

**Partenariat 2011 - Domaine Ecotechnologies et pollutions**  
Action n°24 « Analyse environnementale de cycle de vie du système assainissement »

# ACV comparative inter-filières de traitement des eaux usées

*Filtres plantés de roseaux à flux verticaux vs  
boues activées*

*Rapport d'étape*



*Eva RISCH, Catherine BOUTIN, Philippe ROUX et Alain HEDUIT*

Irstea

*Février 2012*

## Contexte de programmation et de réalisation

---

L'efficacité d'une station de traitement des eaux usées se mesure classiquement par la qualité de ses rejets dans les milieux aquatiques. Mais ce traitement est obtenu au prix d'autres impacts environnementaux qui se produisent lors de la construction, de l'exploitation, du fonctionnement et du démantèlement du système d'assainissement dans sa globalité. L'Analyse du Cycle de Vie (ACV) environnementale est la seule méthode d'évaluation, capable de quantifier ces impacts sur l'ensemble du cycle de vie du système. Associée à des approches plus locales telles que les études d'impacts qui prennent mieux en compte les spécificités du site, l'ACV est un outil d'aide à la décision qui doit permettre de mieux maîtriser les transferts de pollution.

Afin que l'ACV puisse devenir progressivement un indicateur supplémentaire décisionnel d'un choix objectif, il convient de l'appliquer progressivement aux différents systèmes d'assainissement tout en améliorant la méthodologie. C'est dans ce contexte que l'ONEMA a confié à Irstea cette action visant à développer les connaissances et à proposer des outils et des méthodes autour de l'approche ACV des systèmes d'assainissement.

Ce rapport doit être considéré comme un « rapport d'étape » présentant l'avancé des travaux réalisés en 2011 dans le cadre de l'action 24. Les travaux présentés ici se poursuivent dans le cadre d'une action Onema-Irstea 2011. Ils permettront la réalisation de rapports consolidés et de communications scientifiques ou techniques diffusables en externe. En l'état, ce rapport doit donc être considéré comme « Rapport d'étape » et ainsi n'être aucunement diffusé à l'extérieur excepté via la relecture du COPIL, d'où son statut « confidentiel ».

## Les auteurs

---

*Eva RISCH<sup>1</sup>, Catherine BOUTIN<sup>2</sup>, Philippe ROUX<sup>1</sup> et Alain HEDUIT<sup>3</sup>*

1. Irstea Montpellier (34), UMR ITAP, pôle ELSA ([www.elsa-lca.org](http://www.elsa-lca.org))
2. Irstea Lyon (69), UR MALY, Milieux Aquatiques, Ecologie et Pollutions
3. Irstea Antony (92), UR HBAN, Hydrosystèmes et bioprocédés

## Les correspondants

---

Onema : Stéphane GARNAUD, Direction de l'Action Scientifique et Technique, [stephane.garnaud@onema.fr](mailto:stephane.garnaud@onema.fr)

Irstea : Philippe Roux, Irstea ITAP, pôle ELSA, [philippe.roux@irstea.fr](mailto:philippe.roux@irstea.fr)

<b>Droits d'usage :</b>	Accès libre
<b>Couverture géographique :</b>	France
<b>Niveau géographique :</b>	National
<b>Niveau de lecture :</b>	Public Onema – Irstea et Copil
<b>Nature de la ressource :</b>	Rapport d'étape

**ACV comparative inter-filières de traitement des eaux usées**  
**Filtres plantés de roseaux à flux verticaux vs boues activées**

*Rapport d'étape*

*Eva RISCH, Catherine BOUTIN, Philippe ROUX et Alain HEDUIT*

**Sommaire**

<b>1. RESUME .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ABSTRACT .....</b>	<b>5</b>
<b>3. SYNTHÈSE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE .....</b>	<b>6</b>
<b>4. GLOSSAIRE .....</b>	<b>8</b>
<b>5. ABREVIATIONS .....</b>	<b>8</b>
<b>6. OBJECTIFS ET CHAMP DE L'ETUDE .....</b>	<b>9</b>
6.1. DESCRIPTION DE L'ETUDE.....	9
6.2. UNITÉ FONCTIONNELLE ET FUTURE BASE DE COMPARAISON INTER-CLASSES DE CAPACITÉ.....	10
6.3. FRONTIÈRES DES SYSTÈMES ETUDIÉS.....	10
6.4. HYPOTHÈSES DE MODELISATION.....	12
6.5. DESCRIPTION DES AFFLUENTS ET EFFLUENTS DES STEU.....	15
6.6. INVENTAIRE DES FLUX ENVIRONNEMENTAUX.....	21
<b>7. EVALUATION DES IMPACTS (LCIA) .....</b>	<b>22</b>
<b>8. CONCLUSIONS.....</b>	<b>35</b>
<b>9. ANNEXES.....</b>	<b>36</b>
9.1. RÉFÉRENCES.....	36
9.2. ANNEXES TECHNIQUES.....	37

**ACV comparative inter filières de traitement des eaux usées**  
**Filtres plantés de roseaux à flux verticaux vs boues activées**

*Rapport d'étape*

*Eva RISCH, Catherine BOUTIN, Philippe ROUX et Alain HEDUIT*

## 1. Résumé

---

Le présent rapport d'étape concerne une étude d'analyse environnementale de cycle de vie (ACV) comparative entre (i) une filière de traitement des eaux usées domestiques par boues Activées, et (ii) une filière de traitement des eaux usées domestiques par filtres plantés de roseaux à flux verticaux (FPRv).

Ces deux filières ont fait l'objet d'études ACV décrites aux rapports acv02\_onema (Filière Boues Activées) et acv03\_onema (Filière Filtres plantés de roseaux à flux verticaux).

### MOTS CLES

---

Analyse du cycle de vie, filtres plantés de roseaux à flux verticaux, boues activées, station de traitement des eaux usées.

**Comparative LCA study of wastewater treatment technologies**  
**Vertical flow constructed wetlands vs. activated sludge systems**

*Progress report*

*Eva RISCH, Catherine BOUTIN, Philippe ROUX and Alain HEDUIT*

## **2. Abstract**

---

The present document scopes a comparative LCA (Life Cycle Assessment) study of two wastewater treatment technologies designed for domestic sewage.  
This comparative LCA study is carried out between (i) an Activated Sludge, and (ii) a Vertical Flow Constructed Wetland.

These systems have been previously described in LCA studies in the following reports: acv02\_onema (Activated Sludge) et acv03\_onema (Vertical flow constructed wetlands).

### **KEY WORDS**

---

Life Cycle Assessment, activated sludge, constructed wetland, vertical flow reed beds, wastewater treatment plant, sewage.

**ACV comparative inter filières de traitement des eaux usées**  
**Filtres plantés de roseaux à flux verticaux vs boues activées**

*Rapport d'étape*

*Eva RISCH, Catherine BOUTIN, Philippe ROUX et Alain HEDUIT*

### **3. Synthèse pour l'action opérationnelle**

L'action engagée en 2010 sur l'analyse environnementale de cycle de vie (ACV) du système assainissement a permis de réaliser les premières ACV du système. Elle a ainsi permis d'identifier les lacunes de connaissances et les manques méthodologiques pour mener à bien ce type d'approche. Cette action se poursuit en 2011 en y incluant les travaux complémentaires suivants :

A1 – Finalisation de l'interprétation des résultats obtenus en 2010.

A2 – Rédaction d'un avant Projet de recommandations pour la conduite des ACV de systèmes d'épuration.

A3 – Etablissement d'un cahier des charges de calculateur simplifié d'ACV de systèmes d'assainissement.

A4 – Réalisation d'ACV complémentaires de STEU (FPRv et BA) pour enrichir le calculateur simplifié (A3) et évaluer certains effets (échelle, qualité des rejets, ...) sur les performances environnementales des STEU.

A5 – Présentation lors d'un colloque.

Les premiers acquis transférables (implications pratiques, recommandations, réalisations pratiques, limites de l'utilisation) ne pourront donc être obtenus qu'en 2011. Dans ce contexte, le présent rapport d'étape a un caractère confidentiel.

**Autres rapports concernant cette action**

Rapports ONEMA		Date	STATUT de diff.	Actions concernées, Commentaires
acv01_onema	Analyse environnementale de cycle de vie (ACV) du système d'assainissement  Rapports d'ACV et données d'inventaire	<b>9 mars 2011</b>	Public	<b>Regroupement des RTI 01 à 05</b>
acv02_onema	Modèle ACV – Filière de traitement des eaux usées par <b>Boues Activées (BA)</b> - <i>Rapports d'ACV et données d'inventaire</i>	<b>Août 2011</b>	Public	
acv03_onema	Modèle ACV – Filière de traitement des Eaux usées par <b>Filtres plantés de roseaux à flux verticaux (FPRv)</b>	<b>Octobre 2011</b>	Public	

## 4. Glossaire

**Charge hydraulique** : débit journalier reçu par la station sous forme de hauteur d'eau (exprimée en m<sup>3</sup>/jour).

**Charge organique** : masse journalière de pollution reçue par la station (exprimée en kg/jour). La charge organique peut être calculée à partir de la DBO<sub>5</sub> ou de la DCO.

**Equivalent-Habitant (EH)** : défini par la Directive Européenne Eaux Résiduaires Urbaines (DERU) comme une charge journalière correspondant à 60 g de DBO<sub>5</sub>. On dérive ensuite la DCO de la DBO<sub>5</sub> des eaux brutes par le ratio DCO/DBO<sub>5</sub>, qui peut varier entre 1,5 et 3 selon la biodégradabilité des eaux brutes. D'après (Doka, 2007), en ce qui concerne les eaux brutes Suisses, le ratio DCO/DBO<sub>5</sub> utilisé est pris égal à 1,5 ; ce qui est très différent des ratios habituellement utilisés pour les EH Français, entre 2 et 2,4.

**Habitant (hab.)** : définit une charge de pollution journalière d'un Français moyen en milieu rural, ce qui correspond d'après (Canler et Perret, 2007) à : 50 g de DBO<sub>5</sub> et 120 g de DCO dans 150 L d'eau consommée. Ceci correspond à un ratio DCO/DBO<sub>5</sub> de 2,4.

**Azote Total Kjeldhal (NTK)** : Ce paramètre quantifie la fraction réduite de la pollution azotée : c'est la somme de l'azote organique (protéines par exemple) et de l'azote ammoniacal, N-NH<sub>4</sub>.

**Azote Global (NGL)** : Ce paramètre quantifie la pollution azotée d'un effluent : il est obtenu en faisant la somme de Azote Total Kjeldhal (NTK) et de l'azote oxydé : Azote nitreux (nitrite / N-NO<sub>2</sub>) + Azote nitrique (nitrate / N-NO<sub>3</sub>)

## 5. Abréviations

**ACV** : Analyse de Cycle de Vie

**BA** : Boues Activées

**CTO** : Composés Traces Organiques

**DBO<sub>5</sub>** : Demande Biochimique en Oxygène, mesurée sur 5 jours

**DCO** : Demande Chimique en Oxygène

**DERU** : Directive Européenne Eaux Résiduaires Urbaines. Directive n°91/271/CEE du 21 mai 1991.

**ETM** : Eléments Traces Métalliques

**LSPR** : Lits de Séchage Plantés de Roseaux

**FPRv** : Filtres Plantés de Roseaux à écoulement vertical

**MES** : Matières En Suspension

**STEU** : Station de Traitement des Eaux Usées

## 6. Objectifs et champ de l'étude

### 6.1. Description de l'étude

Cette étude se donne l'objet de réaliser une étude comparative d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) entre deux filières de traitement des eaux usées, la filière de traitement par **Boues Activées (BA)** et la filière de traitement par **Filtres plantés de roseaux à flux verticaux (FPRv)** pour lesquelles une description détaillée est donnée respectivement aux rapports d'études **acv02\_onema** et **acv03\_onema**.

Ces modèles de STEU sont basés sur des données réelles de STEU françaises, destinées au traitement des eaux usées domestiques. Au sein de la filière BA, il existe deux variantes du traitement des boues qui peut se faire par (1) conditionnement physico-chimique<sup>1</sup> après épaissement sur grille d'égouttage, ou par (2) rhizocompostage sur lits de séchage plantés de roseaux (LSPR).

Parmi les systèmes STEU modélisés disponibles dans le cadre de cette étude, il y a :

- **Système FPRv** : Filière Filtres plantés de roseaux à écoulement vertical, système dimensionné pour une capacité de **806 EH (Equivalent-Habitant<sup>2</sup>)** i.e. une charge organique quotidienne de **48.36 kg DBO<sub>5</sub>/j**.
- **Système BA 1500** : Filière Boues Activées avec conditionnement des boues par rhizocompostage, système dimensionné pour une capacité de **1 500 EH** i.e. une charge organique quotidienne de **90 kg DBO<sub>5</sub>/j**.
- **Système BA-Rhizo 5200** : Filière Boues Activées avec conditionnement des boues par rhizo-compostage, système dimensionné pour une capacité de **5 200 EH** i.e. une charge organique quotidienne de **312 kg DBO<sub>5</sub>/j**.
- **Système BA-CoFlo 5200** : Filière Boues Activées avec conditionnement des boues par voie physico-chimique (coagulation-floculation), système dimensionné pour une capacité de **5 200 EH** i.e. une charge organique quotidienne de **312 kg DBO<sub>5</sub>/j**.
- **Système Référence (Ecoinvent)** : Filière Boues Activées avec conditionnement des boues par voie physico-chimique (coagulation-floculation), système dimensionné pour une capacité de **5 321 EH Suisses<sup>3</sup>** i.e. une charge organique quotidienne de **319 kg DBO<sub>5</sub>/j**.

<sup>1</sup> Il s'agit d'un conditionnement par déshydratation et stabilisation, qui se fait à l'aide d'un filtre presse et d'agents coagulants/flocculants (FeCl<sub>3</sub> et de la chaux ou des polymères)

<sup>2</sup> Directive Européenne du 21/05/1991 (91/271/CEE): 1 EH correspond à un rejet de 60 g DBO<sub>5</sub>/j.

<sup>3</sup> Station de classe 4, capacité moyenne estimée à 5 321 habitants Suisses (Doka, 2007).

## 6.2. **Unité Fonctionnelle et future base de comparaison inter-classes de capacité**

On rappelle dans ce qui suit les choix réalisés sur l'unité fonctionnelle et la démarche mise en œuvre pour réaliser l'étude comparative d'ACV entre les STEU modélisées (de différentes filières de traitement et/ou de classes de capacité).

