

# Comparaison de différentes filières d'épuration plantées de macrophytes par la méthode de l'analyse du cycle de vie

Anne Comby<sup>a,b</sup>, Georges Reeb<sup>a</sup>, Martin Werckmann<sup>a</sup> et Gaétana Quaranta<sup>c</sup>

En France, la technologie des filtres plantés de macrophytes pour le traitement des eaux usées connaît un réel succès depuis une dizaine d'années dans les petites et moyennes collectivités. Elle garantit en effet une bonne qualité des rejets tout en limitant les coûts et les contraintes d'exploitation. Dans une optique de développement durable, les décideurs ont toutefois besoin de données plus fines pour comparer et choisir les meilleures solutions d'épuration sur le plan environnemental. Dans cet article, les auteurs nous proposent d'utiliser la méthode de l'analyse du cycle de vie pour comparer l'impact environnemental de quatre filières de traitement des eaux par lits plantés de macrophytes, au niveau de leurs processus de construction et de fonctionnement.

Le traitement des eaux par lits plantés de macrophytes est une technique d'épuration bien adaptée au monde rural, pour les petites collectivités, le non-collectif ou encore les exploitations agricoles.

Cette méthode est de plus en plus employée pour de nombreuses raisons : la qualité du traitement, la maintenance aisée, le faible coût de fonctionnement et une très bonne intégration paysagère. L'expérience montre de plus que ce type de traitement est parfaitement adaptable à bon nombre d'effluents agricoles, qu'ils soient viticoles, laitiers ou autres.

La littérature contient de nombreuses études concernant la comparaison du caractère environnemental de différents procédés de traitement des eaux usées (Emmerson *et al.*, 1995 ; Hellström, 1997 ; Lundin *et al.*, 1999), en terme d'impact environnemental, d'utilisation des ressources, de choix de la meilleure technologie... Pour Ellis et Tang (1990), Tang et Ellis (1994), Chen et Beck (1997), il est nécessaire de développer une méthodologie multicritère permettant la comparaison entre plusieurs systèmes de traitement des eaux usées. Cependant, Balkema *et al.* (2001) soulignent que dans ces études, l'utilisation, la réutilisation et le recyclage de l'eau sont exclus, et ils proposent de développer des modèles statiques simples basés sur l'équilibre des masses et des énergies incluant les processus de base que sont la décantation, la biodégradation et les réactions chimiques. Ils ont effectué leur évaluation envi-

ronnementale suivant le principe de l'analyse du cycle de vie (ACV), c'est-à-dire suivant les phases suivantes : but et portée de l'étude, inventaire et optimisation. En 1999, Brix a conduit une revue préliminaire des analyses du cycle de vie réalisées sur les systèmes conventionnels de traitement des eaux usées et sur les systèmes de traitement dits « écologiques ». Dixon *et al.* (2003) a utilisé la méthode des ACV pour évaluer l'impact environnemental comparé de deux types de filières de traitement des eaux : un lit planté de roseaux et un filtre biologique aérobie<sup>1</sup>. En 2006, Machado *et al.* a réalisé une ACV comparative de traitement des eaux usées par boue activée<sup>2</sup>, épandage puis infiltration dans le sol et lits plantés.

C'est sur cette base qu'a été mise en place notre étude afin non plus de comparer différentes techniques d'épuration des eaux, mais de se concentrer sur la comparaison de différentes filières d'épuration des eaux au sein d'une même technique.

L'outil que nous mettons en place devra permettre en effet aux maîtres d'ouvrage souhaitant réaliser une station de traitement des eaux par lits plantés de macrophytes de posséder les données nécessaires pour une prise en considération du facteur « impact environnemental » lors de leur décision. Dans la mouvance actuelle de prise en compte de l'environnement dans la grande majorité des choix de consommation, ce facteur pourrait bientôt prendre une place aussi importante que le facteur économique (tout en n'étant pas forcément antagonistes).

1. Procédé biologique de traitement des eaux dit à biomasse fixée, constitué d'un réacteur rempli d'un matériau granulaire tenant lieu de support pour les bactéries.

2. Procédé biologique de traitement des eaux dit à culture libre (les bactéries sont directement contenues dans l'effluent à traiter).

## Les contacts

a. Atelier Reeb,  
13 quai des Bateliers,  
67000 Strasbourg

b. Université de Pau et  
des Pays de l'Adour,  
avenue de l'université,  
BP 576,

64012 Pau Cedex

c. CNRS, UMR 7517,  
École et Observatoire  
des sciences de la  
terre, Centre de Géochimie  
de la Surface, 1 rue  
Blessig, Strasbourg

Ceci est d'autant plus intéressant qu'une proportion non négligeable de maîtres d'ouvrage inclut le critère écologique dans le choix de la technique de traitement (lits plantés plutôt que boue activée ou autre), mais pas forcément dans les caractéristiques internes à la filière de traitement elle-même.

En effet, la mise en place de pompes, la création d'un étage de traitement supplémentaire ou tout autre aménagement présentent un impact environnemental que l'on ne peut négliger.

