
Rapport final

Résumé

Analyse du cycle de l'eau produite, distribuée et épurée en Wallonie

Analyse du cycle de l'eau de pluie

2014

Université de Liège
Laboratoire de Génie Chimique
Procédés et Développement Durable

Composition de l'équipe

Prof. Dr Ir Angélique Léonard

Dr Ir Sandra Belboom

Dr Ir Sylvie Gros Lambert

Table des matières

1	Résumé.....	2
2	Introduction.....	3
2.1	Objet de la convention.....	3
2.2	Description de l'analyse du cycle de vie.....	4
2.2.1	Généralités.....	4
2.2.2	Méthode.....	7
3	Objectif et champ d'étude.....	7
4	Inventaire.....	8
4.1	Scénarios.....	8
4.1.1	2010 (6,4% eau de pluie – 76,2% épuration).....	9
4.1.2	15% d'eau de pluie.....	9
4.1.3	2020 (6,4% eau de pluie – 95,7% épuration).....	9
4.1.4	Sans épuration.....	10
4.1.5	Voiture.....	10
4.2	Flux d'eau en Région wallonne.....	10
4.3	Données de l'inventaire.....	14
4.3.1	Captage et potabilisation des eaux souterraines et de surface.....	14
4.3.2	Adduction et distribution.....	14
4.3.3	Eau de pluie.....	14
4.3.4	Égouttage.....	14
4.3.5	Épuration collective (STEP).....	14
4.3.6	Systèmes d'épuration individuels (SEI).....	15
4.3.7	Rejet non épuré.....	15
4.3.8	Mix électrique wallon 2010.....	15
5	Évaluation des impacts et interprétation.....	16
5.1	Méthodes.....	16
5.2	Caractérisation du cycle global.....	16
5.3	Caractérisation par étape et par catégorie d'impact.....	18
5.4	Normalisation des impacts du cycle global.....	19
5.5	Comparaison des scénarios.....	20
5.5.1	Scénario voiture.....	20
5.5.2	Influence de la quantité d'eau de pluie collectée et du taux d'équipement épuratoire.....	21
5.5.3	Influence du taux d'équipement épuratoire sur l'eutrophisation – Méthode IMPACT World+.....	24
6	Discussions.....	26
6.1	Résultats et perspectives.....	26
6.2	Limites de la méthodologie ACV appliquée au cycle anthropique de l'eau.....	29
7	Conclusions.....	31
8	Acronymes.....	32
9	Références.....	33
10	Remerciements.....	36

1 Résumé

L'analyse du cycle de vie de l'eau produite, distribuée et épurée en Wallonie, intégrant la récolte de l'eau de pluie par les habitants, a pour but de déterminer quels sont les impacts environnementaux associés à la consommation d'eau par les particuliers. L'année de référence est 2010 et l'unité fonctionnelle correspond à 1 m³ d'eau utilisé par un citoyen wallon, incluant à la fois l'eau de distribution et l'eau de pluie.

Un modèle du cycle de vie complet est élaboré afin d'estimer les impacts des différentes étapes du procédé et de mettre en évidence l'importance relative des éléments constituant ces étapes. Le modèle inclut sept phases essentielles: 1) captage et potabilisation des eaux souterraines et de surface, 2) adduction et distribution, 3) récolte de l'eau de pluie, 4) collecte des eaux usées et égouttage, 5) épuration collective, 6) épuration individuelle, et 7) rejet sans épuration¹. Les résultats sont analysés au moyen de la méthode ReCiPe midpoint.

Les catégories d'impact les plus affectées par la production et l'utilisation de 1 m³ d'eau sont l'eutrophisation des eaux de surface, l'épuisement des ressources minérales et fossiles et le changement climatique.

Les étapes les plus impactantes globalement sont les stations d'épuration collectives (STEP), ainsi que le captage et la potabilisation. Ces étapes se caractérisent par leur consommation d'électricité et de produits chimiques et le rejet d'effluents conservant une charge résiduelle non nulle (bien que fortement diminuée) après épuration par les STEP. L'eutrophisation est également directement liée à l'élimination de la fraction des eaux usées qui est rejetée sans aucun traitement (ni individuel, ni collectif). L'épuisement des ressources minérales est principalement dû aux matériaux utilisés dans les réseaux d'adduction et de distribution. Les étapes les moins importantes sont identifiées comme étant la récolte d'eau de pluie, les systèmes d'épuration individuels (SEI) et les égouts. L'impact des infrastructures est globalement assez faible en raison de la durée de vie de ces installations et de la grande quantité d'eau à laquelle elles se rapportent.

