

Université de Liège
Faculté des sciences appliquées

Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade de :
Ingénieur civil en Chimie et Sciences des Matériaux

Promoteur : Angélique Léonard
Jury : M. Crine(président), F. Delvigne, D. Toye, S. Belboom, O. Eloy

Contribution à l'écoconception de systèmes d'épuration individuelle via analyse de cycle de vie

LISIN Olivier

Année académique 2013 - 2014

!! Les données contenues dans ce travail sont confidentielles. Toute consultation doit être
soumise au consentement du promoteur !!

Université de Liège
Faculté des sciences appliquées

Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade de :
Ingénieur civil en Chimie et Sciences des Matériaux

Promoteur : Angélique Léonard
Jury : M. Crine(président), F. Delvigne, D. Toye, S. Belboom, O. Eloy

Contribution à l'écoconception de systèmes d'épuration individuelle via analyse de cycle de vie

LISIN Olivier

Année académique 2013-2014

!! Les données contenues dans ce travail sont confidentielles. Toute consultation doit être soumise au consentement du promoteur!!

Remerciements

*Je voudrais témoigner à travers ces quelques lignes, mon immense gratitude
à toutes les personnes qui, par leur aide désintéressée, leur expérience,
leur confiance et leurs compétences, ont contribué de près
ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*J'adresse tout d'abord mes profonds remerciements à Mme. Angélique Léonard,
Professeur à l'ULg, promotrice de ce mémoire, qui m'a trouvé
ce travail de fin d'études particulièrement intéressant
et qui m'a aidé par ses conseils avertis.*

*J'exprime tout particulièrement ma reconnaissance à Mme. Sandra Belboom,
Assistante à l'ULg, qui m'a apporté par sa bonne humeur
et sa disponibilité : conseils, soutiens et facilités
pour un résultat cohérent.*

*Je tiens également à remercier sincèrement M. Olivier Eloy,
Directeur technique et administrateur d'Eloy Water,
qui a permis la réalisation de ce travail.*

*Je souhaite également témoigner toute ma gratitude à M. Pol Wilmet,
Responsable produits, qui a organisé la visite du site Eloy Water,
facilité la mise en place des contacts au sein de la société
et apporté réponses à mes nombreuses questions.*

*Mes remerciements vont aussi à l'ensemble du personnel d'Eloy Water
pour l'accueil chaleureux et les renseignements fournis.*

*Enfin, je pense à ma famille et à mon entourage qui m'ont soutenu
tout au long de la réalisation de ce travail.*

CONTRIBUTION À L'ÉCOCONCEPTION DE SYSTÈMES D'ÉPURATION INDIVIDUELLE VIA ANALYSE DE CYCLE DE VIE

Lisin Olivier

2^{ème} année du master en Ingénieur civil en Chimie et Sciences des matériaux,
Université de Liège

Année académique 2013-2014

Travail de fin d'études présenté en vue de l'obtention du grade de :
Ingénieur civil en Chimie et Sciences des Matériaux

Résumé

Le but de ce travail, réalisé en collaboration avec la société Eloy Water, est de contribuer à l'écoconception de systèmes d'épuration individuelle à l'aide de la méthodologie de l'analyse du cycle de vie. Cette méthodologie dont le cadre est conforme aux normes ISO 14040 et 14044 est donc appliquée à trois systèmes d'épuration individuelle conçus par cette société :

- l'Oxyfix® : une micro-station utilisant le principe de traitement par culture fixée, immergée et aérée ;
- l'X-Perco® : un filtre compact utilisant un média filtrant quelque peu particulier à savoir le xylit ;
- la filière traditionnelle constituée d'une fosse septique en béton fabriquée par Eloy Water associée à un système de tranchées d'infiltration.

Dans un premier temps, ces trois systèmes d'épuration individuelle sont comparés afin de situer les performances environnementales de l'Oxyfix® et de l'X-Perco® par rapport à celles de la filière traditionnelle.

Ensuite, une analyse des résultats est réalisée en parallèle avec la comparaison afin de hiérarchiser les étapes selon leur impact environnemental pour chaque système envisagé.

Finalement, des améliorations sont proposées et l'une d'entre elles, le remplacement de la cuve en polyéthylène de l'X-Perco® par une cuve en béton, est testée. Les résultats montrent que si le projet est faisable techniquement, ce remplacement réduirait les impacts environnementaux.

CONTRIBUTION TO ECODESIGN OF INDIVIDUAL WASTEWATER TREATMENT SYSTEMS USING LIFE CYCLE ASSESSMENT

Lisin Olivier

2nd year of master in Civil Engineering in Chemistry and Materials Science,
University of Liège

Academic year 2013-2014

Thesis graduation submitted to obtain the degree of :
civil Engineer in Chemistry and Materials Science

Abstract

The aim of the present work carried out in collaboration with Eloy Water is to contribute to ecodesign of individual wastewater treatment systems using the methodology of the life cycle assessment. This methodology whose scope is standardized by ISO 14040 and 14044 is applied to two individual wastewater treatment systems designed by this company as well as the traditional septic system :

- the Oxyfix® : a micro-station using the principle of treatment with fixed, submerged and airy culture ;
- the X-Perco® : a compact filter using an unusual filter media i.e. xylit ;
- the traditional septic system consisting in a septic tank manufactured by Eloy Water combined with a system of infiltration trenches.

At first, these three individual wastewater treatment systems are compared in order to assess the environmental performances of the Oxyfix® and the X-Perco® in comparison to those of the traditional septic system.

In parallel with the comparison of the systems, an analysis of the results is then performed to determine the predominant steps for each analysed system.

Finally improvements are proposed and one of them -i.e. the substitution of the polyethylene tank X-Perco® by a concrete tank- is tested. The results show that, if the project is technically feasible, this alternative would reduce environmental impacts.

Table des matières

1	Introduction	1
2	L’assainissement des eaux usées	3
2.1	Les différents régimes d’assainissement	3
2.1.1	L’assainissement collectif	3
2.1.2	L’assainissement transitoire	3
2.1.3	L’assainissement autonome	4
2.2	Les grands types d’installation d’assainissement individuel	4
2.2.1	La filière traditionnelle	4
2.2.2	Les dispositifs épuratoires agréés	5
2.2.2.1	Les micro-stations à boues activées	5
2.2.2.2	Les micro-stations de traitement des eaux usées à cultures fixées	5
2.2.2.3	Les filtres compacts	6
2.2.2.4	Filtres plantés de roseaux	7
3	Objectifs du travail	8
4	État de l’art	9
4.1	Historique	9
4.2	Évaluation de la performance environnementale des technologies classiques à boues activées	9
4.3	Évaluation des autres technologies	10
5	Écoconception et méthodologie ACV	12
5.1	Définition de l’analyse du cycle de vie	12
5.2	Objectifs	12
5.3	Applications	13
5.4	Limitations	13
5.5	Les quatre étapes de l’analyse du cycle de vie	14
5.5.1	Définition des objectifs et du champ de l’étude	14
5.5.2	Inventaire des données	14
5.5.3	Évaluation de l’impact	15
5.5.4	Interprétation des résultats	15
5.6	Écoconception	16
5.7	Logiciel SimaPro7.3.3	16
5.8	Méthode CML2 Baseline 2000	16
5.8.1	Description des catégories d’impact disponibles	17
5.8.1.1	Utilisation des ressources abiotiques	17
5.8.1.2	Réchauffement climatique	17

5.8.1.3	Acidification des pluies	18
5.8.1.4	Eutrophisation	18
5.8.1.5	Oxydation photochimique	18
5.8.1.6	Toxicité humaine	18
5.8.1.7	Eco-toxicité d'eau de mer, éco-toxicité d'eau douce et éco-toxicité terrestre	18
5.8.1.8	Diminution de la couche d'ozone	18
5.9	Impact 2002 +	19
5.10	ReCiPe 2008 MidPoint	19
6	Description des systèmes d'épuration individuelle envisagés	20
6.1	Systèmes envisagés	20
6.1.1	La micro-station Oxyfix®	20
6.1.1.1	Le décanteur primaire	21
6.1.1.2	Le réacteur biologique	21
6.1.1.3	Le clarificateur	22
6.1.2	Le filtre compact X-Perco®	22
6.1.2.1	Principe de fonctionnement	22
6.1.2.2	Le décanteur primaire	23
6.1.2.3	La zone de traitement	23
6.1.2.4	Le média filtrant	24
6.1.3	La filière traditionnelle avec tranchées d'infiltration	24
6.1.3.1	Fosse septique	25
6.1.3.2	Système d'infiltration	25
7	Application de la méthodologie ACV à des systèmes d'épuration individuelle	26
7.1	Définition de l'objectif et du champ de l'étude	26
7.1.1	Objectif de l'étude	26
7.1.1.1	Application prévues	26
7.1.1.2	Raisons d'effectuer l'étude	26
7.1.1.3	Cibles visées	26
7.1.2	Champ de l'étude	27
7.1.2.1	Fonction, unité fonctionnelle et flux de référence	27
7.1.2.2	Frontières des systèmes	27
7.1.2.3	Exigences relatives à la qualité des données	31
7.2	Analyse de l'inventaire des données	31
7.2.1	Mode opératoire de recueil des données	31
7.2.2	Description qualitative et quantitative des processus élémentaires	31
7.2.2.1	Fabrication et mise en forme des différents composants	31
7.2.2.2	Tranchées d'infiltration	34
7.2.2.3	Transport des différents composants	35
7.2.2.4	Énergie consommée pour la fabrication de la cuve	37
7.2.2.5	Transport des systèmes	38
7.2.2.6	Installation	41
7.2.2.7	Utilisation d'électricité	43
7.2.2.8	Maintenance	44
7.2.2.9	Émissions dans l'air	46
7.2.2.10	Émissions dans l'eau	47

7.2.2.11	Fin de vie des boues d'épuration	47
7.2.2.12	Fin de vie des autres composants des systèmes d'épuration individuelle	49
7.2.3	Sources de documents publiés	52
7.2.4	Procédures de calcul	52
7.2.5	Analyses de sensibilité	52
7.3	Évaluation de l'impact du cycle de vie	52
7.4	Interprétation des résultats	52
8	Analyse des résultats	53
8.1	Identification des résultats les plus significatifs	53
8.2	Explications des différences entre les systèmes envisagés	55
8.2.1	Utilisation des ressources abiotiques	55
8.2.2	Eutrophisation	58
8.2.3	Réchauffement climatique	60
8.2.4	Toxicité humaine	62
8.2.5	Éco-toxicité d'eau douce et éco-toxicité d'eau de mer	64
8.2.6	Éco-toxicité terrestre	68
8.3	Récapitulatif des résultats obtenus	69
9	Analyses de sensibilité	73
9.1	Sensibilité des systèmes	73
9.1.1	Mise à forme de la cuve de l'X-Perco®	73
9.1.2	Allocation pour le xylit	75
9.1.3	Sensibilité de la méthode	77
9.1.3.1	Résultats obtenus pour les trois méthodes	78
10	Écoconception de systèmes d'épuration individuelle	81
10.1	Écoconception de la cuve de l'X-Perco®	81
10.1.1	Étapes prises en compte	81
10.1.2	Comparaison des trois types de cuve	82
11	Conclusions et perspectives	84
11.1	Conclusions	84
11.2	Perspectives	89
A	Nomenclature Oxyfix®	96
B	Nomenclature X-Perco®	102
C	Nomenclature fosse septique	106
D	Tranchées d'infiltration	107
E	Transport matières premières Oxyfix®	108
F	Transport matières premières X-Perco®	111
G	Transport matières premières fosse septique	113
H	Consommation nécessaire à la fabrication d'une cuve en béton	114

I	Transport des systèmes	115
J	Installation	119
K	Utilisation d'électricité	122
L	Émissions dans l'air	125
M	Émissions dans l'eau	126
N	Fin de vie des boues	128
O	Résultats normalisés pour les trois unités d'épuration individuelle	130
P	Résultats caractérisés pour les trois unités d'épuration individuelle	132
Q	Analyses de sensibilité	134
Q.1	Mise à forme de la cuve de l'X-Perco®	134
Q.2	Allocation considérée pour le xylit	134
Q.3	Méthode utilisée	137
Q.3.1	Résultats normalisés	137
Q.3.2	Résultats caractérisés	139
R	Comparaison des deux cuves	141

Table des figures

1.1	Site du groupe Eloy [1]	2
6.1	Schéma de l'Oxyfix® [2]	21
6.2	Schéma de l'X-Perco® [3]	23
6.3	Schéma de la filière traditionnelle (modifié d'après [4])	24
7.1	Système Oxyfix®	28
7.2	Système X-Perco® ⁴	29
7.3	Système Filière Traditionnelle ⁵	30
8.1	Comparaison des trois systèmes du point de vue de la caractérisation 1L d'eau traitée	54
8.2	Comparaison des trois systèmes du point de vue de la normalisation 1L d'eau traitée	55
8.3	Comparaison des trois systèmes pour l'utilisation des ressources abiotiques 1L d'eau traitée	56
8.4	Comparaison des trois systèmes pour l'eutrophisation - 1L d'eau traitée . .	58
8.5	Comparaison des quatre systèmes pour l'eutrophisation - 1L d'eau traitée .	59
8.6	Comparaison des trois systèmes pour le réchauffement climatique 1L d'eau traitée	60
8.7	Comparaison des trois systèmes pour la toxicité humaine - 1L d'eau traitée	62
8.8	Comparaison des trois systèmes pour l'éco-toxicité d'eau douce 1L d'eau traitée	65
8.9	Comparaison des trois systèmes pour l'éco-toxicité d'eau de mer 1L d'eau traitée	65
8.10	Comparaison des trois systèmes pour l'éco-toxicité terrestre - 1L d'eau traitée	68
9.1	Résultats caractérisés pour l'analyse de sensibilité liée à la mise à forme de la cuve de l'X-Perco® - 1 cuve en PE	74
9.2	Résultats caractérisés pour l'analyse de sensibilité liée à la mise à forme de la cuve de l'X-Perco® - 1L d'eau traitée	74
9.3	Résultats caractérisés avec les trois allocations pour le xylit 1L d'eau traitée	76
9.4	Résultats caractérisés par Impact 2002+ - 1L d'eau traitée	77
9.5	Résultats caractérisés par ReCiPe MidPoint en perspective hiérarchiste 1L d'eau traitée	77
10.1	Comparaison des trois types de cuve par la caractérisation - 1 cuve	82
E.01	Cycle des matières en acier inoxydable [5]	110
O.01	Résultats normalisés pour l'Oxyfix® - 1L d'eau traitée	130
O.02	Résultats normalisés pour l'X-Perco® - 1L d'eau traitée	131

O.03 Résultats normalisés pour la filière traditionnelle - 1L d'eau traitée	131
P.01 Résultats caractérisés pour l'Oxyfix® - 1L d'eau traitée	132
P.02 Résultats caractérisés pour l'X-Perco® - 1L d'eau traitée	133
P.03 Résultats caractérisés pour la filière traditionnelle - 1L d'eau traitée	133
Q.11 Résultats caractérisés pour l'X-Perco® en considérant que la mise à forme de la cuve est réalisée uniquement en utilisant du gaz - 1L d'eau traitée . .	134
Q.22 Résultats caractérisés pour l'X-Perco® via l'allocation économique 1L d'eau traitée	135
Q.23 Résultats caractérisés pour l'X-Perco® via l'allocation énergétique 1L d'eau traitée	135
Q.24 Résultats caractérisés pour l'X-Perco® via l'allocation massique 1L d'eau traitée	136
Q.35 Résultats normalisés par Impact 2002+ - 1L d'eau traitée	137
Q.36 Résultats normalisés par ReCiPe MidPoint en perspective hiérarchiste 1L d'eau traitée	138
Q.37 Résultats caractérisés par Impact 2002+ - 1L d'eau traitée	139
Q.38 Résultats caractérisés par ReCiPe MidPoint en perspective hiérarchiste - 1L d'eau traitée	140
R.01 Résultats caractérisés pour la cuve en béton - une cuve	141
R.02 Résultats caractérisés pour la cuve en polyéthylène - une cuve	142

Chapitre 1

Introduction

Remontant à l'époque mésopotamienne, les premiers systèmes d'assainissement de l'eau ont longtemps été utilisés dans l'unique but d'éloigner les eaux usées des régions habitées en vue d'éviter la propagation de maladies. À partir de la moitié du XX^{ème} siècle, la prise de conscience de l'impact environnemental engendré par ces eaux non traitées, a abouti à la mise en place de systèmes d'épuration.

Depuis lors, les exigences réglementaires liées au traitement des eaux usées n'ont cessé de s'intensifier en raison des préoccupations environnementales croissantes de la population et des pouvoirs publics. Sous l'impulsion de cette réglementation, l'installation de filières d'assainissement individuel s'est développée pour répondre aux besoins de l'habitat dispersé. Au fil des années, les actions des stations d'épuration individuelle se sont diversifiées, en vue de répondre aux obligations législatives toujours plus contraignantes tant au niveau quantitatif (quantité de paramètres à gérer) que qualitatif (performances épuratoires demandées de plus en plus élevées). Cette diversification rend difficile l'identification des solutions techniques les plus éco-responsables.

En effet, dans les présentations des diverses unités, on peut lire que tel procédé est le plus respectueux de l'environnement parce qu'il ne demande aucune consommation électrique au cours de son utilisation, qu'un autre l'est au vu de ses performances épuratoires plus élevées ou qu'un troisième l'est en raison de l'utilisation de matériaux recyclables.

Si la minimisation des impacts environnementaux est la principale fonction des systèmes de traitement des eaux usées, ils doivent être conçus de telle sorte que leur impact global sur l'environnement soit le plus réduit possible. Cela implique d'intégrer non seulement les pollutions directes mais également les pollutions indirectes des stations d'épuration individuelle. Celles-ci sont engendrées par un nombre important d'étapes allant de l'extraction des matières premières à la fin de vie des systèmes et des boues en passant par les émissions de gaz à effet de serre engendrées. Il est donc primordial de considérer une politique globale prenant en compte la totalité du cycle de vie du système. L'analyse du cycle de vie (ACV) constitue donc une méthode particulièrement bien adaptée afin de répondre à cette approche. Elle représente, en effet, un outil fondamental d'aide à l'évaluation des impacts environnementaux en permettant l'accès à la fois à des données qualitatives et quantitatives extrêmement utiles en vue de la gestion environnementale.

Utilisée dans le cadre d'une démarche d'écoconception, l'analyse du cycle de vie permet également d'intégrer l'environnement dès la phase de conception des produits ce qui ajoute

une dimension supplémentaire au processus classique de conception d'un produit en plus de la rencontre des attentes des clients, de la faisabilité technique et de la maîtrise des coûts.

Ainsi, elle permet de répondre au mieux à l'aspect environnemental qui constitue, avec la justice sociale et les aspects économiques, le troisième pilier du développement durable dont l'objectif est de "répondre aux besoins du présent sans compromettre la possibilité pour les générations futures de répondre aux leurs" [6], [7], [8], [9], [10].

Collaboration avec Eloy Water

C'est dans cette optique qu'a débuté la collaboration avec Eloy Water, société belge active dans le traitement de l'eau.

Eloy Water fait partie du groupe Eloy qui, fondé en 1965 et spécialisé dans la protection et l'aménagement de l'environnement, emploie aujourd'hui plus de 300 personnes et réalise un chiffre d'affaires annuel supérieur à 50 millions d'euros.

Cette société belge située à Sprimont, est spécialisée dans la conception, la fabrication, la commercialisation et l'entretien de produits pour le traitement et la réutilisation des eaux usées et des eaux de ruissellement.

Eloy Water possède une palette très large de produits qu'elle met à la disposition de son réseau de distributeurs et d'installateurs spécialisés. Il s'agit de stations d'épuration individuelle et semi-collective, de citernes à eaux de pluie, de séparateurs d'hydrocarbures, de dégraisseurs et de postes de relevage.

Les différents procédés de traitement mis au point par la société prennent place dans des cuves en béton fibré hautes performances, dans des cuves en polyester renforcées de fibres de verre ou dans des cuves en polyéthylène spécialement conçues à cet effet [3].

Dans ce travail, des systèmes d'épuration individuelle conçus par cette entreprise sont comparés et les étapes les plus impactantes de ceux-ci sont hiérarchisées. Par la démarche d'écoconception, une amélioration possible est également envisagée.



FIGURE 1.1 – Site du groupe Eloy [1]

Chapitre 2

L'assainissement des eaux usées

2.1 Les différents régimes d'assainissement

En région wallonne, trois types de régime d'assainissement existent : l'assainissement collectif, l'assainissement individuel et l'assainissement transitoire. Les organismes d'assainissement agréés sous la responsabilité et la supervision de la Société Publique de la Gestion de l'Eau (SPGE) ont établi des plans d'assainissement par sous-bassin hydrographique (PASH) sur base desquels l'ensemble du territoire a pu être cartographié selon des zones correspondant à chaque régime d'assainissement [11].

2.1.1 L'assainissement collectif

Le régime d'assainissement collectif s'applique aux agglomérations dont le nombre d'équivalent-habitant(EH) est supérieur à 2000 et pour celles de moins de 2000 EH qui présentent une des trois conditions suivantes :

- présence d'une station d'épuration collective existante ou dont le marché de construction a été attribué ;
- agglomérations équipées à 75% minimum d'égouts en bon état ;
- présence de spécificités environnementales nécessitant ce type de régime d'assainissement.

En assainissement collectif, chaque habitation est raccordée à des égouts qui évacuent les eaux des riverains vers un collecteur. Ensuite, les collecteurs transfèrent ces eaux usées vers une station d'épuration collective qui va traiter les eaux avant de les rejeter dans le milieu naturel. Si ces collecteurs sont trop remplis, l'excédent est directement rejeté à la rivière par le déversoir d'orage.

Les communes doivent équiper en égouts les zones reprises en assainissement collectif alors que les nouvelles habitations doivent posséder un système de collecte permettant la séparation entre les eaux claires et les eaux usées [12], [13].

2.1.2 L'assainissement transitoire

En assainissement transitoire, seules les nouvelles habitations sont soumises à des obligations. En effet, ces maisons doivent posséder :

- un système de séparation des eaux pluviales et des eaux usées domestiques ;
- une fosse septique by-passable d'une capacité minimale de 3000 litres ;
- un dégraisseur d'une capacité minimale de 500 litres pour les établissements du secteur de la restauration alimentaire [12], [13], [14].

Ce régime est provisoire en attendant que la zone évolue vers un régime collectif ou autonome.

2.1.3 L'assainissement autonome

Également qualifié d'individuel ou de non collectif, l'assainissement autonome s'applique à toutes les zones non reprises comme étant des zones d'assainissement collectif ainsi que pour toutes les habitations construites à l'extérieur des zones prévues pour l'urbanisation. Environ 12 % de la population belge, soit 160000 logements se trouvent dans des régimes d'assainissement autonome dont deux tiers en zones urbanisables [11], [13], [15].

En zone d'assainissement autonome, toute nouvelle habitation ou toute habitation dont le potentiel de logement a été augmenté par des travaux, demande l'installation d'un système d'épuration individuelle dès la construction ou à l'issue des travaux d'aménagement. Selon la capacité de traitement, on classe les systèmes d'épuration individuelle en trois grandes catégories :

- les unités d'épuration individuelle dont la capacité de traitement d'eaux usées est inférieure ou égale à 20 EH ;
- les installations d'épuration individuelle dont la capacité de traitement est comprise entre 20 et 100 EH ;
- les stations d'épuration individuelle dont la capacité de traitement est supérieure ou égale à 100 EH [11], [13], [16].

2.2 Les grands types d'installation d'assainissement individuel

2.2.1 La filière traditionnelle

Utilisée depuis plus de 200 ans, la filière traditionnelle résulte de l'association d'une fosse septique et d'un dispositif traditionnel d'infiltration dans le sol. Dans un premier temps, la fosse toutes eaux réceptionne les eaux usées domestiques et joue le rôle de décanteur primaire. Les eaux sortant de celle-ci sont ensuite acheminées vers un dispositif d'infiltration dans le sol où le pouvoir épuratoire de celui-ci est utilisé afin de filtrer les eaux [17], [18].

La fosse toutes eaux consiste généralement en une cuve fabriquée en béton à laquelle un pré-filtre peut être intégré dans le but de prévenir le colmatage du système de traitement.

Selon les cas, différents types de systèmes d'infiltration sont utilisés :

- la tranchée d'infiltration ;
- le lit d'infiltration ;
- le tertre d'infiltration ¹ ;
- le filtre à sable non drainé ;
- le puits perdant [18].

1. Le tertre d'infiltration consiste en un élément d'infiltration construit au-dessus du niveau du sol par l'ajout d'une couche filtrante constituée de sable d'emprunt.

Avant d'utiliser ces systèmes d'infiltration, il faut veiller à ce qu'un certain nombre de contraintes soit respectées. Par exemple, il faut s'assurer que lorsque le système d'infiltration dans le sol est en fonctionnement, la nappe soit toujours maintenue à une profondeur d'au moins 50 cm du niveau naturel du sol. Il faut également respecter les contraintes de distance vis-à-vis des autres ouvrages et éléments paysagers [18].

2.2.2 Les dispositifs épuratoires agréés

Les micro-stations de traitement des eaux usées étaient considérées, jusqu'à la publication de l'arrêté du 7 septembre 2009 fixant les prescriptions techniques applicables aux installations d'assainissement non collectif, comme des systèmes ne réalisant qu'un pré-traitement à l'image des fosses toutes eaux. Depuis cette publication, ce n'est plus le cas. Cependant, tout dispositif autre que les dispositifs d'épuration par le sol doit recevoir un agrément faisant suite à la vérification de l'efficacité du dispositif et à la validation des performances annoncées par les fabricants notamment [19].

Les principaux dispositifs ayant déjà reçu un agrément sont les suivants :

- les micro-stations de traitement des eaux usées à boues activées appelées également cultures libres ;
- les micro-stations de traitement des eaux usées à cultures fixées ;
- les filtres compacts ;
- les filtres plantés de roseaux [19].

2.2.2.1 Les micro-stations à boues activées

Un certain nombre de micro-stations fonctionnent selon le principe des boues activées. Ce procédé profite du fait que les boues activées sont essentiellement composées de micro-organismes hétérotrophes qui dégradent les matières organiques. Pour que cette action puisse avoir lieu, il est indispensable d'introduire de l'oxygène via un système d'aération [19].

La reproduction des micro-organismes se produit lorsque leur croissance est importante et que les bactéries se mettent à se diviser. A l'aide des exo-polymères qu'ils sécrètent, les micro-organismes s'agglomèrent en floccs décantables. Comme les micro-stations à boues activées sont conçues de manière à favoriser la décantation de ces floccs, il faut évacuer régulièrement les boues en surplus [19].

Les micro-stations à boues activées sont les systèmes les plus compacts. En effet, ces dispositifs ne disposent, le plus souvent, pas de prétraitement de type anaérobie et sont généralement composés d'un compartiment où a lieu l'oxygénation, d'un clarificateur et d'un compartiment de rétention des boues. Ce dernier est d'ailleurs parfois couplé dans un même compartiment que le clarificateur [20].

2.2.2.2 Les micro-stations de traitement des eaux usées à cultures fixées

La plupart du temps, les micro-stations de traitement des eaux usées à cultures fixées fonctionnent en deux phases : une phase de prétraitement anaérobie (décanteur) et une phase de traitement aérobie [20].

L'aérobie en culture fixée désigne un ensemble de techniques d'épuration biologique des eaux qui permettent la dégradation de polluants à l'aide de micro-organismes aérobies fixés sur support grâce aux exopolymères, molécules qu'ils produisent. Les micro-organismes ainsi fixés ont des activités spécifiques plus importantes que celles des micro-organismes en culture libre [19]. Selon la micro-station envisagée, ce support prend des formes et utilise des matériaux très différents. Comme pour les micro-stations à boues activées, les micro-organismes naturellement présents dans le milieu naturel sont utilisés afin de dégrader la pollution. Cette dégradation de la matière organique a pour but :

- d'obtenir l'énergie et les éléments nécessaires à leur développement (anabolisme) ;
- de synthétiser de nouvelles cellules vivantes (catabolisme) [19], [20].

L'association d'une phase anaérobie et d'une phase aérobie rend ces solutions moins compactes que les solutions à boues activées [20].

Trois grandes filières de cultures fixées peuvent être distinguées :

- les lits bactériens ;
- les disques biologiques et biodisques ;
- les cultures fixées immergées de nouvelle génération [19].

2.2.2.3 Les filtres compacts

Apparus bien plus tard que la filière traditionnelle, il n'en demeure pas moins que les filtres compacts constituent des alternatives à celle-ci depuis de nombreuses années. Cependant, comme pour les micro-stations, avant la publication de l'arrêté du 7 septembre 2009, les filtres compacts étaient considérés comme des systèmes ne réalisant qu'un prétraitement et ne pouvaient donc être installés que sur avis dérogatoire [17].

Les filtres compacts sont généralement divisés en deux compartiments principaux. Dans le premier, un prétraitement est réalisé par décantation. Les matières solides et les matières en suspension les plus lourdes amenées par les eaux usées se déposent dans le fond alors que les matières plus légères telles que la graisse et la cellulose forment un "chapeau" en surface [17]. Ensuite, les eaux prétraitées sont amenées dans le second compartiment où elles traversent un média filtrant dans lequel une population de bactéries épuratoires s'est développée et fixée. Ce média filtrant présente une microporosité nettement plus forte que le sol de la filière traditionnelle ce qui augmente les échanges physico-chimiques entre les matériaux et le soluté et donc la filtration. Il en résulte un pouvoir épurateur bien plus grand qu'avec le sol de la filière traditionnelle [3], [17], [21].

Il en résulte une emprise au sol du filtre moindre que pour la filière classique ce qui rend les filtres compacts particulièrement adaptés lorsque la surface disponible est faible. De plus, cette technique fonctionne sur tout type de sol ce qui constitue un autre avantage par rapport à la filière classique.

2.2.2.4 Filtres plantés de roseaux

Les filtres plantés de roseaux utilisent le principe de la phytoépuration. D'autres types de macrophytes ² que les roseaux peuvent également être utilisés pour réaliser cette phytoépuration mais les filtres plantés de roseaux sont de loin les plus courants. Lors de la phytoépuration, les eaux usées ménagères c'est-à-dire les eaux vannes provenant des WC et les eaux grises provenant notamment des cuisines et salles de bain ne subissent pas de décantation préalable comme c'était le cas pour la filière classique. Elles sont directement amenées vers les filtres plantés où elles traversent des bassins remplis d'un substrat minéral. Dans ce substrat, différents végétaux sub-aquatiques peuvent être plantés. Ceux-ci sont choisis en fonction du climat. Ces plantes, et plus spécifiquement les roseaux forment un tissu racinaire et un réseau de galeries qui jouent un triple rôle bénéfique pour l'épuration puisqu'ils drainent, apportent de l'oxygène et servent de support aux bactéries aérobies. Comme les bactéries et la macrofaune du sol ont un rôle de dégradation et de minéralisation de la matière organique, qui devient dès lors assimilable par les plantes, le système ne produit pas de boues. En effet, celles-ci sont compostées et forment un humus³ sur place [24].

Il existe deux classes de filtres plantés :

- les filtres plantés de roseaux à écoulement vertical ;
- les filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal.

Que l'écoulement y soit vertical ou horizontal, les roseaux sont plantés dans les massifs filtrants constitués de couches successives de substrat minéral de granulométrie variable selon la qualité des eaux usées à traiter. En fonction des caractéristiques du site telles que la perméabilité du sol, la présence ou non d'une nappe phréatique mais aussi de la réglementation locale, le système utilisé peut-être étanche ou non [24].

En général, des combinaisons de lits à écoulement vertical et/ou horizontal mis en parallèle et/ou en série sont utilisées afin d'assurer le prétraitement et le traitement des eaux usées [24].

2. Les macrophytes représentent l'ensemble des plantes aquatiques macroscopiques. Il existe plusieurs variétés de macrophytes : les plantes émergentes comme le roseau, le scirpe et la massette, les plantes à organes submergés et flottants telles que les nénuphars et les plantes submergées qui peuvent former des herbiers denses notamment le callitriche et le cornifle immergé [22].

3. L'humus est la couche supérieure du sol créée et entretenue par la décomposition de la matière organique. Il s'agit d'une matière souple et aérée, qui absorbe et retient bien l'eau [23].

Chapitre 3

Objectifs du travail

Ce travail de fin d'étude poursuit trois objectifs. Le premier est, via l'application de la méthodologie de l'analyse du cycle de vie, de comparer d'un point de vue environnemental trois systèmes d'épuration individuelle :

- l'Oxyfix® : micro-station utilisant le principe de traitement par culture fixée, immergée et aérée ;
- l'X-Perco® : filtre compact utilisant un média filtrant quelque peu particulier à savoir le xylit ;
- la filière traditionnelle constituée d'une fosse septique en béton fabriquée par Eloy associée à un système de tranchées d'infiltration.

Cette comparaison permet de situer deux unités d'épuration individuelle conçues par Eloy Water, l'Oxyfix® et de l'X-Perco®, par rapport à la filière traditionnelle. Sur le long terme, l'enjeu est de comparer les performances environnementales de ces systèmes à d'autres filières d'assainissement non collectif. À plus long terme, cette étude pourrait également permettre la comparaison de solutions d'assainissement non collectif et de solutions d'assainissement collectif [10].

Le deuxième objectif de ce travail est la hiérarchisation des étapes selon leur impact environnemental pour chacun des systèmes envisagés. Cette détermination résulte également de l'application de la méthodologie de l'analyse du cycle de vie aux trois systèmes d'épuration individuelle.

Le dernier objectif, s'inscrivant dans la démarche d'écoconception, est de proposer et d'évaluer des voies de développement permettant la diminution des impacts environnementaux liés au traitement des eaux usées.

Chapitre 4

État de l'art

4.1 Historique

Bien que l'assainissement de l'eau remonte à l'époque mésopotamienne, les processus de traitement à boues activées n'ont été décrits pour la première fois qu'en 1913 aux États-Unis. Pendant le XX^{ème} siècle, les systèmes d'assainissement des eaux étaient simplement utilisés dans le but d'éviter la propagation de maladies. Il a donc fallu attendre 1987 et la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement pour que certains spécialistes du traitement de l'eau commencent à utiliser des techniques de l'analyse du cycle de vie afin d'évaluer les fardeaux environnementaux liés au traitement de l'eau. À la date du 26 juin 2013, Corominas en avait relevé 45 [25].

4.2 Évaluation de la performance environnementale des technologies classiques à boues activées

La plupart des études d'analyse du cycle de vie réalisées à l'heure actuelle concernent des technologies à boues activées. Bien que ce type de technologie ne soit pas évalué au cours de ce travail, il est intéressant de montrer certains grands résultats obtenus par les études d'analyse du cycle de vie sur ces technologies classiques car des liens peuvent être réalisés avec les systèmes étudiés.

La première étude ACV appliquée à des unités de traitement des eaux usées (STEP), publiée en 1995, consistait en l'évaluation de différentes technologies de traitement de l'eau à petite échelle. A cette époque, il a été mis en évidence l'importance d'inclure les émissions de CO₂ associées à la production d'énergie, introduisant ainsi une dimension supplémentaire pour l'évaluation des impacts environnementaux. Cette étude a également identifié la consommation d'électricité comme étant l'une des principales causes de l'épuisement des ressources fossiles et de la production des émissions de gaz à effet de serre (GES). Les phases de construction et de démolition étaient incluses dans cette analyse en plus de l'évaluation de l'exploitation du système.

Par la suite, une méthodologie de l'ACV plus sophistiquée a été utilisée aux Pays-Bas afin d'évaluer la durabilité de l'assainissement collectif. Les résultats de cette étude ont mis en évidence l'importance de la réduction de la pollution dans les effluents de substances telles que l'azote et le phosphore mais également l'importance de la réduction de la production de boues. Contrairement à ce qui avait été dit pour l'étude précédente, il a été conclu que

la contribution des impacts liés à la consommation d'énergie sont très faibles. De même, la construction et les produits chimiques utilisés n'ont pas engendré d'impact significatif lors de cette étude. Ces résultats ont été obtenus après normalisation. Cette dernière permet donc de mesurer l'amplitude des impacts environnementaux pour le traitement de l'eau.

Depuis cette étude, l'analyse du cycle de vie a été appliquée pour évaluer différents types de stations d'épuration conventionnelles. Dans un premier temps, les analyses du cycle de vie ont été utilisées afin de caractériser l'impact environnemental de cas d'études spécifiques. Ensuite, des études d'analyse du cycle de vie ont été réalisées dans une démarche d'écoconception afin d'améliorer les configurations existantes. Enfin, des études ACV ont également été menées en vue de comparer les performances des différentes configurations appliquées à un seul et même système pour en améliorer les performances. Les résultats obtenus par les différentes études qui impliquent l'élimination de la charge polluante sont très semblables. Celles-ci mettent en exergue les catégories d'impact liées à l'eutrophisation, aux toxicités et éco-toxicités ainsi qu'au réchauffement climatique causés en majeure partie par les émissions dans l'eau, le traitement et l'élimination des boues et l'utilisation de l'électricité respectivement. Dans l'ensemble, les meilleures alternatives semblent être celles qui entraînent des rejets finaux de nutriments plus faibles [25].

4.3 Évaluation des autres technologies

Dans cette section, les études d'analyse du cycle de vie pour des technologies qui ne sont pas basées sur les boues activées sont décrites. En réalité, les technologies de traitement des eaux usées par boues activées sont exigeantes au point de vue énergétique ce qui est préjudiciable principalement pour l'assainissement individuel dans les petites communautés de moins de 2000 EH. Les zones humides artificielles, les filtres biologiques et des systèmes de filtration de sable ont donc été proposés comme alternatives possibles afin de réduire les passifs environnementaux engendrés par les technologies conventionnelles. Bien que ces procédés nécessitent de plus grandes superficies pour leur mise en œuvre, ils sont souvent adaptés pour les zones rurales en raison de la faible énergie nécessaire à leur fonctionnement. Ces nouvelles technologies pour le traitement des eaux usées sont toujours en cours de développement et il devient une pratique courante d'utiliser l'analyse du cycle de vie en vue de les comparer [25].

L'essentiel des études d'analyse du cycle de vie réalisées à ce jour pour des filières d'assainissement non collectif concernant des installations ou des stations d'épuration individuelle dont la capacité de traitement est comprise entre 20 et 2000 habitants [25]. Néanmoins, Dixon envisage les impacts potentiels engendrés par des filtres plantés de roseaux pour une capacité de 12 EH et les compare à des systèmes équivalents dont la capacité de traitement est respectivement de 60 et 200 EH [9]. Cette capacité de traitement est encore nettement supérieure aux capacités de traitement de 5 EH des systèmes envisagés dans ce travail.

Une première approche de l'Inventaire du Cycle de Vie pour deux dispositifs d'assainissement non collectif d'une capacité de 4 EH a été réalisée par Berland en 2012. Celle-ci concerne :

- une filière classique de type Fosse Toutes Eaux (FTE) combinée à un Filtre à Sable Drainé Vertical (FSDV) ;
- une micro-station à boues activées mise au point par la société Sotralentz : l'Actibloc® 2500-2500 d'une capacité de traitement de 4 EH.

Cette étude a été réalisée dans l'objectif de comparer les impacts environnementaux engendrés par différentes unités d'épuration individuelle calculés par une approche environnementale du cycle de vie. À plus long terme, l'objectif était de permettre la comparaison des fardeaux environnementaux de ces filières d'assainissement non collectif à ceux résultant de l'assainissement collectif. Cette étude faisait suite à la volonté du Ministère français de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) et du Ministère français chargé de la Santé d'élaborer un plan d'actions destiné à accompagner les dispositions réglementaires et à compléter les connaissances sur les filières d'assainissement non collectif. Cette volonté laisse penser que les études d'analyse du cycle de vie pour des unités d'épuration individuelle vont se faire de plus en plus nombreuses au cours des années à venir [10].

Chapitre 5

Écoconception et méthodologie ACV

5.1 Définition de l'analyse du cycle de vie

L'analyse du cycle de vie (ACV) (en anglais "Life Cycle Assessment" (LCA)) consiste en une méthodologie d'évaluation environnementale largement employée dans le monde industriel. Méthode dite "du berceau à la tombe", l'analyse du cycle de vie étudie les aspects environnementaux et quantifie les impacts potentiels de l'ensemble du cycle de vie d'un système, depuis l'extraction des matières premières jusqu'à sa fin de vie sur base d'un bilan approfondi et quantitatif de l'énergie, des matériaux utilisés (entrants) et des rejets de polluants dans l'environnement. Le "système" envisagé peut être un procédé, un produit ou une activité. Les considérations précédemment évoquées en font une méthode "multi-impacts" et "multi-critères". En effet, elle permet la mise en exergue de nombreux impacts comme la diminution de la couche d'ozone, la toxicité humaine ou l'eutrophisation en tenant compte d'un nombre important de critères tels que les consommations de matières et d'énergie, les rejets et les émissions dans l'air, l'eau et les sols ainsi que la production de déchets [6], [7], [8], [26], [27].

5.2 Objectifs

Une analyse du cycle de vie permet de réaliser des objectifs variés. En effet, à l'aide de cet outil, les étapes du cycle de vie peuvent être hiérarchisées selon leur impact environnemental. Les catégories pour lesquelles les impacts environnementaux sont les plus pertinents pour le cas étudié et les substances responsables de ceux-ci peuvent également être mises en évidence [6].

L'ensemble des critères pris en compte par cette méthode lui permet donc :

- d'identifier les principales sources d'impact environnementaux ;
- d'éviter les transferts de pollution d'une catégorie d'impact à l'autre ou d'une étape du cycle de vie à l'autre.

L'ACV ramène les impacts à une unité fonctionnelle ce qui permet la comparaison entre plusieurs scénarios différents ayant la même fonction [6].

5.3 Applications

La méthodologie ACV tient son origine de la crise du pétrole au début des années 1970. D'un simple inventaire des besoins énergétiques des systèmes, elle s'est étendue au fil des années, profitant de la constitution de bases de données, pour devenir la méthodologie que l'on connaît à l'heure actuelle. Vu la croissance d'études incomplètes dans les années 1990, elle a été standardisée et son cadre est désormais conforme aux normes ISO 14040 et 14044 [6], [26].

Une étude ACV demande un temps considérable pour récupérer et traiter les données. Bien que les études complètes permettent une aide précieuse à la décision, des études dites simplifiées sont couramment utilisées en pratique.

L'analyse du cycle de vie peut prendre place dans des contextes variés. Cette méthodologie peut être utilisée aussi bien en interne qu'en externe à l'entreprise :

- En interne, elle peut s'avérer être un outil stratégique non négligeable d'aide aux décisions que ce soit en vue de l'amélioration de procédés existants ou en vue du développement de nouveaux procédés moins impactants en identifiant les opportunités qui se présentent ;
- En externe, elle constitue un argument de vente pour le service marketing mais peut également permettre une meilleure information des décideurs politiques. En effet, les consommateurs et les gouvernements accordent une importance croissante aux impacts liés à l'utilisation de tout type de produit, procédé ou activité. En plus de l'aspect économique, l'aspect environnemental peut ainsi être pris en compte [6], [8], [28].

5.4 Limitations

L'analyse du cycle de vie est un outil d'aide à la décision et non un outil de décision. Elle constitue donc un recueil d'informations que le décideur peut utiliser afin de prendre une décision. Cependant, les résultats obtenus ne constituent qu'un critère à prendre en considération parmi d'autres [6].

En effet, l'analyse du cycle de vie se limite aux impacts environnementaux potentiels ce qui signifie que de nombreux autres facteurs doivent être pris en compte. C'est notamment le cas des aspects économiques ou sociaux. De nouvelles méthodologies comme le coût du cycle de vie (en anglais "Life Cycle Cost" (LCC)), l'analyse sociale (en anglais "Social Life Cycle Assessment" (SLCA)) du cycle de vie ou l'analyse de la durabilité du cycle de vie sont développées pour combler cette lacune [6].

Actuellement en cours de développement, les nuisances telles que le bruit et les odeurs par exemple ne sont pas encore prises en compte dans les analyses du cycle de vie. Vu le principe de la méthode, cette évaluation se révèle extrêmement compliquée. Les dimensions spatiale et temporelle sont également en développement et les risques ne sont pas précisés [6], [8].

Ce sont les impacts potentiels et non les impacts réels qui sont évalués par l'analyse du cycle de vie. En effet, ces derniers demanderaient l'étude des conditions locales et des phénomènes de transfert des émissions [7].

Les résultats sont directement liés à la qualité et la pertinence des données employées ce qui les rend très influentes sur le résultat obtenu [6].

5.5 Les quatre étapes de l'analyse du cycle de vie

Une analyse du cycle de vie se réalise en quatre étapes. Dans un premier temps, il faut définir les objectifs et le champ de l'étude. Sur base de ceux-ci, un inventaire est réalisé à l'aide des données disponibles. La qualité de celui-ci est cruciale et constitue, de ce fait, un point charnière de l'analyse du cycle de vie. En effet, la quantification des impacts en résulte directement. Après avoir obtenu cet inventaire, les données peuvent être converties en impacts à l'aide d'une variété de méthodes d'analyse. La dernière étape consiste en l'interprétation des résultats et la vérification de leur cohérence avec les objectifs et le champ de l'étude [6], [26].

L'analyse du cycle de vie est un procédé itératif. En ce sens, la réalisation de cette séquence de quatre étapes est réalisée à plusieurs reprises. Elle demande donc de pousser de plus en plus loin l'analyse en obtenant des données toujours plus précises et spécifiques et en modifiant le cadre de l'étude au besoin [6].

5.5.1 Définition des objectifs et du champ de l'étude

La première étape d'une analyse du cycle de vie est de définir les objectifs de l'étude à savoir l'application envisagée, les raisons d'effectuer l'étude et le public concerné. Cette étape est brève mais demeure fondamentale puisqu'elle conditionne la définition du champ de l'étude [6], [7], [8].

Lors de la définition du champ de l'étude, il faut :

- définir les systèmes considérés ;
- définir la ou les fonction(s) de ces systèmes ;
- définir l'unité fonctionnelle, c'est-à-dire la grandeur qui permet de quantifier la fonction du système et sur base de laquelle l'inventaire est réalisé ;
- définir les flux de référence qui représentent la quantité de produits nécessaire à l'accomplissement de la fonction pour l'unité fonctionnelle considérée ;
- définir les frontières des systèmes étudiés qui permettent de savoir quels processus élémentaires seront pris en compte ou non ;
- énumérer les limitations de la méthode d'évaluation de l'impact ;
- définir les catégories d'impact sélectionnées ;
- définir chaque méthode d'évaluation de ces impacts [6], [7], [8].

5.5.2 Inventaire des données

L'inventaire consiste en la description précise des processus liés au procédé en y définissant les différents flux entrants et sortants du système. Ces flux sont ramenés à l'unité fonctionnelle. À partir de là et après collecte et validation de ces données, une liste des émissions dans l'eau, l'air et les sols est obtenue ainsi que des ressources utilisées. À ce stade, il s'agit seulement d'un inventaire et donc on ne parlera pas encore d'impacts environnementaux. Les unités sont différentes ce qui rend toute comparaison impossible.

Dans cette partie de l'étude, l'origine et la pertinence des données utilisées lors de l'étude sont également définies. Les hypothèses réalisées au cours de l'étude doivent aussi être justifiées à ce stade [6], [7], [8], [28].

5.5.3 Évaluation de l'impact

Lors de l'évaluation des impacts, les fardeaux environnementaux sont calculés et quantifiés à partir des données de l'inventaire.

Les différentes méthodes reconnues scientifiquement peuvent être utilisées. Le choix de la méthode est guidé par les objectifs et le champ de l'étude. En effet, il n'existe pas de méthode de référence unique pour l'évaluation des impacts [6], [8].

Les normes ISO 14040-14044 imposent la présence de certaines étapes alors que d'autres sont facultatives [6], [8].

Lors de l'évaluation de l'impact, diverses étapes sont obligatoirement présentes :

- le choix des catégories d'impact, des indicateurs et des méthodes. Celui-ci dépend de l'objectif poursuivi et des spécificités des méthodes ;
- la classification qui a pour but d'attribuer les résultats de l'inventaire précédemment réalisé aux différentes catégories d'impact ;
- la caractérisation qui affecte à chaque polluant un facteur de caractérisation permettant ainsi de convertir toutes les substances polluantes en équivalent d'un même polluant.

D'autres étapes peuvent également être présentes. Il s'agit :

- de la normalisation qui vise à exprimer les résultats par rapport au résultat de la catégorie d'impact pour l'ensemble des activités d'une région par habitant au cours d'une année. Ceci permet de mesurer l'importance des impacts environnementaux du produit et ainsi de comparer les différentes catégories d'impact par rapport à la référence choisie ;
- du groupement qui regroupe les catégories d'impact en catégories de dommages plus générales comme la santé humaine et les ressources notamment ;
- de la pondération qui constitue un élément interdit par les normes lorsque la comparaison doit être diffusée au grand public. En effet, il s'agit d'une technique subjective basée sur des choix de valeurs personnels, éthiques ou politiques. Cependant, en interne, elle constitue une bonne référence pour la comparaison de plusieurs systèmes. Différentes méthodes telles que les méthodes Eco-Indicator 99 et Recipe Endpoint permettent d'obtenir un score unique [6], [7], [8].

5.5.4 Interprétation des résultats

L'interprétation des résultats, dernière étape d'une analyse du cycle de vie, nécessite une grande rigueur scientifique. Les résultats significatifs sont identifiés aux stades de l'inventaire et de l'évaluation de l'impact. Cependant, l'interprétation de ceux-ci doit toujours être réalisée en gardant un regard critique. En effet, bien que la méthode et la méthodologie soient scientifiques, il n'en demeure pas moins que des hypothèses ont dû être réalisées et qu'il existe des incertitudes sur les résultats obtenus [6], [7], [8].

Des analyses de sensibilité et d'incertitude sont menées afin de permettre d'expliquer les limites de l'étude, d'identifier les paramètres essentiels du système mais aussi de "vérifier la robustesse des conclusions réalisées en fonction de l'incertitude et de la variabilité des paramètres clés" [6].

Lors de cette étape, il faut également expliquer les limitations de l'étude pour savoir dans quel cadre, les conclusions peuvent être considérées comme vraies. Les conclusions ainsi que les recommandations en vue de la réduction de l'impact environnemental du système étudié sont également communiquées lors de cette étape [6], [7], [8].

5.6 Écoconception

L'écoconception, comme son nom l'entend, constitue le point de rencontre entre écologie et conception. Il s'agit de "l'intégration de l'environnement dans la conception des produits ou services à tous les stades de leur cycle de vie". Une dimension supplémentaire, la maîtrise des impacts sur l'environnement est donc ajoutée par rapport au processus classique de conception d'un produit qui demande de réunir attentes des clients, faisabilité technique et maîtrise des coûts [6].

Les objectifs recherchés sont de concevoir des produits et des procédés chimiques permettant de minimiser l'utilisation et la synthèse de substances dangereuses mais aussi de diminuer et prévenir la pollution dès le départ, de réduire au maximum les risques et d'optimiser l'efficacité des choix chimiques. Après avoir défini l'objectif de la démarche, considéré l'ensemble du cycle de vie et identifié les sources d'impact, des pistes d'amélioration sont proposées [6].

Divers outils permettent d'établir la configuration environnementale d'un produit mais l'approche "multicritères" et l'évaluation quantitative des impacts font de l'analyse du cycle de vie, une méthode de choix pour réaliser une démarche d'écoconception [6].

5.7 Logiciel SimaPro7.3.3

Afin de réaliser l'analyse du cycle de vie, le logiciel SimaPro7.3.3 est utilisé. Il permet notamment le calcul des résultats d'inventaire et de caractérisation ainsi que la normalisation des résultats. Il contient les bases de données génériques Ecoinvent, essentielles à la réalisation d'une ACV [29].

5.8 Méthode CML2 Baseline 2000

Lors de ce travail, la méthode CML 2 Baseline 2000 a été utilisée afin d'évaluer les impacts environnementaux. Le choix de cette méthode se base sur le fait qu'elle comprend des facteurs de caractérisation pour les émissions de phosphore, d'azote et de matière organique ce qui permet de modéliser les émissions dans l'eau et donc de comparer des systèmes d'épuration individuelle qui ont des performances épuratoires différentes. Ces émissions dans l'eau engendrent des impacts potentiels sur l'eutrophisation. De plus, cette méthode est conseillée par le guide de l'"International Life Cycle Data system" (ILCD) dans le cadre des systèmes d'épuration, guide qui constitue la référence dans l'Union Européenne.

Il n'est donc pas surprenant que la majorité des études liées à l'épuration des eaux utilise cette méthode pour l'évaluation des impacts [30].

Cette méthode a été initialement développée par le Centre pour les études environnementales (CML) de l'Université de Leiden aux Pays-Bas en 1992 grâce au financement combiné des ministères néerlandais de l'Environnement et des Affaires économiques dans le cadre du programme de recherche national de réutilisation des déchets [31].

