



> **Mise en œuvre de l'ACV en
assainissement non collectif**
Diagnostic préliminaire

28 Septembre 2020

Prestation de service

Eva Risch

Catherine Boutin



Auteurs du rapport

Eva Risch¹ et Catherine Boutin²

¹ INRAE Montpellier-Occitanie, UMR ITAP, Groupe ELSA (eva.risch@inrae.fr)

² INRAE Lyon, UR REVERSAAL (catherine.boutin@inrae.fr)

SOMMAIRE

Glossaire	3
1 Synthèse.....	3
2 Contexte.....	4
3 Différentes filières d'ANC (< 20EH)	4
4 Préambule à l'ACV	5
5 Définition du périmètre des études ACV (ISO14044).....	8
6 Harmonisation des inventaires ACV	10
6.1 Choix de l'unité fonctionnelle.....	10
6.2 Proposition de définition de la charge polluante d'un usager en ANC.....	11
6.3 Unités proposées pour réaliser les ICV	13
7 Identification des éventuels manques de données	15
7.1 Rejets en eau de surface	15
7.2 Emissions gazeuses	16
7.3 Emissions dans le compartiment sol	16
7.4 Synthèse : bilan matière sur une filière ANC.....	16
7.5 Exploitation des ouvrages.....	Erreur ! Signet non défini.
7.6 Exploitation des ouvrages.....	19
8 Conclusions sur la faisabilité des ACV des filières ANC	20
9 Références.....	21
10 Annexe liste de micropolluants	23

Glossaire

ACV Analyse de Cycle de Vie

ANC Assainissement Non Collectif

ATEP Acteurs du Traitement des Eaux de la Parcelle

CSTB Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DBO₅ Demande Biologique en oxygène sur 5 jours

DCO Demande Chimique en oxygène

EH Equivalent-Habitant

FAS Filtre A Sable

FTE Fosse Toutes Eaux

GIEC Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

ICV Inventaire de Cycle de Vie

INRAE Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (ex Irstea)

MBR Membrane bioreactor - Bioréacteur à membranes

MES Matières en Suspension

MV Matières de Vidange

ONEMA Office National de l'Eau et de Milieux Aquatiques (devenu depuis l'Office Français de la Biodiversité (OFB))

PTA Premier Tech Aqua

QMRA Etudes quantitatives du risque microbien

RBC Rotating Biological Contactor – disque biologique rotatif

SBR Sequencing Batch Reactor - réacteur biologique séquentiel

1 Synthèse

Cette étude présente une réflexion préliminaire sur l'applicabilité de l'analyse du cycle de vie (ACV) aux différentes filières d'assainissement non collectif (ANC).

L'ACV est une méthode d'évaluation normalisée (ISO 14040 et ISO 14044) permettant de réaliser un bilan environnemental multicritère d'un système (produit, service, entreprise ou procédé) sur l'ensemble de son cycle de vie. Ainsi, les impacts sur les écosystèmes, la santé humaine ou les ressources naturelles sont évalués depuis l'extraction des matières premières constitutives du système, en passant par son exploitation et sa fin de vie.

Les objectifs de cette étude sont:

- d'identifier les pré-requis pour réaliser les ACV des filières ANC;
- de réaliser un état de l'art actuel des applications de l'ACV aux filières ANC;
- de proposer une harmonisation des unités utilisées pour l'établissement d'inventaires ACV;
- de définir un périmètre des études ACV conforme à la norme ISO14044;
- de conclure sur la faisabilité actuelle des ACV sur les filières ANC existantes.

2 Contexte

INRAE, au sein de son UMR ITAP du Centre de Recherche de Montpellier-Occitanie a acquis une expérience dans le domaine de la mise en œuvre des ACV pour les procédés d'épuration des eaux usées.

L'ATEP, comme syndicat professionnel dans le secteur de l'ANC regroupe concepteurs, fabricants, installateurs et sociétés de services et a pour objectif de contribuer à l'amélioration de la qualité et de la pérennité des filières ANC. L'ATEP souhaite en conséquence confier à cette dernière une réflexion préliminaire pour son compte sur l'applicabilité de l'ACV aux différentes filières ANC.

3 Différentes filières d'ANC (< 20EH)

En France, les installations d'ANC sont mises en place pour les habitations qui ne sont pas raccordées à un réseau public de collecte des eaux usées, leur permettant ainsi de traiter individuellement leurs eaux usées domestiques. Les SPANC (Services Publics d'Assainissement Non Collectif) sont chargés de l'accompagnement des particuliers dans la mise en place de leur installation, du suivi et du contrôle des installations d'ANC.

On dénombre au 11 octobre 2016 pas moins de 106 filières d'ANC réglementaires, réparties entre 4 filières dites « traditionnelles » et 102 filières dites « agréées » (par publication au Journal Officiel). La Figure 1 montre comment sont structurées ces filières.

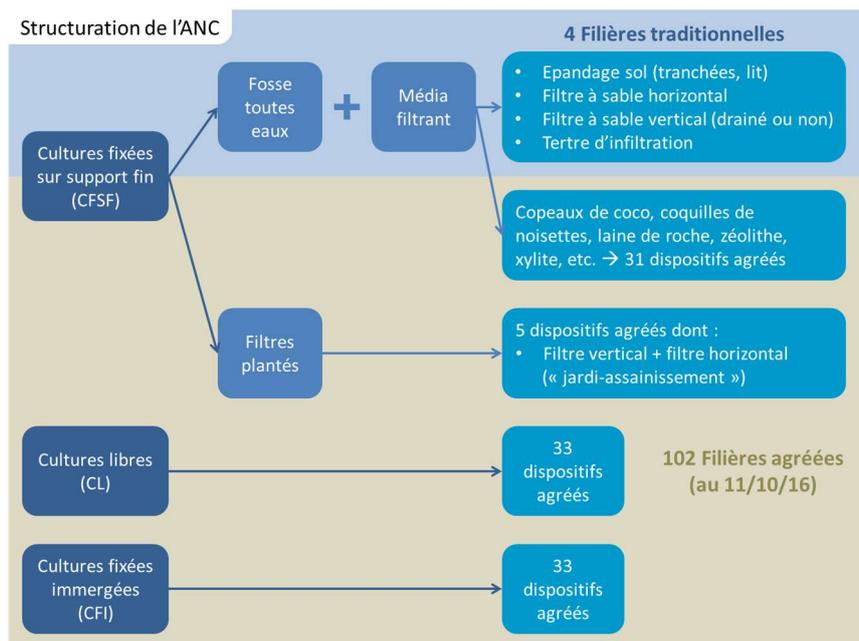


Figure 1. Différentes filières d'épuration utilisées en ANC (Catel 2017)

L'ensemble de ces filières a un point commun fonctionnel c'est-à-dire qu'il traite des eaux usées d'une habitation; et les processus d'épuration en jeu sont, dans les grandes lignes relativement proches au sein d'une même famille de traitement. Pour autant, chaque dispositif revêt des particularités qu'il faudra faire apparaître selon des repères communs à définir. C'est toute la difficulté de l'exercice.