Selon la [norme ISO 14044 :2006<sup>4</sup>], l'unité fonctionnelle est la performance quantifiée d'un système de produits destinée à être utilisée comme unité de référence dans une ACV.

Le principal service rendu d'une STEU est le traitement des eaux usées (de charge polluante définie) pour des petites collectivités.

Dans le but de mener à bien la comparaison inter-classes entre différentes STEU de capacité variable, il est nécessaire d'identifier une base de comparaison fiable sur les capacités des systèmes étudiés.

Dans la base de données Ecoinvent, l'unité fonctionnelle retenue<sup>5</sup> est le m<sup>3</sup> d'eau usée traitée ou rejetée ?. Cependant, les volumes et les concentrations de polluants dans les eaux usées étant très différents selon le contexte géographique (la pollution organique est plus diluée en Suisse qu'en France), nous avons retenu d'établir une comparaison des deux STEU sur la base de la même charge polluante exprimée par le **kg de DBO<sub>5</sub> par jour**.

Ainsi, si on considère le modèle représentant la STEU FPRv, ce dernier est défini pour le traitement d'une charge de pollution organique entrante en station de **48,36 kg DBO<sub>5</sub>/j**. On considère un contexte français en milieu rural (50 g DBO<sub>5</sub>/hab/j<sup>6</sup>), dans lequel l'habitant génère une pollution journalière évaluée à 50g DBO<sub>5</sub> dans 150 L d'eau.

Cette charge organique correspond à une capacité de  $48,36 \cdot 10^3 / 50 = 967,2$  **habitants**, ou de **806 Equivalents-Habitant (EH)**, si l'on prend le contexte suisse pour lequel sont définies les STEU à BA, disponibles dans Ecoinvent.

La charge hydraulique est égale à  $967,2 \cdot 0,15 = 145$  **m<sup>3</sup>/j**, un Français consommant 150 L d'eau/j.

La valeur de la concentration en DBO<sub>5</sub> des eaux usées est donc donnée par le rapport Charge Organique (kg DBO<sub>5</sub>) / Charge Hydraulique (m<sup>3</sup>/j), soit  $48,36 \cdot 10^3 / 145 = 333,5$  **mg/L**. Ce qui est cohérent avec la valeur guide donnée par le Groupe Macrophytes et Traitement des Eaux<sup>7</sup>, pour un milieu rural/réseau séparatif.

## 6.3. **Frontières des systèmes étudiés**

Les systèmes STEU modélisés reprennent les mêmes frontières définies dans les rapports précédents **acv02\_onema** et **acv03\_onema**. Ce choix de périmètres (Figure 1) permettra de

<sup>4</sup>Norme sur le Management environnemental -- Analyse du cycle de vie -- Exigences et lignes directrices. L'ISO 14044:2006 traite des études d'analyse du cycle de vie et des études d'inventaire du cycle de vie.

<sup>5</sup>Le rapport RTI.02 (Chapitre 4) avait présenté une discussion sur les Unités Fonctionnelles.

<sup>6</sup>Recommandation Cemagref/Irstea : hypothèse sur la charge organique retenue d'un habitant générant 50 g de DBO<sub>5</sub>/j en milieu rural, d'après des mesures Irstea. La Directive ERU du 21/05/1991 propose une valeur plus conservatrice de 1 E.H.  $\equiv$  60 g DBO<sub>5</sub>/j.

<sup>7</sup>Groupe Macrophytes et Traitement des Eaux (Ouvrage Collectif), 2005, Epuración des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes - Recommandations techniques pour la conception et la réalisation, Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, pp.12-13

réaliser également une comparaison fidèle avec les STEU à BA disponibles dans Ecoinvent. Sont inclus dans ces périmètres d'étude :

- la STEU et les activités qui lui sont associées (production de réactifs et d'énergie, transports, ...)
- la stabilisation et l'élimination (épandage/incinération/mise en décharge) des boues.

Le réseau de collecte est exclu des périmètres d'étude des modèles ACV des STEU puisque cette étude comparative d'ACV se focalise sur l'évaluation des performances environnementales d'une STEU, et que pour cela nous pouvons poser l'hypothèse que le réseau de collecte sera le même quelque soit la filière de traitement des eaux domestiques étudiée.

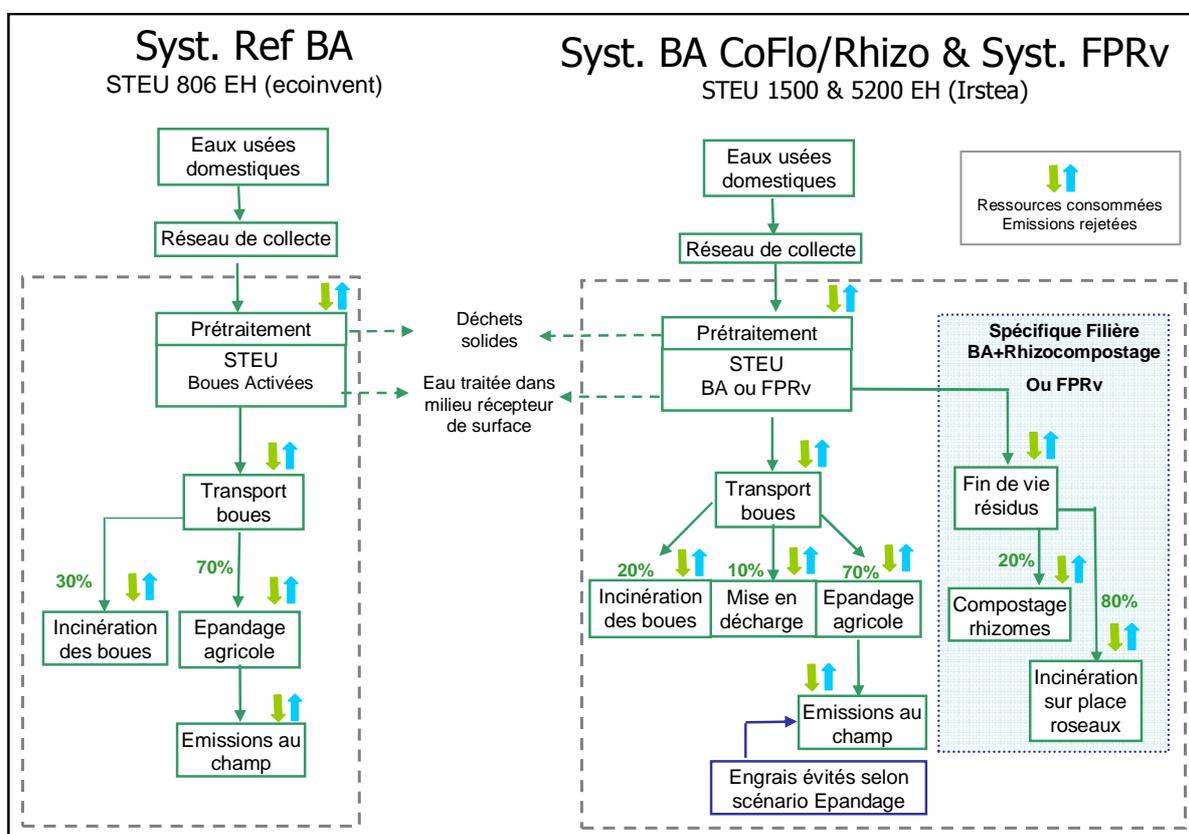


Figure 1. Frontières considérées pour les modèles ACV de STEU BA et FPRv

Le Chapitre 5 de la partie IV de la base de données Ecoinvent sur les traitements des eaux usées (Doka, 2007) renseigne sur les fins de vie estimées des boues de STEU Suisses de différentes classes. Ainsi, pour une Classe 5 (d'après une extrapolation des données de 1994), les boues digérées avec une teneur de 70.65 % en matière sèche, sont en majorité utilisées en fertilisants pour l'agriculture.

## 6.4. Hypothèses de modélisation

Dans ce qui suit, on rappelle brièvement les hypothèses retenues pour la modélisation des STEU BA et FPRv.

La modélisation prend en compte l'infrastructure de la station : différents constituants nécessaires à la construction de la station (béton, graviers, drains, pompes, ...) pour les divers éléments de la station (poste de relevage des eaux, bassin d'aération, lits plantés, ...).

La partie génie civil est également prise en compte avec la construction et le démantèlement de la station. Pour cela on considère différentes équipes utilisant des machines (pelles mécaniques, ...) pour les travaux dont la durée a été évaluée à partir de cas réels. Le fonctionnement de la station (opération et maintenance) reprend les consommations d'électricité, de réactifs et les opérations journalières de maintenance et vérification (techniciens devant se rendre sur place, ce qui implique l'utilisation d'un véhicule pour le déplacement).

Les rejets (air et eau) sont déterminés par des bilans de matière appropriés, décrits aux rapports d'ACV relatifs aux filières étudiées :

- **acv02\_onema** « Modèle ACV – Filière de traitement des eaux usées par par **Boues Activées (BA)** - *Rapports d'ACV et données d'inventaire* » ;
- **acv03\_onema**. « Modèle ACV – Filière de traitement des Eaux usées par **Filtres plantés de roseaux à flux verticaux (FPRv)** ».

Le Chapitre suivant reprendra les compositions des eaux entrant et sortant de STEU.

Pour les boues générées en sortie des STEU modélisées, on rappelle ici l'hypothèse<sup>8</sup> de fin de vie retenue : 70 % d'épandage, 20 % d'incinération et 10 % de mise en décharge (voir Figure 2, Figure 3 et Figure 4).

En ce qui concerne les boues digérées<sup>9</sup> des BA de classe 5 (806 EH) de la base de données Ecoinvent (Doka, 2007), le modèle Ecoinvent estime à **70.7 %** l'application en agriculture, et les **29.3 %** restants étant incinérés<sup>10</sup> disposés en décharge. Pour le transport entre la station et l'incinérateur, une distance de 10km par camion a été choisie, la boue ayant une teneur de 63 % en eau.

Au **Tableau 1** sont données les quantités de boues produites pour les différentes STEP décrites au paragraphe 6.1. Il faut distinguer les types BA avec conditionnement par lits de séchage plantés (variante « rhizo-compostage ») des types BA avec conditionnement physico-chimique (BA de Base). La différence de conditionnement choisi pour les boues justifie les volumes de boues différents. Ainsi, une BA avec Rhizocompostage va produire environ 0.04-0.08kgMES/EH.j ; alors qu'une BA avec conditionnement à la chaux produira 0.15kgMES/EH.j. Par ailleurs, la production de boues d'une FPRv se situe à environ: 0.014kgMES/EH.j.

<sup>8</sup> Pour plus de détails sur les fins de vie des boues de STEU, se référer au RTI 06. Fin de vie des boues de STEU : Création d'un Module d'ACV simplifié « Epandage ».

<sup>9</sup> La digestion de ces boues est effectuée dans un digesteur anaérobie et produit du biogaz, ainsi qu'un digestat sec.

<sup>10</sup> Le procédé d'incinération existant dans la base Ecoinvent tient également compte des résidus d'incinération qui sont traités de façon adaptée.

Tableau 1. Production de boues par filière de traitement

	BA 5200 Base		BA 5200 Variante	BA 1500	FPR 806
	cond1 (FeCl <sub>3</sub> + Polymère)	cond2 (FeCl <sub>3</sub> + chaux)			
Quantité journalière de <b>boues activées</b> à traiter (kg MS/j):	568		568	90	15.9
Quantité journalière de <b>boues stabilisées produites</b> (avec conditionnement lorsqu'il y en a) (kgMS/j)	593	769	406	67.5	11.9
Quantité de MS hebdomadaire moyenne* (+ conditionnement) (kgMS/sem)	2372	3076	1624		
Qté annuelle (kgMS/an)	173 156	224 548	118 552	24 637.5	4351.5
Aspect boues:	pâteux	solide	pâteux/solide	pâteux/solide	pâteux/solide
Siccité moyenne attendue (%MS):	27	32	20 à 25	20 à 25	20 à 25

\*Il a été pris un coefficient de production moyen égal à 0,8 car un habitant réel raccordé au réseau produit en moyenne beaucoup moins que l'équivalent-habitant (valeur réglementaire); i.e. sur une année pleine, la semaine type ne se rencontre que 80% du temps.