À titre de comparaison, et sur base de la méthode ReCiPe endpoint (score unique), l'impact de la consommation de 1 m³ d'eau par un citoyen wallon équivaut à un trajet en voiture (selon la moyenne belge) de 6,9 km. Autrement dit, l'impact global à long terme de la consommation journalière d'eau par personne (environ 100 litres) correspond à celui d'un parcours de moins de 1 km en voiture.

L'analyse du cycle de vie de l'eau anthropique a permis de déterminer la façon dont la consommation d'eau par les citoyens wallons agissait globalement sur l'environnement. Les étapes les plus impactantes du cycle ont été mises en évidence, ainsi que les catégories d'impact les plus affectées. L'examen de la façon dont chacune des étapes influence négativement les écosystèmes a fourni des indications sur la façon de diminuer l'impact environnemental de la consommation humaine d'eau dans le futur.

¹ Une fraction des eaux usées n'est ni collectée ni traitée

2 Introduction

2.1 *Objet de la convention*

Une analyse du cycle de vie (ACV) de l'eau de distribution en Région wallonne a été réalisée il y a une dizaine d'années avec pour référence l'année 2000, dans le contexte d'un programme de recherche intitulé PIRENE (Programme Intégré de Recherche Environnement-Eau) [21]. Le but de la présente étude est de mettre à jour les modèles et calculs développés dans le cadre de ce programme avec des données plus récentes, pour permettre d'établir un écobilan² complet de la production et de la distribution d'eau potable en Wallonie, ainsi que de son épuration après utilisation. Une analyse de son cycle de vie est réalisée à partir de ces données actualisées, au moyen des méthodes et bases de données récentes, et en accord avec les règles préconisées par l'Union Européenne. La référence pour l'actualisation des données est l'année 2010.

La méthodologie de l'analyse du cycle de vie doit permettre d'estimer l'influence de la substitution d'une partie de l'eau de distribution par d'autres systèmes d'approvisionnement, tels que l'eau de pluie, en termes d'impacts environnementaux, de consommation des ressources et d'émission de polluants. Dans cette optique, un écobilan de l'utilisation de l'eau de pluie en Wallonie est également réalisé.

Cette étude s'inscrit dans les politiques de la Communication de la Commission Européenne concernant la Stratégie thématique du 6^{ème} programme d'action pour l'environnement sur les ressources naturelles (COM(2005)670 final) qui a pour objectif global de "réduire les impacts environnementaux négatifs engendrés par l'utilisation des ressources naturelles tout en restant dans une économie d'expansion", ainsi que l'initiative phare "Une Europe efficace dans l'utilisation des ressources" relevant de la Stratégie Europe 2020 (COM(2011)21) qui a notamment pour objectif de "garantir une exploitation plus durable des ressources et conduire à une croissance économe en ressources et à faible émission de carbone". Elle correspond également à la feuille de route pour "Une Europe efficace dans l'utilisation des ressources" (COM(2011)571 final) qui vise entre autres à définir des objectifs à moyen et court terme ainsi que les moyens pour parvenir à utiliser plus efficacement les ressources".

La réalisation d'un écobilan complet de l'eau potable en Wallonie doit permettre d'établir une comparaison des impacts environnementaux des différentes étapes du cycle anthropique de l'eau de distribution, de son captage à son rejet en milieu naturel après usage, et de définir des choix stratégiques quant aux options optimales à envisager pour les développements futurs des systèmes concernés.

Les résultats de cette étude ont notamment pour but d'être valorisés dans les rapports sur l'état de l'environnement wallon (SPW-DGO3-Direction de l'État Environnemental). Un chapitre devrait y être prochainement consacré à l'utilisation efficace des ressources en Wallonie, en particulier les ressources en eau.

² Écobilan: Processus d'analyse des impacts environnementaux d'un produit: extraction et transformations des matières premières, impacts des habitudes de consommation, fin de vie du produit, etc. Il peut déboucher sur une Analyse du Cycle de Vie.