4 Préambule à l'ACV

L'analyse du cycle de vie est une méthode d'évaluation des impacts environnementaux d'un produit, d'un procédé ou d'un service tout au long de son cycle de vie. En se rapportant au service rendu, elle permet de comparer des solutions techniques différentes (ACV comparative). Elle repose sur :

- Une unité fonctionnelle : l'identification et la quantification du service rendu afin de pouvoir comparer différentes solutions techniques,
- Une approche cycle de vie : considération de toutes les étapes du cycle de vie du système étudié et de tous les sites concernés (Figure 2),
- Une approche multicritère afin d'éviter les transferts de pollution, différents indicateurs environnementaux sont étudiés (Figure 3).

Voici l'exemple de la pensée « cycle de vie » appliquée à un produit agricole, la pomme (Cf figure 2).



Figure 2 : Application de la pensée cycle de vie en agro-alimentaire : la pomme (source : Philippe Roux, INRAE)

La prise en compte de différentes catégories d'impacts permet surtout d'éviter les transferts de problèmes environnementaux. Cela permet également de mettre en avant des liens d'inter-dépendance entre différents objectifs de développement durable pour un système donné. Par exemple, si on améliore l'efficacité épuratoire (sur le carbone/azote) grâce à une sur-consommation électrique, il y aura moins d'impacts en eutrophisation aquatique dans le milieu récepteur mais davantage d'impacts sur le réchauffement climatique et sur la santé humaine. On parle alors de nexus climat-services écosystémiques-santé.

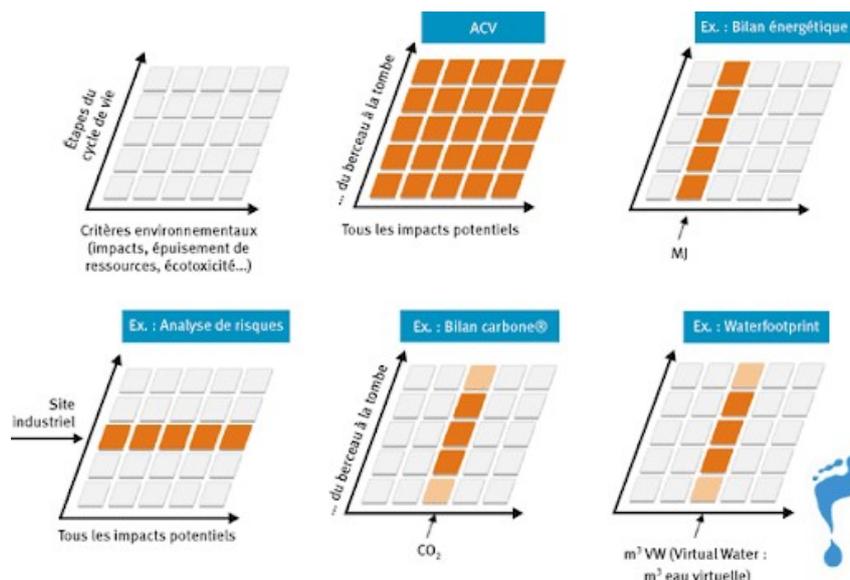


Figure 3 : Représentation graphique de l'approche multicritère et de la pensée cycle de vie de l'ACV (source : Philippe Roux, INRAE)

L'analyse de cycle de vie est un outil d'aide à la décision normalisé (ISO 14040 et ISO 14044). Selon cette norme, une étude ACV se mène en quatre phases et suit un processus itératif, où de nouvelles données, des avancées méthodologiques peuvent aboutir à un inventaire plus précis et ainsi modifier une évaluation d'impact et/ou une interprétation déjà établie (Figure 4) :

1. La phase de définition des objectifs et du champ de l'étude
2. La phase inventaire
3. La phase d'évaluation des impacts
4. La phase d'interprétation

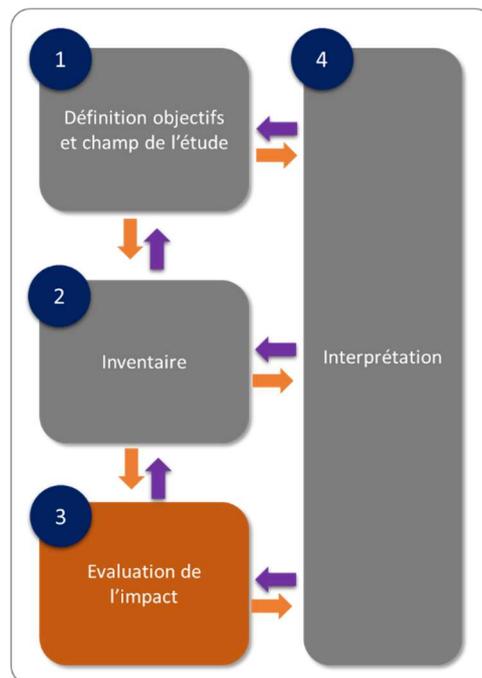


Figure 4 : Représentation des quatre étapes de l'ACV

L'ACV fait l'objet de nombreux travaux de recherche internationaux visant à améliorer la procédure et y intégrer les dernières connaissances scientifiques portant sur l'évaluation des impacts environnementaux telles que par exemple les nouvelles approches en toxicité et éco-toxicité proposées par le modèle USEtox (Rosenbaum et al., 2008) ou la méthode d'impact multicritère ReCiPe 2016 (Huijbregts, 2016). Ces méthodes proposent des chaînes de causalité entre des polluants émis, leurs effets sur l'environnement (i.e. les transformations qu'elles opèrent sur les milieux) et les dommages potentiels qui pourraient en résulter. La Figure 5 présente le cadre conceptuel proposé dans la méthode d'évaluation d'impact la plus couramment utilisée en Europe, ReCiPe 2016. Il existe en ACV, deux grandes familles d'indicateurs : (i) les indicateurs midpoint, qui ne visent à quantifier que les changements opérés à l'environnement et (ii) les indicateurs endpoint, qui visent à quantifier les dommages qui pourraient en résulter sur trois aires de protection (santé humaine, maintien des écosystèmes et

disponibilité des ressources). ReCiPe 2016 est une méthode intéressante car elle propose une harmonisation entre les indicateurs d'impact midpoint et endpoint.