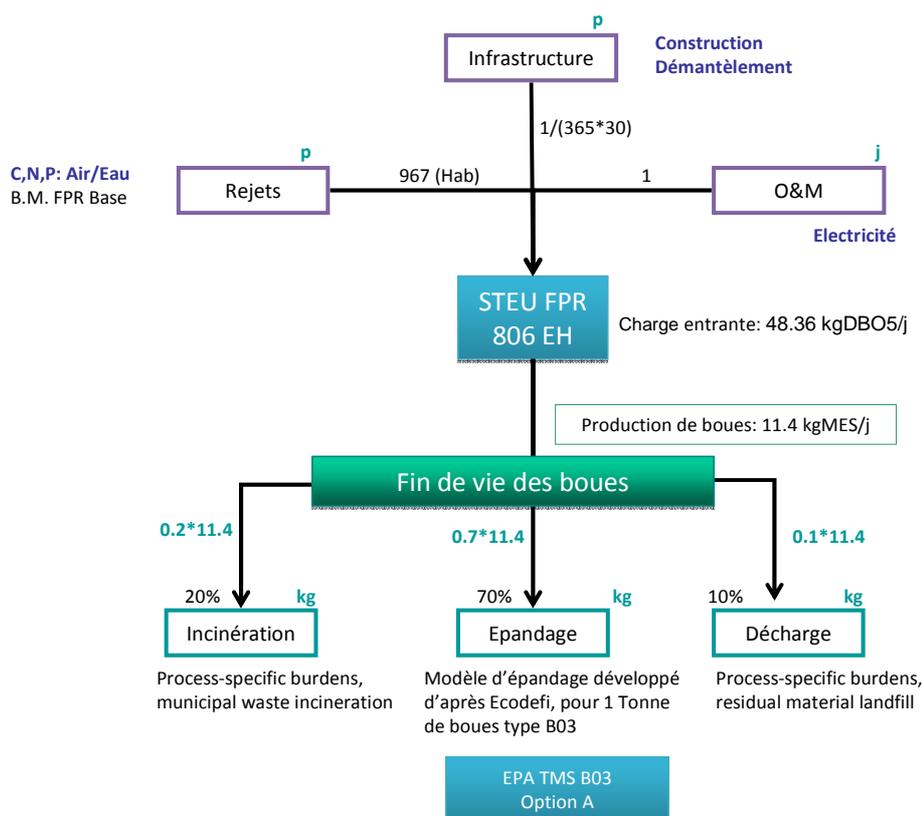


Figure 2. Modèle du système FPRv sous SimaPro

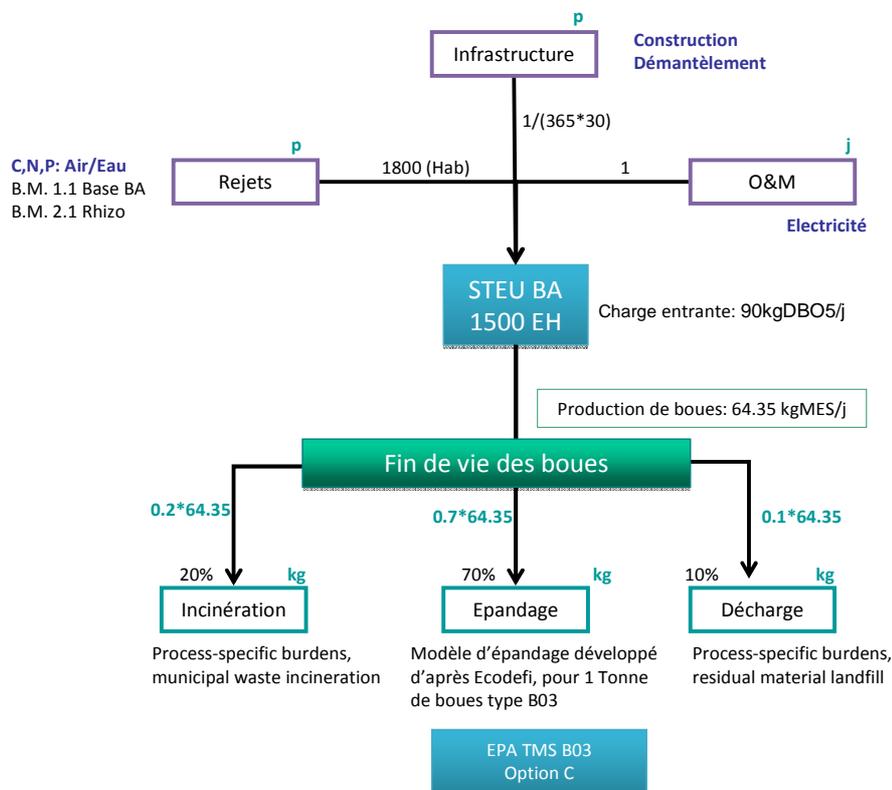


Figure 3. Modèle du système BA 1500 (avec rhizocompostage) sous SimaPro

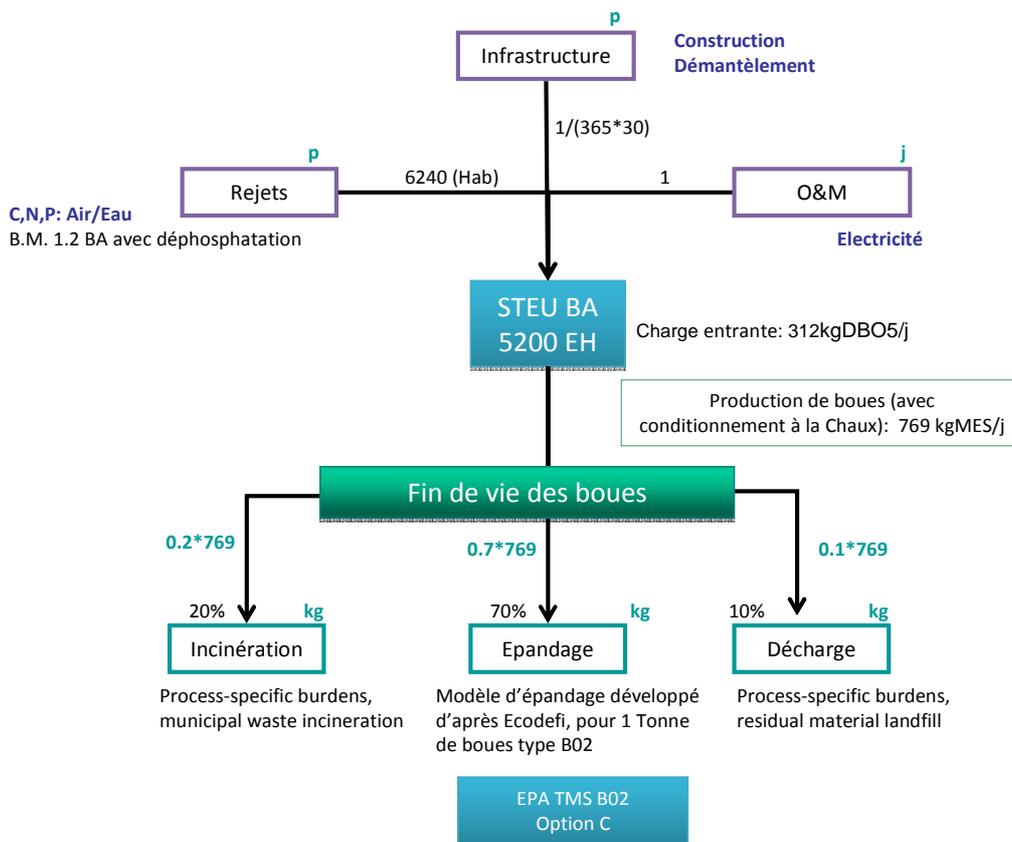


Figure 4. Modèle du système BA 5200 (avec déphosphatation et conditionnement Chaux) sous SimaPro

## 6.5. Description des affluents et effluents des STEU

Le but principal d'une station est de traiter un certain volume d'eau usée avec une performance de traitement déterminée. Or, cette performance dépend :

- de la qualité de l'eau brute en entrée de station. Celle-ci est composée d'une matrice de polluants (DCO, azote, phosphore, ...) caractérisés par une charge et une concentration.
- du niveau de rejet exigé qui dépend des objectifs de qualité imposés par la sensibilité du cours d'eau.

La principale fonction d'une STEU, la fonction traitement, est donc conditionnée par la qualité de l'eau en entrée de station, et par la sensibilité du milieu naturel récepteur de l'effluent traité. Pour rappel, les compositions moyennes des affluents et effluents (en g/m<sup>3</sup>) des STEU modélisées sont renseignées aux Tableau 2, Tableau 3, Tableau 4 et Tableau 5.

**Tableau 2. Compositions moyennes des affluents/effluents d'une STEU FPRv**

Entrée et sortie de la STEU FPRv			
Irstea (2010)			
Affluent moyen (g/m <sup>3</sup> )		Effluent moyen (g/m <sup>3</sup> )	
	DBO <sub>5</sub>	333	DBO <sub>5</sub> 12,47
	DCO	800	DCO 80,0
	COD	NC	COD NC
	COT	NC	COT NC
	N-NH <sub>4</sub>	50,00	N-NH <sub>4</sub> 1,67
Noxy	N-NO <sub>2</sub>	0,00	Noxy N-NO <sub>2</sub> 0,00
	N-NO <sub>3</sub>	0,00	N-NO <sub>3</sub> 41,53
Norg	Norg, solv.	10,00	Norg Norg, solv. 12,00
	Npart	6,67	Norg Npart 0,50
	Norg, total	16,67	Norg, total 12,00
P	P-PO <sub>4</sub> solv.	10,67	P P-PO <sub>4</sub> solv. 10,00
	P-Part	2,67	P P-Part 0,00
	PT	13,33	PT 10,00

**Tableau 3. Compositions moyennes des affluents/effluents d'une STEU BA de base (sans déphosphatation poussée)**

Entrée et sortie de la STEU BA de base			
Irstea (2010)			
Affluent moyen (g/m <sup>3</sup> )		Effluent moyen (g/m <sup>3</sup> )	
	DBO <sub>5</sub>	333	DBO <sub>5</sub> 13,3
	DCO	800	DCO 72,0
	COD	NC	COD NC
	COT	NC	COT NC
	N-NH <sub>4</sub>	50,00	N-NH <sub>4</sub> 2,00
Noxy	N-NO <sub>2</sub>	0,00	Noxy N-NO <sub>2</sub> 0,00
	N-NO <sub>3</sub>	0,00	N-NO <sub>3</sub> 2,00
Norg	Norg, solv.	10,00	Norg Norg, solv. 1,50
	Npart	6,67	Norg Npart 2,50
	Norg, total	16,67	Norg, total 4,00
P	P-PO <sub>4</sub> solv.	10,67	P P-PO <sub>4</sub> solv. 7,47
	P-Part	2,67	P P-Part 0,40
	PT	13,33	PT 7,87

Tableau 4. Compositions moyennes des affluents/effluents d'une STEU BA avec déphosphatation physico-chimique

Entrée et sortie de la STEU BA avec déphosphatation Irstea (2010)			
Affluent moyen (g/m <sup>3</sup> )		Effluent moyen (g/m <sup>3</sup> )	
	DBO <sub>5</sub>	333	DBO <sub>5</sub> 13,3
	DCO	800	DCO 72,0
	COD	NC	COD NC
	COT	NC	COT NC
	N-NH <sub>4</sub>	50,00	N-NH <sub>4</sub> 2,00
Noxy	N-NO <sub>2</sub>	0,00	Noxy N-NO <sub>2</sub> 0,00
	N-NO <sub>3</sub>	0,00	N-NO <sub>3</sub> 2,00
Norg	Norg, solv.	10,00	Norg Norg, solv. 1,50
	Npart	6,67	Npart 2,50
	Norg, total	16,67	Norg, total 4,00
P	P-PO <sub>4</sub> solv.	10,67	P P-PO <sub>4</sub> solv. 0,30
	P-Part	2,67	P-Part 0,90
	PT	13,33	PT 1,20

Tableau 5. Compositions moyennes des affluents/effluents d'une STEU BA de référence ecoinvent

Entrée et sortie de la STEU de Référence Ecoinvent, Doka (2007)			
Affluent moyen (g/m <sup>3</sup> )		Effluent moyen (g/m <sup>3</sup> )	
	DBO <sub>5</sub>	103,6	DBO <sub>5</sub> 8,29
	DCO	155,4	DCO 27,97
	COD	45,75	COD 6,52
	COT	67,3	COT 6,52
	N-NH <sub>4</sub>	14,95	N-NH <sub>4</sub> 8,75
Noxy	N-NO <sub>2</sub>	0,40	Noxy N-NO <sub>2</sub> 0,20
	N-NO <sub>3</sub>	1,05	N-NO <sub>3</sub> 11,12
Norg	Norg, solv.	8,39	Norg Norg, solv. 0,00
	Npart	3,28	Npart 0,50
	Norg, total	11,67	Norg, total 0,50
P	P-PO <sub>4</sub> solv.	2,459	P P-PO <sub>4</sub> solv. 1,273
	P-Part	0,615	P-Part 0,00
	PT	3,074	PT 1,273

Lors d'une comparaison ACV de deux procédés de traitement, il est important que les systèmes de traitement considérés remplissent les mêmes fonctions notamment en ce qui concerne le traitement des eaux usées entrantes, dont les qualités viennent d'être décrites aux Tableaux 1 à 4.

Ces compositions d'affluents et effluents sont converties en g/j/EH (ou /Hab si on considère un contexte Français rural) en multipliant les valeurs en g/m<sup>3</sup> par la consommation journalière en eau d'un habitant Suisse et Français, respectivement 0.553 m<sup>3</sup>/j et 0,150 m<sup>3</sup>/j. Elles sont détaillées aux Tableau 6 et Tableau 7.

Il est prévu d'intégrer des paramètres de suivi en Eléments Traces Métalliques (ETM), et d'en tenir compte dans les bilans de matière lorsque des données sur leurs concentrations moyennes

dans les eaux usées seront disponibles (en cours de validation, suite au travail de stage effectué par Florent Boulter, Irstea/ELSA). Un second stage est prévu pour consolider ces premiers résultats et faire la synthèse sur la caractérisation des micropolluants (ETM et Composés Traces Organiques) en ACV, afin de proposer une première prise en compte de ces composés dans les ACV de STEU avec traitement tertiaire sur ces micropolluants

**Tableau 6. Descriptif des eaux usées en entrée de station**

Données d'entrée		STEU BA "Référence" (données Ecoinvent Doka, 2007)	STEU FPRv (données Irstea, 2010)	STEU BA (données de dimensionnement temps sec)	
Charges :	organique DBO <sub>5</sub> (kg/j)	48.36	48.36	90	312
	hydraulique (m <sup>3</sup> /j)	446	145	270	936
Capacité de traitement :		806 EH <b>(1)</b>	806 EH (967 Hab)	1 500 EH (1 800 Hab)	5 200 EH (6 240 Hab)
Concentrations (mg/L):	DBO <sub>5</sub>	103.6	333	333	333
	DCO <b>(2)</b>	155.4	800	800	800
Flux (g/j):		<b>Par EH</b>		<b>Par Hab</b>	
		DBO <sub>5</sub>	60.00	50.00	
		DCO	90.00	120.00	
	NTK	N-NH <sub>4</sub>	8.27	7.50	
		Norg,total	6.46	2.50	
	N <sub>oxy</sub>	N-NO <sub>2</sub>	0.22	0.00	
		N-NO <sub>3</sub>	0.58	0.00	
		NGL	15.53	10.00	
	P	P-Part	0.34	0.40	
P-PO <sub>4</sub>		1.36	1.60		
PT		1.70	2.00		

(1) Il existe plusieurs classes de STEU BA disponibles dans Ecoinvent, de capacités différentes mais ayant les mêmes charges massiques entrantes et performances de traitement puisque la technologie mise en œuvre, de type boues activées, reste identique.

(2) On dérive la DCO du rapport DCO/DBO=1.5 (Doka, 2007). Rapport différent pour les données Irstea: DCO/DBO=2,4; degré de dégradation biochimique plus élevé (il y aurait plus de composés non dégradables biochimiquement).

Les STEU n'ont pas des rendements d'élimination de 100 % et les eaux traitées véhiculent une masse résiduelle renvoyée au milieu naturel, détaillée au Tableau 7.