À cette époque, elle comportait les catégories d'impact suivantes :

- l'intensification de l'effet de serre ;
- l'acidification des pluies ;
- la destruction de la couche d'ozone stratosphérique ;
- l'eutrophisation ;
- l'éco-toxicité ;
- la toxicité humaine ;
- la production de déchets solides ;
- la formation de smog photochimique ;
- l'utilisation d'énergie primaire.

Deux ensembles de facteurs de normalisation ont été ajoutés pour les Pays-Bas et l'Europe de l'Ouest. Par contre, aucun facteur de pondération pour la synthèse des résultats de la LCIA n'a été ajouté [32].

En 2000, une mise à jour de la méthode a été effectuée par le même centre de recherche, il s'agit à proprement parler de la méthode "CML2 Baseline 2000". Dans le cadre de celle-ci, plusieurs modifications majeures ont été réalisées :

- les catégories d'impact "production de déchets solides" et "utilisation de ressources d'énergie primaire" ont été retirées ;
- la catégorie "oxydation photochimique" a remplacé la "formation de smog photochimique" ;
- la catégorie "éco-toxicité" a été scindée en trois sous-catégories "éco-toxicité d'eau de mer", "éco-toxicité de l'eau douce" et "éco-toxicité terrestre" ;
- la catégorie "utilisation des ressources abiotiques" a été introduite [32].

5.8.1 Description des catégories d'impact disponibles

5.8.1.1 Utilisation des ressources abiotiques

Cette catégorie concerne l'utilisation de matières minérales et de combustibles fossiles. Elle se base sur les réserves existantes et la vitesse d'épuisement de celles-ci. L'antimoine a été choisi comme unité de référence pour cette catégorie d'impact [6], [32], [33].

5.8.1.2 Réchauffement climatique

Au niveau du développement des facteurs de caractérisation, le modèle de caractérisation développé par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a été choisi. Dans ce cas, les facteurs sont exprimés en fonction du potentiel de réchauffement climatique pour une durée de 100 ans. L'unité choisie est le gramme d'équivalent CO₂ par gramme d'émission [6], [32], [33].

5.8.1.3 Acidification des pluies

Pour cette catégorie d'impact, le dioxyde de soufre a été choisi comme gaz acide de référence avec pour unité le kilogramme d'équivalent SO_2 par gramme d'émission. L'impact des autres émissions est calculé à l'aide de facteurs d'équivalence sur base de leur acidité relative. Le potentiel d'acidification est seulement une suggestion de mise en garde de l'impact potentiel puisqu'en réalité, l'impact des pluies acides est fortement dépendant de l'alcalinité du milieu récepteur [6], [32], [33].

5.8.1.4 Eutrophisation

Pour l'eutrophisation, les facteurs d'équivalence se basent sur les procédures stoechiométriques chimiques et sont exprimés en grammes PO_4^{3-} par gramme d'émission [6], [32], [33].

5.8.1.5 Oxydation photochimique

Dans le cas de l'oxydation photochimique, les facteurs d'équivalence entre polluants, exprimés en gramme équivalent C_2H_4 par gramme d'émission, sont calculés en utilisant des modèles de trajectoire photochimique développés par la Commission économique des Nations Unies pour l'Europe notamment. Cependant, en réalité, le vrai impact, est très dépendant des conditions climatiques et de la présence simultanée d'oxydes d'azote dans la troposphère [6], [32], [33].

5.8.1.6 Toxicité humaine

La toxicité humaine est l'une des catégories les plus difficiles à manipuler. En effet, les impacts toxicologiques sur l'homme dépendent de l'exposition et des effets de substances chimiques et biologiques. De surcroît, un grand nombre de substances a une influence sur cette catégorie d'impact. Il n'est donc pas imaginable de toutes les prendre en considération. C'est pourquoi il existe une série de 10 à 30 substances à analyser en priorité. Il en résulte également qu'une différence d'un ordre de grandeur est nécessaire afin de pouvoir dire si un scénario est meilleur qu'un autre. Les facteurs de caractérisation sont calculés via le système de l'Union européenne pour l'évaluation des substances. Celui-ci décrit le devenir, l'exposition et les effets des substances toxiques pour une durée infinie. Ils sont exprimés en grammes équivalents de 1,4-dichlorobenzène par gramme d'émission [6], [32], [33].

5.8.1.7 Eco-toxicité d'eau de mer, éco-toxicité d'eau douce et éco-toxicité terrestre

Pour chacune de ces trois catégories couvrant les impacts de substances toxiques sur des écosystèmes marins, aquatiques ou terrestres, la même remarque que pour la toxicité humaine peut être tirée [6], [32], [33].

5.8.1.8 Diminution de la couche d'ozone

La diminution de la couche d'ozone stratosphérique fait référence à l'amincissement de celle-ci suite aux émissions anthropiques. Cela a pour conséquence qu'une plus grande fraction de rayonnement solaire UV-B atteint la surface de la terre, avec des effets potentiellement nocifs sur la santé humaine, la santé des animaux, les écosystèmes terrestres et aquatiques, les cycles et les matériaux biochimiques. La diminution de la couche d'ozone

a donc des conséquences sur quatre domaines protégés : la santé humaine, l'environnement naturel, l'environnement de l'homme et les ressources naturelles. Pour cette catégorie d'impact, les facteurs d'équivalence se basent sur le modèle développé par l'organisation météorologique mondiale qui définit le potentiel de diminution de la couche d'ozone et sont exprimés en grammes équivalents CFC-11 par gramme d'émission [6], [32], [33].

5.9 Impact 2002 +

La méthode Impact 2002 +, utilisée lors des analyses de sensibilité au chapitre 9, a été développée par l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Elle intègre quatre catégories de dommages à savoir la santé humaine, les changements climatiques, la qualité de l'écosystème et les ressources. Ces catégories de dommages comportent chacune plusieurs catégories d'impact à un niveau intermédiaire appelé midpoint [6].

5.10 ReCiPe 2008 MidPoint

La méthode ReCiPe, utilisée lors des analyses de sensibilité au chapitre 9, a été développée aux Pays-Bas. Elle intègre trois catégories de dommages (endpoint) à savoir la santé humaine, la diversité de l'écosystème et l'accessibilité aux ressources. Ces catégories de dommages comportent chacune plusieurs catégories d'impact (midpoint). La méthode ReCiPe est utilisée ici au niveau MidPoint. Cette méthode permet également d'utiliser plusieurs types de "perspectives culturelles" qui se basent sur des valeurs sociales. Dans cette étude, la perspective hiérarchiste présentant des résultats à moyen terme, est envisagée [6].

Chapitre 6

Description des systèmes d'épuration individuelle envisagés

6.1 Systèmes envisagés

Dans ce travail, trois systèmes d'épuration individuelle ayant une capacité de traitement des eaux usées de 5 EH sont analysés. Il s'agit de l'Oxyfix®, l'X-Perco® et la filière traditionnelle.

Le premier système analysé est l'Oxyfix® qui est une micro-station utilisant le principe de traitement par culture fixée, immergée et aérée. Elle s'apparente donc aux systèmes d'épuration individuelle décrits au paragraphe 2.2.2.2.

Le deuxième système analysé est l'X-Perco® qui est un filtre compact utilisant un média filtrant quelque peu particulier à savoir le xylit. Il s'apparente donc aux systèmes d'épuration individuelle évoqués au paragraphe 2.2.2.3.

Enfin, le cas d'une filière traditionnelle constituée d'une fosse septique en béton fabriquée par Eloy Water associée à un système de tranchées d'infiltration est également considéré dans cette étude. L'objectif est de situer d'un point de vue environnemental deux unités d'épuration individuelle conçues par Eloy Water, l'Oxyfix® et l'X-Perco®, par rapport à cette filière traditionnelle.

6.1.1 La micro-station Oxyfix®

L'Oxyfix C-90® est une micro-station de traitement des eaux usées à culture fixée, immergée et aérée. Elle s'adapte idéalement aux petites et moyennes collectivités dont les influents sont caractérisés par de fortes variations du débit et de la charge polluante [2]. Cette unité d'épuration individuelle reçoit l'ensemble des eaux usées ménagères, c'est-à-dire les eaux vannes provenant des WC et les eaux grises provenant notamment des cuisines et salles de bain. Les eaux de pluies ne sont, quant à elles, en aucun cas dirigées vers l'Oxyfix® [10].

Construite dans une cuve en béton, l'Oxyfix C-90® présentée à la Figure 6.1, est organisée en trois compartiments [2] :

- un décanteur primaire (A) ;
- un réacteur biologique (B) ;
- un clarificateur (C).

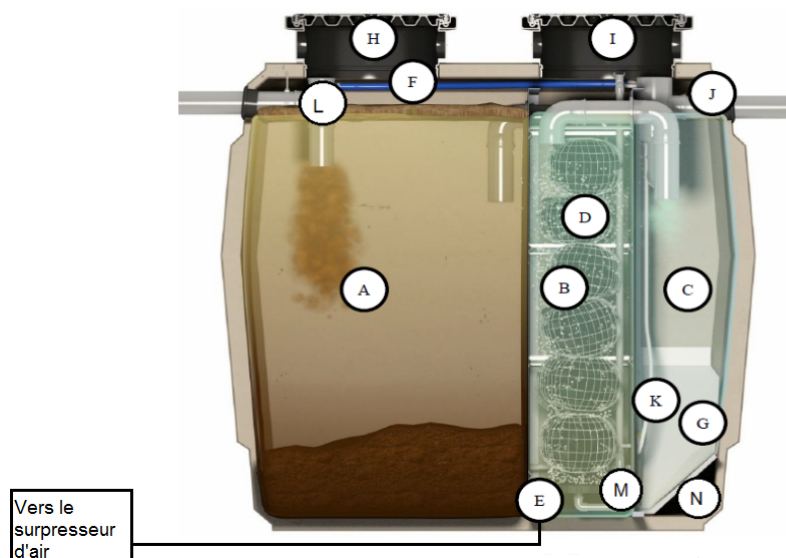


FIGURE 6.1 – Schéma de l'Oxyfix® [2]

6.1.1.1 Le décanteur primaire

Dans le premier compartiment appelé aussi décanteur primaire (A), les eaux usées sont récoltées. Les matières en suspension y subissent une décantation dans la partie inférieure afin d'être "prétraitées" par des bactéries anaérobies suite à l'intervention de mécanismes de digestion anaérobie et de liquéfaction. Le décanteur primaire joue également le rôle de dégraisseur.

Après un certain temps d'utilisation, un "chapeau" constitué notamment de graisse et de cellulose peut se former à la surface [2].

Les Oxyfix® C-90® sont équipées d'un té plongeant et ventilé (L) qui conduit les influents directement sous le chapeau pour éviter de contrecarrer l'arrivée des eaux usées dans l'installation [2]. De surcroît, ce té permet de rasséréner le flux entrant, ce qui présente deux avantages supplémentaires :

- le travail des bactéries anaérobies ne se trouve pas perturbé par un afflux soudain et brutal d'eaux usées ;
- le mouvement imposé à l'influent favorise sa première décantation [2].

6.1.1.2 Le réacteur biologique

Dans le deuxième compartiment également appelé réacteur biologique (B), les eaux usées issues du prétraitement, amenées via un tuyau plongeant (M), atteignent le fond du réacteur biologique où la pollution organique résiduaire va être dégradée par des bactéries

aérobies. Pour cela, les bactéries sont alimentées en oxygène via le surpresseur d'air. Celui-ci est raccordé à une rampe de diffusion d'air qui, située dans la partie inférieure du réacteur biologique, est composée de diffuseurs "fines bulles" (E).

Afin de fixer les bactéries et de permettre leur prolifération, l'Oxyfix® utilise un support appelé Oxybee® et développé par Eloy Water. Inspirée de la structure des nids d'abeille, l'Oxybee® est un support bactérien permanent. Ce média possède plusieurs avantages puisqu'il est léger, résistant et fabriqué en polyéthylène ou en polypropylène recyclé. De plus, sa structure lui confère une grande surface spécifique de l'ordre de $200 \frac{m^2}{m^3}$ ce qui permet un développement optimum du bio-film sans risque de colmatage. En effet, l'Oxybee® est composée à 90% de vide. Les Oxybee® ont également l'avantage d'être inaltérables et de ne jamais devoir être remplacées [2], [34].

6.1.1.3 Le clarificateur

Après leur traitement dans le réacteur biologique, les eaux entrent dans le clarificateur (C). Dans celui-ci, les boues secondaires sédimentent et se concentrent dans la partie inférieure.

Lors de l'évacuation des eaux traitées vers un égout d'eaux pluviales, un fossé ou un cours d'eau, un dispositif évite de reprendre d'éventuels corps flottants. Cette évacuation est réalisée par la partie supérieure du clarificateur. Les eaux traitées sortent alors de la station par gravité vers le milieu récepteur. Il peut arriver qu'un système de drains d'infiltration soit utilisé après passage dans la micro-station Oxyfix®. Néanmoins, dans la mesure du possible, les eaux traitées sont rejetées dans le fossé. C'est donc ce dernier cas qui est évalué dans ce travail [35].

A l'intérieur du clarificateur, un cône de décantation (G) concentre les boues en un point du compartiment (N) et optimise ainsi la recirculation des boues secondaires en facilitant leur aspiration par l'airlift (K).

L'airlift qui assure la recirculation des eaux usées traitées et des boues du clarificateur vers le décanteur primaire permet d'éviter une dénitrification non maîtrisée qui se manifeste par une remontée des boues [2].

6.1.2 Le filtre compact X-Perco®

6.1.2.1 Principe de fonctionnement

L'X-Perco® QT 5 EH est un filtre biologique qui utilise le principe de l'épuration naturelle des eaux usées. Comme pour l'Oxyfix®, les eaux usées épurées sont les eaux grises et les eaux vannes. Elles sont amenées par gravité dans la station via des conduites en PVC. Le traitement est réalisé par une population de bactéries fixées à une fibre naturelle aérée appelée "xylit".

Cette station schématisée à la Figure 6.2, se présente sous la forme d'une cuve en polyéthylène constituée de deux compartiments :

- un décanteur primaire (A) ;
- une zone de traitement (B).

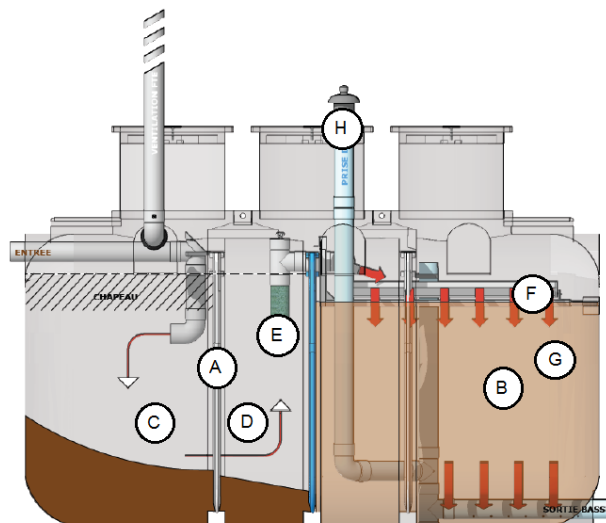


FIGURE 6.2 – Schéma de l'X-Perco® [3]

6.1.2.2 Le décanteur primaire

Le premier compartiment, appelé aussi décanteur primaire (A), est la zone où le pré-traitement est réalisé. Elle représente 50% du volume total de la cuve et est subdivisée en deux parties qui représentent respectivement deux tiers et un tiers du volume du décanteur primaire [3].

Le premier sous-compartiment (C) se comporte de la même manière que le décanteur primaire de l'Oxyfix®.

Placé à l'abri des surnageants dans le second sous-compartiment (D), le pré-filtre (E) a pour but d'empêcher le passage des matières en suspension vers la zone de traitement (B) [3].

6.1.2.3 La zone de traitement

Les eaux traitées dans le décanteur primaire (A) arrivent par gravité dans le second compartiment également appelé zone de traitement (B) et se déversent dans les deux augets basculants. Une fois suffisamment remplie d'eau, une auge (F) bascule pour disperser les eaux "prétraitées" sur le média filtrant (G). L'autre auge commence alors à se remplir puis bascule une fois remplie et ainsi de suite. Les augets sont activés dès l'arrivée des eaux usées dans la station [3].

Ensuite, les eaux "prétraitées" traversent le média filtrant où la population de bactéries épuratoires s'est développée et fixée. Pour obtenir un bon rendement épuratoire, la population de bactéries a besoin d'un apport en oxygène. Un tuyau de ventilation muni d'un chapeau (H) permet cet apport en oxygène via de l'air frais pris directement de l'extérieur et réparti dans le média, en passant par les percements du tuyau de sortie de l'effluent [3].

Les eaux traitées sortent alors de la station par gravité vers le milieu récepteur. Comme pour l'Oxyfix®, il peut arriver qu'un système de drains d'infiltration soit utilisé après passage dans le filtre compact X-Perco®. Néanmoins, dans la mesure du possible, les eaux traitées sont rejetées dans le fossé. C'est donc ce dernier cas qui est évalué dans ce travail [35].

6.1.2.4 Le média filtrant

Le média filtrant utilisé dans la station X-Perco® est le xylit. Le xylit, dont le gisement le plus important est situé dans le Lausitz en Allemagne, est une fibre dérivée du bois, carbonée et emprisonnée dans le lignite depuis plusieurs millions d'années. En général, ces fibres sont séparées du lignite et traitées comme un résidu. Néanmoins, au cours des processus biologiques et géochimiques qui se sont déroulés sur plusieurs millions d'années, le xylit a acquis et développé des propriétés exceptionnelles grâce au nombre important d'éléments polarisés qu'il contient. En effet, ceux-ci permettent la fixation des nutriments, des oligo-éléments et des polluants [3], [36].

Les propriétés les plus remarquables du xylit sont :

- une grande capacité d'échanges ioniques engendrant un grand taux d'absorption des phosphates et des nitrates ;
- un rapport C/N élevé compris entre 120 à 200, induisant une décomposition très lente ;
- une forte porosité interne ;
- une surface spécifique très élevée permettant le développement d'un "biofilm" bactérien dense, bien plus rapidement que dans les fibres généralement utilisées ;
- une grande dureté ;
- une grande flexibilité ;
- une rugosité forte par rapport à des exigences mécaniques [3], [37].

6.1.3 La filière traditionnelle avec tranchées d'infiltration

Comme cela a été évoqué au paragraphe 2.2.1, la filière traditionnelle présentée à la Figure 6.3, résulte en l'association d'une fosse septique et d'un dispositif traditionnel d'infiltration dans le sol.

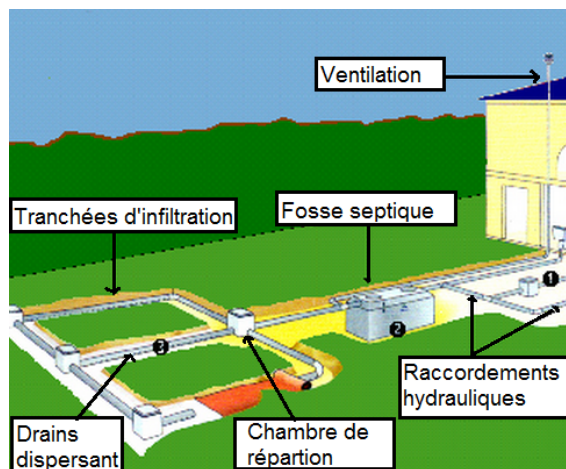


FIGURE 6.3 – Schéma de la filière traditionnelle (modifié d'après [4])

6.1.3.1 Fosse septique

Dans cette section, la fosse septique considérée est construite par Eloy Water et consiste en une cuve en béton jouant un rôle identique à celui du décanteur primaire de l'Oxyfix® et du premier sous-compartiment de l'X-Perco®.

Un pré-filtre est intégré à cette fosse septique, également appelée fosse toutes eaux, dans le but de prévenir le colmatage du système de traitement [18].

6.1.3.2 Système d'infiltration

Après passage dans la fosse toutes eaux, les eaux prétraitées sont amenées vers le système de tranchées d'infiltration via une conduite en PVC. Elles arrivent alors dans une chambre de répartition où le débit est réparti dans quatre conduites en PVC possédant des fentes appelées drains dispersants [18], [19].

Chaque drain dispersant est placé dans une couche de pierres concassées et lavées délimitée par les dimensions de la tranchée. Les eaux prétraitées amenées par les drains dispersants sont alors réparties dans les tranchées gravillonnées ce qui permet une infiltration lente des effluents prétraités sur une grande surface. Une épuration par les micro-organismes du sol naturel, jouant ici le rôle de média filtrant, peut alors avoir lieu, profitant de cette manière du bon pouvoir épuratoire de ce sol [18], [19].

Chapitre 7

Application de la méthodologie ACV à des systèmes d'épuration individuelle

Ce chapitre est consacré à la description des différentes étapes utilisées lors de l'application de la méthodologie ACV à des systèmes d'épuration individuelle à l'aide de la méthode CML2 Baseline 2000 décrite au chapitre 5. La partie relative à l'interprétation des résultats ainsi obtenus constitue le chapitre 8.

7.1 Définition de l'objectif et du champ de l'étude

7.1.1 Objectif de l'étude

Cette étude ACV vise à évaluer les effets quantifiables de différents systèmes d'épuration individuelle sur l'environnement mais aussi de comparer les impacts environnementaux liés à chacun de ceux-ci.

7.1.1.1 Application prévues

L'étude permettra de déterminer les impacts environnementaux associés aux différents systèmes d'épuration individuelle envisagés. Dans le cadre de la démarche d'écoconception, elle permettra également d'évaluer les étapes les plus impactantes afin de pouvoir proposer des solutions en vue de la réduction des fardeaux environnementaux liés aux différents systèmes étudiés.

7.1.1.2 Raisons d'effectuer l'étude

Les systèmes de traitement des eaux réalisent une action en faveur de l'environnement. Il est dès lors important de déterminer les différents impacts environnementaux engendrés tout au long de leur vie et de veiller à minimiser ceux-ci afin que cette action soit la plus favorable possible à l'environnement.

7.1.1.3 Cibles visées

Les cibles visées par cette étude sont les employés de l'entreprise Eloy Water ainsi que toute personne désireuse d'acquérir un système d'épuration individuelle chez Eloy Water.

Dans un cadre élargi où d'autres concepteurs de systèmes d'épuration individuelle réaliseraient ce même genre d'étude, les cibles visées par cette étude seraient bien plus nom-

breuses puisque l'ensemble des producteurs de systèmes d'épuration individuelle, les acheteurs potentiels et les autorités compétentes en matière d'agrément seraient concernés par la présente étude.

7.1.2 Champ de l'étude

Le champ de l'étude s'étend de la fabrication des matériaux des stations d'épuration individuelle à la fin de vie du système en passant par la consommation d'énergie électrique pendant l'utilisation, les émissions dans l'air et dans l'eau mais aussi par le transport.

7.1.2.1 Fonction, unité fonctionnelle et flux de référence

Fonction

La fonction du système est d'épurer les eaux provenant d'établissements situés en régime d'assainissement autonome. Il s'agit des eaux usées ménagères c'est-à-dire des eaux vannes provenant des WC et des eaux grises provenant notamment des cuisines et salles de bain.

Unité fonctionnelle

Dans ce travail, le choix de l'unité fonctionnelle s'est porté vers le traitement d'un litre d'eau usée. La qualité de ce traitement doit être en accord avec les normes de rejet en vigueur dans le pays considéré [25].

Un volume d'eau traitée de $150 \frac{L}{jour}$ par équivalent-habitant est considérée dans cette étude car elle constitue la base du dimensionnement des différentes stations d'épuration individuelle mise au point par la société Eloy Water. Cette valeur diffère légèrement de la valeur de $180 \frac{L}{jour}$ considérée par la notion d'équivalent habitant en Belgique [38], [39], [40].

Les systèmes envisagés dans cette étude sont tous prévus pour traiter les rejets de 5 EH et la durée de vie supposée de ceux-ci est de 25 ans. Cette durée correspond d'ailleurs à la garantie donnée par Eloy Water sur le filtre compact X-Perco®.

En considérant qu'il y a approximativement 365,25 jours par an, la quantité d'eau totale traitée au cours de la vie des systèmes est donc de :

$$365,25 * 25 * 150 = 135937,5L$$

7.1.2.2 Frontières des systèmes

Pour chacune des trois unités d'épuration individuelle considérées, un certain nombre d'étapes est pris compte. Celles-ci sont sensiblement les mêmes mais, vu les caractéristiques de chacune, il existe quelques différences.

7.1.2.2.1 Micro-station Oxyfix®

Pour la micro-station Oxyfix® dont le fonctionnement est décrit au chapitre 6, diverses étapes, reprises à la Figure 7.1, sont prises en compte :

- la fabrication et la mise en forme des différents composants des systèmes d'épuration individuelle ;

- le transport de ces différents constituants depuis les fournisseurs jusqu'à chez Eloy Water ;
- la consommation d'énergie nécessaire à la fabrication de la cuve et à l'assemblage des différents parties ;
- le transport des systèmes d'épuration individuelle jusqu'à leur lieu de mise en service ;
- l'installation ;
- l'électricité consommée par les systèmes d'épuration individuelle au cours de leur vie ;
- la maintenance ;
- les émissions dans l'air issues de la ventilation ;
- les émissions dans l'eau ;
- la fin de vie des boues d'épuration ;
- la fin de vie des autres composants des systèmes d'épuration individuelle.

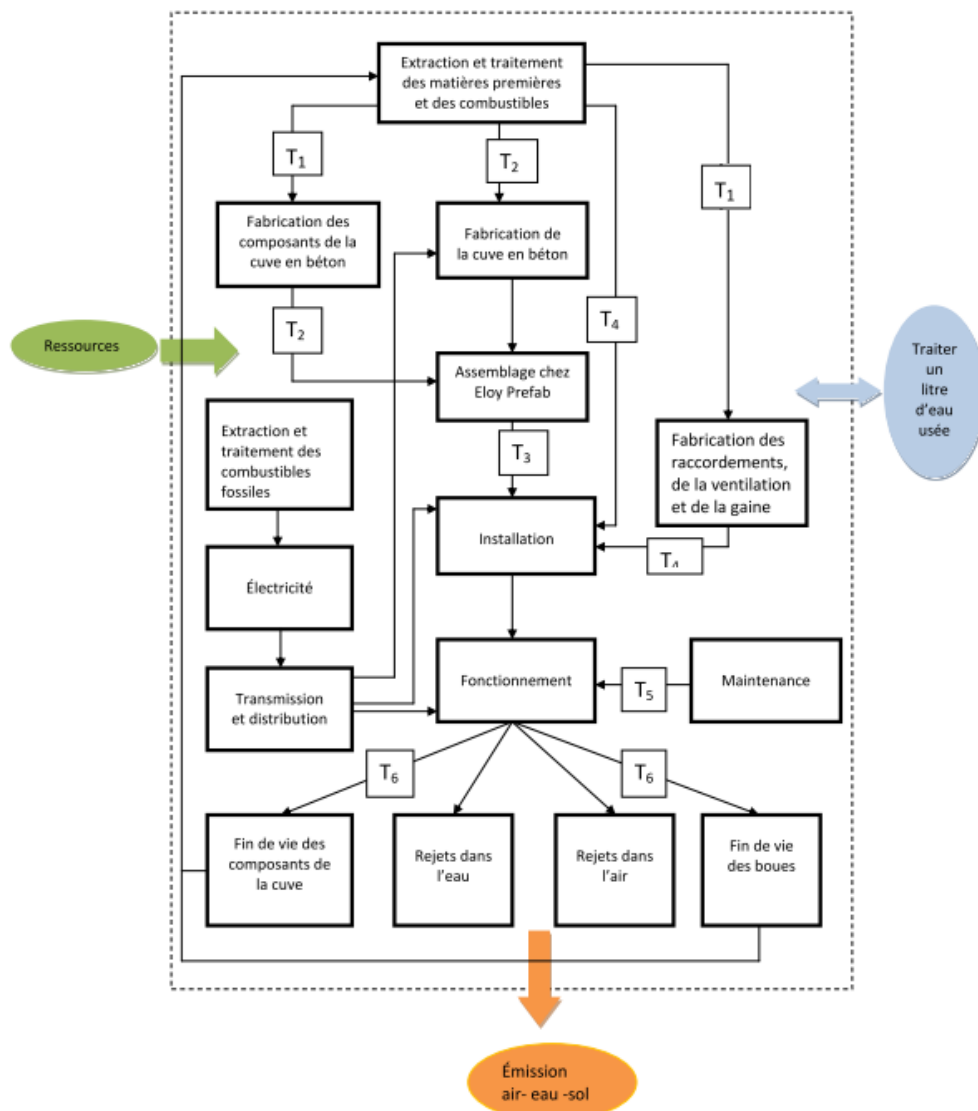


FIGURE 7.1 – Système Oxyfix®

Sur ce schéma les T_i correspondent aux différents transports :

- T_1 correspond au transport des matières premières vers le lieu de fabrication des composants ;
- T_2 à celui des composants vers Eloy Préfab ;

- T_3 à celui des systèmes jusqu'à leur lieu d'utilisation ;
- T_4 à celui des pièces nécessaires à l'installation
- T_5 à celui des pièces nécessaires à la maintenance. Pour ne pas encombrer ce graphique, la fabrication et le transport des pièces de remplacement ne sont pas représentés sur ce schéma.
- T_6 à celui des pièces en fin de vie allant en décharge ou au recyclage et au transport des boues vers leur lieu de valorisation.

7.1.2.2.2 Filtre compact X-Perco®

Pour le filtre compact X-Perco®, les mêmes étapes que pour l'Oxyfix®, reprises à la Figure 7.2, sont considérées à l'exception de l'assemblage de la cuve. Celui-ci peut être négligé au vu de la consommation nécessaire à la fabrication de la cuve par rotomoulage [41].

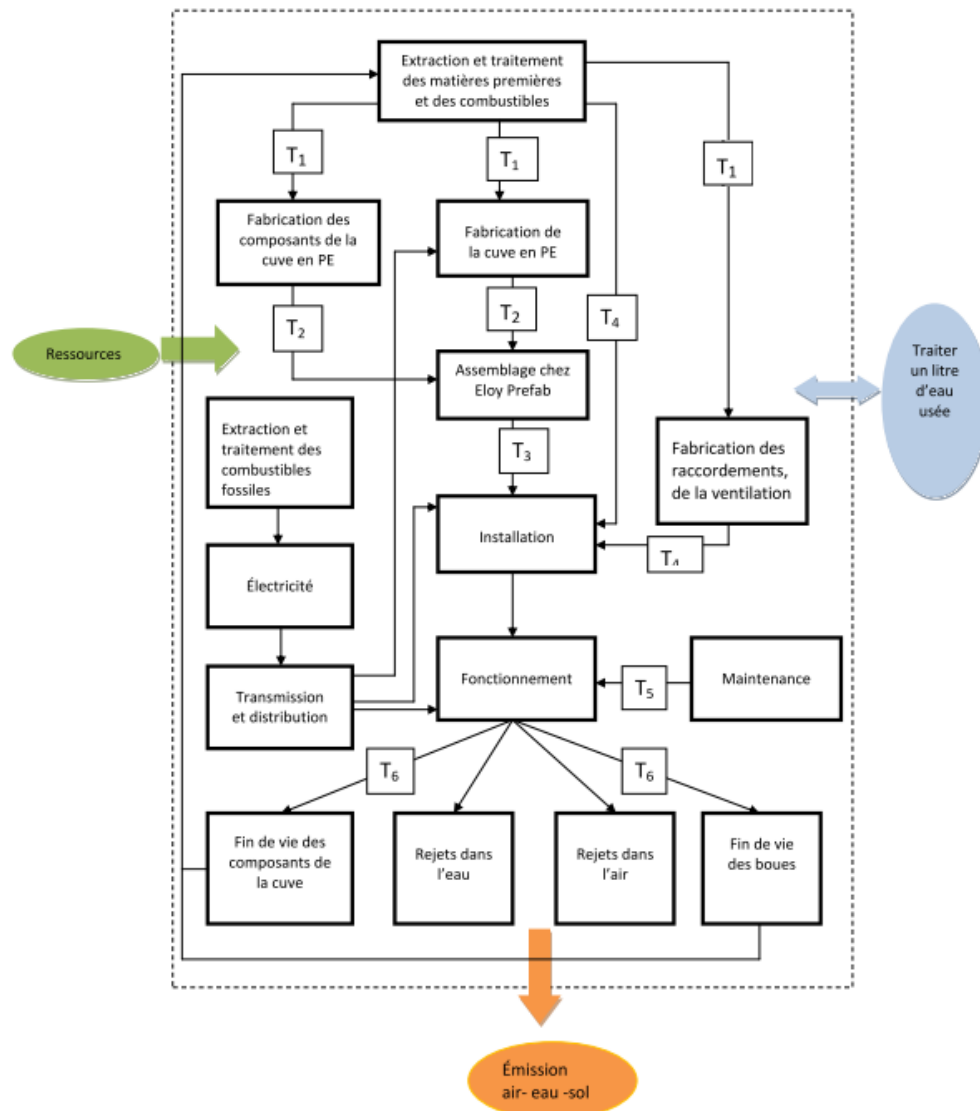


FIGURE 7.2 – Système X-Perco®⁴

4. Sur ce schéma les T_i correspondent aux différents transports. Ceux-ci sont les mêmes que ceux envisagés dans le cas de l'Oxyfix®.

7.1.2.2.3 Filière traditionnelle

Pour la filière traditionnelle, la fosse septique est produite par Eloy alors que le système de tranchées d'infiltration est réalisé à partir de produits locaux. Un assemblage supplémentaire concernant la réalisation des tranchées d'infiltration nommé "Tranchées d'infiltration" est donc considéré ici.

La filière traditionnelle ne demande ni apport d'énergie au cours de son utilisation ni maintenance. Ces étapes ne sont donc pas prises en compte comme le montre la Figure 7.3

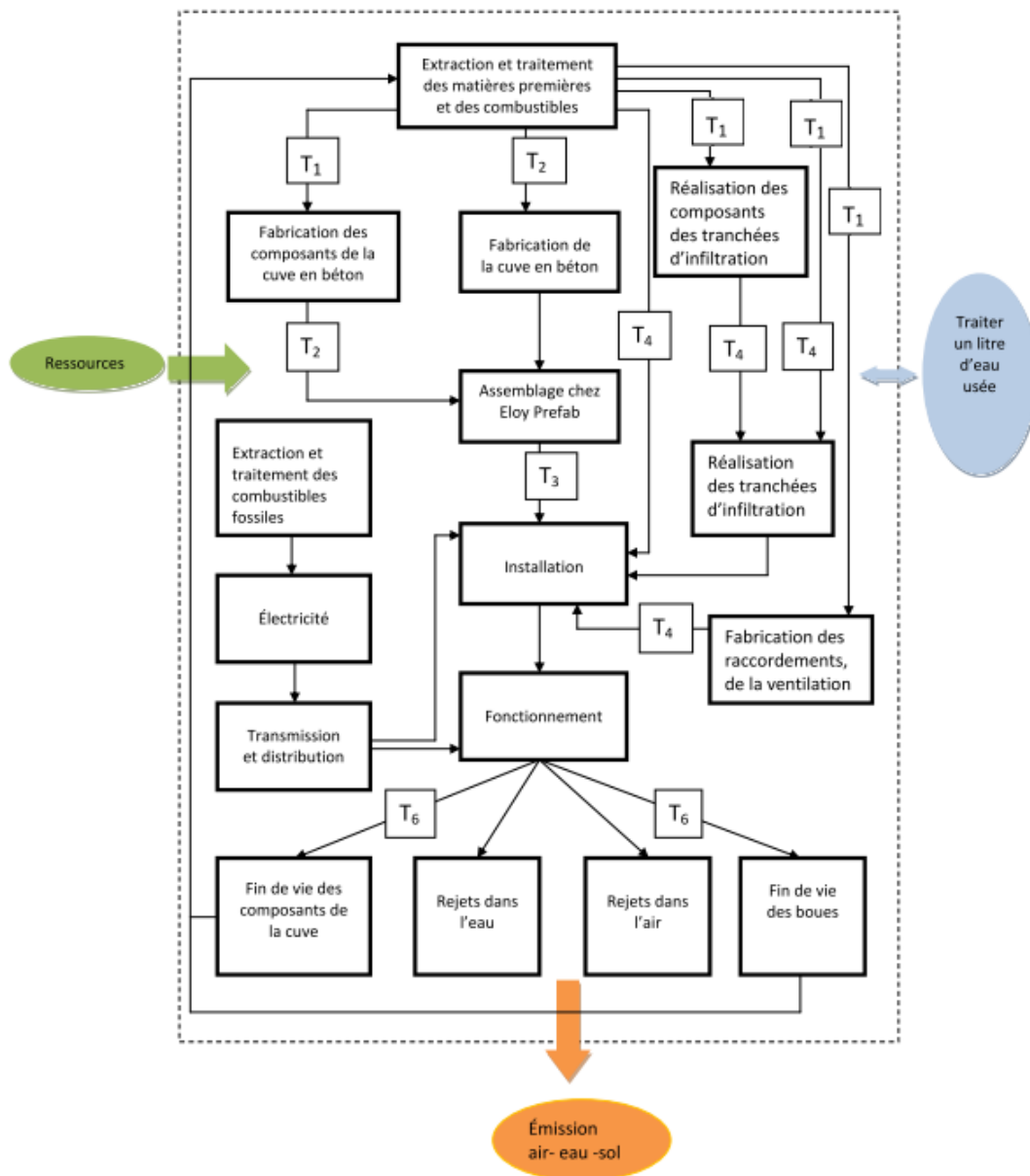


FIGURE 7.3 – Système Filière Traditionnelle⁵

5. Sur ce schéma les T_i correspondent aux différents transports. Ceux-ci sont les mêmes que ceux envisagés dans le cas de l'Oxyfix® et de l'X-Perco®.

7.1.2.3 Exigences relatives à la qualité des données

Les données utilisées sont représentatives des systèmes étudiés en 2014 pour les informations venant des producteurs, et de moins de 5 ans pour les données provenant d'articles de la littérature, de documents officiels ou de bases de données.

7.2 Analyse de l'inventaire des données

7.2.1 Mode opératoire de recueil des données

Lors de cette étude, de nombreuses sources de données ont été utilisées.

Il y a bien évidemment les informations fournies par Eloy Water :

- sur les matériaux utilisés lors de la fabrication de l'X-Perco®, de l'Oxyfix® et de la fosse septique provenant des nomenclatures⁶ de ces produits ;
- via les guides de l'utilisateur de l'Oxyfix® et de X-Perco® [2], [3] ;
- via des discussions orales ou des échanges de mails avec les responsables des différents services d'Eloy.

Comme toutes les informations nécessaires n'ont pu être obtenues de cette façon, d'autres sources ont été utiles. Il s'agit :

- d'informations reçues de la part des différents fournisseurs d'Eloy Water ;
- d'informations obtenues sur internet ;
- de données trouvées dans divers ouvrages de la littérature.

7.2.2 Description qualitative et quantitative des processus élémentaires

7.2.2.1 Fabrication et mise en forme des différents composants

Les nomenclatures de l'Oxyfix®, de l'X-Perco® et de la fosse septique de la filière traditionnelle sont reprises respectivement aux Annexes A, B et C. À ces nomenclatures, le poids des différentes pièces ramené à l'unité fonctionnelle ainsi que les matières utilisées et les techniques de mise à forme employées ont été ajoutés.

7.2.2.1.1 Particularités de l'Oxyfix®

Dans les nomenclatures, les consommations électriques liées aux découpes et pliages de différentes tôles d'acier nécessaires à la réalisation des cloisons et des cônes en Inox sont présentes. Ces consommations sont calculées à partir des puissances consommées et du temps nécessaire à chaque découpe ou pliage. Elles se trouvent à l'Annexe A également.

Des assemblages reprenant les différents sous-composants de pièces comme le surpresseur Secoh, le diffuseur "fines-bulles" et la pochette ont été réalisés dans SimaPro. La nomenclature de ces différents sous-composants est également reprise à l'Annexe A. Le transport des différents sous-composants vers leurs lieux d'assemblage mécanique est également pris en compte à ce stade. Cet assemblage mécanique est, par contre, négligé suite aux informations reçues des fournisseurs [42], [43].

6. La société Eloy Water établit une liste de tous les composants nécessaires à la fabrication de chacun de ses produits ainsi que les quantités nécessaires de chacun de ceux-ci.

À la nomenclature de l'Oxyfix®, différents composants sont ajoutés :

- une palette : celle-ci est nécessaire pour permettre le transport de la station. Elle n'est pas comprise dans la nomenclature car elle est cautionnée. Néanmoins, seulement 55,73% des palettes sont récupérées [35]. Il y a donc besoin d'une palette dans 46,27 % des cas ;
- des trappillons et des rehausses : ils sont généralement fournis avec la cuve. Ils sont pris en compte de manière à pouvoir comparer les systèmes Oxyfix® et X-Perco® car, pour l'X-Perco®, les rehausses et les trappillons font partie intégrante de la cuve rotomoulée.

Le tableau 7.1 résume les flux de référence des matériaux utilisés pour la fabrication d'une Oxyfix® et des processus de mise à forme de ces matériaux.

Tableau 7.1 – Flux de référence des matériaux utilisés pour la fabrication d'une Oxyfix® et des processus de mise à forme de ces matériaux - 1L d'eau traitée

Produit	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Sable	$1,307.10^{-4}$	kg	Sand, at mine/CH U
Acier Inoxydable	$1,185.10^{-5}$	kg	Chromium steel 18/8, at plant/RER U
Calcaire	$1,307^{-4}$	kg	Limestone, at mine/CH U
Calcitec	$2,904^{-5}$	kg	Limestone, crushed, for mill/CH U
Ciment portland	$6,777.10^{-5}$	kg	Portland cement, strength class Z 52.5, at plant/CH U
Laiton	$3,883.10^{-8}$	kg	Brass, at plant/CH U
Résine époxy	$8,665.10^{-7}$	kg	Epoxy resin, liquid, at plant/RER U
Filler Spéciaux	$7,093.10^{-7}$	kg	Acrylic filler, at plant/RER U
PP	$5,621.10^{-6}$	kg	Polypropylene, granulate, at plant/RER U
PVC	$2,135.10^{-6}$	kg	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
Mix énergétique belge	$2,741.10^{-6}$	kWh	Mix énergétique belge
Polyamide 6,6	$4,381.10^{-10}$	kg	Polyamide 6.6 fibres (PA 6.6), from adipic acid and hexamethylene diamine (HMDA), prod. mix, EU-27 S
LDPE	$2,891.10^{-10}$	kg	Polyethylene, LDPE, granulate, at plant/RER U
Papier	$1,486.10^{-8}$	kg	Paper, recycling, with deinking, at plant/RER U
Acier renforcé	$6,454.10^{-6}$	kg	Reinforcing steel, at plant/RER U
EPDM	$1,051.10^{-7}$	kg	Synthetic rubber, at plant/RER U
Butadiène	$2,527.10^{-8}$	kg	Butadiene, at plant/RER U
Acrylonitrile	$1,245.10^{-8}$	kg	Acrylonitrile from Sohio process, at plant/RER U
Polystyrène	$1,314.10^{-9}$	kg	Polystyrene, extruded (XPS), at plant/RER U
HDPE	$2,420.10^{-6}$	kg	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Polycarboxylates	$5,633.10^{-7}$	kg	Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER U
Béton	$4,12.10^{-9}$	kg	Concrete, normal, at plant/CH U
Polyuréthane	$4,527.10^{-7}$	kg	Polyurethane, rigid foam, at plant/RER U
Cuivre	$1,78.10^{-7}$	kg	Copper, secondary, at refinery/RER U
Câble	$7,301.10^{-8}$	kg	Cable, three-conductor cable, at plant/GLO U
Néodyme	$5,939.10^{-8}$	kg	Neodymium oxide, at plant/CN U
Fibres de verre	$5,366.10^{-8}$	kg	Glass fibre, at plant/RER U
Noir de carbone	$1,131.10^{-9}$	kg	Carbon black, at plant/GLO U
Bisphénol	$1,205.10^{-9}$	kg	Bisphenol A, powder, at plant/RER U
Palette	$5,841.10^{-6}$	p	EUR-flat pallet/RER U
Processus	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Fraisage des petites pièces en acier inoxydable	$2,154.10^{-7}$	kg	Milling, chromium steel, small parts/RER U
Chariotage de pièces en laiton	$3,883.10^{-8}$	kg	Turning, brass, CNC, average/RER U
Injection de pièces en plastique	$1,786.10^{-6}$	kg	Injection moulding/RER U
Extrusion de pièces en plastique	$3,281.10^{-6}$	kg	Extrusion, plastic pipes/RER U
Moussage	$1,314.10^{-9}$	kg	Foaming, expanding/RER U
Perçage de pièce en acier inoxydable	$3,504.10^{-10}$	kg	Drilling, conventional, chromium steel/RER U
Fabrication de tôles en acier inoxydable	$9,472.10^{-6}$	kg	Sheet rolling, chromium steel/RER U
Soudure	$1,477.10^{-6}$	m	Welding, gas, steel/RER U

7.2.2.1.2 Particularités de l'X-Perco®

Dans la nomenclature de l'X-Perco® à l'Annexe B, les consommations électriques liées aux découpes et pliages de tôles d'acier nécessaires à la réalisation des augets sont présentes. Elles sont prises en compte de la même manière que pour l'Oxyfix®.

L'assemblage de la pochette est également utilisé ici. Un assemblage est réalisé pour le pré-filtre. Comme pour le surpresseur et le diffuseur "fines-bulles", le transport des différents sous-composants est pris en compte dans celui-ci alors que l'assemblage mécanique est négligé [44].

Les rehausses et trappillons faisant partie intégrante de la cuve réalisée par rotomoulage, il n'est plus nécessaire de les ajouter. La palette est quant à elle déjà reprise dans la nomenclature de l'X-Perco® [3].

Le xylit

Comme cela a été vu au point 6.1.2.4, le filtre compact X-Perco® utilise le xylit comme média filtrant. Comme aucune base de données ne correspond au xylit dans SimaPro7.3.3, la base de données "lignite" est utilisée afin de réaliser des allocations permettant d'évaluer les impacts environnementaux liés à l'extraction du xylit. Trois types d'allocations sont donc considérés : l'allocation massique, l'allocation économique et l'allocation énergétique. Les hypothèses réalisées lors du calcul de ces allocations ainsi que le calcul permettant d'obtenir la valeur des coefficients à appliquer se trouvent à l'Annexe B. Dans le cas de référence, l'allocation économique est prise en compte. Les allocations massique et énergétique serviront pour la réalisation d'analyses de sensibilité au chapitre 9.

Le tableau 7.2 résume les flux de référence des matériaux utilisés pour la fabrication d'un X-Perco® et des processus de mise à forme de ces matériaux.

Tableau 7.2 – Flux de référence des matériaux utilisés pour la fabrication d'un X-Perco® et des processus de mise à forme de ces matériaux - 1L d'eau traitée

Produit	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Acier Inoxydable	$4,067.10^{-6}$	kg	Chromium steel 18/8, at plant/RER U
PP	$3,677.10^{-7}$	kg	Polypropylene, granulate, at plant/RER U
PVC	$2,616.10^{-6}$	kg	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
Mix énergétique belge	$2,692.10^{-6}$	kWh	Mix énergétique belge
LDPE	$1,022.10^{-8}$	kg	Polyethylene, LDPE, granulate, at plant/RER U
Polystyrène	$1,314.10^{-9}$	kg	Polystyrene, extruded (XPS), at plant/RER U
HDPE	$3,857.10^{-5}$	kg	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Palette	$5,841.10^{-6}$	p	EUR-flat pallet/RER U
Xylit	$2,324.10^{-4}$	kg	Lignite, at mine/RER U
Processus	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Fraisage des petites pièces en acier inoxydable	$6,235.10^{-7}$	kg	Milling, chromium steel, small parts/RER U
Fraisage des grandes pièces en acier inoxydable	$1,099.10^{-6}$	kg	Milling, chromium steel, large parts/RER U
Injection de pièces en plastique	$1,714.10^{-6}$	kg	Injection moulding/RER U
Extrusion de pièces en plastique	$3,454.10^{-6}$	kg	Extrusion, plastic pipes/RER U
Extrusion de pièces en plastique	$1,022.10^{-8}$	kg	Extrusion, plastic film/RER U
Moussage	$1,314.10^{-9}$	kg	Foaming, expanding/RER U
Fabrication de tôles en acier inoxydable	$2,344.10^{-6}$	kg	Sheet rolling, chromium steel/RER U
Extrusion-soufflage de la cuve en PE	$3,986.10^{-5}$	kg	Stretch blow moulding/RER U

7.2.2.1.3 Particularités de la filière traditionnelle

Pour la filière traditionnelle, les constituants nécessaires à la réalisation des tranchées d'infiltration sont repris dans l'assemblage dénommé "Tranchées d'infiltration" qui est décrit plus amplement au point 7.2.2.2. La nomenclature présentée à l'Annexe C concerne donc uniquement la fosse septique.

Différents composants sont ajoutés à ceux nécessaires à la réalisation de cette fosse septique :

- un pré-filtre ;
- une palette pour permettre le transport de la station. Celle-ci est prise en compte de la même façon que pour l'Oxyfix® ;
- une pochette et des étiquettes ;
- des trappillons et des rehausses. Ils sont pris en compte de manière à pouvoir faire la comparaison entre la fosse septique et l'X-Perco®.

Le tableau 7.3 résume les flux de référence des matériaux utilisés pour la fabrication d'une fosse septique et les processus de mise à forme de ceux-ci.

Tableau 7.3 – Flux de référence des matériaux utilisés pour la fabrication d'une fosse septique et des processus de mise à forme de ceux-ci - 1L d'eau traitée

Produit	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Sable	$1,187.10^{-4}$	kg	Sand, at mine/CH U
Acier Inoxydable	$1,922.10^{-7}$	kg	Chromium steel 18/8, at plant/RER U
Calcaire	$1,187^{-4}$	kg	Limestone, at mine/CH U
Calcitec	$2,639^{-5}$	kg	Limestone, crushed, for mill/CH U
Ciment portland	$6,157.10^{-5}$	kg	Portland cement, strength class Z 52.5, at plant/CH U
Résine époxy	$3,365.10^{-7}$	kg	Epoxy resin, liquid, at plant/RER U
Filler Spéciaux	$2,753.10^{-7}$	kg	Acrylic filler, at plant/RER U
PP	$4,848.10^{-8}$	kg	Polypropylene, granulate, at plant/RER U
PVC	$6,915.10^{-7}$	kg	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
Polyamide 6,6	$3,504.10^{-10}$	kg	Polyamide 6.6 fibres (PA 6.6), from adipic acid and hexamethylene diamine (HMDA), prod. mix, EU-27 S
LDPE	$1,022.10^{-8}$	kg	Polyethylene, LDPE, granulate, at plant/RER U
Acier renforcé	$5,846.10^{-6}$	kg	Reinforcing steel, at plant/RER U
HDPE	$4,082.10^{-6}$	kg	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Polycarboxylates	$4,565.10^{-7}$	kg	Polycarboxylates, 40% active substance, at plant/RER U
EPDM	$4,384.10^{-8}$	kg	Synthetic rubber, at plant/RER U
Béton	$9,345.10^{-6}$	kg	Concrete, normal, at plant/CH U
Palette	$5,841.10^{-6}$	p	EUR-flat pallet/RER U
Processus	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Injection de pièces en plastique	$4,220.10^{-6}$	kg	Injection moulding/RER U
Extrusion de pièces en plastique	$6,020.10^{-7}$	kg	Extrusion, plastic pipes/RER U
Extrusion de pièces en plastique	$1,022.10^{-8}$	kg	Extrusion, plastic film/RER U
Perçage de pièces en acier inoxydable	$3,504.10^{-10}$	kg	Drilling, conventional, chromium steel/RER U
Chariotage de pièces en acier inoxydable	$1,922.10^{-8}$	kg	Turning, chromium steel, conventional, average/RER U

7.2.2.2 Tranchées d'infiltration

Les tranchées d'infiltration constituent la deuxième partie de la filière traditionnelle après la fosse septique. Pour les réaliser, il faut d'abord creuser les tranchées en excavant les terres. En fonction de la texture du sol, une superficie différente est nécessaire afin de

drainer les eaux venant d'une fosse septique d'une capacité de traitement de 5 EH. Une valeur moyenne de 40 m^2 est considérée dans cette étude [45]. La profondeur des tranchées est de 80 cm par rapport au niveau du sol [18].

La tranchée est remblayée par trois couches successives. Ainsi de haut en bas, on retrouve une première couche de 20 cm de terre puis une deuxième de 10 cm de gravier incluant le drain dispersant et enfin une troisième de 50 cm de gravier [18].

Une chambre de répartition de débit est nécessaire afin de permettre la répartition uniforme du débit dans chacun des quatre drains dispersants envisagés. Celle-ci est également prise en compte dans les frontières du système [18].