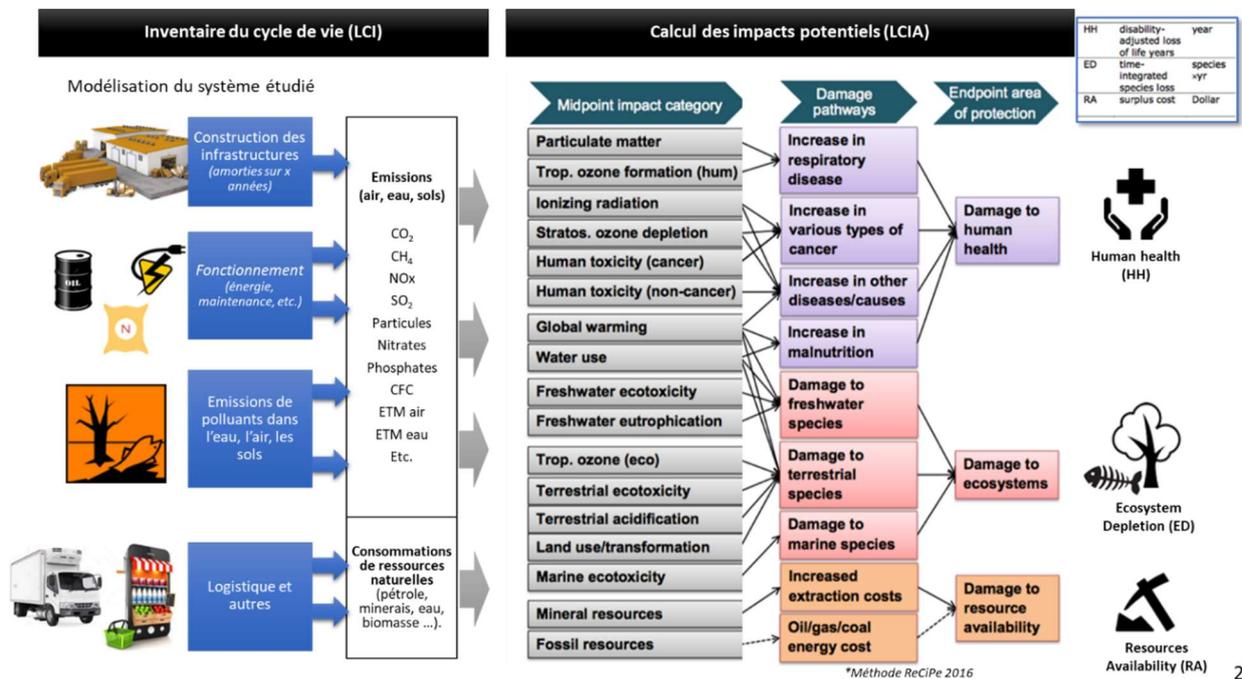


Figure 5. Cadre conceptuel proposé pour le calcul des impacts en ACV, exemple de la méthode ReCiPe 2016 (Huijbregts et al., 2017)

5 Définition du périmètre des études ACV (ISO14044)

Le périmètre d'une étude ACV doit inclure les processus et les parties du cycle de vie correspondant à l'objectif de l'étude (Tillman et al., 1994). Idéalement, tous les intrants et sortants nécessaires à la fonction d'un produit/technologie doivent être inclus en amont, et en aval jusqu'au flux d'énergie et de matière:

- De la nature au système technologique, qui dans le traitement des eaux usées implique les ressources et l'énergie nécessaires à la production de biens d'équipement (infrastructure et équipement), la production d'énergie, et les produits chimiques consommés pendant le traitement ; et
- Du système technologique à la nature, qui couvre principalement les flux de substances rejetées par les filières de traitement d'eaux usées dans le sol, l'air et l'eau. Les rejets dans l'eau provenant des filières de traitement sont plutôt bien déterminés (voir la section 3). Ces dernières années, des progrès importants ont été réalisés dans la prise en compte des émissions gazeuses directes non biogéniques (par exemple, principalement protoxyde d'azote N₂O et méthane CH₄) émises lors du traitement

biologique (Delre et al., 2019; Foley et al., 2010a, 2010b; Lorenzo-Toja et al., 2016; Rodriguez-Garcia et al., 2012).

Pour synthétiser, un périmètre d'étude ACV adapté pour une filière ANC est présenté à la Figure 6 ci-dessous.

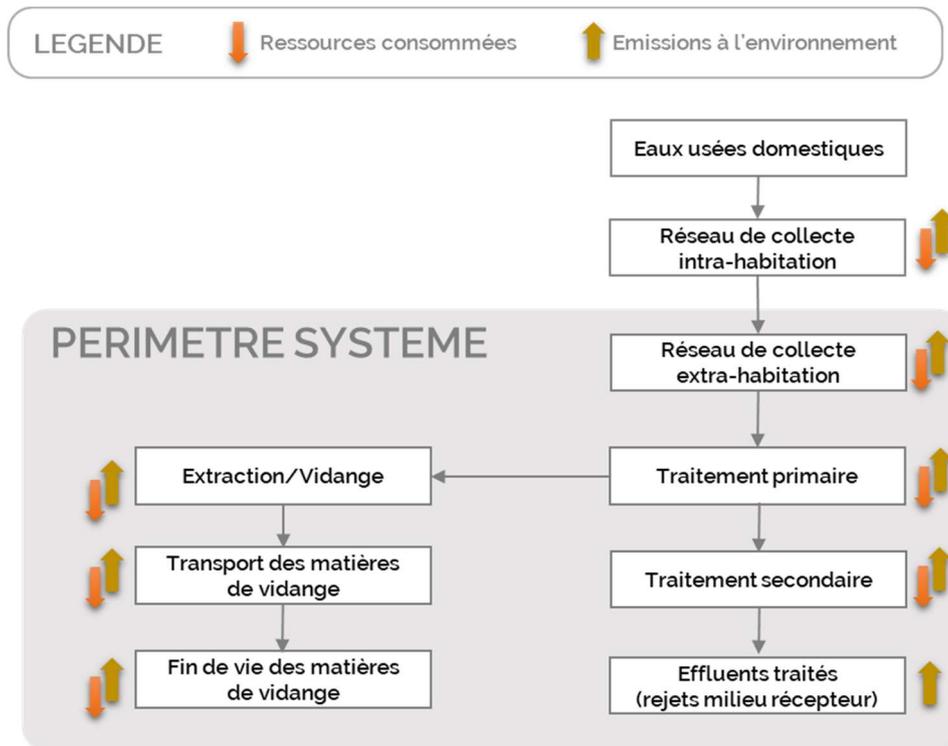


Figure 6. Périmètre d'étude d'un système ANC générique

A noter que pour réaliser une étude ACV comparative avec plusieurs filières ANC, il faut respecter le même périmètre pour chaque filière, et inclure tous les facteurs pertinents à l'objectif de l'étude. Dans ce cas spécifique des ACV comparatives, il est possible d'appliquer la condition "ceteris paribus", qui permet d'exclure toutes les parties du cycle de vie qui sont identiques parmi les filières comparées.