**Tableau 7. Descriptif des eaux traitées en sortie de station**

Données de sortie		STEU BA "Référence"	STEU FPRv	STEU BA Base	STEU BA CoFlo (Déphosphatation physico-chimique)	
		(données Ecoinvent Doka, 2007)	(données Irstea, 2010)	(données de dimensionnement temps sec)		
Charges :	organique DBO <sub>5</sub> (kg/j)					
	hydraulique (m <sup>3</sup> /j)					
Capacité de traitement :		806 EH	806 EH (967 Hab)	1 500 EH (1 800 Hab)	5 200 EH (6 240 Hab)	
Concentrations (mg/L):	DBO <sub>5</sub>	8.29	12.47	13.33	13.33	
	DCO (3)	27.97	80	68.33	87.50	
Flux (g/j):		<b>Par EH</b>		<b>Par Hab</b>		
	DBO <sub>5</sub>	4.59	1.87	2.00		
	DCO	15.48	12.00	10.80		
	NTK	N-NH <sub>4</sub>	4.84	0.25	0.30	
		Norg,total	0.28	1.80	0.60	
	N <sub>oxy</sub>	N-NO <sub>2</sub>	0.11	0.00	0.00	
		N-NO <sub>3</sub>	6.15	6.23	0.30	
		NGL	11.38	7.65	1.20	
	P	P-Part	0.00	0.00	0.06	0.14
P-PO <sub>4</sub>		0.70	1.50	1.12	0.05	
PT		0.70	1.50	1.18	0.18	

Effluents de la STEU de référence : le rapport DCO/DBO devient égal à 3,37 ; les composés dégradables biochimiquement ayant été consommés. Pour toutes les STEU BA le rapport DCO/DBO en sortie sera supérieur à 2,4. Les systèmes filtres plantés de roseaux ont des rendements > 90% (Molle *et al.*, 2004) pour la DCO dans le cas des petites collectivités ; on pose l'hypothèse que la DCO = 12 g/j/hab (réduction de 90 % de la DCO brute rejetée par un habitant, qui est de 120 g DCO/hab.j, d'après Canler et Perret 2007<sup>11</sup>). On a donc des effluents en sortie des STEU FPRv au rapport DCO/DBO= 6,4.

<sup>11</sup> **Habitant (hab.)** : définit une charge de pollution journalière d'un Français moyen en milieu rural, ce qui correspond d'après (Canler et Perret, 2007) à : 50 g de DBO<sub>5</sub> et 120 g de DCO dans 150 L d'eau consommée. Ceci correspond à un ratio DCO/DBO<sub>5</sub> de 2,4.

## 6.6. Inventaire des flux environnementaux

Le Tableau 8 présente une synthèse des flux environnementaux (émissions à l'air, à l'eau et au sol) répertoriés pour une STEU traitant des eaux usées d'origine domestique.

Les flux sortants sont exprimés *en masse* de substance émise par jour par Habitant (g.Hab/j) à partir des masses élémentaires du Tableau 7.

Ainsi, 6.23g de  $N-NO_3^-$  correspondent à  $6.23 \cdot (14 + 3 \cdot 16) / 14 = 27.60$  g de  $NO_3^-$ .

Tableau 8. Inventaire des émissions lors du fonctionnement des STEU (g.Hab/j)

Flux sortants	FPRv	BA Rhizo	BA CoFlo (1)
<b>Emissions Eau</b>			
COD, Chemical Oxygen Demand	12.00	10.80	10.80
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Carbonate <b>(2)</b>	10.00	10.00	10.00
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Ammonium ion	0.32	0.39	0.39
N, Nitrogen total (organic)	1.80	0.60	0.60
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , Nitrite	-	-	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Nitrate	27.60	1.33	1.33
P, Phosphorus (Particulate P)	0.00	0.06	0.14
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , Phosphate	4.60	3.43	0.15
Cl <sup>-</sup> , Chloride	0.00	0.00	4.30
<b>Emissions Air</b>			
CO <sub>2</sub> , Carbon dioxide, biogenic	109.00	100.40	46.50
CH <sub>4</sub> , Methane, biogenic	0.22	1.28	0.09
N <sub>2</sub> O, Dinitrogen monoxide	0.35	0.55	0.47
<b>Emissions Sol</b>			
Aucune. L'épandage des boues avec valorisation agricole est modélisé par des transferts à l'air et des lessivages. Voir RTI 06 Onema <sup>12</sup>			
<b>(1)</b> Filière Boues Activées avec déphosphatation poussée au FeCl <sub>3</sub>			
<b>(2)</b> Proxy pour la fraction de C-minéral contenu dans l'effluent. Cette fraction est estimée à 2 g de C-minéral, i.e. 10 g de HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			

Les émissions secondaires se produisant au cours de l'épandage des boues de STEU sont prises en compte dans le module « épandage » décrit dans le rapport **Onema RTI06**, où sont explicitées les hypothèses de modélisation retenues. Dans les études ACV des STEU décrites aux rapports **acv02\_onema** et **acv03\_onema**, les scénarios N°22 (pour une boue type B03, Boue solide chaulée, 34 % MS) et N°31 (Boue type B02, Boue compostée, 64 % MS) ont été retenus.

Le Tableau 9 récapitule à titre d'information, les flux d'émissions en kg de substance émise par tonne de matière sèche (kg / T MS) lors de l'épandage d'une boue.

<sup>12</sup> RTI06 - Fin de vie des boues de STEU : Création d'un Module d'ACV simplifié « Epandage ».

Tableau 9. Synthèse des émissions calculées par les simulations du Livrable T3d (Ecodefi), du logiciel acv3E et du modèle Ecoinvent

Type	Boue épandue	Flux estimés totaux (kg / T MS)				
		NH <sub>3</sub>	NO <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
Epanchage idéal	Ecodefi (L.T3d)					
	B02	Scénario N°19	2,539	0,000	0,001	0,000
	B03	Scénario N°28	1,777	22,19	0,000	9,509
	Ecoinvent					
	B02	"to soil, agricultural"	9,06	0	0,54	2,95
	B03	"to soil, agricultural"	6,83	0	0,40	2,12
Epanchage sans enfouissement	B02	Scénario N°20	0,141	53,78	1,187	0,000
	B03	Scénario N°29	0,480	61,22	0,123	9,509
	<b>B02</b>	<b>Scénario N°22</b>	<b>0,141</b>	<b>148,9</b>	<b>2,133</b>	<b>0,000</b>
	<b>B03</b>	<b>Scénario N°31</b>	<b>0,265</b>	<b>75,15</b>	<b>0,258</b>	<b>9,509</b>

NB. On convertira les lessivages de composés phosphorés en prenant la forme phosphates (PO<sub>4</sub>) disponible dans Ecoinvent. Ainsi, 9,51 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> lessivés correspondra à un rejet en rivière de :

$$9,51 * (31 + 4 * 16) / (2 * 31 + 5 * 16) = 6,36 \text{ g PO}_4$$

## 7. Evaluation des impacts (LCIA)

### METHODE DE CALCUL UTILISEE

A l'aide du logiciel SimaPro, deux analyses des impacts environnementaux ont été réalisées à partir des inventaires établis précédemment. Selon la méthode de calcul choisie, pour une même série de données d'inventaires, on aura une caractérisation différente.

En effet, le calcul des résultats d'indicateur (caractérisation) implique de convertir les résultats d'inventaire en unités commune et d'agréger les résultats convertis au sein de la même catégorie d'impact. Cette conversion utilise des facteurs de caractérisation. Le résultat obtenu est un indicateur numérique (norme ISO 14044 : 2006).

Des éléments et des informations facultatifs telle que la normalisation peuvent être utilisés en fonction des objectifs et du champ de l'étude ACV (norme ISO 14044 : 2006). La normalisation est le calcul de l'importance des résultats d'indicateur de catégorie ((en les divisant par des valeurs de référence choisies) par rapport à certaines informations de référence. L'objectif de la normalisation consiste à mieux comprendre l'importance relative de chaque résultat d'indicateur du système de produits étudié.

La méthode **ReCiPe (H) v.1.05** retenue propose une harmonisation entre des indicateurs de catégories « midpoint » et « endpoint » (dommages). En effet, cette méthode combine les caractérisations calculées par CML 2000<sup>13</sup> pour l'approche « midpoint » et les caractérisations calculées par EcoIndicator 99<sup>14</sup> pour l'approche « endpoint » (Figure 5).

<sup>13</sup> CML, University of Leiden, Netherlands. Guinée et al, 2002

<sup>14</sup> PRé Consultants, Amersfoort, Netherlands. Goedkoop & Spriensma, 1999

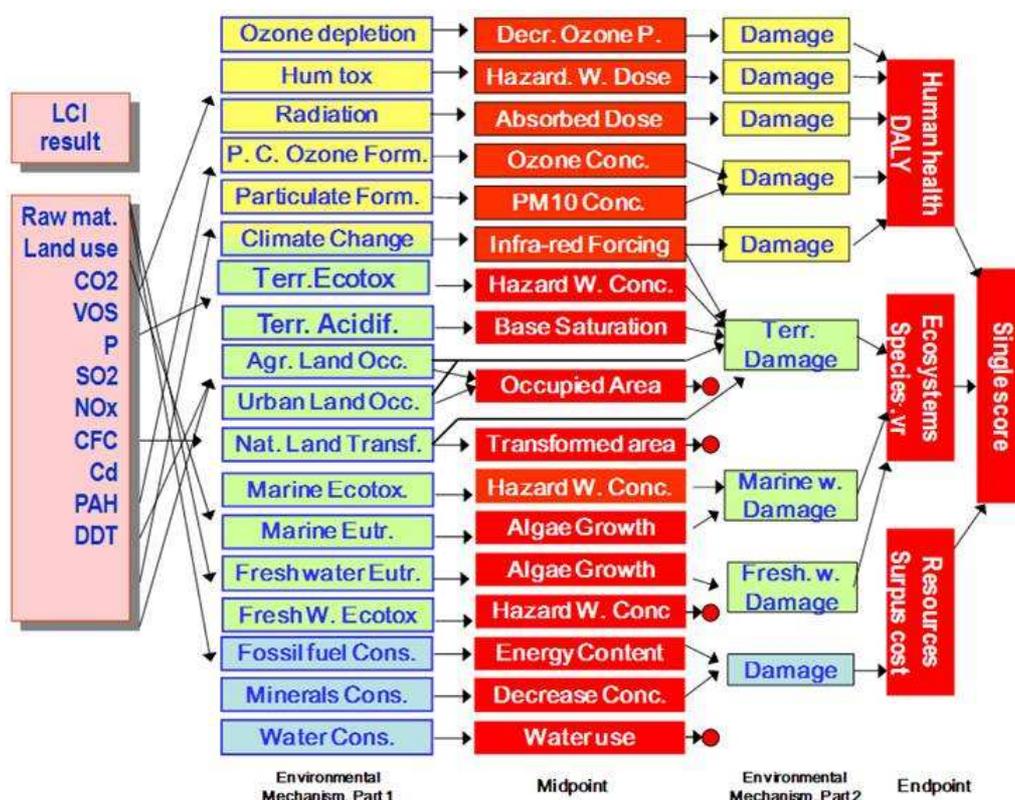


Figure 5. Relations entre données d'inventaires, indicateurs mid/end-point dans ReCiPe 2008 (Handbook ReCiPe 2008, 1st ed. Report I)

Il y a 18 catégories d'impacts « midpoint » et 3 catégories d'impacts « endpoint », répertoriées aux Tableau 10 et Tableau 11.

Tableau 10. Catégories d'impact Midpoint, ReCiPe v.1.05

Abbr.	Catégorie d'impact	Unité des indicateurs
CC	Climate change	kg (CO <sub>2</sub> to air)
OZ	Ozone depletion	kg (CFC-11 to air)
HT	Human toxicity	kg (14DCB to urban air)
POF	Photochemical oxidant formation	kg (NMVOC to air)
PMF	Particulate matter formation	kg (PM10 to air)
IR	Ionising radiation	kg (U235 to air)
TA	Terrestrial acidification	kg (SO <sub>2</sub> to air)
F-Eu	Freshwater eutrophication	kg (P to freshwater)
M-Eu	Marine eutrophication	kg (N to freshwater)
TET	Terrestrial ecotoxicity	kg (14DCB to industrial soil)
FET	Freshwater ecotoxicity	kg (14DCB to freshwater)
MET	Marine ecotoxicity	kg (14DCB to marine water)
ALO	Agricultural land occupation	m <sup>2</sup> . yr <sup>-1</sup> (agricultural land)
ULO	Urban land occupation	m <sup>2</sup> . yr <sup>-1</sup> (urban land)
NLT	Natural land transformation	m <sup>2</sup> (natural land)
WD	Water depletion	m <sup>3</sup> (water)
MD	Metal depletion	kg (Fe)
FD	Fossil Fuel depletion	kg (oil)

Tableau 11. Catégories d'impact Endpoint, ReCiPe v.1.05

Abbr.	Catégorie d'impact	Unité des indicateurs
HH	Damage to human health	DALY <sup>15</sup>
ED	Damage to ecosystem diversity	species.yr
RA	Damage to resource availability	\$

La première évaluation des impacts se fera sur les indicateurs midpoint uniquement, et la seconde évaluation se fera sur les indicateurs endpoint.

## INTERPRETATION DES RESULTATS

### **ANALYSE PAR LA METHODE RECIPE MIDPOINT V1.05**

#### **Résultats sur les STEU Boues Activées**

A titre d'information, on rappelle dans ce qui suit les résultats obtenus au rapport **acv02\_Onema**<sup>16</sup> sur les STEU BA par la méthode ReCiPe v.1.05 sur les 18 catégories d'impact midpoint (Figure 6) et les résultats normalisés (Figure 7).

Il ressort de ces analyses que les différences entre les deux variantes de STEU BA (rhizocompostage et conditionnement physico-chimique) sont plus marquées sur les catégories d'impact locales (Eutrophisation, Ecotoxicité, Occupation des Sols) que sur les catégories d'impact dites globales avec exception faite de la catégorie Déplétion de la couche d'ozone (OZ)<sup>17</sup>.

#### ▪ **Eutrophisation d'eau douce (F-Eu)**

D'après le Tableau 8, les phosphates (non précipités), ainsi que du phosphore particulaire dans les rejets effluents d'une STEU BA de type rhizocompostage (« Rhizo »), causent cet impact sur les cours d'eau douce. Les boues extraites de ces STEU (type B03) ne font pas état de lessivages à l'épandage (Tableau 9). Ceci est illustré aux Figure 15 et Figure 16, en Annexe de ce document.

