas le seul groupe de personnes exposées.

Différentes approches de gestion du risque sanitaire, la façon dont elles sont traduites dans les réglementations et les limites qu'elles présentent en termes d'applicabilité et d'adaptation aux contextes sont ensuite développées. Plusieurs approches, qui peuvent se combiner, peuvent être envisagées :

- Définir et contrôler des objectifs de qualité du produit sortant du système de traitement
- Considérer les barrières post-traitement : modalités d'usages des produits issus de la filière de l'assainissement
- Restreindre les usages et modalités d'usages



Danger, exposition et risque

1) Quels sont les composants qui présentent un danger potentiel pour la santé humaine ?

➤ Agents pathogènes

Type d'agent pathogène	Description	Voies de contamination	Exemples pathogènes	Risques sanitaires principaux	Indicateurs de présence
Virus	Microorganismes parasites intracellulaires, nécessitent une cellule hôte pour se multiplier	Ingestion (principal), inhalation (ex : coronavirus, grippe), voie cutanée (herpès)	Entérovirus, Rotavirus, Adénovirus entériques, Norovirus, Hépatite A	Hépatite, gastro-entérites virales, épidémies hydriques et alimentaires	Bactériophages (coliphages somatiques, coliphages F-ARN)
Bactéries	Microorganismes unicellulaires procaryotes, parfois pathogènes	Ingestion (principal), inhalation (Legionella)	E. coli pathogènes, Salmonella, Shigella, Vibrio cholerae	Diarrhée, dysenterie, typhoïde, choléra	Coliformes totaux, coliformes fécaux (E. coli), entérocoques
Protozoaires	Parasites eucaryotes unicellulaires formant des kystes ou oocystes résistants	Ingestion (eau ou aliments contaminés)	Cryptosporidium, Giardia	Diarrhées persistantes, épidémies hydriques (ex. Milwaukee)	Spores de Clostridium perfringens (BASR)
Helminthes	Vers parasites multicellulaires	Contact ou consommation (excréta/eaux usées non traités)	Ascaris, Trichuris, Ankylostomes	Malnutrition, susceptibilité accrue aux infections, troubles digestifs	Comptage direct des œufs d'helminthes

➤ Polluants chimiques

Des résidus de polluants chimiques peuvent être présents à de très faibles concentrations dans les produits issus de la filière de l'assainissement et sont appelés **micropolluants**.

La plupart des micropolluants proviennent d'eaux usées ou de matières de vidange dites « non domestiques », c'est-à-dire issues d'activités industrielles, artisanales ou agri-

coles. D'autres proviennent de pratiques à domicile et sont directement présents dans les fèces et urines domestiques (résidus médicamenteux) ou les eaux grises (produits d'entretien, produits d'hygiène, cosmétiques). Certains micropolluants sont également présents dans les sols, de façon naturelle (en particulier les métaux) ou bien du fait d'autres activités humaines (en particulier agricole pour les pesticides) et peuvent avoir été drainés par les eaux pluviales jusqu'aux infrastructures d'assainissement ou bien transférés aux eaux de consommation, puis

aux systèmes d'assainissement fonctionnant avec apport d'eau.

Les procédés de traitement ont tendance à les séparer de la phase liquide (des procédés de traitement tertiaires tels que la filtration membranaire à très faible seuil de coupure ou l'adsorption sur charbon actif, conduit même à les extraire totalement des eaux usées traitées). **Ils se retrouvent alors plutôt concentrés dans les boues.** C'est le cas plus particulièrement pour les métaux lourds.

Quelques micropolluants susceptibles d'être présents dans les produits issus de la filière de l'assainissement	Origine
Résidus de pesticides	Agricole
Métaux lourds = Éléments Traces Métalliques (ETM)	Naturelle, industrielle, eaux pluviales
Les résidus médicamenteux	Hospitalière, usage domestique
les microplastiques	Industrielle, usage domestique
Substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées (PFAS)	Industrielle (si les rejets industriels sont déversés dans le réseau d'assainissement)

Ce sont les **usages agricoles** qui sont particulièrement concernés par le risque sanitaire lié aux polluants chimiques. L'acteur exposé est principalement **le consommateur** des cultures irriguées/amendées et des poissons issus de l'aquaculture avec des eaux usées. À noter également qu'il existe un risque de

leur transfert vers les eaux souterraines, qui peuvent ensuite être mobilisées en particulier pour des usages domestiques.

Malgré leurs faibles concentrations, ce sont les **effets cumulatifs** de leur ingestion qui représentent un potentiel risque sanitaire.

2) Qui est exposé à ces composants et quelles sont les voies d'exposition ?

Différents acteurs peuvent être exposés aux composants susceptibles d'être présents dans les produits issus de la filière de l'assainissement et qui présentent un danger pour la santé humaine. Le mode d'exposition (ingestion involontaire, inhalation, contact avec la peau) est différent selon le type d'acteur exposé et selon les usages.

Une attention particulière doit être portée sur le risque sanitaire que présente l'ingestion par les consommateurs, des produits irrigués/amendés par des produits issus de la filière de l'assainissement. Toutefois, les consommateurs ne sont pas les seules personnes susceptibles d'être exposées à ces risques. Les usages agricoles, comme

d'autres usages, présentent un risque pour d'autres catégories de personnes que les consommateurs/usagers ; il convient de les prendre en compte également. Le risque sanitaire est à considérer différemment selon le type de personnes exposées.

Acteur exposé, selon les situations	Voie d'exposition
Les acteurs qui acheminent les matières de vidange/boues d'épuration depuis une STBV/STEP, depuis des équipements à domicile, jusqu'aux utilisateurs du produit. Les acteurs qui assurent la gestion d'un dispositif de transfert, et éventuellement de stockage, des eaux usées traitées jusqu'aux utilisateurs. Les utilisateurs qui viennent chercher les matières de vidange/boues d'épuration au niveau de la STBV/STEP ou à un lieu de stockage intermédiaire.	• Contact • Ingestion selon les conditions d'hygiènes (pratiques de lavage des mains avec du savon)
Les acteurs chargés d'assurer le fonctionnement d'un système d'irrigation pour des terres agricoles, les espaces verts ou urbains. Les acteurs chargés de réaliser l'épandage des boues et matières de vidange.	
Les personnes présentes de façon continue ou occasionnelle sur les sites irrigués ou amendés : usagers des espaces verts publics, clients des golfs, résidents à proximité...	
Les travailleurs agricoles qui manipulent la terre irriguée/amendée. Les acteurs qui entretiennent les espaces verts irrigués/amendés (publics ou privés), nettoient les espaces urbains. Les acteurs qui entretiennent les bassins piscicoles.	• Contact • Ingestion selon les conditions d'hygiènes (pratiques de lavage des mains)
Les acteurs qui manipulent les produits irrigués/amendés pour leur récolte et leur commercialisation. Les acteurs qui manipulent les poissons issus de bassins piscicoles.	
Les consommateurs de produits irrigués ou amendés par des eaux usées traitées ou des matières ou boues de vidange, et de poissons élevés dans des bassins piscicoles.	• Ingestion
Les riverains vivant à proximité du site de réutilisation/valorisation, utilisant des ressources en eau pouvant avoir été contaminées par ruissellement/infiltration.	• Contact/injection

3) La notion de risque et son évaluation

Les risques sanitaires liés à l'usage des produits issus de la filière de l'assainissement résultent de la corrélation entre le danger et l'exposition.

La fréquence et la durée de l'exposition rentrent en jeu :

- Une exposition diffuse liée à un usage et/ou un contact avec des produits contenant des pathogènes, qui survient de manière régulière et prolongée.
- Une exposition accidentelle, en cas de dysfonctionnement d'un maillon de la filière de l'assainissement, qui se produit de manière soudaine et imprévue. Il peut s'agir d'un dysfonctionnement du système de traitement, d'un système d'irrigation, d'un évènement climatique extrême...

➤ Évaluation quantitative des risques microbiens (EQRM)

Ces méthodologies quantifient la relation entre l'exposition à un agent pathogène et la probabilité d'effets sanitaires indésirables, tels qu'une infection, une maladie ou un décès, de façon corrélée avec les données épidémiologiques de la localité concernée. Les résultats sont exprimés sous la forme d'une espérance de vie corrigée de l'incapacité (EVCI), en anglais : Disability-adjusted life years (DALY).

Ces méthodologies nécessitent de disposer de données précises et sont complexes à mettre en œuvre. Elles le sont dans le cadre

de projets de recherche, sur lesquels s'appuient les référentiels internationaux ou nationaux. L'OMS (2004) a adopté une charge tolérable de maladies véhiculées par l'eau $\leq 10^{-6}$ DALY par personne et par an. Cette valeur correspond à une chance sur 100 000 qu'un individu contracte dans sa vie un cancer fatal, ou bien, concernant une diarrhée bénigne, à un risque annuel 1 pour 1000 de contracter la maladie et de 1/10 à l'échelle d'une vie. C'est sur cet objectif que sont basées les recommandations de l'OMS, dont s'inspirent les réglementations nationales lorsqu'elles existent.

➤ Évaluation qualitative des risques sanitaires

L'évaluation qualitative des risques est considérée comme la méthode la plus adaptée et économiquement viable.

Elle consiste à identifier les événements dangereux et leurs niveaux de probabilité et de conséquences, en se basant sur **le jugement et l'expérience des acteurs concernés** et de données sur le caractère endémique des maladies. Le niveau de risque est ensuite classé en catégories telles que très faible, faible, modéré, élevé ou très élevé, selon la combinaison des probabilités et des impacts.

La suite de cette partie aborde différentes approches de gestion du risque sanitaire. Elles peuvent être mises en œuvre de façon conjointe. Certains référentiels internationaux, certaines réglementations nationales, recommandent ou imposent d'y recourir, en particulier concernant les usages agricoles des eaux usées traitées.

Cette méthode d'évaluation nécessite d'identifier et d'impliquer les acteurs de la filière de l'assainissement jusqu'au maillon réutilisation/valorisation (voir modèles organisationnels et économiques), afin de définir une vision commune des dangers, des personnes exposées, de la fréquence d'exposition, et ainsi du risque ; et de coconstruire sur cette base une stratégie de gestion du risque sanitaire.

- **1ère approche** : Conditionner les usages, à la qualité des produits sortant du système de traitement
- **2ème approche** : Considérer les barrières post-traitement : modalités d'usages des produits issus de la filière de l'assainissement
- **3ème approche** : Restreindre les usages et modalités d'usages



1^{ère} approche : Conditionner les usages, à la qualité des produits sortant du système de traitement

1) Pour la réutilisation des eaux usées traitées

Paramètres et seuils pour les usages suivants

EAUX USÉES SECONDAIRES

Eaux usées traitées de niveaux secondaire à tertiaire

À TERTIAIRES

Usages concernés

Irrigation des sols pour des activités agricoles, cultures comestibles ou non

ACTIVITÉS AGRICOLES

Amendement d'espaces verts publics (jardins, parc)

ESPACES VERTS PUBLICS

Amendement d'espaces verts privés lucratifs (hôtels, golfs)

ESPACES VERTS PRIVÉS

Lavage d'espaces urbains, de voiries et réseaux

LAVAGE URBAIN

Process industriels, réseaux de refroidissement

PROCESS INDUSTRIELS

Certains référentiels internationaux préconisent des valeurs seuils pour différents paramètres physicochimiques et microbiologiques des eaux usées, en fonction du type d'usage. Ce principe est repris, réapproprié et détaillé dans de nombreuses réglementations nationales. A noter que ce sont surtout les usages agricoles qui sont ainsi encadrés.

L'OMS définit les préconisations suivantes pour un usage en agriculture :

- ≤ 1 œuf d'helminthes par litre d'eaux usées traitées.
- Protection sanitaire pour les enfants : Lorsque des enfants de moins de 15 ans

sont exposés en consommant des légumes crus cultivés dans des champs irrigués avec des eaux usées traitées contenant ≤ 1 œuf par litre, des mesures de protection sanitaire supplémentaires doivent tout de même être mises en place pour assurer leur sécurité.

- Irrigation localisée pour cultures de grande hauteur : Pour les cultures irriguées par irrigation localisée (cultures dont les parties récoltées ne sont pas en contact avec le sol), ou fortement mécanisés, il n'est pas nécessaire de spécifier des objectifs de performance concernant les concentrations d'œufs d'helminthes.

POUR EN SAVOIR + :

- [Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères - Volume 2 : Utilisation des eaux usées en agriculture](#), OMS, PNUE, FAO, avril 2013



Focus Méditerranée

Les réglementations marocaines, tunisiennes et palestiniennes reposent sur des caractéristiques imposées que les eaux usées traitées doivent respecter en fonction des usages (voir [chapitre 3](#)).

Se basant sur les préconisations de l'OMS, ces pays définissent une norme en nombre d'œufs d'helminthes inférieure ou égale à 1/litre. La norme marocaine va jusqu'à requérir une absence totale pour certains usages.

➤ Paramètres et seuils pour l'aquaculture (usage des eaux dans des bassins piscicoles)

Cette pratique est peu encadrée par les réglementations, mais les risques que les pathogènes pénètrent dans la chair ou les muscles des poissons sont faibles (à l'exception des trématodes, parasites des tissus, associés à une forte morbidité).

L'OMS préconise les objectifs suivants pour la qualité microbienne, pour l'eau des bassins piscicoles :

- œufs de trématodes indétectables
- $\leq 10^4$ E. coli (moyenne arithmétique par 100 ml ou par g de solides totaux)
- ≤ 1 œuf d'helminthe (par litre ou par g de solides totaux).

EAUX USÉES SECONDAIRES

Eaux usées traitées de niveau secondaire à tertiaire

À TERTIAIRES

Usages concernés

Aquaculture (usage des eaux dans des bassins piscicoles)

AQUACULTURE



Focus Méditerranée

Cet usage, qui concerne essentiellement les pays asiatiques, est peu considéré dans les pays méditerranéens.

POUR EN SAVOIR + :

- [Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères - Volume 3 : Utilisation des eaux usées et des excreta en aquaculture](#), OMS, avril 2013

➤ Modalités de contrôle pour les eaux usées traitées niveau secondaire à tertiaire

L'OMS recommande les fréquences d'analyses suivantes pour les paramètres microbiologiques :

- dans les zones urbaines, une fois tous les 15 jours pour l'E. coli et une fois par mois pour les œufs d'helminthes ;

- dans les zones rurales, une fois par mois pour l'E. coli et une fois tous les 1 à 2 mois pour les œufs d'helminthes.

Cependant, l'OMS recommande également que les modalités de surveillance des paramètres physico-chimiques et microbiologiques puissent être mesurées rapidement et facilement par des méthodes d'analyses cohérentes avec les capacités techniques et financières locales. Par exemple, compte tenu de la corrélation entre les matières en suspension et les concentrations d'helminthes intestinaux, la mesure de la turbidité apporte une indication qui peut être estimée suffisante au stade du fonctionnement.

Par ailleurs, selon le caractère endémique de maladies dans la localité concernée, il peut être pertinent de rechercher certains pathogènes spécifiques tels qu'Ascaris. En effet, E. coli est un indicateur de la présence ou l'absence globale de pathogènes dans les eaux. Son absence ne signifie pas l'absence de tout pathogène.

Enfin, si le système de traitement accepte en tant que produits entrants des eaux usées ou matières de vidange non domestiques, la recherche de polluants chimiques liés aux activités industrielles ou artisanales concernées peut être envisagée. Cependant, de nombreux micropolluants chimiques, et en particulier les métaux lourds, ont tendance à se retrouver dans les boues et matières de vidange plutôt que dans les eaux.



Focus Méditerranée

Les réglementations des pays méditerranéens apportent des indications sur les paramètres à analyser et la fréquence de ces analyses, mais sont peu précises sur la localisation des points de prélèvement.

2) Pour la réutilisation des boues d'épuration/de vidange

La réglementation de l'usage des produits de l'assainissement et matières de vidange n'est pas généralisée dans les pays à revenu faible ou intermédiaire, et fait débat dans de nombreux pays, y compris en France.

➤ Paramètres et seuils pour les usages suivants



Les bactéries et les virus ont une durée de vie limitée dans le sol. C'est la connaissance du niveau de contamination helminthique des boues qui demeure une priorité si on désire les utiliser en agriculture. L'OMS recommande de considérer la présence d'œufs d'helminthe et E. Coli, avec les valeurs-seuils suivantes :

- <1 d'œufs d'helminthe par g de solides totaux
- <1 000 E. Coli par g de solides totaux.

Par ailleurs, U.S. Environmental Protection Agency (US EPA) définit une catégorie de boues/matières de vidange de « classe A », qui peuvent être valorisées pour tout type d'usages :

- la densité des coliformes fécaux dans les boues d'épuration doit être inférieure à 1 000 nombres les plus probables (NPP)^[K] par gramme de solides totaux (sur la base du poids sec),

- la densité des bactéries Salmonella sp. dans les boues d'épuration doit être inférieure à 3 NPP par 4 grammes de solides totaux (sur la base du poids sec).

Si les boues/matières de vidange ne remplissent pas ces conditions, elles sont considérées de « classe B ». L'US EPA permet leur utilisation, mais en respectant certaines modalités et restrictions d'usage. On bascule alors dans les approches décrites par la suite « Considérer les barrières post-traitement : modalités d'usage des produits issus de la filière de l'assainissement » et « Restreindre les usages et modalités d'usages ».

Lorsque les matières peuvent être qualifiées de « **compost** », elles doivent répondre aux prescriptions d'un engrais approuvées par l'institution nationale responsable de l'accréditation des produits fertilisants.

◀ Modalités de contrôle

Au stade de la mise en œuvre, des analyses approfondies des boues et des sols peuvent être réalisées pour valider la faisabilité de l'usage.

Au stade du fonctionnement, les modalités de suivi (paramètres analysés et fréquence de ces analyses) doivent être cohérentes avec les capacités techniques et financières locales des acteurs impliqués dans ce suivi.

Il peut être adopté une méthodologie de traçage par « lots de boues ». Il s'agit de consigner leur provenance, leur qualité et leur destination, afin de pouvoir retracer les causes d'une contamination. Un lot de boues peut se définir comme une quantité de matières, produite dans des conditions uniformes, au cours

d'une période donnée (date de début et date de fin), dûment identifiée (nom, code, ou numéro affecté de façon unique au lot considéré), caractérisée sur le plan analytique, et présentant une composition homogène.^[4]

Dans le cas d'eaux usées/matières de vidange non domestiques intégrées aux produits entrants, les micropolluants chimiques ont tendance à se retrouver dans les boues et matières de vidange après traitement plutôt que dans la phase liquide. Le contrôle de leur présence dans les boues et surtout de leur accumulation dans les sols amendés concerne donc plus particulièrement les usages des boues d'épuration et matières de vidange.



Focus Méditerranée

Les pays méditerranéens encadrent peu les mesures de surveillance de l'usage des boues, hormis, partiellement, la Tunisie.

K. La méthode des NPP permet d'obtenir des données quantitatives sur les concentrations d'éléments discrets à partir de données positives / négatives (incidence). Elle consiste à prélever la solution ou l'échantillon d'origine, à la subdiviser par ordre de grandeur (fréquemment 10x ou 2x) et à évaluer la présence/l'absence dans plusieurs subdivisions.

3) Définir et suivre des objectifs de qualité du produit sortant du système de traitement pour la réutilisation à domicile de produits issus des installations à la parcelle

Ce champ de réutilisation est peu ciblé par les recommandations et réglementations internationales ou nationales qui définissent les objectifs en termes de caractéristiques des produits.

Ce sont des durées de stockage plutôt que des caractéristiques des produits, que recommande l'OMS.

Pour rappel, concernant un usage agricole, pour les boues de vidange :

- Température ambiante 2-20 °C : un stockage d'environ 1,5 à 2 ans est nécessaire ;
- Températures ambiantes comprises entre 20 et 35 °C : une durée de stockage d'un an suffit ;

pour les urines :

- Stockage de 6 mois (à une température de 20 °C) dans un récipient hermétique.

L'urine collectée directement par un ménage au niveau de systèmes à domicile avec séparation d'urines ne nécessite pas de traitement spécifique aux pathogènes avant application comme engrais. En effet, la transmission de la maladie au sein du ménage par la voie urine-orale est beaucoup moins probable que le contact quotidien entre les membres du ménage.

BV

Boues de vidange

Usages concernés

Amendement des sols pour des activités de maraîchage familial

MARAICHAGE FAMILIAL

Amendement des sols pour des activités familiales non agricoles

AMENDEMENT DES SOLS À DOMICILE

URINES APRÈS STOCKAGE

Usages concernés

Amendement des sols pour des activités de maraîchage familial

MARAICHAGE FAMILIAL



Focus Méditerranée

L'assainissement à la parcelle est peu considéré dans les réglementations des pays méditerranéens. Les réglementations ciblent implicitement uniquement les systèmes de traitement collectifs. Au Maroc, le programme Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en eau (AGIRE), conduit en partenariat entre le Département de l'Eau du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, les agences des bassins Hydrauliques de Tensift, Souss-Massa-Drâa et Oum Er-Rbia ainsi que la GIZ, s'est intéressé à l'assainissement dans les zones rurales au Maroc. Divers systèmes à la parcelle ont été expérimentés et des publications capitalisant ces expériences ont été produites. L'intégration des systèmes à la parcelle dans les réglementations est en réflexion.

4) Particularité de la définition et du contrôle de la qualité du produit sortant du système de traitement dans le cas où le système de traitement accepte des eaux usées/boues de vidange non domestiques.

La stratégie de gestion du risque sanitaire relative à l'usage des produits issus de la filière de l'assainissement en ce qui concerne les polluants chimiques, consiste à veiller à ce que les concentrations cumulées dans le sol ne dépassent pas certains seuils. L'OMS tient que la probabilité que ces seuils soient dépassés concernant les polluants organiques (par exemple pesticides, produits pharmaceutiques) est faible, mais que l'accumulation des polluants inorganiques, en particulier les métaux lourds, est davantage à surveiller.

Ce sont donc les métaux lourds qui sont particulièrement problématiques en raison de leur transfert possible dans la chaîne alimentaire dû à leur accumulation dans les sols.

Les métaux lourds se retrouvent essentiellement dans les effluents industriels de zones urbaines. Dans de nombreux pays, en particulier les pays méditerranéens, c'est une forme d'assainissement par collecte en réseaux d'eaux usées et traitement au sein de STEP, qui est choisie dans ces contextes. Au cours des procédés de traitement, les métaux lourds ont tendance à se retrouver dans les boues plutôt que dans les eaux.

Ainsi, la problématique sanitaire liée aux polluants chimiques concerne en premier lieu les métaux lourds présents dans boues d'épuration issues de STEP dans les zones urbaines lorsque le bassin de collecte comporte des eaux usées industrielles.

POUR EN SAVOIR + :

- Pour en savoir plus concernant les seuils de concentration maximale des polluants chimiques dans les sols, préconisés par l'OMS consulter : [Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excreta et des eaux ménagères - Volume 2 : Utilisation des eaux usées en agriculture](#) (p 82), OMS, PNUE, FAO, 2013

Limites d'une approche de la gestion du risque sanitaire par la définition et le contrôle de la qualité du produit sortant du système de traitement

Une approche centrée sur la qualité des produits issus de la filière de l'assainissement fait reposer la gestion du risque sanitaire sur les performances du système de traitement. Les procédés doivent permettre d'abattre suffisamment les pathogènes pour permettre les usages ciblés.

Cette approche impose :

- Des systèmes de traitement souvent avancés mettant en œuvre des procédés de désinfection (eaux) et d'hygiénisation (boues d'épuration/de vidange);
- Des modalités avancées de suivi de la qualité des produits, avec une certaine fréquence d'analyse et portant sur des paramètres physicochimiques, mais également microbiologiques.

Au stade du fonctionnement, ces systèmes de traitement et modalités de contrôle peuvent être en contradiction avec les capacités humaines, techniques et financières disponibles :

- Pour assurer l'exploitation et la maintenance des systèmes de traitement de désinfection et d'hygiénisation.
- Pour effectuer les prélèvements, transporter les échantillons, effectuer les analyses de façon fiable, interpréter les résultats et effectuer des mesures correctives sur le système de traitement en fonction des résultats. De plus, le délai nécessaire pour obtenir les résultats des indicateurs de performance microbienne peut être important, il est par exemple d'au moins 24 heures pour *E. coli*.

Les paramètres contextuels liés aux « Capacités techniques et financières locales existantes et opportunité de les développer », à considérer pour orienter les choix au niveau des différents maillons de la filière (voir p. 102), sont essentiels à considérer afin de valider la faisabilité du couplage procédés de traitement/usages.

De plus, cette approche est descendante. Elle repose sur un objectif technique défini par une autorité nationale, ou à défaut par l'instigateur d'un projet qui se réfère à des référentiels internationaux, à appliquer par les acteurs locaux qui sont eux, les premiers concernés par les usages et par les risques associés. Elle ne mobilise pas la prise en compte de leur perception du risque, de leurs pratiques et connaissances, qui pourraient influencer dans la stratégie de gestion du risque : pratiques d'hygiène, habitudes de consommation, pratiques agricoles, habitudes de fréquentation des espaces irriguées/amendées, caractère endémique ou non des maladies...

En conséquence, cette approche, sécuritaire d'un point de vue sanitaire, peut néanmoins représenter un frein au développement de la réutilisation et valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement, voire à la pérennité des initiatives informelles déjà existantes.



Focus Méditerranée

En Tunisie, l'approche prudente de la réutilisation des eaux usées limite les possibilités à quelques usages spécifiques. Ce cadre rigide freine le développement de pratiques élargies malgré les besoins croissants liés à la gestion des ressources en eau. De plus, les contrôles de la qualité des eaux usées traitées sont entravés par le manque d'agents formés et le nombre limité de laboratoires qualifiés pour analyser certains paramètres critiques, tels que les œufs d'helminthes. De plus les délais d'analyse des laboratoires ne permettent pas de recours d'urgence en cas de non-conformité.^[L]

Au Maroc, l'applicabilité des nombreuses normes en vigueur retarde la mise en œuvre de projets. La norme relative à la qualité des eaux destinées à l'irrigation, par exemple, impose des seuils contraignants et une fréquence de suivi élevée. Pour les œufs d'helminthes, l'OMS reconnaît que les tests permettant de détecter une seule unité par litre sont coûteux et difficiles à mettre en œuvre, ce qui représente un obstacle majeur.^[M]

L. Guide à la décision pour la mise en œuvre d'un projet REUT - Réutilisation d'Eaux Usées Traitées, BRL, Jun 2022

M. Chantier COSTEA Reuse - Réutilisation des eaux usées en agriculture - rapport de synthèse Maroc, COSTEA Eau, Agriculture et Territoires (ETA), Brahim Soudi et Khaoula Zahraoui, mars 2022



2^{ème} approche : Considérer les barrières post-traitement : modalités d'usages des produits issus de la filière de l'assainissement

Une approche de la gestion du risque sanitaire ne peut se limiter à un objectif d'abattement des pathogènes au niveau du système de traitement, optimisé par un traitement de désinfection/hygiénisation. En effet, au-delà du système de traitement des eaux usées, les modalités d'usage des produits issus de la filière de l'assainissement peuvent permettre de poursuivre l'abattement des pathogènes.

L'approche de l'OMS consiste à s'intéresser à l'impact sur la santé humaine, en partant de la dose d'exposition tolérable pour la santé, plutôt que des caractéristiques des eaux usées.

La dose d'exposition tolérable correspond à un objectif lié à la santé exprimé en DALY. Le DALY est une unité internationale qui correspond à une année de vie perdue en raison d'une mauvaise santé, d'un handicap ou d'une mort précoce. Pour la réutilisation des

eaux usées traitées, l'OMS fixe un objectif de 10^{-6} DALY personne et par an. Cet objectif est strict puisqu'il est identique à celui fixé pour l'eau potable.

L'OMS considère que cet objectif de préservation de la santé humaine est atteint lorsque l'abattement des pathogènes est :

- pour les cultures non alimentaires : 3 log dans le cas d'une exploitation agricole avec une forte mécanisation ; 4 log dans le cas d'une exploitation agricole avec une forte intensité de main d'œuvre
- pour les cultures alimentaires : 6-7 log

Ces objectifs d'abattement des pathogènes peuvent être atteints via les procédés de traitement appliqués, mais également via les « barrières post-traitement ».

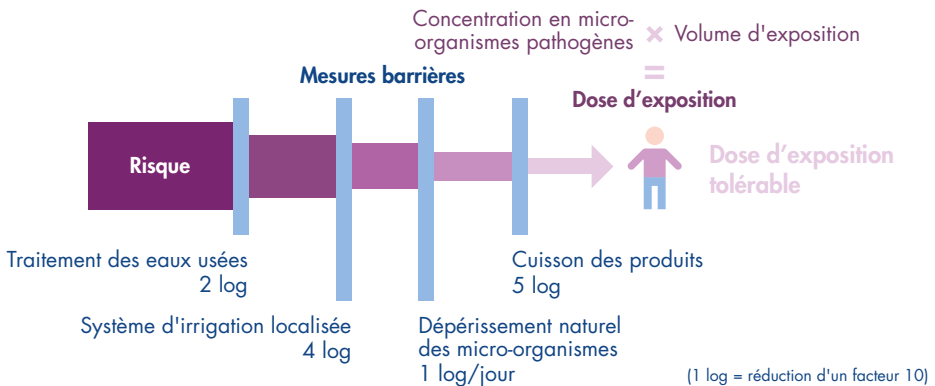


Schéma issu de la thèse : Alice-Rose Thomas, *Application de l'approche Multi-barrières pour la réutilisation des eaux usées traitées : Construction d'un outil de simulation participative pour accompagner l'évaluation et la gestion des risques associés aux micro-organismes pathogènes*. Ingénierie de l'environnement. INSA de Lyon, 2024.

Ces considérations, développées pour les eaux usées traitées, peuvent s'appliquer également pour les sols amendés par des boues et matières de vidange traitées.

Ce paragraphe présente les différentes barrières « post traitement » qui peuvent être mises en œuvre, selon les produits réutilisés/valorisés, les usages et les catégories de personnes exposées. Il questionne leur applicabilité sur le terrain.