La définition du périmètre d'étude ACV nécessite également de fixer des limites temporelles et géographiques (Tillman et al., 1994). Aussi, la durée de vie des infrastructures des filières ANC doit être prise en compte, et cela a une influence sur l'estimation des impacts environnementaux pour des stations d'épuration (Morera et al., 2017). A noter que la durée de vie utile des composants des stations d'épuration va de 15 à 100 ans (United States Environmental Protection Agency, 2002) (par exemple, 50 ans pour les structures en béton des stations d'épuration; 15 à 25 ans pour les équipements; de 15 à plus de 100 ans pour les conduites d'égout, variant

considérablement en fonction des conditions du sol, du matériau des conduites, du climat et des exigences de capacité).

Dans le cadre des ACV conduits par INRAE sur les systèmes « assainissement », tant en assainissement collectif qu'en assainissement non collectif, la durée de vie des infrastructures, hors canalisations, a été estimée à 20 ans.

A noter le retour d'expérience de PTA pour leurs filières commercialisées (i.e. FTE avec filtre à substrat coco et la micro-station Sequencing Batch Reactor (SBR)) (PremierTechAqua, 2017) :

- Cuves : 50 ans
- Composants : 30 ans
- Géotextiles : 17 ans
- Renouvellement sable après 17 ans
- Microstation SBR : 50 ans
- Pompes et surpresseurs : 8 ans

Selon les filières ANC, les boues produites (ou matières de vidange ou biosolides) peuvent avoir une fin de vie différente (i.e. envoi pour traitement en STEP, incinération ou encore épandage agricole des boues biologiques). Il sera nécessaire d'inclure dans le périmètre d'étude cette dernière étape. S'il y a un épandage agricole des boues biologique d'épuration, le bénéfice environnemental de la réutilisation des ressources (nutriments azotés, phosphorés) va être « crédité » à la filière grâce à la quantité d'engrais minéraux synthétiques évités (ce qu'on appelle la substitution) (Figure 7 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les matières de vidange issues d'une fosse toutes eaux sont traitées en station d'épuration adaptée.

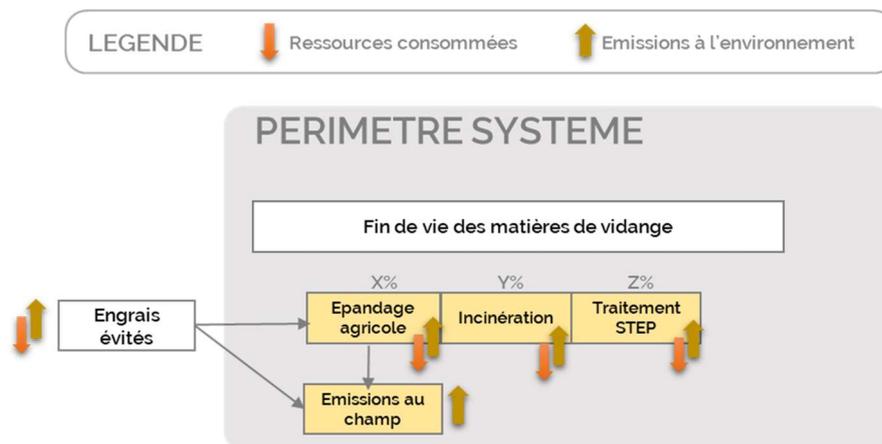


Figure 7. Périmètre d'étude - Focus sur la fin de vie des matières de vidange

6 Harmonisation des inventaires ACV

6.1 Choix de l'unité fonctionnelle

D'après la norme ISO 14040, l'unité fonctionnelle (UF) est une quantification de la (ou des) fonction(s) du système. L'objectif premier d'une unité fonctionnelle est de fournir une référence par rapport à laquelle les

intrants et les extrants sont normalisés (au sens mathématique). Cette référence est nécessaire pour assurer la comparaison des résultats d'ACV.

La fonction principale (ou service rendu) des filières d'ANC est de traiter les eaux usées domestiques afin d'éviter la pollution des milieux récepteurs et les risques sanitaires.

Sur les 121 publications récentes d'ACV sur le traitement des eaux usées depuis la revue bibliographique de Byrne et al. (2017), les unités fonctionnelles les plus couramment utilisées étaient le volume (50 papiers), le volume avec un objectif de traitement (17 papiers), la masse de boues (17 papiers) ou l'équivalent-habitant (EH) (10 papiers) (Corominas et al., 2020).

Dans les études ACV réalisées par INRAE à ce jour en assainissement collectif et en non collectif, l'unité fonctionnelle retenue est le traitement des effluents d'un usager par jour. Classiquement, d'après la Directive Européenne du 21 mai 1991, un EH correspond à une pollution de $60 \text{ gDBO}_5 \cdot \text{j}^{-1}$. Cette unité de mesure est utilisée pour définir la capacité nominale d'une station d'épuration en assainissement collectif, c'est-à-dire la charge polluante des eaux usées à traiter pour laquelle les installations sont conçues pour être en conformité avec le niveau de rejet requis (norme NF EN 1085, 2007).

En 2017 sur le marché de l'ANC, la capacité la plus couramment installée est de 5 EH, pour traiter la charge polluante rejetée par une habitation individuelle (ATEP, 2017; PremierTechAqua, 2017).

En France, ce type d'habitation est en général occupé par un ménage de taille moyenne de 3 habitants (Olivier et al., 2019), et cette hypothèse est également reprise dans l'étude ACV des filières ANC commercialisées par PTA (PremierTechAqua, 2017).