Pour la variante de STEU BA avec conditionnement physico-chimique (« CoFlo ») à la chaux qui suit une déphosphatation poussée au FeCl<sub>3</sub>, l'eutrophisation d'eau douce est causée pour moitié par les composés phosphorés dans les effluents (phosphates dissout et phosphore particulaire), et pour moitié par les phosphates à l'épandage de ces boues (type B02), comme démontré à la Figure 17 en Annexe de ce document.

#### ▪ **Eutrophisation d'eau marine (M-Eu)**

Il n'y a pas de différence notable entre les variantes de STEU BA, les variations sur les composés azotés relargués à l'environnement étant minimales.

<sup>15</sup> DALY : Disability Adjusted Lost Years of life

<sup>16</sup> Modèle ACV – Filière de traitement des eaux usées par par Boues Activées (BA) - Rapports d'ACV et données d'inventaire

<sup>17</sup> En effet, ceci est dû à une différence notable dans les émissions à l'air entre la STEU BA « Rhizo » avec lits de séchage plantés de roseaux et la variante BA avec conditionnement des boues par voie physico-chimique, où les réémissions à l'étape de traitement des boues sont négligeables.

- **Ecotoxicité (Terrestre, d'Eau douce et Marine – TET, FET & MET)**

Cet impact est causé par les rejets de phosphore particulaire (Tableau 8) dans les effluents. Il y a nettement plus de phosphore particulaire dans le cas d'une STEU BA avec déphosphatation poussée. En effet, ce phosphore particulaire (P-Part) est « entraîné » avec une partie des matières en suspension (MES) sur lesquelles il est adsorbé. Cette fraction de P-Part est estimée à 2 % des MES dans le cas d'une BA de base, et à 4.5 % des MES pour une BA avec déphosphatation poussée au  $\text{FeCl}_3$ . D'où un impact plus important en Ecotoxicité pour les BA de type « CoFlo », qui retiennent cependant la majorité des phosphates.

- **Occupation des sols agricoles (ALO)**

La fabrication des réactifs chimiques utilisés pour le conditionnement des boues (coagulation-floculation) ainsi que pour l'étape de déphosphatation dans la variante de STEU « CoFlo » nécessite l'extraction de ressources. Ainsi, l'utilisation de chaux et de chlorure de fer (III) pour le fonctionnement de la STEU BA « CoFlo » explique l'importante différence sur cet impact.

- **Occupation des sols urbains (ULO)**

Cet impact traduit l'emprise au sol des STEU considérées. Une STEU BA avec lits de séchage plantés de roseaux a une emprise au sol plus importante que pour la variante de type « CoFlo », ici modélisée respectivement par 0.0643  $\text{m}^2.\text{an}$  et 0.0379  $\text{m}^2.\text{an}$ . Le détail de l'emprise au sol pour chaque STEU est donné dans le rapport d'étude Modèle ACV – Filière de traitement des eaux usées par par **Boues Activées (BA) - Rapports d'ACV et données d'inventaire (document acv02\_Onema)**.

- **Transformation de milieux naturels (NLT)**

Cet impact est dû à l'intensité du transport par camion (« Transport, lorry 3.5-7.5t » dans Ecoinvent) entre la STEU et le lieu d'épandage (distance de 35 km). Le transport est plus important dans le cas de la STEU « CoFlo » produisant des boues de « type B02 » (solides chaulées), du fait de plus grandes quantités produites que sur une STEU avec lits de séchage plantés de roseaux. De plus, il faut compter l'acheminement des réactifs ( $\text{FeCl}_3$  et chaux) nécessaires au conditionnement physico-chimique des boues de la STEU « CoFlo ».

La normalisation est le calcul de l'importance des résultats d'indicateurs de catégories par rapport à certaines informations de référence (ISO 14 044). Ce calcul est facultatif dans la norme ISO, et il est toujours difficile à interpréter pour un non-spécialiste de l'ACV. Il a cependant l'avantage de rendre commensurables les impacts vis-à-vis de la référence retenue.

Dans notre cas, nous avons réalisé une normalisation par rapport aux impacts moyens d'un citoyen sur un an. En pratique, cela a consisté à transformer chaque résultat d'indicateur (calculé pour notre système d'assainissement par kg de  $\text{DBO}_5$ ) en le divisant par le score moyen d'un habitant pour ce même indicateur.

La normalisation est dans notre cas d'autant plus délicate à interpréter que nous étudions un système de traitement des déchets (en l'occurrence des eaux), c'est-à-dire un système situé en fin d'une multitude d'autres cycles de vie (CV). Or un très grand nombre de CV des produits et services de grande consommation se finissent dans un schéma d'assainissement domestique (nourriture, produits d'entretiens, eaux de lavage). Il est donc tout à fait logique que la normalisation mette en évidence une contribution relative très élevée en Eutrophisation (F-Eu et M-Eu) et en Ecotoxicité d'eau douce (FET) en particulier (cf Figure 7).

## Résultats de la comparaison inter-filières

Les résultats de l'analyse comparative entre les filières STEU BA et FPRv sont présentés aux Figure 8 et Figure 9.

La STEU BA Ecoinvent est incluse dans la comparaison à titre d'information mais nous analyserons dans ce qui suit, les écarts de valeurs plus importants entre le FPRv et la BA « CoFlo ». Ceux-ci sont relativement marqués pour les catégories d'impact Radiations ionisantes (IR), Déplétion de la couche d'ozone (OZ), ainsi que les impacts locaux d'Eutrophisation (Eau douce et marine – F-Eu et M-Eu) et d'Ecotoxicité (terrestre, marine et d'eau douce – TET, MET & FET).

### ▪ **Changement climatique (CC)**

Cet impact s'explique par les quantités de protoxyde d'azote ( $N_2O$ ) émises lors du fonctionnement des STEU (Tableau 8). Les autres gaz émis ( $CH_4$  et  $CO_2$  étant par hypothèse, d'origine biogénique) ne contribuent pas au score sur cet impact. Par contre, il y a du  $CO_2$  fossile émis lors des divers procédés (Ecoinvent) utilisés lors du cycle de vie des STEU. Dans le cas de la STEU BA, la quantité de  $N_2O$  émise est plus importante que pour la STEU FPRv, mais il faut également tenir compte de l'infrastructure requise pour la BA, plus complexe et des besoins énergétiques pour l'opération et maintenance de celle-ci (voir le diagramme de contribution des différentes étapes du cycle de vie de la STEU BA, en Annexe à la Figure 17).

### ▪ **Déplétion de la couche d'ozone (OZ)**

Cet impact est causé majoritairement par les formes de transport avec combustion de diesel. Pour le FPRv, il y a avec les inspections (opérations d'exploitation ?) de la STEU, transport en voiture de l'opérateur. Il faut noter également le transport des boues, par camion ainsi que l'entretien des abords des lits végétalisés (mowing, motor mower). Dans le cas de la BA, les étapes les plus contributrices à cet impact sont la fabrication des réactifs ( $FeCl_3$  et chaux) ainsi que le transport par camion.

### ▪ **Radiations ionisantes (IR)**

Les radiations ionisantes sont dues au fait que le mix énergétique français pour la production d'électricité nationale est dominé par le nucléaire. La consommation électrique d'une STEU BA, a fortiori avec un conditionnement physico-chimique, est bien plus importante<sup>18</sup> que celle d'une STEU FPRv.

### ▪ **Eutrophisation d'eau douce (F-Eu)**

De même que pour les résultats obtenus à la comparaison des variantes de BA, ce sont les phosphates non précipités dans les effluents de la STEU FPRv (Tableau 8) qui sont responsables du score important en eutrophisation des cours d'eau douce (dits « P-limités », pour lesquels un apport de composés phosphorés va favoriser un développement de flore aquatique indésirable).

### ▪ **Eutrophisation d'eau marine (M-Eu)**

Le score du FPRv sur cet impact s'explique par le rejet de composés azotés (nitrates  $NO_3$  et azote organique) dans les effluents. En effet, la dénitrification ne se fait pas complètement sur le FPRv, d'où plus de nitrates en sortie de FPRv qu'en sortie de BA, où la dénitrification est bien

<sup>18</sup> Cette consommation électrique est en grande partie due au fonctionnement journalier des aérateurs et autres pompes de circulation.

réalisée. Les eaux marines sont limitées en azote, ainsi l'apport de composés azotés dans ces eaux va contribuer à l'eutrophisation.

▪ **Ecotoxicité (Terrestre, d'Eau douce et Marine – TET, FET & MET)**

D'après le Tableau 8, dans le cas du FPRv, le phosphore retrouvé dans les effluents est exclusivement composé de phosphates, si on suppose qu'il y a une minéralisation complète du phosphore particulaire sur les filtres. Il n'y a donc pas de contribution significative à l'Ecotoxicité par les rejets du FPRv. Les résultats de l'analyse de contribution présentés en Annexe à la Figure 18 indiquent que l'infrastructure de la station et l'opération & maintenance sont les deux contributeurs majoritaires à cet impact. Dans le cas d'une STEU BA avec déphosphatation poussée, le diagramme de contribution (Annexe, Figure 17) démontre que les rejets dans les effluents de phosphore particulaire (lié aux MES), représentent la quasi-totalité de l'impact.

▪ **Occupation des sols agricoles (ALO)**

Mêmes explications qu'à l'analyse comparative entre les variantes de STEU BA.

▪ **Occupation des sols urbains (ULO)**

Cet impact traduit l'emprise au sol des STEU considérées. Afin de traiter 1kg de DBO<sub>5</sub> dans une STEU FPRv, il faut 0.11m<sup>2</sup>.an contre 0.0379 m<sup>2</sup>.an pour une STEU BA de type « CoFlo ». Se référer aux rapports d'études **acv02\_Onema** et **acv03\_Onema**.

▪ **Transformation de milieux naturels (NLT)**

Les explications faites pour l'analyse comparative entre les variantes de STEU BA sont valables pour ce cas de figure.

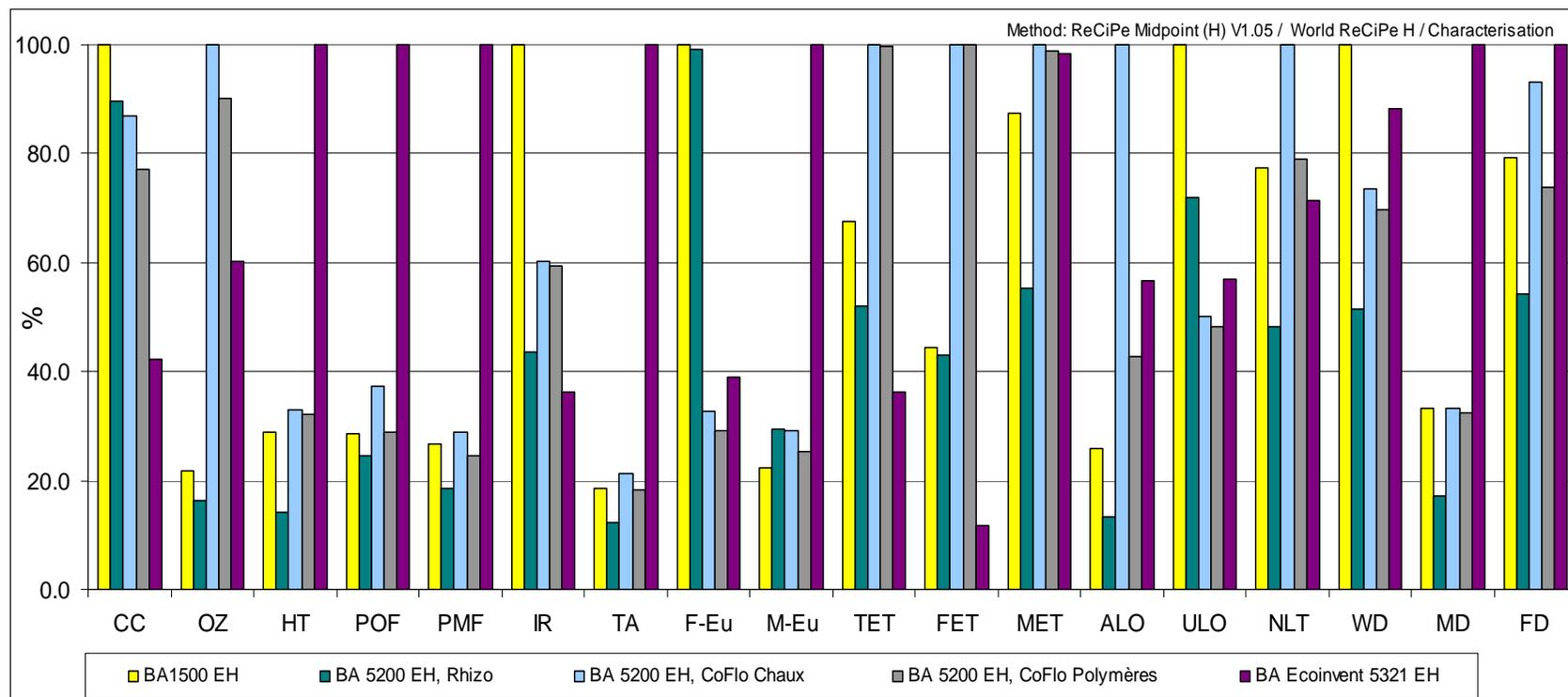


Figure 6. Analyse comparative des modèles STEU BA sur les impacts midpoint ReCiPe v1.05