Afin de mener à bien notre étude, nous avons décidé de la réaliser à l'aide de la méthode de l'ACV. Selon sa définition officielle tirée de la norme ISO 14040, « l'ACV est un outil d'évaluation des impacts sur l'environnement d'un système incluant l'ensemble des activités liées à un produit ou à un service depuis l'extraction des matières premières jusqu'au dépôt et traitement des déchets ».

La méthode de l'analyse du cycle de vie permet donc l'évaluation de l'impact environnemental d'un produit, d'un procédé ou d'un système en relation avec une fonction particulière. Les différentes entités étudiées pourront ainsi être mises en regard les unes par rapport aux autres, mettant en évidence leurs forces et leurs faiblesses.

L'objectif de l'ACV réalisée ici est d'effectuer une comparaison de l'impact environnemental de quatre filières de traitement au niveau de leurs processus de construction et de fonctionnement.

Les filières étudiées sont :

- deux étages à écoulement vertical alimentés chacun par chasse. Cette filière sera notée : chVchV (chasse Vertical chasse Vertical) ;
- un étage à écoulement vertical avec recirculation et alimentation par un système de pompage, noté pVr (pompes Vertical recirculation) ;
- deux étages à écoulement vertical suivis d'un troisième étage à écoulement horizontal, l'alimentation du premier vertical s'effectuant grâce à une chasse, noté chVVH (chasse Vertical Vertical Horizontal) ;
- deux étages à écoulement vertical suivis d'un troisième étage à écoulement horizontal, alimentation par voie gravitaire, noté VVH (Vertical Vertical Horizontal).

Cet article présente l'approche et les résultats de cette étude au travers de quatre parties : la première partie détaille la méthode de l'ACV, la seconde développe le système étudié, puis la troisième partie propose l'analyse de l'inventaire réalisé. Enfin la dernière partie commente les résultats de l'étude.

### Qu'est-ce que le concept de l'analyse du cycle de vie ?

L'analyse du cycle de vie ou ACV évalue l'impact environnemental d'un produit, d'un procédé ou d'un système en relation avec une fonction particulière. Elle permet de comparer des produits ou systèmes existants entre eux, de faire ressortir les points d'amélioration possibles et d'aider à développer de nouveaux produits. C'est avant tout un outil comparatif, visant à évaluer la charge environnementale de plusieurs produits, procédés ou systèmes, et à comparer les différentes étapes de production d'une même produit.

L'ACV présente trois caractéristiques principales. Elle permet de fournir une aide à la décision en apportant uniquement des informations sur l'aspect environnemental d'un produit, la décision finale étant prise en incluant des aspects autres que l'environnement. De plus, elle permet de couvrir tout le cycle de production, du berceau à la tombe, de l'extraction des ressources au traitement des déchets, et enfin de relier les impacts environnementaux à la fonction du système.

L'ACV est un outil standard (ISO 14040, 1997) qui se décompose en quatre étapes principales comme suit :

- la définition des objectifs et du système. Cette étape permet de définir l'intérêt, les objectifs et la portée de l'étude. C'est également dans cette étape que l'unité fonctionnelle, à laquelle toutes les données de l'inventaire seront rapportées, sera déterminée (ISO 14041, 1998) ;
- l'inventaire, qui présente la liste des données et les procédures de calcul qui ont pour but de quantifier les intrants et sortants du système défini (ISO 14041, 1998) ;
- l'évaluation de l'impact. Cette étape permet d'évaluer l'impact sur l'environnement des émissions inventoriées dans l'étape précédente. Elle se distingue en deux sous-étapes : la classification qui détermine quelles émissions contribuent à quels effets environnementaux,

et la caractérisation qui pondère les émissions à l'intérieur de chacune des classes d'effet (ISO 14042, 2000) ;

– l'interprétation des résultats (ISO 14043, 2000).

La méthodologie de l'ACV est décrite plus en détail dans le SETAC<sup>3</sup> (1991).

Lors d'une ACV, la phase d'évaluation de l'impact peut être modélisée par différents logiciels. Lors de notre étude, nous avons utilisé le logiciel Simapro®, développé par Pré Consultant. Simapro®7.1 est un outil permettant de collecter, d'analyser et de réaliser un suivi des performances environnementales des produits et services. Il permet de modéliser et d'analyser des cycles de vie de manière claire, suivant la norme ISO 14040. De plus, ce logiciel contient différentes bases de données directement utilisables et contenant des informations sur des matériaux ou des processus bien spécifiés. Simapro® propose également plusieurs méthodes d'évaluation des impacts, présentant chacune une manière différente de calculer et modéliser les impacts environnementaux du système. Un choix très soigneux lors de ces deux étapes est donc primordial pour garantir la pertinence de l'étude.

Une fois ces critères remplis, il est donc possible :

– de construire un arbre du cycle de vie qui met en évidence la contribution des différents processus ou des différents sous-systèmes pour des impacts définis ;

– de représenter les résultats sous forme graphique ;

– de comparer différents cycles de vie ou différentes étapes d'un même processus.