2.2 Description de l'analyse du cycle de vie

2.2.1 Généralités

L'analyse du cycle de vie (ACV) est définie comme une méthode qui "étudie les aspects environnementaux et les impacts potentiels tout au long de la vie d'un produit (c'est-à-dire du berceau à la tombe), de l'acquisition de la matière première à sa production, son utilisation et à sa destruction" (Figure 1).

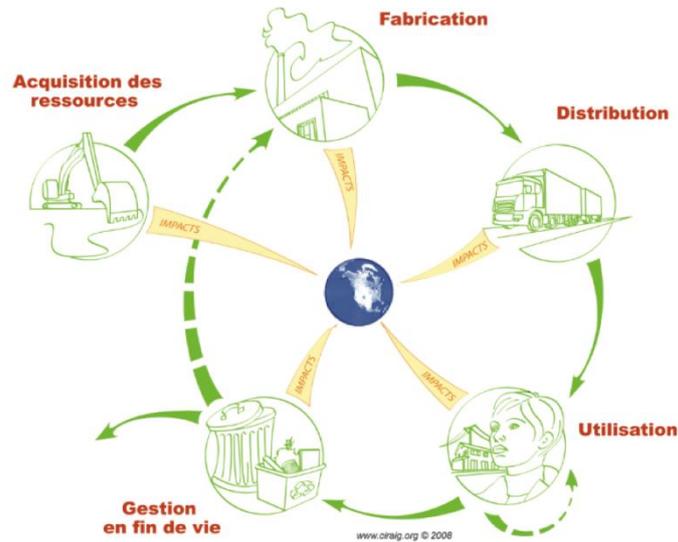


Figure 1: Illustration de l'approche "cycle de vie"

La méthodologie de l'analyse du cycle de vie est codifiée par les standard internationaux ISO 14040 et 14044 [17, 18]. Elle comprend quatre étapes essentielles (Figure 2):

1. **Définition de l'objectif et du champ de l'étude:** identification du but de l'étude, du produit (ou service) à examiner, et établissement des frontières du système (ce qui est pris en compte ou non dans l'étude).
2. **Inventaire (du cycle de vie, ICV):** détermination des consommations (entrants) de ressources (matière, énergie) et des émissions dans l'environnement (sortants) associées à chacune des étapes du système étudié.
3. **Évaluation des impacts (du cycle de vie, ÉICV):** conversion des données de l'inventaire en impacts environnementaux potentiels.
4. **Interprétation** du cycle de vie en fonction des objectifs de l'étude.

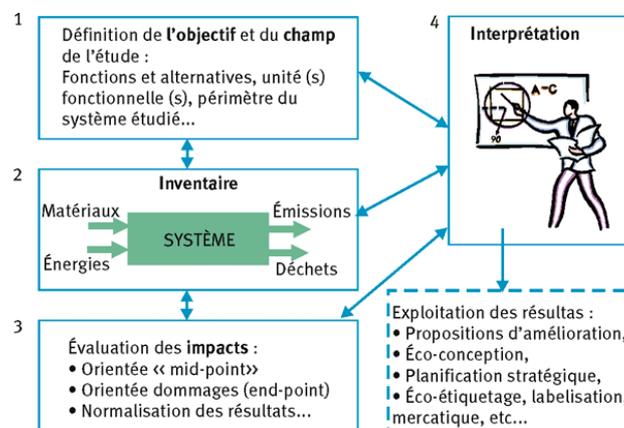


Figure 2: Les quatre étapes de l'analyse du cycle de vie [29]

L'évaluation des impacts environnementaux à partir des données de l'inventaire recourt à des méthodes développées par des équipes internationales et validées par la Commission Européenne³. Les méthodes d'évaluation des impacts permettent de transposer les données de l'ICV (intrants et extrants) d'un produit en impacts potentiels sur l'environnement (Figure 3). Pour ce faire, chaque méthode comporte plusieurs catégories d'impact, telles que les changements climatiques, la toxicité humaine, l'acidification, etc. L'estimation des impacts dans chaque catégorie repose sur des modèles scientifiques de causes à effets qui permettent de modéliser le devenir de chaque substance, de son émission (ou de son extraction) jusqu'à ses répercussions potentielles sur l'environnement (c'est-à-dire les transformations qu'elle opère sur les milieux) et les dommages potentiels qui pourraient en résulter. Il existe aujourd'hui trois types de méthodes:

- les méthodes intermédiaires, orientées problèmes (dites "midpoint"),
- les méthodes de dommages (dites "endpoint"),
- les méthodes hybrides (offrent les deux niveaux d'évaluation: intermédiaires et dommages).