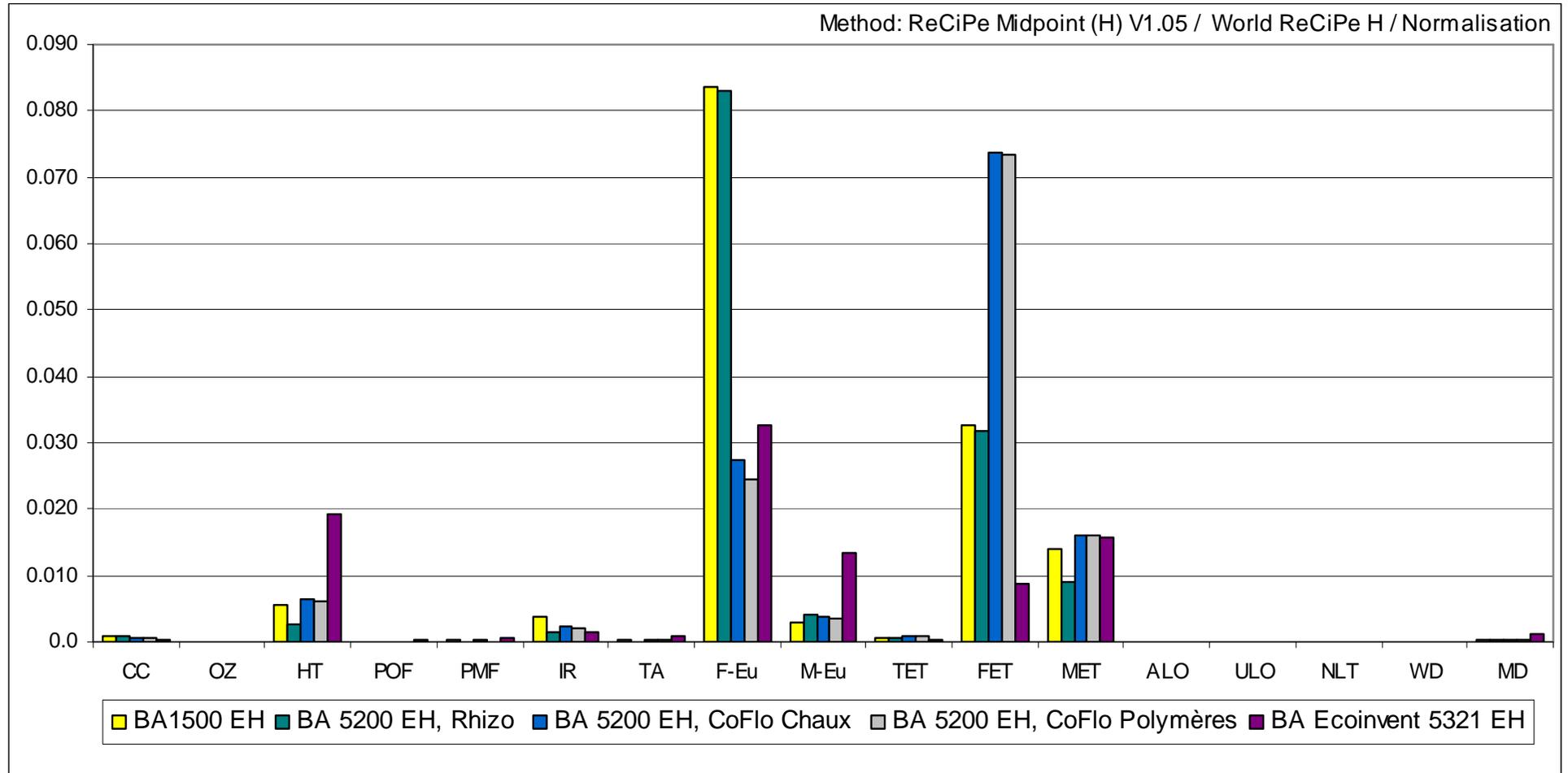


Figure 7. Résultats normalisés de l'analyse comparative des modèles de STEU BA sur les impacts midpoint ReCipe v1.05

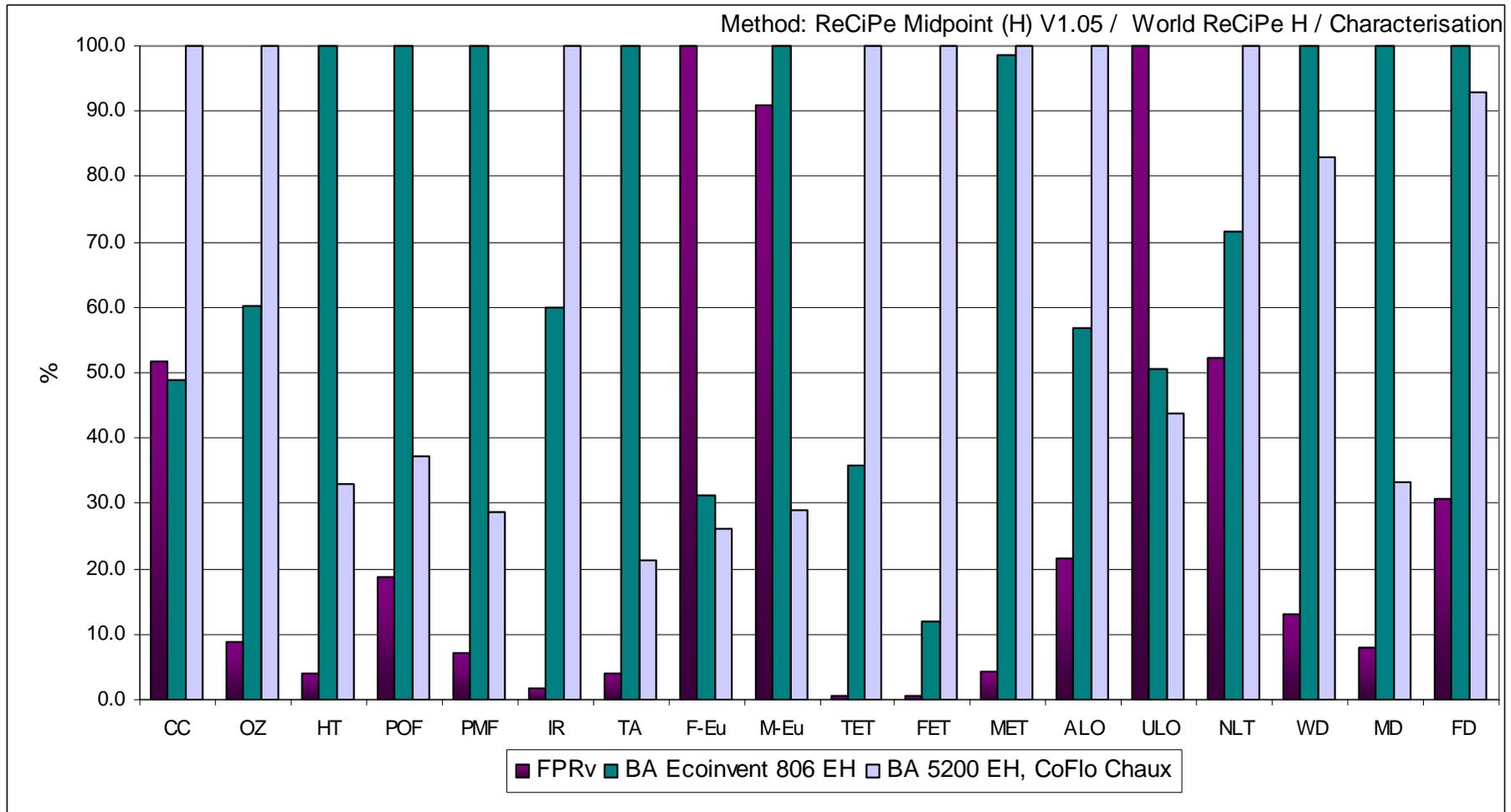


Figure 8. Analyse comparative des modèles STEU FPRv et BA sur les impacts midpoint ReCiPe v1.05

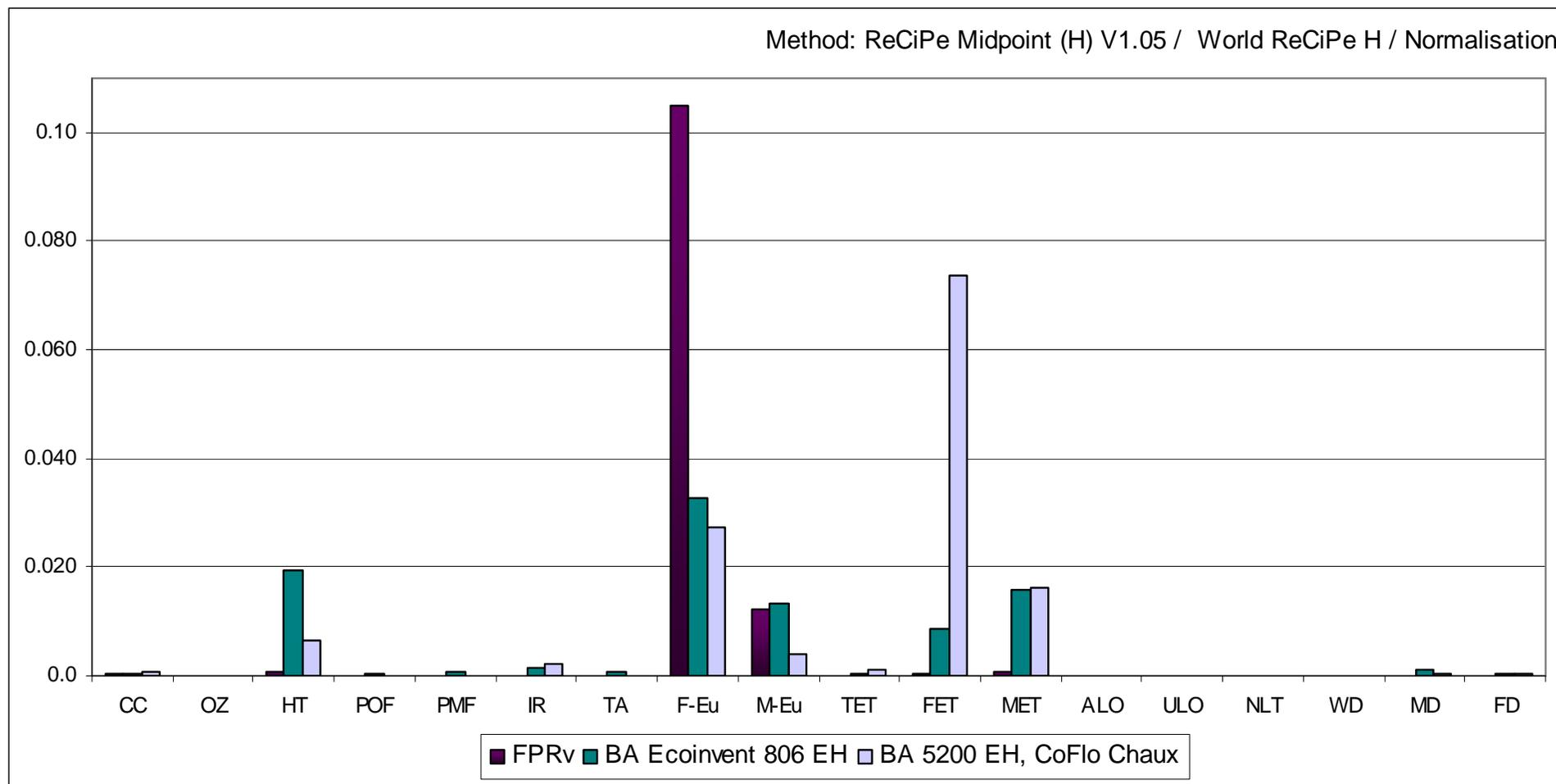


Figure 9. Résultats normalisés de l'analyse comparative des modèles de STEU FPRv et BA sur les impacts midpoint ReCipe v1.05

## ANALYSE PAR LA METHODE ReCiPe ENDPOINT V1.05

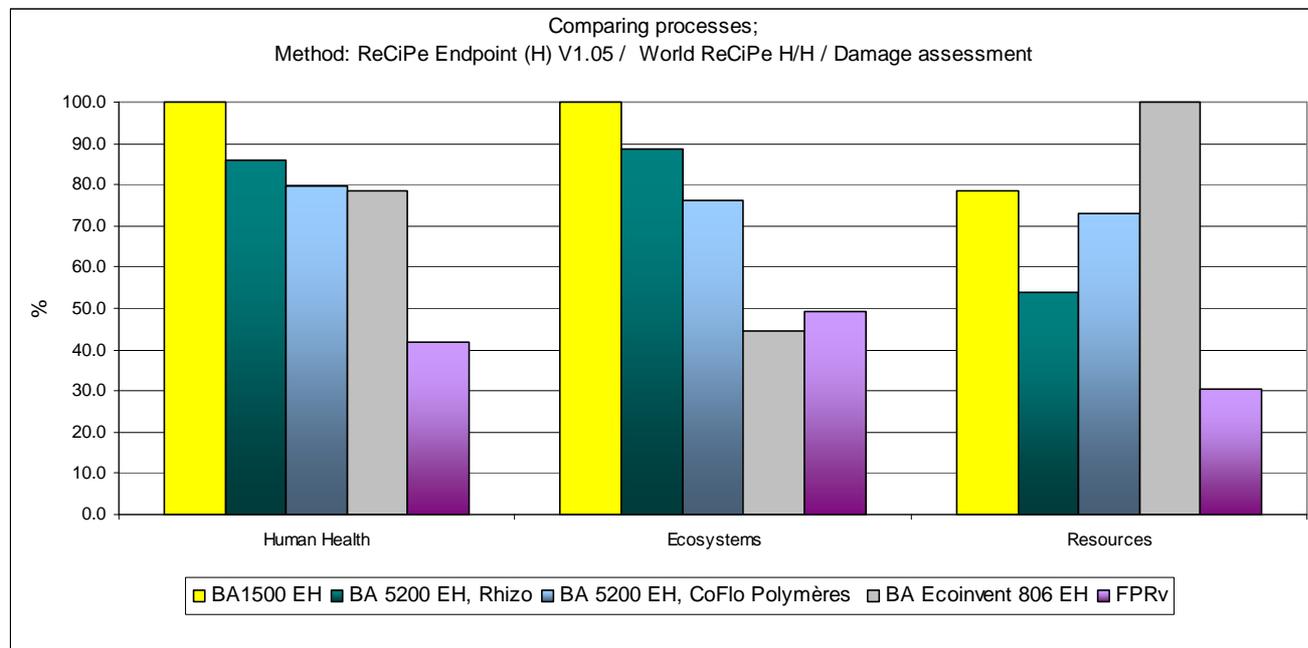


Figure 10. Contributions relatives des STEU aux catégories endpoint ReCiPe v1.05

La Figure 10 montre les contributions relatives des différentes STEU modélisées sur les trois impacts **endpoint** qui sont : la santé humaine, la diversité des écosystèmes et la disponibilité des ressources.

On peut remarquer ici un effet d'échelle entre la BA 1 500 EH et la BA 5 200 EH, Rhizo qui représentent toutes deux la même filière de traitement par BA suivi d'un conditionnement des boues par rhizocompostage. Cela montre que les impacts d'une filière BA sont plus importants pour une capacité de 1 500 EH pour arriver aux mêmes qualités d'effluents rejetés. Le FPRv se démarque par de plus faibles impacts sur la santé humaine et les ressources, par rapport aux différentes BA modélisées.