### Description du système mis en œuvre dans l'étude

L'étude des quatre filières d'épuration par lits plantés de macrophytes a été basée sur des cas concrets de stations en fonctionnement et localisées en France.

L'unité fonctionnelle définie ici est 1 équivalent habitant (1 EH). Cette unité correspondant à : 150 litres d'eau par personne et par jour, DCO<sup>4</sup> = 120 g par personne et par jour ; DBO<sup>5</sup> = 60 g ; MES<sup>6</sup> = 90 g ; Pt<sup>7</sup> = 4g.

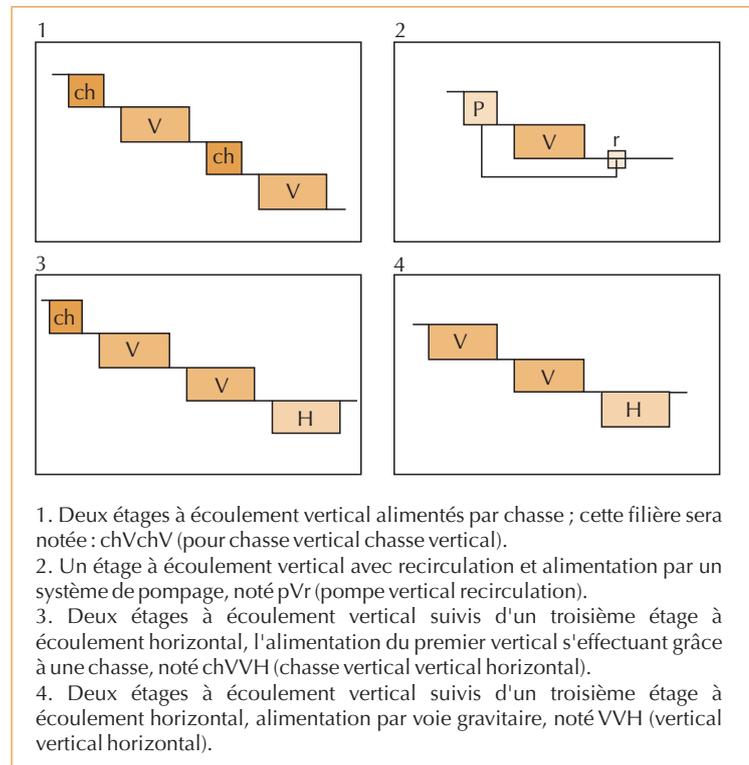
Le champ de l'étude a été fixé pour mettre strictement en évidence les différences notables

entre les filières. Ainsi, tous les intrants relatifs à la méthode d'épuration en elle-même, mais non variables d'une filière à l'autre ont été sciemment exclus de l'étude (plantes, canalisations, ouvrages de dégrillage, de comptage, etc.)

Pour chacune des filières, les paramètres pris en compte concernent donc les ouvrages de chasse, les systèmes de pompage, le terrassement des lits, les granulats mis en œuvre, l'étanchéité des lits, la consommation électrique de fonctionnement. De plus, l'étude a été scindée en deux sous-systèmes que sont la construction et le fonctionnement.

Les quatre systèmes étudiés sont décrits sur la figure 1.

▼ Figure 1 – Représentation schématique des systèmes étudiés.



3. Société de toxicologie et chimie de l'environnement.

4. DCO : la demande chimique en oxygène est la consommation en oxygène par les oxydants chimiques forts pour dégrader les substances organiques et minérales de l'eau.

5. DBO5 : la demande biologique en oxygène sur cinq jours représente la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes pour oxyder l'ensemble de la matière organique d'un échantillon d'eau maintenu à 20 °C, à l'obscurité, pendant cinq jours.

6. MES : matières en suspension.

7. Pt : phosphore total.

Les résultats de l'inventaire sont basés sur l'étude de deux stations dans le cas de chVchV, chVVH et VVH. Au regard des données disponibles, seulement une station a été étudiée dans le cas de pVr.

Le tableau 1 présente les caractéristiques générales des stations étudiées et le tableau 2 présente les niveaux de rejets minimum atteints par chacune des filières (correspondant à l'engagement du concepteur en termes d'efficacité).

Le tableau 2 présente les efficacités minimales obtenues pour chacune des filières. Les niveaux de rejet correspondent aux données de la « Circulaire n° 97-31 du 17 février 1997 » (engagement d'un niveau D4 pour chVchV, pVr et chVVH et d'un niveau D3 pour VVH).

8. NTK : azote Kjeldahl = N organique + N ammoniacal.

9. CML : en hollandais, *Centrum voor Milieuwetenschappen Leiden*, ce qui correspond à la faculté des sciences de l'université de Leiden.

### Analyse de l'inventaire réalisé pour l'étude

Comme précisé précédemment, l'analyse de l'inventaire s'est basée sur des cas concrets de stations d'épuration existantes. Ces données ont ensuite été insérées dans le logiciel Simapro®, en utilisant différentes bases de données intégrées au logiciel.

