

GESTABoues, un outil d'aide à la décision pour évaluer les émissions de GES des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées

A.L. Reverdy, Marilys Pradel

▶ **To cite this version:**

A.L. Reverdy, Marilys Pradel. GESTABoues, un outil d'aide à la décision pour évaluer les émissions de GES des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées. Ecotechs'2012, Oct 2012, Montoldre, France. 11 p. hal-00781690

HAL Id: hal-00781690
https://hal.science/hal-00781690

Submitted on 28 Jan 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

GESTABoues, un outil d'aide à la décision pour évaluer les émissions de GES des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées

Reverdy A.L., Pradel M.

Irstea – UR TSCF, Domaine des Palaquins – 03150 MONTOLDRE (France),
Tél. +33 (0)4 70 47 47 43 - anne-laure.reverdy@irstea.fr
Tél. +33 (0)4 70 47 47 26 - marilys.pradel@irstea.fr

Au cours de la dernière décennie, la production de boues issues des stations de traitement des eaux usées (STEU) a augmenté de plus de 20% (passant de 946 700 tonnes de matières sèches [MS] en 2002 à 1 118 795 tonnes de matières sèches en 2007). En 2007, 70% de ces boues étaient épandues (directement ou après compostage), les 30% restants étaient incinérés (avec ou sans les ordures ménagères) ou mis en décharge. Les différentes voies de traitement et de valorisation/élimination des boues sont responsables de la production de gaz à effet de serre (GES). Pour aider les exploitants de STEU à mieux appréhender l'impact carbone des différentes options de traitement et d'élimination de ces boues, un outil de type « Bilan Carbone® » a été développé : GESTABoues.

Cet article a pour objectif (i) de présenter brièvement les éléments méthodologiques qui ont été employés pour quantifier les émissions de GES dans cet outil et (ii) de présenter les résultats types obtenus au travers d'un exemple afin de visualiser comment GESTABoues peut être utilisé comme un outil d'aide à la décision.

GESTABoues a été développé en se basant sur la méthode « Bilan Carbone® » développée par l'ADEME et en considérant la production de GES générés pour le traitement et l'élimination du tonnage de MS de boues produites par une STEU de X équivalents-habitants (EH) sur une année.

Pour chaque procédé de traitement (épaississement, déshydratation, stabilisation, séchage) et d'élimination (épandage, incinération, mise en décharge) des boues, les émissions de CO_2, CH_4 et N_2O sont comptabilisées par grandes catégories (émissions directes, électricité, substances chimiques, combustibles, transports, infrastructures, émissions évitées). Les facteurs d'émissions ont été référencés à partir de la littérature et l'outil GESTABoues développé en langage VisualBasic sous Excel.

Cet outil présente 4 étapes principales :

(i). L'utilisateur peut créer autant de stations qu'il le souhaite en spécifiant la capacité, le type de réseau et le système de traitement de la filière eau.

(ii). Puis l'utilisateur peut créer autant de filières de traitement des boues que nécessaire pour chaque station. A chaque étape du traitement ou de l'élimination des boues, il doit choisir un certain nombre de paramètres tout en sélectionnant ses propres données ou les valeurs par défaut de l'outil. GESTABoues se charge de calculer les émissions de GES.

(iii). Ces émissions sont ensuite visualisées par l'intermédiaire de graphiques prenant en considération le CO_2, CH_4 et N_2O pour chaque grande catégorie d'émissions.

(iv). L'utilisateur peut ensuite comparer plusieurs filières entre elles afin d'identifier la moins impactante d'un point de vue émissions de GES. Enfin l'utilisateur peut exporter ses résultats à l'aide d'un « bouton Export » afin de présenter les équilibres matière-énergie pour une filière donnée.

Dans cette étude, l'outil est utilisé pour comparer 3 filières de traitement des boues sur une même STEU afin d'aider les exploitants à identifier les procédés les moins impactants sur le réchauffement climatique et donc la filière la plus avantageuse vis-à-vis des émissions de gaz à effet de serre.

Mots clés : Boues, station de traitement des eaux usées, Bilan Carbone, Gaz à effet de serre, Outil d'aide à la décision

Introduction

Contexte

Le traitement des eaux reste inévitablement à l'origine de la production de boues qu'il faut traiter et éliminer. Les boues issues du traitement des eaux usées ont augmenté continuellement au cours des dernières années pour atteindre 1 100 000 tonnes de matières sèches (MS) en 2008. Ces boues sont traitées par différents procédés technologiques (élimination de l'eau, stabilisation, hygiénisation) en fonction de la capacité de traitement de la STEU et du devenir final souhaité. En France, il existe 4 voies principales d'élimination des boues : 70% sont épandues (directement ou après compostage), 20% sont incinérées seules ou avec des ordures ménagères et 10% sont envoyées en décharge (Reverdy and Pradel, 2010).

Il existe de nombreuses filières de traitement et de valorisation des boues, chacune nécessitant des coûts énergétiques plus ou moins importants et étant à l'origine de conséquences variables sur les milieux et notamment sur le réchauffement climatique (Brown *et al.*, 2010). Ainsi, sur une STEU, le traitement et la valorisation/élimination des boues peuvent représenter plus de 40% des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) (Shaw *et al.*, 2010).