- Sur les **Ecosystèmes**, le FPRv a un faible impact (malgré des scores en Eutrophisation d'eau douce et marine assez importants (Figure 8 et Figure 9), car dans la catégorie endpoint Ecosystèmes, ce sont les émissions de N<sub>2</sub>O et de CO<sub>2</sub> fossile qui dominent (Figure 11 et Figure 12). A elles seules, ces émissions expliquent 91 % du score sur cette catégorie. Ainsi, pour cette catégorie endpoint, le FPRv a un score total de 2.42E<sup>-08</sup> species.yr, et la BA CoFlo Chaux a un score de 4.23E<sup>-08</sup> species.yr, pratiquement le double du score du FPRv. Pour le modèle de STEU BA ecoinvent, la principale substance contributrice est le CO<sub>2</sub> fossile, suivi du N<sub>2</sub>O (Figure 13), pour lequel les hypothèses sur le N<sub>2</sub>O émis lors du fonctionnement de la STEU ne sont pas les mêmes.
- Sur la **Santé Humaine** (Human Health), on retrouve cette même hiérarchie, avec les émissions de N<sub>2</sub>O et de CO<sub>2</sub> fossile qui expliquent 84 % du score sur cette catégorie.

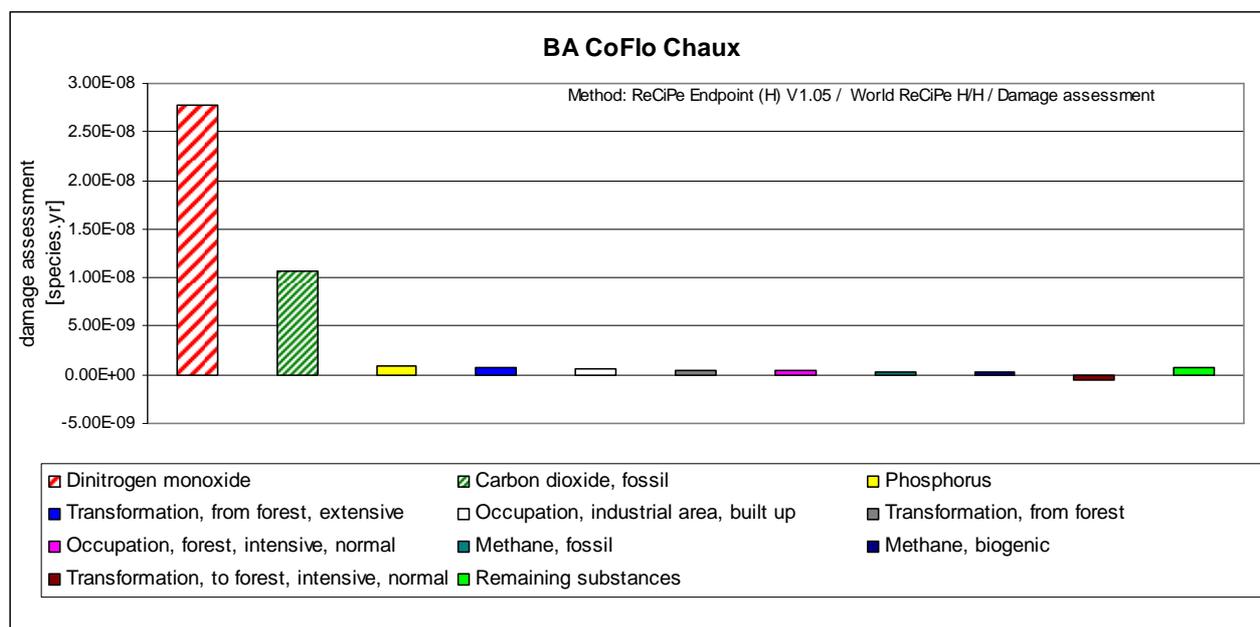


Figure 11. Contributions au score endpoint Ecosystems Diversity (species.yr) pour la BA CoFlo Chaux

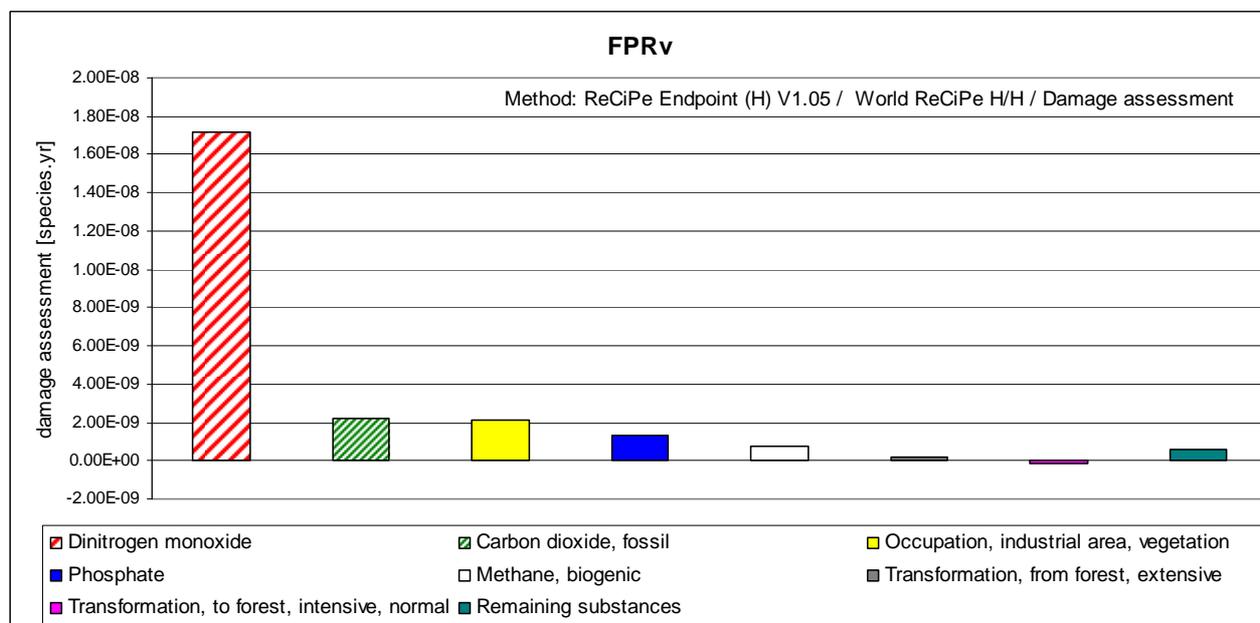


Figure 12. Contributions au score endpoint Ecosystems Diversity (species.yr) pour la FPRv

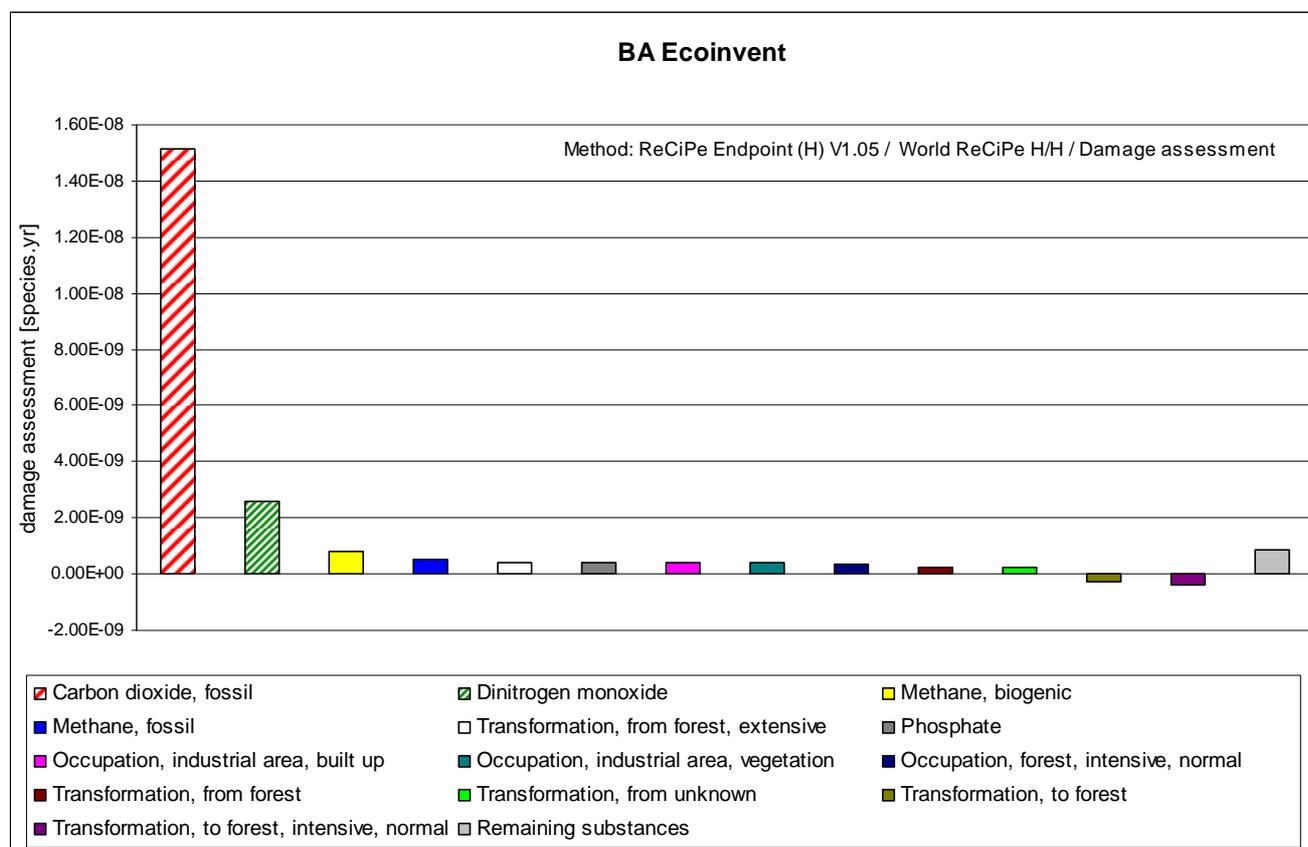


Figure 13. Contributions au score endpoint Ecosystems Diversity (species.yr) pour la BA ecoinvent (reference)

Il est également possible avec la méthode ReCiPe retenue d'agglomérer les scores sur les catégories endpoint des systèmes STEU sur un **indicateur unique** (exprimé en millipoints, mPt), comme présenté à la Figure 14.

**Nous déconseillons totalement ce mode de représentation qui, sous une simplicité apparente d'interprétation (i.e. indicateur unique) masque en fait des pondérations et une normalisation par rapport à un citoyen moyen.** D'autre part, ce type d'indicateur unique ne permet pas de remonter facilement aux contributeurs qui sont masqués par les pondérations et n'est donc pas utilisable comme outils d'éco-conception visant à améliorer les systèmes étudiés.

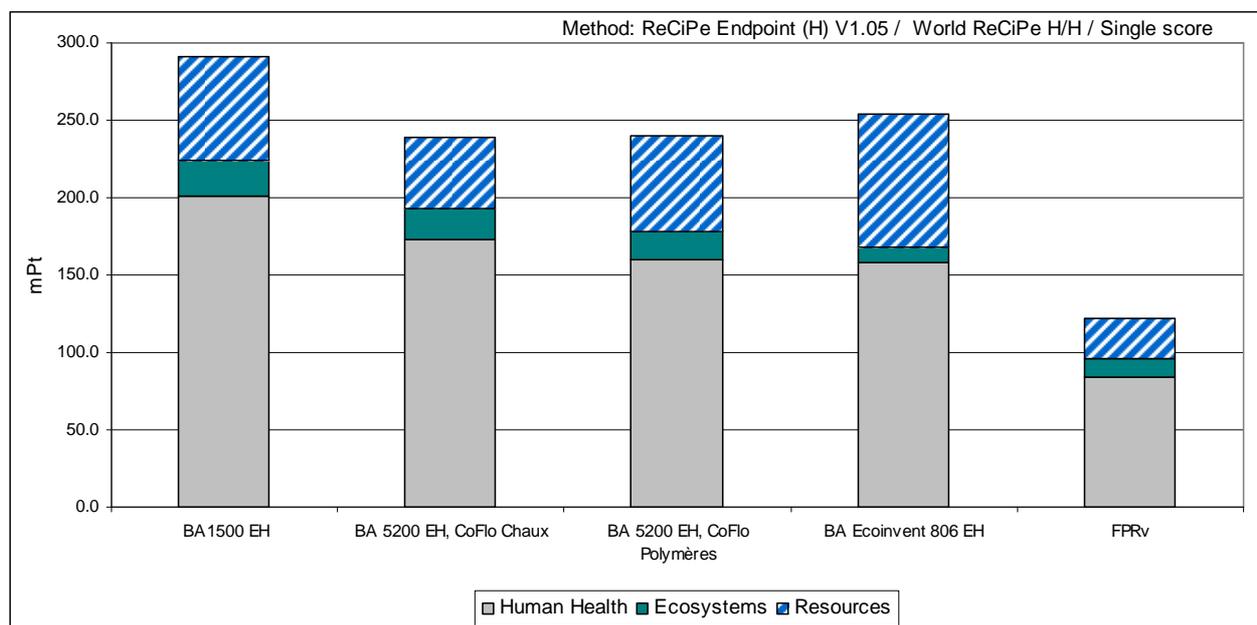


Figure 14. Agrégation des scores endpoint des systèmes STEU sur un indicateur unique (mPt)

## 8. Conclusions

Cette étude propose une analyse comparative à la lumière de l'approche cycle de vie de plusieurs STEU, qui diffèrent par leur capacité et/ou filière de traitement des eaux usées d'origine domestique. Cette comparaison a permis de confronter les modèles de STEU développés dans le cadre de l'action Onema au modèle de STEU de « référence » pour la filière boues activées, disponible dans la base de données Ecoinvent.

Ces résultats pourront être incorporés dans une première base de données d'un calculateur simplifié d'ACV de systèmes d'assainissement prévu pour 2012. Dans les prochaines études, les bilans de matière incluront également certains micropolluants et les pathogènes si cela est possible, afin de rendre compte des efficacités épuratoires des filières de base, couplées ou non avec des traitements tertiaires.

