

Analyse de cycle de vie d'un système de traitement des eaux pluviales par filtre planté de roseaux à flux vertical (projet ADEPTE)

Life cycle assessment of a stormwater sanitation system with vertical flow constructed wetlands (ADEPTE project)

Christelle Neaud¹, Thomas Foucart²

¹ CEREMA – DterIDF – 12, rue Teisserenc de Bort, 78 190 Trappes-en-Yvelines

christelle.neaud@cerema.fr

² Syndicat de l'Orge – 163 Route de Fleury, 91 170 Viry-Châtillon
thomas.foucart@syndicatdelorge.fr

RÉSUMÉ

Le projet ADEPTE (Aide au Dimensionnement pour la gestion des Eaux Pluviales par Traitement Extensif) a pour objectif de développer un outil d'aide à la conception-exploitation de la technique des filtres plantés de roseaux pour le traitement des Rejets Urbains par Temps de Pluie (RUTP). Pour cela, quatre systèmes situés en milieu urbain ou péri-urbain sont évalués d'un point de vue technique et environnemental. L'évaluation environnementale va notamment s'intéresser aux quatre systèmes de traitement des eaux à travers des Analyses de Cycle de Vie (ACV) afin de caractériser leurs impacts environnementaux potentiels. Cette communication propose de présenter les premiers résultats de l'ACV du premier site analysé : celui du système de traitement des eaux pluviales par filtres plantés de roseaux à flux vertical situé à Leuville-sur-Orge dans l'Essonne. Les objectifs de cette première étude sont d'identifier et caractériser les impacts environnementaux potentiels du système de traitement sur l'ensemble de son cycle de vie et d'identifier de potentiels leviers d'actions pour diminuer l'impact environnemental du système. Excepté pour l'eutrophication, les premiers résultats tendent à montrer la contribution significative du transport routier du massif filtrant (graviers et sable) sur toutes les catégories d'impact. Afin de tester certaines hypothèses, une analyse de sensibilité a été réalisée et montre que la fin de vie du massif filtrant apparaît déterminante dans l'impact global du système : l'hypothèse concernant cette étape du cycle de vie sera donc vérifiée et précisée dans la suite de l'étude.

ABSTRACT

The ADEPT project aims to develop sustainable water sanitation systems by providing relevant tool using reed bed filters for the treatment of stormwater urban discharges. Four different systems of constructed wetlands located in urban or peri-urban areas are assessed from a technical and environmental point of view. Assessing the environmental impacts of the four water treatment systems may be done using the Life Cycle Assessment (LCA) approach. This paper presents the first results for the LCA of the stormwater treatment system with vertical flow constructed wetlands located in Leuville-sur-Orge in Essonne. This first study aims to identify and characterize the potential environmental impacts of the treatment system during its whole life cycle and identify potential solutions in order to reduce the environmental impact of the system. Except for eutrophication, first results show the significant contribution of road transport of gravel and sand on all impacts categories. In order to check different hypotheses, a sensitivity analysis is performed and shows that the disposal of the filter bed is a crucial stage for the human health and resources endpoint categories: so, this hypothesis will be investigated in the continuation of this study.

MOTS CLÉS

Analyse de cycle de vie, ACV, eaux pluviales, filtre planté de roseaux à flux vertical

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

Le projet ADEPTE a pour objectif de développer un logiciel et un guide d'aide à la conception-exploitation de la technique des filtres plantés de roseaux pour le traitement des Rejets Urbains par Temps de Pluie (RUTP). Pour cela, quatre systèmes de traitement des eaux situés en milieu urbain ou péri-urbain sont évalués d'un point de vue technique et environnemental. L'évaluation environnementale va notamment s'intéresser à évaluer les systèmes à travers une analyse de cycle de vie (ACV) afin de caractériser leurs impacts environnementaux potentiels.

Cette communication présente l'ACV du système de rétention et de dépollution des eaux pluviales du site francilien du Syndicat de l'Orge situé à Leuville-sur-Orge dans l'Essonne. L'ouvrage vise en priorité à maîtriser les rejets par temps de pluie et à valoriser le ruisseau existant par temps sec. Cette maîtrise à la source des flux hydrauliques et des polluants est obtenue au prix d'autres impacts environnementaux associés aux phases de la construction, l'entretien et la maintenance, les rejets et le démantèlement du système dans sa globalité. L'ACV, méthode normalisée, va permettre de quantifier ces impacts sur l'environnement tout au long du cycle de vie du système, aussi appelé « du berceau à la tombe » [Haes et al., 2002].