1) Les barrières post-traitement (modalités d’usages) pour la réutilisation des eaux usées traitées

Usage	Modalité de l’usage	Barrière
IRRIGATION ESPACES VERTS (PUBLICS, HÔTELS, GOLFS)	Mode d’irrigation : L’irrigation doit souvent se faire par aspersion, car il s’agit de fournir de l’eau à l’ensemble de l’espace et non de façon localisée	Irrigation à distance minimale (recommandation OMS 50 à 100 m) d’habitation et lieux fréquentés (1) Limitation de la dérive de pulvérisation (2) Limitation de la fréquence d’irrigation, irrigation la nuit (3) Eviter d’irriguer par fort vent, par temps de pluie (4) Restriction d’accès pendant irrigation : clôtures, signalétique (5)
	Fréquentation site	Accès restreint pendant un laps de temps après l’irrigation : clôtures, signalétique
LAVAGE D’ESPACES URBAINS, DE VOIRIES ET RÉSEAUX		Équipement de protection individuelle (EPI)
IRRIGATION AGRICOLE	Mode d’irrigation	Irrigation par système à goutte-à-goutte, enterré (1) Restriction d’accès pendant irrigation : clôtures, signalétique (2)
	Mode de récolte	Équipement de protection individuelle (EPI): gants, bottes, lavage des mains, voire du corps (1) Mécanisation (2) Dépérissement naturel : Laps de temps avant récolte (3)
	Mode de commercialisation	Dépérissement naturel : stockage avant la vente (4) Lavage à l’eau potable, voire un désinfectant (5)
	Mode de consommation (si cultures consommables par l’humain)	Lavage (1) Epluchage (2) Cuisson (3)

Acteurs exposés, que la barrière permet de protéger	Applicabilité	Réduction des pathogènes (log)
Acteurs potentiellement en contact direct avec les eaux usées pendant l'irrigation : Jardinier, visiteurs imprévus, Riverains à proximité	Repose sur la mise en place d'une infrastructure (1,2), mais également sur les bonnes pratiques du propriétaire du site irrigué (3,4,5) Reconnue par les réglementations lorsqu'elles existent	1 log par barrière (1, 2)
Acteurs en contact avec les sols irrigués : Jardiniers, visiteurs	Repose sur les bonnes pratiques du propriétaire du site irrigué et des visiteurs	0,5-2 / jour
Acteurs en contact direct avec les eaux usées : Personnes qui effectuent les opérations de nettoyage, personnes pouvant être présentes à proximité	Repose sur les bonnes pratiques de l'acteur responsable des espaces urbains/voiries/réseaux	
Acteurs potentiellement en contact direct avec les eaux usées pendant l'irrigation: Travailleurs agricoles, visiteurs imprévus	Repose sur la mise en place d'une infrastructure (1), mais également sur les bonnes pratiques de l'agriculteur (2) Reconnue par les réglementations lorsqu'elles existent	Culture basses : 2 log ; Cultures haute : 4 log (1)
Acteurs en contact avec les sols et cultures irrigués : Travailleurs agricoles	Reposent sur les bonnes pratiques de l'agriculteur (1,3), du vendeur (4,5), sur la disponibilité des EPI (1), de l'eau et du savon (5), sur la disponibilité de matériel pour une agriculture mécanisée (2)	0,5 à 2 log/j (dépeuplement naturel) (3,4) 1 log voire 2 avec désinfectant (5)
Acteur qui ingère les cultures irriguées : Consommateurs		
Acteur qui ingère les cultures irriguées : Consommateurs	Reposent sur les bonnes pratiques du consommateur	1 log voire 2 avec désinfectant (1) 2 log (2) 6-7 log (3)

2) Les barrières post-traitement (modalités d’usages) pour la valorisation des boues d’épuration/de vidange et le compost

Usage	Modalité de l’usage	Barrière
ACTIVITÉS AGRICOLES AMENDEMENT D’ESPACES NON AGRICOLES	Mode d'application	Équipement de protection individuelle (EPI), la- vage des mains, voire du corps (1)
		Incorporation des boues dans le sol (2) Restrictions d’accès au site : clôtures, signalé- tique (3)
		Distances minimales (habitations, ressources en eau, infrastructures) Éviter les terrains en pente Éviter application par pluie/gel Restriction d’accès au site (clôtures, signalétique)
ACTIVITÉS AGRICOLES	Mode de récolte	Équipement de protection individuelle (EPI): gants, bottes, lavage des mains, voire du corps (1) Mécanisation (2) Dépérissement naturel : Laps de temps avant récolte (3)
	Mode de commer- cialisation	Dépérissement naturel : stockage avant la vente (3) Lavage à l'eau potable, voire un désinfectant
	Mode de consom- mation (si cultures consommables par l’humain)	Lavage Épluchage Cuisson

Les barrières qui reposent sur l’adoption de bonne pratiques peuvent faire l’objet de préconisations, voire de réglementations, mais il est difficile d’en contrôler la bonne application. Les acteurs censés adopter ces pratiques devront avoir été impliqués dans la définition de ces mesures de réduction du risque sanitaire, afin de leur compréhension et leur adhésion.

Les barrières qui reposent sur la mise en place d’une infrastructures sont plus fiables, mais il faut que l’acteur en charge de l’exploitation de cette infrastructure ait été associé à la mise en œuvre de cette infrastructure et formé à son exploitation.

Acteurs exposés, que la barrière permet de protéger	Applicabilité
Acteurs en contact direct avec les boues : Transporteur des boues jusqu'au site agricole, Travailleurs agricoles	Repose sur les bonnes pratiques de l'acteur transportant les boues (1), de l'agriculteur (1,2,3)
Acteurs en contact direct avec les boues lors de l'application Acteurs en contact avec les sols et amendés et les cultures Travailleurs agricoles, visiteurs imprévus	
Acteurs en contact direct avec les boues : Travailleurs agricoles, visiteurs imprévus Riverains à proximité	Au stade du projet, le choix du site peut être conditionné par ses caractéristiques topographiques, hydrogéologiques et géographiques en lien avec l'occupation de l'espace par les activités humaines. Au stade du fonctionnement, cette barrière relève de bonnes pratiques de l'agriculteur.
Acteurs en contact avec les sols amendés et les cultures : Travailleurs agricoles	Reposent sur les bonnes pratiques de l'agriculteur (1,3), du vendeur (4,5), sur la disponibilité des EPI /de l'eau et du savon (1,5), sur la disponibilité de matériel pour une agriculture mécanisée (2)
Acteur qui ingère les cultures irriguées : Consommateurs	
Acteur qui ingère les cultures irriguées : Consommateurs	Reposent sur les bonnes pratiques du consommateur

Les barrières qui reposent sur la disponibilité de matériel (EPI, équipements agricoles) et de ressources (eau, savon) impliquent que la disponibilité de ces matériels et ressources sur le long terme soit réaliste compte tenu du contexte local.

Limites d'une approche de gestion du risque sanitaire considérant les barrières post-traitement : modalités d'usages des produits issus de la filière de l'assainissement

Cette approche cherche à s'accorder avec les réalités du terrain.

En effet, dans de nombreux contextes, des niveaux élevés de traitement ne s'avèrent pas toujours cohérents techniquement et financièrement, tandis que les eaux usées n'ayant pas subi un traitement élevé sont déjà couramment réutilisées.

Cependant, cette approche multi-barrières reste actuellement difficile à mettre en œuvre sur le terrain et à encadrer et à traduire via des réglementations et normes.

En effet, la plupart des barrières « post traitement » relèvent de bonnes pratiques, qui reposent sur des responsabilités diluées entre divers acteurs, professionnels et non professionnels. Elles peuvent être simples à mettre en œuvre, mais complexes à contrôler.

Il peut être avancé que la barrière liée aux modes d'irrigation peut être davantage maîtrisée. En effet, cette barrière est mise en œuvre au moyen d'une infrastructure, dont la gestion relève de la responsabilité d'un acteur identifié (cependant à impliquer pour s'assurer qu'il en fait une gestion adéquate). Cette barrière figure d'ailleurs explicitement dans les réglementations existantes.

Des travaux de recherche sont en cours pour permettre la meilleure opérationnalisation d'une approche multi-barrières pour la gestion du risque sanitaire, en particulier en développant des approches participatives pour impliquer tous les acteurs concernés (acteurs exposés/acteurs responsables de l'application de la barrière).



3^{ème} approche : Restreindre les usages et modalités d'usage

L'identification de barrières conduit certains décideurs à adopter une stratégie restrictive de l'usage des produits issus de la filière de l'assainissement.

1) Réutilisation des eaux usées traitées



Plutôt que de considérer les modes d'irrigation, les modes de récolte, de commercialisation et de consommation dans le cadre d'une approche multi-barrières, certaines réglementations les ont intégrés dans le cadre d'une approche restreignant l'irrigation aux usages suivants :

- l'irrigation d'espaces non agricoles
 - l'irrigation de terres agricoles, mais n'autorisant que certaines cultures, par exemple :
 - cultures non consommables par l'homme, comme les cultures industrielles (coton) ou les cultures fourragères (destinées à nourrir les animaux d'élevage, après stockage) ;
 - cultures qui se consomment cuites ;
 - cultures qui ne poussent pas près du sol.



Focus Méditerranée

Les réglementations tunisienne, marocaine et palestinienne adoptent une telle stratégie restrictive, de façon plus ou moins stricte selon les pays (voir [chapitre 3](#))

Aquaculture (usage des eaux
dans des bassins piscicoles)

AQUACULTURE

Par précaution, le choix des espèces de poissons peut être limité aux espèces de poissons qui sont uniquement consommées cuites, ou même d'espèces non consommées par l'humain. Même si on préfère ne pas consommer

les poissons, ils peuvent représenter une source de protéine de valeur pour d'autres carnivores à haute valeur (comme les crevettes) ou être convertis en farine de poisson pour les porcs et la volaille.

2) Valorisation des boues d'épuration/de vidange

BE/BV

Boues d'épuration/de vidange

Usages concernés

Amendement des sols pour des activités
agricoles, cultures comestibles ou non

ACTIVITÉS AGRICOLES

Amendement d'espaces verts
publics (jardins, parc)

ESPACES VERTS PUBLICS

Amendement d'espaces verts privés
lucratifs (hôtels, golfs)

ESPACES VERTS PRIVÉS

Amendement des sols
pour la sylviculture

SYLVICULTURE

Par précaution vis-à-vis des personnes exposées que sont les personnes fréquentant les espaces verts artificialisés ou les espaces naturels, la barrière « fréquentation du site » peut amener à considérer un usage restrictif, excluant l'application sur des sites fréquentés par le public.

Par ailleurs, certaines réglementations (ou, en leur absence, certaines stratégies développées dans le cadre d'un projet), adoptent une approche restrictive, restreignant l'amendement :

- aux sols non agricoles,
- aux sols agricoles pour des cultures non consommables par l'humain,
- aux sols agricoles pour des cultures se consommant cuites.



Focus Méditerranée

Les réglementations des pays méditerranéens précisent peu actuellement quelles sont les cultures qu'il est autorisé d'amender avec des boues d'épuration/de vidange. Un projet de réglementation est en cours au Maroc.

Cela laisse une marge de manœuvre pour élaborer une stratégie de gestion du risque sanitaire, pouvant comporter une dimension de projet pilote (voir cas d'étude n°2).

3) Réutilisation/valorisation à domicile de produits issus des installations à la parcelle : boues de vidange et urines après stockage

BV

Boues de vidange

Usages concernés

Amendement des sols pour des activités de maraîchage familial

MARAICHAGE FAMILIAL

Amendement des sols pour des activités familiales non agricoles

AMENDEMENT DES SOLS À DOMICILE

URINES APRÈS STOCKAGE

Usages concernés

Amendement des sols pour des activités de maraîchage familial

MARAICHAGE FAMILIAL

Un usage restrictif peut être envisagé, excluant les cultures qui se mangent crues, voire éviter les cultures consommables (en se limitant aux plantes d'ornement ou à l'alimentation animale).

Limites d'une approche restrictive

Cette approche permet de limiter certains risques de façon fiable.

Cependant, de même que l'approche par l'encadrement et la surveillance de la qualité des produits, il s'agit d'une approche descendante qui ne permet pas de prendre en compte la perception du risque, les pratiques et connaissances des acteurs concernés, qui pourraient influencer dans la stratégie de gestion du risque : pratiques d'hygiène, habi-

tudes de consommation, pratiques agricoles, habitudes de fréquentation des espaces irriguées/amendées, caractère endémique ou non des maladies...

Cette approche peut ainsi limiter les possibilités de réutilisation/valorisation et compromettre des initiatives préexistantes, au nom d'un principe de précaution en décalage avec le contexte local.



Focus Méditerranée

Ainsi, les réglementations marocaine, tunisienne et palestinienne reposent sur des restrictions sur les usages des eaux usées et une classification des cultures autorisées.

La réglementation libanaise introduit également des restrictions, combinées à une approche multi-barrière pour les cultures autorisées.



À retenir : comment gérer les risques sanitaires liés à la réutilisation/valorisation des produits de l'assainissement ?

Dans le cadre d'un projet de développement d'un maillon réutilisation/valorisation intégré à une filière de l'assainissement, la stratégie de gestion du risque sanitaire doit prendre en compte :

- Les réglementations nationales (lorsqu'elles existent) qui vont généralement dans le sens d'une part, d'une qualité élevée des produits impliquant des procédés de traitement avancés et d'autre part, d'une restriction à certains usages. Les réglementations ne couvrent cependant pas tous les usages (usages non agricoles moins encadrés) et tous les produits (usages de boues et matières de vidange moins encadrés). Cela peut laisser une marge de manœuvre, mais également une responsabilité aux porteurs de projet pour développer une stratégie sur mesure.

- Le contexte local en particulier :

- L'adéquation entre les types de traitements supplémentaires envisagés de désinfection (eaux) / hygiénisation (boues) et les capacités techniques et financières des acteurs en charge du fonctionnement de la STEP/STBV.
- l'adéquation entre les usages envisagés et les pratiques des utilisateurs ciblés (agriculteurs, gestionnaires d'espaces verts...).
- la perception du risque sanitaire par les acteurs impliqués dans la gestion du système de traitement, mais également ceux impliqués dans la filière de réutilisation/valorisation.
- Les pratiques éventuellement préexistantes de réutilisation/valorisation, tant au niveau de l'usage que des modalités d'usage.
- La présence de maladies endémiques dans la localité concernée.

Ces aspects revêtent une forte dimension sociologique, développée via [l'enjeu 4](#).

Sans pour autant restreindre d'emblée les usages agricoles, il est important d'aborder la gestion du risque sanitaire en ayant conscience que cet enjeu concerne de façon moins prégnante les usages non agricoles et ne concerne pas du tout certains usages.

Cependant, pour l'ensemble des usages d'irrigation et amendement des sols pour des usages agricoles ou non et pour l'aquaculture, les consommateurs ne sont pas les seuls types de personnes exposées. L'ensemble des personnes exposées au danger que représente la présence potentielle de pathogènes dans les produits, doivent être prises en compte.

Compte tenu des freins au développement de la réutilisation/valorisation des eaux et des boues d'épuration et de vidange qu'impliquent les réglementations, certains projets adoptent un positionnement de plaidoyer. Par une démarche d'expérimentation, de capitalisation et de mise en débat, les projets de terrain peuvent participer à inspirer l'évolution ou la constitution des réglementations.

POUR EN SAVOIR + SUR LA GESTION DU RISQUE SANITAIRE :

- **Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères :**

- Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères ; volume 1 : considérations d'ordre politique et réglementaire, OMS, PNUE, avril 2013, [français](#), [anglais](#)
- Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères - Volume 2 : Utilisation des eaux usées en agriculture, OMS, PNUE, FAO, avril 2013, [français](#), [anglais](#)
- Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères - Volume 3 : Utilisation des eaux usées et des excréta en aquaculture, OMS, avril 2013, [français](#), [anglais](#)
- Directives OMS pour l'utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères. Volume IV: utilisation des excréta et des eaux ménagères en agriculture, OMS janvier 2012, [français](#), [anglais](#)
- Planification de la gestion de la sécurité sanitaire de l'assainissement. Manuel pour une utilisation et une élimination sûre des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères, OMS, 2016, [français](#), [anglais](#)

- **Lignes directrices de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)**

- [Guidelines for the safe use and reuse of water in food production and processing](#), FAO/OMS, Codex, Alimentarius Commission, cxg 100-2023, 2023

- **Lignes directrices de l'United States Environmental Protection Agency (USEPA)**

- [Guideline for water reuse](#), USEPA, USAID, 2012
- [Domestic Septage Regulatory Guidance](#), USEPA, 1993
- [Guide to Septage Treatment and Disposal](#), USEPA, 1994
- [Process Design Manual Land Application of Sewage Sludge and Domestic Septage](#), USEPA, 1995
- [A Guide for Land Appliers on the Requirements of the Federal Standards for the Use or Disposal of Sewage Sludge](#), USEPA, 1994

● **Autres ressources :**

- L'approche multi-barrière comme gestion alternative des risques pathogènes pour la réutilisation des eaux usées traitées, TSM n°5 2024, A.-R. Thomas, r. Declercq, E. Hassenforder, P. Molle, R. Lombard-Latune, 2024
 - Technical Guidance – Water Reuse Risk Management for Agricultural Irrigation Schemes in Europe, Publications Office of the European Union, Maffettone, R.; Gawlik, B.M., 2022
- [4] - Conception des stockages et gestion par lots des boues d'épuration épandues en agriculture, Ingénieries eau-agriculture-territoires, 29, p. 17 - p. 26.J. Wiart. 2002
- Évaluer les rendements des stations d'épuration - Apports méthodologiques et résultats pour les micropolluants en filières conventionnelles et avancées, Techniques Sciences et Méthodes n° 1-2 : 44-62, Choubert J.-M., Martin-Ruel S., Budzinski H., Miège C., Esperanza M. Soulier C., Lagarrigue C., Coquery, M, 2011

Enjeu 3 : Quels modèles organisationnels et économiques ?

Cette partie aborde la problématique du **fonctionnement pérenne d'une filière de l'assainissement intégrant un maillon de réutilisation/valorisation**. Elle traite ainsi des modèles de fonctionnement organisationnels et financiers.

- Concernant les modèles organisationnels, cette partie explicite tout d'abord les nouvelles fonctions qui sont introduites à la filière de l'assainissement du fait d'un maillon réutilisation/valorisation et la place que peuvent y occuper différents types d'acteurs.
- Concernant les modèles économiques, cette partie aborde l'impact qu'un maillon réutilisation/valorisation peut avoir sur les charges et les recettes pour les différents acteurs impliqués, qui doivent être identifiées et prises en compte pour définir un modèle économique adapté.



Modèles organisationnels - Qui s'occupe de quoi ?

L'intégration d'un maillon réutilisation/valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement s'accompagne de l'introduction de nouvelles fonctions qu'il est essentiel d'identifier. Il convient également d'identifier les acteurs pouvant être impliqués dans la gestion de ces fonctions et de définir le champ de leurs nouvelles responsabilités.

Les fonctions présentées permettent d'assurer le fonctionnement de la filière de l'assainissement. Pour l'ensemble des fonctions, il est à noter qu'un même acteur peut occuper différentes fonctions ou bien chaque fonction peut être occupée par un acteur distinct.

Il n'est pas abordé ici la fonction de régulation qui peut être assurée par différents organismes étatiques.

Maillon intermédiaire transport

➤ Fonction « transport depuis les usagers amont jusqu'au système de traitement »

Dans le cas d'un **acheminement d'eaux usées en réseau**, l'acteur en charge de ce maillon est souvent le même que celui en charge du système de traitement. Une même autorité organisatrice est responsable de la maîtrise d'ouvrage et de l'exploitation des réseaux de collecte et de la STEP (avec éventuellement des modes de gestion distincts). Une séciabilité de ces responsabilités peut également se rencontrer, entre deux acteurs respectivement autorité organisatrice pour les réseaux de collecte et pour la STEP. Pour de grands systèmes comportant des réseaux de collecte et de transfert des eaux usées, une subdivision supplémentaire peut se rencontrer, avec deux acteurs responsables de ces deux parties du maillon transport. De plus, la responsabilité de ce maillon transport a tendance à être attribuée à une autorité organisatrice publique, bien que la gestion puisse ensuite être déléguée.

Dans le cas d'une **collecte des matières de vidange**, cette distinction est plus généralisée, entre acteurs chargés du transport et acteur chargé du traitement avec également une dissociation possible entre acteurs chargés de la vidange et acteurs chargés du transport, qui est appropriée en particulier lorsque l'accès aux habitations est difficile pour un véhicule volumineux. Les matières vidangées peuvent alors être déposées au niveau d'un site de stockage intermédiaire, à partir duquel l'acteur en charge du transport pourra assurer la suite du maillon intermédiaire. Ces acteurs sont souvent privés, voire informels. Diverses configurations sont cependant possibles, avec parfois une responsabilité d'un même acteur sur différents maillons et parties de maillons de la filière.

L'introduction d'un maillon réutilisation/valorisation influe sur les choix de technologies et d'équipements au niveau de toute la filière de l'assainissement. Ainsi cette fonction peut être impactée.

Maillon aval traitement

◀ Fonction « gestion du système de traitement »

La responsabilité du gestionnaire du système d'assainissement consiste, traditionnellement, à assurer le fonctionnement d'un système de traitement qui rejette dans l'environnement des produits qui présentent des caractéristiques ne nuisant pas au milieu récepteur. La réutilisation implique souvent un traitement supplémentaire ainsi qu'un acheminement des produits réutilisables vers leurs utilisateurs.

La question se pose donc de la limite de responsabilité du gestionnaire du système d'assainissement, en termes de maîtrise d'ouvrage et d'exploitation, tant au niveau financier qu'organisationnel :

Où s'arrête la responsabilité du gestionnaire du système d'assainissement ? Quels acteurs pour gérer le « produit » ensuite jusqu'au point de réutilisation ? Où commence la responsabilité de l'acteur bénéficiaire de la réutilisation ?

L'introduction d'un maillon réutilisation/valorisation impacte cette fonction, souvent en la complexifiant. En effet, la mise en place d'un traitement supplémentaire est souvent requise, afin d'obtenir une qualité du produit permettant sa réutilisation/valorisation.

Nous considérons ici que la gestion d'un procédé de traitement supplémentaire introduit en vue d'une réutilisation/valorisation, constitue plutôt une nouvelle fonction présentée ci-après.

En outre, lorsque des produits entrants d'origine non-domestique doivent être traités au niveau de la STEP/STBV sans qu'une séparation à la source ne soit envisageable, la question se pose de la nécessité d'un traitement préalable sur mesure au niveau de l'activité industrielle. Lorsqu'une réutilisation/valorisation des produits de l'assainissement est envisagée, cette problématique est d'autant plus prégnante, car les micropolluants provenant de ces activités industrielles, difficiles à éliminer via les procédés de traitement des eaux et des boues, peuvent compromettre leur réutilisation/valorisation. Ainsi, des discussions peuvent s'engager entre le gestionnaire de la STEP et les industriels dans l'optique de mettre en place de systèmes et d'assurer le fonctionnement de systèmes de traitement de leurs effluents avant prise en charge par les réseaux d'assainissement les acheminant jusqu'à la STEP.

◀ Fonction « gestion des procédés de traitement supplémentaires de désinfection/hygiénisation »

Cette fonction est introduite lorsqu'un maillon réutilisation/valorisation est intégré à la filière de l'assainissement.

Concernant le traitement tertiaire spécifiquement dédié à amener le produit à un niveau de qualité permettant la réutilisation souhaitée, il semble souvent cohérent que le gestionnaire du système d'assainissement en assure la maîtrise d'ouvrage puis l'exploitation

sur son site de traitement. Se pose alors la question de l'impact de cette étape de traitement sur son modèle organisationnel (ressources humaines, compétences) et sur son modèle économique, d'autant plus s'il s'agit de technologies qui génèrent des charges supplémentaires en termes de ressources humaines et de consommation d'énergie.

◀ Fonction « contrôle de la performance du système de traitement et de la qualité des produits sortants »

En phase de fonctionnement, ce contrôle peut être assuré par le gestionnaire lui-même dans une démarche d'autocontrôle qui peut être encadrée par une réglementation et/ou par une autorité nationale jouant un rôle de régulateur.

L'introduction d'un maillon réutilisation/valorisation impacte cette fonction, souvent en la complexifiant. En effet, pour les usages

concernés par le risque sanitaire, la stratégie de gestion de ce risque implique souvent le suivi de paramètres microbiologiques dans les produits issus du système de traitement, voire dans les sols irrigués/amendés. Un suivi et un appui renforcé d'une autorité nationale sont parfois prévus par les cadres sectoriels nationaux ou bien peuvent être envisagés si ce n'est pas le cas.

Maillon réutilisation/valorisation

◀ Fonction « stockage intermédiaire »

Cette fonction est introduite lorsqu'un maillon réutilisation/valorisation est intégré à la filière de l'assainissement.

Un stockage intermédiaire des produits peut être nécessaire pour permettre à l'offre de s'adapter à la temporalité (au cours de la journée) et la saisonnalité (au cours de l'année) de la demande.

Dans le cas d'une réutilisation des eaux usées traitées pour un usage d'irrigation agricole ou d'espaces verts, un stockage (pour s'adapter à la saisonnalité des besoins) avant distribution est nécessaire ainsi que, le plus souvent, une filtration. Cela peut être assuré par le gestionnaire du système d'assainissement ou par l'acteur intermédiaire qui se charge du transport des eaux usées traitées jusqu'au point de réutilisation.

Dans le cas d'une réutilisation de boues ou matières de vidange pour un usage agricole

ou de restauration des sols, un stockage est nécessaire pour s'adapter à la saisonnalité des besoins. Cela peut être couplé à un traitement supplémentaire des matières stockées par chaulage. Cela peut être assuré par le gestionnaire du système d'assainissement ou par l'acteur intermédiaire qui se charge du transport des boues/matières de vidange jusqu'au point de réutilisation.

La disponibilité foncière et la topographie sont des paramètres clé pour déterminer le choix du site de stockage, en particulier sur la possibilité de réaliser ce stockage au niveau du site de la STEP/STBV. Lorsque le site de stockage est déporté, les fonctions « acheminement du produit issu du système d'assainissement » et « co-traitement supplémentaire » sont scindées en deux volets, l'un depuis la STEP/STBV jusqu'au site de stockage, l'autre depuis le site de stockage jusqu'aux utilisateurs.

◀ Fonction « acheminement du produit issu du système d'assainissement jusqu'aux usagers des produits réutilisés/valorisés »

Cette fonction s'ajoute à la fonction d'acheminement des produits vers leur destination finale déjà existante. Si l'exutoire des eaux se fait souvent de façon gravitaire et à proximité du site de traitement, l'évacuation des

boues et matières de vidanges non valorisées peut représenter une réelle fonction nécessitant la mobilisation d'acteurs chargés de l'assurer.

Il est fréquent que la totalité des volumes de produits issus de la filière de l'assainissement, en particulier les eaux et les boues, ne soient pas réutilisées/valorisées. Ainsi, la fonction d'acheminement des produits vers une destination finale, sans réutilisation/valorisation, peut cohabiter avec la fonction d'acheminement du produit issu du système d'assainissement jusqu'aux usagers des produits réutilisés/valorisés.

Un acteur doit assurer l'acheminement du produit depuis le site de traitement jusqu'aux utilisateurs.

Dans le cas d'un usage agricole de boues d'épuration ou de matières de vidanges traitées, un acteur doit être en charge de transporter les matières depuis le système de traitement (STEP ou STBV) jusqu'aux parcelles agricoles.

Dans le cas d'un acheminement des eaux usées traitées par réseau vers un site de réutilisation de ces eaux, comme des parcelles agricoles, un acteur intermédiaire peut être en charge de l'exploitation de ce réseau depuis la sortie de la station jusqu'à un point de distribution aux agriculteurs.

Dans le cas où des matières valorisables sont produites directement au niveau des installations à domicile, la réutilisation peut :

- Soit s'opérer directement au niveau du ménage qui les a produites. Des accompagnements ou prestations de la part de services publics ou privés peuvent néanmoins être proposés pour aider les ménages à s'assurer de la bonne qualité des produits et de l'adéquation des modalités d'usage.
- Soit s'organiser au niveau communautaire. Un acteur intermédiaire interagit alors directement entre les usagers des toilettes domestiques et les usagers des produits issus du système d'assainissement.

◀ Fonction « co-traitement supplémentaire »

Cette fonction est introduite lorsqu'un maillon réutilisation/valorisation est intégré à la filière de l'assainissement.

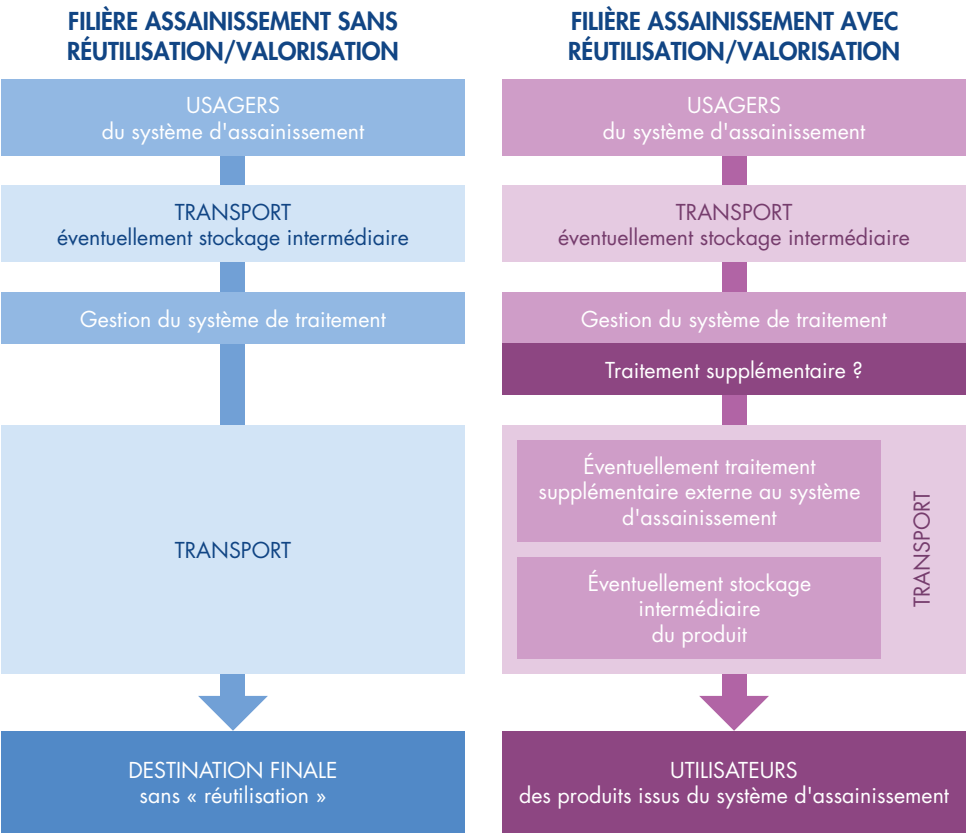
Un traitement supplémentaire structurant pour la filière peut être mis en œuvre par un acteur intermédiaire.

C'est le cas de la co-méthanisation et du co-compostage. Le gestionnaire du système d'assainissement confie son produit au gestionnaire de ces plateformes de co-traitement. Ce gestionnaire de la co-méthanisation ou du co-compostage prend en compte dans son modèle d'organisation et économique l'usage des produits finaux.

C'est également le cas dans le cadre des expériences de pyrolyse des boues de vidange. L'acteur intermédiaire récupère les boues issues d'une STBV pour les faire entrer dans son système de pyrolyse granulation. Cet acteur cherche à équilibrer son modèle d'organisation et économique en proposant la réutilisation des produits sortants du système.

Les schémas suivants synthétisent :

- les principales fonctions caractérisant la filière de l'assainissement, comportant les maillons amont (collecte des fèces, excreta d'éventuels autres intrants, via un interface utilisateur avec éventuellement un traitement partiel ou complet in situ), intermédiaire (transport jusqu'à un site de traitement) et aval (traitement par STEP ou STBV)
- les nouvelles fonctions qu'implique l'introduction d'un maillon réutilisation/valorisation.



En cas de réutilisation/valorisation de différents produits, ou bien de plusieurs usages pour un même produit, ces fonctions supplémentaires sont multipliées, déclinées pour chaque usage associé à chaque produit.

De plus, les produits ne sont pas toujours intégralement réutilisés/valorisés et une filière d'élimination doit être conservée en cas de dysfonctionnement de/des filière(s) de réutilisation/valorisation qui impliquent des risques sanitaires ou environnementaux. Ainsi, la fonction de transport vers une destination finale peut cohabiter avec les nouvelles fonctions.



Modèles économiques - Qui paye quoi ? Qui est rémunéré pour quoi ?

La question de la capacité des acteurs responsables de l'assainissement à assurer les investissements nécessaires à la mise en place d'un maillon réutilisation/valorisation, est cruciale.

Des conditions propices aux investissements du secteur privé doivent être réunies ; elles sont indissociables d'un environnement institutionnel favorable. Des subventions de l'État concerné peuvent intervenir en fonction de ses capacités financières.

En outre, les bailleurs bilatéraux de l'aide au développement, les ONG et les bailleurs internationaux, peuvent se mobiliser pour soutenir ces investissements, qui ont de plus en plus le vent en poupe, notamment compte tenu de leur intérêt environnemental.

Les bailleurs de l'aide au développement française sont également intéressés par le sujet de la réutilisation/valorisation des produits de l'assainissement dans une optique environnementale et d'économie circulaire.

