



**Etude de faisabilité  
d'un projet pilote d'écologie industrielle et territoriale :**

**Etude de la valorisation énergétique des boues  
de la station d'épuration de Villepreux**

Projet financé par :



Etude réalisée par :



## **Mandant :**

Association Patrimoniale de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets

### **Marie de Naurois**

Animatrice du GAL Plaine de Versailles

## **APPVPA**

Mairie de Noisy-le-Roi

37, rue André Bourblanc

BP 32

78502 Noisy-le-Roi Cedex

## **Document réalisé par :**

### **Sofies SA (siège)**

1, rue du Vuache

CP 2091

1211 Genève 1

Suisse

Tél : +41 22 338 15 24

Web: [sofiesonline.com](http://sofiesonline.com)

### ***Chef de projet***

Charlotte Thévenet ([charlotte.thevenet@sofiesonline.com](mailto:charlotte.thevenet@sofiesonline.com))

### ***Expert énergie***

Pierre-Michel Bruder

ENERConcept.ch

## TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>CONTEXTE ET OBJECTIFS</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>ELARGISSEMENT DU CHAMP DES SCÉNARIOS ETUDIÉS</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ETAT DE LA SITUATION DES BOUES PRODUITES À LA STATION DE VILLEPREUX</b>	<b>6</b>
3.1	Etat des lieux de la production de boues	6
3.2	Etat des lieux des filières de traitement des boues	6
3.3	Etat des lieux de l'assainissement sur la moitié sud-est de la Plaine de Versailles	7
<b>4</b>	<b>SCÉNARIO 1 : CO-INCINÉRATION EN CIMENTERIE</b>	<b>8</b>
4.1	Généralités sur l'acceptation des boues de station d'épuration en cimenterie	8
4.2	Identification de la (ou des) cimenterie(s) à proximité	8
4.3	Résultats avec la cimenterie de Gargenville	9
<b>5</b>	<b>SCÉNARIO 2 : VALORISATION PAR LE BIAIS DE LA MÉTHANISATION HORS SITE</b>	<b>9</b>
5.1	Généralités sur la valorisation des boues de station d'épuration par le biais de la méthanisation	9
5.2	Identification du (ou des) projet(s) de méthanisation de boues de STEP	9
5.3	Faisabilité technique de l'intégration des boues de Villepreux au Carré de la Réunion	10
5.4	Faisabilité économique et réglementaire de l'intégration des boues de Villepreux au Carré de la Réunion	11
5.5	Perspectives	12
<b>6</b>	<b>SCÉNARIO 3 : VALORISATION PAR LE BIAIS DU COMPOSTAGE HORS SITE</b>	<b>12</b>
6.1	Généralités sur la valorisation des boues de station d'épuration par le biais du compostage	12
6.2	Compostage hors site des boues de Villepreux	12
6.3	Pré-analyse de la qualité des boues pour la production de compost	13
6.4	Identification de la (ou des) plateforme(s) de compostage de déchets verts intéressées par l'intégration de boues	14
6.5	Organisation de la plateforme	15
6.6	Estimation des coûts	16
6.7	Faisabilité réglementaire	17
<b>7</b>	<b>SCÉNARIO 4 : VALORISATION PAR LE BIAIS DU SÉCHAGE</b>	<b>17</b>
7.1	Généralités sur le séchage des boues de station d'épuration	17
7.2	Evaluation des sources de chaleur	17
7.3	Pré-dimensionnement des installations de séchage solaire combiné	19
7.4	Positionnement préliminaire des installations	21
7.5	Estimation du coûts des installations	22
7.6	Faisabilité réglementaire	22
<b>8</b>	<b>EVALUATION COMPARATIVE DES SCÉNARIOS 2 À 4</b>	<b>23</b>
<b>9</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>23</b>
<b>10</b>	<b>ANNEXES</b>	<b>24</b>
10.1	Détail du coût des installations du séchage solaire combiné	24
10.2	Cartographie du zonage réglementaire extraite du PPRI du Ru de Gally	25

## 1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

La station d'épuration (STEP) de Villepreux est une infrastructure gérée par le Syndicat Intercommunal d'Assainissement Val de Gally Ouest (SIAVGO) qui regroupe les communes des Clayes sous Bois, Noisy le Roi, Saint Nom la Bretèche et Villepreux.

L'installation a une capacité maximale annuelle de 45'000 équivalents habitants, soit une capacité maximale d'épuration de 8.8 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées urbaines. La capacité moyenne actuellement utilisée pour l'assainissement et le traitement des eaux usées de ces communes est de 36'000 équivalents habitants.

Cette installation est exploitée depuis 2001 par Veolia Eau par le biais d'un contrat de délégation de service public (DSP). Ce contrat de DSP a été renouvelé au 1er janvier 2013 pour une durée de 12 ans. La gestion des boues de la station, autrefois déléguée à un autre prestataire, est passée sous la responsabilité de Veolia lors du renouvellement de la DSP. Le nouveau contrat comporte des clauses prévoyant la mise en place de mesures d'amélioration de la station pour une meilleure intégration dans son environnement.

A ce titre, SOFIES a été mandaté par l'Association Patrimoniale de la Plaine de Versailles et du Plateau des Alluets (APPVPA) pour l'accompagner dans l'**étude de scénarios de valorisation énergétique des boues produites par la station de Villepreux**, en accord avec les principes de l'écologie industrielle et territoriale. **L'écologie industrielle et territoriale** prévoit la mise en œuvre de symbiose industrielle, un nouveau mode de collaboration entre acteurs économiques basé sur l'échange de flux physiques (matière ou énergie) et poursuivant des objectifs d'économies de ressources, d'impacts environnementaux et d'économies financières. Ce projet porté par l'APPVPA, dont le périmètre d'application comprend les quatre communes membres du SIAVGO, s'inscrit dans sa stratégie de faire de la Plaine de Versailles une zone pilote de l'écologie industrielle et territoriale.

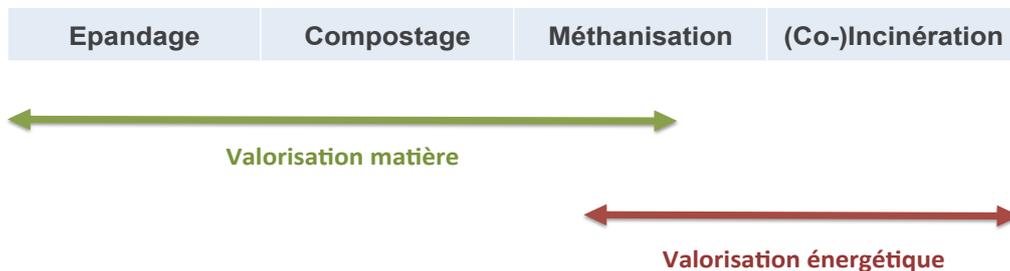


*Photographie aérienne du site (source : Veolia) :*

*La station d'épuration de Villepreux est au premier plan en bordure de la D97 (rue de Villepreux). L'ensemble de bâtiments visibles en haut à droite est le complexe de la ferme de Mézu.*

## 2 ELARGISSEMENT DU CHAMP DES SCÉNARIOS ETUDIÉS

Les filières de valorisation des boues de station d'épuration sont synthétisées dans le schéma ci-dessous :



La réglementation s'est renforcée ces dernières années pour l'épandage agricole et, pour la mise en décharge, avec, pour cette dernière, l'exigence d'une siccité minimale<sup>1</sup>. En effet, dans le cadre de la loi sur l'eau du 3 janvier 1992, les boues ne devaient plus être admises en centre de stockage à partir de juillet 2002, mais la circulaire européenne du 26 avril 1999 a repoussé cette échéance en planifiant la réduction progressive de la mise en décharge des déchets municipaux biodégradables avant interdiction totale en 2015.

Les scénarios envisagés à l'étude, initialement avec l'APPVPA, sont centrés autour de la thématique de la valorisation énergétique des boues, soit les technologies de la méthanisation et de la co-incinération en cimenterie.

La visite du site de la station d'épuration de Villepreux prévue au démarrage de l'étude a révélé un potentiel faible vis-à-vis de la méthanisation compte tenu du procédé d'assainissement. Cela s'explique par l'absence d'un procédé de traitement dit « primaire » à la station, et donc l'absence de boues fraîches à pouvoir fermentescible plus élevé que d'autres boues comme celles produites à l'issue du traitement biologique (dit « secondaire »). L'approfondissement de la piste « co-incinération en cimenterie » a également rapidement révélé certaines barrières décrites dans ce rapport pour le cas de la station de Villepreux.