Les bibliothèques de données sélectionnées dans cette étude sont : BUWAL 250, DK Input Output Database 99, ETH-ESU 96 System pro-

cesses, IDEMAT 2001, Industry Data, Methods, USA Input Output Database 98. Elles nous ont permis, pour chaque matériau entrant dans le système, de déterminer, de l'extraction de ses matières premières constitutives jusqu'à leur « élimination », les quantités de polluants émis et donc, *in fine*, son impact environnemental. Ces bibliothèques de données sont donc renseignées sous la forme :

$X \text{ g de matériau} \rightarrow Y \text{ g NH}_3 + Z \text{ g CH}_4 + \dots$

Dans chacun des cas, la base de donnée la plus proche de l'intrant recherché a été utilisée. Toutes les données ont été ramenées à l'unité fonctionnelle. Quelques approximations n'ont pu être évitées, elles sont référencées dans le tableau 3.

Comme précisé précédemment, notre étude a porté sur l'analyse de deux sous-systèmes que sont la construction et le fonctionnement. Le fonctionnement n'ayant été pris en compte que par rapport à la consommation électrique de la station, seule la filière « pVr » présente des données dans ce sous-système, les autres fonctionnant en gravité.

### Évaluation des impacts environnementaux des filières : premiers résultats

L'évaluation de l'impact environnemental de notre système a été réalisée grâce à la méthode CML (2001)<sup>9</sup>. Cette méthode, proposant une approche dite du « *midpoint* », c'est-à-dire s'attachant aux problèmes environnementaux causés sur le milieu récepteur (et non aux dommages sur la santé humaine, figure 2), a été retenue sur deux critères principaux.

D'une part, elle permet une analyse multicritère avec interaction des divers compartiments environnementaux entrant en considération dans l'étude (par exemple, l'écotoxicité terrestre sera résultante de l'action de plusieurs polluants qui pourront eux-mêmes entrer en compte dans l'écotoxicité aquatique).

D'autre part, elle est l'une des seules méthodes prenant en compte les émissions de matière organique, azote et phosphore dans l'environnement. Ces critères, tout à fait caractéristiques de la problématique des eaux usées, n'ont pas été pris en compte dans les premiers résultats de notre étude, mais y seront intégrés lors du perfectionnement de notre ACV.

Née en 1992 au sein de la faculté des sciences de l'université de Leiden (Pays-Bas), la méthode

▼ Tableau 1 – Description des stations étudiées.

Filière	chVchV		pVr		chVVH		VVH	
	1	2	1		1	2	1	2
Base de dimensionnement (EH)	200	330	290		40	50	50	120
Surface du 1 <sup>er</sup> étage (m <sup>2</sup> )	252	400	522		50	48	48	118
Surface du 2 <sup>e</sup> étage (m <sup>2</sup> )	159	264			12	16,2	21	88
Surface du 3 <sup>e</sup> étage (m <sup>2</sup> )					13	35	50	85

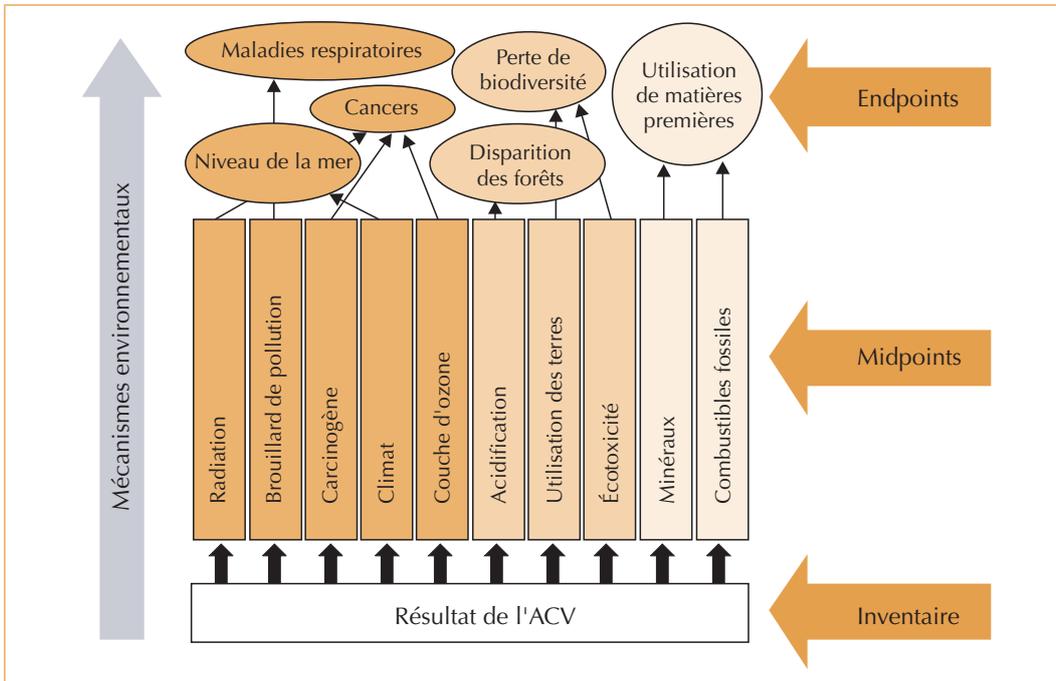
▼ Tableau 2 – Efficacités épuratoires.