Les catégories d'impact intermédiaires se situent au milieu de la chaîne de causes à effets (moyen terme), tandis que les méthodes et les catégories d'impact de dommages se trouvent à la fin de cette chaîne (long terme).

Il existe environ une quinzaine de méthodes d'évaluation des impacts. Parmi elles, figurent les nouvelles approches en toxicité et écotoxicité proposées par le modèle USEtox [30] ou la méthode multicritère ReCiPe conçue aux Pays-Bas [12]. Elles font partie des méthodes recommandées par les ILCD Handbooks³ [8, 9, 10]. ReCiPe intègre notamment l'indicateur "changement climatique" tel que modélisé par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) et qui fait consensus au niveau international (IPCC 2007 – Intergovernment Panel on Climate Change⁴).

La première phase d'évaluation des impacts consiste à **classer** chaque élément de l'inventaire de cycle de vie dans les catégories choisies. Vient ensuite la **caractérisation**, qui permet d'obtenir une réponse quantitative. Des indicateurs environnementaux sont calculés pour chaque catégorie en utilisant des facteurs équivalents, appelés facteur de caractérisation, définis lors de la modélisation des chaînes de cause à effet. Au terme de cette étape, l'impact environnemental de chaque émission ou consommation est exprimé dans une unité spécifique à la catégorie étudiée. La caractérisation peut être orientée "problèmes" (intermédiaire, midpoint) ou "dommages" (endpoint) (Figure 3). Par exemple, les émissions de gaz à effet de serre, qui sont les indicateurs du changement climatique, sont exprimées en kg équivalent CO₂ [6], et 1 kg de méthane (CH₄) ou 1 kg de protoxyde d'azote (N₂O) équivalent respectivement à 25 et 298 kg de CO₂⁵. À ce point-ci, l'impact est de type intermédiaire. Par la suite, il est possible de traduire cette contribution aux changements climatiques en dommages potentiels sur la santé humaine et la qualité des écosystèmes. L'impact est alors de type dommage. La caractérisation est une phase obligatoire de l'ACV selon la norme ISO 14044.

³ La Politique Intégrée des Produits (COM(2003)302) a identifié l'analyse du cycle de vie comme étant le "meilleur cadre pour évaluer les impacts environnementaux potentiels d'un produit". Elle a souligné la nécessité d'une Plateforme sur l'ACV. Le Centre Commun de Recherche (Joint Research Centre - JRC) a répondu à ces besoins en établissant une Plateforme Européenne sur le Cycle de Vie (European Platform on Life Cycle Assessment - EPLCA), à travers laquelle on a facilité entre autres le développement du Système de Référence Européens pour les Données relatives au Cycle de Vie (European reference Life Cycle Data Systems - ELCD), et le Manuel du Système International de Référence pour les Données Relatives au Cycle de Vie (International reference Life Cycle Data System Handbook – ILCD).

⁴ GIEC (français) = IPCC (anglais).

⁵ Le modèle considère le Potentiel de Réchauffement Climatique dans une perspective de 100 ans.