Les drains sont des tuyaux en PVC de 100 mm de diamètre possédant des orifices. Ces orifices sont soit des trous de 8 mm de diamètre soit des fentes de 5 mm de large, sur 1/3 de la circonférence [18].

Enfin, un géo-textile est utilisé comme couche anti-contaminante supérieure. Il est légèrement plus grand que la surface des drains. C'est pourquoi une surface de 50 m^2 est considérée [18].

Le transport sur une distance de 50 km des différents éléments nécessaires à la mise en place de ces tranchées d'infiltration est également inclus [18].

Les calculs et hypothèses réalisés pour les tranchées d'infiltration sont exposés à l'Annexe D. Un résumé des différents flux considérés est repris dans le Tableau 7.4 :

Tableau 7.4 – Résumé des flux de référence pour les tranchées d'infiltration - 1L d'eau traitée

Produit	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Gravier	$4,948.10^{-3}$	kg	Gravel, crushed, at mine/CH U
PVC	$1,953.10^{-5}$	kg	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
PP	$8,761.10^{-7}$	kg	Polypropylene, granulate, at plant/RER U
HDPE	$3,796.10^{-5}$	kg	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Processus	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Excavation	$4,673.10^{-5}$	m^3	Excavation, hydraulic digger/RER U
Transport	$2,486.10^{-4}$	tkm	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Extrusion	$1,953.10^{-5}$	tkm	Extrusion, plastic pipes/RER U
Mise à forme du feutre	$8,761.10^{-7}$	kg	Foaming, expanding/RER U
Injection	$3,796.10^{-5}$	kg	Injection moulding/RER U

7.2.2.3 Transport des différents composants

La contribution des transports des composants à l'impact environnemental global est estimée grâce aux données fournies par Eloy. Néanmoins, le fournisseur indiqué dans les nomenclatures (Annexes A, B et C) n'est pas toujours producteur. Dans ce cas, le trajet entre le producteur et le fournisseur est déterminé à l'aide des informations des fournisseurs.

Les moyens de transport routier utilisés sont donnés par :

- les magasiniers d'Eloy pour le transport du fournisseur jusqu'Eloy préfab ;
- des informations des fournisseurs d'Eloy ⁷

Les camions sont supposés répondre à la norme EURO 4 par défaut. Les distances sont calculées à l'aide du site [viamichelin](http://viamichelin.com) [46].

Pour ce qui est du transport maritime, le bateau transocéanique est considéré. Les distances maritimes ont été calculées à l'aide du site seadistances.com [47].

Il existe également un certain nombre de cas particuliers. Ceux-ci sont décrits aux Annexes E et F. Dans ces annexes, les valeurs en tkm⁸ des différents transports sont également exposées. Des résumés des transports des composants pour l'Oxyfix®, l'X-Perco® et la fosse septique sont repris aux tableaux 7.5, 7.6 et 7.7.

Tableau 7.5 – Résumé des flux de référence liés au transport des composants de
l'Oxyfix® - 1L d'eau traitée

Type de transport	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle (tkm)	Base de données dans SimaPro7.3.3
Camionnette de moins de 3,5 tonnes	$2,566.10^{-9}$	Transport, van <3.5t/RER U
Transport en camion de 3,5-7,5 tonnes	$2,506.10^{-6}$	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO4/RER U
Transport en camion de 7,5-16 tonnes	$1,695.10^{-6}$	Transport, lorry 7.5-16t, EURO4/RER U
Transport en camion de 16-32 tonnes	$2,262.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Bateau transocéanique	$2,133.10^{-6}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U

Tableau 7.6 – Résumé des flux de référence liés au transport des composants de
l'X-Perco® - 1L d'eau traitée

Type de transport	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle (tkm)	Base de données dans SimaPro7.3.3
Camionnette de moins de 3,5 tonnes	$1,585.10^{-8}$	Transport, van <3.5t/RER U
Transport en camion de 3,5-7,5 tonnes	$4,076.10^{-7}$	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO4/RER U
Transport en camion de 7,5-16 tonnes	$4,241.10^{-6}$	Transport, lorry 7.5-16t, EURO4/RER U
Transport en camion de 16-32 tonnes	$3,641.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Bateau transocéanique	$2,818.10^{-6}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U

Tableau 7.7 – Résumé des flux de référence liés au transport des composants de la fosse
septique - 1L d'eau traitée

Type de transport	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle (tkm)	Base de données dans SimaPro7.3.3
Camionnette de moins de 3,5 tonnes	$9,812.10^{-12}$	Transport, van <3.5t/RER U
Transport en camion de 3,5-7,5 tonnes	$9,523.10^{-8}$	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO4/RER U
Transport en camion de 7,5-16 tonnes	$1,014.10^{-5}$	Transport, lorry 7.5-16t, EURO4/RER U
Transport en camion de 16-32 tonnes	$8,670.10^{-6}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Bateau transocéanique	$8,761.10^{-9}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U

7. A défaut de réponse de ces fournisseurs, le même type de transport que celui arrivant chez Eloy est considéré.

8. Un tkm correspond au transport d'une tonne sur un kilomètre. Cette unité, choisie comme référence dans la base de données SimaPro7.3.3, fournit les émissions en fonction de ces tkm.

7.2.2.4 Énergie consommée pour la fabrication de la cuve

7.2.2.4.1 Micro-Station Oxyfix®

Lors de la fabrication de la micro-station Oxyfix®, un certain nombre d'étapes consomment de l'énergie électrique.

Il y a d'abord les étapes liées à la fabrication de la cuve en béton :

- la fabrication du béton ;
- le transport interne du béton par pompage ;
- le coulage de la cuve ;
- le collage du fond et du couvercle de la cuve.

D'autres étapes doivent également être prises en compte telles que :

- le convoyage du moule
- le convoyage de la pièce en béton ;
- la fabrication des Oxybees® ;
- l'utilisation d'élévateurs et de clarks ;
- les diverses consommations liées au montage.

Il faut donc tenir compte de chacune de ces étapes afin de connaître la consommation énergétique globale liée à la fabrication d'une cuve [41].

Vu la difficulté pour obtenir des informations sur chaque étape prise individuellement, il a été décidé de faire une allocation en fonction du volume utile de la cuve. Au départ des données de production d'Eloy Water et de la consommation globale de l'usine pour l'année 2013, il est possible de trouver la consommation nécessaire à la fabrication d'une cuve de volume utile de 6000 L ce qui correspond à la cuve d'une station Oxyfix® 5 EH. Les calculs et hypothèses réalisés sont exposés à l'Annexe H.

L'énergie consommée pour la fabrication de la cuve en béton est uniquement de l'électricité. Elle représente $4,448.10^{-6}$ kWh lorsqu'elle est ramenée à l'unité fonctionnelle et est produite à 75,6% à l'aide des panneaux solaires installés chez Eloy Préfab. L'autre partie est produite à partir du mix énergétique belge calculé sur base des données de l'IEA [48].

7.2.2.4.2 Filtre compact X-Perco®

Comme expliqué au point 7.1.2.2.2, le montage mécanique de l'X-Perco® est négligé devant la mise à forme de la cuve. Cette cuve est réalisée par rotomoulage. Cependant, ce processus n'est pas développé dans SimaPro7.3.3 et aucune donnée valable n'a pu être obtenue du fournisseur [49]. Cependant, selon Tcharkhtchi [50], "les récents développements ont conduit les concepteurs à considérer cette technologie (ndlr : le rotomoulage) comme une alternative à l'extrusion-soufflage". La cuve est donc considérée comme réalisée par extrusion-soufflage. Néanmoins, il a été montré que le rotomoulage nécessite une consommation d'énergie moindre ainsi qu'une manutention du moule, une main d'oeuvre et une surface au sol occupée plus faibles que l'extrusion-soufflage. De surcroît, toute perte de matière est évitée car le dosage de la matière se fait par gravité et le remplissage est réalisé en moule fermé [51]. Vu ces considérations, il semblerait que les impacts liés à la

mise à forme de la cuve soient surestimés en utilisant l'extrusion-soufflage à la place du rotomoulage. Une analyse de sensibilité sera effectuée afin de voir quels seraient les effets sur les impacts si on considérait une consommation de $3,19 \frac{MJ}{kg}$ de gaz à la place de prendre l'extrusion-soufflage comme technique de mise à forme. Cette valeur de $3,19 \frac{MJ}{kg}$ est issue de la littérature [52].

7.2.2.4.3 Filière traditionnelle

Pour la filière traditionnelle, le cas est similaire à celui de l'Oxyfix®. La différence est qu'il ne s'agit plus d'une cuve possédant un volume utile de 6000 L mais bien un de 4500 L. Le calcul de la consommation électrique liée à la production de cette fosse septique est réalisé à l'Annexe H.

7.2.2.5 Transport des systèmes

7.2.2.5.1 Oxyfix®

Le transport de l'Oxyfix® est réalisé vers un nombre relativement important de destinations réparties sur les trois principaux marchés de la société Eloy Water :

- le marché BeNeDeLux ;
- le marché export vers la France (EWFR) ;
- le marché export qui comprend les filiales exports, les partenaires et les autres [53], [54].

Dans le cadre de ce travail, cinq destinations sont prises en compte à savoir l'Australie, la Belgique, la France, la Nouvelle-Calédonie et la Nouvelle-Zélande. Le poids donné au transport vers chaque destination est calculé à partir des pourcentages des ventes en 2013 et en janvier 2014 dans chacun de ces pays⁹ de manière à obtenir une moyenne pondérée des impacts dus aux transports en fonction du trajet moyen parcouru [54]. Ces poids pondérés sont repris dans le Tableau 7.8. Les calculs réalisés pour obtenir ces résultats sont disponibles à l'Annexe I.

Tableau 7.8 – Pourcentages des ventes vers les différentes destinations

Destination	Pourcentage de ventes (%)
Australie	0,20
Belgique	22,98
France	71,06
Nouvelle-Calédonie	5,76
Nouvelle-Zélande	0 ¹⁰

Pour l'Australie, la Nouvelle-Calédonie et la Nouvelle-Zélande, c'est-à-dire pour la filière export, l'Oxyfix® est transportée en camion jusqu'au port d'Anvers puis en bateau jusqu'au port récepteur. Ensuite, un transport jusqu'au stock délocalisé est pris en compte

9. La Nouvelle-Calédonie n'est pas un pays mais cette dénomination est utilisée dans ce rapport pour plus de facilité.

10. La Nouvelle-Zélande est une toute nouvelle destination et donc son poids est de 0 actuellement mais son cas a quand même été envisagé car elle constitue un marché d'avenir.

avant le dépôt ou l'enlèvement pour amener la station chez le particulier [54]. Pour le transport en bateau, le scénario le plus défavorable est toujours considéré entre les différents trajets proposés par le site seadistance [47]. Le tableau 7.9 résume les tkm utilisées pour le transport d'une Oxyfix® vers les différentes destinations. Les calculs et hypothèses réalisés sont quant à eux développés à l'Annexe I.

Tableau 7.9 – Résumé des flux de référence liés au transport d'une Oxyfix® vers le marché export - 1L d'eau traitée

Trajet	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle (tkm)	Base de données dans SimaPro7.3.3
D'Eloy Prefab au port d'Anvers	$7,343.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Du port récepteur au stock délocalisé	$8,440.10^{-6}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Du stock délocalisé au particulier	$4,195.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Du port d'Anvers au port récepteur en Australie	$1,082.10^{-2}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Du port d'Anvers au port récepteur en Nouvelle-Calédonie	$1,073.10^{-2}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Du port d'Anvers au port récepteur en Nouvelle-Zélande	$1,067.10^{-2}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U

Pour la Belgique et la France, deux possibilités existent :

- l'Oxyfix® est enlevée ou livrée au départ d'Eloy ;
- l'Oxyfix® est livrée jusqu'à un stock délocalisé avant d'être enlevée ou livrée [54].

Ici encore, le poids attribué à chaque scénario est calculé en fonction des ventes. Les valeurs sont présentées dans le Tableau 7.10.

Tableau 7.10 – Répartition des poids des Oxyfix® enlevées ou livrées et passant par la stock délocalisé

	Pourcentage enlevé ou livré au départ d'Eloy Water (%)	Pourcentage passant par le stock délocalisé (%)
France	75,5	24,5
Belgique	95,4	4,6

Les calculs et hypothèses réalisés pour déterminer les tkm nécessaires pour le transport d'Oxyfix® vers la Belgique et la France se trouvent à l'Annexe I, un résumé des résultats obtenus est présenté dans le Tableau 7.11.

Tableau 7.11 – Résumé des flux de référence liés au transport d'une Oxyfix® vers la Belgique ou la France - 1L d'eau traitée

Trajet	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle (tkm)	Base de données dans SimaPro7.3.3
Enlèvement ou livraison en Belgique à partir d'Eloy Préfab	$4,195.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Transport jusqu'au stock délocalisé en Belgique	$3,317.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Enlèvement ou livraison en Belgique à partir du stock délocalisé	$4,195.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Enlèvement ou livraison en France à partir d'Eloy Préfab	$2,420.10^{-4}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Transport jusqu'au stock délocalisé en France	$3,162.10^{-4}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Enlèvement ou livraison en France à partir du stock délocalisé	$4,195.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U

7.2.2.5.2 X-Perco®

Technologie récente, l'X-Perco® est essentiellement vendue en France pour le moment. Néanmoins, il s'agit d'une technologie destinée à être vendue sur les mêmes marchés que l'Oxyfix® [54]. La répartition des "poids" accordés à chaque scénario de transport est donc la même que celle présentée aux tableaux 7.8 et I.01 pour l'Oxyfix®. La comparaison des différents systèmes est rendue possible par l'utilisation de cette même répartition des poids pour chacun des systèmes.

Le poids de l'X-Perco® étant différent de celui de l'Oxyfix®, le nombre de tkm est lui aussi différent pour une même distance considérée. Les valeurs des tableaux 7.9 et 7.11 ont donc été modifiées pour obtenir celles des tableaux 7.12 et 7.13.

Tableau 7.12 – Résumé des flux de référence liés au transport d'un X-Perco® vers le marché export - 1L d'eau traitée

Trajet	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle (tkm)	Base de données dans SimaPro7.3.3
D'Eloy Prefab au port d'Anvers	$2,973.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Du port récepteur au stock délocalisé	$3,417.10^{-6}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Du stock délocalisé au particulier	$1,698.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Du port d'Anvers au port récepteur en Australie	$4,381.10^{-3}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Du port d'Anvers au port récepteur en Nouvelle-Calédonie	$4,343.10^{-3}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Du port d'Anvers au port récepteur en Nouvelle-Zélande	$4,322.10^{-3}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U

Tableau 7.13 – Résumé des flux de référence liés au transport d'un X-Perco® vers la Belgique ou la France - 1L d'eau traitée

Trajet	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle (tkm)	Base de données dans SimaPro7.3.3
Enlèvement ou livraison en Belgique à partir d'Eloy Préfab	$1,698.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Transport jusqu'au stock délocalisé en Belgique	$1,343.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Enlèvement ou livraison en Belgique à partir du stock délocalisé	$1,698.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Enlèvement ou livraison en France à partir d'Eloy Préfab	$9,822.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Transport jusqu'au stock délocalisé en France	$1,280.10^{-4}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Enlèvement ou livraison en France à partir du stock délocalisé	$1,698.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U

7.2.2.5.3 Filière traditionnelle

Afin de permettre la comparaison de la filière traditionnelle avec la micro-station Oxyfix® et le filtre compact X-Perco®, le transport de la fosse septique est pris en compte¹¹ selon la même répartition des "poids" accordés à chaque scénario de transport que l'Oxyfix® et l'X-Perco®. Le transport des matériaux nécessaires à la mise en place des tranchées d'infiltration a lui été décrit au point 7.2.2.2.

Le poids de la fosse septique étant différent de celui de l'Oxyfix® et de l'X-Perco®, le nombre de tkm est également différent pour une même distance considérée. Les valeurs des tableaux 7.9 et 7.11 ont donc été modifiées pour obtenir celles des tableaux 7.14 et 7.15.

11. Pour la filière traditionnelle, seul le transport de la fosse septique est pris en compte

Tableau 7.14 – Résumé des flux de référence liés au transport d'une fosse septique vers le marché export - 1L d'eau traitée

Trajet	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle (tkm)	Base de données dans SimaPro7.3.3
D'Eloy Prefab au port d'Anvers	$5,987.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Du port récepteur au stock délocalisé	$6,881.10^{-6}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Du stock délocalisé au particulier	$3,421.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Du port d'Anvers au port récepteur en Australie	$8,825.10^{-3}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Du port d'Anvers au port récepteur en Nouvelle-Calédonie	$8,747.10^{-3}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Du port d'Anvers au port récepteur en Nouvelle-Zélande	$8,825.10^{-3}$	Transport, transoceanic freight ship/OCE U

Tableau 7.15 – Résumé des flux de référence liés au transport d'une fosse septique vers la Belgique ou la France - 1L d'eau traitée

Trajet	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle (tkm)	Base de données dans SimaPro7.3.3
Enlèvement ou livraison en Belgique à partir d'Eloy Préfab	$3,421.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO3/RER U
Transport jusqu'au stock délocalisé en Belgique	$2,704.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO5/RER U
Enlèvement ou livraison en Belgique à partir du stock délocalisé	$3,421.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Enlèvement ou livraison en France à partir d'Eloy Préfab	$1,973.10^{-4}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Transport jusqu'au stock délocalisé en France	$2,578.10^{-4}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Enlèvement ou livraison en France à partir du stock délocalisé	$3,421.10^{-5}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U

7.2.2.6 Installation

L'installation se déroule sensiblement de la même manière pour l'Oxyfix®, l'X-Perco® et la fosse septique. La mise en place des tranchées d'infiltration est, elle, expliquée au point 7.2.2.2.

Terrassement et mise en fouille

En premier lieu, une fouille doit être réalisée. La mise en fouille et le terrassement doivent respecter les différentes contraintes liées à la topographie et à la nature du terrain. Les dimensions de ceux-ci diffèrent selon le type de système d'épuration individuelle [2].

Un terrassement est réalisé afin d'obtenir une surface horizontale, stable, portante et exempte de tout risque de poinçonnement au fond de la fouille pour y déposer la cuve. Généralement d'une épaisseur de 10 à 20 cm, le terrassement est modélisé dans cette étude en fonction de son épaisseur maximale de 20 cm de manière à prendre en considération le cas le plus défavorable [2].

Manutention

Après avoir réalisé le terrassement et la fouille, la station doit être mise en fouille. Ceci est généralement réalisé par le bras du camion transportant les systèmes d'épuration individuelle. La consommation de celui-ci pendant la mise en fouille est prise en compte dans cette étude.

Remblaiement

Ensuite, la cuve est remblayée avec un matériau d'une granulométrie comprise entre 0 et 20 mm comme du sable, des empierrements ou des grains de riz jusqu'au tuyau de raccordement. Le sol en place peut également être utilisé [2].

Une fois ce remblayage effectué, il faut remplir la cuve d'eau claire. Les trois compartiments sont alors remplis et dès que l'eau sort de la cuve par le tuyau de sortie, la station peut être mise en route.

Raccordement hydraulique

Les entrées et sorties sont raccordées par emboîtement avec des canalisations PVC d'un diamètre de 100 mm [2]. Ces tuyaux de raccordement en entrée et en sortie sont enrobés par une couche de sable stabilisé afin de les maintenir en place.

Raccordement du surpresseur

Cette partie de l'installation ne concerne que l'Oxyfix®. En effet, l'X-Perco® et la fosse septique n'utilisent pas de surpresseur comme cela a été vu au chapitre 6.

Lors de l'installation de l'Oxyfix®, le surpresseur est directement raccordé au réseau à l'aide de sa prise électrique. Il est connecté à la rampe d'aération à l'aide d'un raccord rapide par le biais d'un tuyau souple qui doit être placé dans une gaine de diamètre intérieur de 60 mm minimum afin d'éviter toute détérioration [2], [45].

Ventilation

La décantation des matières brutes s'effectue avec des bactéries anaérobies. Ce phénomène implique un dégagement de gaz lourds qui doivent absolument être évacués dans l'atmosphère. Il est donc indispensable de ventiler correctement le décanteur primaire. Ce système de ventilation consiste en un tuyau d'air en PVC de diamètre nominal minimal de 100 mm [2]. Il doit également être séparé du circuit des eaux épurées et des eaux pluviales et placé à une hauteur suffisante pour éviter les nuisances olfactives [10].

Finition

Après avoir soigneusement enrobé les tuyaux d'arrivée et de sortie et avoir posé les rehausses, le couvercle en béton est recouvert de terres de déblais ou avec un concassé d'une granulométrie inférieure à 0-56 mm. Les rehausses assurent alors la liaison entre les regards d'accès et le niveau supérieur du remblai.

Les hypothèses réalisées lors de l'installation sont présentées à l'Annexe J pour les trois systèmes envisagés. Les flux de référence utilisés pour ceux-ci sont présentés dans les tableaux 7.16, 7.17 et 7.18.

Tableau 7.16 – Flux de référence pour l'installation de l'Oxyfix® - 1L d'eau traitée

Produit	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Sable	$7,169.10^{-3}$	kg	Sand, at mine/CH U
Eau	$8,761.10^{-4}$	kg	Tap water, at user/RER U
Ciment	$1,461.10^{-4}$	kg	Cement mortar, at plant/CH U
PVC	$7,324.10^{-6}$	kg	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
HDPE	$1,357.10^{-7}$	kg	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U
Processus	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Excavation	$5,997.10^{-6}$	m^3	Excavation, hydraulic digger/RER U
Transport des matières nécessaires à l'installation	$3,662.10^{-4}$	tkm	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Diesel	$1,923.10^{-6}$	kWh	Diesel, burned in building machine/GLO U
Extrusion	$7,46.10^{-6}$	kg	Extrusion, plastic pipes/RER U

Tableau 7.17 – Flux de référence pour l'installation de l'X-Perco® - 1L d'eau traitée

Produit	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Sable	$5,391.10^{-3}$	kg	Sand, at mine/CH U
Eau	$8,031.10^{-4}$	kg	Tap water, at user/RER U
Ciment	$1,476.10^{-4}$	kg	Cement mortar, at plant/CH U
PVC	$7,324.10^{-6}$	kg	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
Processus	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Excavation	$4,772.10^{-6}$	m^3	Excavation, hydraulic digger/RER U
Transport des matières nécessaires à l'installation	$2,773.10^{-4}$	tkm	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Diesel	$1,923.10^{-6}$	kWh	Diesel, burned in building machine/GLO U
Extrusion	$7,324.10^{-6}$	kg	Extrusion, plastic pipes/RER U

Tableau 7.18 – Flux de référence pour l'installation de la fosse septique - 1L d'eau traitée

Produit	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Sable	$6,064.10^{-3}$	kg	Sand, at mine/CH U
Eau	$6,571.10^{-4}$	kg	Tap water, at user/RER U
Ciment	$1,107.10^{-4}$	kg	Cement mortar, at plant/CH U
PVC	$6,104.10^{-6}$	kg	Polyvinylchloride, at regional storage/RER U
Processus	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Excavation	$5,007.10^{-6}$	m^3	Excavation, hydraulic digger/RER U
Transport des matières nécessaires à l'installation	$3,090.10^{-4}$	tkm	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Diesel	$1,923.10^{-6}$	kWh	Diesel, burned in building machine/GLO U
Extrusion	$6,104.10^{-6}$	kg	Extrusion, plastic pipes/RER U

7.2.2.7 Utilisation d'électricité

Cette section tient compte de l'électricité utilisée dans les cinq pays considérés au cours de la phase d'utilisation des différents systèmes. Les mix énergétiques en Australie, en Belgique, en France et en Nouvelle-Zélande sont calculés sur base des données de l'IEA [48]. Pour la Nouvelle-Calédonie, le mix énergétique est calculé sur base de la littérature. Les calculs et hypothèses réalisés dans ce but sont exprimés à l'Annexe K. La fraction d'électricité produite à partir de chaque mix énergétique est pondérée à l'aide des pourcentages des ventes réalisés dans chaque pays afin d'obtenir un mix global pondéré comme cela a également été fait pour le transport (cf tableau 7.8).

7.2.2.7.1 Micro-station Oxyfix®

Pour la station Oxyfix®, l'électricité est utilisée par le surpresseur d'air qui consomme $1,42 \frac{kWh}{j}$ d'électricité ce qui représente 0,00189 kWh par litre d'eau traitée.

7.2.2.7.2 Filtre compact X-Perco®

L'X-Perco® est alimentée par une entrée haute alors que l'évacuation des eaux épurées s'opère par une sortie basse. Il existe donc une différence de niveau entre l'entrée et la sortie de la cuve qui représente plus ou moins 145 centimètres.

Si la topographie des lieux ne permet pas une évacuation naturelle des eaux vers le milieu récepteur, il est demandé d'utiliser une pompe afin de relever ces eaux. Réalisé dans 75% des cas, ce relevage peut être effectué de deux façons :

- par une pompe électrique ;
- par une pompe solaire intégrée au sein de la station [35].

Lorsqu'un relevage est installé, trois quarts des pompes utilisées sont électriques. Le dernier quart consiste en des pompes solaires. Lorsqu'un relevage est nécessaire, celui-ci consomme $1,242 \cdot 10^{-4}$ kWh par litre d'eau traitée à relever [35], [45].

7.2.2.7.3 Filière classique

Pour la filière classique, tout se passe de façon mécanique. Aucune utilisation d'électricité n'est donc nécessaire lors de son fonctionnement [45].

7.2.2.8 Maintenance

Dans le cadre de ce travail, l'entretien est supposé réalisé sur base annuelle ce qui permet de ne pas considérer les problèmes liés à un manque d'entretien des systèmes d'épuration individuelle envisagés.

7.2.2.8.1 Micro-station Oxyfix®

Pour aller réaliser un entretien de l'Oxyfix®, un technicien doit se déplacer jusqu'à la station sur un trajet moyen estimé de 45 km [55].

Au cours de cet entretien, réalisé une fois par an, un certain nombre d'opérations sont effectuées. Celles-ci sont essentiellement manuelles. Deux types d'appareil sont toutefois utilisés :

- un HACH-LANGE HQ30D qui est à la fois un oxymètre, un pH mètre et un conductimètre [55], [56] ;
- un PARTECH 715 qui permet la vérification ponctuelle des voiles de boues [55], [57].

La consommation de ces deux appareils est négligeable et négligée puisqu'avec une pile, des entretiens sont réalisés pendant 6 mois [55].

Lors de cet entretien, certaines pièces sont susceptibles d'être changées :

- le filtre à air du surpresseur : il est vérifié lors de chaque entretien et est remplacé tous les deux ans. En cas d'encrassement, un nettoyage est effectué ;
- les membranes du surpresseur : elles sont remplacées tous les 3 ans [3], [55].

Ces pièces sont transportées par le technicien qui va effectuer la maintenance. Elles passent toutes par chez Eloy ; le transport de celles-ci est donc pris en compte.

En plus des pièces remplacées lors de la maintenance, d'autres pièces sont régulièrement changées. Dans ce cas, un technicien effectue un trajet supplémentaire pour effectuer le remplacement. C'est le cas pour :

- le surpresseur dont la durée de vie est estimée à 10 ans [55] ;
- les diffuseurs de type "fines-bulles" dont la durée de vie est également estimée à 10 ans en raison de leur détérioration [55].

Le tableau résume les flux de référence utilisés lors de cette maintenance de l'Oxyfix®.

Tableau 7.19 – Flux de référence nécessaires pour la maintenance de l'Oxyfix®
1L d'eau traitée

Produit	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Butadiène	$2,129.10^{-6}$	kg	Butadiene, at plant/RER U
Acrylonitrile	$1,048.10^{-6}$	kg	Acrylonitrile from Sohio process, at plant/RER U
Surpresseur	1,5	p	Surpresseur Secoh ¹²
Diffuseur fines-bulles	1,5	p	Diffuseur fines bulles 9" ¹²
Transport des pièces d'usure vers leur lieu d'utilisation	$3,743.10^{-3}$	p	Transport vers le lieu d'utilisation
Processus	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Transport en camionnette du technicien	$1,577.10^{-4}$	personkm	Transport, passenger car, petrol, EURO4/CH U
Transport en camionnette de moins de 3,5 tonnes	$7,108.10^{-9}$	tkm	Transport, van <3.5t/RER U
Transport en camion de 3,5-7,5 tonnes	$9,662.10^{-7}$	tkm	Transport, lorry 3.5-7.5t, EURO4/RER U
Transport en camion de 16-32 tonnes	$1,144.10^{-7}$	tkm	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U

7.2.2.8.2 Filtre compact X-Perco®

L'entretien de l'X-Perco® nécessite également le déplacement d'un technicien sur un trajet moyen estimé à 45 km¹³.

Cet entretien, bien qu'essentiellement manuel, demande d'utiliser une faible quantité d'eau afin de réaliser un certain nombre d'opérations telles que nettoyer le pré-filtre à grands jets d'eau, retirer le biofilm développé à la surface des augets et calibrer la position des augets [3]. Bien que difficile à estimer vu l'absence de retour pour l'entretien de ce type de station, cette quantité d'eau est estimée à 20 litres [55].

12. Ces assemblages sont décrits aux Annexes A et I. "p" est l'unité correspondant au Base de données dans SimaPro7.3.3.

13. L'X-Perco® étant un produit nouveau, cette valeur est considérée identique à celle prise en compte pour l'entretien de l'Oxyfix®.

Au cours de la vie du filtre compact X-Perco®, certaines "pièces" doivent être changées, il s'agit :

- du xylit : le remplacement du média filtrant se fait généralement après une période de fonctionnement estimée à 12 ans. À faible charge ou pour un usage intermittent, son utilisation peut être réalisée pendant 15 ans. Dans cette étude, la période classique de 12 ans est considérée [3], [58]. Cette vidange dure à peu près trois heures pour 3 m³ de xylit. Cette vidange est prise en compte dans la fin de vie du xylit.
- des augets : le remplacement des augets peut s'avérer nécessaire après une période de 15 ans de fonctionnement. Les deux anciens augets sont récupérés manuellement et remplacés par deux nouveaux.

Le tableau 7.20 présente les flux de référence utilisés lors de la maintenance de l'X-Perco®.

Tableau 7.20 – Flux de référence nécessaires pour la maintenance de l'X-Perco®
1L d'eau traitée

Produit	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Eau	$3,504.10^{-5}$	kg	Tap water, at user/RER U
Acier	$4,003.10^{-6}$	kg	Chromium steel 18/8, at plant/RER U
Xylit	1,083	p	xylit ¹⁴
Transport du xylit vers son lieu d'utilisation	0,864	p	Transport vers le lieu d'utilisation
Processus	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Réalisation des tôles en acier	$2,344.10^{-6}$	kg	Sheet rolling, chromium steel/RER U
Réalisation des grandes pièces par fraisage	$1,066.10^{-6}$	kg	Milling, chromium steel, large parts/RER U
Réalisation des petites pièces par fraisage	$5,938.10^{-7}$	kg	Milling, chromium steel, small parts/RER U
Consommation d'électricité	$2,692.10^{-6}$	kWh	Mix énergétique Belge
Transport en camionnette du technicien	$1,577.10^{-4}$	personkm	Transport, passenger car, petrol, EURO4/CH U
Transport en camion de 7,5-16 tonnes	$4,848.10^{-8}$	tkm	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Transport en camion de 16-32 tonnes	$3,086.10^{-5}$	tkm	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U
Transport en bateau transocéanique	$6,060.10^{-7}$	tkm	Transport, transoceanic freight ship/OCE U
Transport des augets vers leur lieu d'utilisation	0,020	p	Transport vers le lieu d'utilisation

7.2.2.8.3 Filière classique

Pour la filière classique, aucun entretien n'est nécessaire [45].

7.2.2.9 Émissions dans l'air

Comme cela a déjà été évoqué au point 6, dans le décanteur primaire de l'Oxyfix® mais également dans le premier sous-compartment de l'X-Perco® et dans la fosse septique de la filière classique, la décantation des matières brutes est réalisée à l'aide de bactéries anaérobies. Ce phénomène implique un dégagement de méthane (CH₄), de gaz carbonique (CO₂) et d'hydrogène sulfuré (H₂S) qui, combiné à des émanations d'acides gras volatils, peut engendrer des odeurs [2].

Malheureusement, aucun résultat n'a pu être obtenu pour les systèmes envisagés [59]. De surcroît, au regard de la littérature envisagée, aucune étude n'a été réalisée jusqu'ici afin de déterminer ces émissions pour des micro-stations de traitement des eaux usées à cultures fixées ni pour des filtres compacts.

14. L'assemblage créé pour le xylit à l'Annexe B est utilisé ici.

Les rejets dans l'air sont donc supposés les mêmes pour chacun des trois systèmes considérés et égaux aux valeurs obtenues pour des fosses septiques. Cette étape n'est donc pas utile en vue de la comparaison de systèmes entre eux mais le devient en cas de comparaison avec des systèmes d'épuration collectifs [60].

Pour une fosse toutes eaux supposée en configuration verticale, le volume de CH_4 produit a pu être trouvé dans la littérature. La quantité de CH_4 rejetée par litre d'eau traitée vaut 37 mL [60]. A contrario, aucun volume de CO_2 produit n'a pu être trouvé. Les autres émissions dans l'air, ont donc été estimées via des hypothèses émises à l'aide d'un avis d'expert de l'OIEau [19]. D'après cet avis, les hypothèses prises en compte sont les suivantes : le CH_4 dégagé représente 50 à 60% des gaz produits et 25 à 35% des gaz produits sont du CO_2 . Par ailleurs, les matières organiques contenues dans la fosse septique dégagent aussi, en pourrissant, du sulfure d'hydrogène H_2S [10]. Dans cette étude, les émissions calculées pour la fosse septique à l'Annexe L sont utilisées pour la modélisation des trois systèmes envisagés à savoir l'Oxyfix®, l'X-Perco® et la filière traditionnelle. Le tableau 7.21 résume les quantités de gaz émises par litre d'eau traitée.

Tableau 7.21 – Résumé des émissions dans l'air pour les trois systèmes envisagés
1L d'eau traitée

Gaz	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle (kg)
CH_4 biogénique	$2,501.10^{-5}$
CO_2 biogénique	$3,774.10^{-5}$
H_2S	$1,463.10^{-5}$

7.2.2.10 Émissions dans l'eau

En fin de traitement, les eaux usées contiennent toujours une partie de la charge polluante qu'elles avaient en entrant dans l'unité d'épuration individuelle. Ces valeurs sont fonction des charges polluantes en entrée, c'est-à-dire dans l'influent mais aussi des performances du système. Il est donc primordial de les évaluer afin de travailler à performances égales.

Les calculs et les hypothèses réalisés sont repris à l'Annexe M. Le tableau 7.22 est un résumé des flux de référence ainsi obtenus. Les valeurs présentes dans ce tableau sont ramenées à l'unité fonctionnelle.

Tableau 7.22 – Charge polluante émise dans les eaux en fin de traitement
1L d'eau traitée

Polluant	DBO_5	DCO	MES	NTK	P_{tot}
Concentration dans l'effluent de l'Oxyfix®	$18 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}}$	$90 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}}$	$24 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$3,2 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$11,9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$
Concentration dans l'effluent de l'X-Perco®	$18 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}}$	$90 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}}$	$24 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$3,2 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$11,9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$
Concentration dans l'effluent de la fosse septique	$14,4 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}}$	$135 \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}}$	$114 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$21,6 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$	$11,9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$

7.2.2.11 Fin de vie des boues d'épuration

La fin de vie des boues d'épuration peut être divisée en différentes sous-étapes.

Production de boues et vidange

Dans un premier temps, la vidange est envisagée. Lors de celle-ci, trois actions doivent être réalisées :

- aspirer le « chapeau » du décanteur primaire ;
- vidanger l'entièreté du décanteur primaire ;
- remplir le décanteur primaire en ouvrant un robinet dans la maison ou à l'aide d'un tuyau d'arrosage [2].

Au vu de la législation française, les opérations de vidange doivent s'effectuer lorsque le niveau des boues atteint un certain pourcentage de remplissage des systèmes considérés [35]. Ces données sont prises en compte dans cette étude afin de déterminer la fréquence de vidange qui donnera ensuite le nombre de vidanges effectuées lors de la vie des systèmes envisagés. Les fréquences de vidange et les différentes productions de boues sont calculées sur base théorique en supposant que la station fonctionne toujours à la charge nominale et que la vidange est réalisée exactement à la valeur maximale de vidange autorisée.

En pratique, cependant, pour vidanger à 30% ou 50% , il faudrait pouvoir mesurer la hauteur de boues ce qui n'est pas possible avec précision. Eloy déclenche donc toujours la vidange de la cuve quand la hauteur de boues atteint approximativement 50 %. Une autre différence entre ce qui se passe en réalité et ce qui devrait se passer en théorie est que la charge nominale considérée est plus importante que la charge réelle car les habitants ne sont pas chez eux 100 % du temps. De plus, il arrive fréquemment qu'une unité d'épuration individuelle de 5 EH soit installée pour des habitations hébergeant moins de 5 habitants. Dans ces différents cas, une plus petite charge arrive aux systèmes d'épuration individuelle ce qui induit une production de boues moindre et une vidange moins fréquente. D'autres facteurs peuvent également avoir une influence sur la production de boues et donc sur la fréquence de vidange. C'est le cas des caractéristiques des effluents bruts à traiter, du mode de vie des usagers, et de la fréquence d'entretien de la station [2], [55]. Néanmoins, l'ensemble de cette étude étant basée sur le fonctionnement à charge nominale, ces valeurs sont conservées.

La vidange de la cuve dure approximativement 15 minutes et nécessite une consommation de 3 litres de diesel [61], [62].

Les quantités de boues à traiter, les quantités d'énergie nécessaires pour réaliser l'ensemble des vidanges et les quantités d'eau nécessaires au remplissage des cuves après vidange de chacun des systèmes sont ramenées à l'unité fonctionnelle et reprises dans le Tableau 7.23.

Tableau 7.23 – Production de boues de flux de référence liés à la vidange
1L d'eau traitée

	Oxyfix®	X-Perco®	Fosse septique
Production de boues (m^3)	$4,782.10^{-6}$	$6,206.10^{-6}$	$3,080.10^{-6}$
Énergie nécessaire pour réaliser la vidange (MJ)	$5,876.10^{-4}$	$5,223.10^{-4}$	$1,556.10^{-4}$
Eau nécessaire pour le remplissage de la cuve(kg)	$4,782.10^{-3}$	$6,206.10^{-3}$	$3,080.10^{-3}$

Transport vers l'épandage ou vers des stations d'épuration collective

Ensuite, ces boues de stations d'épuration individuelle sont amenées vers des stations d'épuration collective sur un trajet estimé à 50 km ou directement en épandage sur une distance similaire. En effet, en France, il arrive que les boues provenant de stations d'épuration individuelle soient directement épandues. Ce scénario représente 16 % des boues provenant de stations d'épuration individuelle en Ile-de-France. Ce pourcentage est généralisé à l'ensemble du territoire français [63]. En Belgique, l'épandage des boues de stations d'épuration individuelle n'existe pas [64], [65]. Les sociétés de vidange contactées apportent toutes leurs boues vers des stations d'épuration collective [61], [62], [66], [67], [68]. En pondérant par le pourcentage des ventes, il est considéré dans cette étude que 12,1 % des boues sont épandus directement en agriculture et que 87,9 % sont traités dans des stations d'épuration collective.

Boues en stations d'épuration collective

Pour ces boues, le traitement est considéré via le processus "Treatment, sewage, to wastewater treatment, class 4/CH U" de SimaPro.

Boues en épandage

Pour l'épandage, en raison de l'absence de données sur la composition des boues, il est considéré que celles-ci permettent d'éviter la même quantité d'engrais qu'après traitement en stations d'épuration individuelle. Ces valeurs sont reprises dans le Tableau 7.24.

Tableau 7.24 – Valorisation agronomique des boues par kg de boues [64]

	N_{tot}	P_2O_5	K_2O	CaO
$\frac{kg}{kg_{boues}}$	8,2	7,7	1,1	57,5

7.2.2.12 Fin de vie des autres composants des systèmes d'épuration individuelle

7.2.2.12.1 Micro-station Oxyfix®

Diverses pièces des systèmes d'épuration individuelle sont amenées à être remplacées au cours de leur vie comme cela a été vu au point 7.2.2.8. Au niveau mondial, celles-ci sont soit recyclées soit mises en décharge. Le surpresseur et le diffuseur "fines-bulles", sont quant à eux d'abord démontés avant d'être envoyés vers la décharge ou le recyclage sur un trajet estimé à 50 km. Les quantités mises en décharge et recyclées ramenées à l'unité fonctionnelle sont reprises dans le tableau 7.25.

Tableau 7.25 – Produits recyclés et mis en décharge dans le cas de l'Oxyfix®
1L d'eau traitée

	Quantité en fin de vie(kg)	Pourcentage envoyé au recyclage(%)	Pourcentage envoyé en décharge(%)
PE	$6,596 \cdot 10^{-7}$	68 [69]	32 [69]
Acier Inox	$2,738 \cdot 10^{-7}$	85 [70]	15 [70]
PP	$3,13 \cdot 10^{-7}$	68 [69]	32 [69]
Cuivre	$4,455 \cdot 10^{-7}$	41,5 [71]	58,5 [71]
Caoutchouc	$1,068 \cdot 10^{-8}$	50	50
Cable	$5,549 \cdot 10^{-8}$	0	100
Verre	$1,342 \cdot 10^{-7}$	70 [72]	30 [72]
Autres plastiques	$3,198 \cdot 10^{-7}$	68 [69]	32 [69]
Terres rares	$1,485 \cdot 10^{-7}$	0 [73]	100 [73]

En fin de vie, le reste du système demeure quant à lui en terre. Pour tenir compte de cette fin de vie, les lixiviats liés au fait de laisser les tuyaux en PVC, la gaine en PE, les rehausses et trappillons en PE et le ciment utilisé pour le sable stabilisé en terre sont pris en compte. La cuve en béton est inerte et n'engendre donc aucun impact potentiel sur l'environnement. Elle n'est donc pas considérée. Comme ceci est réalisé à partir des bases de données de mise en décharge, les lixiviats sont probablement surestimés. En effet, certains sont liés à d'autres processus comme le transport ou l'installation de la décharge. Les quantités de matériaux laissées en terre et ramenées à l'unité fonctionnelle sont reprises dans le tableau 7.26.

Tableau 7.26 – Quantités de matière restant dans le sol pour l'Oxyfix® - 1L d'eau traitée

	Quantité laissée dans le sol(kg)
Ciment	$1,412 \cdot 10^{-4}$
PE	$4,443 \cdot 10^{-6}$
PVC	$4,883 \cdot 10^{-6}$

7.2.2.12.2 Filtre compact X-Perco®

Les augets sont changés au cours de la vie de l'X-Perco®. Une distance de 50 km est également supposée pour le transport de ceux-ci vers leur destination finale. Les quantités mises en décharge et recyclées sont ramenées à l'unité fonctionnelle et reprises dans le Tableau 7.27.

Tableau 7.27 – Augets recyclés et mis en décharge - 1L d'eau traitée

	Quantité en fin de vie(kg)	Pourcentage envoyé au recyclage(%)	Pourcentage envoyé en décharge(%)
Acier Inox	$3,165 \cdot 10^{-6}$	85 [70]	15 [70]

En fin de vie, le reste du système demeure également en terre. Pour tenir compte de cette fin de vie, les lixiviats liés au fait de laisser la cuve en PE mais aussi les tuyaux en PVC et le ciment utilisé pour le sable stabilisé en terre sont pris en compte. Ici aussi, ceci est réalisé à partir des bases de données de mise en décharge ce qui surestime probablement les lixiviats. Les quantités ramenées à l'unité fonctionnelle sont reprises dans le Tableau 7.28.

Tableau 7.28 – Quantités de matière restant dans le sol pour l'X-Perco®
1L d'eau traitée

	Quantité laissée dans le sol(kg)
Ciment	$1,365.10^{-4}$
PE	$3,986.10^{-5}$
PVC	$4,883.10^{-6}$

Fin de vie du xylit

Lors du remplacement du média filtrant, un vidangeur agréé utilise un camion hydrocu-
reur pour pomper le xylit. Il est ainsi aspiré au moyen d'une tête d'aspiration située au bout
d'un tuyau flexible et placée dans la chambre de traitement via le troisième trou d'homme.
En approximativement trois heures, les 3 m³ de xylit sont ainsi vidangés. Le xylit usagé
est alors directement déposé dans la benne de la machine pour être ensuite déchargé vers
son lieu de valorisation à une distance de 50 km [3], [55]. Cette vidange est calculée de la
même manière que ce qui est fait pour la vidange des boues. Néanmoins, un temps de 3h
est nécessaire pour effectuer la vidange du xylit alors que 15 minutes suffisaient pour la
vidange des boues. Une consommation de 36 litres de diesel est donc considérée.

La valorisation du xylit peut être de trois types¹⁵ :

- le compostage : bien que peu compostable, le xylit se dégrade bien en présence d'un
déchet vert frais. Vu la carence actuelle en carbone dans les sols wallons, il peut être
intéressant de composter le xylit afin de profiter de son rapport C/N élevé ;
- l'épandage : il ne permet pas d'éviter l'utilisation d'engrais mais l'apport de matière
organique augmente la retenue du sol ce qui s'avère bénéfique. Ce gain ne peut être
quantifié par la base de données Ecoinvent. En conséquence, ce scénario est ignoré
de la modélisation ;
- la valorisation énergétique : une autre utilisation possible du xylit est la valorisation
énergétique. Dans ce cas, il perd un peu de son pouvoir calorifique. Cette perte est
due à la légère teneur en eau résiduelle dans le xylit. Le léger changement de pouvoir
calorifique est donc négligeable à ce niveau [45], [74].

Comme cela vient d'être exposé, l'épandage n'est pas modélisable dans SimaPro7.3.3.
Les deux autres scénarios à savoir le compostage et la valorisation énergétique sont eux
modélisés. Comme il n'est pas encore possible de savoir quel scénario sera privilégié, les
deux scénarios sont supposés utilisés dans 50% des cas. Le compostage du xylit est modélisé
à l'aide de la base de données du compostage de matières organiques d'Ecoinvent. La
valorisation énergétique est, elle, prise en compte en supposant qu'on évite la production
d'électricité. Ici aussi, les mix énergétiques des différents pays ont été pondérés par les
pourcentages de vente dans ceux-ci. Pour la valorisation énergétique, un PCI de $22,7 \frac{MJ}{kg}$
pour le xylit est considéré ainsi qu'un rendement de 20% [75].

15. L'X-Perco® est une unité d'épuration individuelle récente. Il en résulte que les différents scénarios
ont été étudiés mais pas encore mis en pratique.

7.2.2.12.3 Filière classique

Pour la filière classique, aucune pièce ne demande un remplacement au cours de son fonctionnement. Comme pour les deux systèmes préalables exposés, le reste du système demeure en terre. Pour tenir compte de cette fin de vie, les lixiviats liés au fait de laisser les tuyaux en PVC, les rehausses en PE, la chambre de répartition en PE, la couche anticontaminante supérieure en PP et le ciment utilisé pour le sable stabilisé en terre sont pris en compte. La cuve en béton est inerte et n'engendre donc aucun impact potentiel sur l'environnement. Elle n'est donc pas considérée. Ici aussi, ceci est réalisé à partir des données de mise en décharge ce qui surestime probablement les lixiviats. Les quantités ramenées à l'unité fonctionnelle sont reprises dans le tableau 7.29.

Tableau 7.29 – Quantités de matière restant dans le sol pour la filière classique
1L d'eau traitée

	Quantité laissée dans le sol(kg)
Ciment	1,059 E- 4
PE	5,653.10 ⁻⁶
PP	8,761E-7
PVC	2,441E-5

7.2.3 Sources de documents publiés

Les références bibliographiques utilisées pour l'évaluation des flux sont mentionnées dans les paragraphes précédents.

7.2.4 Procédures de calcul

Les hypothèses réalisées au cours de cette étude ont été présentées au point 7.2.2. Un tableau résumé des flux de référence est également présenté à la fin de la description de chaque étape. Lorsque les calculs sont plus longs ou lorsque les hypothèses réalisées sont plus nombreuses, des annexes les développent.

7.2.5 Analyses de sensibilité

Les différentes analyses de sensibilité réalisées dans cette étude ont déjà été évoquées au point 7.2.2. Elles sont développées au chapitre 9.

7.3 Évaluation de l'impact du cycle de vie

La manière de mener cette troisième étape de l'analyse du cycle de vie est développée au point 5.5.3 et n'est donc pas répétée à ce stade du rapport.

7.4 Interprétation des résultats

La dernière étape d'une analyse du cycle de vie est l'analyse des résultats. Cette étape fera l'objet du chapitre 8.

Chapitre 8

Analyse des résultats

Les résultats de l'étude ACV présentés dans le cadre de ce chapitre concernent les différents systèmes décrits au cours des chapitres précédents.

8.1 Identification des résultats les plus significatifs

Dans un premier temps, les résultats caractérisés seront décrits pour l'ensemble des catégories d'impact de la méthode CML2 Baseline 2000. Ceux-ci seront développées lors de l'analyse individuelle de chaque catégorie d'impact. Les résultats de la Figure 8.1 montrent que la filière traditionnelle obtient un impact potentiel plus important de 25,1 et 25,2% respectivement que l'Oxyfix® et l'X-Perco® au niveau de l'eutrophisation. En théorie, vu les incertitudes sur la méthode, une différence de plus de 30% est nécessaire pour affirmer avec certitude que la filière traditionnelle est bien plus néfaste que l'Oxyfix® et l'X-Perco® ce qui n'est pas le cas ici. Néanmoins, la différence d'approximativement 25% peut être suffisante si les résultats sont confirmés par une analyse de sensibilité. Celle-ci est réalisée à la section 9.1.3.

Les résultats montrent également que l'Oxyfix® entraîne des impacts environnementaux plus importants que l'X-Perco® et la filière traditionnelle pour l'acidification des pluies, le réchauffement climatique, la diminution de la couche d'ozone, la toxicité humaine, l'éco-toxicité terrestre et l'oxydation photochimique. Pour l'acidification des pluies, le réchauffement climatique et l'appauvrissement de la couche d'ozone, l'Oxyfix® a un impact significativement plus important que l'X-Perco® et la filière traditionnelle au vu des différences obtenues de respectivement 58,8%, 30,3% et 57,8% avec l'X-Perco® et de respectivement 39,1%, 21,5% et 51,5% avec la filière traditionnelle. Ces différences sont donc bien supérieures aux incertitudes sur ces catégories d'impact. Pour la toxicité humaine et l'éco-toxicité terrestre, malgré les différences variant entre 40 et 60% pour les trois systèmes envisagés dans cette étude, il est difficile de les discriminer au vu des incertitudes régnant sur ces catégories d'impact. Une différence d'un ordre de grandeur est généralement demandée pour celles-ci. Il en est de même pour l'oxydation photochimique où un minimum de 30% de différence est requis en raison de l'incertitude.

Enfin la Figure 8.1 indique que l'X-Perco® est le système le plus impactant au niveau de l'appauvrissement des ressources abiotiques ainsi que pour les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer. Néanmoins, à l'image de ce que vient d'être dit pour la toxicité humaine et l'éco-toxicité terrestre, une conclusion claire ne peut être tirée pour les éco-toxicités d'eau

douce et d'eau de mer. Un ordre de grandeur de différence est nécessaire pour tirer une conclusion au niveau de ces catégories en raison de la diversité des substances à prendre en considération ce qui entraîne une incertitude sur la méthode.