	chVchV	pVr	chVVH	VVH
DBO	25 mg/l	25 mg/l	25 mg/l	35 mg/l
DCO	125 mg/l	125 mg/l	125 mg/l	rdt 60 %
MES	rdt 50 %	rdt 50 %	rdt 50 %	rdt 50 %
NTK <sup>3</sup>	rdt 60 %	rdt 60 %	rdt 60 %	rdt 60 %

Donnée d'inventaire	Commentaire
Ouvrages de chasse	Données fournies par un fournisseur.
Système de pompage	Données concernant les matériaux de fabrication des pompes prises de façon très globale.
	Données relatives à la consommation électrique basées sur la consommation électrique d'une pompe de relevage eaux brutes standard (4,2 kW).
Terrassement	Estimé à partir de la consommation en carburant moyenne nécessaire à effectuer un volume donné de terrassement en déblais remblais.
Granulats	Estimés à partir du volume de granulats mis en place dans chaque lit ; la prise en considération de l'impact écologique de ces granulats sera prise sur la base de l'extraction d'un gravier standard.
Étanchéité	Estimée à partir de la mise en place d'une géomembrane simple en PEHD <sup>10</sup> 1 mm sur l'ensemble des lits.

◀ Tableau 3 – Commentaires des données d'inventaire.

10. Polyéthylène haute densité.



◀ Figure 2 – Méthodes des midpoints et des endpoints selon Simapro®.

CML est actuellement l'une des plus appliquées en Europe.

CML s'intéresse à dix problèmes environnementaux particuliers : utilisation des ressources abiotiques (URA), réchauffement climatique (RC), destruction de la couche d'ozone (DO), toxicité humaine (TH), écotoxicité aquatique (EA), écotoxicité marine (EM), écotoxicité terrestre (ET), oxydation photochimique (OP), acidification (A), eutrophisation (E).

Conformément à la norme ISO 14042, l'évaluation de l'impact s'effectue selon une démarche logique passant par plusieurs étapes :

- la classification, qui consiste à organiser les éléments de l'inventaire (les facteurs d'impacts) dans des catégories d'impact. Ici on détermine quelles émissions contribuent à quels effets environnementaux ;
- la caractérisation, qui permet de spécifier les flux en fonction de leur degré de contribution à un

11. Les pourcentages présentés sont issus de l'arborescence obtenue avec la méthode CML dans SimaPro®.

impact. Les éléments participant à un impact vont être convertis en une mesure commune permettant d'obtenir un indicateur numérique par catégorie.

L'histogramme de la figure 3 présente les résultats de la comparaison du cycle de vie des quatre filières sur la base de leur construction et de leur consommation électrique sur un an.

La filière la plus impliquée vis-à-vis d'un impact donné va être représentée par un pourcentage de 100 %, les impacts des trois autres filières étant pondérés par rapport à cette dernière. Ainsi, l'impact environnemental de la filière ACV pVr pour la catégorie URA représente 60 % de la filière ACV chVVH dont l'impact est maximal (égal à 100 %).

D'une manière globale, nous pouvons dire que les quatre filières étudiées semblent présenter un impact relativement comparable pour les problèmes environnementaux sélectionnés. Cependant, la phase de construction semble être un important contributeur des impacts URA et RC, particulièrement pour chVVH. Pour cette filière, la plus grosse contribution à l'utilisation des ressources abiotiques est la consommation de gasoil et d'énergie, nécessaires à l'extraction des granulats.

L'importante consommation en matière première de cette filière permet également d'expliquer son important impact vis-à-vis du RC.

La toxicité et l'écotoxicité sont également influencées par les matériaux de construction, ce qui peut expliquer que pour ces critères, chVVH soit la plus impactante, suivie de VVH, chVchV et enfin pVr.