En conséquence, l'unité fonctionnelle proposée pour une filière ANC sera le traitement de la charge de pollution journalière de 3 usagers en contexte d'assainissement non collectif pendant un an. Cette unité fonctionnelle est mise en œuvre dans l'étude ACV des filières de phytoépuration d'Aquatiris (Thouny and Petitot, 2019).

6.2 Proposition de définition de la charge polluante d'un usager en ANC

Afin de comparer les systèmes de gestion des eaux usées dans un contexte centralisé et décentralisé, les charges de pollution provenant de sources domestiques ont été récemment quantifiées par des campagnes de mesures sur différents ménages en 2015 (Olivier et al., 2019; Olivier and Boutin, 2017). Suite à ces travaux récents, il est possible de définir une charge de pollution journalière en macropolluants pour un usager dans un contexte d'ANC (Tableau 1), qui reflète plus précisément la charge reçue par une installation ANC en habitat individuel.

Tableau 1. Charge de pollution (macropolluants) d'un usager dans un contexte d'assainissement non collectif (i.e. habitations individuelles), valeurs moyennes et coefficient de variation (CV, %) obtenues d'après mesures INRAE (Olivier et al., 2019; Olivier and Boutin, 2017). Dans ce contexte, le volume moyen d'eaux usées produit par un usager est de $100 \text{ L} \cdot \text{j}^{-1}$. Afin d'équilibrer le bilan matière, les macropolluants sont estimés en charges élémentaires: le carbone organique métabolisable est estimé à partir de la demande chimique en oxygène (DCO) : $\text{DCO} \cdot 12/32$ (rapport molaire $\text{C-CO}_2/\text{O}_2$) (Boutin et al., 2011).

Paramètres	Valeurs moyennes	CV (%)
	g.d ⁻¹ .hab ⁻¹	
MES	46.0	87%
DBO ₅	46.0	46%
DCO	106	80%
Total C, Carbone	39.75*	
N-NH ₄	7.00	58%
N-org	4.00	
Kjeldahl N	11.0	64%
N-NO ₂	0	
N-NO ₃	0	
Total N, Azote	11.0	
P-PO ₄	1.00	
P-particulaire	0.30	
Total P, Phosphore	1.30	71%

6.3 Unités proposées pour réaliser les ICV

Les données requises pour un inventaire complet d'une filière ANC peuvent être groupées entre les infrastructures physiques, les rejets et émissions lors du fonctionnement et les consommations comme au Tableau 2.

Tableau 2. Synthèse des données d'inventaire par groupe/étape du cycle de vie

Infrastructures physiques	Fonctionnement	Consommations
Construction	Qualité des rejets eau	Consommables (réactifs, substrats pour adsorption)
Démantèlement	Emissions gazeuses	Energie consommée
	Emissions au sol (incl. infiltrations)	
	Destination des co-produits et déchets (ex : matières de vidange, substrats utilisés..)	
	Entretien et maintenance (ex : réparations et vidange)	

Il y a encore peu d'études ACV de filières ANC réalisées à ce jour, certaines publications comparent ces dernières aux systèmes d'assainissement centralisés (Kobayashi et al., 2020; Matos et al., 2014; Opher and Friedler, 2016).

En France, dans le cadre de l'action ONEMA 2016, les deux filières, dont le rejet se fait en surface, et largement développées en ANC sur le territoire français, (i) la fosse toutes eaux + filtre à sable vertical drainé (filière traditionnelle) et (ii) le filtre planté vertical et horizontal (filière agréée, dénommée «jardi-assainissement») ont fait l'objet d'un inventaire ACV puis d'une étude ACV comparative (Ceccaldi et al., 2018a, 2018b).

L'étude ACV de PTA (PremierTechAqua, 2017) a porté sur des filières ANC de capacité 5 EH (i) FTE + filtres compacts garnis de fragments de coco et (ii) micro-stations SBR qui sont comparés ensuite à des filières ANC traditionnelles.

Un état de l'art succinct des études ACV réalisées à ce jour (Septembre 2020) sur les filières ANC est proposé au Tableau 3. Il en ressort que la plupart des études renseignent de manière satisfaisante les données concernant les *infrastructures physiques et les consommations*, mais ne portent pas le même niveau de détail sur les données relatives au *fonctionnement et à la maintenance*.

Tableau 3. Synthèse des filières ANC étudiées en ACV

Année	Filière(s) ANC	Type	Auteurs	Titre	Détails
2014	Filtre à sable + Micro-station bioréacteur à membranes (MBR)	publication scientifique	Matos, C., Pereira, S., Amorim, E. V., Bentes, I., Briga-Sá, A.	Wastewater and greywater reuse on irrigation in centralized and decentralized systems - An integrated approach on water quality, energy consumption and CO ₂ emissions	Sci. Total Environ. 493, 463–471. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.129
2016	Micro-station cultures fixées (RBC) + traitement UV à l'échelle de 40 foyers (immeuble)	publication scientifique	Opher, T., Friedler, E.	Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse.	J. Environ. Manage. 182, 464–476. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.080
2017	FTE + filtre compact substrat coco; Micro-station cultures libres (SBR)	rapport technique confidentiel	Cruyppenninck, H.	Revue critique d'Analyse du Cycle de Vie comparative de systèmes d'assainissement non collectif de capacité < 20 EH pour PremierTechAqua	
2017	FTE + filtre à sable vertical drainé; Filtre planté vertical + filtre planté horizontal	rapport préliminaire	Catel, L., Boutin, C., Dubois, V., Roux, P.	Inventaires du cycle de vie de filières de traitement des eaux usées en assainissement non collectif	https://acv4e.inrae.fr/wp-content/uploads/2017/12/2016_Action-52-Irstea-Onema_ICV-ANC.pdf
2018	FTE + filtre à sable vertical drainé; Filtre planté vertical + filtre planté horizontal	rapport technique	Ceccaldi, M., Catel, L., Boutin, C., Dubois, V., Roux, P.	Analyse du cycle de vie (ACV) de filières de traitement des eaux usées en assainissement non collectif (ANC)	
2019	Filtre planté vertical; filtre planté vertical + horizontal; préfiltre + filtre planté vertical	rapport technique confidentiel	Thouny, C., Petitot, S.	Revue critique d'Analyse du cycle de vie des systèmes de phyto-épuration d' AQUATIRIS	
2020	Micro-station bioréacteur à membranes (MBR) ; filtre planté horizontal. Echelles d'application de l'individuel au semi-collectif.	publication scientifique	Kobayashi, Y., Ashbolt, N.J., Davies, E.G.R., Liu, Y.	Life cycle assessment of decentralized greywater treatment systems with reuse at different scales in cold regions	Environ. Int. 134, 105215. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105215

Afin d'illustrer schématiquement, la Figure 8 explicite la modélisation d'une filière ANC avec les briques élémentaires correspondant à l'infrastructure, aux rejets air/eau/sol, à l'opération & maintenance (O&M) et à la fin de vie des matières de vidange (MV) produites.