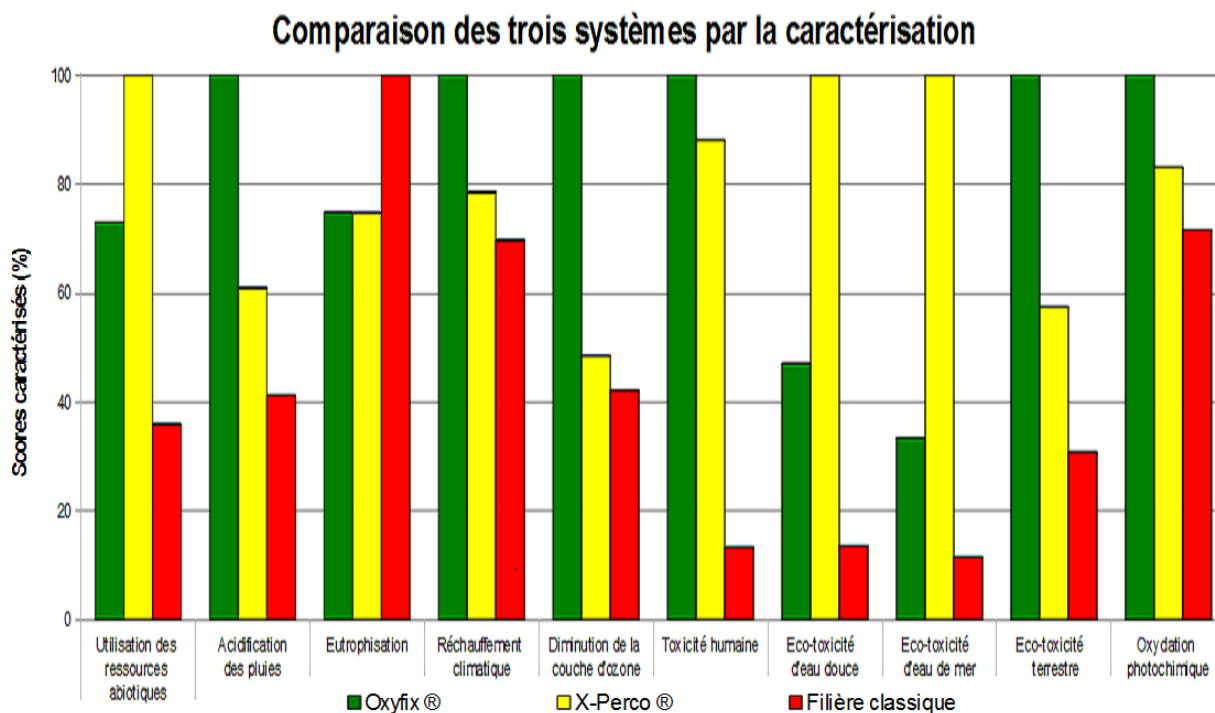


FIGURE 8.1 – Comparaison des trois systèmes du point de vue de la caractérisation 1L d'eau traitée

Dans un second temps, nous allons regarder quelles sont les catégories d'impact les plus significatives du point de vue de la normalisation afin de déterminer les catégories qui seront étudiées plus en détails dans la suite de cette étude. Les catégories d'impact qui sont analysées plus en détails sont celles pour lesquelles les impacts potentiels engendrés par au moins un des trois systèmes excèdent 1% de l'impact maximal obtenu, toute catégorie d'impact confondue (X-Perco® pour l'éco-toxicité d'eau de mer) du point de vue de la normalisation. Ces catégories d'impact sont l'utilisation des ressources abiotiques, l'eutrophisation, le réchauffement climatique, la toxicité humaine ainsi que les éco-toxicités terrestre, d'eau douce et d'eau de mer. Des conclusions similaires peuvent être tirées sur base des informations obtenues pour les trois systèmes considérés individuellement du point de vue de la normalisation. Ces résultats sont présentés à l'Annexe O.

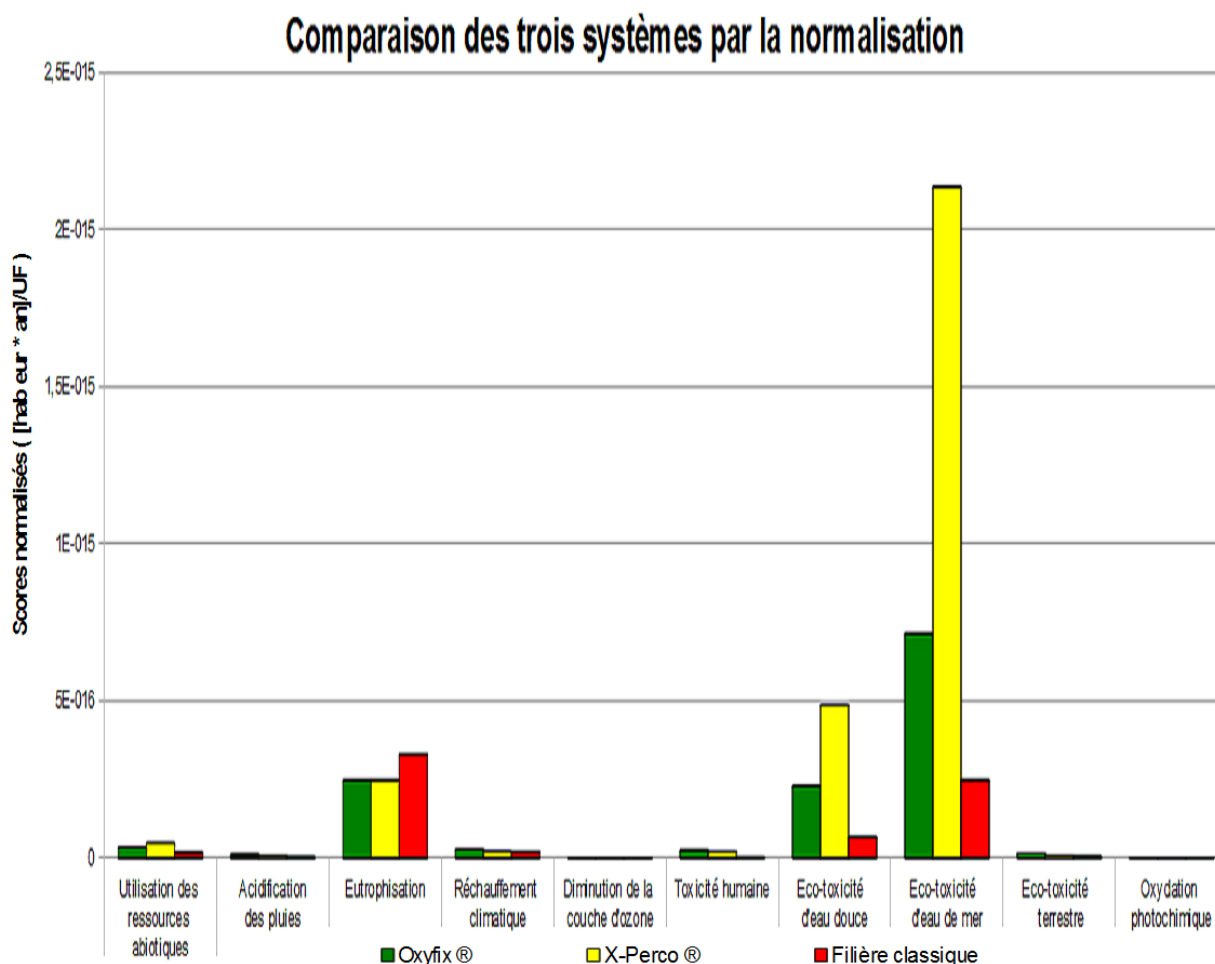


FIGURE 8.2 – Comparaison des trois systèmes du point de vue de la normalisation 1L d'eau traitée

8.2 Explications des différences entre les systèmes envisagés

Dans cette section, les catégories d'impact retenues comme étant significatives vont être successivement développées. Nous tenterons également d'expliquer les différences entre les résultats obtenus. Les résultats caractérisés pour les trois systèmes envisagés sont repris à l'Annexe P.

8.2.1 Utilisation des ressources abiotiques

Pour rappel, cette catégorie concerne l'utilisation de matières minérales et de combustibles fossiles et se base sur les réserves existantes et la vitesse d'épuisement de celles-ci [32].

À la Figure 8.3, nous pouvons voir que le système le moins favorable au niveau de l'épuisement des ressources abiotiques est l'X-Perco® suivi de l'Oxyfix® et de la filière classique.

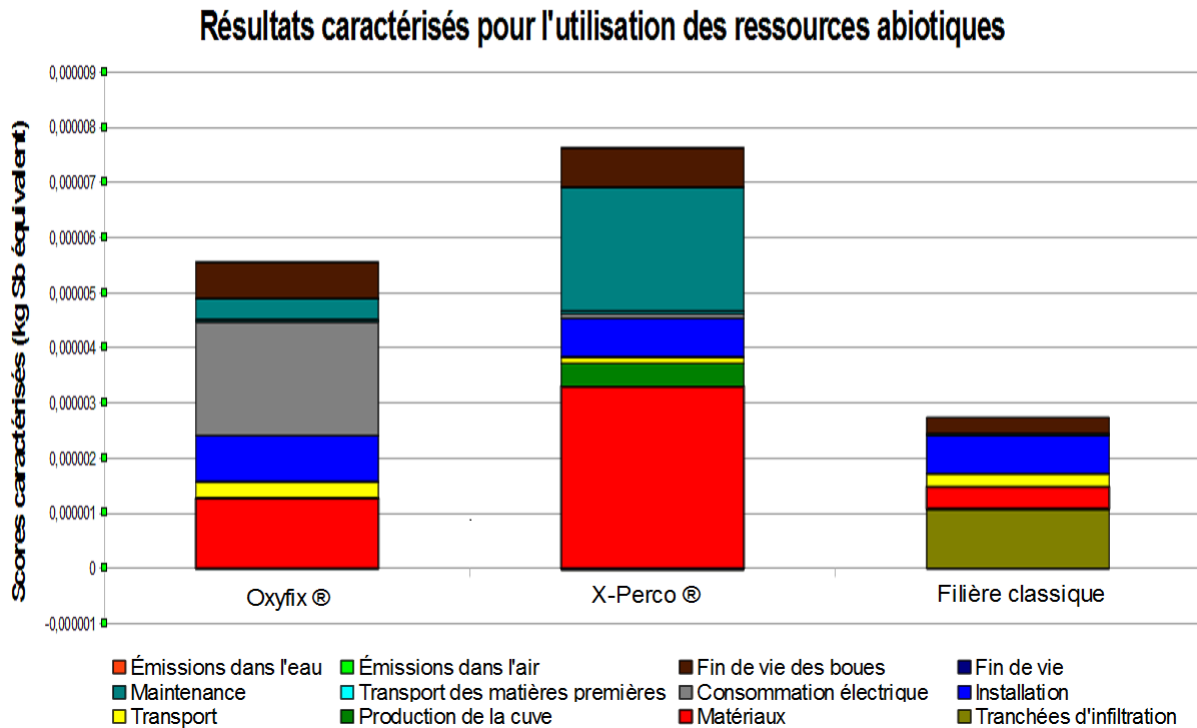


FIGURE 8.3 – Comparaison des trois systèmes pour l'utilisation des ressources abiotiques 1L d'eau traitée

Nous remarquons également que certaines étapes ont une contribution relativement peu importante voire nulle à l'utilisation des ressources abiotiques. Il s'agit des émissions dans l'air (en vert clair) et dans l'eau (en orange), de la fin de vie des systèmes (en bleu foncé) et du transport des matières premières (en turquoise clair). Pour les trois premières, cela résulte du fait qu'aucun matériau n'est nécessaire lors de la mise en place de ces étapes. La contribution du transport des matières premières (en turquoise clair) est, elle, négligeable vis-à-vis des autres étapes.

L'installation (en bleu clair) a une contribution semblable pour chacun des trois systèmes car les matériaux et les processus employés lors de cette étape sont identiques et utilisés dans des quantités similaires.

Le transport des systèmes vers leur lieu d'utilisation (en jaune) n'a pas une grande contribution au niveau de l'utilisation des ressources abiotiques. Cependant, on remarque que l'X-Perco® tire profit de son poids plus faible que ceux de l'Oxyfix® et de la fosse septique.

Les différences se marquent davantage entre les trois systèmes pour les autres étapes à savoir les matériaux utilisés (en rouge), la consommation d'électricité (en gris), la production de la cuve (en vert), la maintenance (en turquoise), la fin de vie des boues (en brun) et les tranchées d'infiltration (en vert kaki).

Au niveau de la maintenance (en turquoise) et des matériaux utilisés (en rouge), c'est l'X-Perco® qui a la plus grande contribution à l'impact environnemental devant l'Oxyfix® et la filière classique. Les valeurs importantes obtenues pour l'X-Perco® au niveau de la

maintenance résultent du renouvellement du xylit après 12 ans. Pour ce qui est des matériaux, c'est également le xylit mais aussi le polyéthylène nécessaire à la réalisation de la cuve qui sont principalement responsables de la grande contribution des matériaux à l'impact environnemental. L'Oxyfix®[®], elle, utilise de l'acier inoxydable pour la réalisation des cloisons et du cône, ce qui provoque l'utilisation de ressources abiotiques. C'est également le cas, dans une moindre mesure, pour les matériaux nécessaires lors de la réalisation de la cuve en béton. La filière traditionnelle ne demande ni maintenance ni utilisation d'acier inoxydable ce qui explique la plus faible contribution de ces étapes à l'impact environnemental.

La Figure 8.3 montre également que la production de la cuve (en vert) en PE pour le système X-Perco®[®] nécessite l'utilisation d'une quantité plus importante de ressources abiotiques que la production des cuves en béton présentes dans les deux autres systèmes, en raison notamment d'une plus grande quantité de combustibles fossiles nécessaire pour le rotomoulage de la cuve en polyéthylène que pour la mise à forme de la cuve en béton. Rappelons que la production de la cuve ne concerne que l'énergie nécessaire à la mise à forme de celle-ci et non les matériaux utilisés, repris dans l'étape "matériaux".

La fin de vie des boues (en brun) engendre une contribution différente à l'impact environnemental pour les systèmes envisagés vu la production variable de boues de ceux-ci.

La consommation d'électricité (en gris) durant le fonctionnement de l'Oxyfix®[®] nécessite également une utilisation importante de ressources abiotiques. Il s'agit principalement des combustibles fossiles utilisés pour la production d'électricité. La consommation d'électricité nécessaire au cours de la vie de l'X-Perco®[®] est beaucoup plus faible car elle n'est utilisée que pour le relevage ; ce qui explique la consommation plus faible de ressources abiotiques pour ce système. Aucune consommation électrique n'est par contre nécessaire pour la filière classique.

Enfin, la filière traditionnelle voit son impact quelque peu augmenter en raison de l'utilisation de ressources abiotiques pour la réalisation des tranchées d'infiltration (en vert kaki). Cette utilisation est principalement due à l'utilisation de tuyaux en PVC comme drains d'infiltration et au transport des graviers.

Résumé

En résumé, c'est l'X-Perco®[®] qui consomme le plus de ressources abiotiques avec $7,61 \cdot 10^{-6}$ kgeq Sb devant l'Oxyfix®[®] ($5,56 \cdot 10^{-6}$ kgeq Sb) et la filière traditionnelle ($2,74 \cdot 10^{-6}$ kgeq Sb). Cette consommation supérieure est principalement due au xylit utilisé comme média filtrant lors du traitement des eaux usées ainsi qu'à l'utilisation de polyéthylène pour la fabrication de la cuve. La consommation électrique supérieure de l'Oxyfix®[®] nécessaire à l'apport d'oxygène via le surpresseur et la mise en place des tranchées dans la filière traditionnelle contribuent à réduire l'écart entre les différents systèmes.

8.2.2 Eutrophisation

Pour rappel, l'eutrophisation est une forme singulière mais naturelle de pollution de certains écosystèmes aquatiques qui se produit lorsque le milieu reçoit un excès de matières nutritives par rapport à ce qui est assimilable par les algues. Celles-ci prolifèrent alors à cause de la présence de nutriments tels que le phosphore et l'azote. Ces deux nutriments sont contenus respectivement dans les phosphates ainsi que dans l'ammonium, les nitrates, et les nitrites [76].

Nous pouvons remarquer sur la Figure 8.4 que le système le moins favorable au niveau de l'eutrophisation est la filière classique devant l'X-Perco® et l'Oxyfix® dont les impacts potentiels sur l'eutrophisation sont relativement similaires.

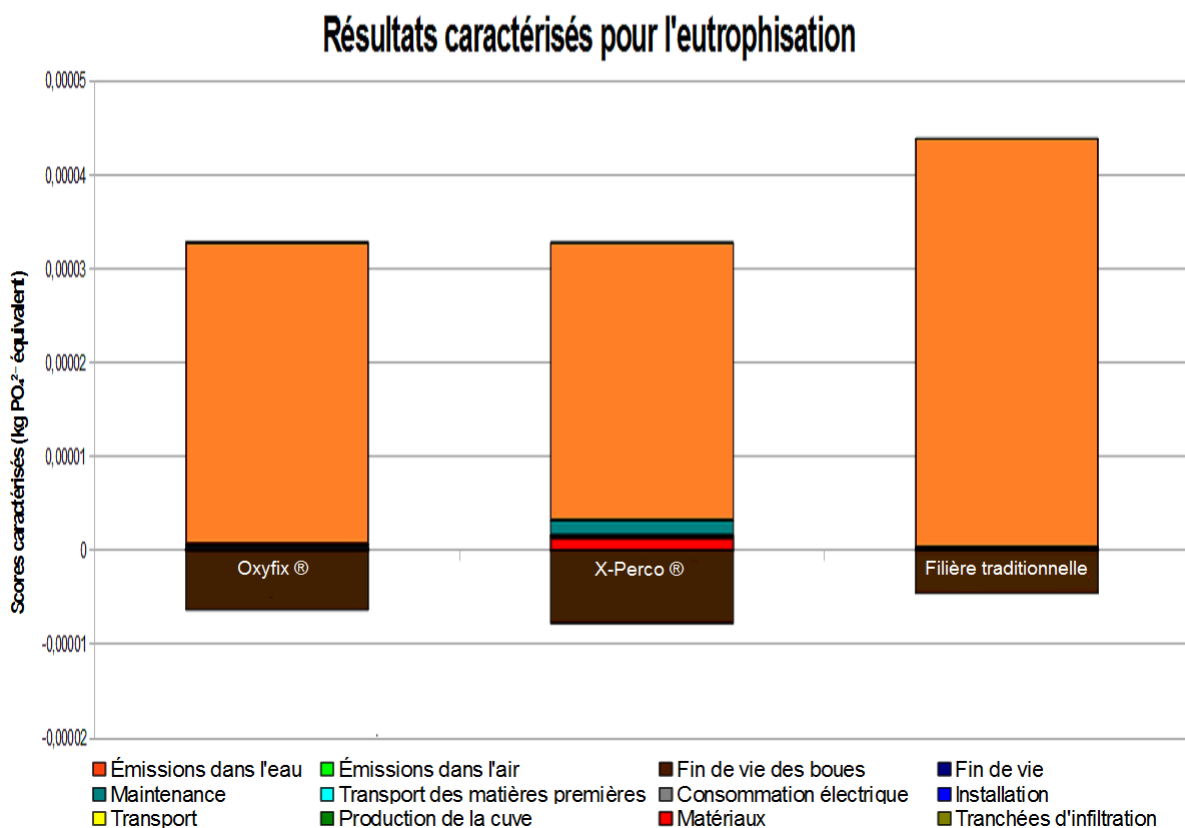


FIGURE 8.4 – Comparaison des trois systèmes pour l'eutrophisation - 1L d'eau traitée

Sur la Figure 8.4 qui montre les résultats caractérisés pour l'eutrophisation, quatre étapes sont distinguables. Il s'agit de la fin de vie des boues (en brun), de la maintenance (en turquoise), des matériaux utilisés (en rouge) et des émissions dans l'eau (en orange). Ces étapes vont donc être développées dans la suite de cette section.

Les matériaux (en rouge) et la maintenance (en turquoise) n'apparaissent que pour l'X-Perco® en raison principalement de l'extraction du xylit qui contribue à environ 95% de ces étapes.

Au niveau de la fin de vie de boues (en brun), c'est l'X-Perco® qui profite au mieux de la valorisation des boues épandues en raison de la plus grande quantité de boues qu'il produit. Ce gain est réalisé principalement grâce au phosphore évité lors de l'épandage.

Enfin, les émissions dans l'eau (en orange) constituent l'étape cruciale au niveau de l'eutrophisation. Cette étape a une contribution d'autant plus importante sur l'eutrophisation que les performances du système sont faibles. En effet, plus le système est performant, plus l'impact sera faible. Afin d'évaluer l'importance d'utiliser des systèmes d'épuration, une comparaison de l'impact de ces derniers avec un scénario relatif à l'eau non traitée est réalisée à la Figure 8.5. Les valeurs des influents considérés pour les trois unités d'épuration individuelle ont été prises comme valeurs pour les rejets dans l'eau afin de modéliser le scénario eaux non traitées. Cette catégorie d'impact est d'ailleurs la seule pour laquelle les eaux non traitées engendrent des impacts potentiels. Sans surprise, les eaux non traitées sont plus néfastes que les trois systèmes envisagés dans cette étude au niveau de l'eutrophisation. L'impact potentiel sur l'eutrophisation est ainsi réduit de 58,4 % grâce à l'utilisation de la filière classique et atteint 68,9% de réduction pour l'X-Perco® et l'Oxyfix®.

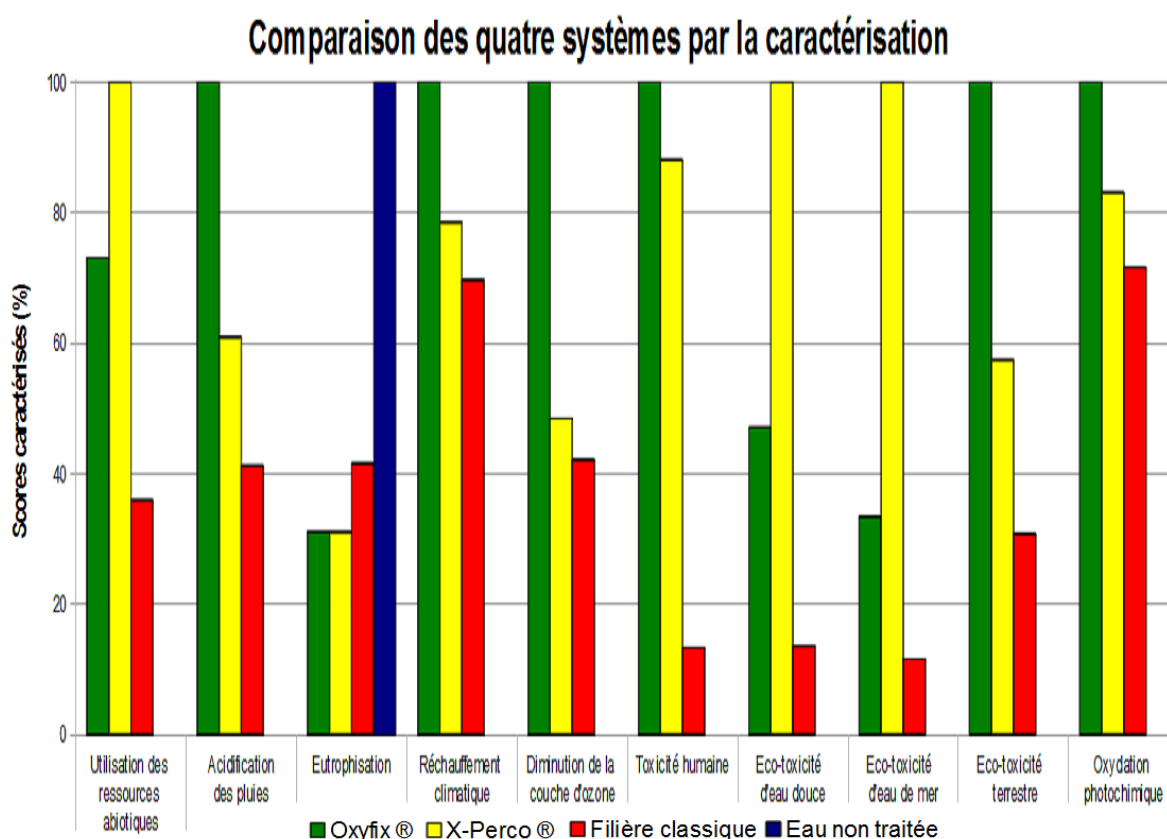


FIGURE 8.5 – Comparaison des quatre systèmes pour l'eutrophisation - 1L d'eau traitée

Résumé

L'impact potentiel des différents systèmes sur l'eutrophisation peut être amélioré de quasiment 70% par rapport à une situation sans traitement, en maximisant les performances du système et en valorisant les boues en épandage.

8.2.3 Réchauffement climatique

Pour rappel, cette catégorie d'impact concerne le réchauffement climatique de la planète. Les facteurs de caractérisation sont exprimés en fonction du potentiel de réchauffement climatique pour une durée de 100 ans en équivalents CO₂ [32].

Nous pouvons remarquer sur la Figure 8.6 que le système le moins favorable au niveau du réchauffement climatique est l'Oxyfix® suivi de l'X-Perco® et de la filière classique.

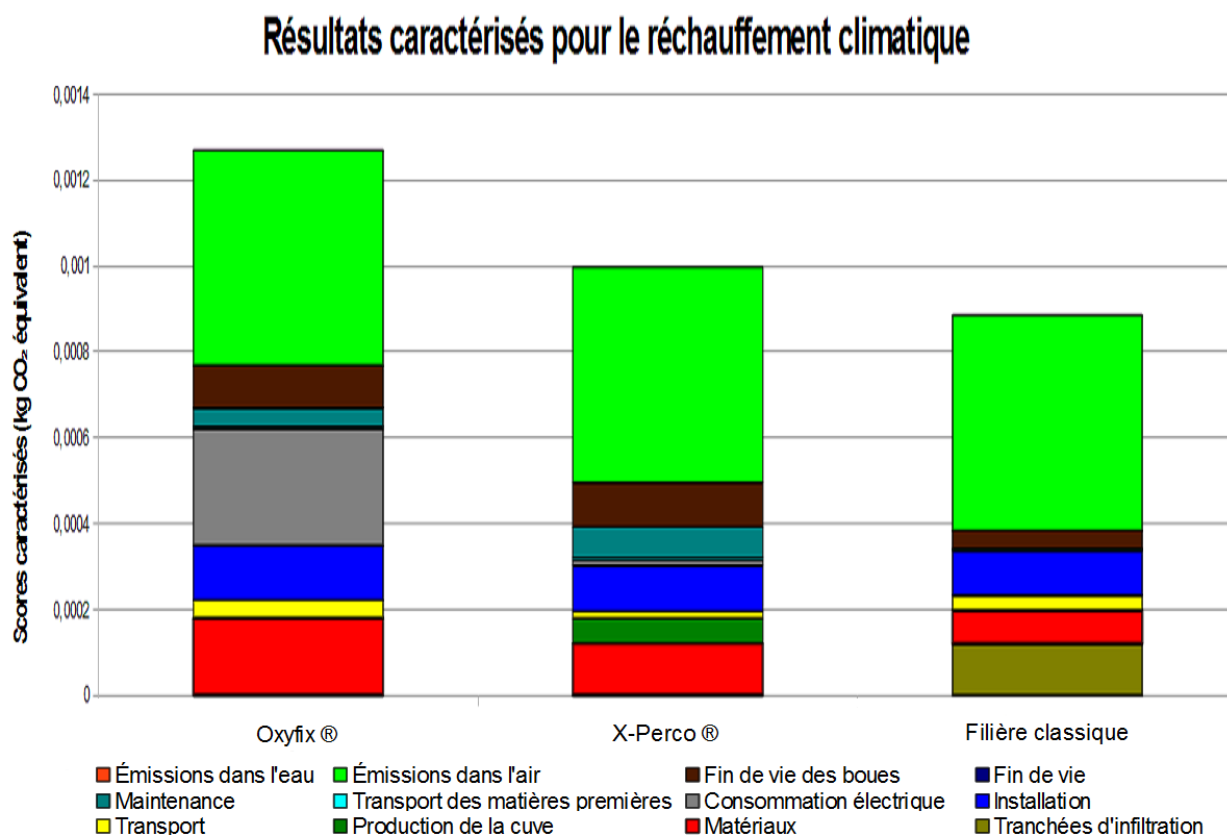


FIGURE 8.6 – Comparaison des trois systèmes pour le réchauffement climatique 1L d'eau traitée

Comme pour les deux catégories d'impact préalablement envisagées, certaines étapes ont une contribution relativement peu importante voire nulle sur le réchauffement climatique. Il s'agit des émissions dans l'eau (en orange), de la fin de vie des systèmes (en bleu foncé) et du transport des matières premières (en turquoise clair). En effet, les émissions dans l'eau ne provoquent aucune émission de gaz à effet de serre responsable du réchauffement climatique. La fin de vie ne nécessite, quant à elle, pratiquement pas de recyclage ni de mise en décharge car l'essentiel du système reste en terre. Les impacts potentiels de cette étape sur le réchauffement climatique sont donc faibles vu que les lixiviats dans le sol n'ont qu'une influence mineure sur cette catégorie d'impact. Pour le transport des matières premières, la contribution est négligeable vis-à-vis des autres étapes vu les distances relativement courtes parcourues par celles-ci.

L'étape ayant la plus grande contribution est relative aux rejets dans l'air (en vert clair). Comme cela est expliqué au paragraphe 7.2.2.9, vu les informations obtenues sur

ces émissions, il n'a pas été possible de déterminer avec précision les performances des différents systèmes envisagés. C'est pourquoi des valeurs identiques des émissions ont été supposées pour les trois unités d'épuration individuelle ce qui engendre une contribution identique de cette "étape".

L'installation (en bleu clair) a, comme pour l'utilisation des ressources abiotiques, une contribution semblable pour chacun des trois systèmes car les matériaux et les processus employés lors de cette étape sont identiques et utilisés dans des quantités similaires.

Le transport des systèmes vers leur lieu d'utilisation n'a pas une grande contribution au niveau du réchauffement climatique non plus. Néanmoins, l'X-Perco® tire à nouveau profit de son poids plus faible que ceux de l'Oxyfix® et de la fosse septique.

La contribution de la maintenance (en turquoise) à l'impact environnemental est relativement similaire pour l'X-Perco® et l'Oxyfix®. Une valeur un peu plus importante est néanmoins obtenue pour l'X-Perco® en raison du remplacement des augets et du xylit ainsi que du transport du xylit. La filière classique ne nécessitant aucune maintenance, la contribution de cette étape au réchauffement climatique est donc nulle.

Les différences se marquent davantage pour les étapes dont nous n'avons pas encore parlé : les matériaux utilisés (en rouge), l'utilisation d'électricité (en gris), la production de la cuve (en vert), la fin de vie des boues (en brun) et les tranchées d'infiltration (en kaki).

La contribution des matériaux nécessaires pour la mise au point des trois systèmes (en rouge) au réchauffement climatique est assez différente. C'est pour l'Oxyfix® que celle-ci est la plus importante à cause de la réalisation de la cuve en béton mais également des parties en acier inoxydable à savoir les cloisons et le cône. L'X-Perco® a pour sa part un impact sur le réchauffement climatique en raison de l'utilisation de PE pour la réalisation de la cuve et, dans une moindre mesure, de la réalisation des augets en acier inoxydable.

La production de la cuve (en vert) en PE a un plus grand impact au niveau du réchauffement climatique que la production de la cuve en béton. Ceci résulte principalement de la plus grande quantité de combustibles fossiles nécessaire à la réalisation de la cuve en PE.

Comme pour l'utilisation des ressources abiotiques, la fin de vie des boues (en brun) engendre une contribution différente à l'impact environnemental pour les systèmes envisagés vu la production variable de boues de ceux-ci.

À la Figure 8.3, il apparaît également que l'utilisation d'électricité (en gris) pour l'Oxyfix® a une contribution importante sur le réchauffement climatique. Ceci résulte en majeure partie de l'utilisation de combustibles fossiles pour la production d'électricité. La consommation d'électricité nécessaire au cours de la vie de l'X-Perco® est beaucoup plus faible car elle n'est utilisée que pour le relevage, ce qui explique la part nettement moins importante de la consommation électrique pour ce filtre compact. Aucune consommation électrique n'est par contre nécessaire pour la filière classique.

Enfin, les tranchées d'infiltration de la filière traditionnelle ont une contribution non négligeable sur le réchauffement climatique avec 13,6% en raison notamment de l'extraction des graviers, de la fabrication des tuyaux en PVC et du transport du gravier.

Résumé

En résumé, c'est l'Oxyfix® qui a le plus gros impact sur le réchauffement climatique avec $1,27.10^{-3}$ kgéq CO₂ suivi de l'X-Perco® ($9,98.10^{-4}$ kgéq CO₂) et de la filière traditionnelle ($8,86.10^{-4}$ kgéq CO₂). Cette différence s'explique principalement par le fait que l'Oxyfix® nécessite une consommation électrique supérieure aux deux autres systèmes en raison de l'apport d'oxygène via le surpresseur. Dans une moindre mesure, les matériaux utilisés engendrent également un impact plus important pour l'Oxyfix® alors que la réalisation des tranchées pour la filière classique et la production de la cuve pour l'X-Perco® contribuent à réduire l'écart entre les différents systèmes.

Malheureusement, l'"étape" ayant la contribution majeure sur l'impact à savoir les émissions dans l'air n'a pas pu être modélisée avec précision. Les performances des différents systèmes envisagés n'ont donc pu être différenciées, ce qui constitue une limite de l'analyse.

8.2.4 Toxicité humaine

Cette catégorie concerne les impacts toxicologiques sur l'homme. Ceux-ci dépendent de l'exposition et des effets de substances chimiques et biologiques ; ce qui rend cette catégorie difficile à manipuler. Ceci est d'autant plus vrai qu'un grand nombre de substances a une influence sur cette catégorie d'impact et qu'il n'est donc pas imaginable de toutes les prendre en considération. C'est pourquoi il existe une série de 10 à 30 substances à analyser en priorité. Il en résulte également qu'une différence d'un ordre de grandeur est nécessaire afin de pouvoir dire avec certitude qu'un scénario est meilleur qu'un autre ce qui n'est pas atteint ici. Les considérations développées par la suite le sont en tenant compte de cette remarque [32].

Nous pouvons remarquer sur la Figure 8.7, que le système le moins favorable au niveau de la toxicité humaine est l'Oxyfix®. Ensuite, viennent l'X-Perco® et la filière classique.

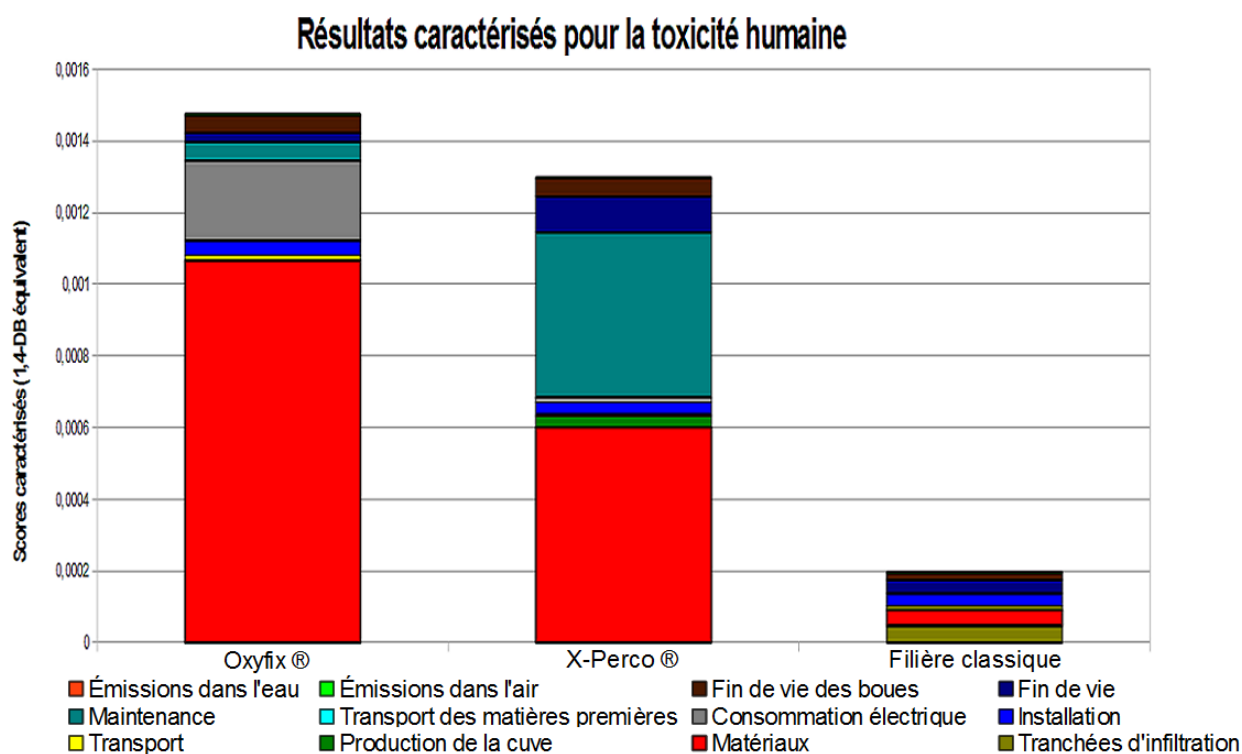


FIGURE 8.7 – Comparaison des trois systèmes pour la toxicité humaine - 1L d'eau traitée

Comme pour les précédentes catégories d'impact, un certain nombre d'étapes ont une contribution très faible voir nulle sur la toxicité humaine. Pour cette catégorie d'impact, il s'agit des émissions dans l'air (en vert clair) et dans l'eau (en orange), du transport des matières premières (en turquoise clair) et du transport des systèmes vers leur lieu d'utilisation (en jaune). La contribution de ces étapes à la toxicité humaine n'est donc pas développée dans ce travail.

L'installation (en bleu clair) a, une fois de plus, une contribution semblable pour chacun des trois systèmes car les matériaux et les processus employés lors de cette étape sont identiques et utilisés dans des quantités similaires.

Les différences se marquent davantage pour les autres étapes à savoir les matériaux utilisés (en rouge), l'utilisation d'électricité (en gris), la production de la cuve (en vert), la maintenance (en turquoise), la fin de vie des boues (en brun), la fin de vie du système (en bleu foncé) et les tranchées d'infiltration (en vert kaki).

Au niveau de la maintenance (en turquoise), c'est l'X-Perco® qui a la plus grande contribution à l'impact environnemental devant l'Oxyfix® et la filière classique. Les valeurs importantes obtenues pour l'X-Perco® au niveau de la maintenance résultent de la nécessité de renouveler du xylit après une période de 12 ans et les augets après une période de 15 ans. La maintenance de l'Oxyfix® apparaît principalement en raison du remplacement du surpresseur Secoh.

Ce sont les matériaux nécessaires à la mise au point de l'Oxyfix® (en rouge) qui contribuent le plus à la toxicité humaine. La cause de cette contribution est la réalisation des parties en acier inoxydable à savoir les cloisons et le cône. Pour l'X-Perco®, la toxicité humaine est induite principalement par la réalisation des augets et l'extraction du xylit. Ces deux sous-étapes contribuent respectivement à 65,5% et 31,4% de la toxicité humaine induite par l'X-Perco®. La filière traditionnelle ne demande pas ni l'utilisation d'acier inoxydable ni de xylit ce qui explique la plus faible contribution de la réalisation des matériaux à la toxicité humaine.

Comme nous pouvons le voir sur la Figure 8.7, la fin de vie des boues (en brun) engendre une contribution différente sur l'impact environnemental pour les trois systèmes envisagés. Ceci s'explique par la production variable de boues de ceux-ci.

L'utilisation d'électricité (en gris) pour l'Oxyfix® engendre des impacts non négligeables sur la toxicité humaine. Ceci résulte en grande partie de la production d'électricité via l'énergie nucléaire. Cette valeur est d'autant plus grande qu'une grande proportion de l'électricité est utilisée en France et donc à partir du mix énergétique français qui repose à pratiquement 79% sur le nucléaire. La consommation d'électricité nécessaire au cours de la vie de l'X-Perco® est beaucoup plus faible car elle n'est utilisée que pour le relevage. Ceci explique pourquoi la contribution de l'utilisation d'électricité est relativement faible sur la toxicité humaine pour ce filtre compact. Aucune consommation électrique n'est nécessaire pour la filière classique qui ne contribue donc pas à la toxicité humaine.

La production de la cuve (en vert) en PE de l'X-Perco® a une contribution plus importante que celle des cuves en béton de la fosse septique et de l'Oxyfix® sur la toxicité humaine. Cependant, cette contribution reste relativement faible en regard de celle des autres étapes.

La fin de vie des différents systèmes (en bleu foncé) a également une contribution significative sur la toxicité humaine. Ceci est surtout vrai pour l'X-Perco® en raison principalement du fait que la cuve en polyéthylène reste en terre. Le ciment nécessaire pour la fabrication du sable stabilisé et les tuyaux PVC qui restent dans le sol ainsi que l'utilisation de diesel pour la vidange du xylit engendrent également des impacts sur la toxicité humaine. Pour l'Oxyfix® et la filière traditionnelle, la cuve en béton est inerte par rapport au sol. Cette étape apparaît donc du fait que le ciment nécessaire à la réalisation du sable stabilisé, les tuyaux PVC ainsi que les rehausses, les trappillons et la chambre de répartition en PE restent en terre après la vie de l'unité d'épuration individuelle. Il est nécessaire de garder à l'esprit que les fins de vie du PE et du ciment ont été modélisées par des bases de données commerciales reflétant une mise en décharge engendrant des lixiviats. Il s'agit donc de valeurs approximatives et non de valeurs spécifiques à la fin de vie des systèmes d'épuration individuelle. Ces valeurs permettent néanmoins de mettre en évidence l'importance relative de la fin de vie sur le système global.

Enfin, les tranchées d'infiltration de la filière traditionnelle (en vert kaki) ont une contribution non négligeable (24%) sur la toxicité humaine en raison principalement de l'extraction des graviers.

Résumé

En résumé, l'Oxyfix® est le système le moins intéressant au niveau de la toxicité humaine en raison des nombreuses parties en acier inoxydable nécessaires à sa réalisation. De plus, la consommation électrique nécessaire pour faire fonctionner le surpresseur est également défavorable à cette micro-station. L'X-Perco® obtient un impact réduit de 11,9% principalement en raison du fait que seuls les augets sont fabriqués en acier. Néanmoins, dans ce cas, l'extraction du média filtrant à savoir le xylit et le remplacement de celui-ci font perdre une partie du gain réalisé à ce filtre compact. La filière traditionnelle est elle encore meilleure à ce niveau que les deux unités d'épuration individuelle précédemment évoquées avec un impact réduit de 86,6% par rapport à l'Oxyfix® et de 84,8% par rapport à l'X-Perco®. Cependant, il n'y a pas un ordre de grandeur entre les scénarios proposés. Ces résultats sont donc soumis aux incertitudes relatives à cette catégorie d'impact.

8.2.5 Éco-toxicité d'eau douce et éco-toxicité d'eau de mer

Comme les résultats sont similaires pour ces deux catégories d'impact, l'analyse de celles-ci est réalisée simultanément dans cette section.

Ces catégories concernent les impacts de substances toxiques sur des écosystèmes aquatiques et marins respectivement. Pour des raisons identiques à celles évoquées pour la toxicité humaine, il faut un ordre de grandeur de différence entre deux scénarios pour affirmer avec certitude qu'un est meilleur que l'autre [32]. Les considérations développées par la suite sont énoncées en tenant compte de cette remarque.

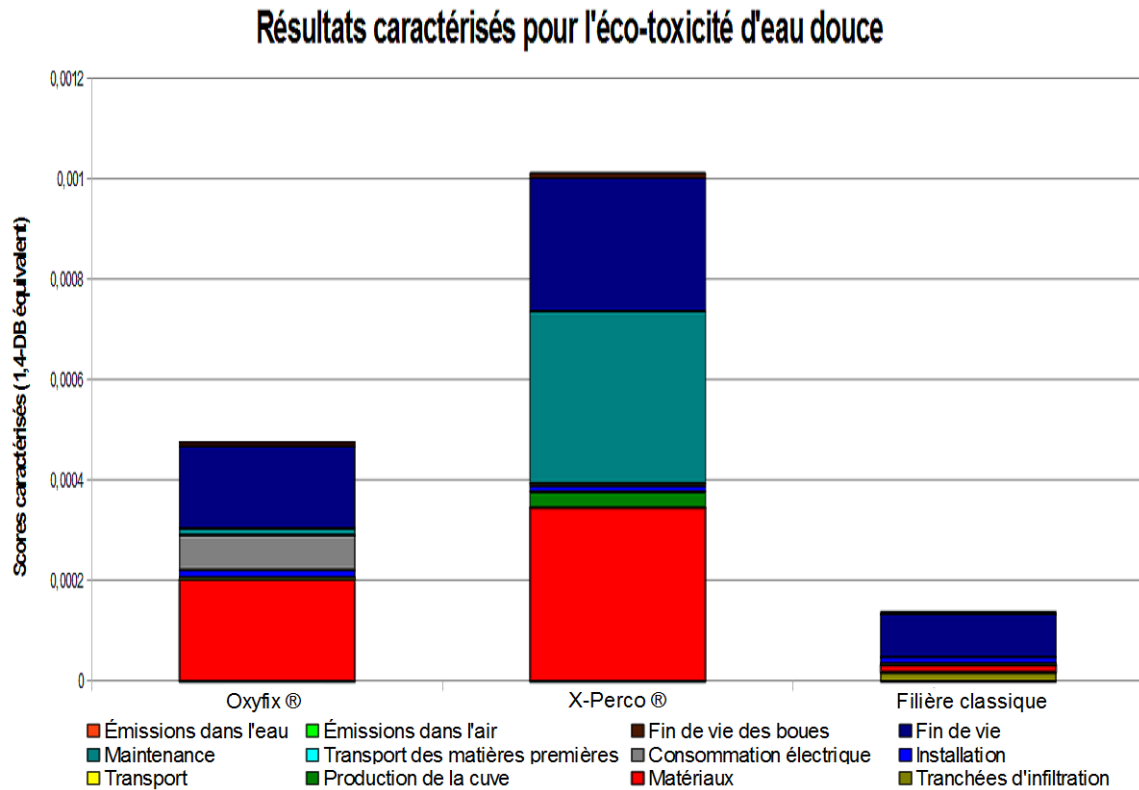


FIGURE 8.8 – Comparaison des trois systèmes pour l'éco-toxicité d'eau douce
1L d'eau traitée

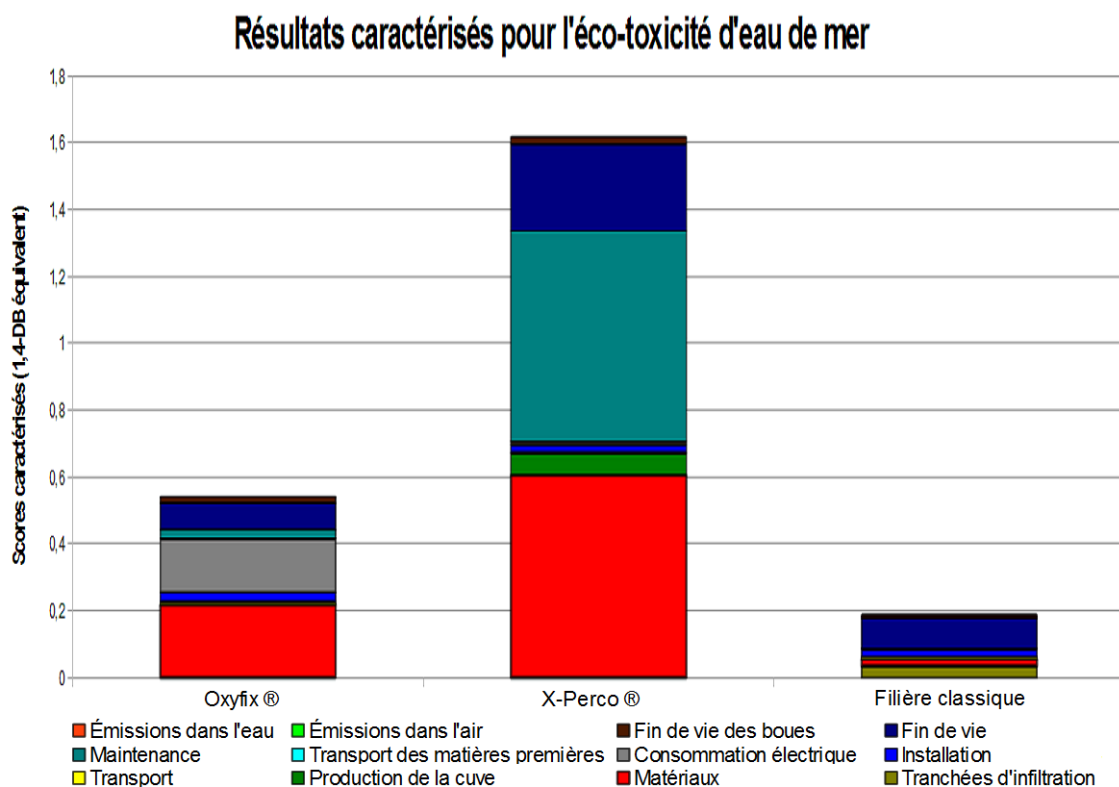


FIGURE 8.9 – Comparaison des trois systèmes pour l'éco-toxicité d'eau de mer
1L d'eau traitée

Nous pouvons remarquer sur les Figures 8.8 et 8.9 que le système le moins favorable au niveau des éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer est l'X-Perco® devant l'Oxyfix® et la filière classique.

Ici aussi, un certain nombre d'étapes ont une contribution très faible voir nulle aux éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer. Il s'agit ici des émissions dans l'air (en vert clair) et dans l'eau (en orange), de la fin de vie des boues (en brun), du transport des matières premières (en turquoise clair) et du transport des systèmes vers leur lieu d'utilisation (en jaune). La contribution de ces étapes sur les deux catégories d'impact envisagées ici n'est donc pas explicitée par la suite.

L'installation (en bleu clair) a, ici aussi, une contribution semblable pour chacun des trois systèmes car les matériaux et les processus employés lors de cette étape sont identiques et utilisés dans des quantités similaires. Cette installation n'a qu'une responsabilité mineure sur les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer engendrées par les trois systèmes. En effet, elle contribue à 2,9%, 1,1% et 8,4% des impacts engendrés respectivement par l'Oxyfix®, l'X-Perco® et la filière traditionnelle sur l'éco-toxicité d'eau douce et à 5,1%, 1,4% et 12,3% des impacts engendrés respectivement par l'Oxyfix®, l'X-Perco® et la filière traditionnelle sur l'éco-toxicité d'eau de mer.

Les différences se marquent, par contre, davantage pour les autres étapes à savoir les matériaux utilisés (en rouge), l'utilisation d'électricité (en gris), la production de la cuve (en vert), la maintenance (en turquoise), la fin de vie du système (en bleu foncé), la fin de vie des boues (en brun) et les tranchées d'infiltration (en vert kaki).

Le xylit contribue à l'influence importante des matériaux (en rouge) de l'X-Perco® sur les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer à hauteur de 75 % et de 82% respectivement. Les augets sont quant à eux responsables de l'essentiel du reste de la contribution des matériaux de l'X-Perco® à ces catégories d'impact. Pour l'Oxyfix® dont la contribution des matériaux aux éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer est plus faible que pour l'X-Perco® de 41,1 et de 73,9% respectivement, l'essentiel de l'impact est causé par les parties en acier inoxydable à savoir les cloisons et le cône. La filière classique ne demande ni l'utilisation de parties en acier inoxydable ni de xylit. Il n'est donc pas surprenant que cette étape ait nettement moins d'influence sur les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer que pour les deux autres unités d'épuration individuelle. L'écart entre les contributions des matériaux de l'Oxyfix® et de l'X-Perco® est plus grand pour l'éco-toxicité d'eau de mer que pour l'éco-toxicité d'eau douce ce qui s'explique par la plus grande contribution de l'extraction du xylit par rapport aux parties en acier inoxydable dans le cas de l'éco-toxicité d'eau de mer.

Le renouvellement du xylit après une période de 12 ans engendre une grande contribution de la maintenance (en turquoise) sur les deux catégories d'impact envisagées dans cette section. Dans une moindre mesure, le remplacement des augets après une période de 15 ans contribue également à augmenter les impacts potentiels de l'X-Perco® sur les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer. Cette étape n'a par contre qu'une influence minime pour l'Oxyfix® et est nulle pour la filière classique.

Comme nous pouvons le voir sur les Figures 8.8 et 8.9, la fin de vie des boues (en brun) engendre une contribution différente à l'impact environnemental pour les systèmes envisagés vu la production variable de boues de ceux-ci. Cette fin de vie des boues n'a qu'une responsabilité mineure sur les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer engendrées par les trois systèmes. En effet, elle contribue à 1,7%, 0,9% et 3,2% des impacts engendrés respectivement par l'Oxyfix®, l'X-Perco® et la filière traditionnelle sur l'éco-toxicité d'eau douce et à 3,3%, 1,3% et 4,7% des impacts engendrés respectivement par l'Oxyfix®, l'X-Perco® et la filière traditionnelle sur l'éco-toxicité d'eau de mer.

Bien que relativement faible en regard de la contribution des autres étapes, la production de la cuve (en vert) en PE de l'X-Perco® a une contribution plus importante que celle des cuves en béton de la fosse septique et de l'Oxyfix® sur les deux catégories d'impact considérées dans cette section.

Comme pour la toxicité humaine, la fin de vie des différents systèmes (en bleu foncé) a également une contribution significative sur les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer. La cause de ces contributions significatives est identique à ce qui a été exposé pour la toxicité humaine. Cette étape de fin de vie contribue davantage à l'éco-toxicité d'eau douce qu'à l'éco-toxicité d'eau de mer.