## 9. ANNEXES

### 9.1. Références

Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, Groupe Macrophytes et Traitement des Eaux (Ouvrage Collectif), 2005 - Epuration des eaux usées domestiques par filtres plantés de macrophytes - Recommandations techniques pour la conception et la réalisation, pp.12-13

Directive Eaux résiduaires urbaines 91/271/CEE (JOCE OCE n°L. 135/40 du 30 mai 1991):  
[http://www.ineris.fr/aida/?q=consult\\_doc/consultation/2.250.190.28.8.4451](http://www.ineris.fr/aida/?q=consult_doc/consultation/2.250.190.28.8.4451)

Doka, G., 2007 - Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services. Ecoinvent report No.13, Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Part IV, Wastewater Treatment – Final report of the project of a National Life Cycle Inventory Database “ecoinvent 2000”

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., van Zelm, R. Handbook ReCiPe 2008, 2009. 1st ed. Report I: Characterisation.  
[http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe\\_characterisation.pdf](http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_characterisation.pdf)

Goedkoop, M., Spriensma, R. The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Pré consultants B.V., 2000. <http://www.pre-sustainability.com/content/reports> et <http://www.pre-sustainability.com/content/eco-indicator-99>

Guinée, J.B.; Gorrée, M.; Heijungs, R.; Huppés, G.; Kleijn, R.; Koning, A. de; Oers, L. van; Wegener Sleeswijk, A.; Suh, S.; Udo de Haes, H.A.; Bruijn, H. de; Duin, R. van; Huijbregts, M.A.J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background. Kluwer Academic Publishers, ISBN 1-4020-0228-9, Dordrecht, 2002, 692 pp. Centre for Environmental Studies (CML), University of Leiden, 2001  
<http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>

ISO 14044:2006 Norme sur le Management environnemental -- Analyse du cycle de vie -- Exigences et lignes directrices. International Standard Organisation ISO, 2006.

Risch, E., Pradel, M., Boutin, C., Roux, P. Rapport Technique Interne RTI- 06. Fin de vie des boues de STEU : Création d'un Module d'ACV simplifié « Epandage »

## 9.2. Annexes Techniques

### PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS SUR LES STEU MODELISEES (EXTRAITS DES RAPPORTS ACV02 ONEMA ET ACV03 ONEMA)

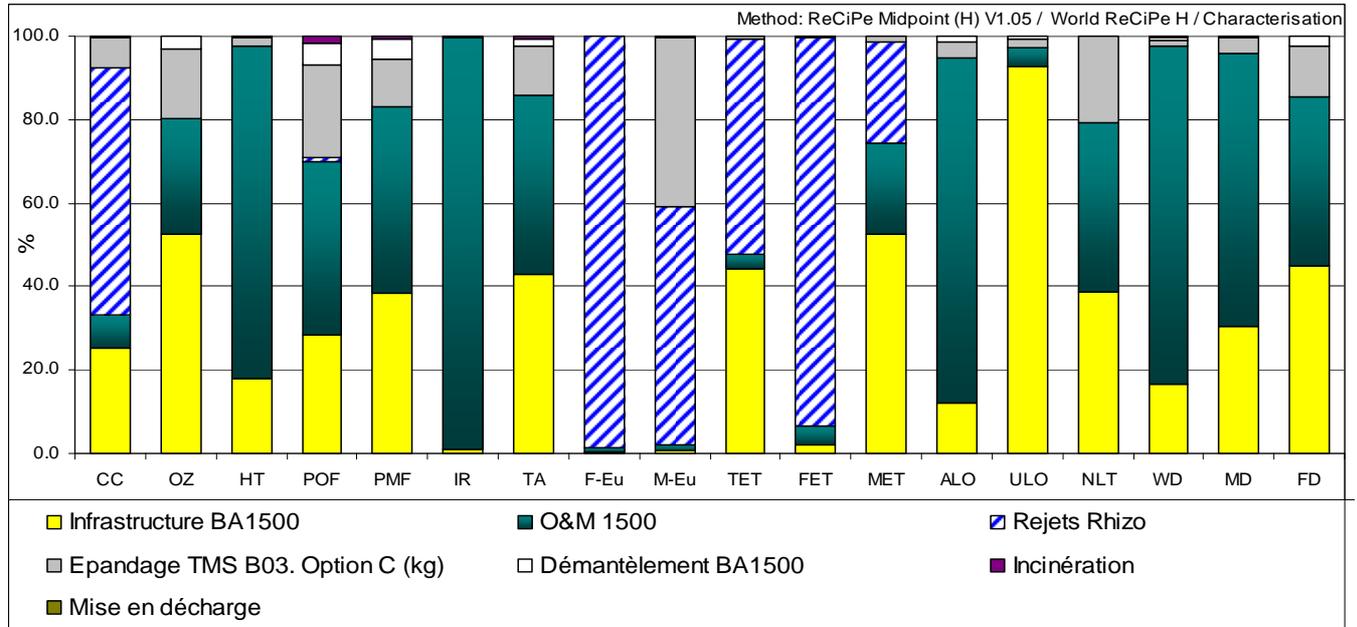


Figure 15. Diagramme de contribution, Système BA Rhizo 1 500 EH

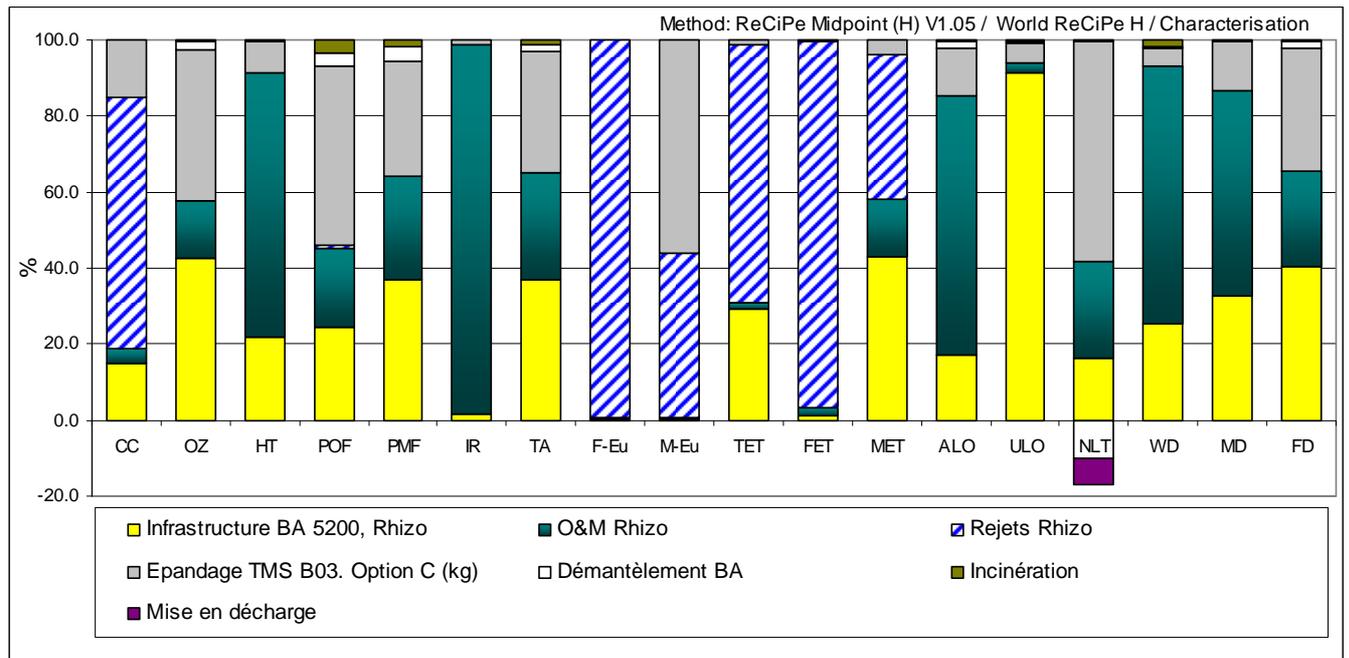


Figure 16. Diagramme de contribution, Système BA Rhizo 5 200 EH

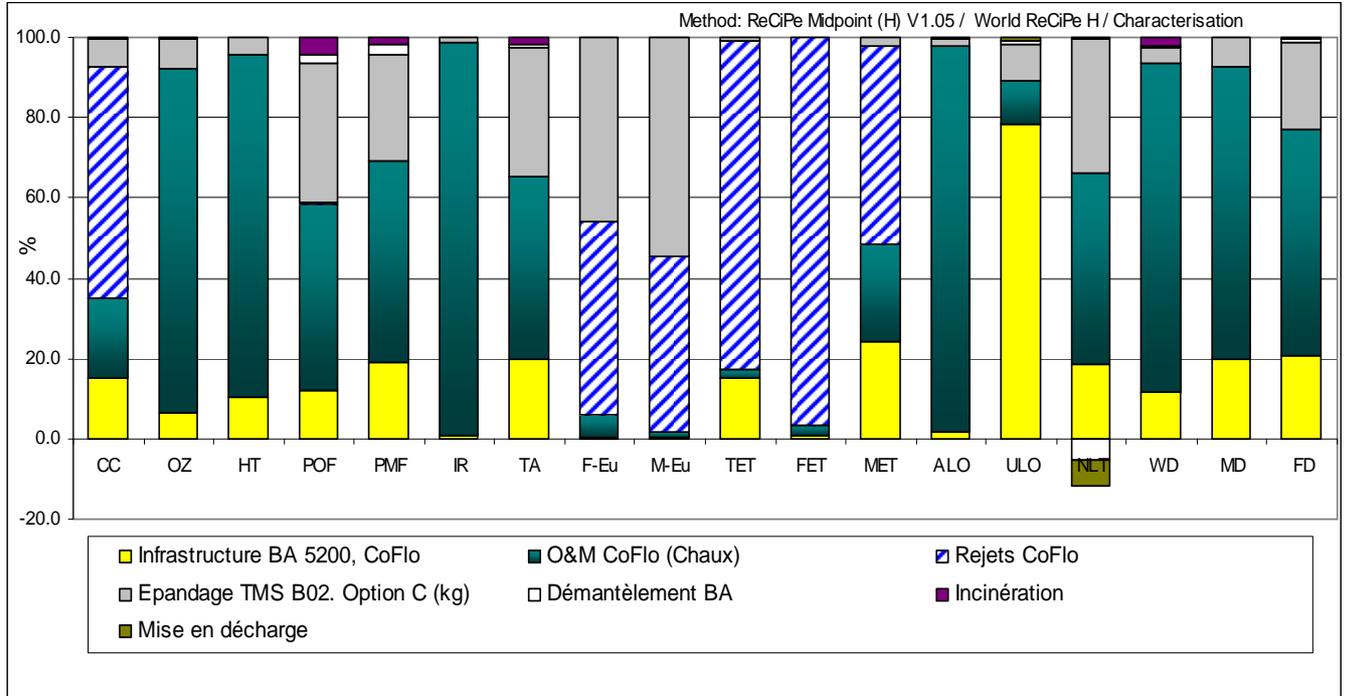


Figure 17. Diagramme de contribution, Système BA CoFlo 5 200 EH

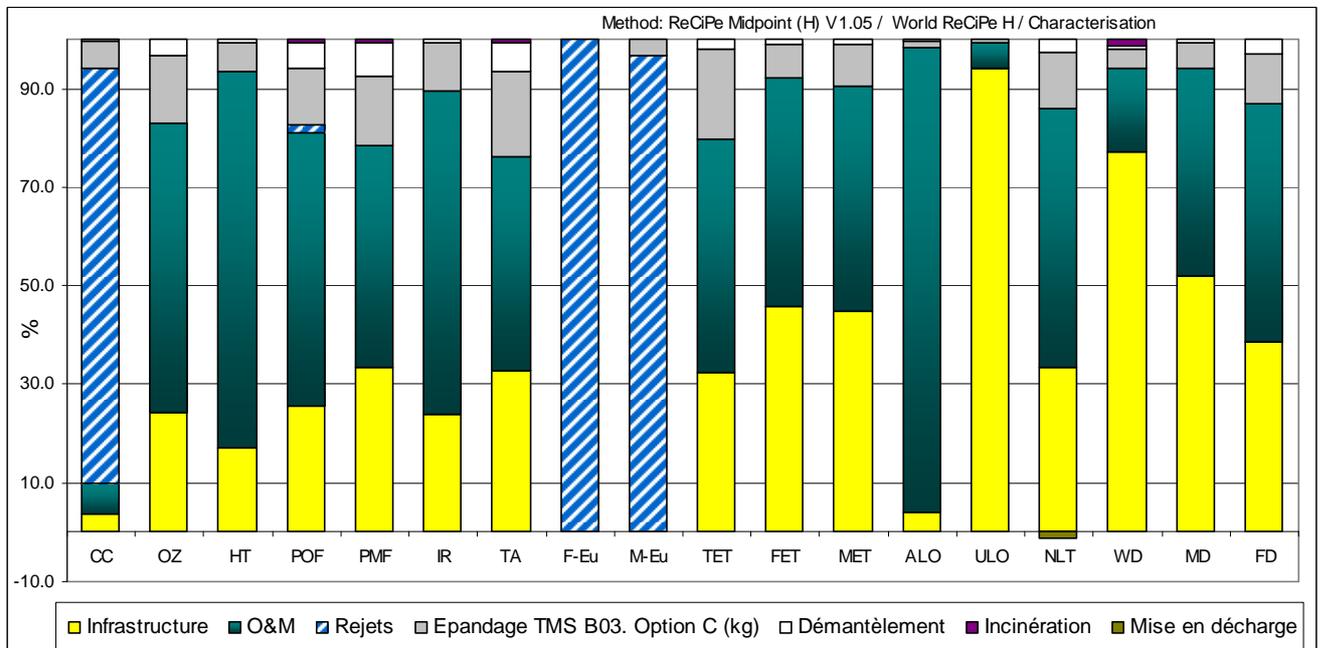


Figure 18. Diagramme de contribution, Système FPRv 806 EH

Onema  
Hall C – Le Nadar  
5 square Félix Nadar  
94300 Vincennes  
01 45 14 36 00  
[www.onema.fr](http://www.onema.fr)

*Irstea*  
*Parc de Tourvoie*  
BP 44,  
92163 Antony cedex  
01 40 96 61 21  
[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)



*Eva RISCH et Philippe ROUX  
sont membres du pôle ELSA  
([www.elsa-lca.org](http://www.elsa-lca.org)). Ils  
remercient les autres membres  
du pôle pour leurs précieux  
conseils.*