Dans la mesure où cette étude de faisabilité se doit d'apporter des éléments d'analyse d'ordre technique, économique, réglementaire et environnementale, il a été convenu d'élargir l'étude au champ de la valorisation matière, à savoir le compostage et le séchage de boues fonctionnant sur la base d'énergies renouvelables.

La particularité de cette étude, par rapport aux travaux déjà menés par le prestataire en charge de la gestion des boues, réside sur l'approche d'écologie industrielle et territoriale. En résumé, les scénarios analysés dans le cadre de cette étude de faisabilité sont :

1. la **co-incinération en cimenterie**.
2. la **méthanisation hors site**. Le procédé actuel d'assainissement ne permet pas d'envisager un procédé de méthanisation en propre. Cette solution technologique est proposée d'être approfondie en intégrant des projets locaux de méthanisation de boues existants capables de prendre en charge des boues biologiques.
3. le **compostage hors site**. Il s'agit d'analyser le potentiel de faisabilité de création d'une plateforme de compostage commune à plusieurs stations d'épuration inscrites dans le périmètre de la Plaine de Versailles.
4. le **séchage des boues** fonctionnant sur la base d'une **combinaison de sources d'énergies renouvelables : l'énergie solaire et la chaleur des eaux épurées**<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Rapport de masse de matières sèches aux boues humides

<sup>2</sup> L'étude de ce scénario découle d'une autre étude de faisabilité réalisée par Sofies pour le compte l'APPVPA, dont les résultats sont présentés dans le rapport intitulé *Etude de la valorisation énergétique et matière des eaux épurées de la station d'épuration de Villepreux*.

### 3 ETAT DE LA SITUATION DES BOUES PRODUITES À LA STATION DE VILLEPREUX

Les informations chiffrées collectées auprès du prestataire sont basées sur les productions des années 2009, 2010 et 2011. Les données 2012 n'ont pas été retenues dans le cadre de l'étude en raison d'une chute inexplicable de la production et l'année 2013 est une année de transition dans la gestion des boues à Villepreux.

#### 3.1 Etat des lieux de la production de boues

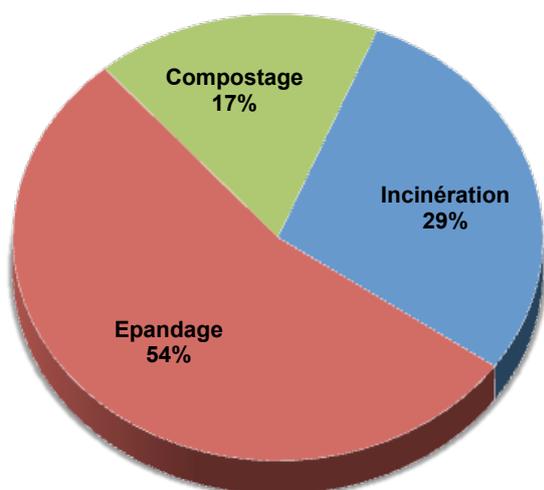
Les boues collectées en sortie de bassins de clarification sont traitées par centrifugation puis chaulage, permettant d'atteindre respectivement des taux moyens de siccité de 21% et 30%. Les caractéristiques de la production des boues sont synthétisées dans le tableau ci-dessous.

Type de boues	biologique urbaine de type aération prolongée sans composante industrielle
Modes de déshydratation (taux moyens de siccité)	centrifugation (21%)
	chaulage (30%)
Tonnage annuel de matière sèche	546 t/an
Tonnage de boues humides (sortie centrifugeuse)	2 600 t/an

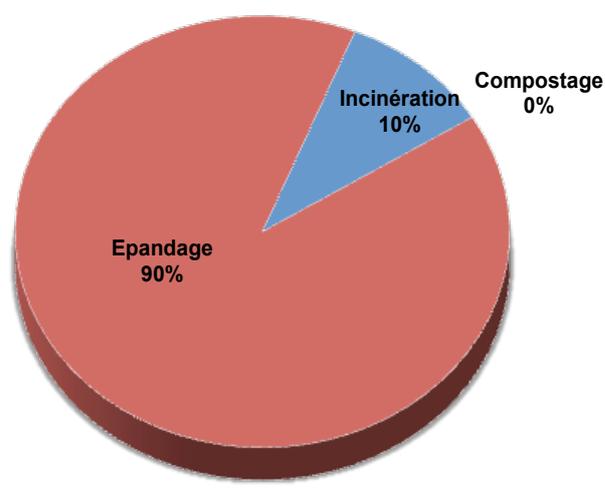
#### 3.2 Etat des lieux des filières de traitement des boues

Jusqu'en 2012, les trois filières de traitement sont les suivantes : l'épandage agricole, le compostage et l'incinération selon la répartition représentée par le camembert ci-après à gauche, élaboré sur la base des tonnages évacués en 2010 et 2011. A noter que les boues traitées en compostage sont envoyées à cette époque sur la plateforme Terralys située à Dreux dans le Loiret.

En 2013, le renouvellement de la DSP a conduit à une évolution dans la répartition des filières, au profit de l'épandage et aux dépens du compostage, tel que décrit par le camembert ci-après à droite.



Filières de traitement des boues entre 2010 et 2011



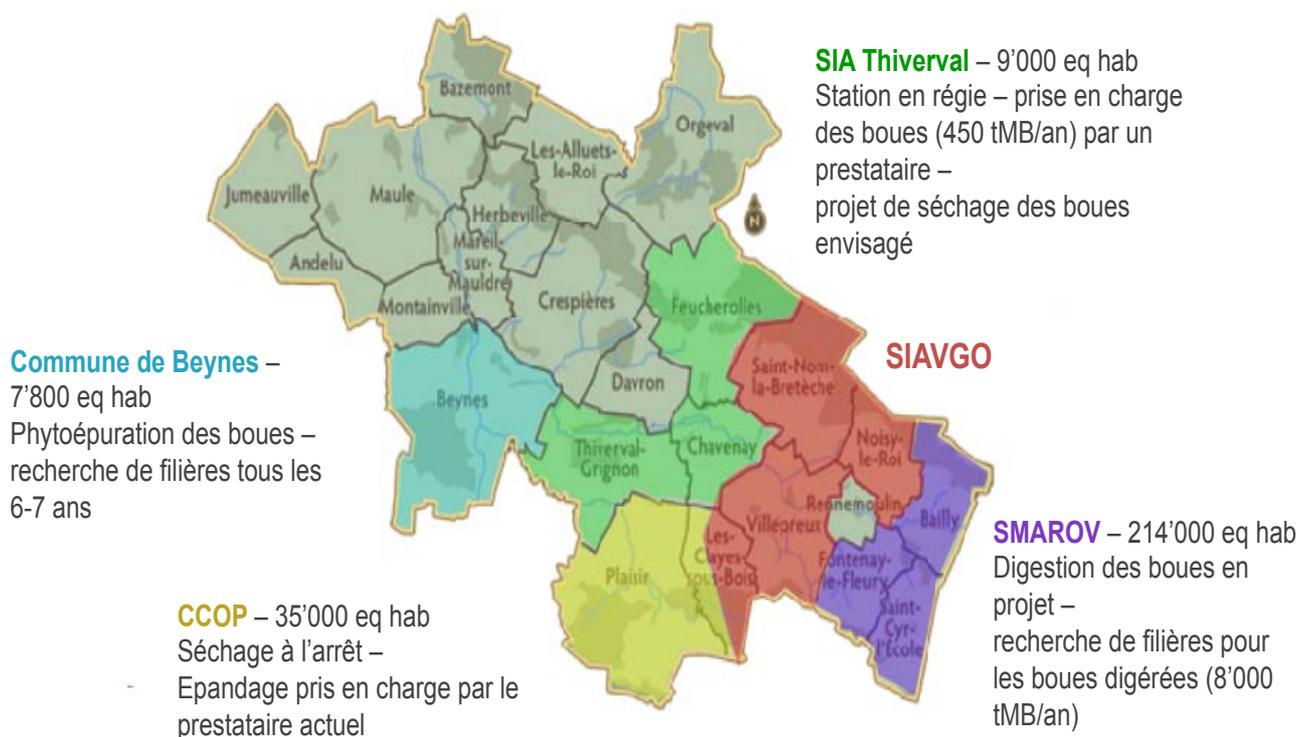
Filières de traitement des boues en 2013

Les coûts des filières épandage et compostage ont été transmis par l'ancien prestataire en charge de la gestion des boues, à savoir la société Terralys. Le coût relatif à la filière incinération n'a pas été transmis.