1.2 Localisation et description/fonctionnement de l'ouvrage

L'ouvrage se situe sur les communes de Leuville-sur-Orge et Saint-Germain-les-Arpajon, en Essonne, et a été achevé en décembre 2012. Il intercepte les écoulements d'un bassin versant urbanisé de 125 ha et dont la surface active est évaluée à 33 ha. La superficie de l'ouvrage est d'environ 5 000 m², dont 2 500 m² de filtres plantés de roseaux, le reste étant constitué des ouvrages amont (ouvrage de répartition et décanteur) et aval (mare et zone humide) et des abords de l'ouvrage.

Le principe de fonctionnement du système repose sur un ouvrage de répartition qui, par temps sec, permet à l'eau du ruisseau de s'écouler normalement sans traitement particulier. Quand le débit augmente, l'ouvrage de répartition dévie le flux d'eau vers un décanteur, tout en maintenant l'alimentation du ruisseau, afin de permettre la rétention de la fraction la plus grossière des matières en suspension (MES) contenue dans les eaux pluviales. Un principe de canalisations en surface permet ensuite une distribution des effluents sur les 2 500 m² de filtres plantés de roseaux. Après rétention et filtration au sein du filtre, les eaux traitées et drainées en sortie de filtre sont dirigées vers une mare et une zone humide puis enfin, restituées au ruisseau existant.

2 METHODE

L'ACV est une approche internationalement reconnue et normalisée permettant d'évaluer les impacts potentiels sur l'environnement de produits et services tout au long de leur cycle de vie [Jolliet et al. 2005]. Le cadre général des ACV est défini selon des normes internationales [Normes ISO 14040-14044, 2006] et composé de 4 phases principales : 1- Objectif et champ de l'étude 2- Inventaire du cycle de vie 3- Évaluation de l'impact environnemental 4- Interprétation des résultats.

L'évaluation de l'impact environnemental potentiel consiste à convertir les données d'inventaire de flux de matières et d'énergies en indicateurs d'impact environnemental tels que l'effet de serre, l'acidification, l'épuisement des ressources naturelles, l'eutrophisation, etc. grâce à des méthodes d'analyse de l'impact. Ces méthodes proposent des coefficients préétablis ou facteurs de caractérisation permettant de calculer la contribution de chaque flux aux divers impacts environnementaux. Le résultat obtenu est un indicateur numérique [Risch et al., 2011]. L'ACV permet de distinguer deux grandes familles d'indicateurs : les indicateurs dits « *mid-point* » qui ne visent à quantifier que les changements opérés à l'environnement, et les indicateurs dits « *end-point* » qui visent à quantifier les dommages qui pourraient en résulter [Roux et al., 2012]. La méthode d'évaluation ReCiPe 2008 [Goedkoop et al, 2008], choisie dans le cadre de cette étude, combine ces deux approches et permet d'évaluer 3 catégories de dommages : la santé humaine (exprimée en année de vie perdue), la diversité des écosystèmes (exprimé en perte d'espèces par année) et la disponibilité des ressources (exprimé en \$).

Objectif et champ de l'étude

Les principaux objectifs de l'ACV réalisée dans cette présente étude sont 1) d'identifier les contributions respectives des différentes étapes du cycle de vie et 2) d'identifier les faiblesses environnementales du système afin de proposer des pistes d'amélioration.

La fonction principale analysée porte sur le traitement des effluents par temps de pluie du bassin-versant de la commune de Leuville-sur-Orge situés en amont de l'ouvrage.

Les rejets urbains par temps de pluie et les eaux pluviales strictes se distinguent des eaux résiduares urbaines, ou eaux usées, par trois caractéristiques majeures [Molle et al., 2010] : une grande partie de la pollution est liée aux matières en suspension (MES) ; la pollution est très minérale ; leur composition est soumise à une très grande variabilité. Par conséquent, il est proposé d'évaluer les impacts environnementaux relatifs au **traitement d'1 kg de MES par ha imperméabilisé par an**, unité fonctionnelle qui sera également considérée dans le cadre des autres systèmes évalués dans le projet ADEPTE.

Les frontières du système étudié s'étendent de l'ouvrage de répartition jusqu'à la sortie du filtre planté de roseaux, les autres ouvrages (mare et zone humide notamment) ne rentrant pas dans le dispositif de suivi analytique du système. Le curage des boues, leur transport et leur traitement en station d'épuration sont également considérés.