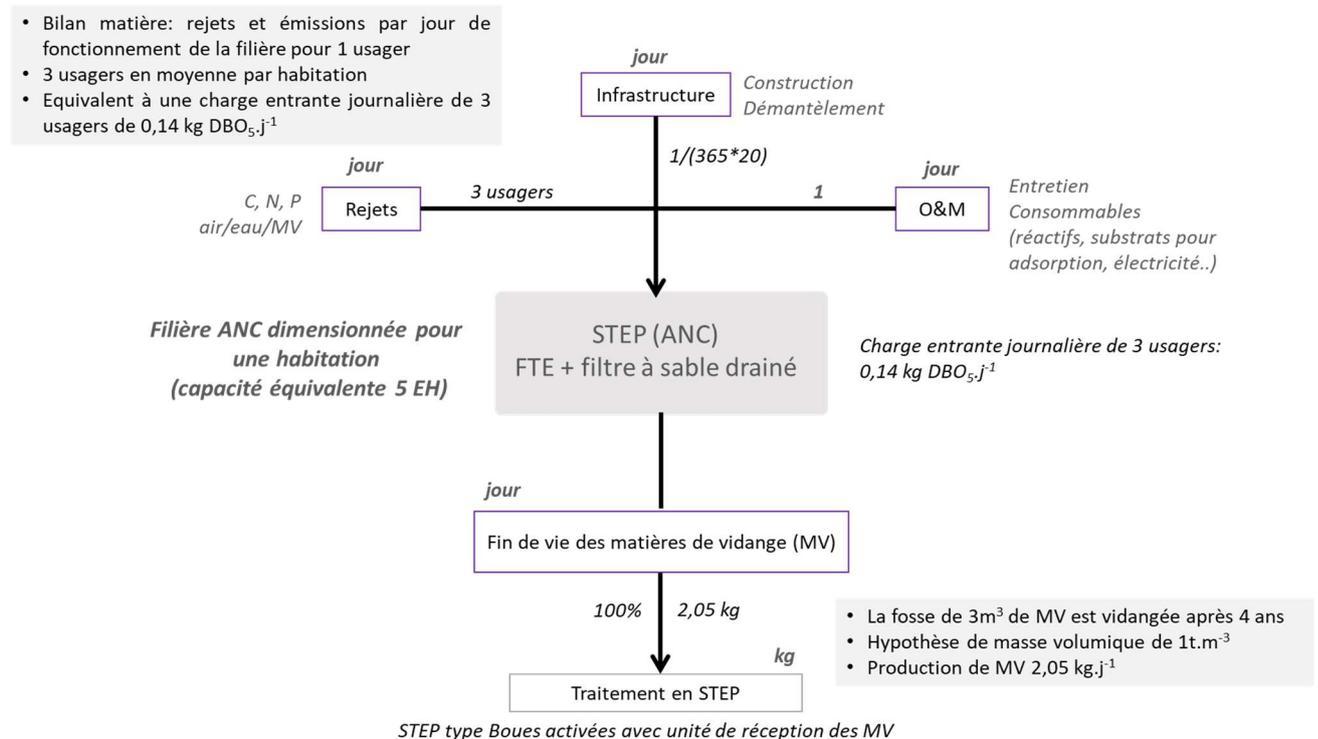


Figure 8. Représentation schématique du modèle ACV de la filière ANC FTE + FAS. Ici il a été retenu une durée de vie utile de l'ouvrage de 20 ans soit $365 \cdot 20$ jours.

7 Identification des éventuels manques de données

7.1 Rejets en eau de surface

La disponibilité des données sur les performances des filières ANC est très variable, il existe donc peu de données permettant une comparaison exhaustive de ces filières. A noter qu'il existe deux études à savoir (i) l'étude in situ « Tarn » réalisée entre 2008 et 2014 par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et la société Véolia, sur les performances des filières ANC en conditions soutenues (Vignoles, 2015) et (ii) le suivi in situ du Groupe National Public ANC réalisé par IRSTEA, entre 2011 et 2016 (Boutin and Olivier, 2017).

De plus en plus de micro-polluants sont répertoriés dans les méthodes d'évaluation d'impact ACV, 129 substances aux impacts toxiques pour l'homme et les écosystèmes ont été récemment caractérisés avec la méthode USEtox v2 (Maillard et al, 2020³), ce qui permet de mieux cerner l'efficacité environnementale des systèmes d'assainissement avec la prise en compte de l'abattement des micro-polluants dans les rejets d'effluents qui provoqueraient des impacts en écotoxicité et toxicité humaine. Les métaux et métalloïdes

³ En cours de publication. Liste des 129 micro-polluants fournie en Annexe de ce rapport (fichiers Excel)

méritent d'être suivis également, car leurs impacts écotoxiques sont très souvent significatifs du fait de leur durée de vie longue (en comparaison avec les polluants organiques). Pour ces espèces, la connaissance de la forme métallique rejetée dans les effluents est primordiale afin de déterminer avec plus de précision leurs impacts (i.e. fraction de métal non complexé ou adsorbé préférentiellement aux MES). Une filière ANC qui retiendra les MES aura certainement un avantage, dans le sens où certains métaux vont sédimenter et être retenus dans les matières de vidange – et ne causeront pas d'impacts toxiques dans les effluents rejetés.

A noter qu'actuellement, il n'y a pas encore de consensus sur les pathogènes, aucune méthode d'évaluation d'impact ACV ne permet leur prise en compte et il est par conséquent nécessaire de réaliser des études quantitatives du risque microbien (QMRA) dans certains cas.

En absence de données de mesures, il reste possible de se limiter aux paramètres classiques dans les rejets (carbone, azote et phosphore) mais la robustesse de l'évaluation d'impact ACV sera amoindrie et consistera en une limite notable de l'étude ACV, qu'il faudra communiquer en transparence.