	Coûts moyens (€ HT/ t 2011 - 2012)
Filière épandage	
épandage	7
transport 0-15 km	6
transport 15-50 km	8
Filière compostage	
compostage	48
transport Loiret (150 km)	18

### 3.3 Etat des lieux de l'assainissement sur la moitié sud-est de la Plaine de Versailles

Des entretiens auprès des syndicats d'assainissement et des communes situés sur la moitié sud-est de la Plaine de Versailles ont permis de réaliser un état des lieux du traitement des boues synthétisés sur la carte ci-dessous.



source : Sofies

## 4 SCÉNARIO 1 : CO-INCINÉRATION EN CIMENTERIE

### 4.1 Généralités sur l'acceptation des boues de station d'épuration en cimenterie

Les retours d'expérience révèlent deux cas de figure qui dépendent du taux d'humidité des boues de station :

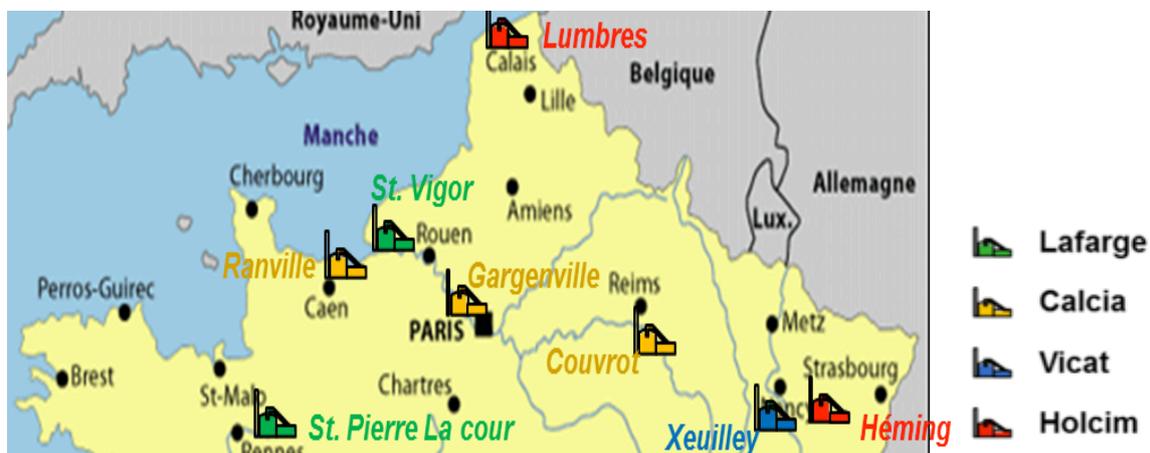
- lorsque l'on est en présence de boues fraîches ou déshydratées, leur pouvoir calorifique est trop bas pour les considérer comme un combustible de substitution. Il s'agit dans ce cas d'une prestation de service d'élimination dont les tarifs appliqués sont similaires à ceux de l'incinération dans des fours à ordures ménagères.
- lorsque les boues sont sèches (taux d'humidité < 10%), elles présentent les caractéristiques d'un véritable combustible alternatif, surtout si ce sont des boues non digérées.

Les technologies de séchage thermique des boues sont nombreuses à l'heure actuelle. Néanmoins l'atteinte d'un taux d'humidité inférieur à 10% par séchage est difficilement envisageable du point de vue économique pour une station de la taille de Villepreux.

Le deuxième cas de figure n'étant pas envisageable pour des raisons économiques, l'analyse porte sur le premier cas, à savoir l'envoi de boues déshydratées en sortie de la station en cimenterie. On parle alors de co-incinération, plutôt que de valorisation. Comme le coût de cette filière est peu compétitif, celle-ci pourrait être considérée, si son potentiel est vérifié, dans le cas d'une approche multi-filière avec un faible pourcentage de boues dédié.

### 4.2 Identification de la (ou des) cimenterie(s) à proximité

Les cimenteries implantées dans la moitié nord de la France sont représentées sur la carte ci-dessous.



source : Sofies

La cimenterie la plus proche est l'installation du groupe Calcia implantée à Gargenville, située à un peu plus de 35 km de Villepreux. Cette distance est tout à fait raisonnable pour approfondir la piste.

Les autres cimenteries sont exclues de l'analyse puisque la distance minimale entre la station et une cimenterie, en excluant Gargenville, est de l'ordre de 180 km.

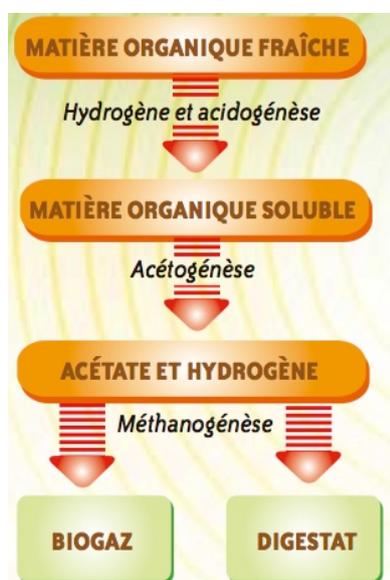
### 4.3 Résultats avec la cimenterie de Gargenville

Un contact auprès de la direction industrielle du groupe Calcia révèle plusieurs barrières quant à un tel projet avec l'usine de Gargenville.

La première repose sur le fait que l'équipement industriel ne dispose d'aucune autorisation d'utilisation de combustibles de substitution dans son arrêté préfectoral d'exploitation. Par ailleurs, l'obtention d'une telle autorisation n'est pas jugée réaliste en raison de l'environnement de l'usine. Les relations avec les riverains les plus proches du site sont suffisamment sensibles pour que l'industriel écarte cette perspective.

## 5 SCÉNARIO 2 : VALORISATION PAR LE BIAIS DE LA MÉTHANISATION HORS SITE

### 5.1 Généralités sur la valorisation des boues de station d'épuration par le biais de la méthanisation



Réactions du processus de méthanisation (source : ADEME)

Le traitement des boues par méthanisation consiste à placer les boues dans des réacteurs anaérobies, appelés digesteurs, à l'intérieur desquels les réactions de fermentation sont optimisées et contrôlées. Ce traitement permet de transformer une partie des boues en biogaz, composé majoritairement de méthane ( $\text{CH}_4$ ) à 65% et de dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) à 35%.

La méthanisation nécessite des conditions physico-chimiques particulières pour optimiser la réaction biologique. La configuration la plus répandue est la digestion mésophile ( $35\text{-}37^\circ\text{C}$ ). On retrouve également la digestion thermophile ( $55^\circ\text{C}$ ), qui permet notamment d'augmenter la vitesse de réaction et d'assurer une hygiénisation<sup>3</sup> complète des boues.

Un autre avantage de la digestion des boues est la réduction de la masse avec un abattement de l'ordre de 40% de matières sèches.

### 5.2 Identification du (ou des) projet(s) de méthanisation de boues de STEP

Un premier projet de méthanisation de boues de STEP prévu d'être mis en place d'ici 2015-2016 par le Syndicat Intercommunal d'Assainissement de la Région de Neauphle-le-Château (SIARNC) a immédiatement été écarté par le SIAVGO en raison de l'absence de proximité entre élus des deux syndicats.

Un autre projet de méthanisation de boues d'épuration, plus proche de Villepreux, est celui de la station du Carré de la Réunion géré par le Syndicat Mixte d'Assainissement de la Région Ouest Versailles (SMAROV). Cette station située sur le site classé de Versailles est en pleine phase de chantier pour rénovation et extension, comme l'illustre la photo ci-dessous. Sa capacité finale sera de 214'000 équivalents-habitants par temps sec et 340'000 équivalents-habitants par temps de pluie. Un entretien avec l'exploitant représenté par Jean-Pascal Chuzel, chef du service Assainissement des Usines des Yvelines à la SEVESC (filiale de Lyonnaise des Eaux), a

<sup>3</sup> Elimination des agents pathogènes (germes fécaux, virus)

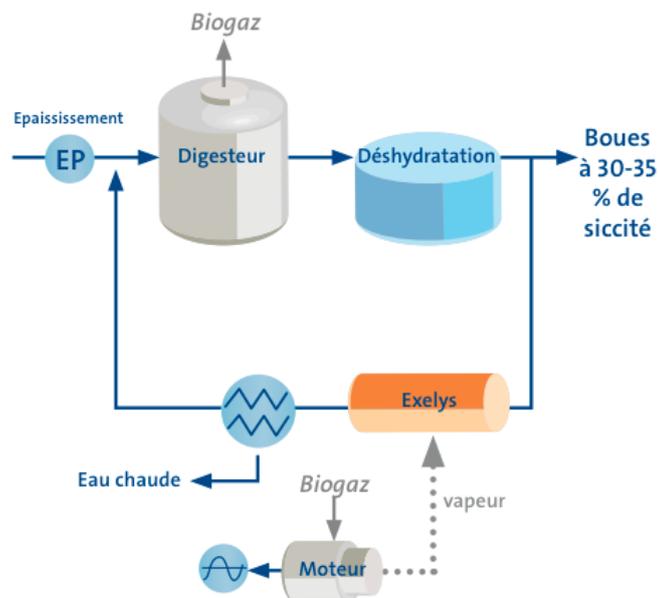
permis de préciser la faisabilité, sans pour autant en tirer des conclusions définitives compte tenu de l'agenda des chantiers actuels.