Les étapes suivantes du cycle de vie sont prises en compte :

- la **construction** du système : installation et préparation du chantier, construction de l'ouvrage de répartition, du décanteur et du filtre planté de roseaux (matériaux, terrassement, engins de chantier, énergie) ;
- la **vie en œuvre** du système : entretien et maintenance (travaux de tonte, curage des boues et envoi en unité de traitement) et rejets et émissions de polluants dans l'eau, l'air, le sol ;
- la **fin de vie** du système : démantèlement total du système y compris l'envoi en unité de traitement du massif filtrant.

Inventaire du cycle de vie

Le bilan des flux entrants et sortants réalisé dans cette étude est basé sur un inventaire permettant de décrire quantitativement les flux de matières, d'énergie et de polluants qui traversent le système :

- des données primaires ont été fournies par le Syndicat de l'Orge concernant la phase de construction et la phase d'entretien et maintenance. Le CEREMA a fourni les données d'émissions et de rejets, mesurées sur site : il s'agit de moyennes prises sur les années 2013-2015, ramenées à l'hectare de bassin versant imperméabilisé ;
- des données secondaires sont issues de la base Ecoinvent 3, allocation, recycled content ;
- enfin, dans certains cas, des hypothèses et/ou jugements d'expert ont été utilisées, dans la mesure où aucune autre source n'était disponible.

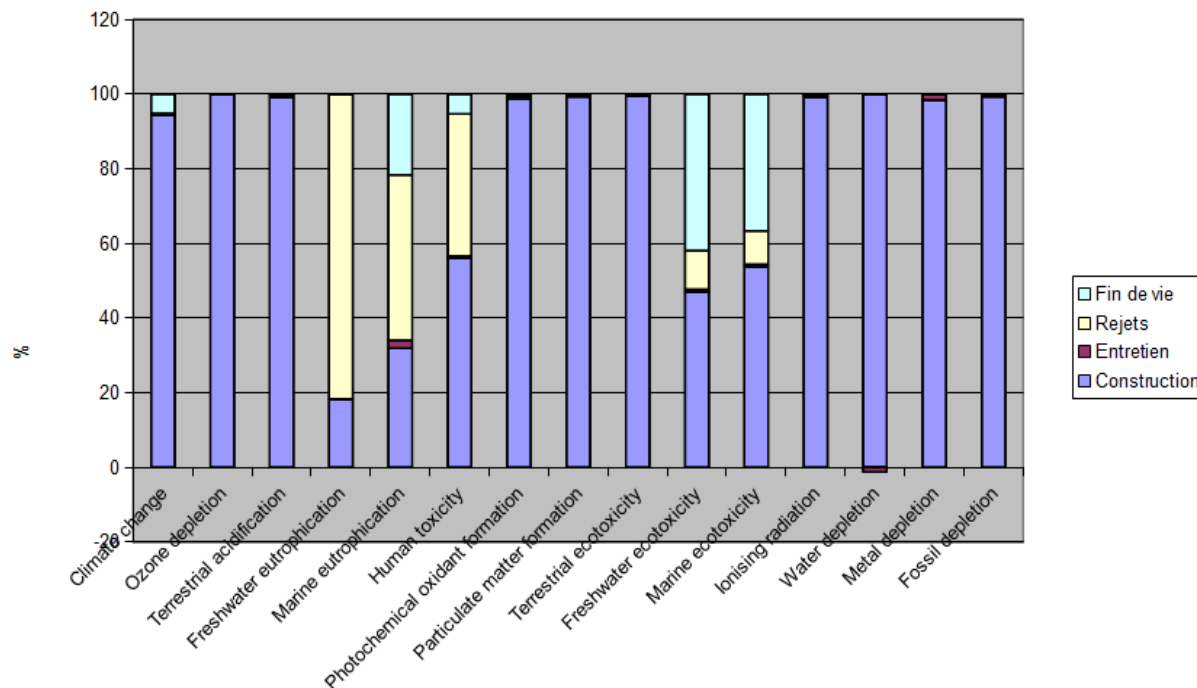
Les principales hypothèses actuelles retenues sont les suivantes :