L'évaluation des impacts environnementaux de ces filières est par conséquent une préoccupation importante du fait que les décideurs (gérants de STEU, collectivités territoriales…) peuvent utiliser ces outils d'évaluation pour choisir la filière de traitement et de valorisation la mieux appropriée à leurs contraintes.

Objectifs de recherche

Dans le but d'aider les gestionnaires de STEU dans leurs choix et afin d'évaluer les impacts sur le réchauffement climatique des filières de traitement et de valorisation des boues, nous avons développé un outil d'aide à la décision : $^{G}E_{S}$TABoues. L'objectif de cet article est de présenter à la fois la méthode de construction du bilan carbone que nous avons adapté aux filières de traitement et de valorisation des boues et qui est implémenté dans l'outil $^{G}E_{S}$TABoues ainsi que les résultats produits par ce dernier pour modéliser, évaluer et comparer les émissions de GES de différentes filières de traitement et de valorisation des boues issues des STEU.

Ainsi, après avoir présenté la méthodologie développée pour élaborer l'outil, nous illustrerons le fonctionnement de ce dernier, l'évaluation des émissions de GES et la comparaison des filières, au travers d'un exemple concret. Pour cela, 3 filières de traitement et de valorisation des boues seront comparées entre elles : une première filière représentant des données issues d'une STEU réelle de 380 000 EH, les deux autres filières représentant des systèmes optionnels qui pourraient être intéressants à mettre en place sur cette même STEU.

Méthodologie mise en place pour le développement de l'outil $^{G}E_{S}$TABoues

La méthode Bilan Carbone®

Principes généraux

L'outil $^{G}E_{S}$TABoues a été adapté de la méthode Bilan Carbone® (ADEME, 2009) permettant de quantifier et d'analyser les émissions de GES des activités ou des organisations humaines. Elle prend en compte les GES émis directement dans la troposphère par les activités humaines étudiées mais pas les gaz produits après réactions chimiques dans l'atmosphère.

Ces GES ne pouvant être directement mesurés, ils sont estimés en calculant les émissions de GES pour chaque procédé impliqué dans le système étudié. La quantité de chaque gaz est ensuite convertie en équivalent CO_2 ($eqCO_2$) selon leurs Pouvoirs de Réchauffement Globaux (PRG).

Le carbone biogénique et le carbone fossile

Les émissions de CO_2 peuvent être d'origine biogénique ou fossile. Les émissions biogéniques interviennent au sein du cycle court du carbone. Elles sont impliquées dans la photosynthèse ou les procédés d'oxydations biologiques ou thermiques dans lesquelles le CO_2 biogénique est rapidement intégré dans le cycle du carbone. Ce carbone biogénique n'est pas pris en considération dans les protocoles nationaux car il est considéré par convention comme étant du « carbone neutre » (PRG = 0).

Les émissions de carbone fossile proviennent de la combustion d'hydrocarbures qui ont été stockés à la surface de la Terre pendant des millions d'années, elles sont donc associées au cycle long du carbone. Le relargage de ce carbone augmente la quantité de CO_2 dans l'atmosphère, il doit donc être comptabilisé dans les émissions prises en considération.

La question de la prise en compte du carbone biogénique n'est pas encore tranchée au sein des instances internationales œuvrant sur le climat (EPA, 2011) mais un certain nombre de préconisations sont données, notamment celle de comptabiliser le carbone biogénique dans les données d'inventaire (que ce soit dans le bilan carbone ou en ACV) mais avec un PRG égal à zéro (pas d'incidence sur le réchauffement climatique) (ILCD Handbook, 2010).

Les émissions comptabilisées dans l'outil $^{G}E_{S}$TABoues

Dans l'outil $^{G}E_{S}$TABoues, seuls 3 GES ont été pris en considération : CO_2, CH_4, N_2O.

Pour chaque gaz, 3 types d'émissions sont ensuite comptabilisées :

- **Les émissions directes :** elles sont émises directement par les procédés de traitement ou de valorisation des boues.

- **Les émissions indirectes :** elles sont émises lors de la fabrication des intrants nécessaires au bon fonctionnement des procédés de traitement ou de valorisation. Elles sont donc principalement liées aux consommations électriques et aux consommables utilisés au cours des différents procédés (polymères, chaux…). Les émissions liées aux transports et aux infrastructures sont également comptabilisées dans cette catégorie.
- **Les émissions évitées :** elles sont comptabilisées quand un procédé substitue un autre procédé comme par exemple :
    - La production d'énergie électrique ou thermique à partir du biogaz : les émissions évitées sont dues à la non-utilisation de matières premières fossiles (gaz, fioul).
    - L'utilisation des boues comme engrais de substitution en épandage au champ : les émissions évitées correspondent aux émissions qui auraient été générées pour la fabrication et l'utilisation d'engrais minéraux.
    - L'utilisation des boues comme combustible ou portion minérale dans les fours des cimenteries : les émissions évitées sont dues aux émissions qui auraient eu lieu pour une quantité équivalente d'énergie non-renouvelable ou la production de matières brutes.

Frontières du système étudié

Les frontières du système sont limitées aux procédés de traitement des boues incluant les différentes voies de valorisation/élimination des boues (Figure I).