L'utilisation d'électricité (en gris) pour l'Oxyfix® engendre des impacts non négligeables sur les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer en raison de la production d'électricité par le charbon ou le nucléaire. La consommation électrique nécessaire au cours de la vie de l'X-Perco® est beaucoup plus faible car elle n'est utilisée que pour le relevage ; ce qui explique que cette étape n'est pas visible sur les Figures 8.8 et 8.9. Aucune consommation électrique n'est nécessaire pour la filière classique qui n'a donc aucune influence sur les catégories d'impact considérées.

Enfin, ici aussi, les tranchées d'infiltration de la filière traditionnelle (en verre kaki) ont une contribution non négligeable sur les éco-toxicité d'eau douce et d'eau de mer en raison notamment de l'extraction des graviers. En effet, ces tranchées d'infiltration sont responsables de 13,2 et 18,5% des impacts potentiels sur les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer respectivement.

Résumé

En résumé, l'X-Perco® est le système le moins intéressant au niveau des éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer en raison, principalement, des impacts potentiels liés à l'extraction du xylit. Dans une moindre mesure, la réalisation des augets et les lixiviats résultant de la fin de vie de ce filtre compact contribuent aux impacts sur l'éco-toxicité d'eau douce et d'eau de mer. Il faut néanmoins rappeler que ces lixiviats sont modélisés à partir des données des centres d'enfouissement techniques ce qui surestime probablement les impacts potentiels engendrés par ceux-ci. Pour l'Oxyfix®, ce sont les parties en acier inoxydable, la consommation électrique nécessaire pour faire fonctionner le surpresseur et les lixiviats résultant de la fin de vie de l'Oxyfix® qui contribuent en majeure partie aux impacts potentiels sur les deux catégories envisagées ici. La filière traditionnelle est meilleure que les deux unités d'épuration individuelle précédemment évoquées pour les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer. En effet, ce sont principalement les lixiviats dans les sols résultant

de la fin de vie du système qui engendrent des impacts potentiels. Cependant, il n'y a pas un ordre de grandeur entre les scénarios proposés. Ces résultats sont donc émis malgré les incertitudes existant sur ces catégories d'impact.

8.2.6 Éco-toxicité terrestre

Cette catégorie concerne les impacts de substances toxiques sur des écosystèmes terrestres. Pour des raisons identiques à celles évoquées pour la toxicité humaine, il faut un ordre de grandeur de différence entre deux scénarios pour affirmer avec certitude qu'un scénario est meilleur qu'un autre au niveau de cette catégorie d'impact [32]. Les considérations développées par la suite sont ici aussi énoncées en tenant compte de cette remarque.

Nous pouvons remarquer sur la Figure 8.10 que le système ayant le plus grand impact potentiel au niveau de l'éco-toxicité terrestre est l'Oxyfix®. L'X-Perco® a lui un impact potentiel supérieur à celui de la filière traditionnelle.

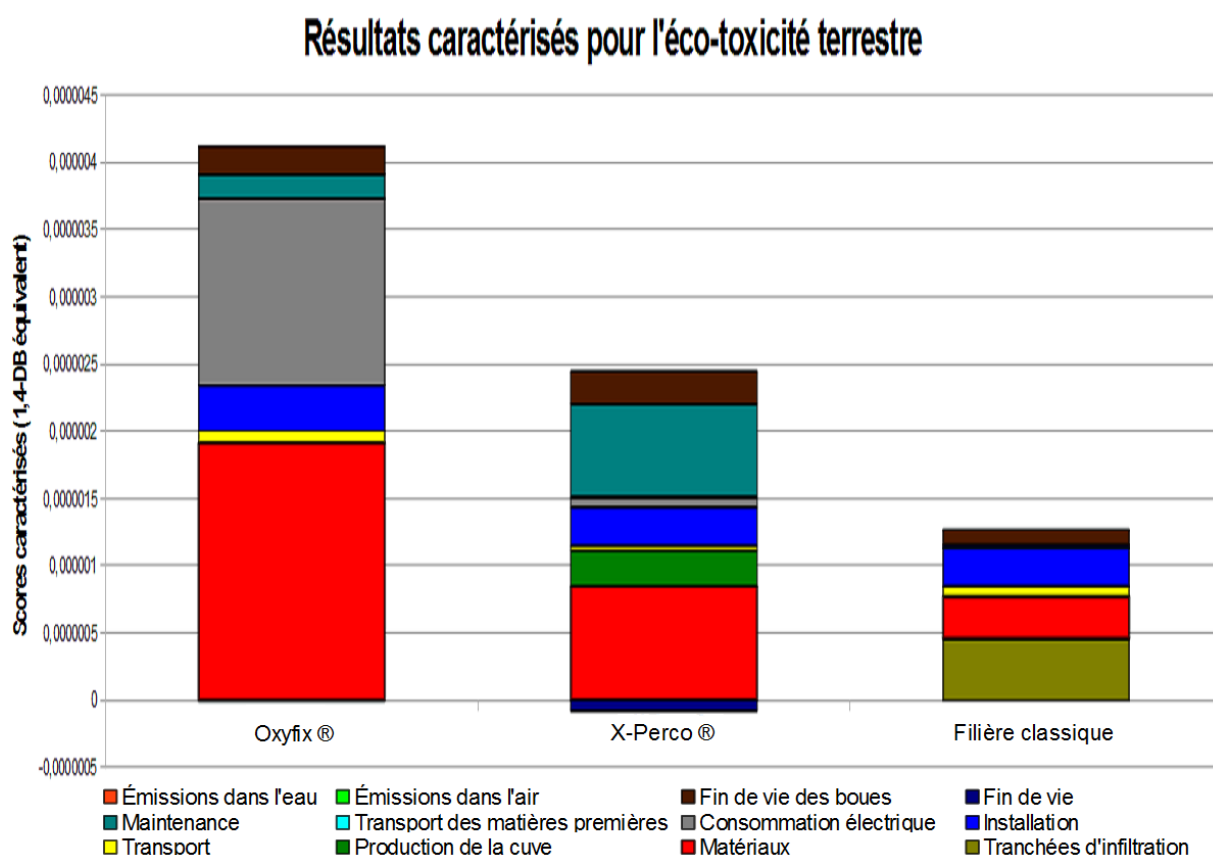


FIGURE 8.10 – Comparaison des trois systèmes pour l'éco-toxicité terrestre - 1L d'eau traitée

Pour cette catégorie d'impact, des conclusions similaires à celles qui viennent d'être tirées pour les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer peuvent être dressées pour toutes les étapes du cycle de vie à l'exception des matériaux utilisés (en rouge) et de la fin de vie des systèmes (en bleu foncé).

Au niveau des matériaux utilisés (en rouge), ce sont ceux nécessaires à la mise au point de l'Oxyfix® qui ont le plus gros impact potentiel sur l'éco-toxicité terrestre (en rouge).

Bien que les matériaux nécessaires à la réalisation de la cuve représentent 17% de l'impact potentiel sur l'éco-toxicité terrestre liée aux matériaux utilisés pour l'Oxyfix®, la majeure partie de cet impact est causée par la réalisation des cloisons et du cône en acier inoxydable. Ce sont les augets qui ont la plus grande responsabilité dans l'impact potentiel engendré par les matériaux nécessaires à la mise au point de l'X-Perco® sur l'éco-toxicité terrestre. La filière classique ne demande pas l'emploi d'acier inoxydable. Il n'est donc pas surprenant que cette étape ait nettement moins d'influence sur l'éco-toxicité terrestre que l'X-Perco® et l'Oxyfix®.

La fin de vie de l'Oxyfix® (en bleu foncé) et celle de la filière traditionnelle ont des impacts négligeables sur l'éco-toxicité terrestre. A contrario, la fin de vie de l'X-Perco® a une contribution négative sur l'éco-toxicité terrestre grâce à la valorisation énergétique du xylit. Cependant, cette contribution négative demeure relativement faible.

Résumé

En résumé, l'Oxyfix® est le système le moins intéressant au niveau de l'éco-toxicité terrestre en grande partie à cause des cloisons et du cône en acier inoxydable nécessaires à sa mise au point. L'utilisation d'électricité nécessaire au fonctionnement du surpresseur Secoh contribue aussi grandement à l'éco-toxicité terrestre. Les étapes d'installation, de maintenance et de fin de vie des boues ont également une part non négligeable dans les impacts potentiels de l'Oxyfix® sur l'éco-toxicité terrestre. Pour l'X-Perco®, les impacts potentiels sur l'éco-toxicité terrestre sont moindres et résultent en grande partie de la fabrication des augets et le remplacement de ceux-ci. L'extraction du xylit utilisé comme média filtrant ainsi que les étapes d'installation, de production de la cuve et de fin de vie des boues engendrent également des impacts potentiels sur l'éco-toxicité terrestre. Pour la filière classique, les matériaux utilisés ainsi que les étapes d'installation et de réalisation des tranchées d'infiltration contribuent aux impacts potentiels sur l'éco-toxicité terrestre. Cependant, il n'y a pas un ordre de grandeur entre les différents scénarios proposés. Ces résultats sont donc émis malgré les incertitudes sur l'éco-toxicité terrestre.

8.3 Récapitulatif des résultats obtenus

Pour certaines étapes, des conclusions similaires peuvent être tirées pour chaque catégorie d'impact envisagée. Il s'agit :

- du transport des différents constituants chez Eloy Water. Ce transport est toujours négligeable vis-à-vis des autres étapes quelque soit l'unité d'épuration individuelle considérée.
- de la consommation énergétique nécessaire à la fabrication de la cuve et à l'assemblage des différentes parties. Cette étape de production de la cuve n'apporte une réelle contribution aux différentes catégories d'impact que pour l'X-Perco® vu la réalisation de celle-ci par rotomoulage. Dans ce cas, elle peut représenter jusqu'à 10 % de l'impact pour l'éco-toxicité terrestre.
- du transport des systèmes d'épuration individuelle jusqu'à leur lieu de mise en service. Celui-ci n'a souvent qu'une importance mineure sur les impacts potentiels engendrés par les différentes unités d'épuration individuelle. Les trajets considérés sont les mêmes pour les trois systèmes envisagés et donc la différence se fait au niveau du poids transporté. Celui-ci est légèrement plus faible pour la fosse septique que pour

l'Oxyfix®. Ces deux systèmes sont par contre nettement plus lourds que l'X-Perco®. En effet, les poids respectifs de l'Oxyfix®, de l'X-Perco® et de la fosse septique sont de 2890, 1170 et 2356 kg.

- de l'installation. Cette étape a toujours une contribution semblable pour chacun des trois systèmes car les matériaux et les processus employés lors de cette étape sont identiques et utilisés dans des quantités similaires. Elle peut représenter jusqu'à 10 à 15% de certains impacts potentiels pour l'Oxyfix® et l'X-Perco®. C'est le cas pour l'épuisement des ressources abiotiques, le réchauffement climatique et l'éco-toxicité terrestre. Pour la filière classique, l'installation représente respectivement 22 et 25% de l'impact potentiel sur l'éco-toxicité terrestre et sur l'épuisement des ressources abiotiques.
- de l'électricité consommée par les systèmes d'épuration individuelle au cours de leur fonctionnement. Pour la filière classique, cette étape n'engendre aucun impact potentiel sur les différentes catégories envisagées puisque cette unité d'épuration individuelle ne nécessite aucune consommation électrique au cours de son utilisation. Pour l'X-Perco®, la contribution de cette étape aux différents impacts environnementaux est relativement peu élevée vu la faible consommation électrique demandée par le relevage des eaux. A contrario, la consommation d'électricité lors de l'utilisation de l'Oxyfix® constitue une contribution majeure aux différentes catégories d'impact considérées puisqu'elle représente entre 10 et 40 % des impacts potentiels pour les différentes catégories à l'exception de l'eutrophisation.
- des rejets dans l'air issus de la ventilation. Comme cela est expliqué au paragraphe 7.2.2.9, les rejets dans l'air sont considérés identiques pour les trois unités d'épuration individuelle envisagées. Cette étape contribue donc de la même façon pour les trois systèmes aux impacts potentiels sur les catégories auxquelles les émissions dans l'air contribuent à savoir le réchauffement climatique, l'oxydation photochimique et dans une moindre mesure la toxicité humaine.
- des rejets dans l'eau. Ces rejets n'engendrent des impacts potentiels que sur l'eutrophisation. Ceux-ci sont d'autant plus importants que les performances épuratoires du système envisagé sont faibles. Les impacts potentiels sur l'eutrophisation par ordre décroissant sont donc engendrés par l'eau non traitée, la filière classique, l'X-Perco® et l'Oxyfix®.
- de la fin de vie des boues d'épuration. La différence entre les contributions de cette étape pour les trois systèmes envisagés résulte de la production variable de boues selon le type d'unité d'épuration individuelle envisagé. Cette étape a une contribution négative vis-à-vis de l'eutrophisation en raison de la valorisation des boues en épandage.

Pour d'autres étapes, il est plus difficile de tirer des conclusions générales. Il s'agit :

- de la fabrication et la mise en forme des différents composants des systèmes d'épuration individuelle. En fonction des catégories d'impact, certains processus et matériaux ont plus d'importance que d'autres. Pour l'Oxyfix®, il s'agit généralement des parties en acier inoxydable à savoir les cloisons et le cône. Il arrive également que la cuve en béton contribue de façon significative aux différentes catégories d'impact envisagées. Pour l'X-Perco®, selon les catégories d'impacts, ce sont les augets en acier inoxydable, l'extraction du xylit ou le PE nécessaire à la réalisation de la cuve qui contribuent à l'essentiel de l'impact. Au niveau de la fosse septique, ce sont la cuve en béton ou les trappillons et rehausses qui sont responsables de la majeure partie des impacts potentiels sur l'environnement. Il est donc extrêmement difficile de tirer

des conclusions générales pour cette étape. Celles-ci doivent être tirées au cas par cas.

- de la maintenance. Comme pour la fabrication et la mise à forme des différents composants des systèmes d'épuration individuelle, en fonction des catégories d'impact, certains processus ont plus d'importance que d'autres. Pour l'Oxyfix®, les impacts potentiels ont des origines diverses et donc des importances relatives variables en fonction des catégories d'impact considérées. Ces processus sont principalement le remplacement du surpresseur et des membranes ainsi que le transport lié au déplacement du technicien. Cette étape contribue aux différents impacts environnementaux envisagés à hauteur de 5-10%. Pour l'X-Perco®, les remplacements du xylit et des augets ainsi que le transport du technicien réalisant la maintenance contribuent majoritairement à l'impact environnemental. La maintenance de ce filtre compact représente en général entre 10 et 35% de la contribution globale aux différents impacts environnementaux potentiels. La filière classique ne demande pour sa part aucune maintenance et ne contribue donc pas aux différents impacts environnementaux. Les conclusions quant aux importances relatives de ces processus doivent également être tirées au cas par cas vu la diversité des processus à prendre en compte et de leur importance relative.
- de la fin de vie des composants des systèmes d'épuration individuelle. Cette étape contribue de façon négligeable à toutes les catégories d'impact à l'exception de la toxicité humaine et des éco-toxicités. Néanmoins, comme cela a été évoqué précédemment, il faut garder à l'esprit qu'un ordre de grandeur de différence est nécessaire afin de pouvoir distinguer les étapes les plus impactantes pour ces catégories d'impact. Ce qui suit est donc évoqué sous réserve de cette remarque. Ce sont les lixiviats résultant du fait de laisser des éléments en terre qui sont principalement responsables des impacts potentiels liés à cette étape. Ces éléments sont le ciment nécessaire à la réalisation du sable, les tuyaux PVC ainsi que les rehausses, les trappillons et la chambre de répartition en PE pour l'Oxyfix® et la filière traditionnelle. Pour l'X-Perco®, il s'agit principalement de la cuve en polyéthylène et dans une moindre mesure du ciment nécessaire pour la fabrication du sable stabilisé et des tuyaux PVC.

Le tableau 8.1 constitue un résumé des étapes importantes pour chaque catégorie d'impact. Elles sont classées en fonction de la contribution de l'étape pour le système concerné. Si la pourcentage de la contribution de l'étape est compris entre 3 et 10%, l'étape est indiquée par le signe +. S'il est compris entre 10 et 30%, l'étape est indiquée par les signes ++, entre 30 et 50% par les signes +++. S'il est supérieur à 50%, l'étape est indiquée par les signes +++. Pour les pourcentages négatifs, des signes - sont utilisés à la place des signes +.

Tableau 8.1 – Tableau récapitulatif des étapes importantes

	Oxyfix®	X-Perco®	Filière traditionnelle
Utilisation des ressources abiotiques	Consommation électrique +++ Matériaux utilisés ++ Installation ++ Fin de vie des boues ++ Maintenance + Transport du système +	Matériaux utilisés +++ Maintenance ++ Fin de vie des boues + Installation + Production de la cuve +	Tranchées d'infiltration +++ Installation ++ Matériaux utilisés ++ Fin de vie des boues ++ Transport des systèmes +
Eutrophisation	Émissions dans l'eau ++++ Fin de vie des boues - -	Émissions dans l'eau ++++ Maintenance + Matériaux utilisés + Fin de vie des boues - - -	Émissions dans l'eau ++++ Fin de vie des boues - -
Réchauffement climatique	Émissions dans l'air +++ Consommation électrique ++ Matériaux utilisés ++ Installation ++ Fin de vie des boues + Maintenance + Transport du système +	Émissions dans l'air ++++ Matériaux utilisés ++ Installation ++ Fin de vie des boues ++ Maintenance + Production de la cuve +	Émissions dans l'air ++++ Tranchées d'infiltration ++ Installation ++ Matériaux utilisés + Fin de vie des boues + Transport du système +
Toxicité humaine	Matériaux utilisés ++++ Consommation électrique ++ Maintenance + Fin de vie des boues +	Matériaux utilisés +++ Maintenance +++ Fin de vie du système + Fin de vie des boues +	Tranchées d'infiltration ++ Matériaux utilisés ++ Fin de vie du système ++ Installation ++ Fin de vie des boues + Transport du système +
Éco-toxicité d'eau douce	Matériaux utilisés +++ Fin de vie du système +++ Consommation d'électricité ++	Matériaux utilisés +++ Maintenance +++ Fin de vie du système ++ Production de la cuve +	Fin de vie du système ++++ Tranchées d'infiltration ++ Matériaux utilisés ++ Installation du système + Fin de vie des boues +
Éco-toxicité d'eau de mer	Matériaux utilisés +++ Consommation d'électricité ++ Fin de vie du système ++ Installation + Maintenance + Fin de vie des boues +	Maintenance +++ Matériaux utilisés +++ Fin de vie du système ++ Production de la cuve +	Fin de vie du système +++ Tranchées d'infiltration ++ Installation ++ Matériaux utilisés ++ Fin de vie des boues + Transport du système +
Éco-toxicité terrestre	Matériaux utilisés +++ Consommation d'électricité +++ Installation + Fin de vie des boues + Maintenance +	Matériaux utilisés +++ Maintenance ++ Installation ++ Production de la cuve ++ Fin de vie des boues ++ Fin de vie du système -	Tranchées d'infiltration +++ Matériaux utilisés ++ Installation ++ Fin de vie des boues + Transport du système +

Chapitre 9

Analyses de sensibilité

9.1 Sensibilité des systèmes

9.1.1 Mise à forme de la cuve de l'X-Perco®

Comme expliqué au point 7.2.2.4, la cuve de l'X-Perco® est réalisée par rotomoulage. Cependant, aucune base de données générique n'est disponible dans SimaPro7.3.3 et aucune donnée valable n'a pu être obtenue de la part du fournisseur. Vu les informations fournies par Tcharkhtchi, "les récents développements ont conduit les concepteurs à considérer cette technologie (ndlr : le rotomoulage) comme une alternative à l'extrusion-soufflage", la cuve est donc considérée comme réalisée par extrusion-soufflage dans notre cas de base. Néanmoins, il a été montré que le rotomoulage nécessite une consommation d'énergie moindre ainsi qu'une manutention du moule, une main d'oeuvre et une surface au sol occupée plus faibles que l'extrusion-soufflage. De surcroît, toute perte de matière est évitée car le dosage de la matière se fait par gravité et le remplissage est réalisé en moule fermé. Vu ces considérations, il semble que les impacts liés à la mise à forme de la cuve soient surestimés en utilisant l'extrusion-soufflage à la place du rotomoulage. Une analyse de sensibilité est donc effectuée dans cette section afin de déterminer quels sont les effets sur les impacts potentiels en considérant une consommation de $3,19 \frac{MJ}{kg_{produit}}$ de gaz à la place de la base de données relative à l'extrusion-soufflage considérée comme technique de mise à forme. Cette valeur de $3,19 \frac{MJ}{kg_{produit}}$ est issue de la littérature [49], [50], [51] et [52].

La Figure 9.1 présente les impacts potentiels sur l'environnement liés à la mise à forme de la cuve en PE de l'X-Perco® par les deux modélisations envisagées à ce stade. Les différences entre les deux scénarios sont très importantes. En effet, lorsque la mise à forme de la cuve considère uniquement le gaz consommé, les impacts potentiels sur l'environnement représentent moins de 20% de ceux liés à la mise à forme de la cuve par extrusion-soufflage pour toutes les catégories d'impact envisagées dans cette étude. Alors que l'extrusion-soufflage, comme cela vient d'être expliqué, semble surestimer les impacts potentiels sur l'environnement, il semblerait également que la modélisation de la mise à forme de la cuve en ne tenant compte que de l'utilisation de gaz sous-estime les impacts potentiels sur l'environnement. En effet, elle ne tient compte que de l'énergie thermique nécessaire au rotomoulage. Des étapes telles que l'électricité nécessaire pour le soufflage et l'utilisation du moule ne sont notamment pas prises en compte par cette dernière méthode.

Le scénario réel se trouve probablement entre les deux cas envisagés lors de cette analyse de sensibilité. Néanmoins l'évaluation des deux cas "limites" permet d'obtenir des inter-

valles de valeurs possibles. Par souci de précaution, le cas le plus défavorable est donc pris en compte comme cas de référence.

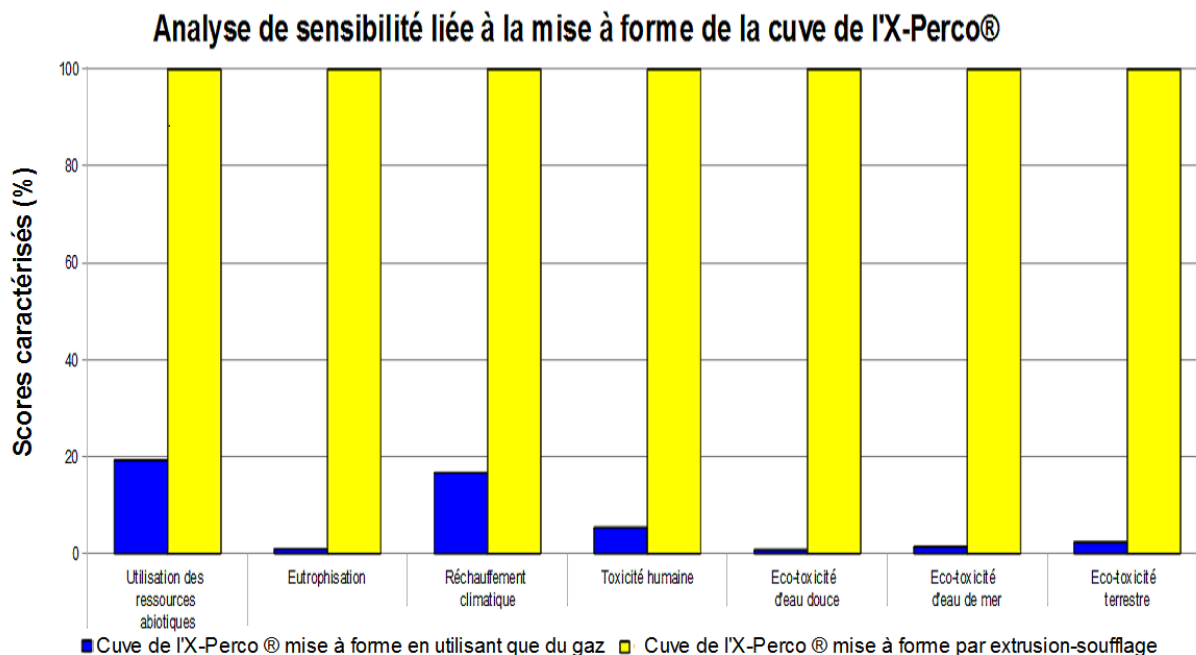


FIGURE 9.1 – Résultats caractérisés pour l'analyse de sensibilité liée à la mise à forme de la cuve de l'X-Perco® - 1 cuve en PE

Afin de montrer cet intervalle de valeurs possibles, la Figure 9.2 exprime les impacts potentiels engendrés par l'X-Perco® en considérant que la mise à forme de la cuve consomme uniquement du gaz. Les résultats obtenus pour l'Oxyfix® et la filière traditionnelle ainsi que le cas de référence pour l'X-Perco® sont également conservés sur cette figure.

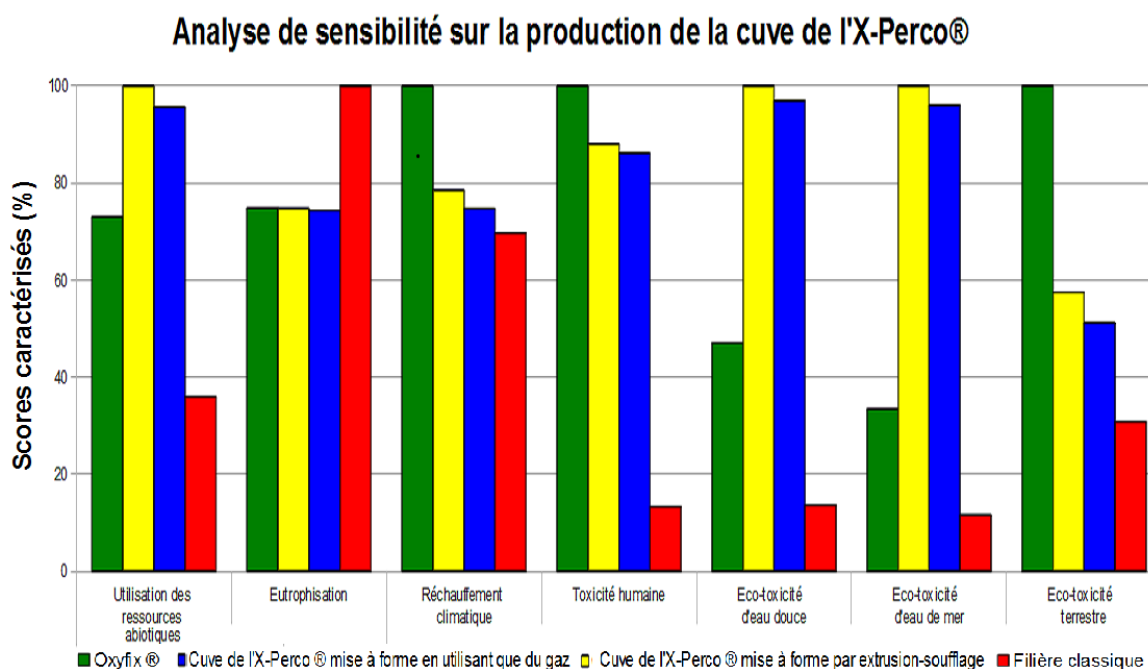


FIGURE 9.2 – Résultats caractérisés pour l'analyse de sensibilité liée à la mise à forme de la cuve de l'X-Perco® - 1L d'eau traitée

Cette figure montre que les impacts potentiels diminuent pour toutes les catégories d'impact et ce d'autant plus que l'importance de la mise à forme de la cuve est grande pour l'X-Perco® dans le cas de référence. Cette diminution est comprise entre 2 et 5% pour toutes les catégories d'impact considérées dans cette étude à l'exception de l'eutrophisation et de l'éco-toxicité terrestre où elle vaut respectivement 0,6 et 10,1%. Cette faible diminution résulte du fait que la production de la cuve n'a qu'une incidence mineure sur les différentes catégories d'impact envisagées. En effet, vu la différence entre les deux scénarios de mise à forme de la cuve, cette étape devient marginale par rapport aux autres étapes lorsque l'on considère que la mise à forme de la cuve ne demande l'utilisation que de gaz. Les résultats caractérisés obtenus pour l'X-Perco®, présentés à l'Annexe Q.1, montrent bien que l'étape de mise à forme de la cuve en polyéthylène diminue fort pour toutes les catégories d'impact.

Les résultats du corps du travail sont valables et robustes vis-à-vis de la mise à forme de la cuve en polyéthylène de l'X-Perco® puisque, comme nous pouvons le voir sur la Figure 9.2, la façon de modéliser cette étape n'engendre pas de modification de la hiérarchie des systèmes.

9.1.2 Allocation pour le xylit

Comme cela a été vu au paragraphe 7.2.2.1, le filtre compact X-Perco® utilise le xylit comme média filtrant. Aucune base de données ne correspondant au xylit dans SimaPro7.3.3, la base de données "lignite" est utilisée pour représenter celui-ci. Néanmoins, un facteur correctif doit être appliqué afin d'évaluer les impacts environnementaux spécifiques à ce xylit. Une allocation est ainsi réalisée. Elle peut être de trois types : massique, économique et énergétique. Dans le cas de base, c'est l'allocation économique qui est prise en compte dans cette étude. Dans cette section, les allocations massique et énergétique sont utilisées afin de réaliser une analyse de sensibilité.

Pour rappel, les quantités de lignite ramenées à l'unité fonctionnelle ont été calculées à l'Annexe B. Elles sont reprises dans le Tableau 9.1.

Tableau 9.1 – Calcul des quantités de lignite nécessaires pour modéliser le xylit par les allocations massique, énergétique et économique - 1L d'eau traitée

	Quantité de lignite ramenée à l'unité fonctionnelle
Par l'allocation massique	$1,168.10^{-4}$
Par l'allocation énergétique	$1,432.10^{-4}$
Par l'allocation économique	$2,425.10^{-4}$

La Figure 9.3 présente les résultats obtenus pour les trois types d'allocations et les compare aux résultats obtenus pour l'Oxyfix® et la filière classique. Vu les quantités de lignite ramenées à l'unité fonctionnelle, il n'est pas surprenant de voir que les impacts potentiels sont moindres par l'allocation massique que par l'allocation énergétique. Ces impacts potentiels sont inférieurs à ceux obtenus par l'allocation économique qui reste l'allocation la plus logique car elle tient compte du marché. Néanmoins, lorsqu'une allocation économique est réalisée, celle-ci dépend des prix actuels et est donc variable dans le temps.

La différence entre les trois impacts potentiels pour les différentes allocations considérées est d'autant plus grande que la part du xylit est importante sur l'impact considéré.

En effet, la Figure 9.3 montre que les différences par rapport au cas de référence sont surtout marquées pour l'utilisation des ressources abiotiques, l'éco-toxicité d'eau douce et l'éco-toxicité d'eau de mer où elles atteignent respectivement 18,5%, 21,9% et 27,5% pour l'allocation énergétique et 23,4%, 27,7% et 34,9% pour l'allocation massique. Au niveau de l'eutrophisation, de l'éco-toxicité terrestre et de la toxicité humaine, ces différences sont un peu plus faibles puisqu'elles atteignent respectivement 4,6%, 4,7% et 8,7% pour l'allocation énergétique et 5,8%, 6% et 11 % pour l'allocation massique. Pour le réchauffement climatique, par contre, la différence avec le cas de référence n'est que de 0,4% pour l'allocation énergétique et de 0,5% pour l'allocation massique.

Le xylit est utilisé lors de l'étape de fabrication et de mise à forme des différents composants mais aussi lors de la maintenance en raison du remplacement du xylit après une période estimée à 12 ans. C'est donc ces deux étapes qui vont diminuer en importance lors de la caractérisation. Les résultats obtenus par cette caractérisation, ramenés en pourcentages, sont présentés à l'Annexe Q.2.

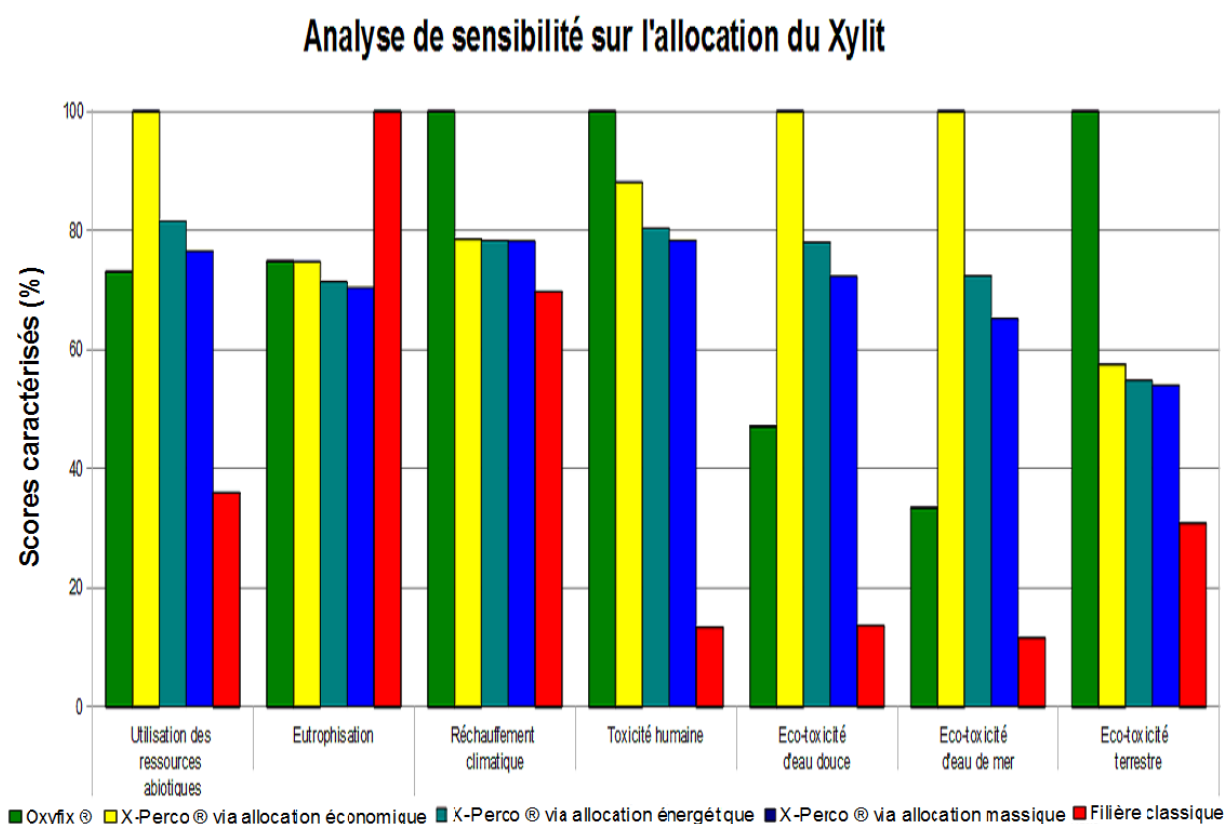


FIGURE 9.3 – Résultats caractérisés avec les trois allocations pour le xylit
1L d'eau traitée

À ce stade, il faut préciser que l'utilisation des allocations énergétique et massique à la place de l'allocation économique, ne permet pas à l'X-Perco® de devenir meilleure que l'Oxyfix® et la filière traditionnelle pour une seule catégorie d'impact. Néanmoins, l'écart diminue très fort pour les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer ainsi que pour l'utilisation des ressources abiotiques. Dans ce dernier cas, l'écart entre les impacts potentiels engendrés par l'X-Perco® et l'Oxyfix® devient même très faible. Pour la toxicité humaine, l'éco-toxicité terrestre et l'eutrophisation, l'écart entre les impacts potentiels engendrés par l'X-Perco® et l'Oxyfix® augmente légèrement lorsque l'allocation énergétique ou l'allocation massique est utilisée à la place de l'allocation économique mais on reste très en-dessous

des incertitudes sur ces catégories d'impact. Enfin, au niveau du réchauffement climatique, l'allocation choisie influence de manière négligeable les résultats obtenus.

9.1.3 Sensibilité de la méthode

Dans cette section, l'objectif est de voir comment évoluent les résultats en fonction de la méthode de caractérisation utilisée pour évaluer les impacts environnementaux. Les deux méthodes employées ici, en plus de CML2 Baseline 2000, sont Impact 2002 + et ReCiPe MidPoint en perspective hiérarchiste.

Les résultats caractérisés obtenus à l'aide des méthodes Impact 2002 + et ReCiPe Midpoint en perspective hiérarchiste sont présentés respectivement aux Figures 9.4 et 9.5¹⁶

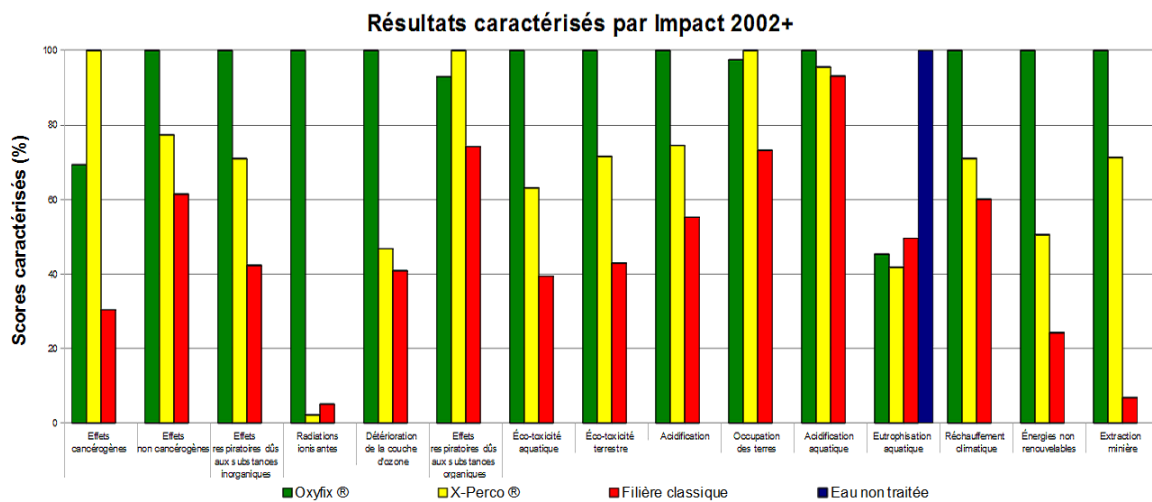


FIGURE 9.4 – Résultats caractérisés par Impact 2002+ - 1L d'eau traitée

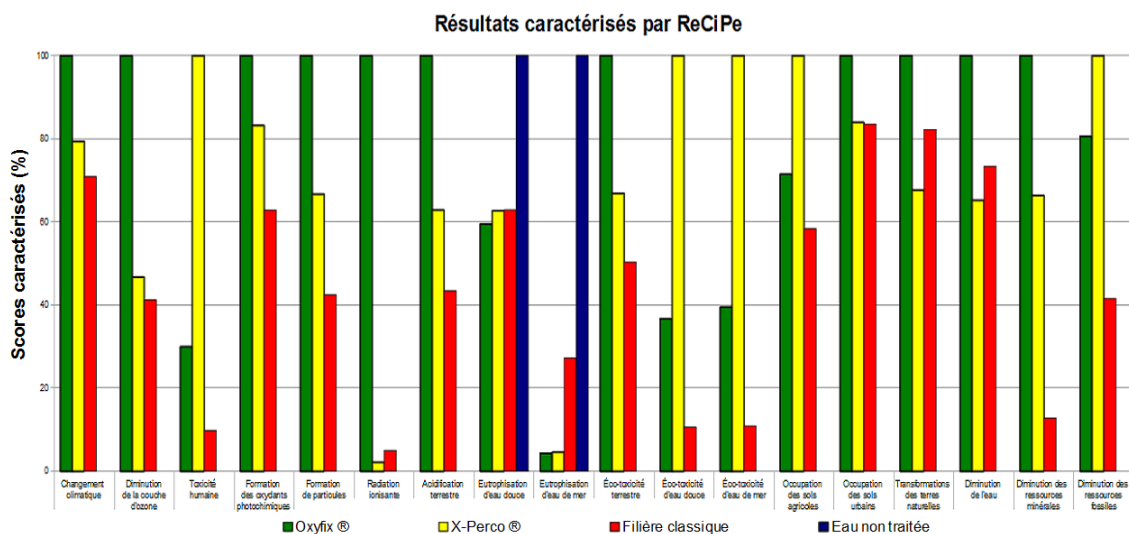


FIGURE 9.5 – Résultats caractérisés par ReCiPe MidPoint en perspective hiérarchiste 1L d'eau traitée

16. Des versions agrandies de ces images sont présentes respectivement aux Figures Q.37 et Q.38 de l'Annexe Q.3.2.

9.1.3.1 Résultats obtenus pour les trois méthodes

Dans le cadre de cette analyse de sensibilité, nous n'allons nous intéresser qu'aux catégories d'impact développées pour la méthode CML2 Baseline 2000.

Utilisation des ressources abiotiques

L'utilisation des ressources abiotiques est scindée en deux parties pour la méthode Impact 2002+ à savoir les énergies non renouvelables et l'extraction minière. Pour ces deux catégories d'impact, l'Oxyfix® est le système le plus impactant devant l'X-Perco® et la filière classique. Les résultats sont donc différents de ceux qui étaient obtenus par la méthode CML2 Baseline 2000 où l'X-perco® était le système le plus impactant devant l'Oxyfix® et la filière classique.

L'utilisation des ressources abiotiques est également scindée en deux parties lorsque la méthode de caractérisation envisagée est ReCiPe MidPoint. Les deux nouvelles catégories d'impact sont nommées "diminution des ressources fossiles" et "diminution des ressources minérales". A l'aide de cette méthode ReCiPe MidPoint en perspective hiérarchiste, il semblerait que l'X-Perco® soit le système le plus impactant pour la diminution des ressources fossiles alors que l'Oxyfix® l'est pour la diminution des ressources minérales. La filière classique reste quant à elle toujours le scénario le moins impactant pour ses deux catégories d'impact.

En raison des résultats variables obtenus en changeant la méthode de caractérisation, il est difficile de déterminer quel scénario est le plus impactant entre l'X-Perco® et l'Oxyfix® pour l'utilisation des ressources abiotiques. La filière classique reste en tout cas le scénario le moins impactant.

Eutrophisation

En comparant les résultats obtenus en utilisant les méthodes Impact 2002+ et CML2 Baseline 2000 pour l'eutrophisation, on remarque que l'eau non traitée constitue le scénario le plus impactant devant la filière classique. Néanmoins, l'écart entre les impacts potentiels des différents systèmes est plus faible par Impact 2002+ que par CML2 Baseline 2000. Par la méthode Impact 2002+, il semblerait également que l'Oxyfix® ait un impact plus important sur l'eutrophisation que l'X-Perco® alors qu'ils avaient des impacts potentiels quasiment identiques par CML2 Baseline 2000.

La méthode ReCiPe MidPoint subdivise la catégorie eutrophisation des méthodes CML2 Baseline 2000 et Impact 2002+ en eutrophisation d'eau douce et d'eau de mer. Pour ces deux catégories d'impact, le scénario le plus impactant est l'eau non traitée devant la filière classique, l'X-Perco® et l'Oxyfix®. Il faut également noter que les différences entre les scénarios sont nettement plus importantes pour l'eutrophisation de l'eau de mer que pour l'eutrophisation de l'eau douce. Néanmoins, du point de vue normalisation, comme le montre la Figure Q.36 à l'Annexe Q.3.2, l'eutrophisation de l'eau douce est nettement plus impactante que celle de l'eau de mer, ce qui resserrerait probablement les écarts s'il n'y avait qu'une seule catégorie d'impact.

En conclusion, au vu des résultats obtenus, il semblerait que l'eau non traitée soit le scénario le plus impactant au niveau de l'eutrophisation devant la filière classique. Il semble également difficile de discriminer quel système de l'X-Perco® et l'Oxyfix® est le plus impactant puisque, suivant la méthode utilisée, les conclusions diffèrent.

Pour ces méthodes d'évaluation, la DBO et la DCO ne sont pas prises en compte. En conséquence, les scénarios sont moins facilement discriminables sur leurs effluents.

Réchauffement climatique

Au niveau du réchauffement climatique, les conclusions sont analogues pour les trois méthodes de caractérisation envisagées. L'Oxyfix® est donc bien le système le plus impactant devant l'X-Perco® et la filière traditionnelle. Remarquons également que les différences entre les scénarios sont plus importantes en utilisant Impact 2002+ que ReCiPe Midpoint et CML2 Baseline 2000.

Toxicité humaine

La toxicité humaine est scindée en deux parties à savoir les effets cancérogènes et les effets non cancérogènes pour la méthode Impact 2002+. Pour ces deux catégories d'impact, les conclusions sont différentes. En effet, au niveau des effets cancérogènes, le scénario le plus impactant est l'X-Perco® devant l'Oxyfix® et la filière classique. A contrario, au niveau des effets non cancérogènes, le système le plus impactant est l'Oxyfix® devant l'X-Perco® et la filière classique. Lorsque l'on somme ces deux contributions en utilisant les valeurs normalisées, l'Oxyfix® et l'X-Perco® ont des impacts potentiels similaires.

Par la méthode ReCiPe MidPoint utilisée au point de vue hiérarchiste, le scénario le plus impactant sur la toxicité humaine est l'X-Perco® devant l'Oxyfix® et la filière classique ce qui diffère des résultats obtenus en utilisant la méthode CML2 Baseline 2000 où le système le plus impactant est l'Oxyfix® devant l'X-Perco® et la filière classique.

Vu les incertitudes liées à la toxicité humaine et vu la variabilité des résultats, il est impossible de déterminer quel scénario de l'Oxyfix® ou de l'X-Perco® a le plus grand impact potentiel sur la toxicité humaine. La filière classique, pour sa part, semble être le scénario le moins impactant.

Éco-toxicité d'eau douce et d'eau de mer

L'éco-toxicité d'eau douce et l'éco-toxicité d'eau de mer sont reprises dans la catégorie d'impact éco-toxicité aquatique pour la méthode Impact 2002+. Alors que par CML2 Baseline 2000 et ReCiPe MidPoint, l'X-Perco® est le système le plus impactant devant l'Oxyfix® et la filière classique, par la méthode Impact 2002+, le système le plus impactant est l'Oxyfix® devant l'X-Perco® et la filière classique.

Sur base des incertitudes et des remarques précédemment énoncées, il est donc impossible de discriminer l'Oxyfix® et l'X-Perco® pour ces catégories d'impact. La filière classique, pour sa part, semble être le scénario le moins impactant au niveau des éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer.

Éco-toxicité terrestre

Enfin, pour l'éco-toxicité terrestre, les conclusions sont analogues pour les trois méthodes même si les différences entre les scénarios sont moins importantes par Impact 2002+ et par ReCiPe MidPoint que par CML2 Baseline 2000.

Bien que les incertitudes soient supérieures aux différences entre les scénarios, la robustesse des résultats obtenus vis-à-vis de la méthode envisagée semble indiquer que le système le plus impactant sur cette catégorie d'impact est bien l'Oxyfix® suivi de l'X-Perco® et de la filière classique.

Chapitre 10

Écoconception de systèmes d'épuration individuelle

Ce chapitre, s'inscrivant dans la démarche d'écoconception, consiste en la proposition et l'évaluation de voies de développement permettant la réduction des impacts environnementaux liés au traitement des eaux usées.

Au vu des résultats précédemment obtenus, plusieurs hypothèses en vue de l'amélioration des performances environnementales ont donc été formulées. La première était d'utiliser de l'air frais à la place d'air surpressé pour la micro-station Oxyfix® ce qui aurait pour conséquence de diminuer les fardeaux environnementaux liés à la consommation d'électricité au cours du fonctionnement de ce système. Cependant, cette solution n'est pas réalisable du point de vue technique car l'alimentation en oxygène doit absolument se faire par la partie inférieure de la station. Il n'est donc pas possible d'utiliser de l'air frais en raison de la contre-pression.

Une autre solution envisagée afin d'améliorer les impacts environnementaux est de remplacer les cloisons en métal par des séparations en béton. La faisabilité technique de cette solution est actuellement en cours d'étude. Néanmoins, les données à disposition n'étant pas suffisantes pour étudier cette amélioration éventuelle, elle n'a pas été envisagée.

Une solution possible afin d'améliorer les performances environnementales de l'X-Perco® est de remplacer la cuve en polyéthylène par une cuve en béton. Cette possibilité, en cours d'étude par un groupe regroupant du personnel d'Eloy Water et d'Eloy Préfab, fait l'objet de la suite de ce chapitre.

10.1 Écoconception de la cuve de l'X-Perco®

10.1.1 Étapes prises en compte

Nous allons réaliser ici une mini-analyse du cycle de vie afin de comparer les impacts potentiels sur l'environnement de la cuve en béton et de la cuve en PE. Pour cela, un certain nombre d'étapes est pris en compte.

Pour la cuve en béton, il s'agit des matières premières nécessaires à la réalisation de la cuve, du transport des matières premières, de l'électricité nécessaire à la fabrication de la cuve, du transport de celle-ci jusqu'à son lieu d'utilisation et de sa fin de vie. L'électricité nécessaire à la fabrication de la cuve est considérée identique à celle utilisée pour la réalisation de l'Oxyfix® car comme cela est expliqué au paragraphe 7.2.2.4, c'est la réalisation de

la cuve en béton qui contribue majoritairement à l'énergie consommée pour la fabrication de l'Oxyfix®. La fin de vie de la cuve en béton est négligeable car celle-ci est inerte. Les autres étapes sont considérées de la même manière que dans le cas de base, mis à part que les poids transportés ont été modifiés pour le transport des matières premières et le transport de la cuve jusqu'à son lieu d'utilisation et que seuls les matériaux nécessaires à la réalisation de la cuve ont été pris en compte à ce stade.

Pour la cuve en PE, les étapes prises en compte sont les matières premières utilisées pour la réalisation de la cuve, la mise à forme de celle-ci, son transport chez Eloy Préfab, son transport jusqu'à son lieu d'utilisation et sa fin de vie. La cuve est supposée réalisée par extrusion-soufflage car, au vu de l'analyse de sensibilité, il s'agit du cas le plus défavorable. La mise à forme de la cuve en PE en ne supposant l'utilisation que de gaz est également envisagée afin d'observer l'évolution des résultats obtenus pour ce cas "limite". Il faut toutefois garder à l'esprit qu'ici encore, les impacts potentiels sur l'environnement se trouvent entre ces deux cas limites. La fin de vie ne concerne quant à elle que la cuve en PE laissée en terre alors que les autres étapes sont considérées de la même manière que précédemment, mis à part que les poids transportés ont été modifiés pour le transport de la cuve jusqu'à son lieu d'utilisation et que seuls les matériaux nécessaires à la réalisation de cette cuve ont été pris en compte à ce stade.

10.1.2 Comparaison des trois types de cuve

Les résultats obtenus en comparant les trois types de cuves à savoir la cuve en béton, la cuve en PE réalisée par extrusion-soufflage et la cuve en PE réalisée en utilisant que du gaz sont présentés à la Figure 10.1. Les catégories d'impact prises en compte sont toujours les mêmes que précédemment.