**Photographie aérienne de la future station jardin du Carré de la Réunion, à proximité du Château de Versailles** (source : [www.ecovine.com](http://www.ecovine.com))

### 5.3 Faisabilité technique de l'intégration des boues de Villepreux au Carré de la Réunion

Le procédé de digestion prévue sur le site du Carré de la Réunion est un procédé classique complété de la technologie EXELYS™, procédé d'hydrolyse thermique, permettant une production maximale de biogaz, supérieure à une digestion classique.



**Chaîne de procédés intégrant la technologie Exelys™** (source : Veolia Eau)

L'existence de ce procédé permettrait au site du Carré de la Réunion d'admettre des boues de siccité élevée, typiquement comprise entre et 20 et 30 %, telle qu'obtenue à partir des moyens classiques de déshydratation,

comme c'est le cas à Villepreux. Selon l'interlocuteur de la Sevesc, l'installation serait surdimensionnée par rapport à un fonctionnement habituel de la station, soit une production moyenne de 13'000 tonnes de boues brutes par an.

Même si l'installation en projet laisse ouverte la possibilité d'intégrer des boues disposant des caractéristiques de Villepreux, d'autres déchets pourraient être prioritaires compte tenu d'un potentiel méthanogène supérieur aux boues biologiques ( $250 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 / \text{ t MO}^4$ ), à l'image des graisses ( $855 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 / \text{ t MO}$ ) et des déchets de restauration ( $500 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4 / \text{ t MO}$ ).

#### 5.4 Faisabilité économique et réglementaire de l'intégration des boues de Villepreux au Carré de la Réunion

Le bilan économique n'a pu être précisé à ce stade, dans la mesure où les prévisions du constructeur doivent être validées par la pratique pour les seules boues de la station du Carré de la Réunion. Or les échéances calendaires du projet annoncent la mise en place partielle de la filière boues d'ici septembre 2014 pour une mise en place complète à fin 2015. En plus des coûts de fonctionnement, il est évident que des équipements supplémentaires à ceux déjà prévus seront nécessaires (quais de déchargement, installations de circulation des boues, etc.). Une problématique d'espace suffisant pour intégrer ces équipements pourrait alors se poser, avec les difficultés administratives et réglementaires qui se posent sur un site classé.

Par ailleurs, l'introduction des boues de Villepreux dans le méthaniseur de la station du carré de la Réunion fera évoluer le dispositif d'encadrement réglementaire de l'unité de digestion. En effet la digestion des boues d'épuration urbaines est encadrée par :

- la loi sur l'eau si la digestion concerne seulement les boues digérées sur leur site de production. La réglementation applicable est celle de la loi sur l'eau, rubrique 2110 définie à l'article R.214-1 du code de l'environnement.
- la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) en cas de mélange des boues avec d'autres boues provenant de stations extérieures. Le méthaniseur est alors considéré comme une installation de traitement de déchets non dangereux et donc soumis à la rubrique 2781-2 et à un régime d'autorisation selon la réglementation ICPE.

De manière générale, dès lors qu'une co-digestion a lieu, l'installation tombe sous l'application de la réglementation ICPE. Cela signifie que dans le cas où la station du Carré de la Réunion souhaite intégrer d'autres déchets comme les graisses ou les déchets de restauration, un dossier ICPE doit également être déposé. A noter néanmoins que la cométhanisation de boues de stations d'épuration urbaines avec d'autres types de déchets n'est pas encouragée par la réglementation puisque la circulaire du 24 décembre 2010 relative aux modalités d'application des décrets no 2009-1341, n° 2010-369 et n° 2010-875 modifiant la nomenclature des installations classées exerçant une activité de traitement de déchets [11] précise: *«la co- méthanisation de boues de station d'épuration d'effluents industriels ou urbains avec d'autres types de déchets relève de la rubrique 2781. Le recours à cette pratique doit néanmoins être aussi limité que possible car l'introduction d'un mélange entre boues de stations d'épuration et déchets complique singulièrement la mise en œuvre des mesure de remédiation en cas de pollution des terrains d'épandage du digestat issus de la co-méthanisation ».*

## 5.5 Perspectives

Si la volonté d'aller plus loin dans cette filière se fait sentir entre les deux syndicats (SIAVGO et SMAROV), en particulier justifiée par un bilan économique avantageux pour les deux parties, un dialogue récurrent entre syndicats doit se mettre en place afin d'être le plus juste en termes d'échéances calendaires.

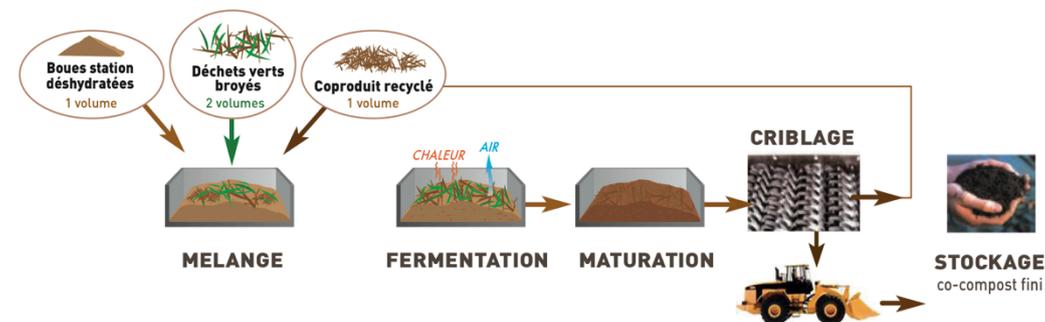
## 6 SCÉNARIO 3 : VALORISATION PAR LE BIAIS DU COMPOSTAGE HORS SITE

### 6.1 Généralités sur la valorisation des boues de station d'épuration par le biais du compostage

Le compostage est une technique de traitement aérobie des matières fermentescibles. Comme pour la méthanisation, le compostage se fait en conditions contrôlées. Ces dernières sont notamment une bonne aération (présence d'oxygène), une teneur en eau optimale située vers 50-60% d'humidité et un rapport carbone sur azote optimal aux environs de 25-35 sur le mélange des matières entrantes en compostage.

Le compostage produit un résidu organique riche en composés humiques, le compost. L'élévation de la température, supérieure à 60°C sur plusieurs jours consécutifs, qui accompagne le compostage, tend à hygiéniser le compost final obtenu. Un autre intérêt du compostage est la réduction de masse par rapport aux déchets entrants.

Le compostage de boues de stations d'épuration urbaines implique d'apporter des déchets ligneux broyés (déchets verts, broyats de palettes ou de bois) qui jouent le rôle de structurants et qui seront mélangés aux boues avant la mise en compostage. On parle alors de « co-compostage » de boues. Les déchets ligneux permettent de fournir l'énergie carbonée à la réaction et de structurer le mélange en augmentant la porosité afin d'assurer la diffusion optimale des gaz ( $O_2/CO_2$ ) résultant de la fermentation. Les boues co-compostées sont partiellement déshydratées avec une siccité de l'ordre de 20%.



source : Communauté de Communes de l'Estuaire de la Dives (plaquette d'information)

Les composts contenant des matières d'intérêt agronomique issues du traitement des eaux disposent d'une norme (NFU 44-095). Le résidu final issu du co-compostage des boues est donc un produit, et non un déchet, s'il respecte les spécifications de la norme.

### 6.2 Compostage hors site des boues de Villepreux

L'installation d'une unité de compostage sur le site même de la station de Villepreux a été jugée non rentable économiquement par le prestataire actuel, en raison notamment de coûts d'investissement et de fonctionnement élevés en comparaison au tonnage annuel de boues brutes d'environ 2'600 tonnes.

L'opportunité envisagée pour répondre à ce constat consiste à analyser la faisabilité d'une plateforme commune à plusieurs stations proches de Villepreux. L'état des lieux mentionné au point 3.3 permet d'envisager le projet d'une plateforme de capacité maximale de 10'000 tonnes de boues brutes par an, en intégrant la totalité du gisement du SIA Thiverval (450 tonnes), la moitié du gisement de boues digérées du SMAROV (4'000 tonnes) et les 2/3 des gisements du SIAVGO et du CCOP (1'700 tonnes environ pour chacun).