En particulier, les acteurs de la coopération décentralisée et non gouvernementale français s'intéressent à ces sujets, mobilisant leurs propres capacités financières (notamment la loi Oudin-Santini). Ils sont soutenus dans leurs initiatives par les bailleurs étatiques de l'aide au développement, l'Agence Française de Développement (AFD), le ministère français de l'Europe et des Affaires étrangères ainsi que les Agences de l'eau.



Focus Méditerranée

En Palestine de nombreux bailleurs de fonds internationaux soutiennent des projets de réutilisation des eaux usées traitées. Par exemple, l'AFD appuie le gouvernorat de Tubas et l'opérateur des villages Ouest de Jénine pour développer la réutilisation des eaux usées traitées, en lien avec une coopération décentralisée portée par la ville de Paris.

Au Maroc, en cas d'adoption d'un projet d'irrigation localisée, le fonds de développement agricole subventionne les équipements. Il reste cependant à veiller à la viabilité du modèle en phase fonctionnement.

Malgré la place forte qu'occupe la réutilisation des eaux usées traitées dans les stratégies sectorielles des pays méditerranéens, cela ne s'accompagne pas d'une stratégie claire d'accès aux aides financières pour la réalisation des investissements nécessaires.

En Tunisie, la Banque Mondiale a alloué plus de 100 millions d'euros pour soutenir les investissements de réhabilitation et mise en œuvre de traitement tertiaires au niveau des STEP tunisiennes. Bien que la gestion des STEP soit centralisée via des contrats de Partenariat Public Privé conclu entre l'Office National de l'Assainissement de la Tunisie (ONAS) et les sociétés Suez (14 STEP de 4 gouvernorats dans le sud) et Águas de Portugal (Grand Tunis), la question de la viabilité du modèle en phase de fonctionnement doit aussi prendre en compte les fonctions qui sont à assurer par des acteurs locaux, en particulier l'acheminement des eaux usées traitées jusqu'aux utilisateurs.

Cette partie n'approfondit pas la problématique de la mobilisation de financements pour soutenir les investissements pour la mise en place d'un maillon réutilisation/valorisation. Elle se concentre sur le challenge que représente la pérennité du fonctionnement. Cette question est prégnante, car même si on trouve des solutions pour financer l'investisse-

ment (de ressources locales, nationales ou internationales), il est tout aussi important de veiller à la durabilité du service mis en œuvre.

Cette partie aborde les charges et recettes que peut impliquer l'introduction d'un maillon réutilisation/valorisation.

Impact d'un maillon réutilisation/valorisation sur les charges

Si le gestionnaire du système de traitement (STBV ou STEP) a dû mettre en place une unité de traitement supplémentaire, les coûts de main d'œuvre, de maintenance et d'énergie sont à prendre en compte dans son compte d'exploitation. Ces surcoûts de fonctionnement diffèrent grandement en fonction de la technologie.

L'impact des surcoûts de fonctionnement sur les charges pour le gestionnaire du système d'assainissement doit être l'un des facteurs clés pour orienter les choix de la solution de traitement et de réutilisation/valorisation. En effet, si la faisabilité montre que le modèle économique du gestionnaire du système d'assainissement ne peut pas s'équilibrer compte tenu des nouvelles charges financières projetées, alors la solution n'est pas viable en termes de fonctionnement. Même si elle a pu attirer l'attention de bailleurs publics locaux et/ou internationaux et/ou privés pour sa mise en œuvre et qu'elle puisse répondre aux cadres réglementaires du pays, la solution n'est pas adaptée à la situation.

Bien que cela soit souvent difficile à intégrer dans les comptes d'exploitation, l'amortissement des investissements devrait dans l'idéal être pris en considération ainsi qu'un provisionnement pour le renouvellement futur de ces nouvelles installations.

Les procédés de traitement des boues et matières de vidange mettent en jeu leur déshydratation réduisant ainsi le volume et le poids de matières à prendre en charge, quelle que soit leur réutilisation. Les opérations de ma-

nutention, souvent mécanisées et impliquant du transport, s'en trouvent alors réduites.

Comme vu plus haut dans la partie portant sur la réduction de l'émission de gaz à effet de serre, la récupération d'énergie est souvent particulièrement intéressante d'un point de vue économique, car l'énergie nécessaire aux processus de traitement des eaux usées peut représenter une part importante des coûts d'exploitation totaux.

Une part, voire la totalité, des opérations de **suivi de la qualité des produits** sortants du système de traitement, est souvent à assurer par le gestionnaire du système de traitement. Les enjeux sanitaires liés à certains usages, en particulier agricoles, peuvent selon la stratégie de gestion des risques, impliquer un suivi renforcé en particulier des paramètres microbiologiques dans les produits issus du système de traitement, voire des analyses des sols irrigués/amendés. Les coûts de ces analyses peuvent peser sur les charges du gestionnaire du système de traitement, en particulier si les laboratoires permettant de les réaliser sont éloignés.

Pour l'acteur intermédiaire pourvoyeur du produit directement depuis les latrines des ménages ou depuis la STBV ou la STEP, jusqu'aux utilisateurs du produit issu du système d'assainissement, un paramètre décisif à considérer est la distance de transport. En effet, il représente le principal facteur de coût et doit être intégré dans l'étude de faisabilité. Ces coûts influent sur l'intérêt pour le produit et donc sur la viabilité économique.

Par exemple, dans le cas d'un usage agricole de boues/matières de vidange, l'enjeu réside dans la distance entre les installations de stockage et de traitement et les terres agricoles disponibles pour leur utilisation. En effet, les coûts de fonctionnement pour cet acteur sont principalement liés aux coûts de transport, incluant le carburant, l'entretien des camions ainsi que le temps passé par les conducteurs et les vidangeurs. De plus, l'acquisition d'un camion, souvent importé d'Eu-

rope, représente un coût élevé généralement entre 24 000 et 43 000€. Les coûts opérationnels englobent la main-d'œuvre, le carburant, les réparations périodiques et l'entretien du camion.^[5]

Dans le cas d'une réutilisation d'eaux traitées, le linéaire de réseau permettant d'acheminer ces eaux depuis le système de traitement jusqu'au site de réutilisation doit être cohérent.



Focus Méditerranée

Une étude réalisée pour la FAO par Soudi et al. (2016) pour le cas des STEP de Nador au Maroc et Al Hoceima montre qu'au-delà de 25 km, il est plus rentable de sécher les boues avant de les transporter.^[10]

Pour l'acteur intermédiaire gestionnaire d'un système de traitement supplémentaire tel que la co-méthanisation ou le co-compostage, le produit qu'on lui propose d'incorporer à ses intrants doit toujours permettre au système de fonctionner correctement et être compatible avec ses objectifs de rendement. Dans le cas d'une plateforme de co-compostage, les postes de coûts pris en compte comprennent la main-d'œuvre, le marketing, les ventes et la distribution, le transport des produits, les intrants (tels que le sulfate d'ammonium), l'assurance de l'usine et de l'équipement, l'amortissement annuel, la dépréciation de l'équipement et du mobilier ainsi que les frais juridiques et d'enregistrement pour la mise sur le marché de produits de co-compostage.^[5]

Il faut aussi considérer qu'une filière de valorisation peut également permettre au gestionnaire du système d'assainissement de réduire les coûts d'une élimination dans une décharge.

Dans le cas d'un système d'assainissement composé de toilettes sans évacuation par réseau, avec une collecte de matières de vidange pour leur acheminement vers une station de traitement des boues de vidange (STBV), **les collecteurs du maillon intermédiaire** ne sont a priori pas directement concernés par le fait qu'il existe un maillon valorisation-débouché. Leur activité n'est pas directement impactée et ils n'en bénéficient pas.

Pour l'utilisateur du produit issu du système d'assainissement, il est crucial qu'il trouve un avantage qualitatif et/ou financier à choisir ce produit par rapport à d'autres éventuels produits disponibles pour le même usage. Cette décision dépend largement du contexte, comme précisé dans la partie suivante. Dans tous les cas, la question se pose de sa contribution financière au modèle économique global, que ce soit par l'achat direct du produit (position de client) ou par le paiement d'une redevance (position d'utilisateur). Divers modèles peuvent être envisagés.

○. Soudi, B., F. Poncelet et R. Grela. 2016 (Pour la FAO-ONEE) – Maroc. Étude d'opportunités de valorisation des boues des STEP-ONEE : plan prioritaire d'intervention pour les STEP de Al Hoceima et de Nador

L'usager du système d'assainissement n'est a priori pas concerné par l'intégration d'un maillon réutilisation au système d'assainissement. Cependant, pour ces utilisateurs en contact avec l'interface utilisateur du maillon amont, la question de leur participation financière se pose également. Cela est particulièrement vrai si les coûts de fonctionnement de l'unité de traitement supplémentaire incombent au gestionnaire du système de traitement collectif. Ainsi, l'équilibre de son modèle économique implique souvent de faire supporter ces coûts aux usagers du système d'assainissement.

Cependant, la mise en œuvre de toilettes par les ménages, éventuellement équipées de systèmes de prétraitement (collecte et traitement supplémentaire centralisé des matières prétraitées voire traitements avancés permet-

tant de générer des produits directement valorisables), relève de la responsabilité et de la maîtrise d'ouvrage des ménages. Le choix des solutions mises en œuvre au niveau du maillon amont peut être plus ou moins régulé par des normes et réglementations, incité par des autorités nationales ou locales et/ou par un programme d'aide au développement.

Les orientations données à la filière de l'assainissement en vue de permettre une réutilisation des produits qui en sont issus, ne sont pas neutres pour l'usager du système d'assainissement. Les installations à la parcelle représentent un coût d'investissement et d'entretien qui peut être conséquent. Dans le cas d'une filière avec collecte de boues de vidange, les frais de vidange sont généralement à la charge des ménages.

Impact d'un maillon réutilisation/valorisation sur les recettes

Il est envisageable d'examiner l'opportunité, pour le gestionnaire du système d'assainissement et les acteurs occupant diverses fonctions de transport et de traitement supplémentaires, de générer des revenus supplémentaires par rapport à ceux obtenus auprès des usagers du service d'assainissement. Le modèle des différents acteurs de la filière, et en premier lieu du gestionnaire du système d'assainissement, peut intégrer l'opportunité de percevoir une recette auprès des utilisateurs des produits issus du système d'assainissement.

Les produits de réutilisation ne constituent toutefois pas une source de revenus garantie susceptible d'équilibrer le modèle économique de l'acteur en charge de l'exploitation des stations de traitement des eaux usées.

Dans le cas où l'utilisation du produit est envisagée via un marché, les utilisateurs sont des clients qui ne recourront à cette nouvelle offre que si son coût est cohérent avec leur capacité à payer et si elle répond à un besoin pour lequel il n'existe pas d'autre offre plus avantageuse.

Dans le cas où l'utilisation du produit est envisagée par un service public, si l'utilisateur ne considère pas être en situation de besoin vis-à-vis du produit issu de l'assainissement, il peut considérer que, plutôt que de bénéficier d'un service, c'est lui qui rend un service au gestionnaire du système d'assainissement en fournissant un débouché à son produit. Si l'intérêt du débouché est ainsi déplacé, le modèle économique du gestionnaire du système d'assainissement ne peut pas reposer sur une vente du produit.

Dans le cas où le produit est destiné à un usage agricole, il doit être compétitif en termes de qualité et de coûts par rapport aux engrais et amendements agricoles présents sur le marché. Il pourrait être envisagé d'adopter un tarif progressif dans le temps pour inciter les utilisateurs à tester le nouveau produit. Cependant, l'augmentation des coûts peut s'avérer difficile à mettre en œuvre. Il serait également judicieux de mettre en place des parcelles pilotes et d'organiser des campagnes de sensibilisation et des visites d'information pour démontrer l'efficacité du produit.

Pour vendre des eaux usées traitées, il importe d'avoir une idée de ce que les utilisateurs sont en mesure de payer. Il est particulièrement important d'évaluer la faisabilité commerciale lorsque les restrictions portant sur les produits sont considérées comme une mesure de protection sanitaire partielle.

Dans le cas de la réutilisation des eaux usées traitées, la disponibilité d'une ressource en eau « conventionnelle » et son coût jouent grandement sur la viabilité du débouché. Dans un contexte local de stress hydrique, les eaux usées proposées pour une réutilisation peuvent être la seule ressource disponible, sans concurrence avec d'autres ressources. En revanche, dans d'autres cas, elles peuvent

être en concurrence avec une autre ressource gratuite ou peu coûteuse à prélever.

En conséquence, la réutilisation des eaux usées est souvent facturée à ses utilisateurs à un tarif inférieur à celui de l'éventuelle ressource en eau préexistante, pour encourager cet usage. Dans certains cas, il peut même être choisi de fournir gratuitement les eaux usées traitées, si cela est justifié par les avantages sociaux ou environnementaux.



Focus Méditerranée

Il est observé notamment en Tunisie, que les eaux usées traitées ont tendance à être délaissées au profit des ressources conventionnelles lorsqu'elles sont disponibles, même si les eaux usées sont fournies à des tarifs avantageux.^[P]

Par conséquent, pour le gestionnaire du système de traitement et/ou pour les acteurs intermédiaires, trouver un équilibre économique peut s'avérer complexe. Les charges peuvent être augmentées par la nécessité d'un traitement nécessaire pour atteindre la qualité requise des produits, tandis que les recettes supplémentaires des utilisateurs des produits ne sont pas garanties.

Concernant les boues et matières de viderange, produites par les STEP ou les STBV, elles sont souvent perçues comme des « sous-produits », des « déchets de l'assainissement ». Ainsi, la mise en place d'un débouché fiable pour ces produits peut relever d'un in-

térêt davantage prégnant pour le gestionnaire du système de traitement que pour les utilisateurs du produit. Ces matières sont donc souvent offertes gratuitement à des agriculteurs. Dans cette optique, même si la filière de valorisation-débouchés ne parvient pas toujours à générer des recettes supplémentaires pour le gestionnaire du système de traitement, elle représente une opportunité sécurisante, pour les gestionnaires du système de traitement, de réduire les coûts de transport et d'établir une destination pérenne pour ces sous-produits.

L'énergie récupérée via des procédés de digestion peut faciliter le recouvrement des

P. B., Noury, 07/04/2025

coûts du système de traitement au sein d'une STEP ou STBV, en fournissant de l'énergie directement utilisable pour les procédés de traitement. Cela ne génère donc pas de recettes, mais permet de limiter les charges liées au fonctionnement de l'unité de traitement. L'énergie obtenue grâce à la digestion peut

également être proposée à des utilisateurs externes. Ainsi, les matières premières de la biomasse sont transformées en produits de valeur qui entrent sur le marché de l'énergie. Cet avantage est cependant à mettre en perspective avec les difficultés et compétences techniques liées au fonctionnement d'un digesteur.



Focus sur l'impact des traitements de désinfection/hygiénisation ou permettant une valorisation du biogaz sur les paramètres liés aux « Capacités techniques et financières locales existantes et opportunités de les développer »

- **Paramètre : Consommation énergétique et coûts d'exploitation associés**
- **Paramètre : Technicité des opérations d'exploitation et de maintenance**
- **Paramètre : Consommation de réactifs et renouvellement d'équipements**

Les procédés de traitement tertiaires, doivent être en cohérence avec les capacités techniques, organisationnelles et financières du gestionnaire du système de traitement.

Certains procédés de traitement sont particulièrement énergivores et nécessitent des compétences avancées :

- les traitements tertiaires membranaires
- les traitements de déshydratation mécaniques des boues

Tandis que d'autres fonctionnent avec peu ou pas d'électricité et nécessitent des opérations de maintenance et d'exploitations peu fréquentes et réalisables suite à des formations succinctes :

- le traitement tertiaire par lagunage de maturation,
- le traitement d'hygiénisation des boues par lits de séchage

Certains procédés de traitement, en particulier tertiaires (ozonation, UV, traitements membranaires, charbon actif) nécessitent des produits et matériels spécifiques et non produits localement, dont le renouvellement peut s'avérer complexe.

Les digesteurs permettent de valoriser l'énergie produite par le processus de méthanisation, afin d'alimenter les besoins énergétiques du système de traitement. Cependant, l'exploitation des digesteurs et des systèmes de cogénération d'électricité et de chaleur à partir de biogaz, requièrent des compétences techniques spécifiques, des moyens humains et financiers importants. Les principales difficultés techniques incluent le colmatage (dans les canalisations, pompes, et recirculations, souvent dû à des filasses) et la corrosion (sur les ouvrages en génie civil et les équipements métalliques). Une gestion rigoureuse de la température est essentielle, car des variations, notamment dues à un débit insuffisant dans la boucle de réchauffage, peuvent perturber le fonctionnement.

Concernant la filtration et l'adsorption sur charbon actif, il est crucial de surveiller la capacité d'adsorption du charbon. Une fois saturé, il perd en efficacité et peut relarguer les polluants adsorbés. La saturation est détectée par le suivi de la qualité de l'effluent traités.



Focus Méditerranée

En Tunisie, l'Office National de l'Assainissement (ONAS) fournit gratuitement les eaux usées traitées à la sortie de la STEP. Le pompage et le transfert de ces eaux jusqu'au périmètre irrigué est pris en charge par un organisme régional sous la tutelle du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, le Commissariat régional au développement agricole (CRDA) qui livre l'eau à une ou plusieurs associations de gestion de l'eau, les Groupement de développement agricole (GDA). Les frais des stations de pompage et l'entretien des infrastructures d'adduction sont supportés par les CRDA. Les eaux usées traitées sont facturées par les CRDA aux GDA. Les retours d'expériences montrent que ce tarif symbolique ne couvre pas les coûts d'exploitation des ouvrages de réutilisation (réseaux, pompage, stockage, éventuellement traitement de filtration), qui sont à la charge des CRDA.^[Q]

Au Liban, les procédés de traitement secondaires énergivores (bassin d'aération de boues activés) sont fréquemment à l'arrêt, du fait de difficultés à couvrir les coûts de fonctionnement. Dans ce contexte, tout traitement supplémentaire de désinfection des eaux et déshydrations et hygiénisation des boues, qui serait énergivore, serait difficile à supporter pour les gestionnaires des STEP.^[R]

Intervention des acteurs privés

Les acteurs publics interviennent pour l'intérêt général dans le cadre des responsabilités qui leur sont assignées par la réglementation. L'enjeu est que le modèle économique défini pour le service leur permette d'équilibrer leur budget relatif à son fonctionnement, d'amortir les investissements passés et de provisionner les investissements futurs. Les acteurs privés, interviennent eux de façon volontaire s'ils voient la possibilité d'y trouver une rentabilité.

On peut distinguer les acteurs privés :

1) qui proposent **une prestation à des ménages** ;

2.1) qui **assurent l'exploitation d'équipements et infrastructures et le fonctionnement d'un service** pour le compte d'un donateur d'ordre public ;

2.2) qui assurent **cette dernière fonction, tout en ayant assuré tout ou partie de l'investissement initial**.

Dans le cas **1)**, le prestataire privé peut parfois voir son activité encadrée par l'octroi d'une licence, délivrée par une autorité régulatrice.

Les cas **2)** sont souvent désignés sous le terme de Partenariats Publics Privés (PPP).

Dans le cas **2.1)**, souvent désigné par le terme contrat de délégation, l'implication des acteurs privés repose sur la possibilité d'atteindre un seuil de rentabilité via la facturation de son offre aux clients afin de couvrir les frais de fonctionnement et de dégager des bénéfices. L'acteur privé s'engage davantage sur des performances que sur la réalisation de tâches et opérations. Il porte une

Q. « Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture : analyse de l'état des lieux et perspectives – cas de la Tunisie, » FAO ; Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche Maritime (Tunisie), 2021.

R. Mihelcic et al. 2011, cité par : Mateo-Sagasta, Javier, et al. Water Reuse in the Middle East and North Africa, a Sourcebook. International Water Management Institute (IWMI), 2022

part du risque lié aux évolutions du marché (fluctuation des coûts des matières premières, carburants, fluctuation de la demande, aléas...).

Dans le cas 2.2), souvent désigné par le terme contrat de concession, l'intervention du secteur privé ne peut alors être abordée seulement sous le prisme du modèle de fonctionnement. C'est l'acteur privé qui s'est endetté pour financer les investissements. Il amorti ces frais d'investissement, via sa rémunération pour l'exploitation du service.

On peut retrouver des acteurs privés de type 1) ou 2.2) dans le rôle d'acteurs intermédiaires pourvoyeurs du produit issu d'installations individuelles, de STBV ou de STEP.

On a tendance à trouver des acteurs privés de type 2.1) ou 2.2) dans le rôle d'acteurs gestionnaires des systèmes de traitement STEP ou STBV ou d'acteurs intermédiaires gestionnaires de traitements supplémentaires post STEP ou STBV.

Les acteurs privés ont généralement une bonne compréhension de la demande sur le marché local et gagnent à être consultés au stade de l'étude de marché menée pour étudier la faisabilité d'un débouché. La place des acteurs privés dans la filière de l'assainissement est parfois définie dans les cadres sectoriels nationaux. Cela peut également être le cas, plus rarement, pour le maillon réutilisation/valorisation.



Focus Méditerranée

La Tunisie a récemment renforcé le recours aux Partenariats Publics Privés (PPP) pour la réhabilitation, l'exploitation des STEP et le développement de traitements tertiaires en vue d'une réutilisation des eaux usées. Ainsi, l'Office National de l'Assainissement de la Tunisie (ONAS) a conclu un contrat de concession avec un consortium dont SUEZ est mandataire, portant sur 14 STEP des gouvernorats de Sfax, Gabès, Médenine et Tataouine, pour une durée de 10 ans et d'un montant total de 200 M€. Cette intervention du secteur privé a facilité le soutien par la Banque Mondiale aux investissements, en particulier ceux liés aux traitements tertiaires, pour plus de 100 M€.

Au Maroc, la régionalisation de la gestion des services d'eau et d'assainissement déployée en 2024 via la création des Sociétés Régionales Multiservices (SRM), s'accompagne plutôt d'un retour vers une gestion en régie par ces SRM, pour les STEP auparavant exploitées via un contrat de PPP avec une société privée. Ainsi, Veolia a cédé ses parts dans Lydec à la Société régionale multiservices Casablanca-Settat. Le capital de ces SRM est à présent entièrement public, partagé entre l'État, les collectivités territoriales ou leurs groupements et l'Office national d'Électricité et d'Eau Potable.



À retenir concernant les modèles organisationnels et économiques

Afin que la filière de l'assainissement soit fonctionnelle dans la durée, les différents montages organisationnels doivent s'accompagner d'un montage financier qui doit :

- être cohérents avec les capacités techniques et financières locales existantes et les opportunités de les développer ;
- permettre à chaque acteur d'équilibrer son modèle économique, voire d'y trouver une rentabilité dans le cas d'un acteur privé ;
- être bénéfique et supportable financièrement pour les usagers au début de la filière (usagers du système d'assainissement) et à la fin de la filière (usagers des produits issus du système de traitement).

L'introduction des nouvelles fonctions de traitement supplémentaires et d'acheminement des produits réutilisés/valorisés implique de nouvelles charges à supporter par les acteurs qui en sont responsables (mais également des opportunités d'atténuer certaines charges).

Les partenaires de projets et acteurs responsables de ces fonctions peuvent présumer que certains débouchés des produits réutilisés/valorisés permettront de générer des recettes afin d'équilibrer ces nouvelles charges. Ce postulat doit être considéré avec prudence et mis en perspective avec la demande en produits réutilisés/valorisés et la concurrence d'autres pratiques préexistantes.

Enjeu 4 : Quels impacts et prise en compte des aspects sociologiques ?

S'attachant en particulier aux utilisateurs des produits issus des systèmes d'assainissement, cette partie précise pour quelles raisons les aspects sociologiques sont essentiels à prendre en compte dans la perspective d'une filière de l'assainissement comportant un maillon réutilisation/valorisation.

Les démarches pouvant être mises en œuvre pour intégrer ces aspects sociologiques, reposant sur une identification et implication de l'ensemble des parties prenantes, sont ensuite abordées.



Les aspects sociologiques à prendre en compte

◀ La perception des risques sanitaires

Même lorsque des procédés de traitement avancés sont mis en œuvre et donc que le risque sanitaire est faible, une perception négative par les acteurs impliqués dans la filière de réutilisation/valorisation peut faire échouer un projet.

L'utilisation d'engrais à base d'excréments humains peut susciter des réticences chez les utilisateurs et les consommateurs potentiels.

Les agriculteurs craignent ainsi la stigmatisation liée à cette pratique et redoutent une réduction de la demande ou des prix de marché pour leurs produits.

L'aspect religieux est souvent avancé comme participant à cette réticence. Toutefois, il n'y a pas de données à l'échelle internationale qui permettent de mesurer l'importance de l'aspect religieux pour l'acceptabilité sociale.



Focus Méditerranée

Au cours de différentes études menées sur le sujet en Tunisie, le facteur religieux n'a pas été mentionné par les agriculteurs

En Palestine des leaders religieux sont mobilisés pour informer la population de la possibilité de réutiliser les eaux usées traitées si les pratiques sanitaires et le traitement des eaux sont respectés. Ils participent ainsi à la sensibilisation et à la vulgarisation de la réutilisation.^[5]

◀ La perception de l'intérêt du produit

Paradoxalement, des usages informels des eaux usées et des boues sont largement pratiqués, bien que cela soit peu étudié et documenté. Face au besoin, l'intérêt que représentent les eaux usées ou des boues prime. Les utilisateurs se déclarent alors satisfaits de leur efficacité sur les cultures.

Dans des contextes où des engrais chimiques/des ressources en eau sont disponibles à bas prix ou gratuitement, la volonté à payer

pour des boues de vidange/d'épuration traitées, voire compostées ou pour des eaux usées traitées, est compromise, car cela ne répond pas à un besoin.

À l'inverse, dans les contextes de stress hydrique, la demande pour l'usage d'eaux usées traitées est forte. La continuité de sa disponibilité représente également un facteur attractif, dans des contextes où la disponibilité en eau est fluctuante au cours de l'année.

S. B. Soudi et W. El Khoumsi, «Valorisation agricole des boues d'épuration dans les pays du Maghreb : potentialités et défis Gestion et valorisation agricole des boues d'épuration au Maroc, Rapport national – Maroc,» FAO, 2024.



Focus Méditerranée

Au Maroc, les agriculteurs locaux prélèvent régulièrement des eaux usées issues de STEP,^[U] par exemple dans la vallée urbaine de Ouislane, dans un contexte de stress hydrique.^[U]

Dans la vallée de la Bekaa au Liban, la disponibilité de l'eau douce est limitée et les agriculteurs doivent donc rechercher d'autres sources d'eau, telles que les eaux usées traitées, pour irriguer leurs cultures.^[V]

Toutefois, lorsque la demande est présente, des usages agricoles informels et non encadrés ont tendance à se développer à partir d'eaux usées et boues partiellement traitées. Ces usages se pratiquent alors gratuitement,

ce qui peut rendre difficile l'établissement d'une filière de réutilisation/valorisation remettant en cause cette gratuité, bien que le risque sanitaire soit alors maîtrisé.



Focus Méditerranée

En Palestine, le consentement des usagers à payer des eaux usées traitées est faible lorsque les eaux usées brutes ou traitées étaient déjà réutilisées gratuitement avant les projets planifiés. Cette réutilisation pouvait être directe ou indirecte, avec pompage dans les cours d'eau où s'écoulaient les effluents. L'eau n'était alors pas facturée aux agriculteurs.^[W]

◀ Les changements de pratiques qu'implique la réutilisation/valorisation

Pour les utilisateurs finaux :

Les réticences de certains usagers ne sont pas toujours liées à l'origine du produit réutilisé/valorisé, mais tout autant à la nécessité de changements de pratiques qu'implique leur usage.

Dans le cas d'une réutilisation/valorisation pour l'irrigation/l'amendement agricole, les mesures envisagées pour la maîtrise du risque sanitaire induisent des changements

de pratiques de la part des agriculteurs. Ces nouvelles pratiques, allant du port d'équipements de protection, de l'utilisation de dispositifs d'irrigation localisés, du respect d'un temps de latence entre l'application et la récolte, jusqu'à une conversion à de nouvelles cultures, peuvent être en décalage avec les pratiques préexistantes et susciter des réticences voire des résistances.

T. S. Brahim, Projet de Renforcement des Capacités sur l'Utilisation sans danger des Eaux Usées en Agriculture. Rapport National du Maroc, 2011

U. F. Rossel, Les agriculteurs de la vallée urbaine de Ouislane (Maroc) contraints à l'usage d'eaux usées non traitées dans un contexte de transition agroécologique, REUSE EUROMED 2024, 2024

V. M.T. Abi Saab, Treated municipal wastewater reuse for eggplant irrigation, AJCS, 2021

W. Chantier COSTEA "REUSE" - Réutilisation des eaux usées en agriculture - rapport de synthèse Palestine, COSTEA, 2022

Les usages des eaux usées traitées et boues d'épuration de vidange pour l'irrigation et l'amendement d'espaces non agricoles sont également concernés. Par exemple, les res-

trictions de fréquentation des parcs publics après apport de produits valorisés de la filière assainissement doivent être acceptées tant par le gestionnaire que par les utilisateurs.



Focus Méditerranée

Des enquêtes menées en Tunisie montrent que les agriculteurs perçoivent la restriction des cultures comme un frein important.^[X]

En Palestine, la réutilisation des eaux usées traitées développée dans le respect de la réglementation, restreint à certaines cultures notamment fourragères et implique des changements de pratiques de la part des agriculteurs qui pratiquaient auparavant une agriculture pluviale. Des programmes de formations accompagnent les agriculteurs à cette transition.

Pour les acteurs en charge des différentes fonctions de la filière de l'assainissement :

Ces changements de pratiques concernent les opérations d'exploitation et de maintenance à réaliser sur des nouveaux procédés de traitement ainsi que les mesures de protection pour réduire le risque sanitaire (port d'équipements de protection individuelle, lavage des mains...).

La perception qu'ont les travailleurs de la filière de l'assainissement vis-à-vis de ces changements de pratique doit être prise en compte.

◀ La multiplicité des acteurs concernés

L'intégration d'un maillon réutilisation/valorisation à la filière de l'assainissement implique l'intervention d'acteurs, qui relèvent d'autres secteurs que celui de l'assainissement : secteur agricole, énergétique, forestier, santé...

L'autorité organisatrice du service d'assainissement ainsi que son éventuelle autorité régulatrice ne sont pas seules coordinatrices d'un projet visant à développer une réutilisation/valorisation. Une coordination intersectorielle est nécessaire.

À ces acteurs institutionnels, centralisés, déconcentrés ou décentralisés, et aux acteurs privés qu'ils missionnent éventuellement, s'ajoutent des acteurs de la société civile. Ils représentent les usagers des systèmes d'as-

sainissement (maillon amont), les utilisateurs des produits issus de la filière de l'assainissement (agriculteurs, industriels, gestionnaires d'espaces verts, d'exploitation forestières...)

Les cadres sectoriels nationaux éventuellement existants de l'assainissement et de la réutilisation des produits de l'assainissement peuvent préciser quel est le cadre théorique d'implication de ces acteurs.

Cependant, les cadres sectoriels ne sont pas exhaustifs dans leur définition du rôle de chaque acteur et le niveau d'encadrement est plus ou moins précis, voire inexistant concernant certaines formes de filières de l'assainissement ou certaines voies de valorisation et leurs débouchés.

X. Élaboration du Plan Directeur National de Réutilisation des Eaux Usées Traitées en Tunisie – « WATER REUSE 2050 » : Phase 1 : Diagnostic de la filière et élaboration des orientations de base, Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, AFD, 2020

Que ces cadres existent ou non, le rôle des différents acteurs concernés par la filière de l'assainissement et les débouchés des produits doit tout de même être analysé, au-delà de la définition théorique de leur implication, parfois ambiguë ou inexistante.

Les besoins, contraintes, intérêts et pouvoirs de chacun de ces acteurs peuvent être complémentaires, contradictoires, favorables ou

défavorables à différents scénarios de réutilisation/valorisation.