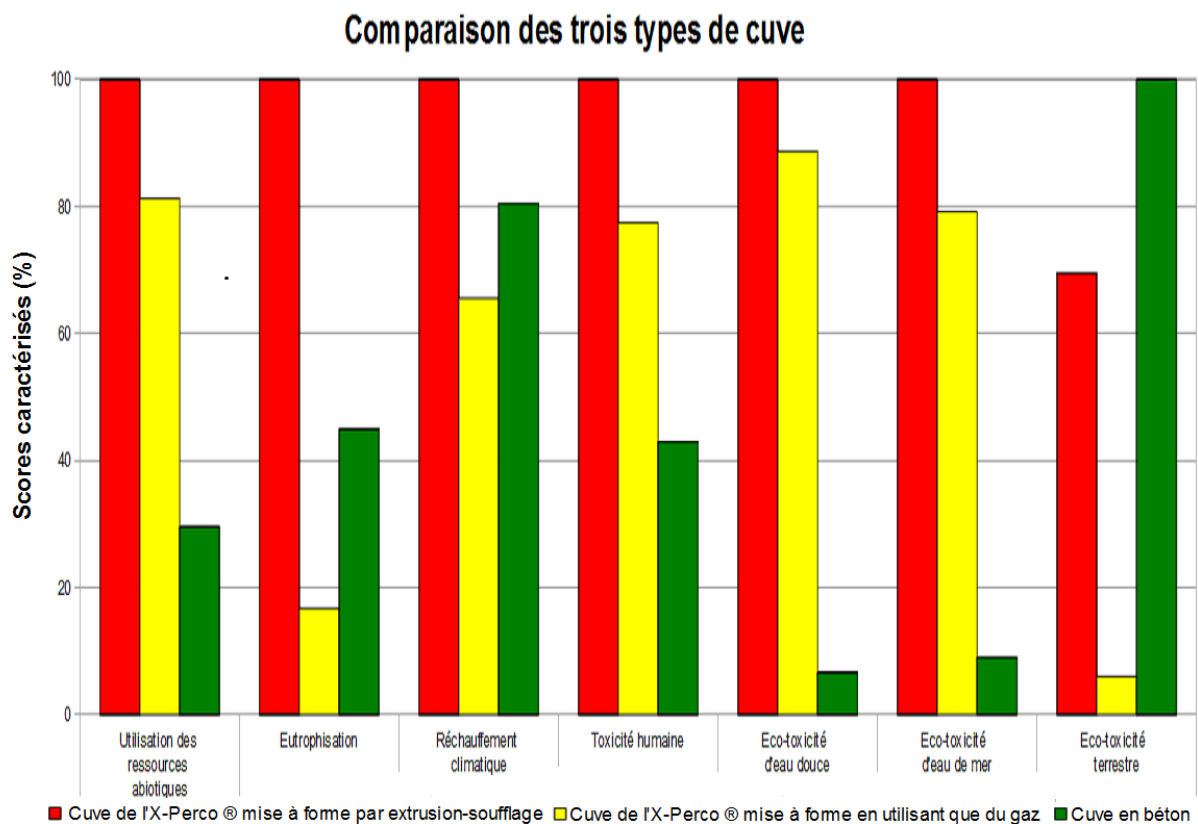


FIGURE 10.1 – Comparaison des trois types de cuve par la caractérisation - 1 cuve

Pour toutes les catégories d'impact envisagées à l'exception de l'éco-toxicité terrestre, la cuve en béton est meilleure que la cuve en polyéthylène réalisée par extrusion-soufflage car les impacts potentiels engendrés dans ce cas sont moindres que ceux obtenus pour la cuve en polyéthylène. De surcroît, les incertitudes pour ces différentes catégories d'impact sont inférieures à la différence entre les scénarios envisagés sauf pour la toxicité humaine. La cuve en polyéthylène est donc plus néfaste que la cuve en béton pour l'utilisation des ressources abiotiques, l'eutrophisation, le réchauffement climatique, l'éco-toxicité d'eau de mer et l'éco-toxicité d'eau douce. Pour l'éco-toxicité terrestre et la toxicité humaine, il semblerait que ce soit respectivement la cuve en béton et la cuve en polyéthylène réalisée par extrusion-soufflage qui engendrent les impacts potentiels les plus importants mais les incertitudes sont trop grandes pour l'affirmer avec certitude.

Pour la cuve en béton, comme le montre la Figure R.01 à l'Annexe R, ce sont principalement les matériaux utilisés pour la réalisation de cette cuve ainsi que le transport de la cuve vers son lieu d'utilisation qui contribuent à la majorité des impacts potentiels sur l'environnement.

Comme le montre la Figure R.02 à l'Annexe R, les impacts potentiels liés à la vie de la cuve en PE réalisée par extrusion-soufflage ont par contre des origines différentes selon la catégorie d'impact considérée. Ainsi, pour l'utilisation des ressources abiotiques et le réchauffement climatique, ce sont principalement le PE utilisé pour la fabrication de la cuve et, dans une moindre mesure, la production de la cuve par extrusion-soufflage qui sont responsables des impacts potentiels. La mise à forme de cette cuve est la principale cause des impacts engendrés sur l'eutrophisation et l'éco-toxicité terrestre. La fin de vie est pour sa part responsable de la majorité des impacts potentiels sur la toxicité humaine et les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer bien que la mise à forme de la cuve soit également responsable d'une partie non négligeable de l'impact.

Au vu des considérations précédemment énoncées, la cuve utilisée par l'X-Perco® réalisée par extrusion-soufflage engendre des impacts potentiels sur l'environnement nettement supérieurs à ceux engendrés par la cuve utilisée par l'Oxyfix® pour l'essentiel des catégories d'impact. Néanmoins lorsque la mise à forme de la cuve en PE n'est plus modélisée par extrusion-soufflage mais en ne considérant l'utilisation que de gaz, les conclusions énoncées précédemment ne s'inversent que pour l'eutrophisation et le réchauffement climatique.

Le scénario réel se situe vraisemblablement entre ces deux cas extrêmes. Cependant, comme cela est évoqué au Chapitre 9 concernant les analyses de sensibilité, la méthode n'utilisant que du gaz pour mettre à forme la cuve semble sous-estimer considérablement les besoins nécessaires à la réalisation de cette cuve. La différence effective entre les impacts potentiels engendrés par la cuve réalisée par rotomoulage et celle considérée réalisée par extrusion-soufflage ne semble pas être suffisante pour modifier les conclusions obtenues pour cette dernière.

En conclusion, il est judicieux d'évaluer la faisabilité technique de réaliser un filtre compact de type X-Perco® dans une cuve en béton car ce nouveau filtre compact engendrerait des impacts amoindris sur l'environnement.

Chapitre 11

Conclusions et perspectives

11.1 Conclusions

Mis en place dans le but de minimiser les impacts environnementaux engendrés par les eaux non traitées, le traitement des eaux usées réalise une action en faveur de l'environnement. En raison de la diversification des solutions techniques envisageables et de leurs propriétés respectives, l'évaluation des solutions les plus éco-responsables est très complexe, chaque système se targuant d'être le plus respectueux de l'environnement pour des raisons différentes : faible consommation électrique, utilisation de matériaux recyclés ou encore meilleur rendement épuratoire. Ce travail avait donc pour objectif l'utilisation de l'analyse du cycle de vie, méthode conforme aux normes ISO 14040 et 14044 et outil d'aide à la décision, afin d'établir les fardeaux environnementaux résultant de l'utilisation de trois systèmes d'épuration individuelle en vue de la comparaison de ceux-ci et de la détermination de leurs étapes les plus impactantes. Sur base des résultats obtenus, le dernier objectif, s'inscrivant dans la démarche d'écoconception, consistait en la proposition et l'évaluation des voies de développement permettant la diminution des impacts environnementaux liés au traitement des eaux usées.

Nous avons donc envisagé trois systèmes distincts par cette méthodologie :

- l'Oxyfix® : micro-station utilisant le principe de traitement par culture fixée, immergée et aérée ;
- l'X-Perco® : filtre compact utilisant un média filtrant quelque peu particulier à savoir le xylit ;
- la filière traditionnelle constituée d'une fosse septique en béton fabriquée par Eloy associée à un système de tranchées d'infiltration.

Malgré l'utilisation d'un grand nombre d'informations provenant de la société Eloy Water, des fournisseurs et de la littérature scientifique, certaines hypothèses ont dû être réalisées afin de prendre en considération l'ensemble du cycle de vie de ces systèmes et de permettre ainsi une comparaison pertinente des résultats obtenus.

L'unité fonctionnelle utilisée dans cette étude est le traitement d'un litre d'eau usée. Les performances épuratoires variables sont, pour leur part, prises en compte à l'aide des émissions dans l'eau en fin de traitement.

Les étapes considérées pour l'Oxyfix® et l'X-Perco® sont :

- la fabrication et la mise à forme des différents composants des systèmes d'épuration individuelle ;
- le transport de ces différents constituants depuis les fournisseurs jusque chez Eloy Water ;
- la consommation d'énergie nécessaire à la fabrication de la cuve et à l'assemblage des différentes parties ;
- le transport des systèmes d'épuration individuelle jusqu'à leur lieu de mise en service ;
- l'installation ;
- l'électricité consommée par les systèmes d'épuration individuelle au cours de leur vie ;
- la maintenance ;
- les émissions dans l'air issues de la ventilation ;
- les émissions dans l'eau en fin de traitement ;
- la fin de vie des boues d'épuration ;
- la fin de vie des autres composants des systèmes d'épuration individuelle.

Pour la filière classique, la fosse septique tient compte des mêmes étapes que les deux systèmes précédemment évoqués à l'exception de la maintenance et de l'utilisation d'électricité puisque ces étapes ne sont pas nécessaires. Un système de tranchées d'infiltration est également considéré.

Comparaison des différents systèmes

Dans un premier temps, les différents systèmes ont été comparés à l'aide de la méthode CML2 Baseline 2000. Les catégories d'impacts les plus importantes du point de vue de la normalisation ont été analysées plus en détails. Il s'agit de l'utilisation des ressources abiotiques, de l'eutrophisation, du réchauffement climatique, de la toxicité humaine et des éco-toxicités (d'eau douce, d'eau de mer et terrestre).

Cette expérience a mis en évidence le fait qu'au niveau du réchauffement climatique, l'Oxyfix® a un impact significativement plus important que l'X-Perco® et la filière traditionnelle. Pour les autres catégories d'impact considérées, les incertitudes sur la méthode sont supérieures aux différences entre les systèmes envisagés. Une analyse de sensibilité sur la méthode utilisée a donc été envisagée afin d'observer la robustesse des conclusions en fonction de la méthode utilisée.

Cette analyse de sensibilité a confirmé la robustesse des résultats obtenus pour le réchauffement climatique. Elle a également mis en exergue la robustesse des résultats obtenus pour l'eutrophisation et l'éco-toxicité terrestre. Ces résultats sont les suivants :

- Au niveau de l'eutrophisation, seule catégorie d'impact à laquelle les eaux non traitées contribuent, l'analyse de sensibilité a montré que ce sont ces dernières qui ont l'impact le plus important devant la filière classique. L'X-Perco® et l'Oxyfix® ont des impacts moindres que ces deux scénarios. Néanmoins, il semble difficile de les discriminer.
- Pour l'éco-toxicité terrestre, le système le plus impactant est l'Oxyfix® suivi de l'X-Perco® et de la filière classique.

Pour les autres catégories d'impact à savoir l'utilisation des ressources abiotiques, la toxicité humaine et les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer, l'X-Perco® et l'Oxyfix® ne peuvent être discriminés alors que la filière classique est le système le moins impactant.

Hiérarchisation des étapes selon leur impact environnemental

Les étapes ayant les impacts potentiels les plus importants sur l'environnement diffèrent selon le système envisagé et la catégorie d'impact étudiée. Celles-ci ont été identifiées sur base des résultats obtenus par la méthode CML2 Baseline 2000. Les résultats exposés dans cette conclusion sont ceux qui sont robustes du point de vue de la méthode utilisée. Ils concernent le réchauffement climatique, l'eutrophisation et l'éco-toxicité terrestre.

Ces résultats montrent que ce sont les émissions dans l'eau en fin de traitement qui sont majoritairement responsables de l'eutrophisation. Celles-ci sont fonction des performances épuratoires du système envisagé. En conséquence, leur amélioration permet une diminution de l'impact potentiel. La valorisation des boues en agriculture permet de réduire quelque peu l'impact des systèmes d'épuration individuelle sur cette catégorie d'impact en diminuant l'utilisation d'engrais. L'impact potentiel des eaux non traitées sur l'eutrophisation est réduit de 58,4 % grâce à l'utilisation de la filière classique et atteint 68,9% de réduction pour l'X-Perco® et l'Oxyfix®.

Les émissions de gaz dans l'air sont, elles, en grande partie responsables des impacts potentiels engendrés par les systèmes au niveau du réchauffement climatique puisqu'elles représentent 39,5%, 50,3% et 56,7% des impacts potentiels sur le réchauffement climatique respectivement pour l'Oxyfix®, l'X-Perco® et la filière classique. Les quantités émises dans l'air par les trois systèmes étant considérées identiques dans cette étude, les différences proviennent des autres étapes à savoir principalement la consommation électrique lors de l'utilisation et les matériaux utilisés pour la conception des systèmes d'épuration individuelle.

Les étapes les plus impactantes au niveau de l'éco-toxicité terrestre varient selon le système envisagé. Ainsi pour l'Oxyfix®, les matériaux utilisés et la consommation d'électricité sont les principales étapes responsables des impacts potentiels sur l'éco-toxicité terrestre. Elles y contribuent respectivement à hauteur de 46,5% et de 33,5%. Au niveau de l'X-Perco®, il s'agit des matériaux utilisés et de la maintenance qui représentent respectivement 35,9% et 29% des impacts potentiels. Les étapes responsables de la majorité des impacts potentiels engendrés par la filière traditionnelle sur l'éco-toxicité terrestre sont les tranchées d'infiltration, les matériaux utilisés et l'installation qui représentent respectivement 36,3%, 24,8% et 23,8% de ceux-ci.

Analyses de sensibilité

Afin d'analyser la robustesse des résultats obtenus, deux études de sensibilité ont ensuite été réalisées. La première concerne la modélisation de la cuve en polyéthylène réalisée par rotomoulage. En effet, aucune base de données n'est implémentée dans SimaPro7.3.3 pour cette technique de mise à forme. Deux façons de modéliser cette cuve, obtenues dans la littérature, ont donc été envisagées. La première consiste à utiliser la base de données relative à l'extrusion-soufflage. Néanmoins, il a été montré que cette technique de mise à forme surestime les impacts liés au rotomoulage. La seconde technique considère une consommation de gaz de $3,19 \frac{MJ}{kg_{produit}}$ afin de modéliser la mise à forme de la cuve en polyéthylène. Cependant, il a été montré que cette seconde façon de procéder sous-estime

les impacts potentiels engendrés par la mise à forme de la cuve. Il résulte de ce qui vient d'être énoncé que le cas réel est probablement compris entre ces deux cas limites.

Pour cette analyse de sensibilité, les résultats obtenus ont montré que les impacts environnementaux potentiels de l'X-Perco® sont plus faibles pour toutes les catégories d'impact en considérant que la cuve est mise à forme en utilisant uniquement du gaz plutôt qu'en se servant de la base de données relative à l'extrusion-soufflage. Cependant, la différence entre les résultats obtenus est assez faible et n'engendre de pas différence dans le classement des systèmes les plus impactants quelque soit la catégorie d'impact étudiée. Les conclusions envisagées dans le cas de référence sont donc robustes vis-à-vis de la technique utilisée pour la modélisation de la mise à forme de la cuve par rotomoulage.

La deuxième analyse de sensibilité concerne l'allocation utilisée pour modéliser le xylit comme média filtrant. En effet, comme pour le rotomoulage, aucune base de données n'est implémentée dans SimaPro7.3.3. pour la modélisation de l'extraction du xylit. Celui-ci étant extrait en même temps que le lignite, il a été décidé de réaliser des allocations massique, économique et énergétique à partir de la base de données relative à l'extraction du lignite afin de tenir compte des impacts potentiels engendrés par l'extraction du xylit.

D'abord, les résultats de cette analyse de sensibilité ont montré que, plus le xylit a de l'influence sur une catégorie d'impact, plus les impacts potentiels engendrés varient lorsque l'on modifie l'allocation. Ensuite, ils ont mis en évidence le fait que l'utilisation des allocations énergétique et massique à la place de l'allocation économique utilisée dans le cas de référence, ne permet pas à l'X-Perco® de devenir meilleure que l'Oxyfix® et la filière traditionnelle et ce, pour toutes les catégories d'impact, malgré l'utilisation de plus faibles quantités de lignite pour la modélisation. Sans surprise, en passant de l'allocation économique à l'allocation énergétique ou à l'allocation massique, l'écart entre les impacts potentiels engendrés par l'X-Perco® et l'Oxyfix® s'accroît si l'X-Perco® a un impact moindre que l'Oxyfix® dans le cas de référence. En effet, on observe une légère augmentation de cet écart pour la toxicité humaine, l'éco-toxicité terrestre et l'eutrophication. Cependant, les différences entre les résultats obtenus restent très en-dessous des incertitudes sur ces catégories d'impact. Par contre, cet écart se réduit lorsque l'allocation économique est remplacée par l'allocation énergétique ou l'allocation massique pour les catégories d'impact pour lesquelles l'X-Perco® est plus impactante que l'Oxyfix® dans le cas de référence. En effet, les résultats obtenus montrent que les écarts entre les impacts potentiels engendrés par l'X-Perco® et l'Oxyfix® diminuent fortement pour les éco-toxicités d'eau douce et d'eau de mer ainsi que pour l'utilisation des ressources abiotiques. Enfin, au niveau du réchauffement climatique, l'allocation choisie influence de manière négligeable les résultats obtenus.

Écoconception

Le dernier objectif, s'inscrivant dans la démarche d'écoconception, consistait en la proposition et l'évaluation de voies de développement permettant la réduction des impacts environnementaux liés au traitement des eaux usées.

Au vu des résultats précédemment obtenus, plusieurs hypothèses en vue de l'amélioration des performances environnementales ont donc été formulées. La première était d'utiliser de

l'air frais à la place d'air surpressé pour la micro-station Oxyfix® ce qui aurait pour conséquence de diminuer les fardeaux environnementaux liés à la consommation d'électricité au cours du fonctionnement de ce système. Cependant, cette solution n'est pas réalisable du point de vue technique car l'alimentation en oxygène doit absolument se faire par la partie inférieure de la station. Il n'est donc pas possible d'utiliser de l'air frais en raison de la contre-pression.

Une autre solution envisagée afin d'améliorer les impacts environnementaux de l'Oxyfix® est de remplacer les cloisons en métal par des séparations en béton. La faisabilité technique de cette solution est actuellement en cours d'étude. Néanmoins, les données à disposition n'étant pas suffisantes pour étudier cette amélioration éventuelle, elle n'a pas été envisagée dans le cadre de ce travail.

Une solution possible afin d'améliorer les performances environnementales de l'X-Perco® via l'écoconception est de remplacer la cuve en polyéthylène par une cuve en béton. Cette possibilité, en cours d'étude par un groupe regroupant du personnel d'Eloy Water et d'Eloy Préfab, a fait l'objet d'une analyse du cycle de vie dans ce travail. Les étapes concernant les matières premières nécessaires à la réalisation de la cuve, le transport de ces matières premières, la fabrication de la cuve, le transport de celle-ci jusqu'à son lieu d'utilisation et sa fin de vie ont été prises en compte pour les deux systèmes. Pour la cuve en polyéthylène, le transport de la cuve mise à forme jusque chez Eloy Préfab est également pris en compte.

Cette analyse du cycle de vie a montré qu'il serait bénéfique pour l'ensemble des catégories d'impact à l'exception de l'éco-toxicité terrestre de remplacer la cuve en polyéthylène de l'X-Perco® par une cuve en béton. Il est donc judicieux d'évaluer la faisabilité technique de réaliser un filtre compact de type X-Perco® dans une cuve en béton car, si le projet est faisable techniquement, ce remplacement engendrerait des impacts environnementaux réduits.

Principaux enseignements

Au terme de ce travail, des informations quantitatives quant aux flux de matières et d'énergie des trois systèmes d'épuration ont été obtenues permettant ainsi de déterminer les impacts potentiels associés au traitement de l'eau via ces différents systèmes. Ces résultats ont permis de faire ressortir la supériorité environnementale de chaque système étudié en fonction de la catégorie d'impact envisagée. Cela a également mis en évidence un transfert de pollution entre les systèmes : les systèmes obtenant la réduction la plus importante de la pollution des eaux non traitées présente spécifiquement dans la catégorie eutrophisation, à savoir l'Oxyfix® et l'X-Perco®, obtiennent les moins bons résultats dans les autres catégories d'impacts. Les analyses de sensibilité ont montré que pour une majorité de catégories d'impact, il était difficile de discriminer de manière significative ces deux filières, développées par Eloy Water, mais que des pistes d'amélioration, par le biais de la démarche d'écoconception entre autres, étaient disponibles.

11.2 Perspectives

Différentes perspectives peuvent être envisagées afin d'améliorer ce travail. En effet, la réalisation de celui-ci repose sur un nombre important d'hypothèses. Il pourrait donc être amélioré grâce à l'obtention de données encore plus précises. Ainsi, il pourrait être intéressant de mener une étude approfondie permettant l'évaluation des émissions dans l'air pour chaque système d'épuration individuelle. Il pourrait également être utile de prendre en compte de manière plus précise le devenir des boues en réalisant une étude sur les teneurs en matières sèches de celles-ci. Dans le même esprit, l'implémentation de bases de données relatives à l'extraction du xylit et à la mise à forme par rotomoulage est également à recommander.

Si le remplacement des cloisons en acier par des séparations en béton devient effectif, l'évaluation des impacts environnementaux engendrés en utilisant des séparations en béton ainsi que leur confrontation avec les résultats obtenus pour des cuves avec des cloisons en acier est également envisageable.

À plus long terme, cette étude pourrait permettre la confrontation de différents systèmes d'épuration individuelle afin d'accompagner les dispositions réglementaires et de compléter les connaissances sur les filières d'assainissement non collectif en envisageant une approche globale des performances environnementales de ces différents systèmes.

Finalement, l'analyse du cycle de vie se limitant aux impacts environnementaux, la présente étude pourrait être améliorée en ajoutant des dimensions sociales et économiques à la dimension environnementale afin de réconcilier les trois piliers du développement durable.

Bibliographie

- [1] International Trade NEWS : Sustainable wastewater solutions. http://www.internationaltradenews.com/eloy_water_sa/portrait/, 2014. Consulté le 06/06/2014.
- [2] Eloy WATER : Manuel d'utilisation à l'usage du propriétaire d'une Oxyfix® C-90 MB 5 EH. N.D.
- [3] Eloy WATER : Guide de l'utilisateur : X-Perco® France QT 5 EH. 2012.
- [4] Communauté de COMMUNES : Habitat & environnement : Assainissement autonome. <http://www.cc-canton-stfulgent.com/accueil.php?menu=1089295656>, N.D. Consulté le 31/05/2014.
- [5] L. DESONAY : Communication personnelle, 2014.
- [6] A. LEONARD et S. BELBOOM : Analyse du cycle de vie - ecoconception. Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège, Belgique. Année académique 2013-2014.
- [7] S. RENOU : Analyse de cycle de vie appliquée aux systèmes de traitement des eaux usées. 2006, 252p, inédit.
- [8] S. BELBOOM : Influence de l'utilisation des combustibles de substitution sur le cycle de vie du ciment. Travail de fin d'études, Facultés des sciences appliquées, Université de Liège, Belgique, 2008.
- [9] Andrew DIXON, Matthew SIMON et Tom BURKITT : Assessing the environmental impact of two options for small-scale wastewater treatment : comparing a reedbed and an aerated biological filter using a life cycle approach. *Ecological Engineering*, 20(4):297 – 308, 2003.
- [10] J.-M. BERLAND : Caractérisation détaillée des impacts lors des différentes phases de cycle de vie de dispositifs d'assainissement non collectif. Rapport technique, Office national de l'eau et des milieux aquatiques et office international de l'eau, 2012.
- [11] ANONYME : L'assainissement autonome des eaux usées domestiques en région wallonne. <http://www.crdg.be/site/images/stories/crdg/news/news3/synthese-auditions-2009.pdf>, Septembre 2009. Consulté le 23/03/2014.
- [12] Service public de WALLONIE : La collecte et le traitement des eaux usées en région wallonne. http://environnement.wallonie.be/publi/de/eaux_usees/assainissement1.htm, N.D. Consulté le 23/03/2014.
- [13] B. ANTOINE : Guide pratique à l'usage des communes et relatif à l'assainissement des eaux usées. <http://www.spge.be/fr/guide-pratique-de-l-assainissement.html?IDC=1094&IDD=979>, N.D. Consulté le 23/03/2014.
- [14] Service public de WALLONIE : Les Plans d'Assainissement de sous bassins Hydrographiques (P.A.S.H.). http://environnement.wallonie.be/publi/de/eaux_usees/assainissement22.htm, N.D. Consulté le 23/03/2014.
- [15] Société Publique de gestion de L'EAU : L'assainissement autonome. <http://www.spge.be/fr/assainissement-autonome.html?IDC=2032>, 2014. Consulté le 23/03/2014.
- [16] Service public de WALLONIE : Les filières de l'assainissement individuel autorisées en région wallonne. http://environnement.wallonie.be/publi/de/eaux_usees/assainissement5.htm, N.D. Consulté le 23/03/2014.

-
- [17] OBIO ENVIRONNEMENT : Comment choisir son système d'assainissement individuel. <http://www.obio-environnement.com/blog/post.php?s=2012-06-22-comment-choisir-son-systeme-dassainissement-individuel>, 2012. Consulté le 23/03/2014.
- [18] R. GRELA, D. XANTHOULIS, J.-M. MARCOEN, M. LEMINEUR et M. WAUTHELET : Convention d'étude de méthodes et d'outils d'aide à la décision pour la planification et la mise en oeuvre de systèmes d'épuration individuelle ou groupée. 2004.
- [19] J.M. BERLAND : Techniques de l'assainissement non collectif : Filières de traitement. Techniques de l'ingénieur : Les aménagements intérieurs du bâtiment, 2013.
- [20] STOC-ENVIRONNEMENT : Micro station d'épuration : Explications des différents systèmes de traitement des eaux usées. http://www.stoc-environnement.fr/assainissement/produits/micro-station-d_epuration-explications-des-differents-systemes-de-traitement-des-eaux-usees/, N.D. Consulté le 23/03/2014.
- [21] EPARCO : Le filtre compact Eparco. <http://www.eparco.info/Eparco-Assainissement/espace-particuliers/les-technologies-eparco/le-filtre-compact-eparco.html>, N.D. Consulté le 04/06/2014.
- [22] ACTU-ENVIRONNEMENT : Définition : macrophytes. http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/macrophytes.php4, N.D. Consulté le 23/03/2014.
- [23] ACTU-ENVIRONNEMENT : Définition : humus. http://www.actu-environnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/humus.php4, N.D. Consulté le 23/03/2014.
- [24] BEI ERE : Description et principe de fonctionnement d'un filtre planté de roseaux à écoulement vertical (fprv). <http://hmf.enseeiht.fr/travaux/CD0809/bei/beiere/groupe3/node/195>, 2008-2009. Consulté le 23/03/2014.
- [25] LI. COROMINAS, J. FOLEY, J.S. GUEST, A. HOSPIDO, H.F. LARSEN, S. MORERA et A. SHAW : Life cycle assessment applied to wastewater treatment : State of the art. Water Research, 47(15):5480 – 5492, 2013.
- [26] E. RISCH, P.ROUX, C. BOUTIN et A. HÉDUIE : L'analyse de cycles de vie(ACV) des systèmes d'assainissement : un outil complémentaire d'aide à la décision. Revue SET, N.D.(09):82–91, 2012.
- [27] O. RÉTHORÉ et S. Le FÉON : L'analyse du cycle de vie(acv), outils préférentiel de quantification des impacts environnementaux. <http://encyclopedia-dd.org/encyclopedia/economie/l-analyse-du-cycle-de-vie-acv.html>, N.D. Consulté le 18/03/2014.
- [28] M.N. PONS, M. BELHANI, J. BOURGOIS et E. DUPUIT : Analyse du cycle de vie : Epuration des eaux usées urbaines. Techniques de l'ingénieur : Systèmes de management environnemental, 2013.
- [29] SimaPro UK LTD : SimaPro : LCA your way. <http://www.simapro.co.uk/aboutsimapro.html>, 2014. Consulté le 06/06/2014.
- [30] A.H. HU, C.-Y. HUANG et C.-W. FAN : Life cycle assessment of wastewater treatment options for small and decentralized communities : Energy-saving systems versus activated sludge. 10th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, pages 1203–1213, 2006.
- [31] R. HEIJUNGS, J.B. GUINÉE, G. HUPPES, R.M. LANKREIJER, H.A. UDO DE HAES, A. WEGENER SLEESWIJK, A.M.M. ANSEMS, P.G. EGGELS, R. van DUIN et H.P. de H.-P. de GOEDE : Environmental life cycle assessment of products : guide and backgrounds (part 1). Rapport technique, CML, Leiden, 1992.
- [32] J. VEHMAS, E. BUONOCORE, P.-P. FRANZESE, S. MELLINO, S. VIGLIA S. ULGIATI et A. ZUCARO : Energy and LCA evaluation of the present dynamics of investigated case studies. Synergies in Multi-scale Inter-Linkages of Eco-social systems, 2009.

- [33] H. BRUIJN, R. DUIN, M. Huijbregts and J. GUINEE, M. GORREE, R. HEIJUNGS, G. HUPPES, R. KLEIJN, A. KONING, L. OERS, A. Wegener SLEESWIJK, S. SUH et H. Udo de HAES : Handbook on life cycle assessment. KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2004.
- [34] Eloy SA : Produits > stations d'épuration individuelles. <http://www.eloy.be/water/fr/catalog/stations-d-epuration-individuelles-16/>, 2014. Consulté le 18/03/2014.
- [35] D. CHIBEL : Communication personnelle, 2014.
- [36] Aqua Terra SOLUTIONS : Xylit pour l'épuration des eaux et le contrôle de l'érosion. http://lettre-informations.aquaterra-solutions.fr/nl11_oct10/index.html, N.D. Consulté le 30/04/2014.
- [37] Vattenfall Europe Mining AG : Kennziffern für geotorf(braunkohlenxylit). Rapport technique, Vattenfall Europe Mining AG, 2003. Consulté le 30/04/2014.
- [38] FOUREZ : Règlementations et bonnes pratiques. http://www.environnement-entreprise.be/2012/agenda/presentations-de-nos-evenements-passees/Eaux-reglementations_et_bonnes_pratiques_mai.pdf, 2011. Consulté le 08/03/2014.
- [39] FOUREZ : Les principales obligations environnementales des pme en wallonie. http://www.permisenvironnement.be/2012/docs/fichiers-powerpoint/2013/14mai13_obligations_envi_sambreville.pdf, 2011. Consulté le 18/02/2014.
- [40] M. CRINE : Génie chimique de l'environnement. Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège, Belgique. Année académique 2013-2014.
- [41] G. GATTON : Communication personnelle, 2014.
- [42] N. KOSOLKAMOLMAS : Communication personnelle, 2014.
- [43] S. FLACHOWSKY : Communication personnelle, 2014.
- [44] D. TEERLINCK : Communication personnelle, 2014.
- [45] P. WILMET : Communication personnelle, 2014.
- [46] VIAMICHELIN : <http://fr.viamichelin.be/>. Dernière visite le 11 avril 2014.
- [47] SEA-DISTANCES : <http://www.sea-distances.org/>. Dernière visite le 05 mars 2014.
- [48] International Energy AGENCY : International Energy Agency. <http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/>, Dernière visite le 05 mai 2014.
- [49] B. MAINGAINT : Communication personnelle, 2014.
- [50] Abbas TCHARKHTCHI : Rotomoulage de pièces en matière thermoplastique. Techniques de l'ingénieur Plasturgie : fabrications de corps creux, de films et de fils, base documentaire : TIB149DUO.(ref. article : am3706), 2014. fre.
- [51] D. APPERT : Des corps creux par toutes les techniques. <http://www.simplast.eu/IMG/pdf/181108cr.pdf>, 2008.
- [52] Center for design at RMIT : Life cycle assessment and life cycle costing of water tanks as a supplement to mains water supply. <http://www.yvw.com.au/yvw/groups/public/documents/document/yvw1001682.pdf>, 2003.
- [53] Q. FABRY : Communication personnelle, 2014.
- [54] X. RIGO : Communication personnelle, 2014.
- [55] S. MORANT : Communication personnelle, 2014.
- [56] HACH LANGE : HQ30D flexi - Oxymètre, pH mètre et conductimètre. <http://www.yvw.com.au/yvw/groups/public/documents/document/yvw1001682.pdf>, 2006. Consulté le 06/02/2014.
- [57] 3 SP GROUP : Partech 715 portable. http://www.es-france.com/pdf/715_portable.pdf?osCsid=36d2b104a53ed80bfcfbef8ef708ae185, 2012. Consulté le 06/02/2014.

- [58] A. De RAIKEM : Communication personnelle, 2014.
- [59] M. SALSEDO : Communication personnelle, 2014.
- [60] ANONYME : La fosse septique : Performances, entretien et utilisation. <http://stephane1963.unblog.fr/files/2011/03/lafosseseptiqueperformancesentretienetutilisation.pdf>, 2011. Consulté le 12/03/2014.
- [61] VMI : Communication personnelle, 2014.
- [62] EUROVIDANGE : Communication personnelle, 2014.
- [63] ORDIF : Les matières de vidange de l'assainissement individuel. www.ordif.com/public/document.srv?id=7001, N.D. : Dernière visite le 11/05/2014.
- [64] S. GROSLAMBERT : Communication personnelle, 2014.
- [65] E. ORTEGA : Communication personnelle, 2014.
- [66] Vidange LOISEAU : Communication personnelle, 2014.
- [67] Sprl De COSTER : Communication personnelle, 2014.
- [68] Vidange INTER : Communication personnelle, 2014.
- [69] E. MARTIN : Procédés de polymérisation. Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège, Belgique. Année académique 2013-2014.
- [70] ISSF : The recycling of stainless steel. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html>, N.D. Consulté le 12/05/2014.
- [71] European Copper INSTITUTE : Recycling. <http://www.copperalliance.eu/about-copper/recycling>, N.D. Consulté le 12/05/2014.
- [72] PLANETOSCOPE : The recycling of stainless steel. <http://www.worldstainless.org/Files/issf/Animations/Recycling/flash.html>, 2012. Consulté le 12/05/2014.
- [73] Koen BINNEMANS, Peter Tom JONES, Bart BLANPAIN, Tom Van GERVEN, Yongxiang YANG, Allan WALTON et Matthias BUCHERT : Recycling of rare earths : a critical review. *Journal of Cleaner Production*, 51(0):1 – 22, 2013.
- [74] T. FEWEZ : Communication personnelle, 2014.
- [75] D. VAMVUKA, E. KASTANAKI, M. LASITHIOTAKIS et C. PAPANICOLAOU : Combustion behavior of xylite/lignite mixtures. *Carbon*, 42(2):351 – 359, 2004.
- [76] Centre de la recherche nationale SCIENTIFIQUE : Ecosystèmes aquatiques continentaux : L'eutrophisation. <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/ecosys/eutrophisat.html>, N.D. Consulté le 23/05/2014.
- [77] Jäger UMWELT-TECHNIK : Data sheet : Jetflex® disc diffuser - hd270 r $\frac{3}{4}$: Epdm f053 j27. http://chodansinh.net/datafiles/pdf/13982454956178_datasheet-hd270.pdf, N.D. Consulté le 13/03/2014.
- [78] C. SALENGROS : Communication personnelle, 2014.
- [79] M. INGELS : Communication personnelle, 2014.
- [80] C. GEUZAIN : Conversion de l'énergie électromagnétique. Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège, Belgique. Année académique 2012-2013.
- [81] MBR-TEC : Pré-filtre matala, N.D.
- [82] Wilfrid SCHNEIDER : Palaeohistological studies on miocene brown coals of central europe. *International Journal of Coal Geology*, 28(2-4):229 – 248, 1995.
- [83] CDE : Lignite. <http://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/lignite>, 2013. Consulté le 08/04/2014.
- [84] ANONYME : Emissions directes (et amont des combustibles) - combustibles - fossiles - solides. <http://www.basecarbone.fr/docs/generale/fr/index.htm?solides.htm>, N.D. Consulté le 08/04/2014.

-
- [85] Service Public de WALLONIE : Référentiel combustibles. http://bilan.environnement.wallonie.be/html/Nomenclatures/referentiel_combustibles.pdf, N.D. Consulté le 08/04/2014.
- [86] SMART-CONSEIL : Les combustibles et la combustion. http://smart2000.pagesperso-orange.fr/combustibles_et_combustion.htm, 2004. Consulté le 08/04/2014.
- [87] Statistisches BUNDESAMT : Preise - daten zur energiepreisentwicklung. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energie-preise/Energiepreisentwicklung/PDF_5619001.pdf?_blob=publicationFile, 2014. Consulté le 08/04/2014.
- [88] STROMANBIETER et Strompreise INFOS : Braunkohle ist kostengünstig und wettbewerbsfähig. http://www.strom-magazin.de/strommarkt/braunkohle-ist-kostenguenstig-und-wettbewerbsfaehig_12731.html, 2014. Consulté le 08/04/2014.
- [89] PROGNOSE : Bedeutung der braunkohle in ostdeutschland. http://www.prognos.com/fileadmin/pdf/publikationsdatenbank/Prognos_Studie_Braun-kohle_Ostdeutschland_2011_Langfassung.pdf, 2011. Consulté le 08/04/2014.
- [90] Ö. ÖZDEMİR, M. SCHEEPERS et A. SEEBREGTS : Future electricity prices. ECN_200806_Future electricity prices.pdf, June 2011. Consulté le 08/04/2014.
- [91] Action Ardèche l'Information du Collectif du CONSOMMATEUR : Cahier techniques génériques : le béton. <http://aaicc.fr/technique/beton.html>, 2007. Consulté le 20/04/2014.
- [92] Maison MARCHAL : Communication personnelle, 2014.
- [93] J.-M. DEVIGNE : Communication personnelle, 2014.
- [94] S. DHUYVETTERS : Communication personnelle, 2014.
- [95] P. de JAEGER : Communication personnelle, 2014.
- [96] V. KEUTER : Communication personnelle, 2014.
- [97] J.-P. VERVIERS : Communication personnelle, 2014.
- [98] NICOLL : Communication personnelle, 2014.
- [99] X. MAERTENS : Communication personnelle, 2014.
- [100] S. de MEULEMEESTER : Communication personnelle, 2014.
- [101] P.-A. DELIZE : Communication personnelle, 2014.
- [102] V. DOUMONT : Communication personnelle, 2014.
- [103] C. DELBOS, E. ROUBEIX et N. FARDIN : Les sables mouvants. <http://sablesmouvants-tpe-guez.e-monsite.com/pages/page-3.html>, 2014. Consulté le 14/03/2014.
- [104] ANONYME : Caractéristiques principales de la grue sur camion qy25k. <http://www.chinasinoway.fr/4-2-qy25k-truck-crane-1.html>, N.D. Consulté le 12/04/2014.
- [105] LIEBHERR : LTM 1040-2.1. www.liebherr.com/AT/fr-FR/products_at.wfw/id-7981-0/measure-metric, N.D. Consulté le 21/03/2014.
- [106] AFNOR : XP DTU 64.1. http://www.centre-corse.com/wp-content/uploads/2012/09/DTU_64.1-P1-1-mars20071.pdf, Mars 2007. Consulté le 14/04/2014.
- [107] SUPERPLASTICS : Gainage double paroi. http://www.superplastic.be/import/Fiches/GAINE_CABOFLEX.pdf, 2007. Consulté le 21/03/2014.
- [108] J. MIRAT : La production d'électricité en nouvelle-calédonie. <http://lenergeek.com/2012/12/19/la-production-d%E2%80%99electricite-en-nouvelle-caledonie>, 2012. Consulté le 12/04/2014.
- [109] Direction de l'industrie des mines et de L'ÉNERGIE : Bilan électrique de la nouvelle-calédonie - 2009. http://www.dimenc.gouv.nc/portal/page/portal/dimenc/energie/observatoire_energie, N.D. Consulté le 12/04/2014.

- [110] PRAVARINI : Methane. [http ://pravarini.free.fr/gaz-methane.htm](http://pravarini.free.fr/gaz-methane.htm), N.D. Consulté le 12/04/2014.
- [111] PRAVARINI : Dioxyde de carbone ou gaz carbonique. [http ://pravarini.free.fr/CO2.htm](http://pravarini.free.fr/CO2.htm), N.D. Consulté le 12/04/2014.
- [112] PRAVARINI : Sulfure d'hydrogène. [http ://pravarini.free.fr/gaz-H2S.htm](http://pravarini.free.fr/gaz-H2S.htm), N.D. Consulté le 12/04/2014.
- [113] Eloy WATER : Présentation de la filière Oxyfix®. N.D.
- [114] Eloy WATER : X-Perco® QT 5EH. 2013.
- [115] RES'EAU ASNC : Retours d'expériences sur les filières d'assainissement non collectif. [http ://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/RetoursEXP-filieresANC-V1-docdetravailvolutif-GRAIE.pdf](http://www.graie.org/graie/graiedoc/doc_telech/RetoursEXP-filieresANC-V1-docdetravailvolutif-GRAIE.pdf), 2011. Consulté le 16/04/2014.
- [116] A. LEONARD : Reduction des polluants en combustion. Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège, Belgique. Année académique 2012-2013.

Annexe A

Nomenclature Oxyfix®

Assemblages réalisés

Comme énoncé au point 7.2.2.1, certains composants de la nomenclature de l'Oxyfix® ne sont pas présents dans les bases de données du logiciel SimaPro7.3.3 et ne sont pas développés dans cette nomenclature. Des assemblages ont donc été réalisés pour tenir compte du surpresseur Secoh, du diffuseur "fines-bulles" et de la pochette.

Le surpresseur Secoh

Les flux de référence liés à la conception du surpresseur Secoh sont repris dans le Tableau A.01. Ces flux ne sont pas ramenés à l'unité fonctionnelle car le nombre d'assemblages nécessaires l'a déjà été comme nous pouvons le voir dans le Tableau A.06.

Tableau A.01 – Assemblage surpresseur Secoh

Produit	Quantité nécessaire	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité			
Processus	Quantité nécessaire	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité			

Une distance de 1500 km en camion est supposée pour le transport de l'ensemble des pièces. Un trajet supplémentaire est considéré pour le transport du néodyme. Celui-ci est long de 25000 km et réalisé en bateau [43].

Le diffuseur "fines-bulles"

Les flux de référence liés à la conception d'un diffuseur "fines-bulles" sont repris dans le Tableau A.02. Comme pour le surpresseur Secoh, ces flux ne sont pas ramenés à l'unité fonctionnelle.

Tableau A.02 – Assemblage diffuseur "fines-bulles"

Produit	Quantité nécessaire	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité			
Processus	Quantité nécessaire	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité			

Une distance de 1500 km en camion est supposée pour le transport de l'ensemble des pièces [42], [77].

La pochette

Les flux de référence liés à la pochette sont repris dans le Tableau A.03. Comme pour le surpresseur Secoh et diffuseur "fines-bulles", ces flux ne sont pas ramenés à l'unité fonctionnelle car le nombre d'assemblages nécessaire l'a déjà été comme nous pouvons le voir dans le Tableau A.06.

Tableau A.03 – Assemblage pochette

Produit	Quantité nécessaire	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité			
Processus	Quantité nécessaire	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité			

Une distance de 150 km en camion est supposée pour le transport de l'ensemble des pièces.

Nomenclature Oxyfix®

La nomenclature de l'Oxyfix® à laquelle la palette, les rehausses et trapillons ont été ajoutés est reprise aux tableaux A.04, A.05 et A.06.

Dans celles-ci, de manière générale, le fraisage est choisi pour toutes les parties en acier inoxydable et en laiton à l'exception des tôles en acier qui sont modélisées via le processus "sheet rolling" Ecoinvent correspondant à la mise à forme de tôles.

En ce qui concerne les matières en plastique, l'extrusion est utilisée pour la mise à forme des tuyaux et des manchons alors que l'injection est utilisée pour toutes les autres pièces.

Les autres constituants ont, eux, été examinés au cas par cas.

Tableau A.04 – Nomenclature Oxyfix® partie 1 - 1L d'eau traitée

Description	Fournisseur	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Matériaux dans SimaPro7.3.3	Processus de mise à forme dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité					

Tableau A.05 – Nomenclature Oxyfix® partie 2 - 1L d'eau traitée

Description	Fournisseur	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Matériaux dans SimaPro7.3.3	Processus de mise à forme dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité					

Tableau A.06 – Nomenclature Oxyfix® partie 3 - 1L d'eau traitée

Description	Fournisseur	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Matériaux dans SimaPro7.3.3	Processus de mise à forme dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité					

Comme nous pouvons le voir dans cette nomenclature, un certain nombre de découpes et de pliages ont été réalisés. La consommation nécessaire pour réaliser ces découpes et pliages est calculée sur base de la puissance nominale et du temps nécessaire à la réalisation de ces processus. Les valeurs des temps de découpe et de pliage ainsi que la consommation pour chaque opération sont reprises dans le Tableau A.07.

Les puissances ont pu être déterminées à partir de la tension et des courants utilisés. Les machines effectuant les pliages et découpes fonctionnent sur des courants respectifs de 75 et 50 ampères alors que la tension est du 380 V triphasé. Les puissances développées valent donc 49,363 kW pour la découpe et 32,909 kW pour le pliage [79], [80].

Tableau A.07 – Consommations électriques dues aux découpes et aux pliages des tôles d'acier pour la fabrication de l'Oxyfix® [79]

	Temps pour la découpe(s)	Temps pour le pliage(s)	Consommation électrique pour la découpe (kWh)	Consommation électrique pour le pliage (kWh)
Découpe et pliage de la partie droite du cône Oxyfix®	45	80	0,439	2,742
Découpe et pliage de la partie gauche du cône Oxyfix®	45	80	0,439	2,742
Découpe et pliage de la partie centrale du cône Oxyfix®	35	35	2,075	0,782
Découpe et pliage de la tôle A de l'Oxystem	185	240	1,691	3,291
Découpe et pliage de la tôle B de l'Oxystem	140	240	1,280	3,291

L'électricité consommée par la société Delhez qui réalise les découpes et pliages pour Eloy provient du mix énergétique belge.

Annexe B

Nomenclature X-Perco®

Assemblages réalisés

Comme cela a été vu au point 7.2.2.1, le pré-filtre n'est pas présent dans les bases de données de SimaPro7.3.3 et n'est pas développé dans la nomenclature de l'X-Perco®. Un assemblage est donc réalisé afin de le modéliser.

Le pré-filtre

Les flux de référence liés à la conception du pré-filtre sont repris dans le Tableau B.01. Ces flux ne sont pas ramenés à l'unité fonctionnelle car le nombre d'assemblages nécessaire l'a déjà été comme nous pouvons le voir dans le Tableau B.02.

Tableau B.01 – Assemblage pré-filtre [81]

Description	Quantité nécessaire	Unité	Base de données dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité			
Description	Quantité nécessaire	Unité	Processus de mise à forme dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité			

Le filtre et le support viennent de Taiwan. Un trajet par bateau sur une distance de 25000 km ainsi qu'un trajet en camion de 1000 km sont considérés. Ce trajet en camion comprend le trajet estimé jusqu'au port de Taiwan puis du port d'Anvers au lieu d'assemblage. Les autres pièces sont supposées transportées sur un trajet de 100 km en camion car elles sont fabriquées proche du lieu d'assemblage [44].

Nomenclature X-Perco®

Dans la nomenclature de l'X-Perco®, comme le montre le tableau B.02, les mêmes processus de mise à forme sont choisis que dans le cas de l'Oxyfix®. La mise à forme de la cuve en polyéthylène n'est pas considérée à ce stade mais dans l'énergie consommée pour la fabrication de la cuve.

Tableau B.02 – Nomenclature X-Perco® - 1L d'eau traitée

Description	Fournisseur	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Matériaux dans SimaPro7.3.3	Processus de mise à forme dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité					

Comme pour l'Oxyfix®, un certain nombre de découpes et de pliages de tôles d'acier sont réalisés afin de construire le filtre compact X-Perco®. La méthode utilisée pour calculer la consommation nécessaire pour réaliser ces découpes et pliages est identique à celle réalisée pour l'Oxyfix®. De surcroit, les mêmes machines sont utilisées pour réaliser ces découpes

et pliages. Les puissances de celles-ci sont donc toujours respectivement de 49,363 kW et 32,909 kW [79], [80].

Tableau B.03 – Consommations électriques dues aux découpes et aux pliages des tôles d'acier pour la fabrication de l'X-Perco® [79]

	Temps pour la découpe(s)	Temps pour le pliage(s)	Consommation électrique pour la découpe (kWh)	Consommation électrique pour le pliage (kWh)
Tôle en V auget XPQT-T01	48	200	0,439	2,742
Support auget XPQT-T01	227	57	2,075	0,782

L'électricité consommée par la société Delhez qui réalise les découpes et pliages pour Eloy provient du mix énergétique belge.

Allocations pour le xylit

Détermination des masses de xylit et de lignite obtenues lors de l'extraction d'une tonne du mélange

Les lignites contiennent, en moyenne, 4,4% en volume de xylit [82]. En supposant une masse volumique de $500 \frac{kg}{m^3}$ pour le xylit et une masse volumique de $1075 \frac{kg}{m^3}$ pour le lignite, le calcul des masses de xylit et de lignite récupérées lors de l'extraction d'une tonne du mélange peut être mené [45], [83] :

$$\begin{cases} 0,044 = \frac{V_{xylit}}{V_{xylit} + V_{lignite}} = \frac{\frac{m_{xylit}}{500}}{\frac{m_{xylit}}{500} + \frac{m_{lignite}}{1075}} \\ m_{xylit} + m_{lignite} = 1000 \end{cases}$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} m_{xylit} = 20,011 \\ m_{lignite} = 979,989 \end{cases}$$

Lors de cette extraction, 20 kg de xylit et 980 de lignite sont donc récupérés.

Détermination des pouvoirs calorifiques inférieurs

Le pouvoir calorifique inférieur du lignite varie selon les sources. Une valeur moyenne du PCI de $18,43 \frac{MJ}{kg}$ est donc déterminée et utilisée dans cette étude [84], [85], [86].

Tableau B.04 – Calcul de PCI du lignite

	Source 1 [84]	Source 2 [85]	Source 3 [86]	Moyenne
PCI en $\frac{MJ}{kg}$	17	21,56	$16,744^{17}$	18,4347

Une seule donnée a pu être trouvée pour le pouvoir calorifique inférieur du xylit. Celui-ci vaut $22,7 \frac{MJ}{kg}$ et est utilisé pour réaliser l'allocation énergétique [75].

17. La valeur pour la troisième source est calculée en prenant une valeur moyenne entre 3500 et 4500 $\frac{kcal}{kg}$ c'est-à-dire $4000 \frac{kcal}{kg}$ soit $16,744 \frac{MJ}{kg}$.

Détermination des prix du xylit et du lignite

Le prix du lignite varie selon les sources. Après avoir tenu compte de l'inflation des prix à l'aide d'index et avoir remis les prix en euros par tonne, une valeur moyenne de 38,218 $\frac{\text{euro}}{\text{tonne}}$ est déterminée et utilisée dans cette étude [87], [88], [89], [90].

Tableau B.05 – Calcul du prix du lignite

	Prix	Unité	Année pour laquelle le prix est obtenu	Prix ($\frac{\text{euro}}{\text{tonne}}$)
Source 1	4,6	$\frac{\text{euro}}{\text{MWh}}$	2010	26,877
Source 2	55	$\frac{\text{euro}}{\text{tec}}$	2004	45,899
Source 3	1,73	$\frac{\text{euro}}{\text{GJ}}$	2008	38,877

La société Eloy Water achète le xylit au prix de 79 $\frac{\text{euro}}{\text{t}}$ [45].

Détermination des allocations massique, énergétique et économique

Les allocations massique, énergétique et économique sont déterminées respectivement sur base des pourcentages massiques, des PCI et des prix. Les résultats ainsi obtenus sont repris dans le Tableau B.06.

Tableau B.06 – Calcul des allocations massique, énergétique et économique

	Masse(t)	Énergie($\frac{\text{GJ}}{\text{t}}$)	Prix($\frac{\text{euro}}{\text{t}}$)	Allocation massique	Allocation énergétique	Allocation économique
Lignite	0,980	18,435	37,218	0,980	0,975	0,958
Xylit	0,020	22,7	79	0,020	0,0245	0,0415

Les quantités de lignite ramenées à l'unité fonctionnelle pour les différentes allocations sont reprises dans le Tableau B.07.

Tableau B.07 – Calcul des quantités de lignite nécessaires pour modéliser le xylit vu les allocations massique, énergétique et économique- 1L d'eau traitée

	Quantité de lignite ramenée à l'unité fonctionnelle
Par l'allocation massique	$1,168.10^{-4}$
Par l'allocation énergétique	$1,432.10^{-4}$
Par l'allocation économique	$2,425.10^{-4}$

Annexe C

Nomenclature fosse septique

La nomenclature de la fosse septique à laquelle est ajoutée un pré-filtre, une palette, une pochette, deux étiquettes, deux trappillons et deux rehausses est reprise dans le Tableau C.01.

Tableau C.01 – Nomenclature fosse septique - 1L d'eau traitée

Description	Fournisseur	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle	Unité	Matériaux dans SimaPro7.3.3	Processus de mise à forme dans SimaPro7.3.3
Supprimé pour raison de confidentialité					

Les mêmes processus de mise à forme sont choisis pour la fosse septique que pour l'Oxyfix® et l'X-Perco®. Les assemblages réalisés pour le pré-filtre et la pochette sont les mêmes que ceux développés aux tableaux B.01 et A.03.

Annexe D

Tranchées d'infiltration

Comme cela est exposé au point 7.2.2.2, les tranchées d'infiltration constituent la deuxième partie de la filière traditionnelle après la fosse septique.

Dans cette étude, quatre tranchées de 50 cm de large et de 20 m de long sont considérées ce qui représente bien une surface de 40 m^2 . À partir de cette valeur et de la profondeur des tranchées de 80 cm, la quantité de terres à excaver peut être calculée et vaut $40 \times 0,8 = 32 \text{ m}^3$ [18].

La tranchée est remblayée par trois couches successives. Ainsi de haut en bas, on retrouve une première couche de 20 cm de terre puis une deuxième de 10 cm de gravier incluant le drain dispersant et enfin une troisième de 50 cm de gravier [18].