### 6.3 Pré-analyse de la qualité des boues pour la production de compost

La qualité des boues s'apprécie par l'analyse de plusieurs paramètres que sont notamment les éléments agronomiques, les composés traces organiques et les éléments traces métalliques.

Les valeurs obtenues sont à rapprocher des valeurs limites de la norme NFU 44-095 relative aux composts contenant des matières issues du traitement des eaux.

Les boues produites par la station d'épuration de Villepreux et de Thiverval ont pu être analysées au regard des valeurs limites, quoique partiellement à ce stade.

En effet à Thiverval, le rapport d'essais permet seulement de valider le respect des spécifications pour les éléments agronomiques (azote, phosphore, potassium et la somme  $N+P_2O_5+K_2O$ ).

Les résultats d'analyse pour Villepreux sont présentés dans le tableau ci-dessous. Les valeurs en vert sont inférieures aux valeurs limites indiquées dans la norme NFU 44-095. Seule une teneur en phosphore, mentionnée en couleur orange, atteint la limite pour cet élément.

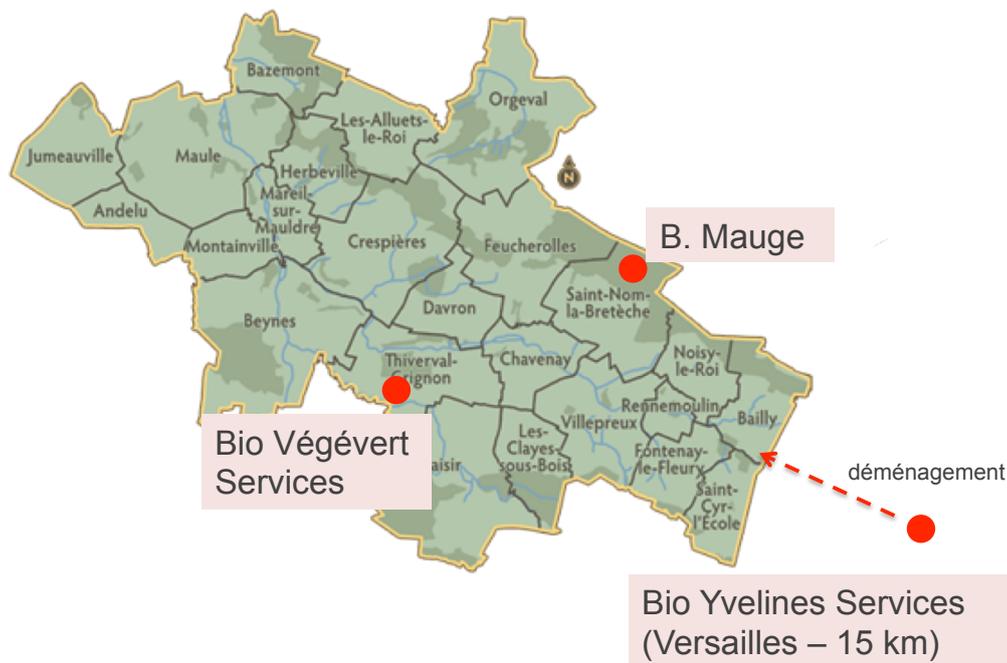
		2010	2011	2012
<b>Paramètres agronomiques</b>	N total (%MB)*	1.2	1.2	1.3
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%MB)*	1.4	1.4	3.0
	K <sub>2</sub> O (%MB)*	0.2	0.2	0.5
	N+P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O (%MB)*	2.8	2.8	4.7
<b>Éléments-traces métalliques</b>	Cd (mg/kg MS)	<0.88	< 0.83	<0.70
	Cr (mg/kg MS)	14.3	16.8	15.6
	Cu (mg/kg MS)	190.0	215	174.0
	Hg (mg/kg MS)	0.30	0.32	0.33
	Ni (mg/kg MS)	11.75	12.0	10.72
	Pb (mg/kg MS)	26.5	30.2	22.4
	Zn (mg/kg MS)	418	406.7	386.0
<b>Composés traces organiques</b>	Fluoranthène (mg/kg MS)	0.55	<0.33	<0.20
	Benzo(b)fluoranthène (mg/kg MS)	0.35	<0.20	<0.20
	Benzo(a)pyrène (mg/kg MS)	<0.30	<0.20	<0.20
	Total 7 PCB (mg/kg MS)	<0.14	<0.18	<0.14

\* Les bulletins d'analyse présentent des valeurs exprimées en % de matières sèches qui ont été converties en % de matières brutes pour comparaison aux valeurs limites indiquées dans la norme.

#### 6.4 Identification de la (ou des) plateforme(s) de compostage de déchets verts intéressées par l'intégration de boues

Aucune plateforme de compostage de boues d'épuration urbaines n'existe au niveau local. Dans la mesure où le compostage de boues urbaines ne peut s'envisager qu'en co-compostage avec des déchets verts, une première étape a consisté à sonder les plateformes de compostage de déchets verts locales, relativement à leur intérêt pour intégrer des boues.

Les plateformes sondées sont représentées sur la carte ci-dessous. En dehors de Bio Végévert Services, les deux autres plateformes sont détenues par le secteur privé.



La plateforme de BioYvelines Services, dirigée par L. Prunier et A. Weil, a manifesté un réel intérêt quant à la possibilité de développer une plateforme commune de co-compostage de boues/déchets verts. Au-delà de l'intérêt, les échanges ont conduit à mettre en évidence les éléments suivants :

- Bio Yvelines Services est actuellement concerné par un projet de déménagement de sa plateforme actuelle de déchets verts située à Versailles et prévue de s'installer, avant l'échéance de fin 2016, sur la commune de Bailly à côté de la ferme de Gally. Un nouveau projet de plateforme de co-compostage de boues ne serait donc pas une priorité pour l'entreprise qui a déjà fort à faire.
- La proximité de la ferme de Gally, ouverte au public par ailleurs, pourrait constituer un frein à la réception et au traitement de boues de stations d'épuration à cet endroit pour des raisons d'acceptabilité (risques d'odeurs, etc.). L'entreprise soumet néanmoins la possibilité d'installer la plateforme de co-compostage sur un autre site, un emplacement disponible à proximité restant à trouver. Il serait en effet intéressant de trouver un site non loin de celui de la future plateforme de déchets verts à Bailly, dans la

mesure où les co-produits du compostage de déchets verts ainsi que les broyats de bois produits sur ce site pourront servir à alimenter le co-compostage de boues.

- Bio Yvelines Services est une entreprise d'insertion portée par des associations caritatives qui, certes dispose d'une activité économique rentable, mais qui doit aussi réaliser actuellement un investissement d'environ 3 millions d'euros pour financer son déménagement.

En bref, une plateforme commune de co-compostage de boues en lien avec l'entreprise Bio Yvelines Services est un projet pertinent dans la mesure où un équilibre financier est trouvé avec les syndicats. D'un point de vue calendaire, il est à souligner que l'exploitant de la station du Carré de la Réunion va démarrer la recherche de filières pour ses boues digérées à partir de l'automne 2014 et prévoit la mise en place de contrat sur une durée d'environ 3 ans. En résumé, un projet de plateforme commune pourrait voir le jour d'ici 2020, sauf changement.

Les raisons évoquées par les deux autres plateformes quant à leur refus sont les suivantes :

- le souci des odeurs générées par la gestion de boues qui s'ajouterait à des problèmes déjà rencontrés avec les déchets verts ou qui risquerait de susciter un mouvement de non acceptabilité en raison de la proximité de lotissements,
- le manque de surface supplémentaire disponible,
- le passage d'un régime de déclaration à un régime d'autorisation.

## 6.5 Organisation de la plateforme

### Réception des boues

Les boues sont acheminées par camions, dans des bennes, depuis les différentes stations, sous la forme de boues pâteuses à 20% de siccité maximale. Elles passent par le poste de pesée à l'entrée de la plateforme. Les boues peuvent être réceptionnées dans une trémie de stockage ou stockées sur une aire afin d'être reprises manuellement.

Les co-substrats pourront être amenés directement sous forme broyée sur la plateforme, permettant de minimiser le trafic routier.

### Mélange des boues et des co-substrats

Les boues alimentent un mélangeur. Les broyats sont transportés jusqu'au mélangeur. Le dosage du mélange doit être contrôlé afin de respecter une qualité optimale, fonction de l'humidité, de la porosité et du rapport C/N.