7.2 Emissions gazeuses

On note une absence de mesures sur les émissions gazeuses directes au sein des filières ANC, qui est la conséquence probable d'un manque de connaissances précises des mécanismes de dégradation de la pollution organique dans ces filières. Il est nécessaire de porter l'effort de recherche pour pouvoir établir les hypothèses permettant d'évaluer les productions gazeuses par analogie avec des résultats publiés. En première approximation, il est possible d'utiliser des facteurs d'émission du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) révisés récemment pour les gaz à effet de serre (Bartram et al., 2019) ou des résultats publiés sur certaines filières comme la fosse septique (Diaz-Valbuena et al., 2011).

7.3 Emissions dans le compartiment sol

En théorie, il faudrait considérer pour les filières ANC, leurs émissions dans les sols par infiltration directe des effluents traités. Cependant, à l'heure actuelle dans le cadre de l'ACV, il y a un manque de connaissances sur (i) la modélisation du devenir des polluants après une émission dans le sol et sur (ii) les impacts potentiels en éco-toxicité terrestre dans les méthodes actuelles d'ACV. Afin de pallier à ce problème, il est possible de considérer le cas plus conservatif d'une filière ANC rejetant dans un cours d'eau ou rivière, avec zéro émissions au sol.

Une émission « indirecte » dans un sol agricole peut être envisagée, lorsqu'il y a un scénario d'épandage des boues ou matières de vidange. Un effort est à fournir pour renseigner les qualités et quantités des boues produites.

7.4 Synthèse : bilan matière sur une filière ANC

Afin d'assurer une cohérence entre les différentes émissions et rejets au sein d'une filière ANC, il est conseillé de réaliser un bilan de matière équilibré à l'échelle de l'installation (

Tableau 4). Le principe du bilan de matière est que tous les polluants qui entrent dans l'installation doivent se retrouver en sortie soit dans les eaux traitées, soit dans l'air (réactions épuratoires), soit dans les matières de vidange. On considère une installation drainée, sans infiltration d'eaux usées traitées à travers le sol en place.

En complément de ce bilan matière, il est également nécessaire d'estimer la production de matières de vidange ou boues en masse de matière sèche (MS), car ces dernières sont dans la grande majorité des cas, ensuite envoyées pour traitement en STEP boues activées « classique ». Cette estimation de production de boues peut se faire sur une année, ou sur une plus longue période jusqu'à la vidange (i.e. tous les 4 ans pour une FTE).

Tableau 4. Bilan de matière pour une filière fosse toutes eaux + filtre à sable vertical drainé. Les valeurs et hypothèses retenues pour l'équilibrage du bilan matière seront explicités dans un rapport technique (INRAE, en cours de rédaction).

	INPUTS Substances Eau Usée (g/(hab*j))		OUTPUTS (g/(hab*j))					
			Emissions et rejets directs			Sous-produits		TOTAL
			Emissions air	Emissions sol	Rejets eau	CP1	CP2	
						Boues	Autres	
N-Azote	7.0	N-NH4			1.06E+00	1.25E-01		N-NH4
	4.0	N-org			3.71E-01	3.96E-01		N-org
	0	N-NO2			0.00E+00	0.00E+00		N-NO2
	0	N-NO3			6.58E+00	0.00E+00		N-NO3
		N-NH3	1.17E+00					N-NH3
		N-NO	0.00E+00					N-NO
		N-N ₂ O	1.27E-01					N-N ₂ O
		N-N ₂	1.17E+00					N-N ₂
	11.0	N Total, Entrée	2.47E+00		8.01E+00	5.21E-01	0.00E+00	11.0 N Total, Sortie
P-Phosp.	0.30	P-org			2.18E-01	1.90E-01		P-org
	1.00	P-PO4			8.71E-01	2.11E-02		P-PO4
	0	P-P2O5				0.00E+00		P-P2O5
	1.30	P Total, Entrée			1.09E+00	2.11E-01	0.00E+00	1.30 P Total, Sortie
C-Carbone		C-CO2	2.16E+01					C-CO2
		C-CH4	8.03E+00					C-CH4
	39.75	C-DBO5			0.00E+00	8.22E+00		C-org
	0	C-inerte			1.95E+00			C-inerte
	39.75	C Total, Entrée	2.96E+01		1.95E+00	8.22E+00	0.00E+00	39.75 C Total, Sortie
ETM	2.86E-05	Cd				3.50E-05		Cd
	9.11E-04	Hg				1.40E-05		Hg
	6.85E-04	Ni				1.04E-03		Ni
	1.18E-03	Pb				7.33E-04		Pb
	1.58E-04	Co				1.58E-04		Co
	6.27E-04	As				6.27E-04		As
	4.40E-04	Mo				4.40E-04		Mo
	2.23E-02	Zn				1.88E-02		Zn
	6.28E-03	Ba				6.28E-03		Ba
	8.19E-03	Cu				7.49E-03		Cu
	4.46E-04	Cr				7.97E-04		Cr
	2.45E-04	V				2.45E-04		V
CTO	2.89E-05	Dichlorométhane	2.55E-05		3.47E-06			Dichlorométhane
	6.67E-06	Simazine			6.67E-06			Simazine
	3.44E-05	2,4-dichlorophénol			1.65E-05	1.79E-05		2,4-dichlorophénol

7.5 Durée de vie des ouvrages

En vue d'assurer une cohérence entre les études ACV des filières ANC, il est recommandé de définir des durées de vie utiles pour les composants de ces filières, ces données étant rares dans la littérature. Des fabricants de filières ANC pourraient mettre à disposition des données statistiques concernant les durées de vie utiles des différents composants installés dans les filières ANC (i.e. valeurs moyennes et écart-type), à l'instar de PTA qui propose sur la base de leur retour d'expérience concernant leurs filières ANC (PremierTechAqua, 2017) des valeurs listées à la Section 4, ou encore une durée de vie de 20 ans reconnue pour les ouvrages de phyto-épuration par Aquatiris (Thouny and Petitot, 2019).

7.6 Exploitation des ouvrages

Il y a généralement une méconnaissance des opérations d'entretien et d'exploitation des ouvrages. Aussi il serait intéressant de réaliser une collecte de données concernant la fréquence de ces opérations, le matériel utilisé le cas échéant, et les destinations des co-produits ou déchets (mise en décharge, incinération, épandage, etc.).

8 Conclusions sur la faisabilité des ACV des filières ANC

En synthèse, on retiendra que les connaissances actuelles ne permettent pas encore de réaliser des études ACV robustes sur les différentes filières ANC. Il est nécessaire de porter l'effort sur davantage de caractérisation des rejets dans l'eau et des émissions gazeuses produites lors de la dégradation de la pollution organique. Il y a maintenant une liste étendue de micro-polluants dont les impacts en toxicité humaine et éco-toxicité sont caractérisés dans les méthodes récentes en ACV (voir Annexe) et il est par conséquent possible d'inclure ces substances dans les rejets dans l'eau.