La première partie à être remblayée est la partie du bas. Elle représente un volume de $40 \times 0,5 = 20 \text{ m}^3$ de gravier. La deuxième couche contient les drains. Le volume de gravier apporté pour la réalisation de celle-ci équivaut au volume excavé moins le volume des drains $= 40 \times 0,1 - 3,1416 \times 0,05^2 \times 4 \times 20 = 3,372 \text{ m}^3$. Au total, il faut donc $23,372 \text{ m}^3$ de gravier ce qui représente 33 888,9 kg en considérant une densité de $1450 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ pour les graviers [91].

Les drains d'infiltration dont les orifices sont soit des trous de 8 mm de diamètre soit des fentes de 5 mm de large sont fabriqués à partir de tuyaux PVC de diamètre de 100 mm. La réalisation des fentes et des trous n'est pas prise en compte alors que les tuyaux sont supposés réalisés par extrusion.

La chambre de répartition de débit est réalisée en polyéthylène haute densité. Elle pèse 13 kg et est réalisée par injection [18].

Enfin, un géo-textile est utilisé comme couche anti-contaminante supérieure. Celui-ci pèse $120 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$ et est utilisé sur 50 m^2 . Il faut donc 6 kg de ce feutre en polypropylène réalisé par moussage [18].

Le transport sur une distance de 50 km des différents éléments nécessaires à la mise en place de ces tranchées d'infiltration est également pris en compte à ce stade [18].

Annexe E

Transport matières premières Oxyfix®

Afin de calculer la contribution des transports des composants à l'impact environnemental, les données fournies par Eloy quant à la provenance des composants sont utilisées. Les fournisseurs sont indiqués pour chaque constituant dans la nomenclature de l'Oxyfix® aux tableaux A.04, A.05 et A.06. Les quantités transportées et les distances sont donc connues. Ces deux données permettent de calculer le nombre de tkm entre les fournisseurs et Eloy Préfab. Ces valeurs sont reprises dans le Tableau E.01.

Lorsque la localisation des producteurs est connue, le nombre de tkm peut également être déterminé pour le trajet entre le producteur et le fournisseur. C'est le cas pour Maison Marchal, Cébéo et Dyka Plastics [92], [93]. Pour ce dernier fournisseur situé à Grâce-Hollogne, la production se fait en partie à Herentals et en partie de Steenwijk aux Pays-bas. Les matières en PVC de diamètre 32 mm sont produites à Steenwijk alors que celles de diamètres 110 et 160 mm sont produites à Herentals [93].

Pour d'autres producteurs, tels que Bosta, Co-joint, Tfa et Eriks, le lieu de production n'est pas connu avec exactitude. Dans ce cas, une valeur approximative est calculée sur base des informations obtenues.

Les producteurs des coudes PVC PN16, des té PVC PN16 et des mamelons d'adaptation PVC fournis par Bosta se trouvent au Portugal. Ces composants sont donc supposés transportés sur une distance de 2000 km. Les colliers Méga et les écarteurs de colliers Méga sont fabriqués en Grèce et sont supposés transportés sur une distance de 2500 km. La tétine en laiton et le collier BIS BIFLIX sont respectivement fabriqués en Italie et en Allemagne et sont supposés transportés sur une distance de 1500 et 700 km respectivement. Le nombre de tkm pour les pièces provenant de chez Bosta est calculé à l'aide de ces données [94] .

La production des raccords venant de chez Eriks est asiatique. Une distance de 2000 km en camion pour les trajets jusqu'au port et du port jusque chez Eriks et de 25000 km en bateau est donc considérée. Les tuyaux sont eux produits en Europe. Une distance moyenne de 2000 km est donc considérée [95].

La Membrane NBR 60 °S est fabriquée chez Co-joint. En conséquence, aucun trajet producteur-fournisseur n'est pris en compte pour celle-ci. Par contre l'O-ring est produit en Italie et est donc supposée transportée sur une distance de 1500 km jusqu'au fournisseur [96].

La production des pièces de visserie fournies par TFA est asiatique. Une distance de 2000 km en camion pour les trajets jusqu'au port et du port jusque chez TFA ainsi qu'une distance de 25000 km en bateau sont donc considérées [97].

Tableau E.01 – Transport des composants de l'Oxyfix® - 1L d'eau traitée

Fournisseur	Distance (km) production-fournisseur	Distance (km) fournisseur-Eloy	Quantité transportée(t)	Tkm production-fournisseur	Tkm fournisseur-Eloy	Type de transport jusqu'au fournisseur	Type de transport à partir du fournisseur
Dyka plastics (Herentals)	95	29	$1,698.10^{-9}$	$1,613.10^{-7}$	$4,923.10^{-8}$	Camion de 7 tonnes	Camion de 7 tonnes
Dyka plastics (Steenwijk)	308	29	$1,936.10^{-10}$	$5,964.10^{-8}$	$5,615.10^{-9}$	Camion de 7 tonnes	Camion de 7 tonnes
Maison Marchal	126	49	$1,314.10^{-12}$	$1,656.10^{-10}$	$6,439.10^{-11}$	Camion de 7,5 tonnes	Voiture de 750 kg
Trelleborg Forsheda Netherlands	0	283	$1,009.10^{-10}$	0	$2,855.10^{-8}$	0	Camion de 7 tonnes
Aderis	0	21	$6,425.10^{-13}$	0	$1,349.10^{-11}$	0	Camionnette
Albis Benelux	0	203	$5,353.10^{-9}$	0	$1,087.10^{-6}$	0	Camion de 24-28 tonnes
Arcelor Mittal Bissen	0	114	$6,454.10^{-9}$	0	$7,358.10^{-7}$	0	Camion de 25-30 tonnes
Belle Roche Sablar	0	39	$8,229.10^{-8}$	0	$3,209.10^{-6}$	0	Camion de 30 tonnes
Béton manufacture vesdre	0	27	$9,345.10^{-9}$	0	$2,523.10^{-7}$	0	Camion de 20 tonnes
Carmeuse Natural Chemical	0	35	$2,904.10^{-8}$	0	$1,017.10^{-6}$	0	Camion citerne de 30 tonnes
Cébéo	123	30	$5,257.10^{-13}$	$6,466.10^{-11}$	$1,577.10^{-11}$	Camionnette	Camionnette
Cerclindus	0	112	$1,647.10^{-13}$	0	$1,845.10^{-11}$	0	Camionnette
Filt	0	555	$7,301.10^{-11}$	0	$4,052.10^{-8}$	0	Camion de 14 tonnes
Holcim	0	145	$6,777.10^{-8}$	0	$9,826.10^{-6}$	0	Camion de 30 tonnes
Jäger umwelt-technik	0	418	$1,825.10^{-10}$	0	$7,629.10^{-8}$	0	Camion de 24 tonnes
Macfer	0	31	$1,922.10^{-10}$	0	$5,957.10^{-8}$	0	Camion de 14 tonnes
Matégro	0	35	$1,307.10^{-7}$	0	$4,574.10^{-6}$	0	Camion de 30 tonnes
Sagrex	0	9	$4,841.10^{-8}$	0	$4,356.10^{-7}$	0	Camion de 30 tonnes
Sika	0	544	$2,544.10^{-9}$	0	$1,384.10^{-6}$	0	Camion de 14 tonnes
Steel Work International	0	1,7	$6,615.10^{-12}$	0	$1,124.10^{-11}$	0	Camionnette
Bibus	0	536	$6,863.10^{-10}$	0	$3,679.10^{-7}$	0	Camion de 7 tonnes
Bosta	Variable	184	$2,302.10^{-10}$	$4,490.10^{-7}$	$4,236.10^{-8}$	Camion de 7,5 tonnes	Camion de 7,5 tonnes
Co-joint	Variable	23	$3,772.10^{-11}$	$6,571.10^{-11}$	$8,675.10^{-10}$	Camion de 10 tonnes	Camionnette
Eriks	Variable	116	$5,432.10^{-10}$	$1,342.10^{-6}$ $8,024.10^{-8}$	$6,301.10^{-8}$	Camion de 7 tonnes Bateau transocéanique	Camion de 7 tonnes
TFA	Variable	28	$5,324.10^{-11}$	$1,065.10^{-8}$ $1,331.10^{-6}$	$1,491.10^{-9}$	Camion de 10 tonnes Bateau transocéanique	Camionnette

Particularité des matières en acier

Dans ce tableau E.01, les matières en acier ne sont pas prises en compte car leur transport est particulier. En effet, afin de réduire les coûts de transport, Eloy a mis sur pied un cycle entre les différentes sociétés intervenant dans la mise à forme des matières en acier à savoir Roba Metals, Delhez, les Ateliers Jean-Del'Cour et Eloy Préfab. Celui-ci est représenté schématiquement à la Figure E.01. Les distances et quantités transportées y sont également exprimées. Les pertes ont été prises en compte lors de la réalisation des différentes pièces chez Delhez. Celles-ci sont de 10,4% pour les cloisons et 30,26% pour les cônes en Inox. Le moyen de transport utilisé pour l'ensemble des trajets est un camion de 24 tonnes EURO 4. Les distances et les quantités transportées permettent de trouver le nombre de tonnes kilomètres utilisées pour le transport de ces produits en acier. Celui-ci vaut $1,808.10^{-6}$ tkm une fois ramené à l'unité fonctionnelle.

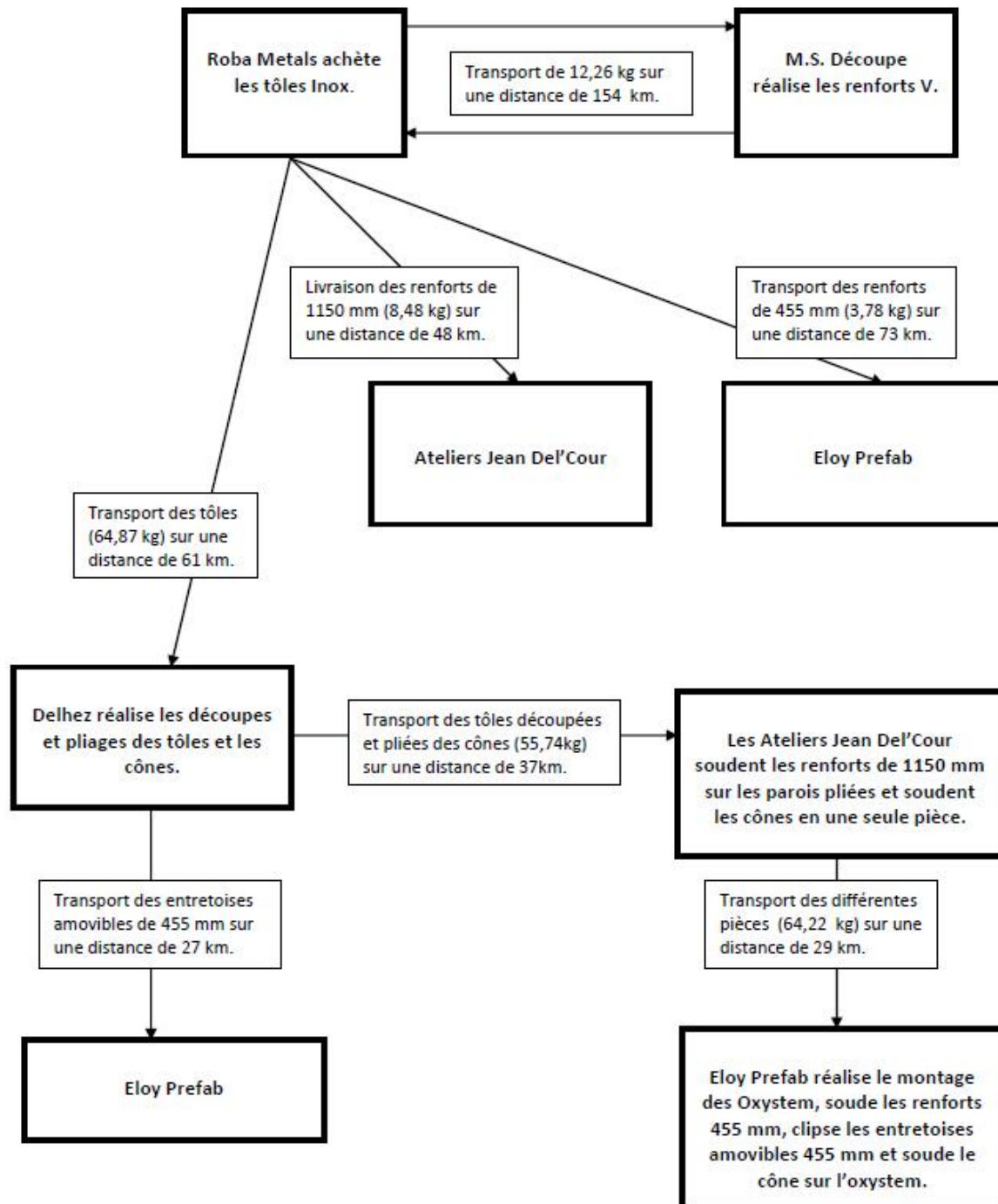


FIGURE E.01 – Cycle des matières en acier inoxydable [5]

Annexe F

Transport matières premières X-Perco®

Afin de calculer la contribution des transports des composants à l'impact environnemental, les données fournies par Eloy quant à la provenance des composants sont utilisées. Les fournisseurs sont indiqués pour chaque constituant dans la nomenclature de l'X-Perco® dans le Tableau B.02. Les quantités transportées et les distances sont donc connues. Ces deux données permettent de calculer le nombre de tkm pour le transport jusqu'à Eloy Préfab. Ces valeurs sont reprises dans le Tableau F.01.

Lorsque la localisation des producteurs est connue, le nombre de tkm peut être déterminé pour le trajet entre le producteur et le fournisseur. C'est le cas pour Maison Marchal, Superplastics et Dyka Plastics [92], [93]. Pour ce dernier fournisseur situé à Grâce-Hollogne, la production des constituants se fait uniquement à Herentals car tous les composants en PVC ont un diamètre de 110 ou 160 mm [93].

Le trajet entre le producteur du chapeau de ventilation à savoir Nicoll France situé à Cholet et le fournisseur Superplastic n'est pas direct car ce chapeau passe par Nicoll Belgique situé à Herstal [98].

Pour Bosta, et Tfa, le lieu de production n'est pas connu avec exactitude. Une valeur approximative est donc calculée sur base des informations obtenues.

Le producteur de la réduction courte se situe au Portugal. Celle-ci est donc transportée sur une distance de 2000 km. Les colliers Méga sont quant à eux fabriqués en Grèce et sont supposés transportés sur une distance de 2500 km. Le collier BIS BIFLIX est fabriqué en Allemagne et supposé transporté sur une distance de 700 km. Le nombre de tkm pour les pièces provenant de chez Bosta est calculé à l'aide de ces données [94].

La production des pièces de visserie est asiatique. Une distance de 2000 km en camion pour les trajets jusqu'au port et du port jusque chez TFA ainsi qu'une distance de 25000 km en bateau sont donc considérées [97].

Tableau F.01 – Transport des composants de l’X-Perco® - 1L d’eau traitée

Fournisseur	Distance (km) production-fournisseur	Distance (km) fournisseur-Eloy	Quantité transportée(t)	Tkm production-fournisseur	Tkm fournisseur-Eloy	Type de transport jusqu'au fournisseur	Type de transport à partir du fournisseur
Bosta	Variable	184	$1,263.10^{-7}$	$2,354.10^{-7}$	$2,324.10^{-8}$	Camion de 7,5 tonnes	Camion de 7,5 tonnes
Rotoplus	0	174	$4,570.10^{-8}$	0	$7,952.10^{-6}$	0	Camion de 24 tonnes
Dyka plastics (Herentals)	95	29	$2,948.10^{-9}$	$2,801.10^{-7}$	$8,551.10^{-8}$	Camion de 7 tonnes	Camion de 7 tonnes
Internationale geotextil GmbH	0	242	$1,168.10^{-7}$	0	$2,827.10^{-5}$	0	Camion de 25 tonnes
Maison Marchal	126	49	$1,314.10^{-12}$	$1,656.10^{-10}$	$6,439.10^{-11}$	Camion de 7,5 tonnes	Voiture de 750 kg
Superplastics	746	22	$5,622.10^{-11}$	$4,194.10^{-8}$	$1,237.10^{-9}$	Camion de 10 tonnes	Voiture de 750 kg
Tarcon	0	216	$1,171.10^{-10}$	0	$2,530.10^{-8}$	0	Voiture de 750 kg
TFA	Variable	28	$5,324.10^{-11}$	$1,080.10^{-8}$ $1,350.10^{-6}$	$1,512.10^{-9}$	Camion de 10 tonnes Bateau transocéanique	Camionnette
Trelleborg Forsheda Netherlands	0	283	$6,523.10^{-11}$	0	$1,846.10^{-8}$	0	Camion de 7 tonnes

Particularité des matières en acier

Dans ce tableau F.01, le transport des matières en acier jusque chez Eloy Préfab ne sont pas prises en compte car leur transport est particulier. En effet, les tôles en acier sont amenées de chez Roba à chez Delhez où elles subissent des découpes et pliages après un trajet de 61 km. Celles-ci engendrent 28% de pertes à partir des tôles en acier de 1500 mm * 2000 mm et 23% de pertes à partir des tôles en acier de 1500 mm * 1675 mm. Ces pertes sont prises en compte pour déterminer le nombre de tkm utilisées pour modéliser le transport des produits en acier. Les augets réalisés chez Delhez sont ensuite envoyés chez Eloy avec les entretoises amovibles. La distance séparant Delhez et Eloy Préfab est de 27 km. Le moyen de transport utilisé pour l’ensemble des trajets est un camion de 24 tonnes EURO4. Les distances et les quantités transportées permettent de trouver le nombre de tkm. Celui-ci vaut $2,347.10^{-7}$ tkm une fois ramené à l’unité fonctionnelle.

Annexe G

Transport matières premières fosse septique

Afin de calculer la contribution des transports des composants à l'impact environnemental, les données fournies par Eloy quant à la provenance des composants sont utilisées. Les fournisseurs sont indiqués pour chaque constituant dans la nomenclature de la fosse septique dans le Tableau C.01. Les quantités transportées et les distances sont donc connues. Ces deux données permettent de calculer le nombre de tkm entre les fournisseurs et Eloy Préfab.

Afin de réaliser le tableau récapitulatif G.01 des transports de composants, les hypothèses réalisées pour l'Oxyfix® et l'X-Perco® sont conservées.

Tableau G.01 – Transport des composants de la fosse septique - 1L d'eau traitée

Fournisseur	Distance (km) production-fournisseur	Distance (km) fournisseur-Eloy	Quantité transportée(t)	Tkm production-fournisseur	Tkm fournisseur-Eloy	Type de transport jusqu'au fournisseur	Type de transport à partir du fournisseur
Dyka plastics (Herentals)	95	29	$6,631.10^{-10}$	$6,299.10^{-8}$	$1,923.10^{-8}$	Camion de 7 tonnes	Camion de 7 tonnes
Trelleborg Forsheda Netherlands	0	283	$4,348.10^{-11}$	0	$1,231.10^{-8}$	0	Camion de 7 tonnes
Arcelor Mittal Bissen	0	114	$5,864.10^{-9}$	0	$6,685.10^{-7}$	0	Camion de 25-30 tonnes
Belle Roche Sablar	0	39	$7,477.10^{-8}$	0	$2,916.10^{-6}$	0	Camion de 30 tonnes
Béton manufacture vesdre	0	27	$9,345.10^{-9}$	0	$2,523.10^{-7}$	0	Camion de 20 tonnes
Carmeuse Natural Chemical	0	35	$2,639.10^{-8}$	0	$9,2367.10^{-7}$	0	Camion citerne de 30 tonnes
Holcim	0	145	$6,157.10^{-8}$	0	$8,928.10^{-6}$	0	Camion de 30 tonnes
Macfer	0	31	$1,922.10^{-10}$	0	$5,957.10^{-8}$	0	Camion de 14 tonnes
Matégro	0	35	$1,187.10^{-7}$	0	$4,156.10^{-6}$	0	Camion de 30 tonnes
Sagrex	0	9	$4,398.10^{-8}$	0	$3,958.10^{-7}$	0	Camion de 30 tonnes
Sika	0	544	$1,491.10^{-9}$	0	$8,113.10^{-7}$	0	Camion de 14 tonnes
TFA	Variable	28	$3,504.10^{-13}$	$7,009.10^{-10}$ $8,761.10^{-9}$	$9,812.10^{-12}$	Camion de 10 tonnes Bateau transocéanique	Camionnette

Annexe H

Consommation nécessaire à la fabrication d'une cuve en béton

Dans le Tableau H.01, sont repris respectivement le nombre de cuves, le volume total utile et le pourcentage en volume utile de chaque type de cuve. Ces chiffres sont ceux de l'année 2013.

Tableau H.01 – Données de production de cuves chez Eloy Préfab en 2013 [99]

Volume utile de la cuve considérée (L)	Nombre de cuves	Volume total utile produit de la cuve considérée (L)	Pourcentage du volume utile
4500	1585	7132500	11,80
6000	5281	31686000	52,40
7500	583	4372500	7,23
10000	887	8870000	14,67
15000	175	2625000	4,34
20000	289	5780000	9,56
Total	8800	60466000	100

Sur base des données de ce tableau et sachant que la consommation totale de Préfab est de 306756 kWh pour l'année 2013, on trouve qu'il faut 5,0732 kWh pour produire un m³ utile [99]. Il faut donc 30,44 kWh pour produire une cuve d'un volume utile de 6 m³ et 22,83kWh pour une cuve d'un volume utile de 4,5m³.

L'énergie consommée pour la fabrication de la cuve en béton est uniquement de l'électricité. Celle-ci est en grande partie produite à partir des panneaux solaires installés par Eloy. En effet, 231787 kWh des 306756 kWh consommés par Eloy Préfab au cours de l'année 2013 ont été produits à partir des panneaux solaires ce qui représente 75,6%. Cette consommation d'électricité à partir de panneaux solaires photovoltaïques est considérée à l'aide de la base de données "Electricity, production mix photovoltaic, at plant/BE U" de SimaPro7.3.3. L'autre partie (24,4%) est produite à partir du mix énergétique belge calculé sur base des données de l'IEA [48].

Annexe I

Transport des systèmes

Comme cela est expliqué au paragraphe 7.2.2.5, la répartition des transports selon les différents scénarios est considérée identique pour ceux-ci. Les hypothèses réalisées sont donc les mêmes pour ces trois systèmes envisagés. La différence réside dans le poids des systèmes transportés à savoir 2,89 tonnes pour l'Oxyfix®, 1,17 tonnes pour l'X-Perco® et 2,356 tonnes pour la fosse septique. Les statistiques ont toutes été calculées à partir des données des ventes pour l'Oxyfix®.

Calcul des pourcentages de ventes dans les différents pays

Comme cela est également évoqué au paragraphe 7.2.2.5, cinq destinations sont prises en compte à savoir l'Australie, la Belgique, la France, la Nouvelle-Calédonie et la Nouvelle-Zélande. Le poids donné au transport vers chaque destination est calculé à partir des pourcentages des ventes d'Oxyfix® en 2013 et en janvier 2014 dans chacun de ces pays de manière à obtenir une moyenne pondérée des impacts dus aux transports en fonction du trajet moyen parcouru [54]. Ces poids pondérés sont calculés dans le Tableau I.01.

Tableau I.01 – Pourcentages des ventes vers les différentes destinations

Destination	Nombre d'Oxyfix® vendues	Pourcentage de ventes (%)
Australie	6	0,2
Belgique	690	23
France	2134	71,1
Nouvelle-Calédonie	173	5,7
Nouvelle-Zélande	0	0
Total	3003	100

Généralités sur le transport

Au niveau belge

Pour le transport de systèmes vers la Belgique, il existe deux possibilités :

- la livraison ou l'enlèvement au départ d'Eloy ;
- la livraison jusqu'à un stock délocalisé avant la livraison ou l'enlèvement au départ de ce stock [54].

En Belgique, en 2013, seules 30 Oxyfix® ont été livrées vers des stocks délocalisés sur 647 Oxyfix® vendues. Ceci représente 4,64% des cas. Dans 95,36% des cas, l'Oxyfix® est donc livrée ou enlevée directement au départ d'Eloy.

En cas de livraison ou d'enlèvement au départ d'Eloy, une moyenne des trajets pour la livraison des Oxyfix® en janvier 2014 est réalisée. Celle-ci vaut 99,42 km. Cette distance moyenne est donc considérée en cas d'enlèvement ou de livraison au départ d'Eloy. De manière générale, cette valeur est aussi considérée pour tout enlèvement ou livraison au départ d'un stock délocalisé.

Dans le cas d'une livraison jusqu'à un stock délocalisé en Belgique, la distance moyenne séparant Eloy des cinq stocks délocalisés situés en Belgique est ajoutée au trajet nécessaire à l'enlèvement ou la livraison. Ces stocks sont situés à Waimes, Manage, Bastogne, Andennes et Saint-Germain, une distance moyenne de 78,6 km est obtenue. Celle-ci n'est pas pondérée par le nombre d'envois vers chaque stock vu le nombre relativement faible de cuves envoyées vers les stocks délocalisés belges [100].

Pour tous ces transports en camion, le processus "Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U" est choisi car les deux camions que possèdent Eloy sont :

- un camion 4 axes. Celui-ci a été mis en service en juin 2005 et est un camion de 25 tonnes. Il s'agit donc d'un camion 16-32t de classe EURO 3.
- un camion grue 35 t/m. Celui-ci a été mis en service en 2012 et est un camion de 19270 tonnes. Il s'agit donc d'un camion 16-32t de classe EURO 5 [100], [101].

Il semble donc acceptable de choisir le "Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U" pour les transports dont le type de camion utilisé n'est pas connu. C'est aussi le cas, pour les livraisons ou enlèvements au départ d'Eloy car la majorité des transports sont effectués par enlèvement et il est donc impossible de connaître le type de camion utilisé.

Au niveau français

Pour le transport vers la France, comme pour le transport vers la Belgique les systèmes peuvent être transportés vers des stocks délocalisés ou amenés directement chez le particulier.

En 2013, en France, 491 des 2005 Oxyfix® vendues ont été livrées vers des stocks délocalisés ce qui représente 24,49% des cas. Dans 75,51% des cas, l'Oxyfix® est donc livrée ou enlevée directement au départ d'Eloy.

Dans le cas d'une livraison jusqu'à un stock délocalisé en France, la distance moyenne parcourue par un système jusqu'aux stocks délocalisés est calculée sur base des distances jusqu'à chacun de ceux-ci mais également du nombre d'Oxyfix® transportés dans chaque cas. Ici aussi, une pondération par les ventes est donc réalisée. Ces données sont reprises dans le Tableau I.02.

Tableau I.02 – Calcul de la distance moyenne effectuée par un système jusqu’aux stocks délocalisés français [102]

Localité	Nombre de cuves envoyées en 2013	Distance (km)	Distance totale parcourue vers ce stock (km)
13270 - Fos-Sur-Mer	53	947	50191
14130 - St André d'Hebertot	19	497	9443
25480 - Miserey Salines	4	449	1796
30320 - Marguerittes	2	894	1788
31150 - Lespinasse	24	1045	25080
34430 - St Jean De Vedas	3	953	2859
35440 - Feins	14	703	9842
44800 - St Herblain	81	771	62451
55200 - Commercy	31	249	7719
58200 - Cosne Cours sur Loire	87	559	48633
63360 - Gerzat	37	797	29489
69680 - Chassieu	46	675	31050
74800 - La Roche Sur Foron	17	739	12563
81990 - Albi	61	1074	65514
87000 - Limoges	12	786	9432
Total	491	-	367850

La distance moyenne parcourue jusqu’au stock délocalisé est donc de $\frac{367850}{491} = 749,185$ km. A ce trajet doit s’ajouter celui de l’enlèvement ou de la livraison au départ du stock délocalisé. Ce dernier est considéré égal au trajet effectué pour les livraisons en Belgique.

En cas de livraison ou d’enlèvement au départ d’Eloy, une moyenne des trajets pour la livraison des Oxyfix® vers les départements où ce scénario est possible est réalisée. En effet, pour des raisons pratiques, des livraisons ou des enlèvements directs ne sont pas réalisés dans tous les départements français. Les départements où il peut y avoir des livraisons directes et où un stock délocalisé est présent sont le Calvados (14), le Doubs (25), l’Ile-et-Vilaine (35), la Loire-Atlantique (44), la Meuse (55), la Nièvre (58), et la Haute-Vienne (87) [102]. Le calcul de la distance jusqu’à l’endroit de la livraison directe est obtenu en faisant une moyenne des distances séparant Eloy Préfab et les stocks délocalisés considérés. Cette distance moyenne pour l’enlèvement ou la livraison directe vaut 573,43 km.

Au niveau de la filiale export

Pour l’Australie, la Nouvelle-Calédonie et la Nouvelle-Zélande, c’est-à-dire pour la filière export, les systèmes sont transportés en camion jusqu’au port d’Anvers puis en bateau jusqu’au port récepteur. Ensuite, un transport jusqu’au stock délocalisé est pris en compte avant le dépôt ou l’enlèvement pour amener la station chez le particulier [54].

Le trajet jusqu’au port d’Anvers est supposé de 171 km. Celui du port récepteur au stock délocalisé de 20 km. En effet, ce stock délocalisé est situé le plus proche possible du port récepteur [54]. Ensuite, la distance pour l’enlèvement ou la livraison au départ du stock délocalisé est supposée égale à la distance des livraisons en Belgique soit 99,42 km.

Pour ce qui est du transport en bateau, la longueur de celui-ci est déterminée à l’aide du site sea-distances [47]. Ce site propose à chaque fois cinq distances selon que l’on passe par le Cap Horn, le Cap de Bonne-Espérance, le détroit de Magellan, le canal de Panama

ou le canal de Suez. Le scénario le plus défavorable est considéré dans chaque cas. Ceci surestime les impacts liés au transport maritime. Pour chacune des trois destinations, les différents ports récepteurs sont considérés. En Nouvelle-Calédonie, il s'agit de Nouméa. En Nouvelle-Zélande, les stocks délocalisés se situeront à Auckland et à Christchurch¹⁸. En Australie, les ports récepteurs sont situés à Brisbane, à Perth et à Sidney [54]. Le tableau I.03 reprend les distances vers les différents ports ainsi que la moyenne par pays. C'est cette moyenne qui est utilisée pour la modélisation.

Tableau I.03 – Distances en bateau vers les ports récepteurs [47]

Port récepteur	Distance parcourue en bateau (miles nautiques)	Distance parcourue en bateau (km)
Auckland	13774	25509
Christchurch	13544	25083
Moyenne Nouvelle-Zélande	13659	25296
Nouméa	13727	25422
Moyenne Nouvelle-Calédonie	13727	25422
Brisbane	13474	24954
Perth	14806	27421
Sidney	13267	24570
Moyenne Australie	13849	25648

18. Pour rappel, la Nouvelle-Zélande est un nouveau marché.

Annexe J

Installation

Mise en fouille

Comme cela est évoqué au paragraphe 7.2.2.6, une mise en fouille est effectuée pour chacun des systèmes. Les dimensions de cette fouille dépendent du système envisagé. La hauteur dépend également des conditions topographiques. Ici aussi, le cas le plus défavorable c'est-à-dire la hauteur la plus importante est prise en compte. Les valeurs des dimensions des diverses fouilles sont exposées dans le Tableau J.01.

Tableau J.01 – Dimensions de la fouille et volume de terre à excaver

	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Volume excavé ramené à l'unité fonctionnelle (m^3)
Oxyfix®	3,6	2,8	3,05	$4,489.10^{-6}$
X-Perco®	4,3	2,2	2,4	$3,315.10^{-6}$
Fosse septique	3,6	2,8	2,65	$3,900.10^{-6}$

Terrassement

Une fois la fouille effectuée, un terrassement est réalisé. En théorie, la hauteur de celui-ci est comprise entre 10 et 20 cm. Comme cela est réalisé tout au long de l'étude, le cas le plus défavorable est pris en compte c'est-à-dire une hauteur de terrassement de 20 cm. Ce lit de pose peut être composé de sable d'empierrement ou de grains de riz. Cependant, seul le cas d'un lit de sable est considéré ici car c'est de loin le cas le plus fréquent [35]. Pour calculer la masse de sable nécessaire, une masse volumique de sable de $1850 \frac{kg}{m^3}$ est considérée [103]. Ces valeurs sont reprises dans le Tableau J.02.

Tableau J.02 – Quantités de sable nécessaires afin de réaliser le terrassement - 1L d'eau traitée [2], [3]

	Masse de sable ramenée à l'unité fonctionnelle
Oxyfix®	$5,446.10^{-4}$
X-Perco®	$5,111.10^{-4}$
Fosse septique	$5,446.10^{-4}$

Manutention

Après avoir réalisé le terrassement et la fouille, la station doit être mise en fouille. Ceci est généralement réalisé par le bras du camion transportant les Oxyfix®. La consommation de celui-ci pendant la mise en fouille est prise en compte dans cette étude. Une grue d'une puissance nominale de 158kW est utilisée pour la manutention [104], [105]. Celle-ci dure 5 minutes et est la même pour les trois systèmes envisagés. Une consommation de Diesel de 13,67 kWh est donc nécessaire pour réaliser cette manutention.

Remblaiement et raccordements hydraulique

Remblaiement

Ensuite, la cuve est remblayée avec un matériau d'une granulométrie comprise entre 0 et 20 mm comme du sable, des empierrements ou des grains de riz jusqu'au tuyau de raccordement. Le sol en place peut également être utilisé [2]. Dans cette étude, seul le cas du sable est considéré.

Du sable est donc utilisé pour le remblayage jusqu'au couvercle à l'exception d'une couche de sable stabilisé¹⁹ utilisée afin de mieux protéger les tuyaux. Celle-ci commence 30 cm en dessous du haut du couvercle et possède une largeur de 50 cm. Sa longueur s'étend du bord de la fosse à la cuve [2]. A ces couches de sable stabilisé, le volume occupé par les raccordements de sortie et d'entrée est retiré.

La hauteur de sable stabilisé considérée dans cette étude se prolonge sur une hauteur de 20 cm au-dessus de la surface supérieure de la cuve de manière à ce que les tuyaux soient englobés dans une hauteur totale de 50 cm de sable stabilisé. La largeur de celle-ci est toujours de 50 cm. A cette couche de 20 cm, le volume occupé par le tuyau PVC nécessaire à la ventilation est retiré. Du sable est également utilisé pour compléter la couche de 20 cm située au dessus de la surface supérieure de la cuve. Néanmoins, il faut retirer le volume des rehausses de cette couche de sable.

Raccordements hydrauliques

Les entrées et sorties (IN et OUT) sont raccordées par emboîtement avec des canalisations PVC de diamètre 100 mm. Ceci constitue le minimum imposé par la norme XP DTU 64.1 [106]. La longueur de ce raccordement hydraulique est considérée de 10 m en entrée et de 10 m en sortie à l'exception de la sortie de la fosse septique. Cette dernière ne fait que 5 m vu la proximité des tranchées d'infiltration [10]. Ces raccordements sont réalisés en PVC par extrusion de tuyaux plastiques.

Des tranchées doivent être réalisées afin de permettre les raccordements hydrauliques en entrée et en sortie. La profondeur de celles-ci dépend de la profondeur de la fouille afin de bien enrober les tuyaux dans le sable stabilisé. Dans cette étude, elle vaut 1,1 m pour l'Oxyfix® et la fosse septique et 1,05 m pour l'X-Perco®. La largeur des tranchées est toujours considérée de 50 cm.

19. Le sable stabilisé considéré dans cette étude est du sable contenant 200 kg de ciment par m³ de sable [10].

Les tranchées contenant les raccordements d'entrée et de sortie sont d'abord remplies de sable sur une hauteur de 20 cm puis de sable stabilisé sur une hauteur de 50 cm. Au volume de sable stabilisé, il faut retirer le volume des canalisations c'est-à-dire la ventilation et le raccordement d'entrée pour l'entrée et le raccordement de sortie pour la sortie. Pour l'Oxyfix®, le volume de la gaine doit également être retiré.

Une fois ce remblayage effectué, il faut remplir la cuve d'eau claire. Les trois compartiments sont alors remplis et dès que l'eau sort de la cuve par le tuyau de sortie, la station peut être mise en route.

Raccordement du surpresseur

Cette partie de l'installation ne concerne que l'Oxyfix®. En effet, l'X-Perco® et la fosse septique n'utilisent pas de surpresseur comme cela est montré au chapitre 6.

Lors de l'installation de l'Oxyfix®, le surpresseur est directement raccordé au réseau à l'aide de sa prise électrique. Il est connecté à la rampe d'aération à l'aide d'un raccord rapide par le biais d'un tuyau souple qui doit être placé dans une gaine de diamètre intérieur de 60 mm minimum afin d'éviter toute détérioration [2] [45]. Cette gaine, réalisée en HDPE est fabriquée par extrusion également [107].

Ventilation

Le système de ventilation consiste également en un tuyau d'air en PVC de diamètre 100 mm fabriqué par extrusion [2]. Sa longueur est également considérée de 10 m.

Transport des composants nécessaires à l'installation

À ce stade de l'étude, les impacts environnementaux liés aux trajets effectués par les camions amenant le sable, le ciment²⁰, les tuyaux PVC et la gaine Caboflex sont également pris en compte. Ce trajet est supposé réalisé sur une distance estimée à 50 km dans des camions de 16-32 t de type EURO 4.

Flux de référence

Les flux de référence nécessaires à l'installation de l'Oxyfix®, de l'X-Perco® et de la fosse septique sont calculés à l'aide des hypothèses qui viennent d'être énoncées. Les valeurs ainsi obtenues sont reprises au paragraphe 7.2.2.6.

20. Pour obtenir la masse de ciment à partir du volume, une masse volumique de $1500 \frac{kg}{m^3}$ est prise en compte.

Annexe K

Utilisation d'électricité

Calcul des mix énergétiques

Les mix énergétiques à l'exception du mix énergétique calédonien sont calculés sur base des données de l'IEA [48]. Ceux-ci sont repris aux tableaux K.01, K.02, K.03 et K.04. Les biocarburants et "les autres" ne pouvant pas être modélisés par SimaPro7.3.3, ils ont été retirés du mix énergétique. C'est également le cas de l'électricité produite via les panneaux solaires thermiques, via la force marémotrice et via la géothermie.

Tableau K.01 – Mix énergétique belge en 2011 [48]

Production réalisée à partir de :	Production en GWh en 2011	Pourcentage produit (%)	Base de données considérée dans SimaPro
Tourbe et charbon	5375	5,96	Electricity, hard coal, at power plant/BE U
Pétrole	290	0,32	Electricity, oil, at power plant/BE U
Gas	25438	28,19	Electricity, natural gas, at power plant/BE U
Biocarburants	3878	4,3	-
Déchets	1982	2,2	Electricity from waste, at municipal waste incineration plant/CH U
Nucléaire	48234	53,45	Electricity, nuclear, at power plant/UCTE U
Hydraulique	1423	1,58	Electricity, hydropower, at power plant/BE U
Géothermie	0	0	-
Solaire photovoltaïque	1169	1,3	Electricity, production mix photovoltaic, at plant/BE U
Solaire thermique	0	0	-
Éolien	2312	2,56	Electricity, at wind power plant/RER U
Marémotrice	0	0	-
Autres sources	134	0,15	-
Total	90325	100	-
Total en retirant les productions non modélisables	86223	95,55	Mix énergétique belge

Tableau K.02 – Mix énergétique français en 2011 [48]

Production réalisée à partir de :	Production en GWh en 2011	Pourcentage produit (%)	Base de données considérée dans SimaPro
Tourbe et charbon	17310	3,08	Electricity, hard coal, at power plant/FR U
Pétrole	3439	0,61	Electricity, oil, at power plant/FR U
Gas	26755	4,76	Electricity, natural gas, at power plant/FR U
Biocarburants	2941	0,52	-
Déchets	4420	0,79	Electricity from waste, at municipal waste incineration plant/CH U
Nucléaire	442383	78,72	Electricity, nuclear, at power plant/UCTE U
Hydraulique	49893	8,88	Electricity, hydropower, at power plant/FR U
Géothermie	0	0	-
Solaire photovoltaïque	2050	0,36	Electricity, production mix photovoltaic, at plant/FR U
Solaire thermique	0	0	-
Éolien	12235	2,18	Electricity, at wind power plant/RER U
Marémotrice	534	0,1	-
Autres sources	0	0	-
Total	561960	100	-
Total en retirant les productions non modélisables	558485	99,38	Mix énergétique français

Tableau K.03 – Mix énergétique australien en 2011 [48]

Production réalisée à partir de :	Production en GWh en 2011	Pourcentage produit (%)	Base de données considérée dans SimaPro
Tourbe et charbon	173291	68,6	Electricity, hard coal, at power plant/UCTE U
Pétrole	4103	1,62	Electricity, oil, at power plant/UCTE U
Gas	49658	19,66	Electricity, natural gas, at power plant/UCTE U
Biocarburants	2102	0,84	-
Déchets	0	0	-
Nucléaire	0	0	-
Hydraulique	16807	6,65	Electricity, hydropower, at power plant/JP U
Géothermie	1	0,0004	-
Solaire photovoltaïque	850	0,34	Electricity, production mix photovoltaic, at plant/AU U
Solaire thermique	4	0,0016	-
Éolien	5807	2,30	Electricity, at wind power plant 2MW, offshore/OCE U
Marémotrice	0	0	-
Autres sources	0	0	-
Total	252623	100	-
Total en retirant les productions non modélisables	249671	99,17	Mix énergétique australien

Tableau K.04 – Mix énergétique néo-zélandais en 2011 [48]

Production réalisée à partir de :	Production en GWh en 2011	Pourcentage produit (%)	Base de données considérée dans SimaPro
Tourbe et charbon	2167	4,87	Electricity, hard coal, at power plant/UCTE U
Pétrole	2	0,0045	Electricity, oil, at power plant/UCTE U
Gas	8512	19,13	Electricity, natural gas, at power plant/UCTE U
Biocarburants	607	1,36	-
Déchets	0	0	-
Nucléaire	0	0	-
Hydraulique	25079	56,36	Electricity, hydropower, at power plant/JP U
Géothermie	6116	14	-
Solaire photovoltaïque	0	0	-
Solaire thermique	0	0	-
Éolien	1950	4,38	Electricity, at wind power plant 2MW, offshore/OCE U
Marémotrice	0	0	-
Autres sources	63	0,14	-
Total	252623	100	-
Total en retirant les productions non modélisables	44496	84,75	Mix énergétique néo-zélandais

Le mix énergétique néo-calédonien est calculé sur base des données de la littérature. Il "repose à 76,2% sur les énergies fossiles, à 15,7% sur l'énergie hydraulique, à 7,5% sur l'énergie éolienne, à 0,6% sur l'énergie solaire (3MW) [108]."

En Nouvelle-Calédonie, 85,82% de l'électricité produite via les combustibles fossiles l'est à partir de pétrole alors que 14,18% l'est à partir de charbon. A partir de ces données, le mix énergétique néo-calédonien peut être calculé. Il est retranscrit dans le Tableau K.05 [109].

Tableau K.05 – Mix énergétique néo-calédonien en 2012 [48]

Production réalisée à partir de :	Production en GWh en 2011	Pourcentage produit (%)	Base de données considérée dans SimaPro
Tourbe et charbon	213,46	10,81	Electricity, hard coal, at power plant/UCTE U
Pétrole	1291,57	63,03	Electricity, oil, at power plant/UCTE U
Gas	0	0	-
Biocarburants	0	0	-
Déchets	0	0	-
Nucléaire	0	0	-
Hydraulique	310,09	15,70	Electricity, hydropower, at power plant/JP U
Géothermie	6116	0	-
Solaire photovoltaïque	11,85	0,6	Electricity, production mix photovoltaic, at plant/NZ U
Solaire thermique	0	0	-
Éolien	148,13	7,5	Electricity, at wind power plant 2MW, offshore/OCE U
Marémotrice	0	0	-
Autres sources	0	0	-
Total	1975,10	100	-
Total en retirant les productions non modélisables	1975,10	100	Mix énergétique néo-calédonien

Annexe L

Émissions dans l'air

Comme cela a été vu au paragraphe 7.2.2.9, pour une fosse toutes eaux supposée en configuration verticale, le volume de CH₄ produit a pu être trouvé dans la littérature. La quantité de CH₄ rejetée par litre d'eau traitée vaut 37 mL dans ce cas [60]. On peut émettre les hypothèses que le CH₄ dégagé représente 50 à 60% des gaz produits et que 25 à 35% des gaz produits sont du CO₂. Par ailleurs, les matières organiques contenues dans la fosse septique dégagent aussi en pourrissant du sulfure d'hydrogène H₂S [10]. Dans cette étude, les valeurs moyennes sont utilisées pour déterminer les rejets dans l'air. On estime donc que 55% des gaz s'échappant par la conduite de ventilation sont du CH₄ et 30% sont du CO₂. Les rejets de H₂S correspondent donc à 15 % des émissions [10]. Le volume total de gaz émis vaut :

$$\frac{37}{0,55} = 67,273 \frac{mL}{L_{traite}} = 6,7273.10^{-5} \frac{m^3}{L_{traite}}$$

Le tableau L.01 regroupe les données nécessaires pour calculer les émissions dans l'air mais aussi les valeurs obtenues après calcul.

Tableau L.01 – Calcul des émissions dans l'air pour les trois systèmes envisagés - 1L d'eau traitée

Gaz	Masse volumique à 1 atm et 15 ° C	Fraction dans les émissions	Quantité ramenée à l'unité fonctionnelle (kg)
CH ₄ biogénique	0,678 [110]	0,55	2,501.10 ⁻⁵
CO ₂ biogénique	1,87 [111]	0,3	3,774.10 ⁻⁵
H ₂ S	1,45 [112]	0,15	1,463.10 ⁻⁵

Annexe M

Émissions dans l'eau

Afin de calculer les émissions dans l'eau après traitement dans les trois systèmes considérés, les valeurs de charges polluantes dans l'influent et les performances des systèmes sont nécessaires. Les valeurs de charges polluantes utilisées par Eloy Water pour le dimensionnement de la micro-station Oxyfix® gamme WW- Fr et du filtre compact X-Perco® sont utilisées comme valeurs de l'influent de la station. Les performances de la micro-station Oxyfix® et du filtre compact X-Perco® ainsi que celles de filières classiques trouvées dans la littérature sont ensuite utilisées pour déterminer les émissions dans l'effluent à l'aide des valeurs de charges polluantes en entrée. Ces valeurs sont reprises dans les Tableaux M.01, M.02 et M.03. Elles prennent en considération cinq types de charges polluantes à savoir la demande biologique en oxygène DBO₅, la demande chimique en oxygène DCO, les matières en suspension, l'azote total et le phosphore [113], [114].

Tableau M.01 – Charge polluante émise dans les eaux pour l'Oxyfix® [2]

Polluant	DBO ₅	DCO	MES	NTK	P _{tot}
Concentration dans l'influent	360 $\frac{mgO_2}{L}$	900 $\frac{mgO_2}{L}$	600 $\frac{mg}{L}$	80 $\frac{mg}{L}$	17 $\frac{mg}{L}$
Efficacité du traitement	95%	90%	96%	96%	30%
Concentration dans l'effluent	18 $\frac{mgO_2}{L}$	90 $\frac{mgO_2}{L}$	24 $\frac{mg}{L}$	3,2 $\frac{mg}{L}$	11,9 $\frac{mg}{L}$

Tableau M.02 – Charge polluante émise dans les eaux pour l'X-Perco® [3]

Polluant	DBO ₅	DCO	MES	NTK	P _{tot}
Concentration dans l'influent	360 $\frac{mgO_2}{L}$	900 $\frac{mgO_2}{L}$	600 $\frac{mg}{L}$	80 $\frac{mg}{L}$	17 $\frac{mg}{L}$
Efficacité du traitement	97,7%	95,3 %	98,2 %	96 % ²¹	30% ²¹
Concentration dans l'effluent	8,28 $\frac{mgO_2}{L}$	42,3 $\frac{mgO_2}{L}$	10,8 $\frac{mg}{L}$	3,2 $\frac{mg}{L}$	11,9 $\frac{mg}{L}$

21. Les performances de l'X-Perco® n'étant pas disponibles pour l'azote et le phosphore, celles-ci sont considérées identiques à celles de l'Oxyfix®.

Tableau M.03 – Charge polluante émise dans les eaux pour la filière classique [115]

Polluant	DBO ₅	DCO	MES	NTK	P _{tot}
Concentration dans l'influent	360 $\frac{mgO_2}{L}$	900 $\frac{mgO_2}{L}$	600 $\frac{mg}{L}$	80 $\frac{mg}{L}$	17 $\frac{mg}{L}$
Efficacité du traitement : cas 1	N.D. ²²	84 %	83 %	85 %	30% ²³
Efficacité du traitement : cas 2	96%	86 %	79 %	61 %	30% ²³
Efficacité moyenne du traitement	96 %	85 %	81 %	73 %	30% ²³
Concentration dans l'effluent	14,4 $\frac{mgO_2}{L}$	135 $\frac{mgO_2}{L}$	114 $\frac{mg}{L}$	21,6 $\frac{mg}{L}$	11,9 $\frac{mg}{L}$

Déjà ramenées au litre d'eau traitée, les valeurs reprises aux tableaux M.01, M.02 et M.03 sont directement introduites dans le logiciel SimaPro 7.3.3.

22. Cette valeur n'est pas donnée pour la première des deux filières classiques.

23. Les performances des filières classiques n'étant pas disponibles pour le phosphore, celles-ci sont considérées identiques à celles de l'Oxyfix®.

Annexe N

Fin de vie des boues

La production de boues à charge nominale est donnée dans la littérature en litres par an pour l'Oxyfix® et l'X-Perco®. Cette quantité de boues est ramenée à l'unité fonctionnelle dans le tableau N.01. A partir de celle-ci et en se basant sur les informations des taux de vidange en France et sur la capacité des compartiments accueillant les boues, le nombre de vidanges théoriques peut être déterminé. Ces valeurs sont également reprises dans le Tableau N.01.

Pour la filière classique, en considérant un volume de la fosse septique de 4,24 m³ et une extrapolation linéaire, la production de boues à charge réelle obtenue sur base des données de la littérature est de 308,636 litres par an [60]. Afin de trouver la valeur à charge nominale, un coefficient est appliqué à cette production de boues. Il est calculé à partir des données réelles de l'Oxyfix®. Cette micro-station est vidangée en moyenne tous les 3,13 ans et Eloy déclenche la vidange de la cuve à un taux de remplissage de 50% du volume du décanteur primaire qui a une capacité de 3000 L [55]. La production annuelle de boues pour l'Oxyfix® à charge réelle est donc de :

$$\frac{3000 * 0,5}{3,13} = 479,233 \text{ L}$$

La production annuelle de boues à charge nominale est de 1310 litres [2], il y a donc un facteur $\frac{1310}{479,233} = 2,734$ entre les deux.

En utilisant ce facteur, la production annuelle de boues à charge nominale pour la fosse septique est de : $2,734 * 308,636 = 843,667$ litres. Cette donnée est également utilisée dans le Tableau N.01 où les calculs pour la filière traditionnelle sont identiques à ceux réalisés pour l'Oxyfix® et l'X-Perco® .

Tableau N.01 – Fréquence de vidange et production de boues

	Unités	Oxyfix®	X-Perco®	Fosse septique
Production de boues	$\frac{\text{litres}}{\text{an}}$	1310	1700	844 [60]
Production de boues ramenées à l'unité fonctionnelle	$\frac{\text{an}}{\text{L}_{\text{traite}}}$	$4,782.10^{-3}$	$6,206.10^{-3}$	$3,080.10^{-3}$ [60]
Taux de vidange théorique	%	30	30	50
Capacité de vidange	litres	900	1275	2120
Fréquence de vidange théorique en France	années	0,67	0,75	2,513
Nombre de vidanges théorique sur une durée de vie de 25 ans	-	37,5	33,3	9,95

La quantité d'eau nécessaire, ramenée à l'unité fonctionnelle, pour le remplissage de la cuve est égale à la quantité de boues produites. En effet, un litre de boues retiré demande l'apport d'un litre d'eau.

En considérant une masse volumique des boues égale à celle de l'eau soit $1 \frac{kg}{L}$ ainsi qu'une distance de transport de 50 km et connaissant la production de boues, le nombre de tkm nécessaire peut être déterminé. Ces valeurs, ramenées à l'unité fonctionnelle sont reprises dans le Tableau N.02. Dans ce tableau, le nombre de kWh de diesel nécessaire pour effectuer l'ensemble des vidanges est également repris. Pour le calcul de celui-ci, un PCI de $35770 \frac{kJ}{L}$ est utilisé [116].