	Boues	Déchets verts (broyats)
Condition standard	1 volume	2 volumes
	1 tonne (~)	0.5 tonnes (densité = 0.25)
Evaluation des tonnages dans le cas de la plateforme commune	<b>7'800 tonnes</b>	<b>3'900 tonnes</b>

Le mélange est transporté automatiquement par convoyeur afin d'alimenter des casiers situés en bâtiment couvert.

### Fermentation

Le mélange reste 4 semaines environ en fermentation. Les andains peuvent être retournés manuellement une fois pendant la phase de fermentation. La température des andains est suivie en continu et de manière automatique. L'étape de fermentation s'effectue dans des casiers désodorisés en permanence. De l'air process est aspiré sous l'andain. Une partie de l'air vicié est confiné afin de réduire le volume d'air vicié à traiter. Cela permet d'assurer la mise en dépression du casier et d'éviter les fuites vers l'atmosphère.

### Maturation

Le compost est ensuite repris et disposé dans une aire de maturation, sous abri non fermé. La durée de cette phase de finition est de 4 semaines environ. La température pendant cette phase peut être suivie de façon manuelle.

### Criblage

Le compost fini est criblé et les refus peuvent être recyclés en tête de procédé, dans le mélangeur. Le compost est stocké sous abri.

### Ventilation et désodorisation

Ce procédé de traitement de l'air vicié comprend généralement un lavage chimique à l'acide sulfurique et des biofiltres, permettant un affinage du traitement d'air.

## 6.6 Estimation des coûts

L'emplacement n'étant pas défini, il est difficile d'évaluer la part de génie civil pour le projet. Toutefois, une estimation des coûts d'investissements et des coûts d'exploitation est fournie ci-dessous sur la base de chiffrages moyens concernant des plateformes de co-compostage existantes dimensionnées sur une capacité annuelle similaire, à savoir 10'000 tonnes de matières brutes entrantes.

L'évaluation des frais d'exploitation comprend les consommables, la main d'œuvre et la maintenance des équipements. La main d'œuvre a été évaluée sur la base d'1.5 équivalents temps plein. Plus de la moitié du montant total des frais d'exploitation correspond aux coûts des consommables, pour lesquels il a été considéré que les co-substrats nécessaires au co-compostage (broyats de bois par ex.) étaient facturés aux alentours de 30 €/tonne. La facture des co-substrats représente ainsi plus de la moitié du coût des consommables. Ce montant pourrait s'en trouver diminuer si l'entreprise Bio Yvelines Services exploitait l'installation et approvisionnait la plateforme de co-compostage de boues par des matières de la plateforme de déchets verts à proximité.

<b>Investissement</b>	<b>Génie civil (€ HT)</b>	2'000'000
	<b>Matériel / Equipement (€ HT)</b>	1'400'000
	<b>Ingénierie (€ HT)</b>	600'000
	<b>Total investissement (€ HT)</b>	4'000'000
<b>Frais d'exploitation (€ HT/an)</b>		370'000

A noter que la valorisation par le biais du compostage supprime l'étape de déshydratation par chaulage, puisque le taux de siccité acceptable en entrée de compostage est de l'ordre de 20%, correspondant à l'état des boues centrifugées. La suppression du chaulage assure une économie de 20'000 € (200 t de chaux par an à 100€/t). Cependant la suppression du chaulage réduit la siccité et augmente ainsi la teneur en eau des boues. Dans la mesure où le compostage est réalisé hors site, des boues plus humides sont transportées correspondant à 910 tonnes d'eau supplémentaires à transporter soit un coût de 9'100 € en considérant un tarif à 10€/t.

## 6.7 Faisabilité réglementaire

Lorsqu'il n'est pas effectué en annexe d'une station d'épuration, le compostage de boues d'épuration urbaines relève de la législation des Installations Classées pour l'Environnement (ICPE). Le compostage correspond à la rubrique 2780-2. Dans le cas d'une plateforme commune de compostage, telle que dimensionnée précédemment, le projet relèverait très certainement du régime d'autorisation. A noter que les échanges avec Bio Yvelines Services ont montré une réticence à s'engager sur ce type de régime, jugé trop contraignant.

## 7 SCÉNARIO 4 : VALORISATION PAR LE BIAIS DU SÉCHAGE

### 7.1 Généralités sur le séchage des boues de station d'épuration

Le séchage des boues est un des procédés de traitement et ne représente pas une fin en soi, mais une étape entre la production des boues et la destination finale (épandage, co-incinération, etc.). Le séchage a pour principal intérêt de réduire le volume de boues, facilitant ainsi leur transport, en éliminant une partie de l'eau qu'elles contiennent.

En revanche l'apport d'énergie pour évaporer cette eau n'est pas négligeable puisque quelques 1'000 kWh de chaleur sont nécessaires pour évaporer 1 tonne d'eau. Dès lors, dans une approche durable, il est nécessaire de faire appel une production de chaleur aussi neutre que possible du point de vue environnemental.

Plusieurs technologies de séchage existent sur le marché. Considérant la taille de la station de Villepreux et la quantité de boues produites, une technologie prend le pas sur les autres. Il s'agit du séchage solaire combiné, utilisant les calories des eaux épurées de la station par recours à un plancher chauffant.

Un sécheur solaire simple est particulièrement adapté aux petites installations, en raison notamment de la surface de la serre à prendre en considération. Ils sont fonctionnels une partie de l'année, correspondante aux mois les plus chauds.

A contrario, un sécheur solaire combiné avec plancher chauffant permet une exploitation tout au long de l'année. Lorsque le rayonnement solaire n'est plus suffisant, le plancher chauffant est mis en service. La siccité des boues produites peut, en fonction des besoins, varier entre 70 et 90 %.

### 7.2 Evaluation des sources de chaleur

Les sources d'énergies renouvelables ou issues de la valorisation de rejets thermiques à prendre en compte autour de la station d'épuration de Villepreux sont :

- l'énergie solaire thermique
- la récupération de la chaleur des eaux en entrée de STEP (eaux usées)
- la récupération de la chaleur en sortie de STEP (eaux épurées)

L'usage de l'énergie solaire et la valorisation de la chaleur des eaux épurées par un système de pompes à chaleur (PACs) sont les solutions techniques les plus simples et les moins coûteuses.

### 7.2.1 Potentiel d'utilisation de l'énergie solaire thermique

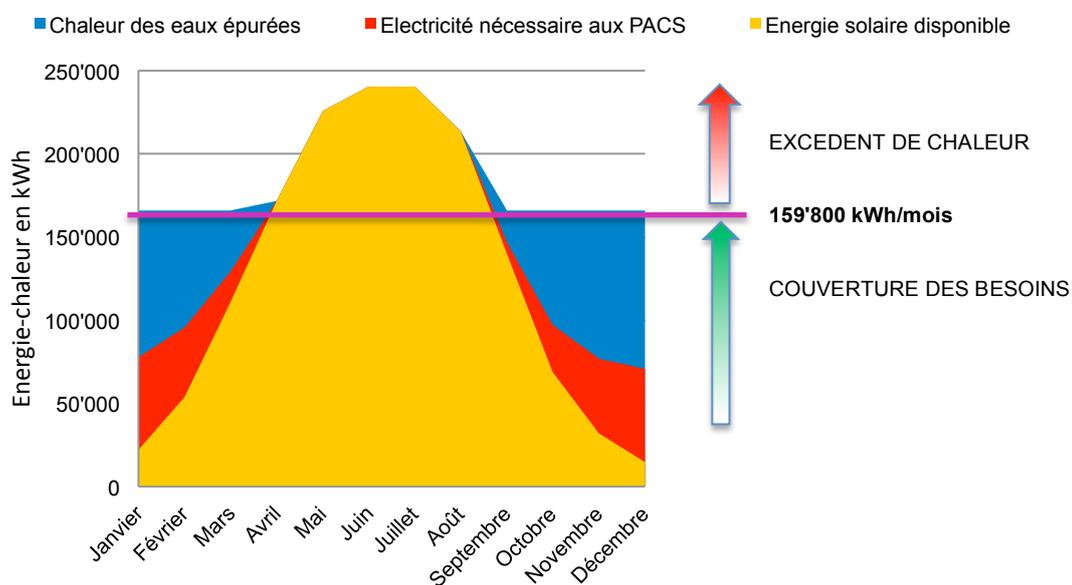
Dans les Yvelines, l'énergie solaire thermique récupérable par une serre est comprise entre 240 W/m<sup>2</sup> dans le creux de l'hiver et 890 W/m<sup>2</sup> en période estivale.