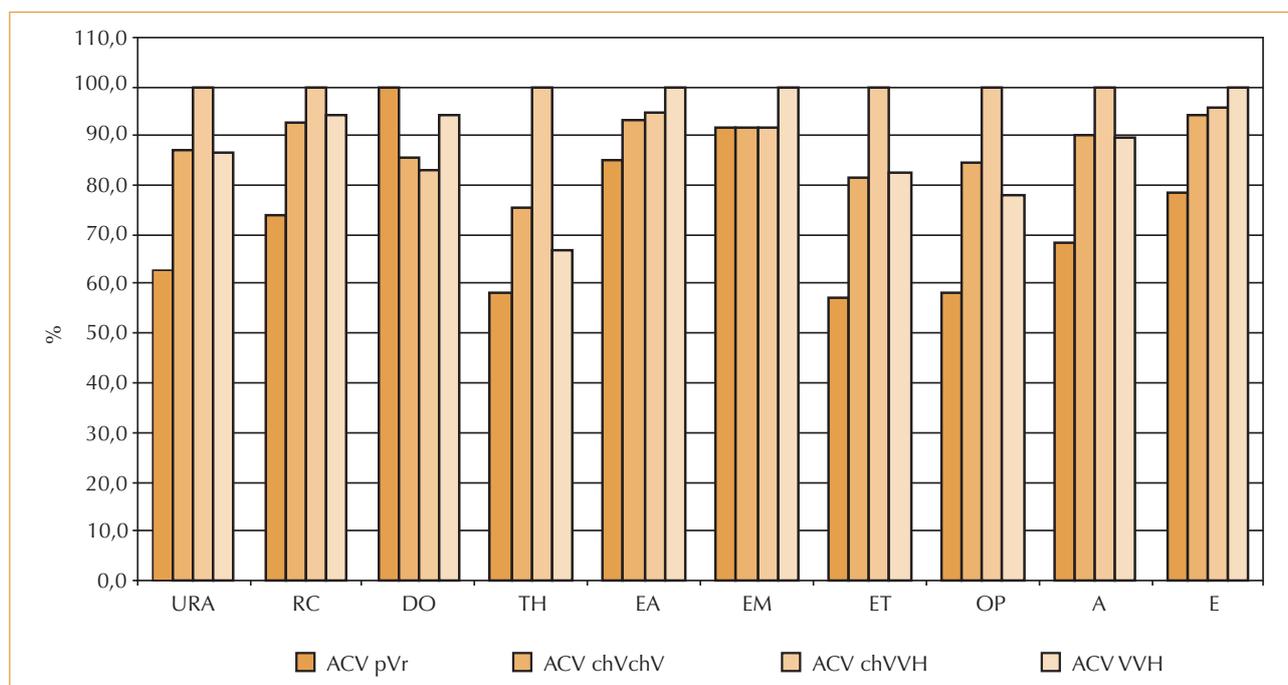
Pour l'impact destruction de la couche d'ozone, il est à attribuer respectivement à 96 %, 93 % et 100 %<sup>11</sup> à l'extraction de granulats pour chVchV, chVVH et VVH, contre 90 % à la phase de fonctionnement (consommation électrique) pour pVr.

L'extraction des granulats est le principal contributeur de l'acidification pour VVH, chVchV et chVVH avec respectivement 79 %, 53 % et 53 %, le PEHD (étanchéité) étant le second contributeur avec respectivement 25 %, 25 % et 30 %. Dans le cas de pVr, la construction contribue à 52 % de l'impact sur l'acidification, contre 48 % pour le fonctionnement.

Concernant l'eutrophisation et l'oxydation photochimique, nous pouvons noter que l'extraction des granulats est le principal facteur influençant pour chaque filière.

Nous pouvons donc déduire de ces résultats que la phase de construction est majoritairement la plus impactante de notre système. Mais cette modélisation n'est réalisée que sur une seule année de

▼ Figure 3 – Résultat de la caractérisation sur un an.



fonctionnement. Qu'en est-il à l'échelle de trente ans, durée de vie moyenne des stations ?

La figure 4 présente l'équivalent de l'ACV précédente, mais sur une échelle de trente ans.

Il est sans équivoque que la filière pVr est la plus impactante pour tous les aspects environnementaux étudiés. Au long terme, pour les filières comparées, l'impact de la construction est minime par rapport à l'impact du fonctionnement. De plus, notons que le remplacement des pièces d'usure n'a pas été pris en compte dans notre étude, mais qu'il est surtout handicapant pour la filière « pVr », car les pompes de relevage sont à remplacer intégralement tous les cinq à dix ans.

Nous pouvons en déduire le poids environnemental non négligeable de la filière de traitement induisant une consommation énergétique régulière. La limite de ces représentations (et du logiciel utilisé) réside dans le fait que, pour un impact environnemental donné, chaque histogramme de 100 % ne désigne que la filière la plus impactante par rapport aux trois autres.