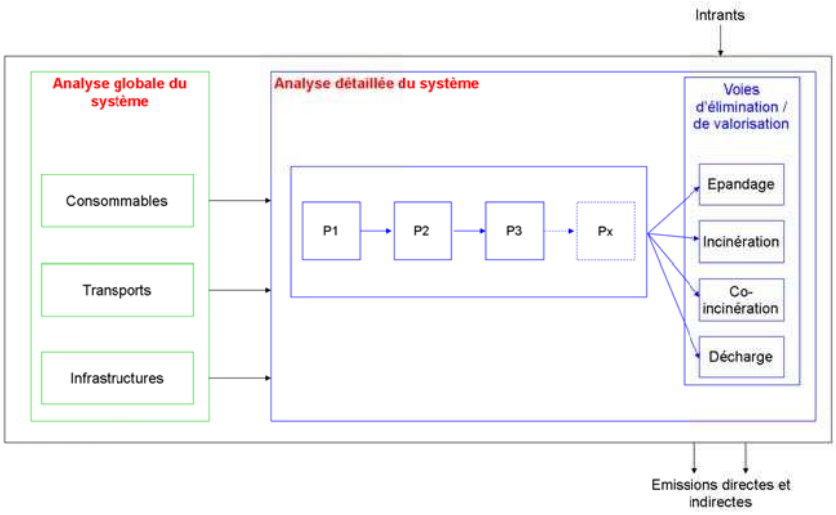


Figure I : Frontières du système

Deux types d'analyses sont réalisés pour comptabiliser les émissions de GES :

- une analyse détaillée pour les procédés de traitement et de valorisation des boues : chaque émission de GES est détaillée pour chacun des procédés impliqués dans la filière de traitement et de valorisation,
- une analyse globale pour les consommables, les transports et les infrastructures impliqués dans le système : les émissions de GES sont globalisées pour l'ensemble de la filière, ne générant qu'une seule valeur finale dans l'outil $^{G}E_{S}$TABoues.

Les émissions de GES sont comptabilisées pour la quantité totale de boues produites par une STEU de X EH. Le facteur X est directement dépendant de la capacité de traitement de la STEU.

Les étapes de traitement prennent en considération les procédés de concentration, de stabilisation et d'hygiénisation des boues (Figure II).

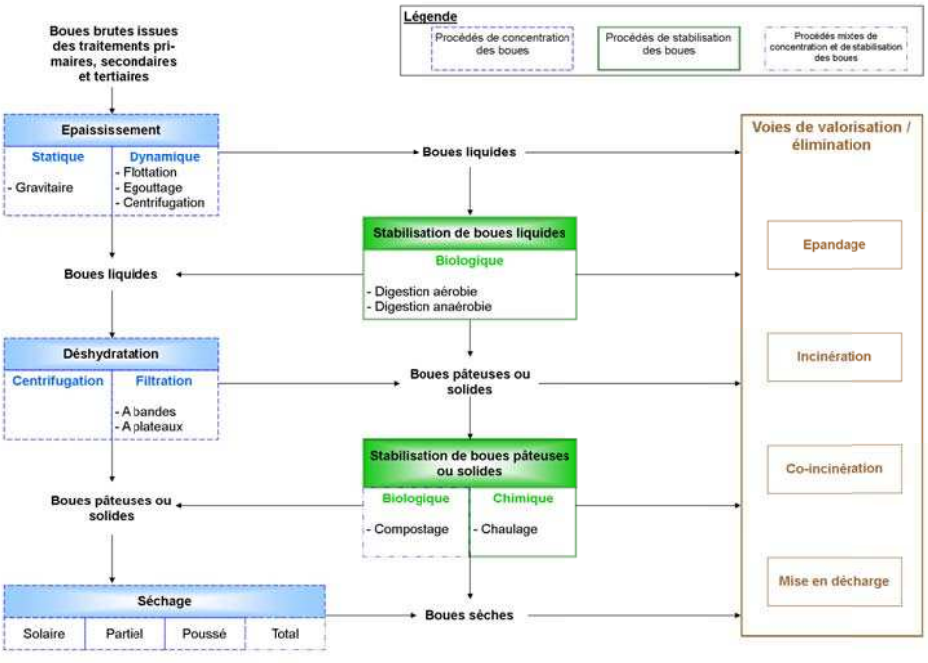


Figure II : Voies de traitement et de valorisation des boues étudiées

La collecte des données

Les données ont été collectées à partir de la littérature existante à l'époque de la réalisation de l'étude (2010) (Reverdy and Pradel, 2011). Ces données ont permis de réaliser une base de données propre à l'outil $^{G}E_{S}$TABoues. L'utilisateur de l'outil a ainsi deux possibilités :

- S'il dispose de ses propres données, il pourra les utiliser afin d'avoir une estimation des émissions de GES la plus précise possible.
- S'il n'a pas les données nécessaires, il pourra utiliser les valeurs moyennes propres à l'outil $^{G}E_{S}$TABoues, c'est-à-dire celles issues de la littérature.