### 7.2.2 Potentiel de récupération de chaleur sur les eaux épurées

Durant la période hivernale, les apports solaires doivent être complétés par une autre source de chaleur. La valorisation de la chaleur contenue dans les eaux épurées grâce à des PACs est en mesure de fournir cette énergie. Actuellement, le débit bas moyen des eaux en sortie de la station de Villepreux est de 4'000 m<sup>3</sup>/jour. Le débit maximal nécessaire au fonctionnement des PACs est de l'ordre de 2'000 m<sup>3</sup>/jour, soit la moitié du débit disponible.

### 7.2.3 Bilan énergétique

Le bilan énergétique des besoins en chaleur mois par mois pour le séchage des boues est représenté sur le graphique ci-dessous. A noter qu'il ne tient pas compte de la consommation électrique des équipements propres au sécheur, estimée à 13'000 kWh/mois.



#### Représentation graphique de la couverture annuelle des besoins en chaleur du sécheur :

La chaleur nécessaire à l'évaporation d'une tonne d'eau est approximativement de 1000 kWh.

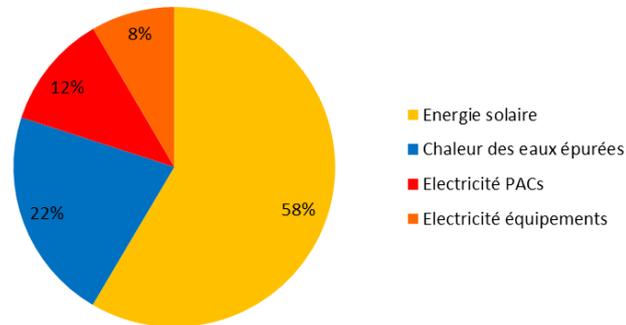
En moyenne mensuelle, le sécheur doit pouvoir évaporer de 159.8 tonnes d'eau ce qui demande une énergie-chaleur de 159'800 kWh.

Durant les mois d'été, l'énergie solaire (en jaune) chauffe la serre et couvre l'intégralité des besoins en chaleur.

En période hivernale, un apport supplémentaire est nécessaire. Il est apporté en soutirant de la chaleur aux eaux épurées (en bleu) en sortie de STEP au moyen de PACs. Le fonctionnement de ces PACs demande toutefois de l'énergie électrique (en rouge).

Le diagramme issu de ces données révèle qu'en moyenne annuelle le séchage des boues par un sécheur combiné utiliserait 80% d'énergie renouvelable et gratuite dont 58% d'énergie solaire et 22% de chaleur extraite aux eaux épurées.

La consommation électrique globale serait de 20% dont 8% pour les équipements du sécheur (vis de répartition, ponts retourneur, ventilation, régulation, commandes) et 12% pour le fonctionnement de PACs.

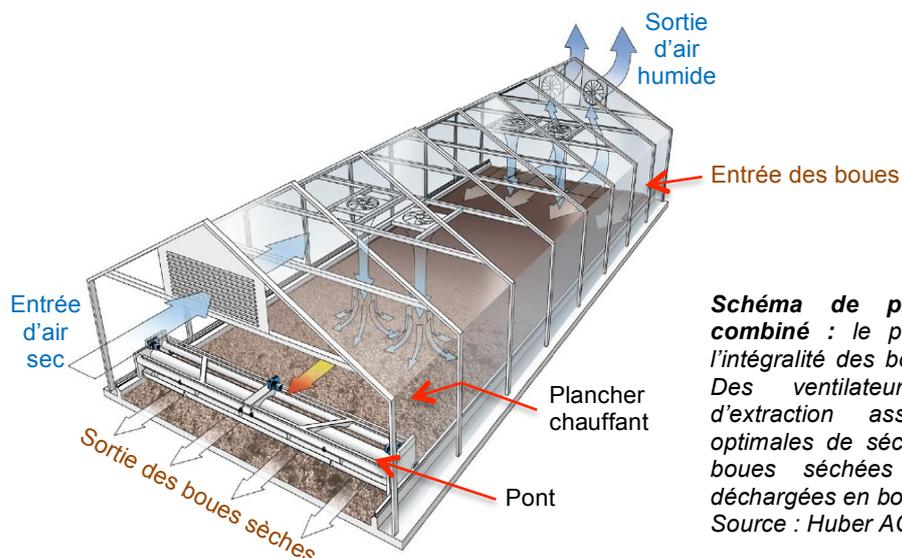


## 7.3 Pré-dimensionnement des installations de séchage solaire combiné

### 7.3.1 Principe de fonctionnement

Les installations de séchage seront constituées de deux lignes de séchage d'environ 11 m de large et 60 m de longueur. Les deux lignes seront placées dans une serre d'environ 28 m x 62 m. La serre permet l'accumulation de chaleur solaire. Chaque ligne de séchage comprend un plancher chauffant, une vis de répartition, un pont retourneur et une fosse de stockage des boues séchées.

Chaque plancher a des dimensions de l'ordre de 11 x 54 m. Une vis de répartition dépose la boue humide à une extrémité. Un pont retourneur se déplace le long du plancher chauffant en retournant la boue et en l'entraînant vers l'autre extrémité du plancher. La boue séchée se dépose dans une fosse de stockage en bout de ligne. L'air humide à l'intérieur de la serre est brassé et extrait par une batterie de ventilateurs.



**Schéma de principe d'un sécheur combiné :** le pont retourneur manipule l'intégralité des boues à intervalle régulier. Des ventilateurs de brassage et d'extraction assurent des conditions optimales de séchage dans la serre. Les boues séchées sont automatiquement déchargées en bout de sécheur.

Source : Huber AG

### 7.3.2 Serre

Pour permettre de couvrir les besoins de la STEP, la serre doit permettre d'abriter deux lignes de séchage parallèles. Chaque ligne occupe approximativement une largeur d'environ 10 m pour une longueur d'environ 70 m. La surface totale de la serre sera voisine de 1'800 m<sup>2</sup>.

Elle doit être exposée au soleil durant toute la journée, sans ombre projetée. L'enveloppe doit être étanche à toute infiltration d'eau ou d'air à l'exception des orifices d'entrées d'air frais et d'extractions d'air humide. La structure de la serre doit également pouvoir supporter la charge des ventilateurs.

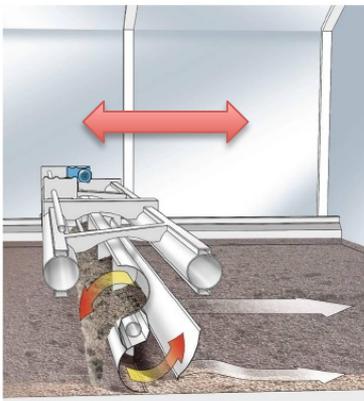
Le brassage de l'air à l'intérieur de la serre (257'000 m<sup>3</sup>/h) doit être assuré par une cinquantaine de ventilateurs. En outre, une extraction de 144'000 m<sup>3</sup>/h est nécessaire à l'évacuation de l'air humide.

Le matériel utilisé pour l'enveloppe thermique doit être transparent et isolant. Plusieurs possibilités existent :

- Serre mixte à bardage polycarbonate et couverture en film double peau
- Serre isolée en polycarbonate alvéolaire de 16 mm d'épaisseur
- Serre mixte à bardage en verre et couverture en polycarbonate alvéolaire (ép. 16 mm)
- Serre en verre (bardage et couverture) avec gouttières de collecte des eaux de condensation

### 7.3.3 Ponts retourneurs

La boue est retournée, déplacée, granulée et aérée lors du processus de retournement. Les ponts retourneur assurent également l'évacuation des boues séchées en bout de plancher chauffant.



**Représentation d'un pont retourneur :**

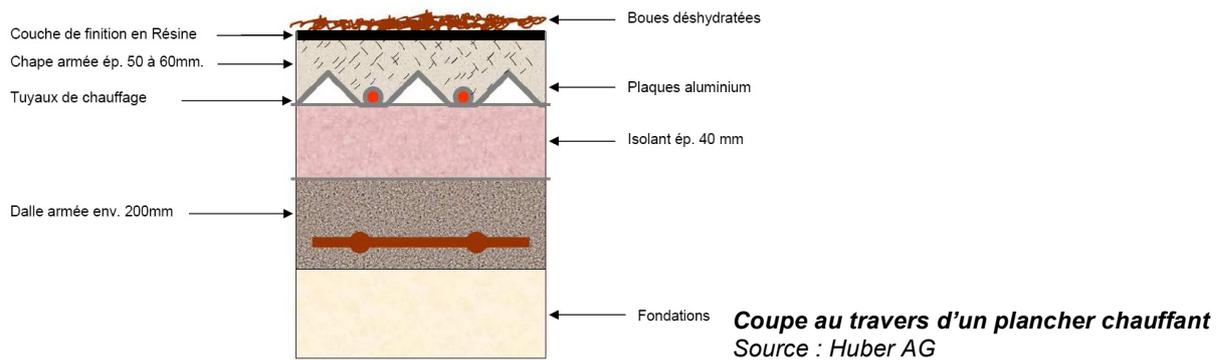
*Le pont retourneur prend la boue avec les pelles rotatives sur toute l'épaisseur et la fait granuler par roulement à la surface des pelles.*

*La boue est déplacée vers l'avant lors du cycle de retournement par l'action des pelles conjointement au déplacement du pont retourneur. Source : Huber AG*

### 7.3.4 Planchers chauffants

Deux surfaces de plancher chauffant de 600 m<sup>2</sup> chacune sont nécessaires. La puissance calorifique spécifique maximale doit être de 300 W/m<sup>2</sup>.