- une durée de vie de l'ensemble du système estimée à 30 ans, basée sur une revue bibliographique des ACV liées aux filtres plantés de roseaux ; [Salvi et al., 2012]
- les rejets dans l'air sont négligés : en effet, le processus d'assainissement par filtre planté de roseaux à flux vertical (FPRv) ne permet pas ou peu la réalisation de l'étape de dénitrification, essentiellement réalisée en condition anaérobie. Ainsi, la réduction des nitrates en azote moléculaire ne peut se faire dans ce type de système, caractérisé principalement par des conditions en aérobie.
- les émissions vers le sol sont théoriquement nulles : en effet de l'argile d'étanchéité et un géotextile étanche ont été utilisés afin d'éviter toutes émissions vers le sol ;
- les boues/dépôts extraits périodiquement de l'ouvrage de répartition et du décanteur sont envoyés à la station d'épuration d'Evry (STEP) d'une capacité de 250 000 EH : il est proposé de considérer le même schéma pour le dépôt extrait du filtre planté réalisé environ tous les 15 ans. L'hypothèse a été prise d'utiliser la STEP de classe 1 (233 000 EH) déjà modélisée dans la base Ecoinvent 3 ;
- la fin de vie considérée du système est un démantèlement total : un scénario de fin de vie par type de matériaux a été défini selon la répartition suivante : acier : 80 % recyclage – 20 % décharge ; géomembrane : 100 % incinération ; béton : 100 % décharge ; canalisations plastiques : 100 % incinération ; graviers et sable du massif filtrant : 100 % recyclage [Salvi et al., 2012].

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Présentation des résultats

La figure 1 présente les résultats de la contribution des différentes étapes du cycle de vie sur les catégories d'impact mid-point. Avec les hypothèses actuelles, et excepté pour les catégories liées à l'eutrophisation pour lesquelles la phase « rejets » est majoritaire, l'étape la plus impactante pour la majorité des catégories est la construction du système et plus particulièrement l'étape de transport des matériaux constitutifs du filtre planté. Il est cependant intéressant de noter que la phase de fin de vie contribue significativement aux catégories d'impact liées à l'écotoxicité et à l'eutrophisation.



(méthode : ReCiPe Midpoint (H) V1.12 / Europe Recipe H / Caractérisation – SIMAPRO 8.0.5)

La figure 2 montre les contributions des étapes du cycle de vie du système sur les 3 impacts endpoint : la santé humaine, la diversité des écosystèmes et la disponibilité des ressources. On remarque l'importance de la phase de construction quelle que soit le type de dommages considéré.

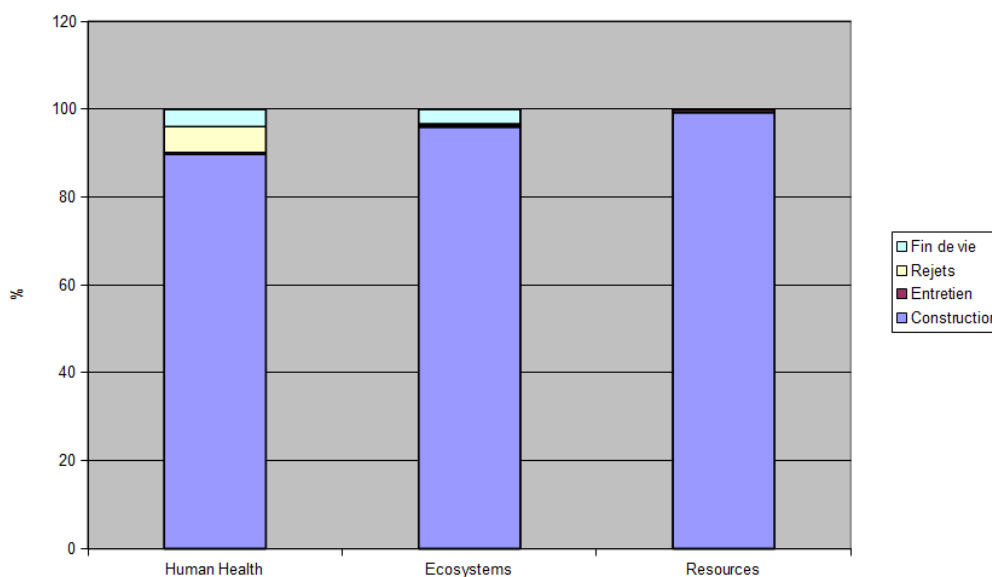


Figure 2 : contribution des étapes du cycle de vie par catégorie de dommages (méthode : ReCiPe Midpoint (H) V1.12 / Europe Recipe H/A / Étude de dommages – SIMAPRO 8.0.5)

3.2 Discussion et perspectives

En conclusion, l'ACV du système de traitement des eaux pluviales de Leuville-sur-Orge montre que la construction du système et en particulier le **transport** des matériaux constitutifs du filtre planté représente le processus le plus impactant. Toutefois, au vu de ces premiers résultats, des analyses de sensibilité ont été réalisées afin de tester l'impact des principales hypothèses :