Les émissions de GES lors du transport

Les étapes de transport dans l'outil $^{G}E_{S}$TABoues prennent en considération le transport des consommables jusqu'à la STEU et le transport des boues jusqu'aux lieux d'élimination. La comptabilisation des émissions de GES lors du transport est réalisée selon les hypothèses suivantes :

- Les émissions (en $eqCO_2$) sont évaluées par tonnes.km, soit les émissions générées pour une tonne de produit transportée sur un kilomètre parcouru.
- On suppose qu'un seul type de transport est utilisé pour chaque paramètre. Par exemple, les polymères ne peuvent pas être transportés par un camion de 2,5 tonnes et un camion de 12 tonnes.
- Plusieurs types de consommables ne peuvent pas être transportés ensemble. Par exemple, des polymères pour l'épaississement ne sont pas transportés en même temps que des polymères pour la déshydratation ou de la chaux pour le chaulage.
- Afin d'éviter les doubles comptages, le transport des consommables énergétiques (de type fioul, gaz naturel…) n'est pas pris en considération car les facteurs d'émissions de ces derniers prennent déjà en considération leurs transports.

Le transport principal modélisé dans $^{G}E_{S}$TABoues est un transport par camion comme dans la méthode Bilan Carbone® (ADEME, 2009). Le transport des boues aux champs est réalisée selon la méthode proposée dans Pradel (2010).

Les émissions de GES pour les infrastructures

Après une analyse de la littérature, deux méthodes principales de prise en considération des infrastructures ont été référencées. Renou (2006) considère que la méthode la plus intéressante serait de comptabiliser toutes les masses de béton utilisé pour le génie civil et les masses des équipements mécaniques/électriques, alors que Doka (2007) prend en considération les émissions du génie civil pour 5 classes de STEU. Nous proposons dans notre méthode une solution intermédiaire qui consiste à estimer la quantité de matériaux nécessaires (béton, acier,…) de tous les équipements de génie civil et de matériaux électriques/mécaniques impliqués dans le traitement et la valorisation des boues pour 3 classes de STEU : <10 000 EH (petite), entre 10 000 et 100 000 EH (moyenne) et > 100 000 EH (grande).

Les émissions de GES sont comptabilisées pour la durée de vie totale des infrastructures et la quantité de boues traitées pendant cette période de temps. Elles sont exprimées en $eqCO_2$/unité/tonne.

Application de l'outil $^{G}E_{S}$TABoues à un cas d'étude : résultats et discussion

Choix des systèmes étudiés

Afin de valider l'outil $^{G}E_{S}$TABoues, nous avons choisi de tester l'outil pour 3 filières de traitement et de valorisation différentes pour une même STEU. Cette STEU présente une capacité de 380 000 EH. Les eaux usées sont collectées par un réseau séparatif puis traitées en aération prolongée. La STEU produit en moyenne 4630 tonnes de matières sèches (MS) de boues par an (Tableau 1).

Tableau 1 : Caractéristiques de la STEU et des différentes filières et intrants de chaque filière

	Filière 1	Filière 2	Filière 3
Capacité (EH)	380 000		
Réseau	Séparatif		
Traitement des eaux usées	Aération prolongée		
Quantité de boues (tMS)	4630		
DBO_5 (kg/j)	12840		
Epaississement	Epaississement gravitaire pour les boues primaires Flottation pour les boues mixtes		
Déshydratation	Centrifugation classique	Centrifugation classique	Filtre presse

Stabilisation	Avant déshydratation : Digestion anaérobie (DA)	Après déshydratation : Chaulage	Avant déshydratation : Digestion anaérobie
Autre	-	-	Séchage
Elimination	Epandage	Epandage	Incinération spécifique
Polymères (t)	Epaississement = 2,2 Déshydratation = 23,7	Epaississement = 2,2 Déshydratation = 30,8	Epaississement = 2,2 Déshydratation $FeCl_3$: 106 $Ca(OH)_2$: 387
Electricité (kWh)	Epaississement = 315 418 DA = 613 200 Déshydratation = 78 750	Epaississement = 315 418 Déshydratation = 288 618	Epaississement = 315 418 DA : 613 200 Déshydratation = 83 600
Chaux (t)	0	Chaulage = 1211	Incinération = 29,1
Charbon actif (t)	0	0	Incinération = 3,1
Fioul	Epandage = 32 L/h	Epandage = 33 L/h	0

Résultats obtenus pour la filière 1

La filière 1 produit près de 4000 Tonnes $eqCO_2$ ($TeqCO_2$) (tous gaz confondus) sur un an d'exploitation. Ces gaz sont répartis de la façon suivante :

- CO_2 = 1954 $TeqCO_2$,
- N_2O = 1296 $TeqCO_2$,
- CH_4 = 690 $TeqCO_2$,
- Emissions évitées = -2897 $TeqCO_2$ (dont seulement 300 kg $eqCO_2$ sont issus de la séquestration du carbone).