### Conclusion et perspectives

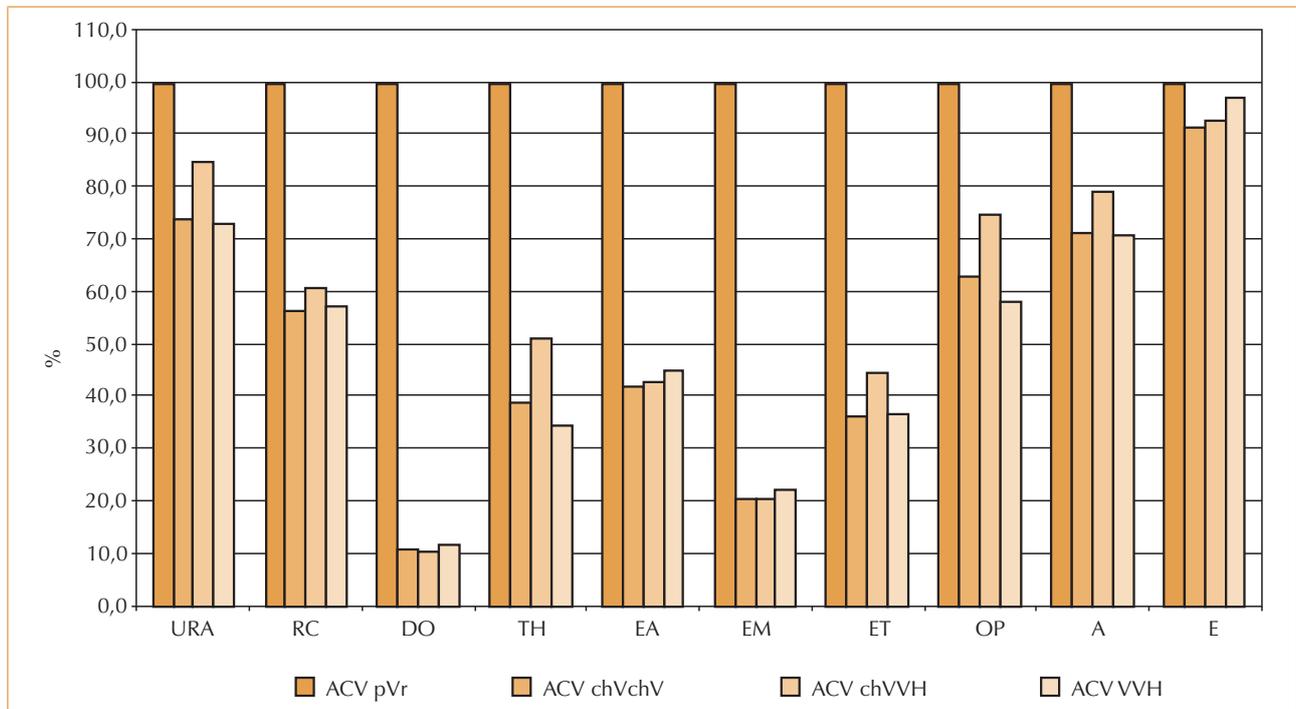
L'analyse du cycle de vie réalisée ici nous a permis de mettre en évidence les différences

d'impact environnemental existant entre les filières de lits plantés étudiées. Mais comme précisé précédemment, la décision finale sera prise en incluant des aspects autres que l'environnement. Il est donc également nécessaire de s'intéresser à d'autres paramètres comme la nature du site, la base de dimensionnement des stations, les performances épuratoires et la maintenance.

En effet, les caractéristiques du site (surface disponible, dénivelée), l'éloignement des carrières d'extraction, la nature du sol (roche mère sous jacente, nappes d'eau souterraine...), les conditions climatiques (risque de gel...) peuvent changer l'impact environnemental de la filière mise en place. Il en est de même pour le ratio de dimensionnement appliqué. Mais ce ratio n'est pas choisi au hasard. Il est dépendant des performances épuratoires à obtenir, elles mêmes découlant de la nature du milieu récepteur.

Pour ce qui est de la maintenance, elle est un facteur de choix décisif dans le cas des stations étudiées car elle peut souvent être réalisée par du personnel peu spécialisé (employés communaux...). Et cela reste d'ailleurs un des atouts phare des lits plantés que de ne pas nécessiter de technicité particulière pour faire fonctionner la station. Il est clair que les exigences en termes

▼ Figure 4 – Caractérisation des résultats sur trente ans.



de maintenance diffèrent dans les quatre filières étudiées. La maintenance des lits plantés n'est influencée que par la surface à entretenir. En ce qui concerne les systèmes d'alimentation, une différence s'impose entre les filières. Là où les chasses ne nécessitent qu'un simple lavage régulier et un remplacement aisé de pièces mécaniques, les ouvrages de pompage requièrent une maintenance technique avec recours à du personnel qualifié.

De plus, la mise en place de systèmes non maîtrisables par le personnel d'entretien (systèmes automatisés...) peut entraîner un désintéressement de la personne en charge de la station qui se traduit généralement par des dysfonctionnements.

Nos résultats montrent qu'afin de garantir un choix écologiquement pertinent d'une filière d'épuration végétalisée, il est nécessaire de prendre en compte l'impact brut de la construction et du fonctionnement instantané mais également l'impact d'un fonctionnement à long

terme, notamment en termes de consommation d'énergie. Cela amène également à se poser la question de la provenance (donc du poids environnemental) ainsi que du prix réel de l'énergie, notre seconde représentation graphique mettant clairement en évidence le poids environnemental de la consommation énergétique, alors que cette dernière est supportable à l'heure actuelle du point de vue financier.