Par ailleurs, lorsque des initiatives de réutilisation/valorisation peuvent préexister au projet, hors du champ des cadres sectoriels, des acteurs impliqués dans ces modes d'organisation dits « informels » sont également concernés.

- La perception de l'intérêt du produit et des risques associés à son usage ainsi que les changements de pratiques auquel s'adapter, influe sur la demande des utilisateurs pour le produit et donc sur leur volonté à payer pour ce produit. Cela impacte donc le paramètre : « Existence d'un besoin de réutilisation/valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement pour des activités anthropiques ou opportunité de le développer ».

- Les changements de pratiques qu'implique la réutilisation/valorisation pour les acteurs en charge des différentes fonctions de la filière de l'assainissement et la multiplicité des acteurs concernés, impactent le paramètre « capacités techniques et financières locales existantes et opportunités de les développer ».



Comment intégrer les aspects sociologiques ?

► Coconstruire un modèle organisationnel

L'implication des parties prenantes doit permettre un travail de co-construction d'un modèle de gestion et d'un modèle économique.

Il est particulièrement important d'impliquer les utilisateurs des produits issus de la filière de l'assainissement dans ce processus, car leur rôle est clé pour la viabilité du modèle d'organisation et de financement de la filière de l'assainissement.

Comme toute démarche participative, ce processus de co-construction peut être officialisé voire réglementé.

La répartition des responsabilités et des rôles entre ces différents acteurs est à formaliser. Selon la typologie de ces acteurs, cela peut être via des conventions ou des contrats.

Y. Élaboration du Plan Directeur National de Réutilisation des Eaux Usées Traitées en Tunisie – « WATER REUSE 2050 » : Phase 1 : Diagnostic de la filière et élaboration des orientations de base, Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, AFD, 2020



Focus Méditerranée

En Tunisie une stratégie nationale encourage l'utilisation de méthodes participatives, incluant des volets de formation du personnel et d'expérimentation. Mais la répartition des contributions entre producteurs, utilisateurs et collectivités pour couvrir les frais de fonctionnement des STEP reste une question sensible à aborder.^[4]

Au Maroc, l'usage des eaux usées pour l'irrigation forestière bénéficie aux bergers qui font pâturer leur bétail dans ces espaces irrigués. Cet usage s'accompagne d'une démarche « participative » dans le cadre du Plan National Forêts. Ces bergers sont ainsi bénéficiaires d'informations sur leurs droits et devoirs vis-à-vis de l'usage (voir [chapitre 4](#), étude de cas n°1).

Une convention liera des acteurs qui ont une responsabilité vis-à-vis de différents maillons de la filière de l'assainissement-valorisation-débouché, en vertu du cadre sectoriel. Elle clarifiera le périmètre de leurs rôles et responsabilités dans un cas spécifique du fonctionnement d'une filière de l'assainissement intégrant un maillon débouché. Par exemple, une convention peut concerner un opérateur national d'assainissement ou une association d'usagers agricoles en charge d'exploiter un système de distribution d'eaux usées traitées pour leurs cultures. Une convention est conclue sur la base d'un volontariat et d'un intérêt mutuel, via un processus de négociation.

Un contrat liera un acteur qui a une responsabilité vis-à-vis de la filière de l'assainissement à un acteur privé à qui est confié le fonctionnement d'une partie du système. Par exemple, il peut s'agir d'un contrat liant le gestionnaire d'un système de traitement avec un acteur privé chargé de collecter les boues produites pour les livrer à des agriculteurs. Un contrat est conclu à l'issue d'une procédure de mise en concurrence pour laquelle l'acteur public a défini son besoin afin de recruter le prestataire proposant l'offre la plus avantageuse d'un point de vue technico-commerciale.

Les termes de ces conventions et contrats doivent formaliser les champs de responsabilités de façon opérationnelle ainsi que les flux financiers entre ces différents acteurs.

◀ Informer et sensibiliser sur le risque sanitaire

Indépendamment du risque estimé par le porteur de projet, la perception du risque sanitaire par l'ensemble des acteurs doit aussi être considérée. Des informations scientifiques peuvent leur être apportées si le porteur de projet estime cette perception n'est pas adaptée, mais il est important d'admettre qu'une résistance à l'usage des produits puisse persister et dans ce cas faire évoluer la solution de traitement-valorisation envisagée.

Des campagnes de sensibilisation et promotion de l'hygiène peuvent contribuer à surmonter ces résistances. Ces campagnes doivent viser tous les acteurs exposés aux risques sanitaires (voir « comment gérer les

risques sanitaires ? ») : les travailleurs agricoles, les personnes manipulant les produits, les vendeurs et les consommateurs. La promotion du lavage des mains est essentielle pour éviter qu'une exposition par contact n'implique une exposition par ingestion.

Il est important d'adopter un langage qui ne stigmatise pas l'eau recyclée lors de la communication avec le public. Les termes tels que « réutilisation des eaux usées » ou « eau réutilisée » peuvent avoir une connotation négative, alors que des expressions telles que « recyclage de l'eau », « nouvelle eau » ou « eau purifiée » peuvent être plus attrayantes et favoriser une meilleure acceptation publique (Macpherson 2012).

◀ Co-construire une stratégie de gestion du risque sanitaire

Comme abordée dans la partie « comment gérer des risques sanitaires ? », l'implication des acteurs concernés par ce risque est essentielle.

Si la gestion du risque sanitaire nécessite de fixer des objectifs de qualité élevés pour les produits issus du système de traitement, il est important d'impliquer les acteurs en charge de la STEP/STBV afin d'identifier avec eux leurs capacités techniques et financières pour y répondre. En fonction de ce qui semble réaliste et réalisable, des programmes de formation peuvent être construits afin de renforcer leurs capacités pour l'exploitation des systèmes de traitement avancés répondant aux exigences de qualité. L'inadéquation de la technicité des systèmes de traitement envisagés et des charges financières supplémentaires de fonctionnement qu'ils impliquent peut conduire à estimer que la solution de traitement réutilisation/valorisation envisagée s'avère non viable. Il en est de même concernant les acteurs identifiés pour assurer le suivi de la qualité des produits de l'assainissement, au stade du fonctionnement. En effet, la gestion du risque sanitaire repose alors sur la performance du système de traitement, qui doit

fonctionner dans des conditions optimales ainsi que sur la bonne conduite d'une démarche de suivi de la qualité des produits sortants du système de traitement.

Si la stratégie de gestion du risque sanitaire intègre la considération des modalités d'usage des produits réutilisés/valorisés, de nombreux acteurs sont à impliquer. Il s'agit des acteurs exposés ainsi que des acteurs sur lesquels repose l'application de mesures de réduction de cette exposition : les « barrières post-traitement ».

Pour tous les acteurs pouvant être en contact avec les produits issus de l'assainissement, il est important d'identifier leurs pratiques d'hygiène, leurs pratiques agricoles le cas échéant et de co-construire sur cette base la stratégie de gestion du risque sanitaire. Des informations sur les risques (dangers, exposition) doivent leur être fournies, en lien avec leurs pratiques identifiées et les pratiques qu'il est envisagé de préconiser ou d'imposer. Les acteurs concernés par les risques sanitaires doivent être sollicités pour partager les situations d'exposition continue ou accidentelle qu'ils identifient dans la solution de traitement-réutilisation/valorisation envisagée.

◀ Identifier ou susciter le débouché

Des analyses socio-économiques doivent évaluer le marché existant ou pouvant être stimulé : identifier les utilisateurs potentiels du produit et évaluer leur consentement/capacité à payer pour ce produit.

Structurer l'analyse par segment de marché permet d'identifier précisément les différents utilisateurs possibles du produit, leur nombre réel et potentiel et leur niveau de satisfaction. Analyser la structure de marché permet de déterminer dans quelle mesure le produit serait viable à terme sur le marché compte tenu de la concurrence existante ou attendue et vis-à-vis d'autres produits concurrentiels remplissant la même fonction et disponibles à bas prix voire gratuitement (eau « conventionnelle », engrais chimiques...).

Déterminer combien une personne interrogée est prête à payer pour une certaine quantité d'un nouveau produit nécessite des enquêteurs expérimentés, tant pour conduire ces enquêtes que pour en interpréter les résultats. Ces derniers sont également à considérer avec précaution. Il est bien souvent constaté un écart entre les déclarations d'intérêt et d'intention portant sur l'usage des eaux/des boues et les changements de comportement à adopter, qui sont encore théoriques et abstraits au moment de l'enquête, et la réelle application de ces intentions au moment de la concrétisation du projet.



Focus Méditerranée

Dans les pays méditerranéens, les petits agriculteurs ont une faible capacité de payer le prix réel des eaux usées traitées. Il n'est pas réaliste que le paiement des eaux usées traitées par les agriculteurs puisse couvrir les coûts de traitement complémentaire, d'exploitation des ouvrages connexes pour la réutilisation des eaux usées traitées et ceux liés aux frais de suivi de la qualité de ces eaux.

Le consentement à payer est davantage garanti lorsque les utilisateurs sont des acteurs privés davantage solvables : industriels, gestionnaires de golfs, hôteliers. Cependant, en Tunisie, les eaux usées traitées sont fournies gratuitement aux gestionnaires de golfs, mais ce sont eux qui prennent en charge financièrement les infrastructures de réutilisation.

➤ Démontrer l'intérêt de l'usage du produit

Des initiatives de démonstration de l'efficacité de l'amendement ou de l'irrigation des sols par des produits de l'assainissement peuvent être déployées. Les unités de démonstration, où les futurs utilisateurs peuvent expérimenter et tester différentes technologies, sont essentielles pour faire accepter les nouvelles technologies. Ces démonstrations sont essentielles pour convaincre les agriculteurs de l'efficacité des nouvelles approches. De telles démarches sont souvent menées

dans le cadre de projets pilotes bénéficiant d'un soutien financier. Une analyse de leur viabilité et pérennité est donc également nécessaire.

Concernant la réutilisation des eaux usées traitées, il apparaît crucial de sensibiliser davantage les agriculteurs aux défis environnementaux et aux pressions croissantes sur les ressources en eau, notamment en raison du changement climatique.

➤ Accompagner les changements de pratiques

Les différents acteurs exposés au risque sanitaire doivent être impliqués afin de vérifier la faisabilité des changements de pratiques induits par les mesures de gestion du risque sanitaire. Cette démarche peut conduire à un accompagnement par des formations ou bien à écarter la solution, si estimée non viable compte tenu du contexte.

Par exemple, la nécessité d'imposer des restrictions aux cultures à des fins de protection sanitaire va parfois à contrecourant des incitations du marché et ne peut ne pas rencontrer l'assentiment des agriculteurs : les légumes frais, par exemple, peuvent avoir plus de valeur que les cultures fourragères.



À retenir concernant l'intégration des aspects sociologiques

Il est essentiel d'identifier les parties prenantes, leurs intérêts, leur influence (vis-à-vis du projet puis du fonctionnement du système) et de les impliquer dès la phase de diagnostic et de réflexions sur la faisabilité de différents scénarios.

Bien que les processus participatifs puissent être chronophages et induire des coûts supplémentaires, l'intégration explicite de toutes les institutions et parties prenantes concernées dans les phases de planification et de conception des projets de réutilisation/valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement est essentielle. Ces processus permettent d'orienter les choix, tant au niveau technique qu'au niveau des modes d'organisation, de financement et de gestion du risque sanitaire (selon l'usage), vers des solutions qui maximisent les potentialités du système à fonctionner durablement et à satisfaire chaque acteur impliqué dans l'ensemble de la filière.

Les utilisateurs des produits issus de la filière de l'assainissement sont des acteurs cruciaux dont les motivations et les réticences doivent être analysées.

L'identification des potentiels utilisateurs, l'analyse de la demande, du consentement et de la capacité à payer ainsi que de la perception du risque est essentielle pour identifier les débouchés viables des produits de l'assainissement. Les choix portant sur l'ensemble des maillons de la filière de l'assainissement en sont alors impactés. Cette analyse peut également mettre en évidence l'opportunité de développer une demande, via une démarche d'information et sensibilisation, voire une démarche de marketing, sur l'intérêt du produit.

POUR EN SAVOIR + SUR LES MODÈLES ORGANISATIONNELS ET ÉCONOMIQUES ; ET SUR L'INTÉGRATION DES ASPECTS SOCIOLOGIQUES :

● Série « Resource Recovery and Reuse » :

Les publications de la série « Resource Recovery and Reuse » sont éditées par l'International Water Management Institute (IWMI) dans le cadre du sous-programme Resource Recovery and Reuse (RRR) dédié à la recherche appliquée sur la réutilisation de l'eau, des nutriments et de l'énergie à partir des flux de déchets domestiques et agro-industriels, qui s'inscrit dans le programme "Research Program on Water, Land and Ecosystems" du Groupe consultative pour la recherche agricole internationale (CGIAR)

- **Resource Recovery and Reuse Series n°4 - Global Experiences in Water Reuse**, CGIAR, IWMI, Lautze, J.; Stander, E.; Drechsel, P.; da Silva, A. K.; Keraita, B., 2014

- **Resource Recovery and Reuse Series n°6 - Business models for fecal sludge management**, CGIAR, IWMI, Rao, K. C.; Kvarnström, E.; Di Mario, L.; Drechsel, 2016

- **Resource Recovery and Reuse Series n°10 - Testing the Implementation Potential of Resource Recovery and Reuse Business Models: from baseline surveys to feasibility studies and business plans**, CGIAR, IWMI, Otoo, M.; Drechsel, P.; Danso, G.; Gebrezgabher, S.; Rao, K.; Madurangi, G., 2016

- **Resource Recovery and Reuse Series n°11- Financing resource recovery and reuse in developing and emerging economies: enabling environment, financing sources and cost recovery**, CGIAR, IWMI, Lazurko, A.; Drechsel, P.; Hanjra, M. A., 2018

- **Resource Recovery and Reuse Series n°12 - Market adoption and diffusion of fecal sludge-based fertilizer in developing countries: crosscountry analyse**, CGIAR, IWMI, Otoo, M.; Gebrezgabher, S.; Danso, G.; Amewu, S.; Amirova, I.; 2018

- **Resource Recovery and Reuse Series n°13- Assessing the value of resource recovery and reuse: social, environmental and economic costs and benefits for value creation and human well-being**, CGIAR, IWMI, Lazurko, A., 2018

[5] - **Resource Recovery and Reuse Series n°17- Introducing co-composting to fecal sludge treatment plants in Benin and Burkina Faso: a logistical and financial assessment**, CGIAR, IWMI, Nikiema, J.; Tanoh-Nguessan, R.; Abiola, F.; Cofie, O., 2020.

- **Resource Recovery & Reuse – n°22 : Public-private partnerships for the circular bio-economy in the Global South: lessons learned**, CGIAR, IWMI, Taron, A.; Majumder, A.; Bodach, S.; Agbefu, D., 2023

- **Resource Recovery & Reuse – n°23 - Sewage sludge: a review of business models for resource recovery and reuse**, CGIAR, IWMI, Taron, A.; Singh, S.; Drechsel, P.; Ravishankar, C.; Ulrich, A. 2023.

- **Autres ressources :**

- **Gestion des Boues de Vidange – Approche intégrée pour la mise en œuvre et l'exploitation**, IWA, Strande L., Ronteltap M., Brdjanovic D., 2018, [anglais](#)
- **Resource Recovery from Waste: Business Models for Energy, Nutrient and Water Reuse in Low- and Middle-income Countries**, Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC), International Fund for Agricultural Development (IFAD), CGIAR Research Program on Water, Land and Ecosystems (WLE), M. Otoo, P. Drechsel, 2018.
- **Business Models for Rural Fecal Sludge Management (FSM): A Desk Review**, USAID, Agarwal, R.; Chennuri, S., 2024
- **Sanitation, Wastewater Management and Sustainability: from Waste Disposal to Resource Recovery. 2nd edition**. United Nations Environment Programme and Stockholm Environment Institute, Andersson, K., Rosemarin, A., Lamizana, B., Kvarnström, E., McConville, J., Seidu, R., Dickin, S. and Trimmer, C., 2020
- **Need to educate farmers about the benefits of using treated wastewater for agriculture**, World Water Council, IWA, Baanu, B. B.; Babu, K. S. J.; Baskaran, A., 2022
- **Gestion des eaux usées et des boues de vidange - identification des besoins en formation et élaboration du référentiel métier/emploi**, GIZ, programme eau et assainissement au Bénin (AGIR-Eau), Cissé, S., 2022.



Réservoir de stockage des eaux usées traitées, STEP de Djerbz, Tunisie, © ANAMANA



CHAPITRE 3

Contexte dans différents pays
méditerranéens



La réutilisation/valorisation des produits issus de l'assainissement au Maroc

Place de la réutilisation/valorisation dans les stratégies nationales

◀ Le secteur de l'assainissement liquide au Maroc

Depuis la mise en œuvre du Plan National d'Assainissement Liquide (PNA) en 2006 et du Plan National d'Assainissement Mutualisé (PNAM) en 2019, le Maroc a considérablement renforcé son infrastructure d'assainissement.

Le nombre de stations d'épuration s'élève en 2020 à 209 stations d'épuration, dont 187 sont déjà opérationnelles, tandis que 22 sont en cours de réalisation (128 STEP dans le milieu urbain et 59 dans le milieu rural). Le taux d'épuration est passé de 7 % en 2006 à plus de 57,5 % en 2024. Le volume d'eau traité par le parc des stations d'épuration, estimé à environ 443 Mm³/an.

Le taux de raccordement à un réseau d'assainissement collectif est passé de 70 % en 2005 à 83,5 % en 2020.^[1]

Les STEP urbaines sont classiquement des boues activées ou des lits bactériens, tandis que les STEP des petites localités sont souvent des systèmes de traitement par lagunage ou bien des filtres plantés.

Dans le cadre du PNAM, la mise en place de systèmes d'assainissement dans 1 200 douars centraux des communes rurales est en cours.

POUR EN SAVOIR + :

- Pour en savoir plus sur les acteurs impliqués dans la gestion de l'eau et l'assainissement au Maroc, consultez la [fiche pays Maroc du pS-Eau](#).

◀ La réutilisation des eaux usées traitées au Maroc : place dans les stratégie et état des lieux

Les projections des besoins en eau prédisent un déficit de 5 milliards m³/an à l'horizon 2030. Les stratégies se donnent ainsi comme objectif une réduction de la demande de 2,5 milliards de m³/an et une augmentation de l'offre de 2,5 milliards de m³/an.

La réutilisation des eaux usées traitées est un axe important des documents stratégiques et réglementaires du secteur de l'eau et l'assainissement. Elle prend sa place en tant que ressource en eau non conventionnelle qui se-

rait à développer pour augmenter l'offre, afin de participer à rééquilibrer l'offre et la demande à horizon 2030.

En effet, le **volume potentiel des eaux usées utilisable est estimé à 550 Mm³ [2] à l'horizon 2030** sur un volume potentiel d'eaux usées traitées de l'ordre de 1 100 Mm³.

Ainsi, le PNAM prévoit la réutilisation de 325 Mm³ en 2030 et 573 Mm³ en 2040, à des fins agricoles (46 %), industrielles (5 %), l'arrosage des espaces verts et des golfs

Z. Mm³ = Million de mètres cube

(43 %) et la recharge de nappes (6 %). 87 projets de réutilisation sont prévus d'ici 2027, dont la majorité vise la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture, tandis que 22 projets seront dédiés à l'arrosage des golfs.

D'autres programmes nationaux comportent un volet visant cette fois à réguler la demande, en ciblant en particulier l'irrigation agricole. En effet, la grande majorité des ressources en eau du Maroc est attribuée à l'agriculture, qui représente près de 85 % de la consommation totale d'eau mobilisée. Ainsi, le Plan National de l'Eau (PNE) de 2015, le PNE à venir (horizon 2050) et la loi sur l'eau 36-15 d'août 2016, prévoient le développement d'une irrigation plus localisée, et le développement de la valorisation des eaux pluviales et usées pour cet usage.

Actuellement, les usages existants sont les suivants :^[2]

Usages des eaux usées traitées au Maroc	
Type d'usage	Détail / Localisation
Irrigation de golfs	23 golfs à Rabat, Tanger, Tétouan, Agadir, Marrakech
Espaces verts	Tanger, Tétouan, parc écologique d'Oujda, ceinture verte de Ouarzazate
Industrie (lavage de phosphates)	Villes de Benguérir, Khouribga, Youssoufia
Foresterie	Palmeraie de Marrakech (projet FAO)
Recharge de nappes	Réinjection à Biougra (près d'Agadir)
Irrigation agricole (projets pilotes)	Projets en cours ou pilotes à Ouarzazate, Ben Sergao, Drarga, At-taouia

La superficie potentielle irrigable estimée entre 65 000 ha 130 000 ha, est modeste vis-à-vis des surfaces irrigables totales (1,4 %), mais cette potentialité est à cibler sur certains territoires pour lesquels les bénéfices sont importants : zone semi-aride, arides, présaharienne, saharienne, où les précipitations sont faibles, zones montagneuses (bien que la mise en œuvre soit complexifiées par la topographie et la typologie morcelée des parcelles agricoles), ainsi que les zones oasiennes.

Concernant les zones oasiennes, le projet Mas-sire a testé les possibilités de traitement semi collectif avec une réutilisation, mis en œuvre au plus près des points de collecte des eaux usées et des usages des eaux usées traitées.

◀ La réutilisation des boues d'épuration au Maroc : place dans les stratégies et état des lieux

Bien que le Plan National d'Assainissement Mutualisé (PNAM) préconise d'inclure la gestion des boues dès la phase de planification des projets d'assainissement, la valorisation des boues d'épuration ne constitue pas un axe aussi important que la réutilisation des eaux usées traitées.

Le développement de l'assainissement liquide ces dernières décennies a généré proportionnellement une augmentation de la production de boues. Elles sont actuellement essentiellement envoyées en décharges publiques (60 %^[2]). Le statut ambigu des boues vis-à-vis de la réglementation amène de plus en plus les collectivités locales gestionnaires des décharges à refuser ces boues, contraignant les gestionnaires des systèmes de traitement à les stocker sur le site de traitement.

Des études et expérimentations sont en cours pour développer la valorisation de ces boues. Une étude prospective conduite par la FAO pour le compte de l'ONEE fait ressortir plusieurs procédés de traitement et voies de valorisation adaptées au contexte marocain, selon le type de localités.

Tout d'abord, le séchage solaire, faisant suite à une déshydratation mécanique, est adaptée aux conditions climatiques du Maroc

(adopté pour les STEP de Marrakech, Fès, Youssoufia, Ben Guérir, prochainement Laâyoune).

De plus, l'usage pour l'agriculture et la restauration des sols (réhabilitation de terres dégradées, des anciennes carrières), ainsi que la valorisation en cimenterie, apparaissent comme des solutions adaptées au contexte marocain. Ces deux voies de valorisation sont actuellement peu développées.

Enfin, le bilan hydrique défavorable du séchage solaire remet en question sa pertinence dans un contexte de stress hydrique, en particulier en milieu rural. Ainsi, l'étude va jusqu'à préconiser l'épandage des boues à l'état liquide, après un traitement de stabilisation, avant usages pour restaurer et amender les sols arides au niveau d'exploitations d'arbres fruitier de vergers et d'oliviers (expérimentation menée dans le village rural de Chouirij dans la région de Marrakech-Safi, par Ministère de l'Intérieur avec le soutien de la GIZ).

À noter que l'usage des boues stockées au niveau des stations d'épuration, par les agriculteurs locaux, se pratique de façon informelle dans certains zones agricoles (Al Attaouia, Skhirat).^[2]

◀ La réutilisation des boues de vidange au Maroc : place dans les stratégies et état des lieux

La mise en œuvre de solutions d'assainissement n'est pas généralisée dans les douars isolés souvent trop éloignés de la STEP du douar central pour qu'un cotraitement des boues de vidange soit cohérent. Des solutions locales doivent être envisagées. L'enjeu est alors d'envisager toute forme d'assainissement en laissant une place légitime aux options d'assainissement gérés à la parcelle. Les systèmes d'assainissement collectifs, même via des systèmes de traitement extensifs, ne sont pas forcément la solution adéquate au regard des caractéristiques du terri-

toire. Des opportunités de réutilisation des produits de l'assainissement, bien qu'elles soient bien investies au Maroc au niveau des systèmes urbains et qu'elles se développent au niveau des systèmes de traitement des petites localités, peuvent également s'envisager à ces micro-échelles.

Le programme AGIRE, programme Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en eau (AGIRE), soutenu par la GIZ, en appui au Département de l'Eau du ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement a

investi cette question. L'objectif de la composante assainissement du programme AGIRE était de développer une vision intégrée de l'assainissement, en valorisant tous les sous-produits, sans s'arrêter aux eaux usées et en s'intéressant en particulier aux possibilités à l'échelle d'un ménage et à l'échelle semi-collective. Dans le cadre de ce programme, il a été examiné les solutions déjà existantes au

Maroc. Également, des solutions ont été testées et des guides édités pour éclairer les ménages et décideurs locaux et nationaux sur les différentes options sur les formes d'assainissement et les technologies adaptées au contexte marocain. Il en ressort cependant la nécessité d'examiner chaque contexte pour faire des choix sur-mesure.

Réglementations nationales - Quelle gestion du risque sanitaire ?

◀ Usage des eaux usées traitées

Les principaux textes réglementaires et normatifs sont les suivants :

Approches de la réglementation Marocaine pour la réutilisation des eaux usées traitées ^[A]	
Conditionnement des usages, à la qualité des produits sortant du système de traitement Caractéristiques imposées aux eaux usées traitées	Catégorie A : Cultures consommées crues, terrains de sport, jardins publics • CÉufs d'helminthes : absence (moyenne arithmétique par litre) • Coliformes fécaux < 1000 UFC / 100 ml Catégorie B : Cultures céréalières, industrielles, fourragères, pâturages, plantations d'arbres • CÉufs d'helminthes : absence (moyenne arithmétique par litre) • Coliformes fécaux : pas de limite spécifique Catégorie C : Irrigation localisée des cultures B si absence d'exposition du public et des ouvriers agricoles
Restrictions sur les modalités d'usage	• Interdiction d'irrigation des arbres fruitiers dans les 2 semaines avant récolte • Interdiction d'irrigation par aspersion • Interdiction de ramasser les fruits tombés au sol • Étude d'impact sur l'hygiène publique obligatoire dans le dossier de demande
Restriction des usages	Le Maroc n'interdit aucune culture pour une irrigation avec des eaux usées traitées

A. - Loi n° 36-15 relative à l'eau (2016)

- Décret n° 2-04-553 du 24 décembre 2004 (relatif à la qualité des eaux destinées à l'irrigation) : fixe les normes de qualité pour la réutilisation des eaux usées traitées à des fins agricoles.
- Norme marocaine NM EN 12255-13:2024 : Qualité des eaux usées traitées destinées à la réutilisation
- Code de l'environnement (Loi n° 11-03)
- À noter qu'un nouvel arrêté encadrant les types d'utilisations, est en cours d'élaboration

◀ Usage des boues d'épuration

La matière organique présente dans les boues constitue un gisement important pouvant être valorisé pour l'amendement des sols qui sont souvent pauvres en matière organique au Maroc.

Actuellement, la loi marocaine sur l'eau (loi 36-15) et la loi sur les déchets (loi 28-00) ne fournissent pas une réglementation adéquate pour le statut des boues en tant que déchet. En particulier, les lacunes dans la définition d'une qualité des boues et dans les modalités requises pour leur épandage entravent le développement d'une voie de valorisation agricole. Cependant, la réglementation interdit le déversement des boues dans l'environnement sans traitement préalable, tandis que la problématique de l'acceptation des boues dans les décharges incite les gestionnaires de systèmes de traitement à s'orienter vers de nouvelles options.

L'Institut Marocain de Normalisation (IMANOR) a rétabli la Norme Marocaine NM ISO 19698 : 2023 (qui s'aligne sur la norme internationale ISO 19698 : 2020). La norme détaille les critères de qualité que doivent respecter les boues d'épuration avant leur utilisation sur les terres agricoles et dans la réhabilitation des sites dégradés, en les classant en deux groupes en fonction de leur niveau de traitement et de leur teneur en contaminants, en tenant compte des besoins des cultures, des risques de contamination et de la protection des ressources en eau. Cette norme reste à opérationnaliser par la publication d'un décret, qui devrait également adresser la question des boues de vidanges d'installations autonomes.

De plus, les réglementations futures devront également adresser la question des solutions d'assainissement en milieu rural, qui ne sont pas couvertes par la norme actuelle.

Quels modèles de fonctionnement et de financement prévus ?

Un cadre global définit, pour **différents usages des eaux usées traitées**, la répartition des rôles et des responsabilités entre les différents acteurs gouvernementaux, déconcentrés, décentralisés et communautaires, au

stade de la mise en œuvre des projets et au stade du fonctionnement de la filière de l'assainissement comportant un maillon valorisation-débouché.

B. Différents autres services gouvernementaux sont également impliqués :

- L'Office National de Conseil Agricole (ONCA) est chargé de l'encadrement des agriculteurs
- L'Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA) est responsable du contrôle des intrants agricoles et de la qualité des produits agricoles destinés à la consommation humaine et animale.
- Les Services de la Santé-Hygiène assurent des tâches telles que la vaccination et la surveillance épidémiologique.

← Eaux usées traitées

Acteurs impliqués dans la mise en œuvre et le fonctionnement de la filière de l'assainissement avec réutilisation des eaux usées traitées, au Maroc			
Fonctions	Acteurs	Rôle en phase <i>projet</i> (mise en œuvre)	Rôle en phase <i>fonctionnement</i>
Régulation et contrôle de l'État ^[8]	ABH (Agences du Bassin Hydraulique)	• Délivrent les autorisations de réutilisation	• Contrôlent la conformité aux normes • Vérifient le respect des conditions de réutilisation
	Ministère de l'Agriculture , de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts (MAPMDREF)	• Peut soutenir financièrement les projets • Peut participer à l'aménagement du réseau de distribution	• Suit la conformité de la qualité des eaux
	Conseils Régionaux / Provinciaux	• Peuvent apporter un appui financier ou technique aux projets	• Peuvent contribuer à la gestion territoriale (non systématisé)
Fonctions transport (réseaux) et traitement	Communes, Régies municipales, ONEE branche eau - à terme, remplacés par les Sociétés Régionales Multiservices Associations de gestion de l'eau	• Maîtrise d'ouvrage des infrastructures jusqu'au traitement secondaire • Met à disposition les terrains nécessaires	• Assure le fonctionnement de la STEP jusqu'au traitement secondaire • Peut assurer la gestion du traitement complémentaire (selon convention)
Transport et distribution des eaux usées traitées	Principalement les Régies municipales ou l'ONEE Branche Eau - à terme, remplacés par les Sociétés Régionales Multiservices AUEA (Associations d'Usagers de l'Eau Agricole)		• Acheminent les eaux usées traitées jusqu'au site d'irrigation • Gèrent les systèmes d'irrigation agricoles • Peuvent participer à la maintenance locale
Utilisateurs finaux	Agriculteurs, propriétaires privés (golfes, industries), communes (espaces verts) Propriétaires privés (golfes, industries) Communes (espaces verts)	• Prennent en charge la mise en place du réseau privé et du système d'irrigation	• Gèrent leurs installations privées • Sont censés payer pour les eaux usées traitées afin de couvrir les coûts du traitement complémentaire (le prix des eaux usées traitées est subventionné pour les usages agricoles)
Acteurs émergents	SRM (Sociétés Régionales Multiservices)	• Remplacent progressivement les communes dans leur rôle de maître d'ouvrage	• Remplacent progressivement les communes dans leur rôle de d'exploitant (régies), ainsi que l'ONEE lorsque l'exploitation lui était déléguée

Coordination entre les acteurs

Étant donné les différents acteurs gouvernementaux, déconcentrés, décentralisés et communautaires impliqués, une convention de partenariat public-public doit être établie pour formaliser les rôles et responsabilités au stade de la mise en œuvre et au stade du fonctionnement. Ces conventions impliquent une multitude d'acteurs institutionnels ainsi que leurs structures décentralisées et déconcentrées telles que les Wilayas, les Conseils Régionaux et Provinciaux, les Agences du Bassin Hydraulique (ABH), les Communes, le

Département de l'Agriculture et ses diverses entités (ONSSA, ONCA, etc.), les Régies ou l'ONEE-Branche Eau, le ministère de la Santé, les usagers (AUEAs), etc.