Tableau 2 : Emissions de GES pour la filière 1 (en $TeqCO_2$)

		Etapes de traitement et d'élimination des boues				
		Epaississement	**Digestion Anaérobie**	**Déshydratation**	**Epandage**	**Total**
Origine des émissions	Emissions directes	0	689.9 (CH_4)	0	1296.2 (N_2O)	1986.1
	Substances chimiques	9.7	0	100.8	1146.6	1257.1
	Electricité	28.1	54.6	7	0	89.7
	Combustibles	0	167.6	0	13.2	180.8
	Transports	23.7	0	246.7	139.6	410
	Infrastructures	1.7	8.8	5.9	0.04	16.44
	Emissions évitées	0	-1304	0	-1593.3	-2897.3
Total		63.2	920.9 / -1304	360.4	2595.6 / -1593.3	**3940 / -2897**

L'analyse du Tableau 2 apporte les conclusions suivantes :

- Les émissions liées à l'épaississement sont de l'ordre de 64 $TeqCO_2$. 44% de ces émissions sont issues des consommations électriques et 37% sont liées aux transports des polymères pour le conditionnement des boues.
- Plus de 70% des GES produits lors de la digestion anaérobie sont issus des fuites directes de CH_4 dans l'atmosphère lors du stockage des boues après la digestion (3,1% du potentiel méthanogène des boues). 18% des émissions de la digestion anaérobie proviennent de la consommation en gaz naturel en tant que combustible d'appoint.
  Les émissions évitées de la digestion anaérobie proviennent de la valorisation thermique du biogaz sur la station (48% du biogaz est valorisé).
- Lors de la déshydratation des boues, 28% des émissions sont générées par la fabrication des consommables (polymères) pour le conditionnement des boues et 68% proviennent du transport de ces consommables.
- Les émissions évitées lors de l'épandage s'élèvent à -1593 $TeqCO_2$ et proviennent de la non consommation des engrais minéraux et de la séquestration du carbone dans le sol).

L'application de boues sur des parcelles agricoles doit, en général, être complétée par une application d'engrais minéraux. Les boues étant majoritairement riches en phosphore, elles présentent un déficit en azote pour les cultures. Un complément minéral est donc systématiquement réalisé en plus de l'apport de boues sur les parcelles. Hormis Tidåker et al. (2006), il n'existe pas de référence faisant état de l'extension

des frontières du système à l'application d'engrais minéraux lors de l'épandage des boues. Dans l'outil $^{G}E_{S}$TABoues, le choix a été fait de prendre en considération les émissions directes de N_2O liées aux engrais minéraux ainsi que les émissions liées à la fabrication de ces derniers et les combustibles consommés pour l'épandage des engrais minéraux ont été considérés comme étant négligeables par rapport aux combustibles consommés lors de l'épandage des boues.
Ainsi, la quasi-totalité des émissions proviennent des émissions directes de N_2O et des émissions liées aux substances chimiques. Parmi ces émissions directes de N_2O (1296 $TeqCO_2$), on peut distinguer les émissions directes liées aux boues (144 $TeqCO_2$) et les émissions directes liées aux engrais minéraux (1152 $TeqCO_2$). La fabrication des engrais minéraux est quant à elle à l'origine de la production de 1146.6 $TeqCO_2$.
On remarque l'impact de la prise en considération des engrais minéraux sur le bilan carbone de la filière (plus de 60% des émissions totales de la filière). On constate donc toute l'importance donnée à la définition des frontières du système dans l'étude des filières de valorisation des boues et au regard des aspects méthodologiques propres au Bilan Carbone® ou à l'ACV. Cette question de l'extension des frontières du système dans le cas de systèmes de fin de vie multifonctionnels reste à creuser.

Résultats obtenus pour la filière 2

La filière 2 est responsable de la production de 5104 $TeqCO_2$ et de -2893 $TeqCO_2$ d'émissions évitées. Les GES sont répartis de la façon suivante :
- CO_2 = 3516 $TeqCO_2$,
- N_2O = 1588 $TeqCO_2$.

Tableau 3 : Emissions de GES pour la filière 2 (en $TeqCO_2$)

		Etapes de traitement et d'élimination des boues				
		Epaississement	**Déshydratation**	**Chaulage**	**Epandage**	**Total**
Origine des émissions	Emissions directes	0	0	0	1588 (N_2O)	1588
	Substances chimiques	9.7	130.8	1259.4	1105.4	2505.3
	Electricité	28.1	25.7	1.9	0	55.7
	Combustibles	0	0	0	28.6	28.6
	Transports	23.7	320.2	6.3	555.8	906
	Infrastructures	1.7	15.4	2.8	0.7	20.6
	Emissions évitées	0	0	0	-2892.9	-2892.9
	Total	63.2	492.1	1270.4	3278.5 / -2892.9	**5104 / -2893**

Le Tableau 3 apporte les conclusions suivantes :
- Les émissions lors de l'épaississement sont comparables à la filière 1 étant donné qu'il s'agit du même traitement.
- Lors de la déshydratation, 65% des émissions proviennent du transport des consommables pour conditionner les boues en préalable à la déshydratation et 27% des émissions sont issues de la fabrication de ces polymères.
- La quasi-totalité des émissions du chaulage sont issues de la fabrication de la chaux.
- Les émissions évitées de l'épandage s'élèvent à -2893 $TeqCO_2$ et proviennent de la non consommation des engrais minéraux et de la séquestration du carbone dans le sol.
- Lors de l'épandage des boues, la quasi-totalité des émissions proviennent des émissions directes de N_2O et du transport des boues. De même que dans la filière 1, nous distinguons les émissions directes liées aux boues et aux engrais minéraux (respectivement 477 et 1111 $TeqCO_2$). Les émissions liées à la fabrication des engrais minéraux sont de 1105 $TeqCO_2$. Dans la filière 2 les émissions liées à l'usage des engrais minéraux impacte à plus de 52% le résultat des émissions de gaz à effet de serre.