La représentation ci-dessous est une coupe au travers d'un plancher chauffant. Il est constitué d'une dalle en béton armé isolée par 40 mm de mousse de polyuréthane. Un réseau de tubes de chauffage PEHD multicouche de Ø 21 mm est ensuite posé. La chaleur est répartie grâce à des plaques d'aluminium de type PYD. Une chape fluide armée en fibre d'acier est ensuite coulée. Une finition de la chape constituée de deux couches de résine époxydique haute résistance chimique assure l'étanchéité et la résistance à la friction du plancher.



### 7.3.5 Production de chaleur

Pour permettre une exploitation en hiver, les planchers doivent pouvoir être chauffés. La chaleur des eaux épurées est récupérée par deux batteries de 3 PACs de 46 kW.

Les PACs doivent être placées à proximité immédiate de la serre. Pour l'alimentation en eau traitée des PACs, une conduite DN250 de 260 m devra être installée entre la sortie des clarificateurs et les PACs. Environ 40 m supplémentaires de conduite seront nécessaires pour le rejet des eaux refroidies au ru de Gally.

### 7.4 Positionnement préliminaire des installations

Les eaux épurées sont captées en sortie des clarificateurs de la STEP. Ces eaux sont pompées jusqu'aux locaux des installations de production de chaleur, à proximité de la serre de séchage. La serre de séchage s'étendant sur 1'800 m<sup>2</sup> est positionnée en partie sur un terrain disponible appartenant à la station à l'extrême ouest d'environ 900 m<sup>2</sup>. La moitié restante est positionnée à cheval sur le bâtiment actuel de stockage des boues, qu'il sera nécessaire d'adapter en conséquence. Les eaux épurées refroidies sont ensuite rejetées au ru de Gally.



**Emplacement prévisionnel des éléments de l'installation de séchage combiné**

## 7.5 Estimation du coûts des installations

Les estimations ne tiennent pas compte des coûts de modification des infrastructures existantes telles que la démolition des hangars existants et l'acheminement des boues déshydratées vers le sécheur. Le coût de la modification des voiries permettant le stockage et le chargement des boues séchées n'a également pas été évalué.

Les chiffres présentés ci-dessous sont détaillés en annexe.

<b>Investissement</b>	Travaux (€ HT)	1'321'000
	Ingénierie (€ HT)	264'200
	<b>Total investissement (€ HT)</b>	<b>1'585'000</b>
<b>Frais d'exploitation (€ HT/an)</b>		<b>131'420</b>

Comme pour le compostage, l'étape de chaulage est supprimée dans le cas du séchage qui accepte des boues entrantes à 20% de siccité. Cela représente une économie de 20'000 €/an, comme cela a été démontré précédemment. Par ailleurs, l'obtention d'une siccité finale moyenne de 80% assure une économie d'environ 6'000 €/an correspondant aux coûts de transport évités par rapport à la situation actuelle d'un épandage de boues à 30% de siccité.

L'économie globale est relativement faible par rapport aux montants d'investissement pour une solution de séchage ainsi qu'aux coûts d'exploitation. Le prestataire soulève également le fait que la station de Villepreux datant de 2001, celle-ci risque de ne pas se voir attribuer de subventions pour une telle opération, contrairement aux nouvelles STEP qui en bénéficient plus facilement.

## 7.6 Faisabilité réglementaire

Le Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) du Ru de Gally est un cas particulier des Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN) institués par la loi n° 95.101 du 2 février 1995, dite loi Barnier, relative au renforcement de la protection de l'environnement. Le PPRI du Ru de Gally a été approuvé par le Préfet le 24 juillet 2013<sup>5</sup>. Ce plan est à prendre en compte dans la mesure où le séchage de boues de station requiert l'implantation de nouveaux équipements sur des terrains de la STEP.

Parmi les documents qui composent le PPRI, la carte du zonage réglementaire a pour objectif de réglementer l'occupation et l'utilisation du sol. La planche 7 de la carte du zonage réglementaire, reprise en annexe de ce rapport, indique des terrains situés en zone verte, voire non cartographiés (en blanc), correspondant à l'emplacement proposé au point 7.4. D'après les dispositions applicables en zone verte citées dans le Règlement, il faudra prendre en compte le fait que toute nouvelle construction est interdite dans une bande de 6m à partir de la crête de la berge du ru. A noter que l'autorité responsable de la prise en considération du risque d'inondation et de l'application du PPRI sur son territoire, est l'autorité de délivrance des autorisations de construire.

<sup>5</sup> L'intégralité des documents qui composent ce PPRI est disponible via le lien suivant : <http://www.yvelines.equipement.gouv.fr/plan-de-prevention-des-risques-d-r511.html>

## 8 EVALUATION COMPARATIVE DES SCÉNARIOS 2 À 4

L'analyse des 4 scénarios conduit à exclure d'ores et déjà le scénario relatif à la co-incinération en cimenterie.

Les scénarios qui concernent la méthanisation et le compostage hors site présentent plusieurs atouts, en particulier liés aux effets traitant des boues sortantes de STEP. L'évaluation approfondie de la faisabilité de ces deux scénarios, en particulier les bilans économiques, impliquent la mise en place d'un dialogue entre partenaires potentiels, et plus précisément entre les différents syndicats d'assainissement.

Enfin, le séchage solaire combiné se caractérise par un bilan économique plus avantageux que le scénario de création de plateforme commune de compostage, quoique les travaux d'aménagement des infrastructures existantes n'aient pas été pris en compte. Par ailleurs, le produit obtenu à l'issue du séchage est certes stabilisé, mais ne présentent pas toutes les qualités issues de la digestion.

Le tableau ci-dessous résume brièvement les principaux changements par rapport au procédé actuel ainsi que les avantages tirés de ces solutions.

	Méthanisation hors site	Compostage hors site	Epandage via séchage solaire combiné
Impact sur le procédé actuel	-	Suppression du chaulage	Suppression du chaulage
Transport	Transport supp. des boues	Transport supp. des boues	-
Nouvelle installation	Alimentation de l'installation par une production énergétique sur site (biogaz)	-	Alimentation de l'installation par une production énergétique sur site (calories des eaux épurées)
Qualité du produit à épandre	Effet de stabilisation + Effet d'hygiénisation	Effet de stabilisation + Effet d'hygiénisation (produit normé)	Effet de stabilisation

## 9 CONCLUSION

En conclusion, les scénarios les plus prometteurs sont ceux du compostage hors site et de la méthanisation hors site. Dans le premier cas, un projet de création de plateforme commune intégrant les boues de stations alentours a été pré-dimensionné avec une capacité maximale de 10'000 tonnes de boues brutes entrantes. Une entreprise locale spécialisée dans le compostage de déchets verts a été identifiée comme un potentiel partenaire de ce projet. Pour la méthanisation, la mise en place de digesteurs sur la station du Carré de la Réunion actuellement en rénovation a été identifiée comme une piste potentielle, pour autant que le bilan économique pour les deux parties soit à la mesure des obligations réglementaires à mettre en place.

Enfin cette étude s'inscrit dans une volonté pour le SIAVGO de se rendre proactif vis à vis des réglementations à venir pour le traitement des boues, notamment en ce qui concerne le sujet porteur de la micropollution. Un projet de recherche, nommé Armistiq, récemment finalisé par l'IRSTEA et ses partenaires, a cherché à analyser la performance des systèmes de traitement de boues dans l'élimination de la micropollution, parmi ceux étudiés dans les scénarios de cette étude. L'une des conclusions principales est qu'aucun des procédés de traitement ne permet de réduire significativement la charge globale de micropolluants dans les boues.

## 10 ANNEXES

### 10.1 Détail du coût des installations du séchage solaire combiné

## 10.2 Cartographie du zonage réglementaire extraite du PPRI du Ru de Gally