Cependant, les rôles et responsabilités de ces différents acteurs, bien que théoriquement définies, ne sont pas toujours clairement précisés de façon opérationnelles dans ces conventions, en particulier concernant suivi de la qualité des eaux usées traitées.

➔ Boues d'épuration

Les acteurs concernés peuvent être identifiés, mais leur rôles et responsabilités ne sont pas clairement planifiés. Les gestionnaires des systèmes de traitement produisant les boues : ONEE, régies, concessionnaires privés et communes, et prochainement les SRM.

- Département de l'Agriculture et ses structures déconcentrées (Directions Régionales Agricoles (DRAs) et Directions Provinciales de l'Agriculture (DPAs), auraient un rôle à jouer concernant les plans d'épandage.
- L'Office National de Sécurité Sanitaire des Produits Alimentaires (ONSSA) en charge d'analyser les risques sur la santé humaine et animale et de contrôle de la qualité des intrants agricoles.^[2]

POUR EN SAVOIR + :

- **Le projet TCP/SNE/3701 « déblocage du potentiel de la réutilisation des eaux usées traitées pour le développement agricole dans les pays du Maghreb », piloté par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) vise à améliorer les connaissances sur l'utilisation saine et sécurisée des eaux usées traitées pour le développement du secteur agricole dans les pays du Maghreb : Algérie, Libye, Maroc, Mauritanie et Tunisie :**

- [2] - Valorisation agricole des boues d'épuration dans les pays du Maghreb : potentialités et défis Gestion et valorisation agricole des boues d'épuration au Maroc ? Rapport national – Maroc, FAO, Soudi Brahim, El Khoumsi Wafae, 2024
- [1] - Amélioration des connaissances sur l'utilisation saine et sécurisée des eaux usées traitées pour le développement du secteur agricole dans les pays du Maghreb- Déblocage du potentiel de la réutilisation des eaux usées traitées pour le développement agricole dans les pays du Maghreb - Rapport Maroc – Maroc, version provisoire, FAO, Brahim Soudi, 2020

(les chiffres mentionnés sont issus de ces deux ressources)

- Gestion des boues générées par les STEP – ONEE - branche eau : mission 1 : diagnostic de la situation actuelle et ébauche d'une vision d'amélioration des performances- Rapport provisoire, FAO, Brahim Soudi, 2015

● **Le Programme Appui à la Gestion Intégrée des Ressources en eau (AGIRE)**, soutenu par la GIZ, en appui au Département de l'Eau du Ministère de l'Energie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement, s'est intéressé à l'assainissement dans les zones rurales au Maroc :

- [Guide d'assainissement durable en milieu rural marocain - catalogue des techniques et outils d'aide à la décision](#)
- [Guide de traitement et de valorisation agricole - Boves issues des dispositifs d'épuration en milieu rural marocain](#)
- [Guide de dimensionnement et de construction - Le réacteur anaérobie compartimenté et ses variantes \(Maroc\)](#)
- [Guide de dimensionnement, de construction et d'utilisation des sous-produits - Digesteur à dôme fixe, Digesteur parallélépipédique](#)
- [Guide de dimensionnement, de construction et de fonctionnement - Filtre planté horizontal de petite taille](#)
- Des versions vulgarisées sous la forme de bandes dessinées, ont également été réalisées, en [français](#) et en [arabe](#) :
- Mieux comprendre l'assainissement rural - choix des systèmes d'assainissement : [français](#), [arabe](#)
- Mieux comprendre l'assainissement rural- Le digesteur à dôme fixe : [français](#), [arabe](#)
- Mieux comprendre l'assainissement rural - le filtre planté : [français](#), [arabe](#)
- Mieux comprendre l'assainissement rural - Le digesteur parallélépipédique : [français](#), [arabe](#)
- Mieux comprendre l'assainissement rural - Réacteur anaérobie compartimenté : [français](#), [arabe](#)
- Mieux comprendre l'assainissement rural - toilettes de déshydratation à séparation d'urine : [français](#), [arabe](#)

● **Le projet MASSIRE (2019-juin 2024)** a visé à renforcer les capacités des acteurs des zones oasiennes et arides du Maghreb pour développer et mettre en œuvre des innovations permettant un développement durable de ces territoires.

- [L'assainissement et la réutilisation des eaux usées traitées dans le milieu oasien : un impératif et des solutions innovantes](#), MASSIRE, Ehssan El Meknassi et al., 2024

● **Le Comité Scientifique et Technique sur l'Eau Agricole (COSTEA)** piloté par Eau, Agriculture et Territoires (ex-AFEID) et soutenu par l'Agence française de développement (AFD) réunit l'expertise française et internationale dans le domaine de l'irrigation. Le COSTEA a produit plusieurs publications relatives à la réutilisation des eaux usées traitées :

- [Chantier COSTEA Reuse - Réutilisation des eaux usées en agriculture - rapport de synthèse Maroc](#), COSTEA Eau, Agriculture et Territoires (ETA), Brahim Soudi et Khaoula Zahraoui, 2022

• Autres publications

- [La réutilisation des eaux usées traitées : une réponse stratégique au stress hydrique ?](#), AFD, Mohamed Taha Laouimri, Timothée Ourbak, 2024
- [Climate risk country profile – Morocco](#), World Bank, 2021
- [Revue de littérature sur le changement climatique au Maroc : observations, projections et impacts](#), AFD, Marie-Noëlle Woillez, 2020
- [Technologie de séchage solaire des boues des stations d'épuration des eaux usées et son impact sur la gestion des boues au Maroc](#), Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 2019



La réutilisation/valorisation des produits issus de l'assainissement en Tunisie

Place de la réutilisation/valorisation dans les stratégies nationales

► Le secteur de l'assainissement liquide

Le parc des STEP tunisiennes, a été mis en place à partir des années 1990 grâce à d'importants programmes d'investissements dans le secteur.

En 2019, le parc des STEP de l'Office National de l'Assainissement (ONAS) se compose de 122 stations, dont 113 urbaines, huit rurales et une industrielle. Dans le cadre de la stratégie Eau 2050, une accélération de l'accès à l'assainissement en milieu rural est prévue.^[3]

La plupart de ces STEP ont été construites il y a entre 15 et 30 ans, voire plus de 30 ans. La non-conformité des paramètres de pollution tels que la Demande Biochimique en

Oxygène (DBO5), la Demande Chimique en Oxygène (DCO) et les Matières En Suspension (MES) est très élevée de l'ordre de 80 % sur l'ensemble du territoire tunisien. En effet, les STEP sont en situation de surcharge hydraulique et présentent des signes de vétusté. Des projets de réhabilitation sont en cours.^[4]

Le parc des stations d'épuration est principalement constitué de stations de type boues activées, avec également quelques lagunes et produit près de 300 millions de mètres cubes d'eaux usées traitées par an. Un traitement tertiaire existe dans 25 STEP, dans un objectif de réutilisation des eaux usées traitées.^[4]

POUR EN SAVOIR + :

- Sur les acteurs impliqués dans la gestion de l'eau et l'assainissement en Tunisie, consultez la [fiche pays Tunisie du pS-Eau](#).

◀ La réutilisation des eaux usées traitées : place dans les stratégies et état des lieux

La Tunisie est pionnière pour le développement de la réutilisation des eaux usées traitées, avec la mise en place d'un premier périmètre irrigué par des eaux usées traitées dès 1965. De même qu'au Maroc, **la réutilisation des eaux usées traitées s'inscrit dans le contexte d'une nécessité d'équilibrer l'offre et la demande, pour répondre aux déséquilibres déjà observés actuellement et que les projections annoncent alarmantes.**

En effet, le changement climatique, avec des épisodes de sécheresse prolongés de plus en plus fréquents, une réduction et une irrégularité des précipitations, entraîne une réduction des ressources en eaux conventionnelles en majorité d'origine souterraines et un stress hydrique croissant en Tunisie. Les ressources conventionnelles sont d'ores et déjà insuffisantes dans les régions du Centre et du Sud tunisien. L'impact du changement climatique pourrait être très important sur les ressources en eaux renouvelables. Le quota en ressources renouvelables par habitant et par an passerait d'environ 450 m³/an/hab actuellement à 370 m³/an/hab en 2030.^[5]

Actuellement, les **300 Mm³ d'eaux usées traitées produites représentent 6 % des ressources de surface et souterraines globales du pays en année moyenne, et jusqu'à 11 % en année sèche.** Cette proportion pourrait aller jusqu'à 14 % (année moyenne) et 26 % (année sèche) à l'horizon 2050, considérant une estimation d'eaux usées traitées de 640 Mm³ par an, corrélée à la baisse des ressources en eau superficielles et souterraines dues au changement climatique.^[6]

Les besoins en eau du secteur agricole sont un enjeu crucial étant donné qu'ils représentent près de 80 % des volumes consommés pour l'ensemble des usages, liés tant à l'accroissement de la population, au changement climatique, qu'aux stratégies de développement agricole du pays. Dans ce contexte, le soutien des projets touristiques et l'activité des golfs qui est vouée à s'accroître, justifient également d'envisager la mobilisation d'autres ressources que les ressources souterraines et de surface.

Ainsi, la réutilisation des eaux usées traitées occupe une place importante dans la stratégie Eau 2050 récemment établie et fait également l'objet d'une **stratégie spécifique : REUT 2050.** Les eaux usées traitées apparaissent comme une ressource en eau « non conventionnelle », pour participer à augmenter « l'offre ». Dans ce cadre, la Tunisie va jusqu'à envisager des mesures visant à limiter l'accès à l'eau conventionnelle là où les eaux usées traitées peuvent représenter une solution cohérente d'un point de vue économique et environnemental.

Parallèlement, la Stratégie de Mobilisation des Ressources en Eau, initiée en 2010, renforce l'approche de gestion par la demande. En particulier, concernant l'irrigation agricole, l'irrigation localisée par système de goutte à goutte est préconisée.

Il existe **66 stations d'épuration** où tout ou partie des eaux usées traitées sont réutilisées.^[3]

Certaines de ces stations sont équipées pour des **traitements tertiaires**, tels que les **bassins de maturation** à Djerba Aghir, le **traitement aux UV** à Kairouan 2, la **filtration sur sable** à Médenine. Cependant, ces deux derniers traitements ne sont pas fonctionnels.

Les usages sont les suivants :^[5]

Les usages des eaux usées traitées en Tunisie	
Type d'usage	Détail / Localisation
Irrigation agricole	31 périmètres agricoles irrigués par des eaux usées traitées représentant environ 7500 hectares
Arrosage des golfs	8 stations d'épuration alimentent 10 golfs existants 17 nouveaux golfs à irriguer par des eaux usées traitées prévus d'ici 2050
Espaces verts artificiels	Au niveau des stations d'épuration Zones touristiques et hôtels Espaces verts de l'aéroport de Tunis
Recharge des nappes	Korba (Nabeul), Boumerdès, Mahdia-Ksour Essef (Mahdia), El Hajeb - Sidi Abid - Agareb (Sfax), Oued Es-Smar (Médenine)
Usage industriel (phosphates)	Projets en cours à Gabès et Gafsa

La réutilisation des eaux usées traitées produites par les petites STEP (50 à 3 000 équivalents habitant) n'est pas considérée comme représentant un enjeu national, car le potentiel de surface irrigable est très faible.

La stratégie REUT 2050 préconise d'en estimer l'intérêt au regard des coûts investissements et d'exploitation associés aux traitements supplémentaires nécessaires, et des opportunités d'usages locaux.

◀ **La réutilisation des boues d'épuration : place dans les stratégies et état des lieux**

L'ONAS a élaboré des **plans directeurs régionaux de gestion des boues** de station d'épuration en 2015 pour les régions Nord, Centre, Sud et Grand Tunis. Ces plans incluent l'évaluation de la production de boues à l'horizon 2035, les différentes filières de valorisation possibles, des scénarios pour chaque station d'épuration, ainsi qu'un plan d'action et d'investissement.

Des **projets démonstratifs** sont également en cours pour permettre aux agriculteurs de maî-

triser les nouvelles techniques d'épandage des boues et évaluer leur rentabilité. En attendant, les boues sont stockées dans les stations d'épuration et leurs abords dans des conditions difficiles jusqu'à la réalisation des installations de séchage et de stockage initiées par l'ONAS.

La Tunisie explore également l'usage du biogaz pour produire de l'électricité et de la chaleur nécessaires aux processus d'assainissement.

◀ **La réutilisation boues de vidange : place dans les stratégies et état des lieux**

L'assainissement individuel est peu investi dans la stratégie nationale. Les opportunités de réutilisation des produits issus de ce type

de systèmes ne sont donc pas identifiées et prises en compte dans les stratégies.

Réglementations nationales - Quelle gestion du risque sanitaire ?

➤ Usage des eaux usées traitées

La réglementation tunisienne encadre plus particulièrement les usages agricoles et repose sur les principes suivants :

Les usages des eaux usées traitées en Tunisie ^[C]	
Conditionnement des usages, à la qualité des produits sortant du système de traitement	21 cultures autorisées selon 5 catégories : • Cultures industrielles : coton, tabac, lin, jojoba, ricin, carthame • Cultures fourragères : bersim, maïs, sorgho, vesce • Arbres fruitiers et forestiers : dattiers, agrumes, vignes • Arbustes fourragers : acacia, atriplex • Arbres forestiers • Plantes florales : rosier, iris, jasmin, marjolaine, romarin Œufs d'helminthes : ≤ 1 (moyenne arithmétique par litre) Coliformes fécaux : pas de limite spécifique
Restrictions sur les modalités d'usage	• Interdiction d'irrigation 2 semaines avant récolte • Interdiction de pâturage direct • Obligation de stocker les fourrages avant consommation • Interdiction de consommer/vendre les fruits tombés au sol • Interdiction de l'aspersion pour les arbres fruitiers • Mesures d'hygiène strictes : sensibilisation, examens médicaux, équipements spécifiques, vaccination obligatoire • Distances minimales avec zones habitées ou fréquentées et ressources en eau
Restriction des usages	Cultures maraîchères destinées à l'alimentation Pâturage direct

C. La liste des lois, décrets et arrêtés est particulièrement fournie :

- La loi n° 75-16 du 31 mars 1975 du Code des Eaux interdit l'utilisation des eaux usées brutes et l'irrigation des cultures consommables crues par les eaux usées traitées.
- La norme NT 106.03, en cours de révision, fixe les seuils de qualité de l'eau requis pour la réutilisation agricole.
- L'arrêté conjoint du 29 décembre 2006 et le décret n°2007-13 régissent respectivement les conditions d'utilisation des boues provenant des stations d'épuration dans l'agriculture et les modalités de leur gestion.
- Le décret n°89-1047, modifié par le décret n°93-2447, établit les obligations de fréquence des analyses des eaux usées épurées à des fins agricoles.
- Un arrêté de juin 1994 a défini la liste des cultures pouvant être irriguées par les eaux usées traitées. Cahier des charges approuvé par arrêté conjoint des ministres de l'agriculture, de l'environnement et de la santé en septembre 1995, impose des conditions sur les modes d'usage.

➤ Usage des boues d'épuration

Les boues issues des stations d'épuration peuvent être considérées comme des déchets selon la loi n°41-96 relative aux déchets et à leur gestion.

La réglementation tunisienne repose sur les principes suivants :

Approche de la réglementation Tunisienne relative à la valorisation des boues ^[D]	
Restrictions des usages	Autorisés : Agriculture (hors cultures maraîchères consommées crues) Foresterie Revégétalisation de sols dégradés Interdits : Cultures maraîchères consommées crues Pâturage direct sur zones épandues
Caractéristiques des boues	• Valeur agronomique des boues (matière organique, azote, phosphore, etc.) • Éléments Trace Métalliques • Éléments pathogènes • Suivi : tous les 2 ans (systèmes intensifs), tous les 5 ans (systèmes extensifs)
Traitements requis	• Obligation de traitement préalable • Utilisation des boues liquides et non hygiénisées interdite
Caractéristiques des sols	• Caractérisation initiale du sol -> aptitude du sol à l'épandage • Suivi : tous les 2 ans (systèmes intensifs), tous les 5 ans (systèmes extensifs)
Modalités d'usage	• Rotation des parcelles, pentes limitées, zones sensibles (captages...), délais avant récolte • Interdiction de certaines périodes et cultures • Traçabilité, gestion des quantités et de la fréquence d'épandage

- D. Le cadre réglementaire pour la valorisation de ces boues dans le domaine agricole est défini par plusieurs textes clés. Cependant, les formulations relatives à la gestion pratique demeurent assez générales, laissant une marge d'interprétation importante pour leur mise en œuvre effective.
- La norme tunisienne NT 106.20 de décembre 2002 : « Matières fertilisantes - Boues des ouvrages de traitement des eaux usées urbaines ».
 - L'arrêté conjoint du ministre de l'Agriculture et des Ressources Hydrauliques et du ministre de l'Environnement et du Développement Durable du 29/12/2006, approuvant le cahier de charges fixant les conditions d'utilisation des boues de stations d'épuration dans le domaine agricole et les modalités de gestion par l'exploitant agricole.
 - Le décret n°2007-13 du 3 janvier 2007, qui établit les conditions et modalités de gestion des boues provenant des stations d'épuration des eaux usées en vue de leur utilisation agricole.
 - L'élaboration en 2015 de Plans directeurs régionaux de gestion des boues de station d'épuration.
 - Le cahier des charges de 2006 et le décret de 2007 complètent et élargissent les dispositions de la norme NT 106.20.

Quels modèles de fonctionnement et de financement prévus ?

Un cadre global définit la répartition des rôles et des responsabilités entre les différents acteurs gouvernementaux, déconcentrés décentralisés et communautaires, au stade de la mise en œuvre des projets et au stade du fonctionnement de la filière de l'assainissement comportant un maillon valorisa-

tion-débouché. Ce cadre est plus particulièrement défini pour les usages agricoles.

Pour la réutilisation des boues d'épuration et boues de vidange, la chaîne d'acteurs mobilisés pour assurer le fonctionnement du maillon valorisation-débouché est moins clairement identifiée.

◀ Treated wastewater

Les principaux acteurs impliqués dans la filière de l'assainissement et en particulier le maillon réutilisation, sont les suivants :

Acteurs impliqués dans la mise en œuvre et le fonctionnement de la filière de l'assainissement avec réutilisation des eaux usées traitées, en Tunisie			
Fonctions	Acteurs	Rôle en phase <i>projet</i>	Rôle en phase <i>fonctionnement</i>
Régulation et contrôle de l'État ^[6]	ANPE (Agence Nationale de Protection de l'Environnement)	- Valide les études d'impact environnemental (STEP et périmètres) - Donne un avis préalable au MARHP pour autorisation	- Assure le suivi environnemental (milieux, produits agricoles) - Peut constater les infractions environnementales
	DHME (Direction Hygiène et Environnement – Ministère de la Santé)	Consultée sur les aspects sanitaires lors de la validation des projets	- Effectue le contrôle sanitaire des eaux usées traitées - Suit la qualité des produits agricoles
	MARHP (Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche)	Délivre l'autorisation d'usage agricole après validation ANPE	Supervise les CRDA et la stratégie nationale de réutilisation
Transport jusqu'au site de traitement Gestion du système de traitement	ONAS (Office National de l'Assainissement)	- Met en place les infrastructures de traitement (eaux + boues) - Dimensionne les traitements selon l'usage prévu	- Assure l'exploitation et maintenance des STEP - Gère les traitements secondaires et tertiaires
Transport & stockage des eaux usées traitées	CRDA (Commissariats Régionaux au Développement Agricole)	- Planifient et réalisent les périmètres irrigués à partir des eaux usées traitées - Créent les GDA sous leur tutelle	- Gèrent les systèmes de distribution des eaux usées traitées - Assurent le relevage et le stockage des eaux (selon la saison) - Surveillent la qualité de l'eau distribuée

Fonctions	Acteurs	Rôle en phase <i>projet</i>	Rôle en phase <i>fonctionnement</i>
Transport & stockage des eaux usées traitées	GDA (Groupements de Développement Agricole)	• Peuvent être impliqués dans la conception de projets	• Gèrent une partie du réseau secondaire de distribution • Organisent les tours d'eau, collectent théoriquement les redevances Rencontrent des difficultés de viabilité (car les eaux usées traitées sont souvent gratuites)
Utilisateurs finaux	Agriculteurs, propriétaires privés (golfs, industries), municipalités	• Peuvent participer à la définition des besoins dans certains projets	• Installent et gèrent leurs réseaux privés d'irrigation • Utilisent les eaux usées traitées pour irrigation, lavage, arrosage d'espaces verts

- E. Différents autres services gouvernementaux sont également impliqués :
- La Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE) s'occupe de la connaissance et de l'évaluation de la ressource en eau, ainsi que du développement et de la coordination des sites de recharge des nappes par les eaux usées traitées.
 - La Direction Générale de l'Aménagement et de la Conservation des Terres Agricoles (DGACTA) assure le contrôle et le suivi de la qualité des sols irrigués par les eaux usées traitées.
 - La Direction Générale de la Protection et du Contrôle de la Qualité des Produits Agricoles (DGPCQPA) veille à la protection et au contrôle de la qualité des produits agricoles issus de l'irrigation par les eaux usées traitées.
 - La Direction Générale de la Production Agricole (DGPA) supervise la valorisation des boues d'épuration en agriculture, notamment à travers des projets pilotes tels que le VBRDA (Valorisation des Boues Résiduaires Dans l'Agriculture).

Coordination entre les acteurs

Des comités nationaux et régionaux ont été établis pour superviser l'utilisation des eaux usées traitées à l'échelle nationale et régionale. La coordination vise à impliquer l'ensemble des parties prenantes, au-delà du secteur agricole exclusivement.

Pour chaque projet, une convention est mise en place pour définir les engagements et les responsabilités lors des phases de projet et de fonctionnement.

Implication des usagers

Des mécanismes de concertation et d'implication des usagers sont instaurés notamment à travers la Cellule territoriale de vulgarisation, une composante du CRDA chargée d'encadrer et d'informer les agriculteurs via des actions planifiées au niveau central ou des programmes spécifiques. L'Agence de la

Vulgarisation et de la Formation Agricole (AVFA) et ses représentants régionaux (Service de Vulgarisation Territoriale, CTV) sont responsables de diffuser les bonnes pratiques de réutilisation de l'eau en irrigation et de fournir des services de vulgarisation aux utilisateurs finaux.

POUR EN SAVOIR + :

- **Élaboration du Plan Directeur National de Réutilisation des Eaux Usées Traitées en Tunisie** – « WATER REUSE 2050 », Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche, AFD :

[3] - Phase 1 : Diagnostic de la filière et élaboration des orientations de base, 2020

[6] - Phase 2 – Prospective de la filière à l'horizon 2050, 2022

- **Le projet TCP/SNE/3701 « déblocage du potentiel de la réutilisation des eaux usées traitées pour le développement agricole dans les pays du maghreb », piloté par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)** vise à améliorer les connaissances sur l'utilisation saine et sécurisée des eaux usées traitées pour le développement du secteur agricole dans les pays du maghreb: Algérie, Libye, Maroc, Mauritanie et Tunisie :

[4] - Réutilisation des eaux usées traitées en agriculture, analyse de l'état des lieux et perspectives- cas de la Tunisie, FAO, 2021

- **Le Comité Scientifique et Technique sur l'Eau Agricole (COSTEA)** piloté par Eau, Agriculture et Territoires (ex-AFEID) et soutenu par l'Agence française de développement (AFD) réunit l'expertise française et internationale dans le domaine de l'irrigation. Le COSTEA a produit plusieurs publications relatives à la réutilisation des eaux usées traitées :

[5] - Chantier COSTEA « REUSE - Réutilisation des eaux usées en agriculture » - rapport de synthèse Tunisie, COSTEA, 2022

- **Autres ressources**

- Guide à la décision pour la mise en œuvre d'un projet REUT - Réutilisation d'Eaux Usées Traitées, BRL, 2022

- Mission d'aide technique aux opérateurs de réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie, IME, 2022

- Accompagnement de projets pilotes tunisiens en réutilisation des eaux usées traitées, IME, ONA, 2020

- Rapport national du secteur de l'eau année 2022, République Tunisienne ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche



La réutilisation/valorisation des produits issus de l'assainissement en Palestine

Place de la réutilisation/valorisation dans les stratégies nationales

► Le secteur de l'assainissement liquide en Palestine

La Cisjordanie et Gaza comptent une vingtaine de Stations d'Épuration des Eaux Usées (STEP) générant un volume annuel de 48 millions de mètres cubes d'eaux usées traitées. L'assainissement reste encore à développer puisque seuls 54 % des ménages sont raccordés aux réseaux d'égout et qu'uniquement 35 % des eaux usées sont traitées. En effet, certains gestionnaires de services d'eau et d'assainissement disposent de réseau de collecte sans qu'un maillon aval ne soit encore mis en place.

La plupart des STEP cisjordanienues ont atteint une efficacité élevée (supérieure à 95 %) de réduction de la DBO, de la DCO et des MES. À Gaza, cependant, les difficul-

tés d'approvisionnement énergétique et le sous-dimensionnement des installations rendent difficile l'atteinte de telles performances. Depuis la guerre débutée en octobre 2023, la quasi-totalité des stations d'épuration de Gaza ont été détruites.

Le recouvrement des coûts nécessaires au fonctionnement des STEP est un challenge pour les gestionnaires qui n'ont pas encore généralisé la mise en place d'une tarification du service d'assainissement assise sur la facturation du service d'eau. Une enquête menée en 2020 a révélé que 34 % des gestionnaires de services couvrent totalement leurs coûts, tandis que 50 % ne couvrent qu'une partie (20-60 %) des coûts.^[7]

POUR EN SAVOIR + :

- Sur les acteurs impliqués dans la gestion de l'eau et l'assainissement en Palestine, consultez la [fiche pays Palestine du pS-Eau](#)

► La réutilisation des eaux usées traitées en Palestine : stratégies et état des lieux

La stratégie nationale de l'eau de 2013 envisageait une augmentation progressive de la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation, passant de 4,2 millions de mètres

cubes en 2017 à 31,7 millions en 2022, puis à 58,5 millions en 2027, et enfin à 93 millions en 2032.^[8]

Conserver et utiliser les eaux usées sur le territoire - Cisjordanie

La question des eaux usées transfrontalières est un sujet très prégnant en Palestine. Entre six et sept wadis sont frontaliers d'Israël. Il s'y écoule une grande partie des eaux usées palestiniennes ; estimées à 15 millions de mètres cubes par an^[9], elles traversent la ligne verte. Ces eaux usées sont généralement traitées par des stations d'épuration

transfrontalières israéliennes parfois dédiées. Bien que l'eau soit utilisée principalement par les agriculteurs israéliens, le coût de l'exploitation, de la maintenance et des investissements réalisés pour le traitement de ces eaux usées, est facturé par Israël à l'Autorité Palestinienne. Ce montant s'élève à 34 millions d'euros en 2023.^[9]

Mobilisation de nouvelles ressources en eau « non conventionnelles »

En Cisjordanie, la disponibilité et l'accessibilité des ressources en eau sont entravées par l'occupation israélienne. En effet, les accords d'Oslo régissent le partage entre Israël et la Palestine des droits d'exploitation des trois aquifères de Cisjordanie. De plus, à Gaza, la qualité de l'aquifère peu profond se détériore de façon alarmante, par l'infiltration croissante d'eau de mer du fait de sa surexploitation, et à cause de pollutions d'origine agricole (pesticides, engrais) et industrielle. L'infiltration d'eaux usées partiellement traitées

contribue également à cette dégradation. La guerre actuelle a également un impact certain sur la qualité des eaux souterraines qui ne pourra être mesuré qu'à l'issue du conflit.

Dans ce contexte, les eaux usées traitées sont considérées dans les stratégies sectorielles palestiniennes comme une alternative à l'irrigation par les eaux souterraines. Cela permet d'économiser ces dernières pour les besoins domestiques.

Promouvoir le développement agricole, en particulier en zone C ^[F]

Les eaux usées traitées sont perçues également comme une ressource supplémentaire qu'il est essentiel de mobiliser, en particulier pour soutenir les besoins actuels et prospectifs du secteur agricole. Les stratégies de développement d'une agriculture irriguée en zone C, s'appuyant sur la mobilisation des eaux usées traitées, s'inscrit dans le cadre de la lutte contre l'occupation.

La réutilisation des eaux usées traitées ne s'inscrit pas dans une stratégie d'équilibrage de l'offre et la demande, comme c'est le cas au Maroc et en Tunisie, mais plutôt dans une démarche volontariste de développement de l'usage de cette ressource afin de la conserver sur le territoire cisjordanien. Cela s'accompagne d'une stratégie pour susciter la demande, y compris dans des territoires où l'agriculture se pratique traditionnellement de façon non irriguée.

Le programme WaDIS

Portée par une communauté de donateurs européens comprenant l'UE, KfW/BMZ (Allemagne), AFD (France), NRO (Pays-Bas), ADA (Autriche) et AECID (Espagne), la Team Europe TEI permettra d'exercer un fort effet de levier politique, institutionnel et financier pour améliorer le secteur WASH en Cisjordanie et dans la bande de Gaza. Le programme WaDIS constitue le volet de la TEI relatif au renforcement des capacités et stratégies institutionnelles et cible plus particulièrement l'assainissement et la réutilisation des eaux usées traitées.

Dans ce cadre, le bureau d'études Hydroconseil est missionné par l'Agence Française de Développement pour réaliser un audit du secteur et définir l'appui nécessaire aux institutions centralisées et décentralisées palestiniennes, en vue d'un renforcement des stratégies,

une révision des réglementations, et de leur opérationnalisation. Un des objectifs finaux est de déployer davantage la réutilisation des eaux usées, de façon maîtrisée et cohérente. La gestion des boues est également visée. Le travail doit s'achever mi-2025.

Après la collecte et l'analyse de schémas directeurs et documents projets existants aux échelles locales, de la réglementation et des stratégies nationales, le programme prévoit la réalisation d'études stratégiques, la revue et l'amendement des réglementations pour une meilleure adaptation au contexte (par exemple, la gestion des boues, les normes de qualité de l'eau pour la réutilisation, la gestion des eaux usées industrielles...). Le programme permettra de définir une feuille de route palestinienne pour le déploiement de projets de réutilisation.

F. Zones où le développement est contraint par l'occupation, voir fiche pays Palestine, pS-Eau, 2020

La réutilisation des boues en Palestine : stratégies et état des lieux

La réutilisation des boues d'épuration et de vidange n'est pas prise en considération dans les stratégies sectorielles palestiniennes.

Réglementations nationales - Quelle gestion du risque sanitaire ?