Résultats obtenus pour la filière 3

La filière 3 est responsable de l'émission de 6994 $TeqCO_2$ et de -3164 $TeqCO_2$ d'émissions évitées répartis comme suit :
- CO_2 = 4663 $TeqCO_2$,
- N_2O = 1097 $TeqCO_2$,

- CH_4 = 690 $TeqCO_2$.

Tableau 4 : Emissions de GES pour la filière 3 ($TeqCO_2$)

		Etapes de traitement et d'élimination des boues					
		Epaississement	**Digestion anaérobie**	**Déshydratation**	**Séchage**	**Incinération spécifique**	**Total**
Origine des émissions	Emissions directes	0	689.9 (CH_4)	0	0	1097 (N_2O)	1787
	Substances chimiques	9.7	0	412.4	0	383.6	796
	Electricité	28.1	54.6	7.4	26.9	52.9	141.8
	Combustibles	0	0	0		0	0
	Transports	23.7	0	3386	0	198.6	3584.6
	Infrastructures	1.7	8.8	29.3	102.2	0.05	140.4
	Emissions évitées	0	-2716.7		0	-447.7	-3164.4
Total		63.2	753.3 / -1738.7	3835.1	129.1	2276 / -447.7	**6450/ -3164**

L'analyse du Tableau 4 permet de conclure que :

- Les émissions lors de l'épaississement sont comparables aux filières 1 et 2 étant donné qu'il s'agit du même traitement.
- Plus de 90% des GES produits lors de la digestion anaérobie sont issus des fuites directes de CH_4 dans l'atmosphère lors du stockage des boues après la digestion (3,1% du potentiel méthanogène des boues). Contrairement à la filière 1, aucun combustible d'appoint n'est consommé ici, car on suppose un taux de valorisation du biogaz de 100%.
  Les émissions évitées de la digestion anaérobie proviennent de la valorisation thermique du biogaz sur la station.
- Lors de la déshydratation des boues, près de 90% des émissions sont générées par le transport des consommables pour assurer le conditionnement des boues avant la déshydratation par filtre presse.
- Lors du séchage il n'y a pas de consommation de combustible car on suppose que le sécheur fonctionne à partir de la valorisation thermique du biogaz de la digestion anaérobie. 80% des émissions sont générées par les infrastructures du sécheur.
- Lors de l'incinération spécifique, la moitié des émissions sont des émissions directes de N_2O dans l'atmosphère et 24% des émissions proviennent de la consommation en combustibles.

Comparaison des filières étudiées

Les 3 filières sont comparées selon la nature des GES émis (Figure III). Si on considère les émissions générées, la filière 1 est la plus intéressante car elle ne génère que 3940 $TeqCO_2$ contre 5104 $TeqCO_2$ pour la filière 2 et 6450 $TeqCO_2$ pour la filière 3.

Si on prend en considération les émissions évitées de chaque système, la filière 3 apparaît comme étant la plus intéressante (-3164 teqCO2) suivie de près par les filières 1 et 2 (respectivement -2897 et -2893 $TeqCO_2$).

Globalement, la filière 1 apparaît comme étant la plus intéressante des 3 filières car elle génère le moins d'émissions de GES et présente des émissions évitées comparables aux deux autres systèmes.

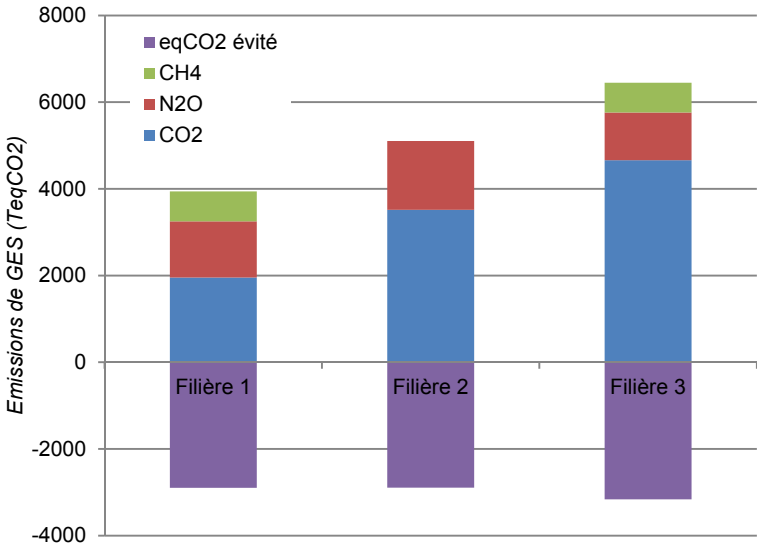


Figure III : Comparaison des émissions de GES en fonction de la nature du gaz pour les 3 filières

La Figure IV permet de comparer les 3 filières pour chaque étape de traitement selon l'origine des émissions.

Les émissions de GES liées à l'épaississement sont identiques entre les trois filières étant donné que les traitements sont identiques.

Les émissions lors de la digestion anaérobie dans la filière 3 (753 $TeqCO_2$) sont plus faibles que celles de la filière 1 (921 $TeqCO_2$). Ceci est lié au fait que dans la filière 3, 100% du biogaz est valorisé thermiquement alors que dans la filière 1 seulement 48% l'est. La filière 1 a donc besoin d'un combustible d'appoint (ici le gaz naturel) générant des émissions de GES.
Il en est de même pour les émissions évitées. Une plus grande part du biogaz est valorisée dans la filière 3, ainsi, les émissions évitées sont plus importantes.