- la **durée de vie** du système estimée à 30 ans (allongement à 50 ans, à 90 ans) : l'analyse effectuée montre que plus la durée de vie est allongée, plus l'impact du système diminue. Pour une durée de vie de 90 ans, les impacts sur la santé humaine, la diversité des espèces et la disponibilité des ressources sont divisés par 3. La durée de vie influence donc les résultats de façon significative. L'hypothèse de départ est basée sur une revue bibliographique car encore très peu de retours d'expérience existent sur la fin de vie de ce type de système. Cependant, la rusticité de l'ouvrage et son fonctionnement gravitaire laissent présager une durée de vie supérieure à 30 ans, d'autant plus si un suivi et un entretien régulier du système sont effectués ;

- la **destination**, en fin de vie, des **matériaux constitutifs** du filtre planté (sable et graviers) : l'hypothèse prise repose sur l'idée que les sables et graviers peuvent être recyclés sans impact or ces matériaux, si on considère une croissance linéaire de l'accumulation des polluants durant les trente ans de vie du système, seront vraisemblablement pollués en métaux lourds et en hydrocarbures en fin de vie. Leur évacuation soit en centre d'enfouissement sanitaire soit en unité d'incinération apparaissent comme des hypothèses vraisemblables. Ces nouvelles modélisations montrent, pour un stockage en centre d'enfouissement, un impact 3 à 4 fois supérieur pour la santé humaine et la diversité des écosystèmes et 15 fois supérieur pour la disponibilité des ressources. Pour un envoi de centre d'incinération, l'impact est 55 fois plus important pour la santé humaine et la diversité des écosystèmes et 25 fois supérieur pour la disponibilité des ressources. Par conséquent, il est prévu, pour la suite de l'étude, d'affiner cette hypothèse de fin de vie, étape essentielle pour l'impact global de notre système.

Ces premiers résultats nous conduisent à proposer quelques pistes de réflexion sur une amélioration du système en matière d'impact environnemental potentiel :

- Optimiser les distances entre les fournisseurs de matériaux et le site tout en veillant à la qualité des matériaux ;
- Assurer le suivi et l'entretien des systèmes installés de manière à prolonger la durée de vie des installations ;
- Assurer un suivi analytique régulier du massif filtrant afin d'orienter, en fin de vie, les matériaux vers la bonne filière ;
- Minimiser la quantité de matériaux à envoyer en unité de stockage ou d'incinération.

BIBLIOGRAPHIE

- Norme ISO 14040, Management environnemental, Analyse du cycle de vie, Principe et cadre, 2006.
- Norme ISO 14044, Management environnemental, Analyse du cycle de vie, Exigences et lignes directrices, 2006.
- Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., van Zelm, R. (2008) *Handbook ReCiPe 1st ed. Report I: Characterisation*.
- Haes, U. de und Finnveden et al. (2002). *Life-Cycle Impact Assessment: Striving Towards Best Practice*, In: Life-Cycle Impact Assessment: Striving Towards Best Practice SETAC Press ISBN 1-880611-54-6, 249 p
- Jolliet O., Saadé M., Crettaz P. (2005). *Analyse du cycle de vie - Comprendre et réaliser un écobilan*, ISBN 978-2-88074-568-4 Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 246 p.
- Molle P., LipemeKouyi G., Toussaint J-Y., Troesch S., Esser D., Vareilles S., Guillemerd S. (2010). *Traitement des eaux urbaines de temps de pluie par filtres plantés de roseaux à écoulement vertical: approche globale du projet de recherche Segteup*. Novatech 2010, 8 p.
- Roux, P., Boutin, C., Risch, E., Héduit, A. (2012). *L'analyse de cycles de vie des systèmes d'assainissement : un outil complémentaire d'aide à la décision*. Sciences Eaux and Territoires : la Revue du IRSTEA, IRSTEA, <hal-00776171>, p. 82 - p. 90.
- Risch, E., Boutin, C., Roux, P., Héduit, A. (2011). *Modèle ACV- Filière de traitement des eaux usées par filtres plantés de roseaux à flux verticaux (FPRv). Rapports d'ACV et données d'inventaire. Partenariat 2010 - Domaine Ecotechnologies et pollution - Action n° 28-1*.
- Salvi M., Verzat B., Charron Doucet F. (2012). *Analyse de cycle de vie d'un système de traitement des eaux: Phragmifiltre®*. 97 p.