Usage des eaux usées traitées

Approches de la réglementation palestinienne relative à la réutilisation des eaux usées traitées ^G	
Conditionnement des usages, à la qualité des produits sortant du système de traitement	Catégorie A : Arbres fruitiers, fourrages consommés directement crus (par exemple : luzerne, herbe fraîche, maïs fourrager), espaces verts accessibles au public • CÉufs d'helminthes : ≤ 1 (moyenne arithmétique par litre) • Coliformes fécaux ≤ 200 UFC / 100 ml (eau classe A) Catégorie B : Cultures non consommées crues, arbres fruitiers, espaces verts non accessibles au public • CÉufs d'helminthes : ≤ 1 (moyenne arithmétique par litre) • Coliformes fécaux ≤ 1 000 UFC / 100 ml (autres classes) Catégorie C : Cultures industrielles, reboisement, fourrages consommés après séchage • CÉufs d'helminthes : ≤ 1 (moyenne arithmétique par litre) • Coliformes fécaux ≤ 10 000 UFC / 100 ml (autres classes) Catégorie D : Peu encadrée
Restrictions sur les modalités d'usage	• Mode d'irrigation : Irrigation localisée privilégiée, aspersion autorisée à ≥ 50 m des habitations • Méthodes de récolte : Séchage des cultures fourragères avant récolte, interdiction de ramasser les fruits tombés au sol, arrêt de l'irrigation au moins 1 semaine avant la récolte • Mesures d'hygiène : Port de gants, signalisation des réseaux d'eaux usées traitées , vaccination obligatoire des utilisateurs
Restriction des usages	Cultures maraichères interdites

G. Les principaux textes réglementaires et normatifs sont les suivants :

- Normes établies par le Palestinian Standards Institution (PSI) : Norme PSI TR 34 (2012), Norme PSI 742 (2015)
- Guidelines for Using Reclaimed Wastewater in Agriculture (2010)

◀ Usage des boues d'épuration

La Palestinian Environment Quality Authority établit les normes concernant l'utilisation des boues d'épuration, mais jusqu'à présent, aucune stratégie spécifique de gestion des boues d'épuration n'a été identifiée.

Cependant, il existe un cadre réglementaire pour la valorisation agricole de ces boues.

Des guides de recommandations du Palestinian Standards Institute définissent des limites acceptables pour les métaux lourds dans les boues (standard 59/2015).

L'épandage des boues d'épuration en tant qu'amendement agricole est restreint aux cultures céréalières qui seront séchées avant leur consommation, ainsi qu'aux arbres fruitiers.

Quels modèles de fonctionnement et de financement prévus ?

Un cadre global définit, pour différents usages des eaux usées traitées, la répartition des rôles et des responsabilités entre les différents acteurs gouvernementaux, déconcentrés, décentralisés et communautaires, au stade de la mise en œuvre des projets et au stade du fonctionnement de la filière de l'assainissement comportant un maillon valorisation-débouché.

◀ Usage des eaux usées traitées

Acteurs impliqués dans la mise en œuvre et le fonctionnement de la filière de l'assainissement avec réutilisation des eaux usées traitées, en Palestine			
Fonctions	Acteurs	Rôle en phase <i>projet</i> (mise en œuvre)	Rôle en phase <i>fonctionnement</i>
Régulation et contrôle de l'État ^[1]	Palestinian Water Authority (PWA / APE)	• Approbation de la création des Associations d'Usagers de l'Eau (AUE) • Pilote la stratégie sectorielle de réutilisation	• Surveille les installations de traitement • Participe au contrôle qualité des eaux usées traitées
	Ministère de l'Agriculture	• Délivre les licences de création des AUE • Approuve les semences et périmètres d'irrigation	• Encadre les AUE • Participe à la surveillance de la qualité de l'eau
Transport (réseaux) et gestion du système de traitement	Opérateurs décentralisés des services d'assainissement	• Mise en œuvre des traitements tertiaires, bien que ce rôle soit en discussion dans la stratégie sectorielle	• Fonctionnement des STEP, y compris les unités de traitement tertiaire

Fonctions	Acteurs	Rôle en phase <i>projet</i> (mise en œuvre)	Rôle en phase <i>fonctionnement</i>
Transport et distribution des eaux usées traitées	AUE (Associations d'Usagers de l'Eau)	• Mise en œuvre du réseau d'irrigation local sur les périmètres	• Gestion du système de distribution des eaux usées traitées pour les parcelles agricoles
Utilisateurs finaux	Agriculteurs	• Créent des AUE pour accéder à la ressource • Adaptent leurs cultures et techniques (ex. fourrage) avec appui institutionnel	• Utilisent les eaux usées traitées, assurent la maintenance du réseau de distribution privé • Se forment à de nouvelles pratiques agricoles

H. Différents autres services gouvernementaux sont également impliqués :

- Ministère de la Santé : Ministère de la Santé
- Environmental Quality Authority (EQA) : Contrôle environnemental des installations de traitement et du milieu récepteur

Les acteurs de l'Aide Publique au Développement (bailleurs internationaux, coopération décentralisée) peuvent intervenir en soutien technique et financier à la mise en œuvre des projets de réutilisation et en appui au suivi, renforcement de capacités et maintenance.

◀ **Usage des boues d'épuration**

La réutilisation des boues d'épuration et boues de vidange ne fait pas l'objet de stratégie forte et incitative. La chaîne d'acteurs mobilisés pour assurer le fonctionnement du maillon valorisation-débouché est moins clairement identifiée.

POUR EN SAVOIR + :

- **Le Comité Scientifique et Technique sur l'Eau Agricole (COSTEA)** piloté par Eau, Agriculture et Territoires (ex-AFEID) et soutenu par l'Agence française de développement (AFD) réunit l'expertise française et internationale dans le domaine de l'irrigation. Le COSTEA a produit plusieurs publications relatives à la réutilisation des eaux usées traitées :

- [7] - Chantier COSTEA "REUSE" - Réutilisation des eaux usées en agriculture - rapport de synthèse Palestine, COSTEA , 2022
- [8] - National Water and Wastewater Policy and Strategy for Palestine, Palestinian Water Authority, Juillet 2013
- **Autres ressources**
 - Quelle gouvernance des eaux pour quelle construction étatique dans les territoires palestiniens?, Thèse, Jeanne Perrier, 2020
 - Palestinian water laws: Between centralization, decentralization, and rivalries, AFD, Jeanne Perrier, 2020
 - Water reuse in the Middle East and North Africa, a sourcebook, Javier Mateo-Sagasta et al., IWMI, 2022
 - Site du WSRC: <https://www.wsrc.ps/portal/en>
- [9] - Compte rendu de la rencontre du réseau Palestine du pS-Eau, février 2022



La valorisation des produits issus des systèmes d'assainissement au Liban

Place de la réutilisation/valorisation dans les stratégies nationales

◀ Le secteur de l'assainissement liquide au Liban

Plusieurs stations d'épuration centralisées ont été construites ces dernières décennies avec le soutien de l'aide internationale et le CDR (Conseil du Développement et de la Reconstruction), recourant généralement à la technologie des boues activées.

Cependant, peu de ces STEP sont fonctionnelles, tandis que de nombreux réseaux de collecte permettant d'y acheminer les effluents n'ont jamais été mis en œuvre.

Ainsi, il est estimé que moins de 10 % des eaux usées sont aujourd'hui traitées et 60 % seulement des usagers sont raccordés à un réseau d'assainissement.^[10] Une récente étude menée par l'UNICEF intitulée « Vulnerability assessment : evaluate the potentiel of solarization » estime qu'aujourd'hui, 1,5 millions de personnes rejettent leurs eaux usées

dans l'environnement sans traitement, parmi lesquelles 700 000 directement dans un cours d'eau. Cet accès insuffisant au service d'assainissement est également marqué par de fortes inégalités territoriales. En outre, sur la bande côtière urbaine, le taux de raccordement à un réseau collectif s'élève à 90 %, les zones montagneuses et rurales enregistrent des taux extrêmement faibles d'accès au service. Le Liban reste en-dessous de la moyenne régionale de traitement des eaux usées estimée à 46 % pour le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord.

Des projets de stations d'épuration centralisées sont en standby depuis de nombreuses années, conduisant certaines municipalités à envisager des solutions décentralisées en lien avec des bailleurs internationaux et des partenariats de coopération décentralisée.

POUR EN SAVOIR + :

- Pour en savoir plus sur les acteurs impliqués dans la gestion de l'eau et l'assainissement au Liban, consultez la fiche pays Liban du pS-Eau : [français](#), [anglais](#), [arabe](#)

◀ La réutilisation des eaux usées traitées : place dans les stratégies et état des lieux

Le Liban est l'un des pays les moins soumis à une problématique de raréfaction des ressources en eau au Moyen-Orient, pourtant, le niveau de stress hydrique est relativement élevé, et cela devrait s'accroître dans les années à venir. La répartition déséquilibrée des ressources disponibles à travers le pays, les impacts actuels et prévus du changement climatique sur la disponibilité en eau et l'absence de systèmes d'approvisionnement efficaces rendent la gestion des ressources en eau très difficile. La balance hydrologique du pays (écart entre les besoins et les ressources renouvelables) pourrait atteindre un déficit de 1,7 Md de m³ par an à l'horizon 2040, contre environ 300 Mm³ aujourd'hui.

L'agriculture représente la principale pression anthropique sur les ressources en eau, avec une projection de plus de 53% de la demande annuelle attribuée à ce secteur en 2035. Ainsi, la stratégie nationale du secteur de l'eau, publiée par le ministère de l'Énergie et de l'Eau (MoEW) en juin 2024, met en avant la réutilisation des eaux usées traitées comme l'une des principales ressources non conventionnelles à développer, en particulier pour l'irrigation agricole.^[10]

En outre, il est important de préciser que des réutilisations informelles des eaux usées sont déjà pratiquées dans tout le pays. De nombreuses STEP se trouvent dans des régions agricoles soumises à un stress hydrique et les

agriculteurs vivant à proximité de ces usines exploitent déjà les effluents (en particulier dans la Bekaa). Ces eaux usées ne sont souvent que partiellement traitées et leur qualité est souvent peu suivie et contrôlée, situation

qui présente des risques sanitaires. Le risque est d'autant plus important dans le contexte de l'épidémie de choléra qu'a subi le Liban entre novembre 2022 et février 2023.

Le projet ReWater MENA, vers une réutilisation des eaux usées traitées mieux réglementée et plus répandue

Entre 2018 et 2021, l'International Water Management Institute (IWMI) a porté un projet visant à analyser le potentiel et les freins à la réutilisation des eaux usées traitées au Moyen-Orient et en Afrique du Nord (MENA), financé par la Swedish International Cooperation Agency (SIDA).

Dans ce cadre, il a été estimé le « potentiel REUT » au Liban, en corrélant les capacités de chaque station d'épuration existante et prévue sur le territoire libanais, avec des estimations des surfaces agricoles irrigables à proximité. L'étude a révélé que 48 stations auraient un potentiel de réutilisation intéressant (à la date de réalisation de l'étude, en 2020). En projetant une situation où les stations d'épuration existantes seraient pleinement fonctionnelles et exploitées à pleine capacité, ce potentiel de réutilisation justifierait l'intérêt d'équiper

jusqu'à 82 stations. Cette projection s'avère toutefois à présent optimiste, compte tenu des crises financières et des bombardements qu'a connu le Liban depuis 2020.

Les stations d'épuration de Zahlé et Ablah ont été ciblées pour mener des études de pré-faisabilité afin d'envisager la mise en place (Zahlé) ou la remise en service (Ablah) d'un système de réutilisation des eaux usées traitées. Outre les aspects techniques, ces études ont montré la grande importance de la dimension sociale d'un projet de réutilisation des eaux usées traitées. Les besoins et dynamiques des différents groupes potentiellement usagers du futur système ont été analysés avec soin et des ateliers participatifs ont été animés afin d'examiner collectivement différents scénarios directement avec les bénéficiaires.

POUR EN SAVOIR + :

- Sur les projets expérimentaux de réutilisation des eaux usées au Liban, consulter la note de synthèse : [la réutilisation des eaux usées traitées au Liban, par la Lebanese Water Actor Platform](#).

► La réutilisation des boues d'épuration et de vidange : place dans les stratégies et état des lieux

Dans la Stratégie Nationale du Secteur de l'Eau actualisée, la gestion des boues apparaît comme une problématique importante et l'utilisation des boues pour l'agriculture est préconisée, sans toutefois plus de précisions sur les possibilités opérationnelles.

Il n'existe pas à ce jour de station d'épuration pour laquelle une filière complète de gestion des boues est effective, c'est-à-dire dotée de procédés de traitements, d'une organisation pour l'évacuation des boues et

d'une destination finale identifiée, que ce soit au niveau d'une décharge que pour une valorisation. Les boues sont évacuées et déversées dans la mer ou dans l'environnement sans contrôle, ce qui présente des risques sanitaires et environnementaux.

Des projets pilotes ont récemment été menés ou sont en cours pour explorer différentes possibilités de valorisation des boues. Toutefois, aucun de ces projets n'a donné lieu à l'instauration d'une filière de valorisation pérenne.

POUR EN SAVOIR + :

- Sur les projets expérimentaux de valorisation des boues au Liban, consulter la note de synthèse : [la gestion des boues d'épuration au Liban, par la Lebanese Water Actor Platform](#).

Réglementations nationales - Quelle gestion du risque sanitaire ?

La norme libanaise NL 819:2024, intitulée « Réutilisation des eaux usées traitées en irrigation », a été élaborée par le LIBNOR. La norme a été développée avec la participation de divers acteurs, notamment des institutions publiques, des universités et des experts du secteur privé. Le projet ReWater MENA, dirigé par l'IWMI, a joué un rôle clé en fournissant des données scientifiques et des essais sur le terrain pour informer l'élaboration de la norme.

Approches de la réglementation libanaise pour la réutilisation des eaux usées traitées	
Conditionner les usages, à la qualité des produits sortant du système de traitement Caractéristiques imposées aux eaux usées traitées	Classe I : Cultures consommées crues, légumes, fruits, herbes aromatiques, espaces verts publics et jardins - Coliformes fécaux : ≤ 100 UFC/100 ml - CEufs d'helminthes : ≤ 1 œuf/L Catégorie II : Cultures alimentaires transformées, fruits pelés avant consommation, fruits consommés sans être pelés (l'irrigation par aspersion n'est pas autorisée), tubercules et racines consommés cuits, plantes médicinales consommées crues, séchées au soleil ou transformées en épices, cultures destinées à l'alimentation des animaux producteurs de lait ou de viande, jardins et espaces publics avec une exposition limitée au public. - Coliformes fécaux : $\leq 1\,000$ UFC/100 ml - CEufs d'helminthes : ≤ 1 œuf/L Catégorie III : Cultures industrielles (coton, lin), boisements, cultures énergétiques, céréales non destinées à la consommation humaine - Coliformes fécaux : $\leq 10\,000$ UFC/100 ml - CEufs d'helminthes : ≤ 1 œuf/L La désinfection obligatoire pour les eaux de classe I, fortement recommandée pour les eaux de classe II (chloration, UV, ozonation)
Restriction sur les cultures et les modes d'irrigation	Les cultures souterraines ne sont autorisées avec aucune classe d'effluents. Seuls les légumes dont la partie comestible pousse au-dessus du sol et n'est pas en contact direct avec l'eau recyclée peuvent être cultivés avec des effluents de classe I, et uniquement en utilisant des méthodes d'irrigation goutte-à-goutte en surface ou souterraine (subdrip). Les fruits consommés sans être pelés ne peuvent pas être cultivés en utilisant une irrigation par aspersion avec un effluent traité de classe II. Dans le cas où l'irrigation par aspersion est adoptée, seuls les arroseurs escamotables à basse pression et à débit élevé, fonctionnant à un angle inférieur à 11 degrés, sont autorisés. Cette disposition concerne les classes I et II. En complément, la norme fournit des recommandations basées sur l'approche multi barrières de l'OMS concernant les mesures de contrôle et les exigences visant à protéger la santé des agriculteurs, des opérateurs et des consommateurs. Cette approche est également soulignée par l'exigence, pour les projets de réutilisation, d'élaborer un plan de gestion des risques sanitaires.
Approche multi barrières	En complément, la norme fournit des recommandations basées sur l'approche multi barrières de l'OMS concernant les mesures de contrôle et les exigences visant à protéger la santé des agriculteurs, des opérateurs et des consommateurs. Cette approche est également soulignée par l'exigence, pour les projets de réutilisation, d'élaborer un plan de gestion des risques sanitaires.

Organisation institutionnelle - Quels modèles de fonctionnement et de financement prévus ?

Bien qu'elle soit peu développée, la réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole occupe une place importante dans les stratégies sectorielles, amenant à préfigurer le rôle que les différents acteurs gouvernementaux, déconcentrés et décentralisés auraient à jouer. Ce cadrage théorique n'est en revanche pas développé concernant la réutilisation des boues et matières de vidange.

Concernant le système de traitement tertiaire éventuellement nécessaire, les Etablissements des Eaux en sont responsables, en tant qu'autorités en charge de la maîtrise d'ouvrage et de l'exploitation (qui peut être déléguée) des infrastructures d'eau et d'assainissement. Bien que la réutilisation des eaux usées traitées soit peu développée, certaines stations d'épuration sont d'ores et déjà équipées d'un traitement tertiaire qui est toutefois rarement fonctionnel.

Malgré les difficultés rencontrées par les Etablissements des Eaux pour assurer la gestion des services d'eau et d'assainissement domestiques, le code de l'eau libanais prévoit qu'ils soient également responsables de la gestion des systèmes d'irrigation en cas de réutilisation agricole des eaux usées.

Par ailleurs, le code de l'eau reconnaît également l'existence d'associations d'irrigants. Actuellement, il existe déjà des associations d'irrigants, en particulier pour la gestion de l'irrigation à partir des sources de montagne dans la Bekaa ; les agriculteurs payent le comité d'irrigation de l'association, qui est chargé de l'entretien des canaux. Dans le code de l'eau, le statut officiel des associations d'irrigants est défini selon un mode d'organisation et de fonctionnement sophistiqué, avec une gouvernance formalisée adaptée à la gestion de systèmes d'irrigation modernes. Les associations d'irrigants existantes ont un mode de fonctionnement plus simple et empirique : elles peuvent rencontrer des difficultés à s'y reconnaître et s'y conformer.

La gestion directe d'un système d'irrigation par une municipalité est plus rare et n'est pas visée par la réglementation (un seul cas, dans la commune d'Anjar, dans la Bekaa).

Dans d'autres régions, où l'approvisionnement se fait plutôt via des puits, il s'agit d'arrangements entre les propriétaires de puits et les irrigants.

L'investissement nécessaire à un tel projet d'infrastructures, d'autant plus présenté dans un objectif de préservation de la ressource en eau, est susceptible de bénéficier de financement de la part de différents bailleurs.

Cependant, le fonctionnement et la maintenance représentent également un coût, qui nécessitent de construire un modèle économique.

Dans le contexte de crise financière, le consentement et la capacité des usagers à payer pour bénéficier d'un service public peuvent représenter une difficulté accrue. Le taux de recouvrement de la facturation des services d'eau et d'assainissement est en effet en déclin. La situation financière des Etablissements des Eaux s'en trouve encore aggravée, ce qui entrave d'autant plus leur capacité à assurer la gestion des services et donc à restaurer la confiance des usagers dans le service.

Si la gratuité est envisagée pour les agriculteurs, une autre ressource financière doit être envisagée pour que le gestionnaire du service bénéficie de recettes permettant d'assurer son bon fonctionnement.

POUR EN SAVOIR + :

- **Norme libanaise 819 – Lebanese standard first edition 2024 – water reuse in irrigation, LIBNOR, 2024**

- **Project REWATER MENA, IWMI :**

[10] - Lebanon's national water strategy 2024 – 2035, Ministry of Energy and Water, juin 2024

- Analysis of Water Reuse Potential for Irrigation in Lebanon, IWMI, Karim Eid-Sabagh et al., 2022

- Rehabilitation and Extension project for Ablah Water Reuse System, Bekaa Lebanon, ReWater MENA Output 2: Design of two local reuse models in Lebanon, IWMI, Marie-Helene Nassif et al., 2022

- Co-design of a water reuse project around Zahleh WWTP, Lebanon: Methodological learnings and implementation challenges, ReWater MENA Output 2: Design of two local reuse models in Lebanon, IWMI, Marie-Helene Nassif et al., 2022

- **“Water-Energy Nexus of Water and Wastewater Service in Lebanon”, OXFAM, 2021**

- Volume I: Executive Summary

- Volume II: Social Network Analysis

- Volume III: Energy Audit of the Water and WasteWater Sectors

- Volume IV: Renewable Energy Potential and Market Assessment

- Volume V: Socio-Economic Assessment of the Water-Energy Nexus

- **Autres ressources**

- Lebanon Country Climate and Development Report (CCDR), World Bank, 2024

- Are Fresh Water and ReclaimedWater Safe for Vegetable Irrigation? Empirical Evidence from Lebanon, LARI, Marie Thérèse Abi Saab, 2022

- Treated municipal wastewater reuse for eggplant irrigation, LARI, Marie Thérèse Abi Saab, 2021

- Wastewater reuse and sludge valorisation and reuse proposition for Lebanon, FAO, 2010

- Energy from Wastewater Sewage Sludge in Lebanon; Transforming a Waste Disposal Problem into an Opportunity, Ministry of Energy and Water, UNDP, 2013

- Level of water stress: freshwater withdrawal as a proportion of available freshwater resources | Data (banquemonde.org)



CHAPITRE 4

Études de cas

Les études de cas suivantes permettent d'examiner la façon dont les enjeux développés dans le **chapitre 2**, ont été pris en compte dans le cas de plusieurs projets menés dans le cadre de partenariats de coopération décentralisée avec des collectivités françaises.

Ces projets portent sur des configurations différentes de filières de l'assainissement (stations d'épuration-STEP, stations de traitement des boues de vidange-STBV, procédés de traitement intensifs ou extensifs), permettant la réutilisation des eaux usées traitées et/ou la valorisation des boues.

Deux de ces cas portent sur des formes d'assainissement et filières de traitement fréquemment rencontrées dans les pays méditerranéens (traitement intensif biologique et traitement extensif de lagunage).

Le troisième cas permet d'illustrer les possibilités de valorisation au sein d'une filière qui ne se présente pas dans les pays méditerranéens : le traitement de boues de vidanges, collectées par camions vidangeurs, au sein d'une station de traitement des boues de vidange (STBV).



Étude de cas 1

Réutilisation des eaux usées pour l'irrigation d'espaces verts à Tata, Maroc

Coopération décentralisée : Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée / province de Tata

Depuis 2009, une coopération décentralisée a été engagée entre la province de Tata au Maroc et la ville d'Agde en France. Suite aux transferts de compétences, cette coopération a été poursuivie par la Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée (CAHM) à partir de 2017. Les actions mises en œuvre dans le cadre de cette coopération sont actuellement soutenues par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, le Conseil provincial de Tata, le Conseil régional de Souss Massa, la commune de Tata et Ministère de l'Intérieur marocain.

Le projet mené dans le cadre de la coopération décentralisée porte sur l'extension du système d'assainissement et la mise en place d'une réutilisation des eaux usées traitées produites par la station d'épuration.

Ce projet est envisagé comme un projet pilote, qui pourra inspirer de futurs projets de réutilisation des eaux usées traitées issues des autres lagunes existantes dans la province de Tata.



Station d'épuration de Tata, © pS-Eau, septembre 2024

1) Quelle est la configuration de la filière de l'assainissement et les choix d'équipement et procédés de traitement aux différents maillons de la filière ?

Le système d'assainissement de la commune de Tata a été mis en œuvre dans le cadre d'un programme financé par la Banque Islamique de développement. Mis en service en 2004, il collecte les effluents du centre de la ville de Tata et les achemine vers une station de traitement de type lagunage.

Les douars périurbains n'étaient pas raccordés au système d'assainissement jusque-là. Les habitations disposaient de latrines et fosses de différentes natures, souvent des puits perdus, qui étaient comblés et abandonnés une fois pleins. Les eaux noires y étaient déversées, tandis que les eaux grises étaient rejetées dans les rues.

Le projet mené dans le cadre de la coopération décentralisée consiste à réaliser l'extension du système d'assainissement pour permettre d'y raccorder les douars périphériques de la commune de Tata : douar Agadir Lhna, douar Tighremte, douar Sounhn, douar Agoujal, douar Indfiane. Cela implique l'extension des réseaux de collecte ainsi que l'extension du système de traitement. Cette opération a été planifiée en plusieurs phases étalées sur plus de 10 années.

Les premières phases, achevées, ont consisté en l'extension des réseaux de collecte. Plusieurs

scénarios ont été envisagés pour les zones où la topographie n'était pas favorable. Le critère prégnant considéré a été celui de minimiser les coûts d'exploitation. Ainsi, plutôt que de prévoir une station de relèvement, il a été choisi, pour trois zones d'habitations, de mettre en place un système de traitement semi-collectif localisé. Ainsi, l'ensemble du réseau de collecte ne comporte qu'une seule station de pompage. Cela a toutefois nécessité un enfouissement du réseau à grande profondeur dans certaines zones du réseau (jusqu'à 9 m), mais permet de réduire les coûts et les opérations d'exploitation.

La dernière phase du projet, en cours de réalisation, consiste en l'extension de la station de traitement. Cette extension portera la capacité de la station de 13 204 équivalents-habitants (EH) à 25 155 EH. Elle comprend la mise en place d'un bassin primaire, d'un bassin secondaire ainsi que d'un lit de séchage supplémentaire. Le projet vise également à améliorer la qualité du système de traitement, afin de permettre une réutilisation des eaux usées traitées conformément à la réglementation marocaine relative à l'usage souhaité, ce qui implique la mise en place de traitement tertiaires des eaux usées.

◀ Maillon amont

Les ménages inclus dans la zone de collecte du système d'assainissement collectif de Tata sont équipés de toilettes à chasse d'eau sans séparation d'urines.

◀ Maillon intermédiaire – transport

Les eaux usées brutes issues des toilettes à chasse d'eau sont acheminées via des réseaux de collecte jusqu'à une station d'épuration par lagunage.

Pour trois zones d'habitations situées en contre bas du réseau de collecte le plus proche, il a été choisi de mettre en place trois systèmes localisés de collecte des eaux usées gravitaires jusqu'à une fosse septique semi-collective.

◀ Maillon aval – traitement au niveau de la STEP

Les eaux usées passent par un prétraitement (dégrillage et dessablage).

Filière eau

- **Traitement primaire** : Le traitement primaire par lagunage est mis en œuvre par deux bassins (longueur et largeur de 51 x 22 m), d'une profondeur de 4 m, permettant de créer les conditions d'un traitement biologique anaérobie des eaux usées, avec un temps de séjour d'environ 5 jours.
- **Traitement secondaire** : Le traitement secondaire par lagunage est mis en œuvre par deux bassins dits « facultatifs » (longueur et largeur de 175 x 60 m), d'une profondeur de 1,5 m, permettant les conditions d'un traitement biologique aérobie auquel s'ajoute l'effet de la photosynthèse. Le temps de séjour y est beaucoup plus long. Les deux bassins primaires ainsi que

les deux bassins secondaires fonctionnent en parallèle. Un système de répartition permet successivement de les alimenter et de les mettre au repos, avec une fréquence de rotation de 5 jours.

- **Traitement tertiaire** : Le projet prévoit la mise en place d'un traitement d'affinage dit « tertiaire » via deux bassins de maturation fonctionnant en série, une microfiltration et un traitement UV.

Filière boues

La filière boues est composée de deux lits de séchage, dans lesquels sont déposées les boues curées dans les bassins de lagunage.

◀ Maillon réutilisation/valorisation

EAUX USÉES TERTIAIRES

Eaux usées traitées,
niveau tertiaire

Usages concernés

Irrigation pour des
usages non agricoles

USAGES NON AGRICOLES

Amendement d'espaces verts
publics (jardins, parc)

ESPACES VERTS PUBLICS

Le système d'assainissement produit à présent 700 m³/j d'eaux usées traitées.

Il est prévu que les eaux usées traitées irriguent trois espaces, situés à proximité de la station de traitement :

- Un espace arboré situé dans une zone urbanisable en cours de viabilisation, en périphérie des zones d'habitations existantes du centre de la commune de Tata, d'une surface de 12 ha ;
- Une « ceinture verte » d'une surface de 14 ha, prévue entre la station et les zones d'habitation ;
- Un espace arboré prévu dans l'enceinte de la station.

Le maillon réutilisation, intégré à la filière de l'assainissement, comprend les équipements et éléments suivants :

- Un bassin de stockage implanté en sortie de la station de traitement. Bien que les usages prévus de soient pas saisonniers, il a été choisi de mettre en œuvre un tel bassin en sortie de la STEP, afin que les différents postes de pompage y soient implantés.
- Un réseau acheminant les eaux usées traitées gravitairement jusqu'aux plantations prévues dans l'enceinte de la station de traitement et un réseau d'irrigation par goutte à goutte ;
- Une station de pompage et de filtration et un réseau de refoulement général ;

- Une station de pompage et de filtration et un réseau acheminant les eaux usées traitées au niveau de la ceinture verte ainsi qu'un réseau d'irrigation par goutte à goutte ;
- Une station de pompage et de filtration et un réseau acheminant les eaux usées traitées au niveau de la zone de dévelop-

pement urbain ainsi qu'un réseau d'irrigation par goutte à goutte.

Les systèmes de filtration permettent de réduire les matières solides en suspension (MES) et ainsi prévenir l'obstruction des réseaux d'irrigation par goutte à goutte.

BE SÉCHÉES PART-HYG

Boues d'épuration séchées, partiellement hygiénisées

Usages concernés

Amendement des sols pour des activités agricoles, cultures comestibles ou non
Élevage (usage de produits ultimes pour l'alimentation animale)

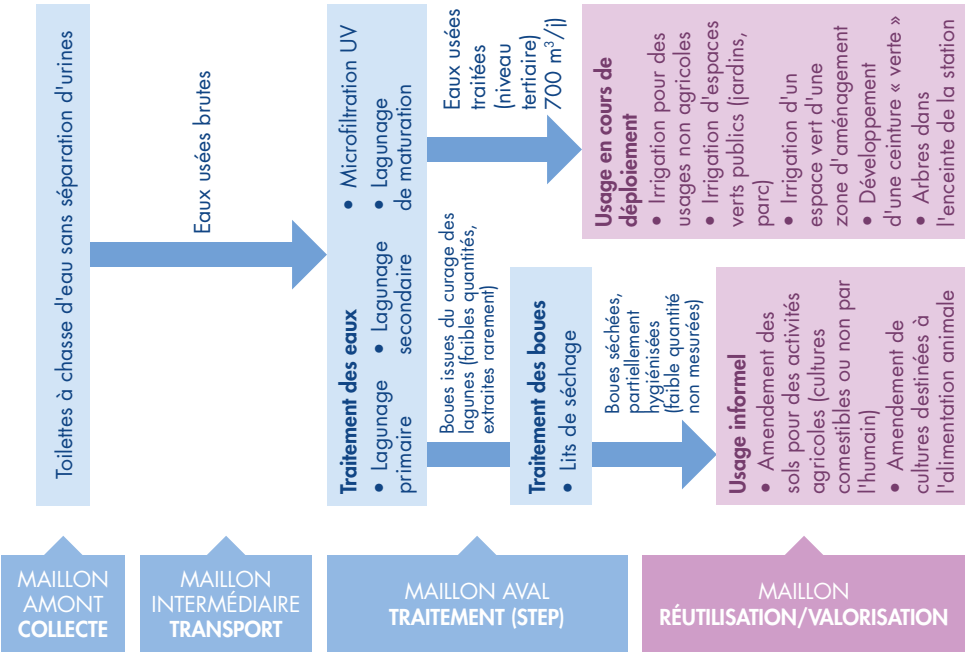
ACTIVITÉS AGRICOLES

ALIMENTATION ANIMALE

Les lits de séchage produisent environ 760 m³ de boues séchées par an.

Les boues séchées produites par la station de traitement, sont acheminées dans la décharge de la commune de Tata. Les eaux usées issues des lits de séchage sont renvoyées en tête de la filière eau, en amont du prétraitement.

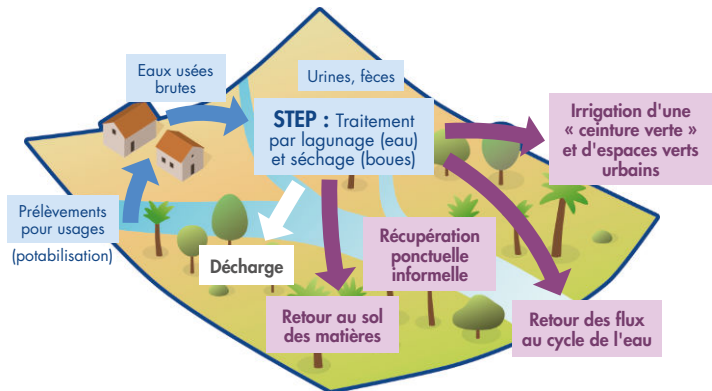
De façon informelle, mais connue et tolérée par l'exploitant de la station de traitement, des agriculteurs récupèrent les boues séchées issues de lits de séchage de la station de traitement. Elles sont utilisées pour amender des cultures servant à l'alimentation animale.