Tableau N.02 – Flux de référence liés à la vidange et au transport des boues - 1L d'eau traitée

	Unités	Oxyfix®	X-Perco®	Fosse septique	Base de données dans SimaPro7.3.3
Diesel nécessaire pour réaliser les vidanges	kJ	0,5876	0,5223	0,156	Diesel, burned in building machine/GLO U
Transport de boues ramené à l'unité fonctionnelle	tkm	$2,391.10^{-4}$	$3,103.10^{-4}$	$1,540.10^{-4}$	Transport, lorry 16-32t, EURO4/RER U

Afin de déterminer le pourcentage de boues épandues venant des unités d'épuration individuelle, les pourcentages de boues épandues en Belgique et en France sont pondérées par les ventes, il vient donc que le pourcentage de boues épandues vaut :

$$\frac{16 * 0,710623 + 0 * 0,22977}{0,710623 + 0,22977} = 12,1\%$$

Le transport des boues vers des stations d'épuration collective représente donc 87,9% des boues issues de l'épuration individuelle.

Annexe O

Résultats normalisés pour les trois unités d'épuration individuelle

Les résultats normalisés pour l'Oxyfix®, l'X-Perco® et la filière traditionnelle sont présentés respectivement aux Figures O.01, O.02 et O.03.

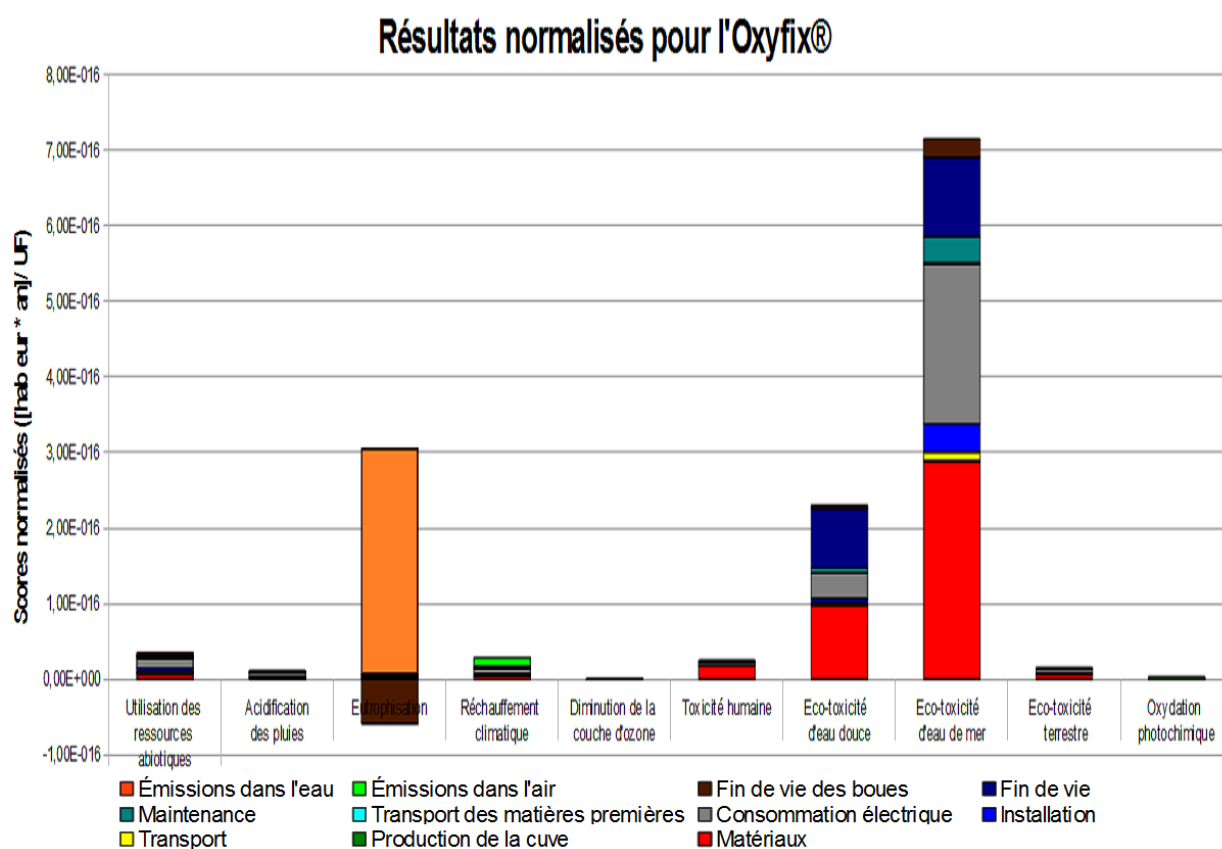


FIGURE O.01 – Résultats normalisés pour l'Oxyfix® - 1L d'eau traitée

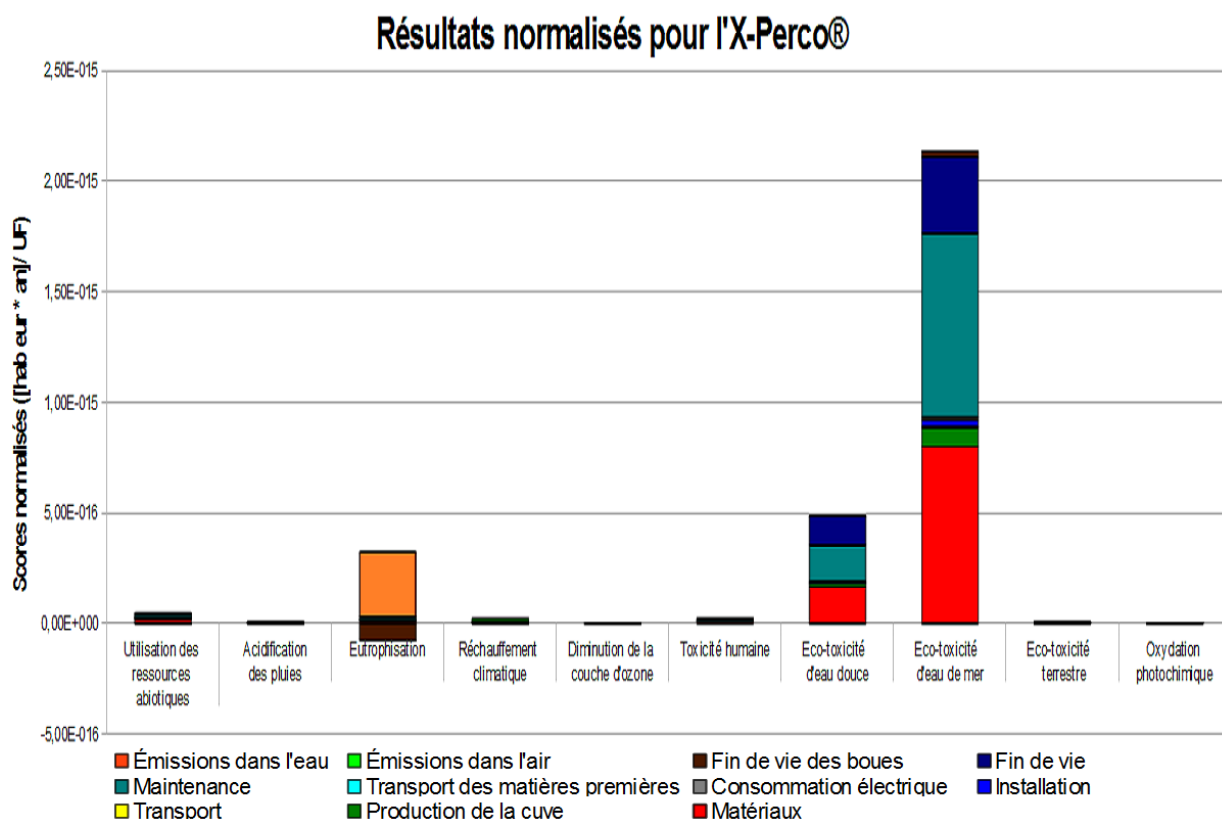


FIGURE O.02 – Résultats normalisés pour l'X-Perco® - 1L d'eau traitée

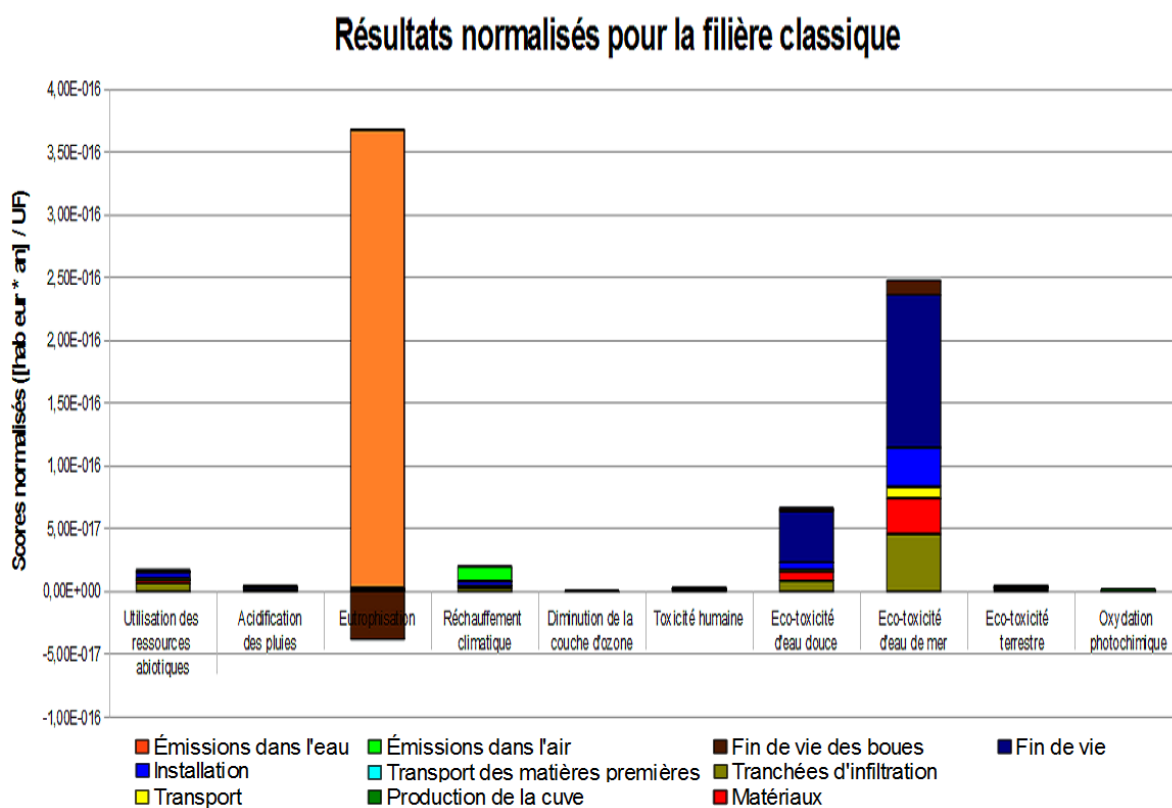


FIGURE O.03 – Résultats normalisés pour la filière traditionnelle - 1L d'eau traitée

Annexe P

Résultats caractérisés pour les trois unités d'épuration individuelle

Les résultats caractérisés pour l'Oxyfix®, l'X-Perco® et la filière traditionnelle sont présentés respectivement aux Figures P.01, P.02 et P.03. Ils présentent l'impact de chaque étape pour toutes les catégories étudiées.

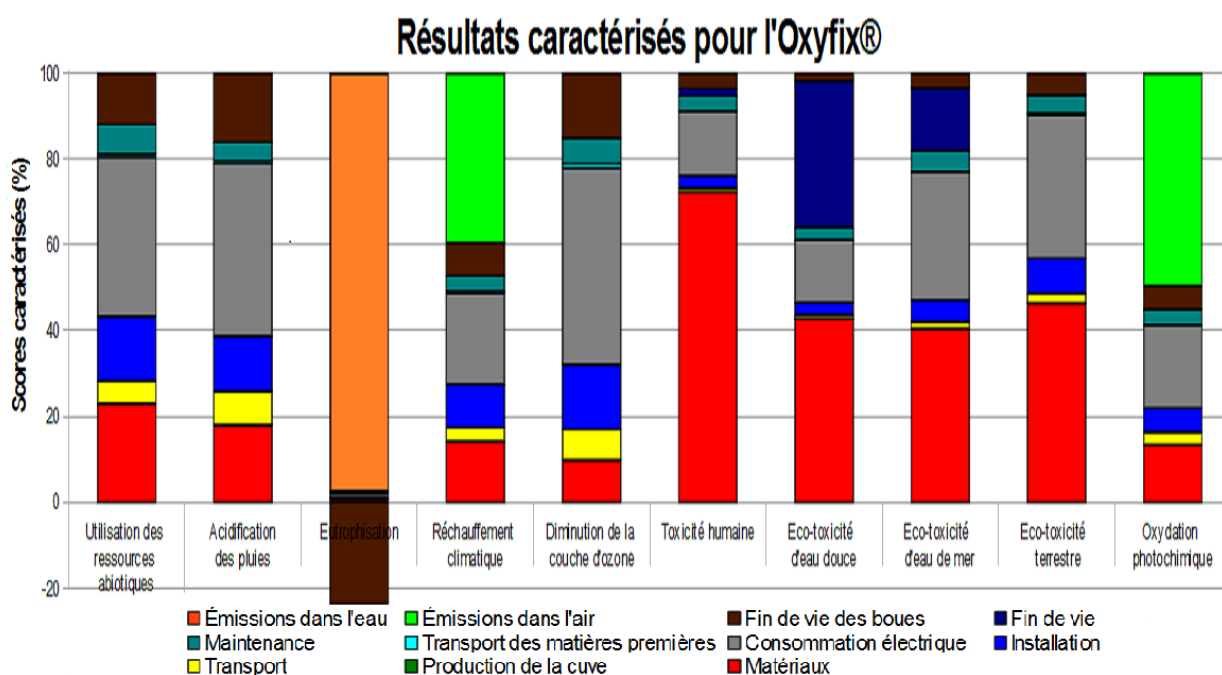


FIGURE P.01 – Résultats caractérisés pour l'Oxyfix® - 1L d'eau traitée

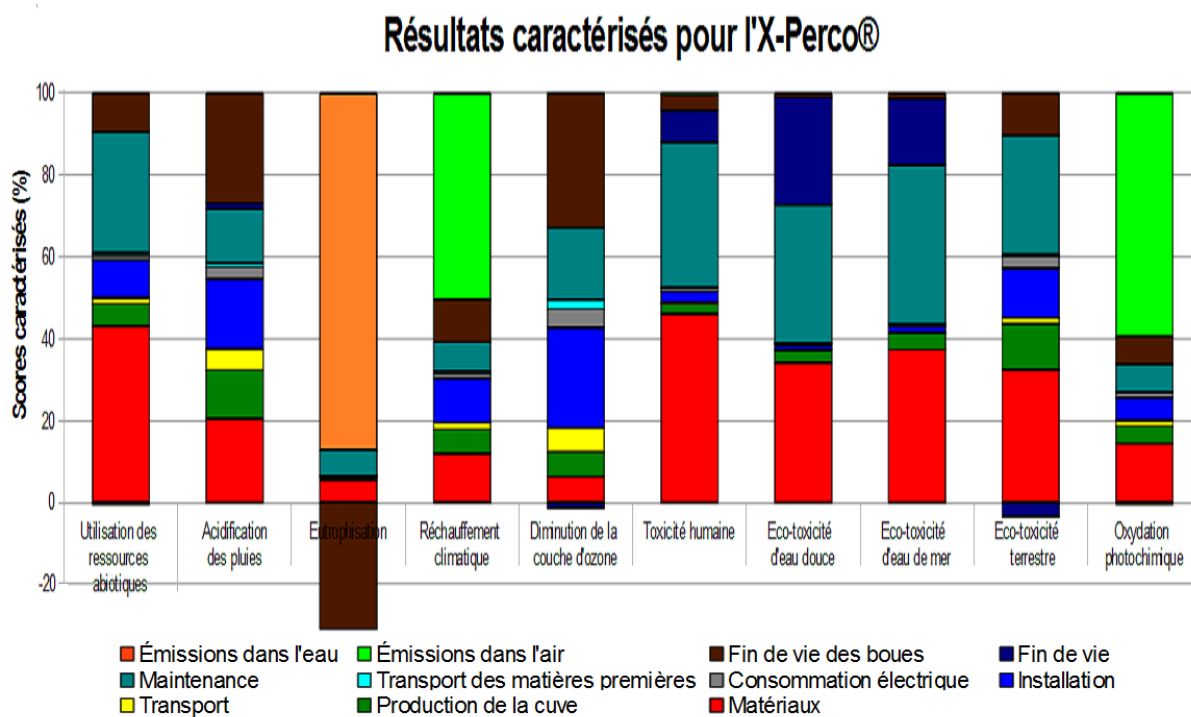


FIGURE P.02 – Résultats caractérisés pour l'X-Perco® - 1L d'eau traitée

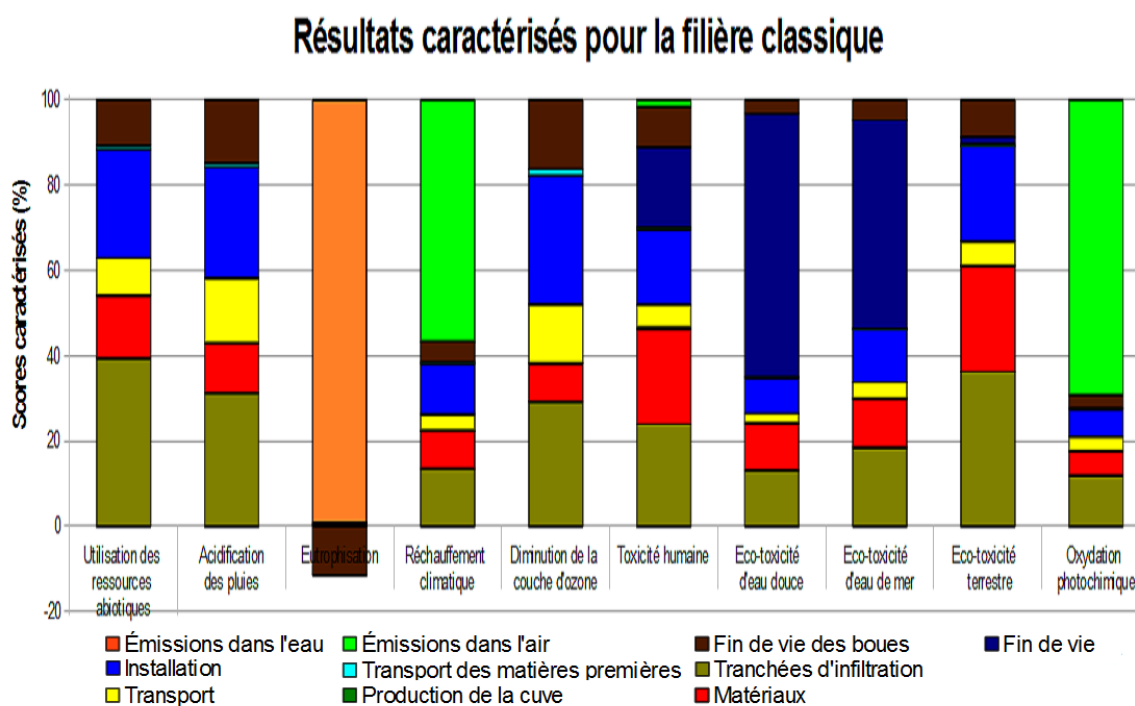


FIGURE P.03 – Résultats caractérisés pour la filière traditionnelle - 1L d'eau traitée

Annexe Q

Analyses de sensibilité

Q.1 Mise à forme de la cuve de l'X-Perco®

Les résultats caractérisés obtenus pour l'X-Perco® en considérant que la mise à forme de la cuve est réalisée uniquement en utilisant du gaz sont présentés à la Figure Q.11.

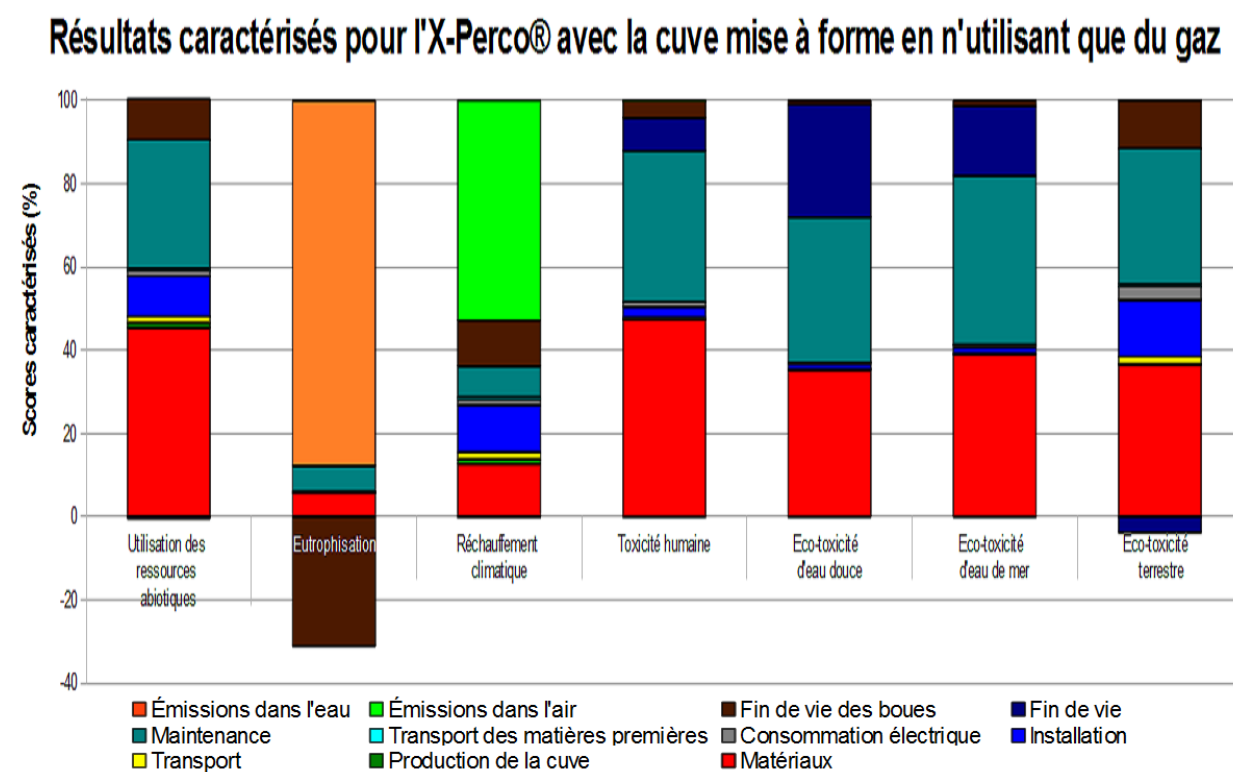


FIGURE Q.11 – Résultats caractérisés pour l'X-Perco® en considérant que la mise à forme de la cuve est réalisée uniquement en utilisant du gaz - 1L d'eau traitée

Q.2 Allocation considérée pour le xylit

Les résultats caractérisés pour l'X-Perco® par les allocations économique, énergétique et massique pour les catégories d'impact prises en compte par la normalisation sont présentés respectivement aux Figures Q.22, Q.23 et Q.24.

Résultats caractérisés pour l'X-Perco® via l'allocation économique

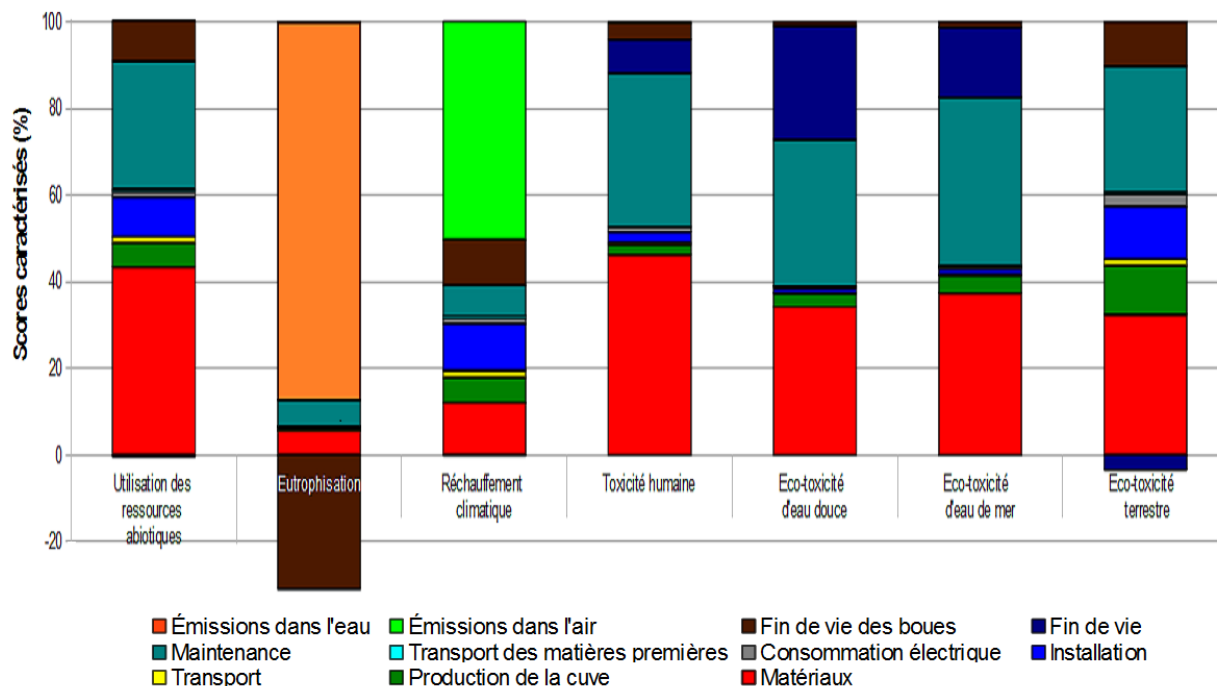


FIGURE Q.22 – Résultats caractérisés pour l'X-Perco® via l'allocation économique
1L d'eau traitée

Résultats caractérisés pour l'X-Perco® via l'allocation énergétique

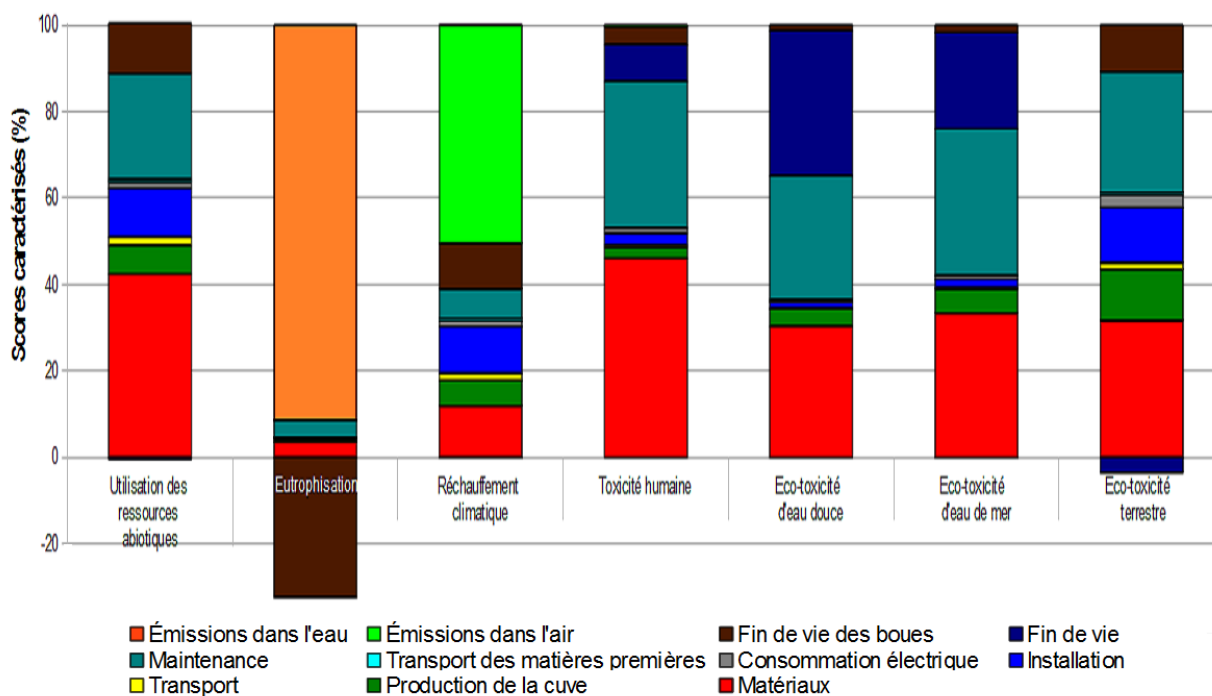


FIGURE Q.23 – Résultats caractérisés pour l'X-Perco® via l'allocation énergétique
1L d'eau traitée

Résultats caractérisés pour l'X-Perco® via l'allocation massique

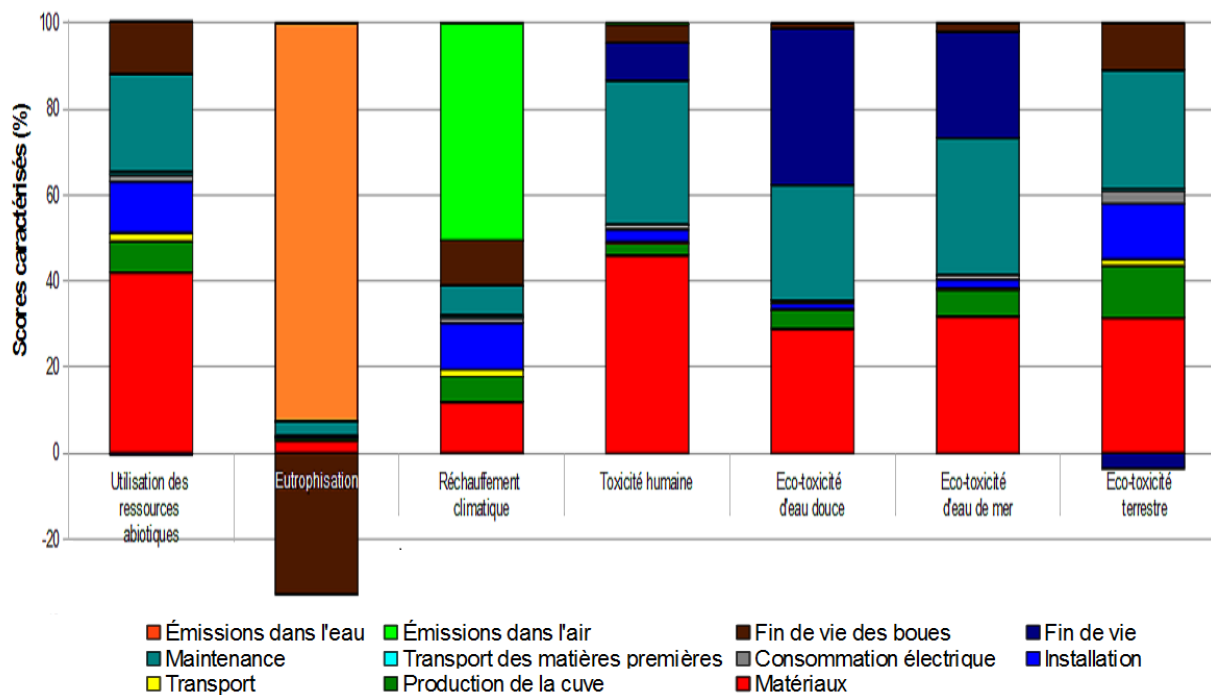


FIGURE Q.24 – Résultats caractérisés pour l'X-Perco® via l'allocation massique
1L d'eau traitée

Q.3 Méthode utilisée

Q.3.1 Résultats normalisés

Les résultats normalisés par les méthodes ReCiPe MidPoint en perspective hiérarchiste et Impact 2002 + sont représentés respectivement aux Figures Q.35 et Q.36.

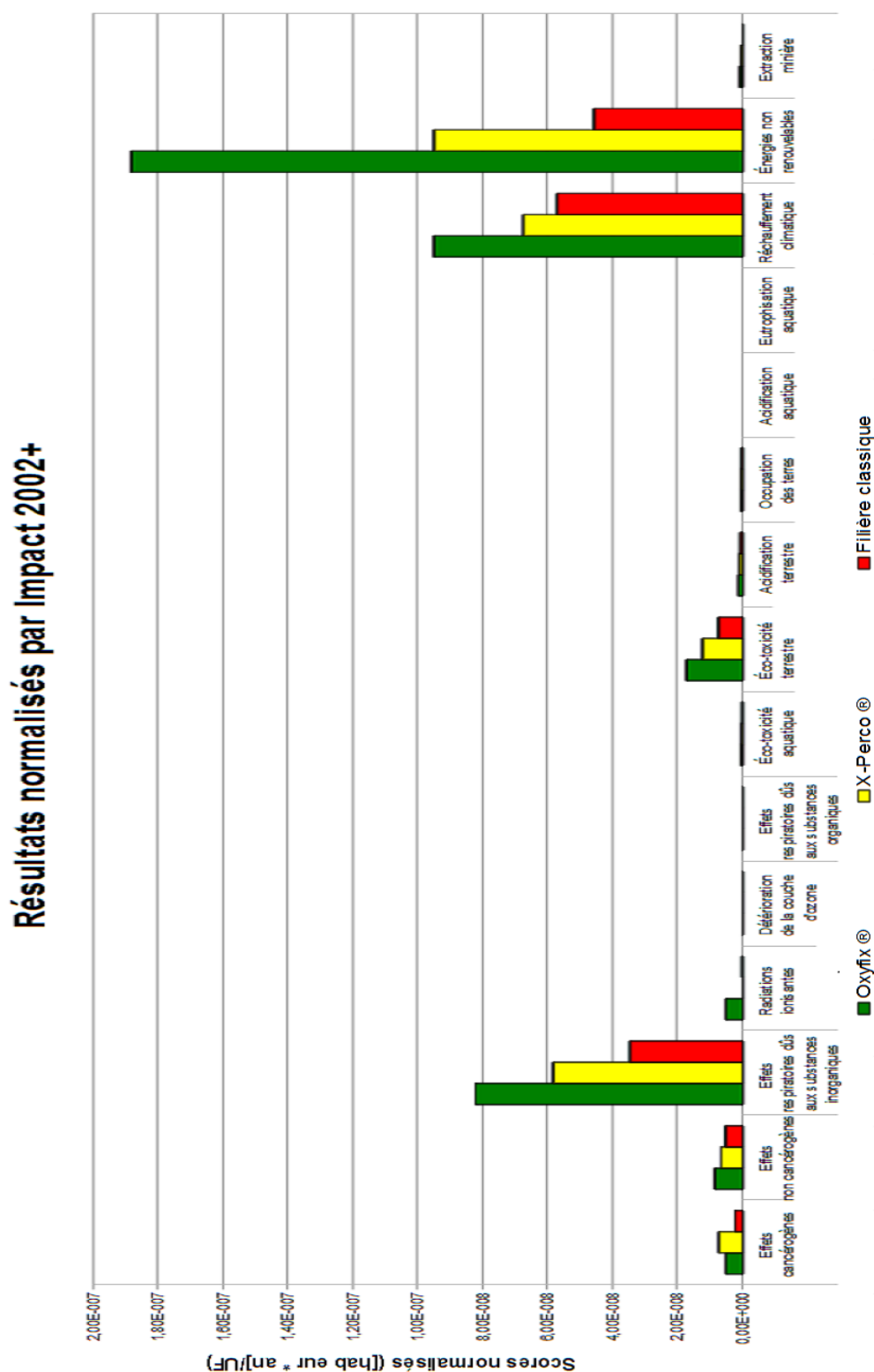


FIGURE Q.35 – Résultats normalisés par Impact 2002+ - 1L d'eau traitée

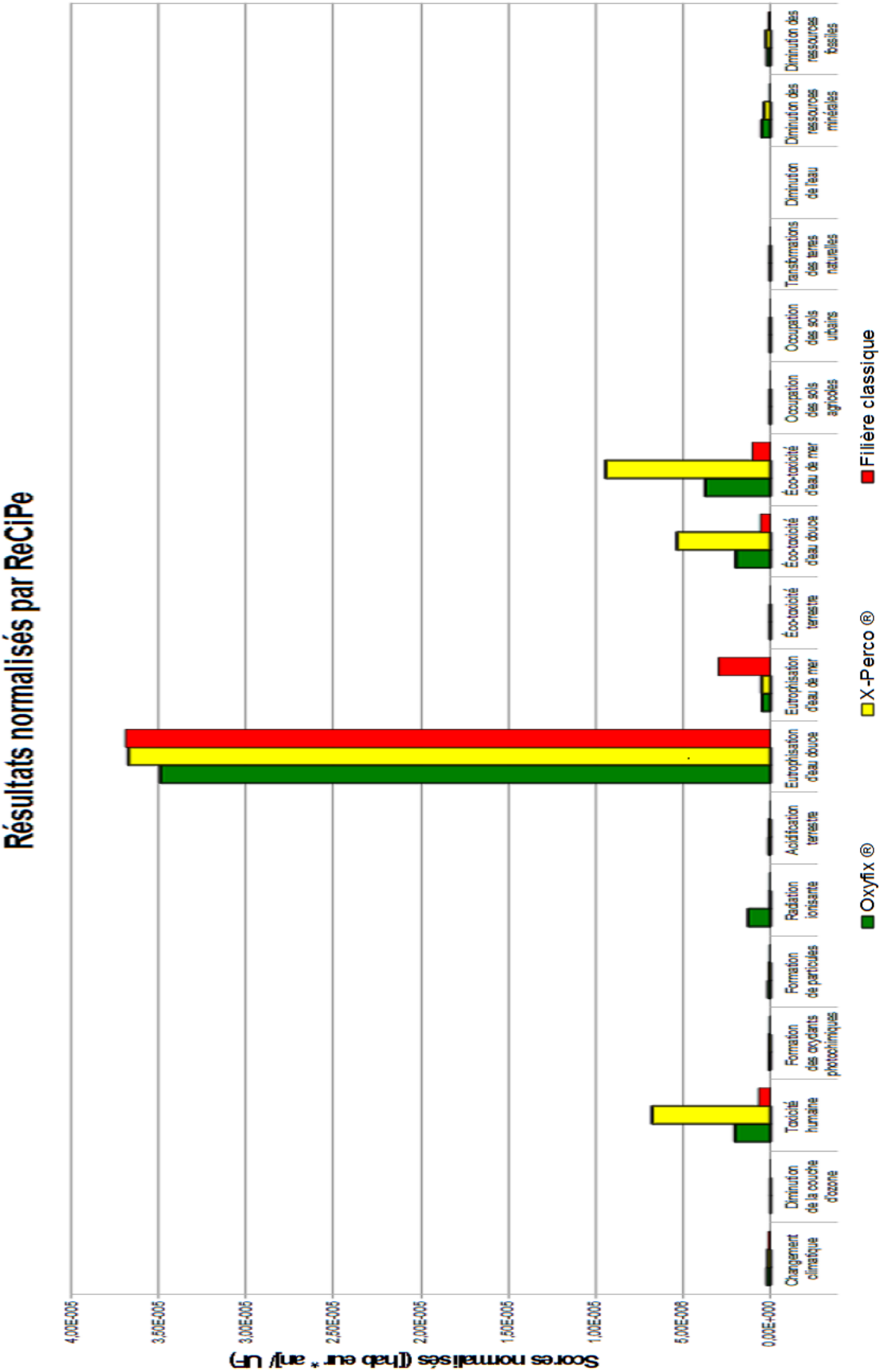


FIGURE Q.36 – Résultats normalisés par ReCiPe MidPoint en perspective hiérarchiste 1L d’eau traitée

Q.3.2 Résultats caractérisés

Les résultats caractérisés par les méthodes ReCiPe MidPoint en perspective hiérarchiste et Impact 2002 + sont représentés respectivement aux Figures Q.37 et Q.38.

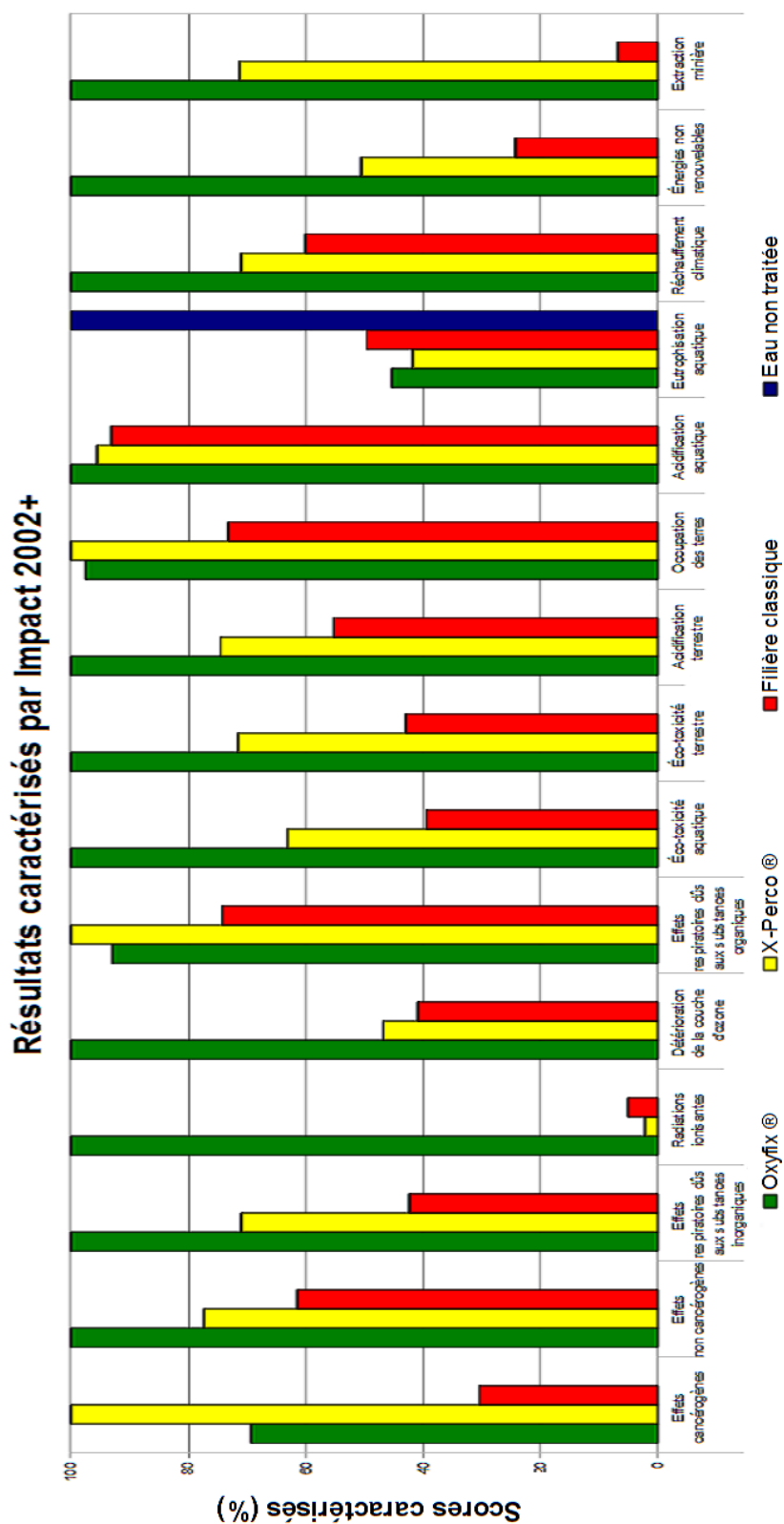


FIGURE Q.37 – Résultats caractérisés par Impact 2002+ - 1L d'eau traitée

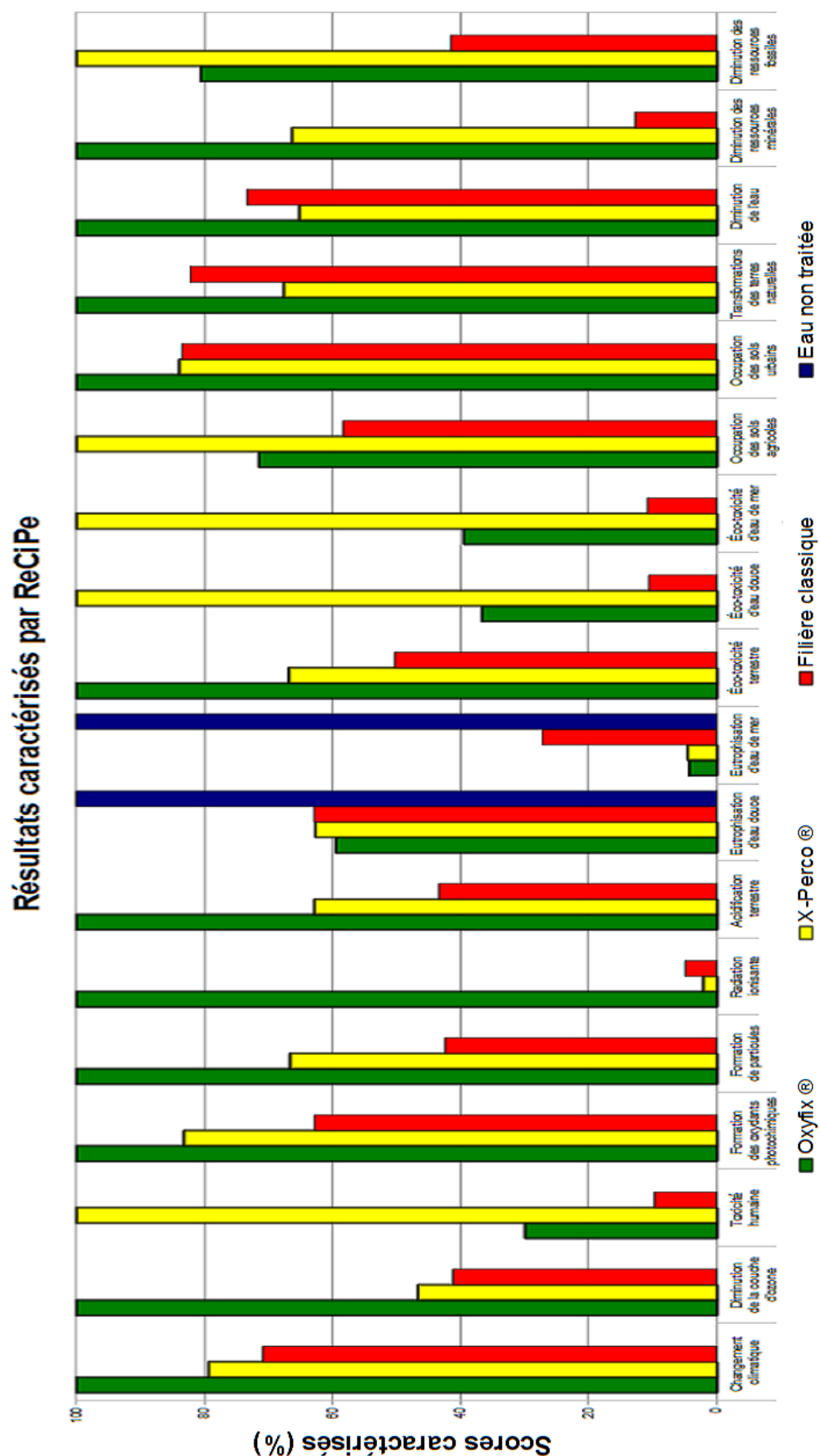


FIGURE Q.38 – Résultats caractérisés par ReCiPe MidPoint en perspective hiérarchiste - 1L d'eau traitée

Annexe R

Comparaison des deux cuves

Les résultats caractérisés pour les cuves en béton et en polyéthylène sont présentés respectivement aux Figures R.01 et R.02.

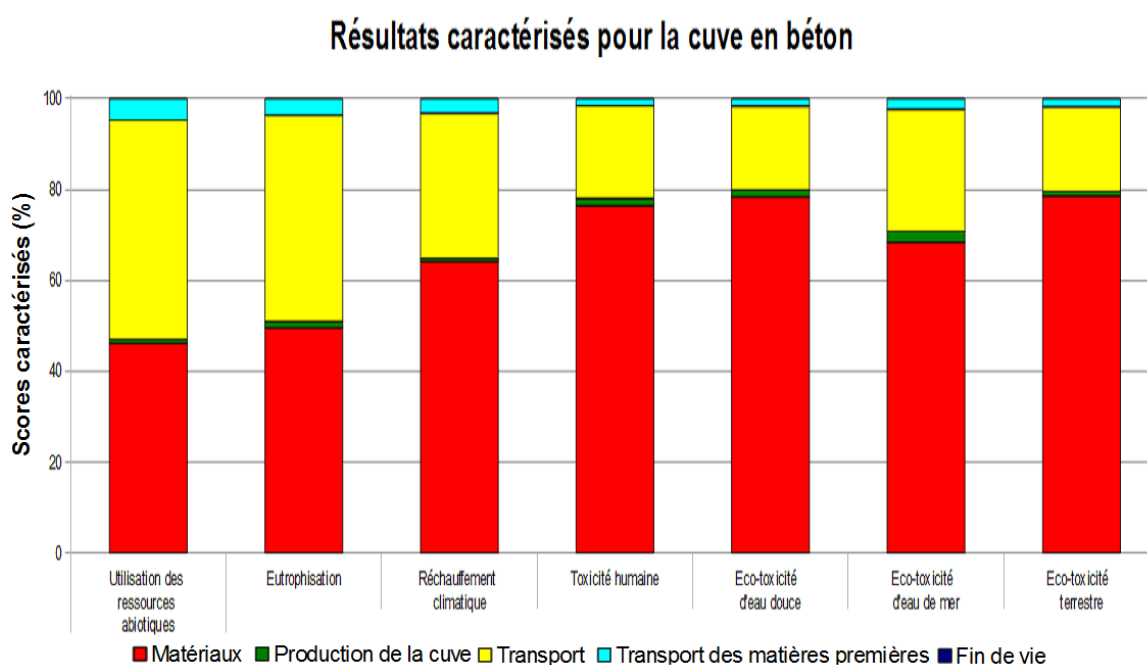


FIGURE R.01 – Résultats caractérisés pour la cuve en béton - une cuve

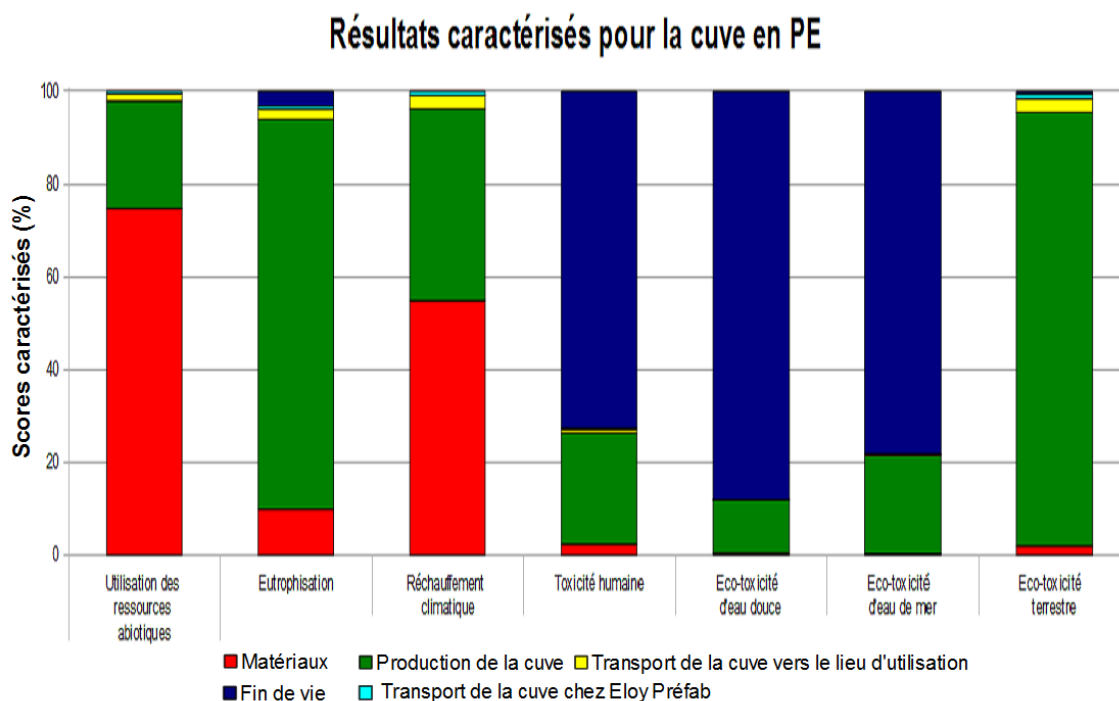


FIGURE R.02 – Résultats caractérisés pour la cuve en polyéthylène - une cuve