A noter que les résultats de l'évaluation des impacts du cycle de vie sur les différentes catégories d'impacts environnementaux traduisent des impacts potentiels d'une filière ANC dans un contexte environnemental plutôt générique (ex : impact potentiel sur le réchauffement climatique, impact potentiel toxique sur la santé humaine). Ainsi, dans un second temps, il serait utile de tenir compte des spécificités du milieu récepteur en combinant avec une analyse de risque ou une étude d'impact locale pour connaître les risques inhérents aux rejets d'une filière ANC pour une typologie de milieux récepteurs qui pourraient être sensibles par exemple au risque pathogènes (i.e. zones littorales conchycoles ou de baignade et d'alimentation en eau potable).

9 Références

- ATEP, 2017. Guide de l'assainissement non collectif 2017.
- Bartram, D., Short, M., Ebie, Y., Farkaš, J., Gueguen, C., Peters, G., Zanzottera, N., Karthik, M., 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Chapter 6 wastewater treatment and discharge, 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Boutin, C., Gillot, S., Héduit, A., Mur, I., Roux, P., 2011. Modèle ACV – Filière de traitement des eaux usées par boues activées - Rapports d' ACV et données d' inventaire.
- Ceccaldi, M., Catel, L., Boutin, C., Dubois, V., Roux, P., 2018a. Analyse du cycle de vie (ACV) de filières de traitement des eaux usées en assainissement non collectif (ANC).
- Ceccaldi, M., Catel, L., Boutin, C., Dubois, V., Roux, P., 2018b. Analyse du cycle de vie (ACV) de filières de traitement des eaux usées en assainissement non collectif (ANC).
- Corominas, L., Byrne, D.M., Guest, J.S., Hospido, A., Roux, P., Shaw, A., Short, M.D., 2020. The application of life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: A best practice guide and critical review. *Water Res.* 184, 116058. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116058>
- Delre, A., ten Hoeve, M., Scheutz, C., 2019. Site-specific carbon footprints of Scandinavian wastewater treatment plants, using the life cycle assessment approach. *J. Clean. Prod.* 211, 1001–1014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.200>
- Diaz-Valbuena, L.R., Leverenz, H.L., Cappa, C.D., Tchobanoglous, G., Horwath, W.R., Darby, J.L., 2011. Methane, carbon dioxide, and nitrous oxide emissions from septic tank systems. *Environ. Sci. Technol.* 45, 2741–2747. <https://doi.org/10.1021/es1036095>
- Foley, J., de Haas, D., Yuan, Z., Lant, P., 2010a. Nitrous oxide generation in full-scale biological nutrient removal wastewater treatment plants. *Water Res.* 44, 831–44. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.10.033>
- Foley, J., Rozendal, R., Lant, P., 2010b. Life Cycle Assessment of High-Rate Anaerobic Treatment, Microbial Fuel Cells, and Microbial Electrolysis Cells. *Environ. Sci. Technol.* 44, 3629–3637. <https://doi.org/10.1021/es100125h>
- Huijbregts, M.A.J., 2016. ReCiPe 2016 A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization.
- Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., van Zelm, R., 2017. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *Int. J. Life Cycle Assess.* 22, 138–147. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
- Kobayashi, Y., Ashbolt, N.J., Davies, E.G.R., Liu, Y., 2020. Life cycle assessment of decentralized greywater

- treatment systems with reuse at different scales in cold regions. *Environ. Int.* 134, 105215. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105215>
- Lorenzo-Toja, Y., Alfonsín, C., Amores, M.J., Aldea, X., Marin, D., Moreira, M.T., Feijoo, G., 2016. Beyond the conventional life cycle inventory in wastewater treatment plants. *Sci. Total Environ.* 553, 71–82. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.02.073>
- Matos, C., Pereira, S., Amorim, E. V., Bentes, I., Briga-Sá, A., 2014. Wastewater and greywater reuse on irrigation in centralized and decentralized systems - An integrated approach on water quality, energy consumption and CO₂ emissions. *Sci. Total Environ.* 493, 463–471. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.05.129>
- Morera, S., Corominas, L., Rigola, M., Poch, M., Comas, J., 2017. Using a detailed inventory of a large wastewater treatment plant to estimate the relative importance of construction to the overall environmental impacts. *Water Res.* 122, 614–623. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.05.069>
- Olivier, L., Boutin, C., 2017. Assainissement non collectif: le suivi in situ des installations de 2011 à 2016.
- Olivier, L., Dubois, V., Boutin, C., 2019. Caractérisation des eaux usées brutes émises par les particuliers : quantité et qualité.
- Opher, T., Friedler, E., 2016. Comparative LCA of decentralized wastewater treatment alternatives for non-potable urban reuse. *J. Environ. Manage.* 182, 464–476. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.080>
- PremierTechAqua, 2017. Revue critique d'Analyse du Cycle de Vie comparative de systèmes d'assainissement non collectif de capacité < 20 EH.
- Rodriguez-Garcia, G., Hospido, A., Bagley, D.M., Moreira, M.T., Feijoo, G., 2012. A methodology to estimate greenhouse gases emissions in Life Cycle Inventories of wastewater treatment plants. *Environ. Impact Assess. Rev.* 37, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2012.06.010>
- Rosenbaum, R.K., Bachmann, T.M., Gold, L.S., Huijbregts, M.A.J., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A., Larsen, H.F., MacLeod, M., Margni, M., McKone, T.E., Payet, J., Schuhmacher, M., van de Meent, D., Hauschild, M.Z., 2008. USEtox—the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* 13, 532–546. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>
- Thouny, C., Petitot, S., 2019. Analyse du cycle de vie des systèmes de phytoépuration d'Aquatiris.
- Tillman, A.M., Ekvall, T., Baumann, H., Rydberg, T., 1994. Choice of system boundaries in life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 2, 21–29. [https://doi.org/10.1016/0959-6526\(94\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0959-6526(94)90021-3)
- United States Environmental Protection Agency, 2002. The clean water and drinking water infrastructure gap analysis.
- Vignoles, C., 2015. Etude des performances in situ de petites installations d'assainissement dans le département du Tarn.

10 Annexe liste de micropolluants

Voir Fichiers Excel (Source : INRAE – article Maillard 2020 en cours de publication)