2) Quelles sont les justifications environnementales du projet et les éventuelles analyses d'impact réalisées ou envisagées ?

Retour au sol des matières

Le développement d'une « ceinture verte » participe à lutter contre la désertification. L'irrigation des plantations projetées au cœur des futures zones urbanisables permet d'envisager un développement urbain dans des conditions adaptées au changement climatique.



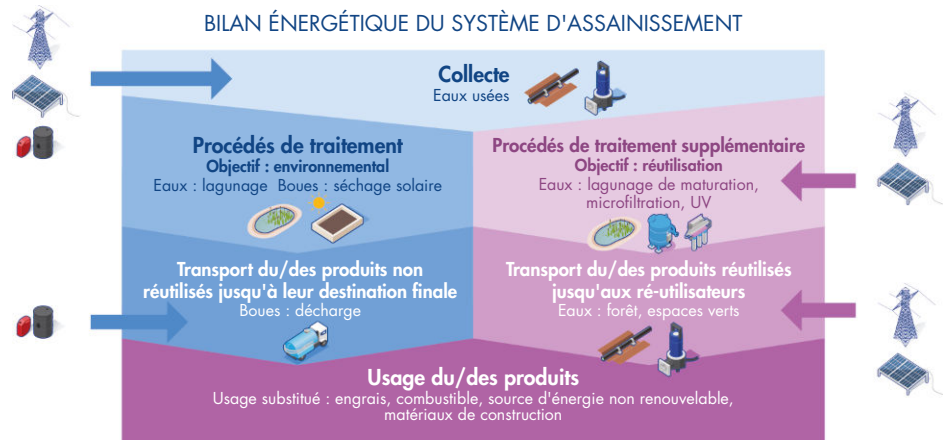
Cohérence environnementale du point de vue du bilan énergétique

Au niveau du maillon intermédiaire, en privilégiant un profil du réseau de collecte gravitaire et un système de traitement extensif, le système d'assainissement est doté d'un unique relevage. Le système de pompage, d'une HMT de 9,5 m, nécessite une puissance de 2 kW.

Les lagunes de maturation n'impliquent aucune consommation énergétique supplémen-

taire. En revanche, le traitement par microfiltration et Ultraviolet sont consommateurs d'énergie (données non disponibles).

Le relevage nécessaire à l'acheminement des eaux usées traitées est également à prendre en considération. Le maillon « réutilisation » prévoit 3 systèmes de relevage. Les études de conception sont en cours pour estimer la puissance totale nécessaire.



3) Quelle est la stratégie adoptée pour la gestion du risque sanitaire ?

➤ Risque sanitaire lié à l'usage des eaux usées traitées

Définir et contrôler des objectifs de qualité du produit sortant du système de traitement

La réglementation marocaine relative à l'usage des produits issus des systèmes d'assainissement étant précise et contraignante, les marges de manœuvre pour développer une stratégie sur mesure de gestion du risque sanitaire sont limitées.

Les eaux usées traitées irriguant (de façon localisée par goutte à goutte) les plantations prévues au niveau de la ceinture verte et de l'enceinte de la station de traitement peuvent être de classe C. En revanche, les eaux usées traitées irriguant les plantations projetées dans la zone urbanisable doivent être de classe A. De plus, au Maroc, l'interdiction d'une irrigation avec de l'eau potable pour cet usage incite à l'utilisation des eaux usées traitées.

À l'issue du traitement de lagunage primaire et secondaire, les effluents ont subi un abattement significatif concernant les paramètres physico-chimiques classiques (en particulier la DBO) ainsi que certains pathogènes (kystes de protozoaires et helminthes), mais leur performance contre les virus et certaines bactéries est moindre. Les bassins de maturation sont conçus pour permettre un abattement des pathogènes très significatif : jusqu'à 6 log pour les bactéries, 4 log pour les virus, et res-

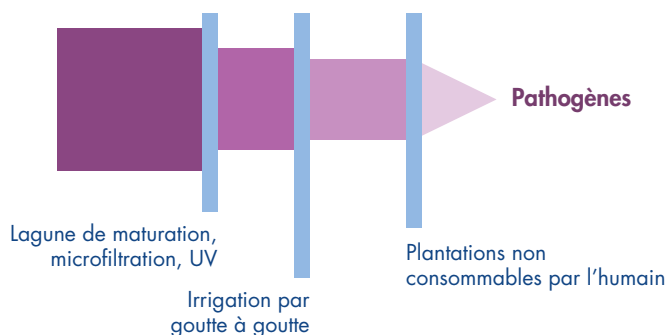
pectivement 2 log et 3 log, voire même 100 %, pour les protozoaires et les helminthes (Sperling et al., 2006).

La mise en place de bassins de maturation pour un affinage du traitement secondaire permet donc de s'assurer d'un abattement quasi total des pathogènes.

Cependant, compte tenu de la réglementation marocaine qui impose une absence totale avérée d'œufs d'helminthes pour les eaux de classe A, un traitement supplémentaire d'hygiénisation par microfiltration et UV doit également être appliqué.

La qualité des eaux en sortie du système de traitement est suivie quotidiennement concernant le pH, la conductivité, la température, et tous les 3 mois concernant la DCO, la DBO, l'azote et le phosphore. Les paramètres microbiologiques, en particulier les œufs d'helminthes seront régulièrement suivis (fréquence et modalités également non précises).

Une fois le système de réutilisation mis en œuvre, en cas de non-conformité pouvant représenter un risque sanitaire, un bypass du réseau d'irrigation des zones d'habitation sera possible.



Risque sanitaire lié à l'usage des boues séchées

Le séchage des boues sur lit non planté n'est pas un procédé conçu pour l'abattement des pathogènes. Le temps nécessaire à une augmentation de la siccité et à un abattement significatif des pathogènes dépend des caractéristiques propres des boues ainsi que des conditions climatiques locales. Les bactéries subissent une inactivation partielle le plus souvent inférieure à 1 log, et peuvent redevenir actives en cas de réhydratation. Les virus peuvent subir une réduction allant jusqu'à 2 log. Selon l'OMS, une inactivation de 0,5 log des œufs d'helminthes nécessite un temps de séjour de 3 à 6 mois. Ainsi, dans les conditions climatiques de Tata, un séjour prolongé des boues sur les lits de séchage maximisera l'abattement des pathogènes. Cependant, compte tenu de la réglementation marocaine qui impose une absence d'œufs d'helminthes pour les eaux de classe A, un traitement supplémentaire d'hygiénisation par microfiltration et UV doit également être appliqué.

La réutilisation informelle par des agriculteurs n'est pas encadrée, mais concerne une quantité très faible de boues (non mesurée) extraite peu fréquemment (une seule extraction depuis la mise en service de la station de traitement) qui ont séjourné sur le lit de séchage et ont donc subi un abattement théoriquement significatif.

La qualité des boues ne fait pas l'objet d'un suivi, compte tenu de l'absence de réutilisation formelle et de leur envoi en décharge.

4) Quel est le modèle organisationnel et économique prévu ? Quels enjeux pour l'instaurer et le pérenniser ?

◀ Modèle organisationnel

La réglementation désigne la commune comme étant l'autorité compétente, d'une part concernant les services d'eau et d'assainissement (maîtrise d'ouvrage et exploitation), d'autre part concernant l'aménagement et l'entretien des espaces verts. Cependant, des délégations de la maîtrise d'ouvrage sont possibles, tant à des associations d'usagers qu'à des services déconcentrés, agences et institutions nationales. La gestion de l'eau et de l'assainissement est particulièrement caractérisée par cette subsidiarité,

matérialisée par des conventions engageant les différents acteurs concernés. Ainsi, l'ensemble des organismes décentralisés, déconcentrés et étatiques concernés par un projet de réutilisation des eaux usées traitées sont incités à s'engager via une convention spécifique pour la réutilisation des eaux usées traitées.

Fonction « transport » et fonction « traitement des eaux usées »

Compte tenu des capacités techniques et financières de la commune de Tata (peu de fiscalité et de dotation de l'État), les parties prenantes, sous le pilotage du gouverneur, ont estimé plus cohérent que la maîtrise d'ouvrage et l'exploitation des différentes composantes du système de collecte et de traitement soient transférées à des institutions déconcentrées et à des organismes nationaux.

Ainsi, la commune de Tata a délégué la maîtrise d'ouvrage du système d'assainissement à la province de Tata. Elle est donc le maître d'ouvrage de l'opération d'extension du système d'assainissement et de la mise en place d'un système de réutilisation des eaux usées traitées.

De plus, l'ONEE (Office National de l'Eau et de l'Électricité) assure l'exploitation des services d'eau et d'assainissement par transfert de la part de la commune. Avant la mise en œuvre des extensions du réseau de collecte au niveau des douars périphériques, la gestion du service d'eau dans ces derniers avait été transférée par la commune à des associations de gestion de l'eau. L'intégration de ces réseaux de collecte au système d'assainissement exploité par l'ONEE a conduit la commune à confier également la gestion de l'eau potable à l'ONEE à l'issue du projet, dans un souci de cohérence et d'efficacité.

C'est donc à présent l'ONEE qui assure l'exploitation de l'ensemble des services d'eau et d'assainissement pour le compte de la province de Tata.

L'ONEE est doté de solides compétences techniques et financières et est donc en capacité d'intégrer les nouvelles infrastructures de traitement tertiaire (lagune de maturation, traitement par microfiltration et UV) dans son modèle d'organisation. Pour assurer cette responsabilité, l'ONEE missionne fréquemment des entreprises prestataires, dans le cadre de contrats dits de « gardiennage », encadrés par le code de la commande publique. Ainsi, au niveau de la station de traitement, deux agents sont présents en permanence, tandis que plusieurs agents assurent les opérations d'exploitation du système de collecte.

Cette organisation va prochainement évoluer pour une mise en conformité avec les évolutions en cours du cadre sectoriel de l'eau et de l'assainissement. La loi n°83.21 du 12 juillet 2023, dont les modalités de mise en application sont précisées par l'arrêté n°990.24 du 16 avril 2024, prévoit la création des Sociétés Régionales Multiservices, qui deviennent les autorités compétentes pour la maîtrise d'ouvrage et l'exploitation des services d'eau et d'assainissement (ainsi que de la distribution d'électricité). Le conseil provincial restera un acteur clé du projet de réutilisation de Tata, tandis que la commune sera impliquée en tant que bénéficiaire et via sa représentation au Conseil d'Administration de la SRM de la région de Souss Massa.

Fonction « transport des eaux usées traitées jusqu'aux utilisateurs finaux »

• Concernant la ceinture verte :

La direction régionale de l'Agence Nationale des Eaux et Forêts (ANEF), agence sous tutelle du Ministère en charge de l'Agriculture, est signataire de la convention spécifique pour la réutilisation des eaux usées traitées, qui prévoit son implication dans la maîtrise d'ouvrage et la gestion des infrastructures d'irrigation et des plantations de « la ceinture verte ». Il est prévu que la commune conventionne de façon bilatérale avec la direction régionale de l'ANEF, afin que cette dernière assure, pendant 3 ans, la gestion du système d'irrigation et des plantations irriguées de la ceinture verte.

La direction régionale de l'ANEF pilote des projets de reboisement et d'entretien d'espaces boisés, dans un objectif d'adaptation et d'atténuation face au changement climatique. Son champ d'action s'étend également à des aspects connexes qui accompagnent cette mission principale, en particulier la maîtrise d'ouvrage et l'exploitation de systèmes d'irrigation.

La direction régionale de l'ANEF dispose des compétences et des ressources humaines et financières nécessaires pour assurer cette responsabilité. Cette direction a déjà l'expérience de la création et de la gestion d'une ceinture verte à Tata. D'autres directions régionales ont l'expérience de la gestion de systèmes d'irrigation par goutte-à-goutte à partir d'eaux usées traitées, par exemple is-

sues de la station de traitement de Bouarfa à Figuig. Au niveau central, l'Agence Nationale des Eaux et Forêts (ANEF) dispose de différents experts mobilisables pour les projets menés dans les différentes régions, en particulier un expert concernant les systèmes d'irrigation par goutte-à-goutte.

La direction régionale de l'ANEF est formellement engagée à assurer la gestion du système d'irrigation et des plantations de la ceinture verte pour une durée de 3 ans. Toutefois, l'ensemble des partenaires, y compris la direction régionale de l'ANEF, reste engagé à s'impliquer pour le bon fonctionnement du système, sous le pilotage du gouverneur. Les directions régionales de l'ANEF sont souvent amenées, sur d'autres systèmes, à assurer cette gestion de nombreuses années, jusqu'à plus de 10 ans.

• Concernant les plantations et leur système d'irrigation prévus dans les zones de développement urbain :

La commune et l'Agence Nationale des Eaux et Forêts seront en charge de la gestion du réseau d'irrigation et des plantations.

• Concernant les plantations prévues dans l'enceinte de la station et leur réseau d'irrigation

Ils seront intégrés aux infrastructures gérées par l'ONEE (à terme, par la SRM).

➤ Modèle économique

L'ONEE est doté de solides compétences techniques et financières et est donc en capacité d'intégrer les nouvelles infrastructures de traitement tertiaire (lagune de maturation, traitement par microfiltration et UV) dans son modèle économique. En effet, l'équilibre financier global de l'ONEE est facilité par une péréquation des recettes et charges au niveau national. En outre, les tarifs de l'eau et de l'as-

sainissement fixés par la réglementation marocaine pour la typologie de commune de Tata sont plutôt confortables, corrélés aux coûts d'amortissement et de fonctionnement modestes d'un système extensif par lagunage. La SRM assurera à terme l'exploitation de la STEP, permettant une péréquation au niveau de la région de Souss Massa.

5) Quelles démarches de co-construction avec les parties prenantes, en particulier les utilisateurs du produit réutilisé/valorisé

◀ Coconstruire un modèle organisationnel

La convention spécifique pour la réutilisation des eaux usées traitées, établie conformément à la réglementation, engage les acteurs suivants à assurer la réussite et la pérennité du projet, sous le pilotage du gouverneur :

- Ministère de l'Intérieur
- La Wilaya de la Région Souss-Massa
- Le Conseil Régional Souss-Massa
- La Province de TATA;
- Le Conseil Provincial de TATA
- La Commune de TATA
- La Communauté d'Agglomération Héroult-Méditerranée
- Société Multi Service Souss-Massa (SRM)
- L'Agence de Bassin Deraa Oued Noun
- L'Agence Nationale des Eaux et Forêts

La répartition des responsabilités effectives entre les différents acteurs signataires de la convention n'a toutefois pas fait l'objet de démarche de concertation entre ces différents acteurs. L'efficacité de la maîtrise d'ouvrage publique est privilégiée, reposant sur la proactivité d'un gouverneur très impliqué dans le pilotage de ce projet.

◀ Informer et sensibiliser sur le risque sanitaire

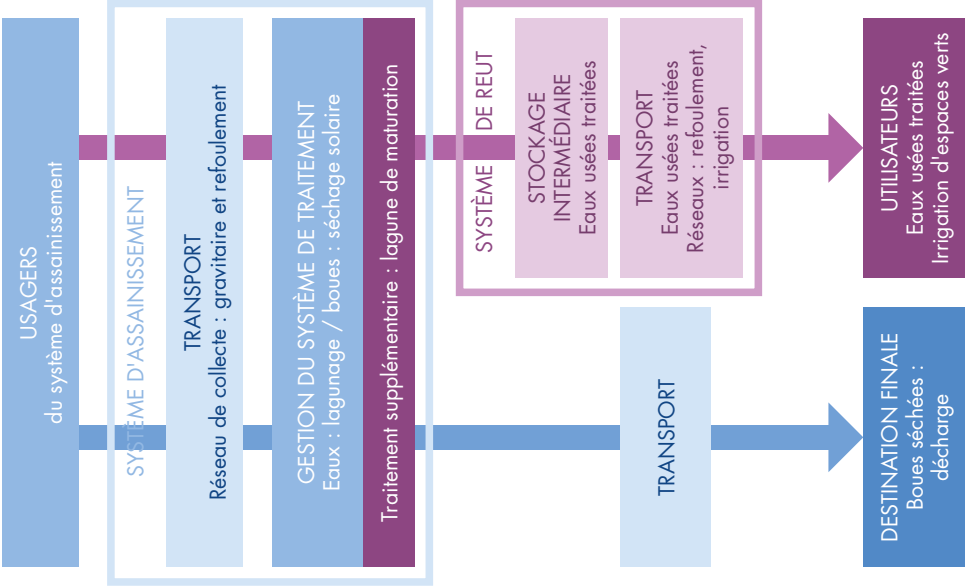
L'information et l'assentiment des usagers s'appuient sur la mobilisation des représentants locaux : le caïd, le pacha et les représentants des différentes ethnies. Ces acteurs ne sont pas signataires de la convention spécifique pour la réutilisation des eaux usées traitées mais sont des relais essentiels avec la population.

Une procédure d'enquête publique est requise par la réglementation marocaine. Un avis d'ouverture d'enquête publique, donnant la possibilité de formuler des remarques et contestations dans un certain délai, est affiché dans les locaux du maître d'ouvrage, le conseil provincial. Cependant, de même qu'en France, ces procédures interviennent à un stade avancé de la conception des projets et sont peu connues des citoyens.

◀ Accompagner le changement de pratiques

C'est la Direction régionale de l'Agence Nationale des Eaux et Forêts (ANEF) qui interagit avec les utilisateurs des terrains concernés par la future ceinture verte, dans le cadre de l'approche participative prévue dans la stratégie Forêts 2020-2023. Ainsi, des animateurs employés par l'ANEF informeront et sensibiliseront les bergers dont le bétail pâture aux alentours de Tata, pour s'assurer de leur bon usage des plantations à venir : il

sera proscrit d'y faire pâturer leur bétail pendant les premières années, afin de laisser la ceinture verte se développer. Il s'agit également d'une négociation qui peut aboutir à l'octroi d'indemnités prévues par la stratégie Forêts. Cette modalité concerne cependant davantage la mise en place d'espaces arborés sur des surfaces très étendues, dans des zones rurales.



Autorité compétente : Commune de Tata

- Délégation MOA : Province de Tata
- Délégation exploitation : ONEE

Pour les plantations dans un futur espace urbain :

Autorité compétente :
Commune de Tata

- Délégation MOA : Province de Tata
- Exploitation : commune, aménageur

Pour la « Ceinture verte » :

Autorité compétente :
Agence nationale des Eaux et Forêts (ANEF)

- MOA et exploitation : ANEF
- Exploitation : commune, aménageur

**Stratégie Forêts 2020-2023 :
approche participative
Animateurs ANEF**

Riverains de la zone d'habitation

Bergers dont le bétail pâture aux alentours de Tata



Étude de cas 2

Optimisation de la STEP de Ramallah en Palestine pour développer la réutilisation des boues

Coopération décentralisée : Toulouse Métropole (avec l'appui de l'ONG Hamap Humanitaire) / municipalité de Ramallah

Le projet analysé consiste à mettre en place un traitement supplémentaire des boues produites par la station d'épuration d'Al Tireh à Ramallah en Palestine en vue de leur valorisation et de préfigurer la filière de valorisation par la réalisation d'une étude de faisabilité. Une réutilisation des eaux usées traitées produite par cette STEP est déjà effective.

Ce projet est mis en œuvre dans le cadre d'une coopération décentralisée entre Toulouse Métropole et la Municipalité de Ramallah, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, l'Office International de l'Eau (OiEau) et HAMAP Humanitaire. Le financement du projet est assuré par Toulouse Métropole et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, dans le cadre de la Loi Oudin-Santini.



STEP Al Tireh, Palestine, © Hamap Humanitaire

1) Quelle est la configuration de la filière de l'assainissement et les choix d'équipement et procédés de traitement aux différents maillons de la filière ? Quels sont les usages identifiés pour les produits issus de la filière de l'assainissement ?

◀ Maillon amont

Les ménages sont majoritairement équipés de toilettes à chasse d'eau sans séparation d'urines. Cependant, de nombreuses habitations ne sont pas encore connectées au réseau d'assainissement. Ces habitations disposent alors de latrines individuelles.

◀ Maillon intermédiaire – transport

Les eaux usées sont acheminées par réseaux jusqu'à la station d'épuration d'Al Tireh.

◀ Maillon traitement

La station d'épuration reçoit une grande partie des eaux usées de la ville de Ramallah. Elle a été mise en service en janvier 2014. Sa capacité de traitement est de 2 000 m³/jour. Elle fait l'objet d'une extension qui sera mise en service en avril 2025 afin de porter sa capacité à 6 500 m³/jour.

Filière eau :

- Traitement primaire : épaissement (non précisé)
- Traitement secondaire : bioréacteurs à membranes
- Traitement tertiaire : traitement par chloration

Filière boues :

Préalablement au projet, les boues extraites au niveau des traitements primaires et secondaires étaient acheminées par camions jusqu'à une décharge publique située à environ 50 km à Jénine.

Dans le cadre du projet, un traitement de déshydratation mécanique des boues par centrifugeuses a été mis en place, permettant d'atteindre une siccité de 20 %. Les opérations d'évacuations des boues sont ainsi optimisées du fait de la réduction de leur volume.

Les difficultés de circulation en Cisjordanie dues à l'occupation rendent à présent l'accès à la décharge de Jénine impossible. Toutefois, la réduction du volume des boues du fait de leur déshydratation permet leur stockage sur le site de la station.

Dans le cadre du projet, la poursuite du traitement des boues en vue de leur réutilisation a été étudiée.

Un traitement supplémentaire de séchage sur lits couverts est à présent prévu, afin de réduire la présence d'agents pathogènes et permettre une valorisation agricole.

La déshydratation mécanique, déjà en service, permet d'optimiser le volume de boues à épandre sur les lits de séchage prévus et ainsi rationaliser leur surface.

Le terrain ciblé pour ce séchage est d'ores et déjà identifié. Une étude de faisabilité met en avant différents paramètres contextuels à prendre en compte pour le dimensionnement des lits et la durée de séjour à prévoir sur ces lits. À présent que les centrifugeuses sont en service, les caractéristiques réelles des boues déshydratées doivent être considérées comme

données d'entrées. De plus, la fluctuation de l'ensoleillement au cours de l'année pourrait nécessiter un plancher chauffant, alimenté soit par une chaufferie à gaz, soit par une pompe utilisant la chaleur des eaux usées, soit par des panneaux photovoltaïques.

Il est ciblé une siccité de 75 % des boues séchées issues ces lits.

Les boues séchées extraites des lits pourront ensuite être pressées pour obtenir des granulés. Les granulés de boue séchée seront ensuite stockés sur site pour s'adapter la saisonnalité des besoins agricoles.

Maillon réutilisation/valorisation

EAUX USÉES TERTIAIRES

Eaux usées traitées,
niveau tertiaire

Usages concernés

Irrigation pour des
usages non agricoles

USAGES NON AGRICOLES

Amendement d'espaces verts
publics (jardins, parc)

ESPACES VERTS PUBLICS

Les eaux usées ayant subi un traitement par chloration sont réutilisées pour divers usages : l'irrigation d'espaces verts publics comme le parc de Ramallah, des zones végétalisées le long des routes dans la région d'Al Tireh ainsi que certains jardins privés. Les

eaux usées traitées sont également fournies à des entrepreneurs effectuant des travaux de voiries pour l'arrosage des routes (réduction de la poussière) et la compaction des remblais.

BE SÉCHÉES

Boues séchées, hygiénisation significative

Usages concernés

Amendement des sols pour des activités
agricoles, cultures comestibles ou non

ACTIVITÉS AGRICOLES

Les boues séchées produites se présentent sous une forme de granulés.

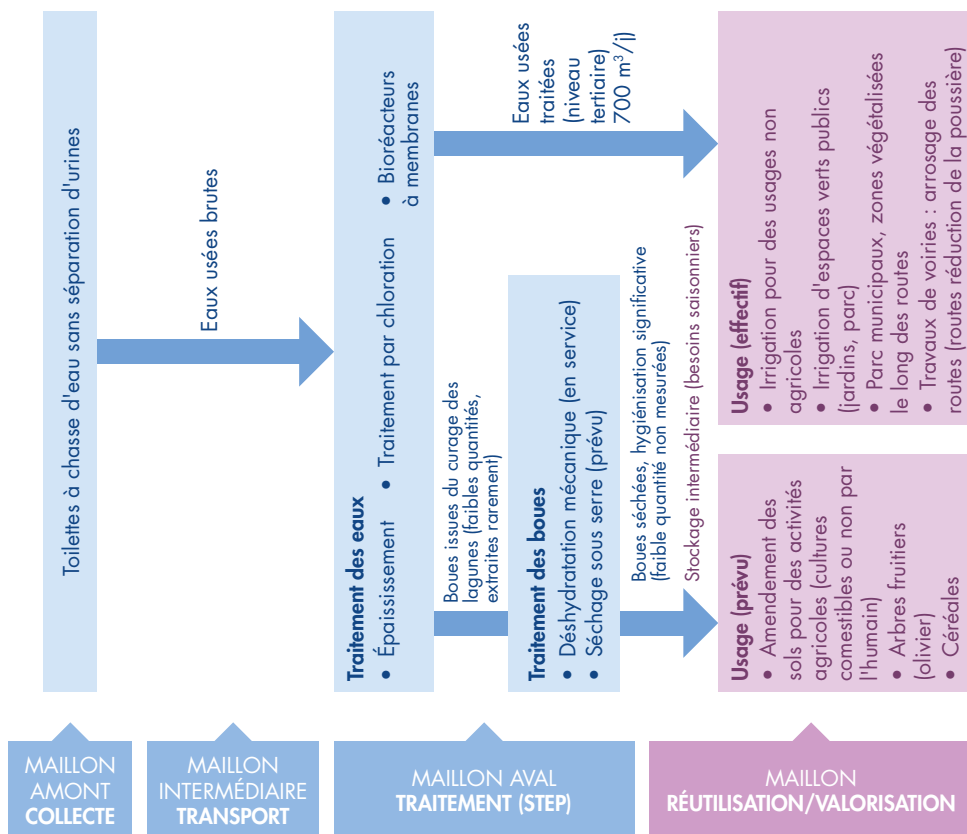
Il est prévu de les ensacher afin de les conditionner de façon similaire au fumier séché qu'utilisent déjà les agriculteurs.

Les principales cultures cibles pouvant recevoir ces boues sont l'olivier et plus généralement l'ensemble des arbres fruitiers sous réserve que les branches soient suffisamment éloignées du sol. L'utilisation pour certaines cultures de céréales est également envisagée. Ces cultures requièrent un amendement à l'automne et au printemps, ce qui implique

la nécessité d'un stockage des boues séchées au niveau de la STEP pour s'adapter à cette saisonnalité des besoins.

Afin d'assurer un débouché pour la totalité des boues produites par la STEP (estimées à 350 tonnes), il est identifié une cible de 80 hectares (800 dunums), ce qui pourrait concerner environ 50 agriculteurs, compte tenu de la typologie morcelée des parcelles agricoles alentours.

Certains agriculteurs d'un village à proximité, Ein Qinya, manifestent déjà leur intérêt.



2) Quelles sont les justifications environnementales du projet et les éventuelles analyses d'impact réalisées ou envisagées ?

Retour au sol des matières

L'utilisation du produit valorisé améliorera la qualité des sols et favorisera un retour au sol de la matière organique et des éléments fertilisants. Cela réduira l'utilisation d'engrais chimiques et ainsi le coût pour l'agriculture en tirant parti des nutriments utiles aux végétaux (azote, phosphore, potassium).

L'apport en matière organique riche en azote (N), phosphore (P) et potassium (K) améliorera la structure et la fertilité des sols ainsi que leur capacité de rétention d'eau. Afin de s'assurer que l'application des boues séchées est bénéfique pour les sols et les cultures, les quantités de boues annuellement

incorporées au sol seront contrôlées : trois tonnes de matière sèche par hectare et par an soit 400kg de boues séchées dont la siccité est environ de 75 %. Ainsi, la dose d'éléments fertilisants sera cohérente avec les capacités de rétention des sols et les besoins des cultures pour augmenter les rendements, tout en limitant les risques d'accumulation de métaux lourds.

Un suivi rigoureux des usages des boues, de leur qualité et des sols sera effectué en laboratoire conformément à l'instruction du gouvernement palestinien (instruction technique obligatoire n°59/2015).

◀ Cohérence environnementale du point de vue du bilan énergétique

Le projet permettra une réduction des consommations énergétiques liées au transport des boues. Bien que la filière d'évacuation soit actuellement compromise (voir ci-dessus), ces boues sont habituellement acheminées vers une décharge située à 50 km de la STEP. D'une part, les traitements des boues déjà intégrés à la STEP (centrifugeuses) et prévus (lits de séchage) en vue de leur valorisation, réduisent les volumes de boues pro-

duites par la STEP. D'autre part, la filière de valorisation choisie implique l'acheminement des boues ensachées au niveau de parcelles agricoles à proximité de la STEP.

Les consommations énergétiques de la STEP connaîtront cependant une augmentation du fait de l'intégration des centrifugeuses, nécessaires à la déshydratation de boues avant leur séchage sur les lits couverts.

3) Quelle est la stratégie adoptée pour la gestion du risque sanitaire ?

◀ Définir et contrôler des objectifs de qualité du produit sortant du système de traitement

Le traitement supplémentaire des boues décrit plus haut permet de réduire fortement la présence de pathogènes.

La gestion du risque sanitaire comprend également des mesures de contrôle de la qualité des boues à différentes étapes :

- Des analyses des boues séchées sont prévues au niveau de la serre solaire tous les trois mois. La traçabilité des boues est prévue en attribuant à chaque sac de boues ensachées, une référence à laquelle sont associés des résultats d'analyse.
- Des analyses sont préconisées au niveau des sols destinés à recevoir les boues.
- La traçabilité est envisagée en assurant un suivi des parcelles épandues référencant les résultats de ces analyses et l'historique de l'épandage.

Il est préconisé de corréler les résultats des types d'analyses, portant sur les boues et les sols, avant de confirmer la faisabilité de l'épandage d'un lot de boue sur une parcelle donnée.

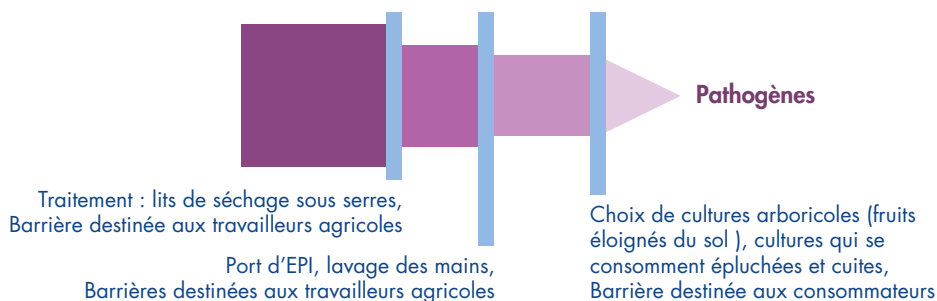
◀ Considérer les barrières post-traitement : modalités d'usages des produits issus de la filière de l'assainissement

Le projet comprendra la promotion de :

- L'usage des équipements de protection individuels (EPI) par les personnes en contact avec les boues (vêtements et chaussures de protection), utilisation de gants lors de la manipulation du produit pour l'épandage et lors de la manipulation des sacs de conditionnement.
- Le lavage des mains à l'eau savonnée après avoir été en contact avec les boues.

Restreindre les usages et modalités d'usage

L'usage est restreint à des cultures spécifiques (céréales et arboricoles), dont les fruits sont éloignés du sol recevant les boues et/ou qui se consomment épluchées et cuites.