La conclusion globale de ce travail est donc que pour permettre un choix pertinent de la filière de traitement, il est nécessaire de réaliser une étude très rigoureuse du dossier afin de connaître tous les paramètres influents, et notamment se poser la question jusqu'à quel point mettre en place des solutions et techniques complexes de traitement pour garantir un niveau de rejet acceptable. Le concepteur devra donc soigneusement peser sa décision, tout en ayant comme objectif de limiter l'impact environnemental global d'une filière. □

### Résumé

Cet article présente les résultats de l'analyse du cycle de vie (ACV) comparée de quatre filières de traitement des eaux usées par lits plantés de macrophytes : 1) deux étages à écoulement vertical alimenté par chasse (chVchV) ; 2) un étage à écoulement vertical avec recirculation et alimentation par un système de pompage (pVr) ; 3) deux étages à écoulement vertical suivis d'un troisième étage à écoulement horizontal, l'alimentation du premier vertical s'effectuant grâce à une chasse (chVVH) ; 4) deux étages à écoulement vertical suivis d'un troisième étage à écoulement horizontal, alimentation par voie gravitaire (VVH). La modélisation des impacts environnementaux a été réalisée grâce au logiciel Simapro®. Les premiers résultats montrent l'impact très important de la filière pVr, notamment du fait de sa consommation électrique. Le concepteur devra donc soigneusement peser sa décision et savoir jusqu'à quel point il est nécessaire de complexifier le système de traitement afin de garantir un niveau de rejet acceptable pour le milieu récepteur, tout en limitant l'impact global d'une filière.

### Abstract

This paper presents the preliminary results of a Life Cycle Assessment (LCA) study comparing four different types of Constructed Wetlands (CWs) plants, 1) two stages of Vertical flow bed with flushing feeding systems (fVfV) 2) one stage of Vertical flow bed with pump feeding and recirculation (pVr) 3) two Verticals flow beds followed by one Horizontal flow bed, with flushing feeding system (fVVH), 4) two Verticals flow beds followed by one Horizontal flow bed, without batch feeding (VVH). Environmental impacts have been modeled according to the LCA model software SIMAPRO®. The first results show that the biggest environmental impact is showed by pVr, notably because of its electric consumption. Designers should decide carefully how complex the treatment system needs to be in order to guarantee the ecosystems safety.

## Bibliographie

- BALKEMA, A.-J., PREISIG, H.-A., OTTERPOHL, R., LAMBERT, A.-J.-D., WEIJERS, S.-R., 2001, Developing a model based decision support tool for the identification of sustainable treatment options for domestic wastewater, *Wat. Sci. Tech.*, 43(7), p. 265-269.
- BRIX, H., 1999, How « green » are aquaculture, constructed wetlands and conventional waste water treatment systems ?, *Wat. Sci. Tech.*, 40(3), p. 45-50.
- CHEN, J., BECK, M.-B., 1997, Towards designing sustainable urban wastewater infrastructures : a screening analysis, *Wat. Sci. Tech.*, 35(9), p. 99-112.
- DIXON, A., SIMON, M., BURKITT, T., 2003, Assessing the environmental impact of two options for small-scale wastewater treatment : comparing a reed bed and an aerated biological filter using a life cycle approach, *Ecological Engineering*, n° 20, p. 297-308.
- ELLIS, K.-V., TANG, S.-L., 1990, Wastewater treatment optimisation model for developing world, I model development, *ASCE Journal of Environmental Engineering Division*, n° 117, p. 501-518.
- EMMERSON, R.-H.-C., MORSE, G.-K., LESTER, J.-N., EDGE, D.-R., 1995, The life cycle analysis of small-scale sewage-treatment processes, *J. CIVEM*, p. 317-325.
- HELLSTRÖM, D., 1997, An exergy analysis for a wastewater treatment plant – an estimation of the consumption of physical resources, January/February 1997, *Wat. Environ. Res.*, 69(1), p. 44-51.
- ISO, 1997, Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principe et cadre, ISO 14040.
- ISO, 1998, Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Définition de l'objectif et du champ d'étude et analyse de l'inventaire, ISO 14041.
- ISO, 2000, Management environnemental – Analyse de cycle de vie – Évaluation de l'impact du cycle de vie, ISO 14042.
- ISO, 2000, Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Interprétation du cycle de vie, ISO 14043.
- LUNDIN, M., MOLANDER, S., MORRISON, G.-M., 1999, A set of indicators for the assessment of temporal variations in sustainability of sanitary systems, *Wat. Sci. Tech.*, 39(5), p. 235-242
- MACHADO, P., URBANO, L., BRITO, A., JANKNECHT, P., RODRIGUEZ, J.-J., NOGUEIRA, R., 2006, Life Cycle Assessment of wastewater treatment options for small and decentralized communities : energy-saving systems versus activated sludge, in : *10<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*.
- SETAC, 1993, Guidelines for life cycle assessment : A code of practice. Pensacola : Society of Environmental Toxicology and chemistry, Sesimbra, Portugal, 31 March-3 April 1993.
- TANG, S.-L., ELLIS, K.-V., 1994, Wastewater treatment optimization model for developing world, II model testing, *ASCE Journal of Engineering Division*, 120, p. 610-624.