La stabilisation des boues par chaulage est nettement moins intéressante que la stabilisation par digestion anaérobie. En effet, de plus grandes quantités de GES sont produites (1270 $TeqCO_2$) et aucune émission évitée n'est générée.

Lors de la déshydratation, les émissions de GES sont légèrement différentes entre la filière 1 et la filière 2, pourtant ce sont les mêmes procédés qui sont employés (centrifugation classique des boues). Ceci est expliqué par le fait que la filière 1 réalise une digestion anaérobie des boues, ce qui diminue les quantités de matières sèches envoyées en déshydratation, et donc ce qui diminue les consommations en polymères et en électricité.

La déshydratation de la filière 3 présente des émissions en GES près de 10 fois supérieures à celles des filières 1 et 2. Ceci est expliqué par la nature de la déshydratation. Dans le cas de la filière 3 on a une déshydratation par filtre presse (qui consomme à la fois du chlorure de fer et de la chaux pour le conditionnement de ses boues) alors que dans les filières 1 et 2, la déshydratation se fait par centrifugation classique (conditionnement par polyélectrolytes).

Le séchage des boues dans la filière 3 génère principalement des émissions liées à l'infrastructure. On considère qu'il n'y a pas d'émissions liées à des consommations en combustibles, car il s'agit de la valorisation du biogaz qui alimente le sécheur.

L'élimination des boues par incinération est moins impactante sur le réchauffement climatique (2276 $TeqCO_2$), dans le cas de cet exemple, que l'élimination par épandage (2596 $TeqCO_2$ pour la filière 1 et 3279 $TeqCO_2$ pour la filière 2).

Les émissions générées sont différentes entre les filières 1 et 2 à cause de la nature du traitement des boues. En effet, dans la filière 1, les boues subissent une digestion anaérobie, ce qui réduit les quantités de boues. Etant donné que les émissions directes de N_2O sont dépendantes de la quantité de boues épandues, elles seront moins importantes dans le cas de la filière 1 que dans le cas de la filière 2. De plus, dans la première filière il y a moins de boues à épandre, ce qui diminue les transports et donc les émissions de GES liées à cette étape.

Si on prend en considération la production des émissions évitées lors de l'étape d'élimination des boues, celles-ci sont entre 3 et 6 fois plus importantes pour la filière 1 et 2 (respectivement -1593 et -2893 $TeqCO_2$) que pour la filière 3 (-448 $TeqCO_2$). La différence d'émissions évitées entre la filière 1 et 2 est expliquée par la quantité de carbone séquestrée dans le sol. En effet, on suppose une séquestration de 0,25 kg CO_2 / kg MS épandue. Or dans le cas de la filière 1, la digestion anaérobie permet de réduire les quantités de MS de près de 45%, de ce fait le carbone séquestré est moins important (300 $TeqCO_2$) que dans la filière 2 (1347 $TeqCO_2$).

De façon globale la filière 1 semble être la solution la plus intéressante en ce qui concerne les impacts sur le réchauffement climatique.

Cette conclusion n'est que globale car si on se concentre sur la Figure IV, on observe que la filière 3 est fortement impactée par la déshydratation de ses boues (filtre presse au lieu de centrifugation). Si on remplaçait cette déshydratation par filtre presse par une déshydratation par centrifugation, on pourrait enlever en moyenne 4 000 $TeqCO_2$ à la filière 3. Celle-ci ne génèrerait alors plus que 2 500 $TeqCO_2$ et serait donc la filière la plus intéressante en ce qui concerne les émissions générées. Vis-à-vis des émissions évitées, celles-ci resteraient globalement les mêmes.

Les valeurs présentées par l'outil constituent des ordres de grandeur permettant de comparer les filières entre elles. L'outil $^{G}E_{S}$TABoues ne prend en considération que le réchauffement climatique, les autres impacts (acidification, eutrophisation, …) ne sont pas comptabilisés. Il n'intègre par ailleurs que les émissions de GES et ne prend pas en considération les autres polluants ainsi que les aspects économiques et sociaux. En effet, la mise en place d'une filière de traitement des boues sur une STEU doit répondre à des contraintes environnementales, mais elle répond également à des contraintes liées aux coûts des installations et aux pressions locales.