4) Quel est le modèle organisationnel et économique prévu ? Quels enjeux pour l'instaurer et le pérenniser ?

Modèle organisationnel

La ville de Ramallah assure la gestion de la plupart des fonctions de la filière de l'assainissement.

Ses services techniques sont en effet gestionnaires des réseaux de collecte des eaux usées ainsi que de la STEP. Les traitements supplémentaires présents sur la filière eau (chloration) et boue (déshydratation et lits de séchage à venir) sont également sous sa responsabilité.

Afin de s'assurer de la cohérence de la mise en place de centrifugeuses avec les capacités techniques des agents chargés de l'exploitation de la STEP, les partenaires du projet de coopération décentralisées (ville de

Ramallah, métropole de Toulouse, Hamap Humanitaire) ont organisé des formations. Un organisme de formation français l'Office International de l'Eau (OiEau) a été mobilisé pour les dispenser.

La ville de Ramallah assurera également la préparation (ensachage) et le transport (livraison aux agriculteurs) des boues séchées jusqu'aux utilisateurs, les agriculteurs.

Le contrôle de la qualité des boues et de l'aptitude des sols à les recevoir, sera assuré conjointement par la ville de Ramallah et le ministère de l'Agriculture.

Modèle économique

Les charges d'exploitation relatives à chacune de ces nouvelles fonctions à introduire du fait de la valorisation des boues (en particulier les coûts énergétiques des centrifugeuses, des analyses) représentent un défi pour l'équilibre économique du service d'assainissement de la ville de Ramallah alors qu'il n'est pas envisageable de compter sur la valorisation des boues pour équilibrer le modèle économique à court terme.

En effet, la commune de Ramallah et ses partenaires de coopération décentralisée ont

identifié que le succès de la filière de valorisation ne peut passer que par une mise en œuvre progressive et une démarche démonstrative, permettant de favoriser l'adhésion des utilisateurs ciblés, les agriculteurs.

Ainsi, les boues séchées ensachées seront livrées gratuitement à un premier groupe d'agriculteurs qui sont d'ores et déjà volontaires, tandis que des parcelles démonstratives seront mise en œuvre en partenariat avec l'université d'Al Birzeit afin d'étudier l'efficacité et l'innocuité des boues sur diff-

rents type de culture et de communiquer sur ces résultats. La stratégie consiste à gagner ainsi la confiance et l'adhésion progressive d'autres agriculteurs.

Il est envisagé d'introduire dans un second temps une participation financière des agriculteurs.

Les agriculteurs utilisent actuellement des engrais chimiques et du fumier enlevé gratuitement chez les éleveurs. Seul le coût du transport est supporté par les agriculteurs qui l'utilisent. Après avoir livré gratuitement les boues jusqu'aux agriculteurs pendant une phase de lancement, les rendre progressive-

ment payantes une fois que leur efficacité et innocuité est démontrée ne sera pas aisée car les agriculteurs auront été habitués à la prise en charge du transport pour s'approvisionner en boues. En outre, ces fertilisants pourraient ne pas rentrer en concurrence car le fumier et l'engrais chimiques sont utilisés sur les cultures à haute valeur ajoutée, essentiellement fruits et légumes, sur lesquelles l'épandage des boues n'est pas autorisé.

Ainsi, la mise en place d'un tarif pour les boues séchées nécessitera une démarche de concertation et la prise en compte des modalités d'usages et des coûts des autres fertilisants.

5) Quelles démarches de co-construction avec les parties prenantes, en particulier les utilisateurs du produit réutilisé/valorisé ?

◀ Coconstruire un modèle organisationnel et une stratégie de gestion du risque sanitaire

Les parties prenantes ont été réunies dans le cadre du projet de coopération décentralisée afin d'échanger sur les différentes attentes, perceptions, priorités et réticences :

Le ministère de la santé et l'autorité palestinienne de l'eau se préoccupent en premier lieu du risque sanitaire. Le ministère de l'environnement et l'autorité palestinienne de l'eau sont concernés par la préservation de la qualité des eaux de surface et souterraine. Le ministère de l'agriculture considère que l'intérêt agronomique des boues constitue un aspect essentiel pour justifier l'intérêt du projet.

Le responsable du parc naturel et les agriculteurs sont préoccupés d'une part par le

risque sanitaire lié à l'usage des boues, en particulier par la présence potentielle de métaux lourds et microplastiques, et d'autre part par leur rentabilité pour l'amélioration des rendements agricoles en comparaison avec les engrais chimiques. Ils sont davantage enclins à utiliser ce nouveau produit s'il est conditionné sous un format familier, similaire aux sacs d'engrais jusqu'alors utilisés. L'adoption de mesure de protections individuel lors de l'usage des boues (EPI, lavage des mains) semble nécessiter un travail de pédagogie pour accompagner ce changement de pratiques. Certains acteurs craignent les odeurs que pourraient générer l'épandage.

◀ Informer et sensibiliser sur le risque sanitaire

Afin de favoriser la confiance dans la mise en œuvre de la filière de valorisation, une attention particulière sera portée sur la communi-

cation : diffusion de supports de communication aux agriculteurs et riverains, articles et reportages dans les médias locaux.

◀ Démontrer l'intérêt de l'usage du produit

Il est également prévu de mettre en place des parcelles démonstratives avec et sans emploi de boues sur différentes cultures, avec un suivi par des techniciens agricoles pour pouvoir ajuster les recommandations d'emploi et démontrer, notamment aux agriculteurs, l'effica-

cité pour la production agricole. Des essais comparatifs permettront de montrer aux agriculteurs les bénéfices et le progrès apporté par l'utilisation des boues séchées en tant qu'amendement agricole.



Étude de cas 3 Valorisation des boues de vidange à Fianarantsoa, Madagascar

Coopération décentralisée : Grand Lyon / Région Haute
Matsiatra, Commune Urbaine Fianarantsoa

la Métropole du Grand Lyon et La région Haute-Matsiatra, à Madagascar, entretiennent un partenariat de coopération décentralisée depuis 2006.

Le Projet « 3F » mené dans le cadre de cette coopération décentralisée entre 2018 et 2021, a consisté à mettre en place une filière d'assainissement liquide pour la ville de Fia-

nantsoa (210 000 habitants). Outre les contributions financières des partenaires de la coopération, ce projet a été co-financé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse et le SIAAP. Il a été mis en œuvre par la Commune de Fianarantsoa avec l'appui technique du groupement SIA/Practica.



Station de traitement des boues de vidange de Fianarantsoa, Madagascar, © Practica Foundation

1) Quelle est la configuration de la filière de l'assainissement et les choix d'équipement et procédés de traitement aux différents maillons de la filière ?

Quels sont les usages identifiés pour les produits issus de la filière de l'assainissement ?

◀ Maillon amont - collecte

Le projet inclut l'accompagnement des ménages à s'équiper avec des latrines à la parcelle, via des subventions ciblées à l'attention des ménages les plus pauvres ainsi que la réhabilitation et la construction de latrines publiques et scolaires.

◀ Maillon intermédiaire - transport

Les boues de vidange sont acheminées jusqu'à une station de traitement des boues de vidange (STBV).

◀ Maillon aval traitement

La STBV peut traiter jusqu'à 11 m³ de boues par jour. Elle est composée de 49 lits de séchage non plantés couverts. Le temps de séjour des boues sur les lits est de 90 jours. Cette station produit 1 500 m³ de boues sèches par an.

Après le curage, les boues sont stockées sur une « aire d'hygiénisation », sous forme d'andins régulièrement retournés. Elles subissent ainsi un séchage prolongé pendant huit mois garantissant ainsi leur sécurité et leur transformation en amendements organiques de qualité, prêts à être utilisés pour amender et améliorer les sols.

Filière eau

Les eaux issues des lits de séchage sont traitées au niveau de lagunes, puis infiltrées au niveau de tranchées plantées d'arbres.

◀ Maillon valorisation

BE/BV SÉCHÉES HYG

boues séchées hygiénisées

Usages concernés

Amendement des sols pour des activités agricoles, cultures comestibles ou non

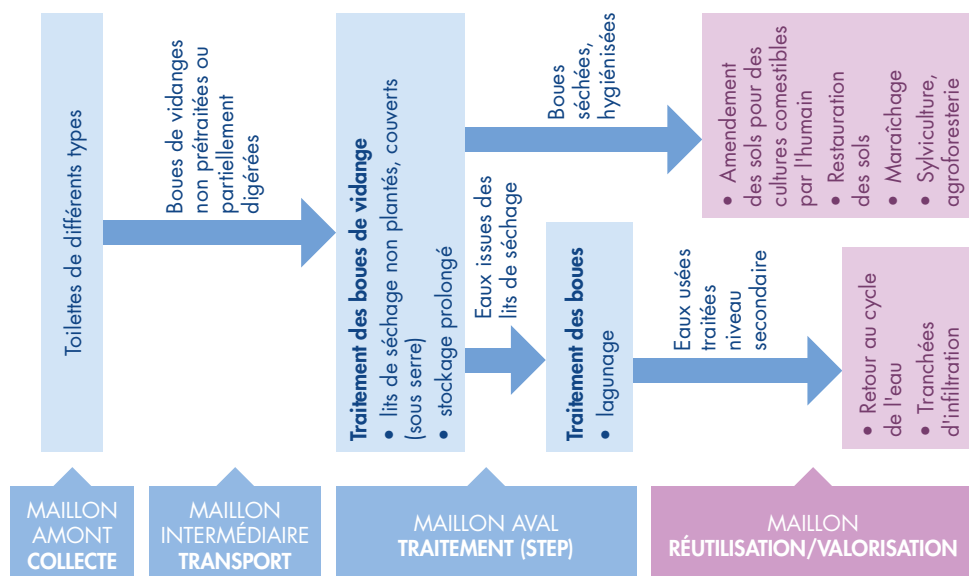
ACTIVITÉS AGRICOLES

Réhabilitation de zones minières ou industrielles, des sols endommagés par l'agriculture intensive

RÉHABILITATION DES SOLS

Un usage pour la sylviculture et l'agroforesterie était initialement envisagé pour ces boues séchées hygiénisées. Toutefois, le potentiel de ces boues séchées hygiénisées en tant qu'amendement agricole rencontre un intérêt

croissant auprès des agriculteurs et maraîchers locaux. La demande agricole en vient ainsi à dépasser les capacités de production de la STBV.



2) Quelles démarches de co-construction avec les parties prenantes, en particulier les utilisateurs du produit réutilisé/valorisé ?

◀ Retour au sol des matières

Le retour à la terre de la matière organique et des nutriments contenus dans les boues séchées représente un bénéfice environnemental pour les espaces forestier du bassin versant. La valorisation des boues permet de restaurer les sols dans une optique de reboisement des bassins versants de la région Haute Matsiatra, tout en soutenant des pratiques agroécologiques.

Ce bénéfice s'inscrit en cohérence avec un autre projet mené dans le cadre de la coopération décentralisée, visant à restaurer les bassins versant de la région Haute Matsiatra. Ce projet consiste à développer une démarche de GIRE (planification concernée, protection de la ressource...) en lien avec le renforcement des compétences en matière de gestion agricole et forestière, afin de promouvoir une gestion durable et circulaire des ressources locales.

3) Quelle est la stratégie adoptée pour la gestion du risque sanitaire ?

À Madagascar, le secteur de l'assainissement est encadré par le Code de l'Eau de 1999 et ses décrets d'application (2003, 2007), qui régissent l'organisation du service public de l'eau et de l'assainissement. La Politique et Stratégie Nationale pour l'Assainissement (2008) et le Programme Secto-

riel Eau, Assainissement et Hygiène (2019-2023) complètent ce cadre en définissant des orientations pour la gestion des déchets. Le secteur de la valorisation des produits d'assainissement n'est pas encadré au niveau national.

En l'absence de cadre national, une réglementation municipale a été développée dans le cadre du programme 3F, s'appuyant sur

les recommandations de l'OMS et sur la norme française NFU 44-051.

POUR EN SAVOIR + :

- Pour en savoir plus, consultez [la Fiche Pays Madagascar du pS-Eau](#)

➤ Définir et contrôler des objectifs de qualité du produit sortant du système de traitement

La stratégie de gestion du risque sanitaire liée à l'usage des boues séchées hygiénisées repose sur l'application d'un traitement poussé d'hygiénisation. S'ajoutant au séchage sur lits couverts (serres) qui permet déjà d'obtenir une hygiénisation significative, le séchage prolongé pendant une durée de 8 mois permet de poursuivre l'abattement des pathogènes et d'obtenir ainsi des boues séchées pouvant être considérées comme hygiénisées.

Au stade de la mise en œuvre de la chaîne de l'assainissement via le projet 3F, des analyses ont été réalisées en France, par le SIAAP et, un laboratoire rennais, Labocéa et un laboratoire en Grande Bretagne (Ridgeway Research). Au stade du fonctionnement, compte tenu des capacités locales limitées pour la réalisation d'analyses des boues, la gestion du risque sanitaire peut difficilement reposer sur des mesures de contrôle de la qualité des produits.

➤ Considérer les barrières post-traitement : modalités d'usages des produits issus de la filière de l'assainissement

S'agissant de la prise en compte des mesures d'hygiène, la gestion du risque sanitaire est davantage axée sur les maillons amont et intermédiaires, que sur le maillon valorisation. Les démarches déjà engagées dans le cadre

du projet 3F, de sensibilisation à l'hygiène et promotion de l'équipement des ménages en latrines, sont poursuivies par la municipalité via des « Brigades d'Assainissement et d'Hygiène ».

4) Quel est le modèle organisationnel et économique prévu ? Quels enjeux pour l'instaurer et le pérenniser ?

➤ Modèle organisationnel

Le transport des boues de vidange ainsi que leur traitement au niveau de la STBV relèvent de la responsabilité de la commune de Fianarantsoa, autorité organisatrice du service d'assainissement. À ce titre, la mise en œuvre du traitement d'hygiénisation supplémentaire de séchage prolongé a relevé de la maîtrise d'ouvrage de la commune.

La commune confie la gestion de la collecte et du traitement des boues de vidanges à plusieurs entreprises locales via des contrats de Délégation de Service Public. Un contrat

concerne d'une part la gestion des blocs sanitaires (contrats de 1 à 4 ans, renouvelables). Un autre contrat, dont l'entreprise Ecodio est titulaire, concerne la vidange et le traitement au sein de la STBV, y compris la préparation des boues séchées pour leur vente (contrat de 10 ans).

Les utilisateurs des boues séchées viennent s'approvisionner au niveau de la STBV. Il existe également des points de vente, que l'entreprise Ecodio se charge d'approvisionner.

◀ Modèle économique

L'équilibre du modèle économique de l'ensemble de la filière de l'assainissement repose sur les recettes obtenues auprès des usagers du service d'assainissement, utilisateurs des latrines privées et publiques. Concernant les latrines privées, les usagers du service paient le service de vidange. Concernant les latrines publiques, les usagers paient pour leur utilisation. Ce sont ces recettes qui couvrent l'ensemble des charges nécessaires au fonctionnement de la filière de l'assainissement.

La vente des produits valorisés, bien qu'elle ait eu du succès, n'est pas considérée comme la source de financement principale pour la filière d'assainissement. La vente des boues séchées hygiénisées sert à couvrir les coûts liés à la valorisation, tels que le criblage, l'emballage et le marketing, mais ne constitue pas une source de financement suffisante pour la pérennité du service.

Il n'était pas prévu que le modèle économique repose sur une opportunité d'obtenir des recettes supplémentaires via la vente des boues séchées hygiénisées. Toutefois, le succès rencontré par ce produit auprès de divers utilisateurs le permet finalement. Les boues séchées hygiénisées sont en effet vendues à des viticulteurs, entreprises agricoles (production de quinine, céréalières, café), maraîchères, forestières.

La commune de Fianarantsoa est propriétaire des latrines publiques, de la station de traitement des boues de vidange (STBV) et des équipements de vidange. La commune définit les tarifs d'utilisation des latrines publiques, des services de vidange et de la vente des boues séchées hygiénisées, ce qui lui permet d'ajuster ces tarifs afin de garantir l'équilibre du modèle économique tout en soutenant le développement de la filière de valorisation.

Au départ, le tarif de vente des boues séchées a été fixé à un niveau bas, puis a été progressivement augmenté, tout en restant inférieur au prix des produits concurrents.

Les engrais chimiques représentent des produits concurrentiels dont la substitution est souhaitable compte tenu de leur impact environnemental lié à leur mode de production. Ils sont toutefois peu utilisés à Fianarantsoa. Le fumier est également peu disponible.

Il existe une plateforme de compostage sur la commune de Fianarantsoa. Le compost constitue un produit concurrentiel pour les boues séchées issues de la STBV, au sens de la pérennité de leur débouché. Toutefois, le compost est également un produit issu de la valorisation de la matière organique, ainsi, il n'y a pas d'intérêt, d'un point de vue environnemental, à ce que l'usage des boues séchées rentre en concurrence avec l'usage du compost voire le substitue. Les deux produits sont complémentaires car présentent des avantages spécifiques à différents usages : le compost est particulièrement bénéfique pour améliorer la structure des sols, tandis que les boues séchées présentent des propriétés fertilisantes supérieures. Ainsi, les boues séchées hygiénisées rencontrent plus particulièrement l'intérêt des agriculteurs locaux.

À noter que l'option de poursuivre l'hygiénisation des boues issues des lits de séchage au niveau de la plateforme de compostage existante, plutôt que sur site au moyen d'un stockage prolongé, a été écartée. Cela a été motivé par l'éloignement de la plateforme de compostage et pour éviter une coordination potentiellement complexe, entre délégataires privés gestionnaires de la STBV et de la plateforme de compostage, qui sont distincts.

5) Quelles démarches de co-construction avec les parties prenantes, en particulier les utilisateurs du produit réutilisé/valorisé ?

◀ Informer et sensibiliser sur le risque sanitaire et démontrer l'intérêt de l'usage du produit

Sur les Hautes Terres de Madagascar, l'utilisation agricole des boues de vidange est historiquement peu courante et peut susciter des réticences. Dans ce contexte, des essais ont été réalisés dans le cadre du projet de coopération décentralisée auprès d'agriculteurs, afin de tester l'intérêt agronomique du produit. Ces tests ont porté sur le maraîchage, le reboisement et les pépinières, avec des résultats très positifs en termes de rendement et d'efficacité.

En intégrant directement les utilisateurs dans la phase de test, le projet a permis une appropriation progressive de la valorisation des boues. Ce sont les retours d'expérience

des agriculteurs eux-mêmes qui ont nourri le changement de regard : le produit, initialement considéré avec méfiance, est aujourd'hui demandé pour ses qualités agronomiques et son faible coût.

La diffusion de ces retours positifs a été facilitée par un réseau de personnes-relais auprès des agriculteurs, dénommés « maîtres exploitants », formés pour transmettre leur expérience et convaincre d'autres producteurs. La demande dépasse aujourd'hui les capacités de production, montrant que les représentations initiales ont largement évolué grâce à cette démarche participative et démonstrative.

◀ Coconstruire un modèle organisationnel

Le mode de pilotage du projet a reposé sur un travail étroit avec l'ensemble des acteurs concernés : commune, autorités sanitaires, services techniques du ministère, opérateurs locaux, comités d'hygiène et représentants des usagers. Cette concertation a permis d'intégrer les différents points de vue, d'anticiper les contraintes et d'ajuster les choix techniques différents aux réalités locales.

Des scénarios techniques, organisationnels et financiers, ont été construits collectivement, impliquant en particulier la commune pour affiner et valider les orientations. Les instances de pilotage (comité technique, comité de pilotage) ont joué un rôle structurant, en favorisant une gouvernance partagée et

une coordination entre niveaux local, régional et national.

La mise en place de contrats de délégation de service public (DSP), co-signés par la commune et le ministère, illustre la volonté de consolider des cadres clairs de responsabilité, tout en encourageant des pratiques de gestion rigoureuses (contrats courts, évaluations régulières).

Ce dialogue permanent a permis non seulement d'assurer la faisabilité du projet, mais aussi de construire une dynamique collective, où chaque acteur se sent légitime et engagé dans la réussite du dispositif.

➤ Accompagner le changement de pratiques

L'appui technique apporté par Practica, dans le cadre de la coopération décentralisée, a été décisif pour structurer la filière. Au-delà des aspects techniques, cet accompagnement a aussi permis de renforcer la capacité des acteurs locaux à travailler ensemble, à structurer des services adaptés et à s'engager dans la durée.

Ainsi, l'entreprise Ecodio, créée dans le cadre du projet en s'appuyant sur le tissu associatif local, a été accompagnée pendant plusieurs années pour devenir un opérateur professionnel aujourd'hui en charge de la collecte et du traitement à l'échelle de la

ville. Cette évolution s'est faite par étapes, en lien étroit avec les besoins du terrain et les capacités des équipes locales.

Parallèlement, des artisans ont été formés pour la construction et l'entretien des latrines, des agriculteurs ont été mobilisés par le dispositif de « maîtres exploitants »

L'ensemble de ces actions s'est inscrit dans une logique de transfert progressif des compétences, avec un appui technique visant à soutenir la mise en place et le fonctionnement de la filière sur le long terme.

Conclusion générale

Ce guide donne une vision d'ensemble des possibilités de réutilisation et de valorisation des produits issus de l'assainissement, sans se restreindre aux filières d'assainissement ou aux usages les plus répandus.

Les possibilités de réutilisation et de valorisation concernent aussi bien l'assainissement collectif que les systèmes à la parcelle, y compris ceux intégrant des dispositifs de réutilisation ou de valorisation à domicile. S'agissant de l'assainissement collectif, toutes les filières de traitement peuvent être concernées, qu'il s'agisse de filières intensives ou extensives.

Les choix en matière de forme d'assainissement, d'échelle, de procédé des traitements, doivent reposer sur une analyse du contexte. Penser la filière d'assainissement en y intégrant une réutilisation valorisation de ces produits, donne une autre dimension à certains des critères de choix et en introduit de nouveaux, liés à la filière de réutilisation/valorisation.

Ce guide aborde les enjeux clés sur lesquels doivent se pencher les porteurs d'un projet d'assainissement intégrant une réutilisation/valorisation des produits.

Les bénéfices environnementaux : des opportunités à objectiver.

Si les bénéfices environnementaux de la valorisation sont souvent mis en avant — substitution au prélèvement de ressources naturelles, retour au sol, récupération d'énergie — ils doivent être examinés finement dans chaque contexte. Cela suppose d'évaluer les effets à l'échelle du bassin versant, de l'usage des eaux usées traitées par rapport aux pratiques de référence, de considérer les consommations énergétiques induites par les traitements supplémentaires et le transport des produits jusqu'aux utilisateurs finaux, et de vérifier la compatibilité environnementale des produits avec les milieux récepteurs.

Le risque sanitaire : un équilibre entre sécurisation des usages et développement des possibilités

Le risque sanitaire ne concerne pas uniquement les consommateurs finaux dans le cas d'un usage agricole, mais l'ensemble des personnes exposées tout au long de la filière d'assainissement jusqu'à son maillon réutilisation/valorisation. La gestion de ce risque peut reposer sur plusieurs leviers, qui peuvent être activés conjointement : traite-

ments supplémentaires de désinfection/hygiénisation ; modalités d'usage permettant en complément du maillon traitement, de poursuivre l'abattement des pathogènes et de réduire l'exposition de différents acteurs ; restrictions à des usages induisant de fait une exposition maîtrisée au risque. Ces leviers doivent être activés en cohérence avec le cadre réglementaire lorsqu'il existe (et à défaut peut s'appuyer sur les référentiels internationaux tels que celui de l'OMS), mais également avec les pratiques et les capacités techniques et financières des acteurs intervenant tout au long de la filière d'assainissement, y compris des utilisateurs finaux ciblés.

Le modèle organisationnel et économique : une condition de viabilité.

L'introduction d'un maillon valorisation/réutilisation implique de nouvelles fonctions à assurer et de nouvelles charges financières associées, qui doivent être en adéquation avec les capacités techniques et financières des acteurs intervenant tout au long de la filière d'assainissement. En outre, il est souvent utopique de faire reposer la viabilité économique de la filière sur l'opportunité de « nouvelles recettes ». La demande des usagers pour le produit réutilisé/valorisé dépend de

la concurrence pouvant ou non exister avec une ressource remplissant une fonction équivalente : présence d'une ressource en eau gratuite ou bien situation de stress hydrique, disponibilité et coût de fumiers et d'engrais.

Les aspects sociologiques : un enjeu transversal

L'implication des acteurs concernés par la gestion des différentes fonctions, ainsi que les utilisateurs finaux ciblés des produits de l'assainissement, devrait permettre une prise en compte de la perception des risques sanitaires et de l'intérêt du produit et des éventuelles réticences aux changements de pratiques que peut impliquer la réutilisation/vvalorisation. Sur ces bases, les scénarios co-construits de choix technologiques de traitement, d'usages des produits, de gestion du risque sanitaire, de modèle organisationnel et économique pour le fonctionnement de la filière peuvent permettre de placer correctement le curseur entre une démarche d'information, de sensibilisation, voire de marketing, pour convaincre et accompagner aux changements de pratiques et de perceptions, mais aussi d'écarter des scénarios qui s'avèreraient inadaptes au contexte.

La contextualisation de ces enjeux a été abordée concernant quelques pays méditerranéens (Maroc, Tunisie, Palestine et Liban).

Dans un contexte de **tensions sur les ressources** en eau que connaissent les pays méditerranéens, **les eaux usées traitées** représentent une opportunité de disposer d'une **ressource dite non conventionnelle** et supplémentaire, pouvant participer à équilibrer l'offre et la demande en eau pour différents usages. Le réel bénéfice environnemental de cette réutilisation repose cependant sur son inscription dans une démarche de gestion intégrée des ressources en eau, prenant en compte le bilan hydrique global au niveau du bassin versant, les différents usages et usagers, humains et non humains.

Compte tenu de la **demande en eau importante du secteur agricole**, la réutilisation des eaux usées traitées pour cet usage est au

cœur des préoccupations. Globalement, les pays méditerranéens adoptent des **réglementations précautionneuses** pour prémunir les consommateurs des risques sanitaires. Cela peut limiter les possibilités d'usages agricoles des eaux usées traitées et inciter davantage à des usages tels que **l'irrigation d'espaces verts**. Dans ces contextes, les marges de manœuvre d'un porteur de projets qui voudrait développer une réutilisation des eaux usées traitées sont largement conditionnées par ces réglementations, mais la place peut toutefois être donnée à l'expérimentation, en particulier dans le cas de systèmes de traitement extensifs au niveau de filières d'assainissement rurales, voire de dispositifs à la parcelle.

Les acteurs étatiques, déconcentrés ou décentralisés des secteurs de l'assainissement et de l'agriculture, qu'il est nécessaire d'impliquer dans de tels projets, sont identifiés et il est d'usage de les lier par des conventions spécifiques pour la réutilisation des eaux usées traitées. De telles conventions permettent de mieux spécifier les rôles de chaque acteur de façon opérationnelle au stade du fonctionnement et de proposer des démarches participatives dès la genèse du projet, en impliquant en particulier les utilisateurs ciblés des eaux usées.

Bien que la **valorisation des boues** soit peu développée et encadrée réglementairement dans les pays méditerranéens, les enjeux environnementaux sont nombreux, surtout concernant les systèmes de traitement extensifs qui en produisent des volumes importants. Plutôt qu'une mise en décharge (filiales d'élimination qui peinent à fonctionner du fait du statut non clarifié des boues) leur valorisation permet de limiter l'impact environnemental des filières d'assainissement et de faire bénéficier les sols de leurs **propriétés structurantes et fertilisantes**. Cette opportunité, particulièrement intéressante dans les pays méditerranéens où les sols sont souvent asséchés et pauvres en matières organiques, peut bénéficier au **secteur agricole**, mais également à d'autres usages tels que la **res-**

tauration des terres dégradées ou encore, la sylviculture. La question du risque sanitaire se pose également, mais les réglementations sont peu développées. Quant aux acteurs à impliquer, ils ne sont pas définis précisément. Dans ce contexte, un porteur de projet qui souhaiterait développer ces usages dispose d'une marge de manœuvre pour proposer, en lien avec les autorités compétentes, une stratégie de gestion du risque sanitaire et un modèle de gestion et de financement.

Au côté de ces pratiques officielles, déjà en plein essor pour la réutilisation des eaux usées traitées et en cours d'expérimentation et de structuration pour la valorisation des boues, il existe également des **pratiques « informelles »** largement généralisées de réutilisation des eaux et des boues. Ces pratiques doivent être identifiées et les acteurs concernés impliqués, dans les démarches d'analyse du contexte et d'élaboration de scénarios.

Bien que peu présentes dans les pays méditerranéen, **d'autres potentialités de valorisation** peuvent également être envisagées. **L'usage du potentiel énergétique des boues**

présente l'opportunité d'optimiser le bilan énergétique de la filière d'assainissement. Mais sa pertinence doit être mise en balance avec les capacités techniques et financières de l'acteur en charge de l'exploitation des digesteurs. D'autres usages plus marginaux, et présentant un enjeu environnemental moindre, sont envisageables, tels que l'usage des végétaux issus de lits planté ou de bassins pour de l'artisanat, l'usage des lentilles d'eau issues du lagunage pour l'alimentation animale, l'usage de biochar issu de procédés de pyrolyse pour des matériaux de construction. A noter que ces usages sont peu ou pas concernés par l'enjeu du risque sanitaire.

Pour conclure, la réutilisation ou la valorisation des produits issus de l'assainissement constitue une opportunité majeure pour renforcer les logiques de circularité des ressources dans des contextes marqués par la pression sur les ressources naturelles, les besoins croissants en eau et en intrants organiques et la nécessité de limiter les impacts environnementaux des systèmes d'assainissement.

Ce guide présente les enjeux forts de ce changement de paradigme pour l'assainissement et propose des points clés à retenir pour guider l'action ainsi que des ressources pour aller plus loin.

Cette publication a été réalisée grâce au soutien de l'**Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse**, de l'**Office français de la biodiversité (OFB)** et de l'**Agence française de développement (AFD)** en partenariat avec l'**INRAE**.

La publication est également disponible en versions numériques française, anglaise et arabe sur la page web dédiée sur www.pseau.org/valo-reuse-assainissement.



PROGRAMME SOLIDARITÉ EAU

22 rue des Rasselins 75020 Paris / pseau@pseau.org

www.pseau.org

© pS-Eau 2025

Possibilités et enjeux de la réutilisation et de la valorisation dans la filière assainissement

Focus sur les pays du sud de la Méditerranée

Repenser l'assainissement, en termes de circularité des flux et matières, constitue un changement de paradigme, ajoutant une nouvelle dimension aux objectifs traditionnels de salubrité et de préservation de l'environnement. L'angle adopté par ce guide porte sur les enjeux de l'intégration d'un maillon « valorisation et réutilisation » dans la filière de l'assainissement, en considérant ses aspects technologiques, mais également socio-économiques.

Le guide a pour objectif de donner des clés de compréhension et des ressources afin d'identifier et de prendre en compte :

- Les possibilités de réutilisation et valorisation des produits issus de la filière de l'assainissement, en adoptant une vision large qui englobe l'ensemble des formes d'assainissement et procédés de traitement possibles ainsi que l'ensemble des produits sortants et leurs usages possibles ;

- Les enjeux principaux que représente l'intégration d'une réutilisation et une valorisation de ces produits, qui doivent être pris en compte pour aborder un projet d'assainissement intégrant une réutilisation/valorisation.

Ce guide aborde ces possibilités et enjeux dans le cas du contexte des pays du sud de la Méditerranée, en particulier le Maroc, la Tunisie, la Palestine et le Liban, mais il donne également des clés pour aborder les possibilités de mettre en œuvre une démarche de réutilisation et de valorisation dans la filière assainissement dans tous pays.

Étude réalisée en
partenariat avec



INRAE

Avec le soutien de



Accédez à la version numérique
en scannant le QR code

Pour plus d'informations :

www.pseau.org/valo-reuse-assainissement