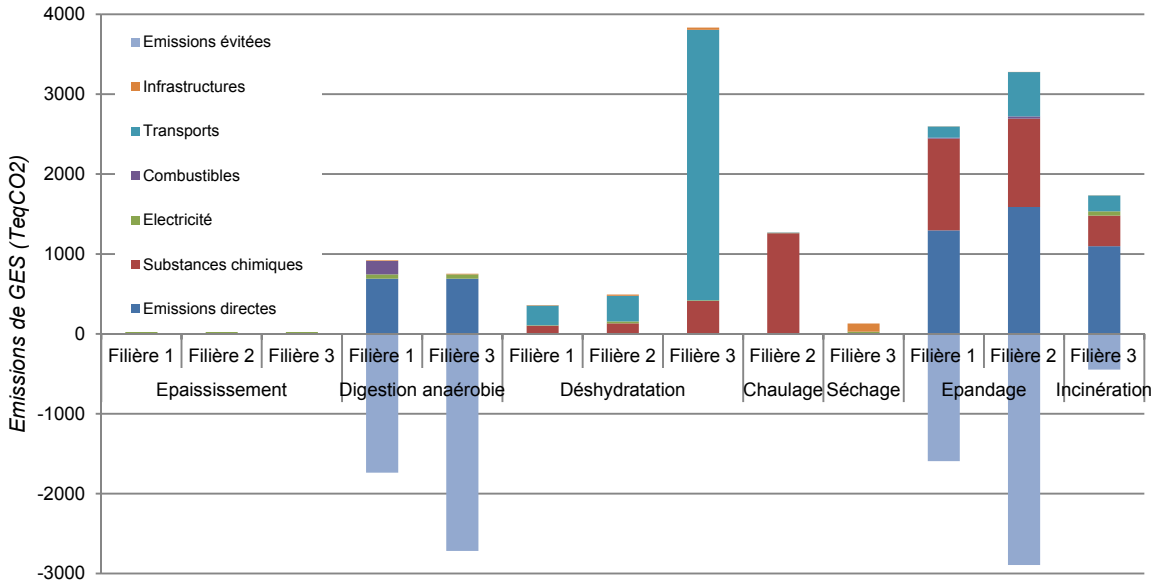


Figure IV : Comparaison des émissions de GES pour chaque étape de traitement en fonction de l'origine des émissions

Conclusion

Cet article propose une méthode d'estimation des émissions de gaz à effet de serre pour les filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées ainsi qu'un outil dédié pour évaluer et comparer ces filières.

Les résultats du cas d'étude présenté dans cet article montrent la faisabilité et illustrent bien les potentialités de l'outil $^{G}E_{S}$TABoues. Ainsi, au regard des premiers résultats, la filière 1 semble être la plus intéressante pour cette station, mais en gardant à l'esprit que ces résultats restent des ordres de grandeur afin de comparer les filières entre elles et d'identifier les bénéfices et les inconvénients de chacune.

Ce travail présente toutefois certaines limites méthodologiques, essentiellement liées à la prise en considération du carbone biogénique et aux problèmes de frontières des systèmes de fin de vie multifonctionnels (cas de l'épandage des boues complété systématiquement par l'apport d'engrais minéraux par exemple). Comptabiliser les émissions de carbone biogénique permettra notamment une meilleure compréhension de l'efficacité des procédés de traitement.

Dans un avenir proche, notre objectif est de tendre vers une analyse multicritère des filières de traitement et de valorisation des boues issues des STEU au travers de l'ACV afin de combler les lacunes de la méthode monocritère proposée, à savoir de pouvoir identifier les éventuels transferts de pollution possibles et identifier les filières les plus respectueuses de l'environnement et les optimiser.

Remerciements

Ces recherches ont été financées par le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable, des Transports et du Logement.

Références bibliographiques

ADEME, 2009. Guide méthodologique - version 6.0 - Objectifs et principes de comptabilisation. Bilan Carbone®, Entreprises - Collectivités - Territoires, 117 pages.

Brown, S., Beecher, N., Carpenter, A., 2010. Calculator Tool for Determining Greenhouse Gas Emissions for Biosolids Processing and End Use. Environmental Science & Technology 44, p. 9509-9515.

Doka, G., 2007. Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Ecoinvent - Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 133 pages.

Environmental Protection Agency (US) 2011. Deferral for CO2 emissions from Bioenergy and Other organic Sources under the Prevention of Significant deterioration (PSD) and Title V programs. EPA report and response to public comments.

ILCD Handbook 2010. ILCD Handbook: General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. 417 pages. Téléchargeable à l'adresse : http://lct.jrc.ec.europa.eu/pdf-directory/ILCD-Handbook-General-guide-for-LCA-DETAIL-online-12March2010.pdf

Pradel, M., 2010. Analyses du cycle de vie de chantiers d'épandage de boues de station d'épuration. Livrable T3d projet ANR Ecodefi - Cemagref, 133 pages.

Renou, S., 2006. Analyse du Cycle de Vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées. Institut National Polytechnique de Lorraine, 258 pages.

Reverdy A.L., Pradel M., 2011. Evaluation des émissions de GES des filières de traitement et de valorisation des boues issues du traitement des eaux usées. Cemagref/MEEDTL, 94 pages.

Reverdy, A.L. Pradel, M. 2010. Les filières de valorisation des boues d'épuration en France. Etat des lieux – état de l'art. Juin 2010. Rapport Cemagref/MEEDDM. 44 pages.

Shaw, A., Coleman, A., Nolasco, Rosso, D., Yuan, Z., Van Loosdrecht, M., Shiskowski, D., Chandran, K., Houweling, D., Willis, J., Beecher, N., Corominas, L., Siegrist, H., Porro, J., Nopens, I., 2010. Workshop Summary: The role of modeling in assessing greenhouse gas (GHG) emissions., Proocedings of 83rd Annual WEFTEC, New Orlean, LA

Tidåker, P., Kärrman, E., Baky, A., Jönsson, H., 2006. Wastewater management integrated with farming -an environmental systems analysis of a Swedish country town. Resources, Conservation and Recycling 47, 295-315