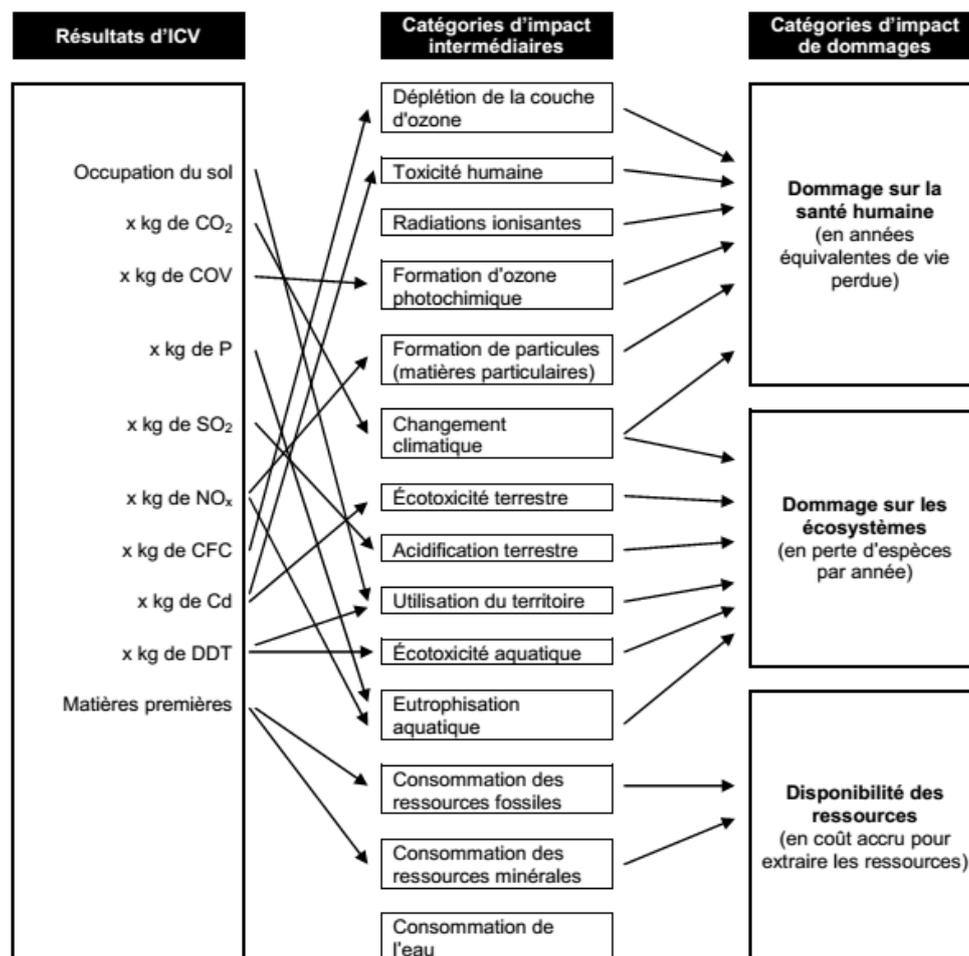


Figure 3: Relations entre les données de l'ICV, les catégories d'impact intermédiaires et les catégories de dommages dans la méthode ReCiPe [29, 34]

La **normalisation** est un élément facultatif. Il s'agit d'une opération donnant un résultat adimensionnel visant à comparer les impacts ou les dommages du cycle de vie étudié à une information de référence, par exemple les impacts ou dommages engendrés par le monde, un continent, un pays, une région, ou encore un habitant (dans un intervalle de temps donné, en général un an). Elle permet de mieux comprendre l'importance relative de chaque résultat d'indicateur du produit concerné, là où l'interprétation de la caractérisation, exprimée en valeur absolue et en unités complexes, est difficile dès lors qu'on ne se place pas dans un contexte précis. La normalisation présente donc une double utilité : permettre une hiérarchisation des impacts au sein d'une étude, et faciliter la communication pour un large public, en présentant les résultats sous une forme plus appréhendable par les non-initiés. Dans le cas présent, l'impact sera mis en relation avec celui d'un citoyen européen sur une année.

Les étapes suivantes, telles que la pondération ou l'agrégation en un score unique, sont déconseillées – voire interdites pour une communication publique – selon les recommandations du Joint Research Center (JRC), en raison du trop grand nombre d'incertitudes et de choix arbitraires sur lesquels reposent les facteurs de pondération.

Il faut rester conscient lors de l'utilisation de l'ACV qu'elle ne vise, en son stade de développement actuel, qu'à l'évaluation des impacts environnementaux négatifs liés à une activité (ou un produit),

et qu'elle ne considère pas les bénéfices en matière de santé publique par exemple qui pourraient être liés à cette activité.

2.2.2 Méthode

La méthode retenue est ReCiPe midpoint [12]. Dix-huit catégories d'impacts relèvent du niveau médian (Figure 3). Dans le cadre de la présente étude, seules seront approfondies les catégories intermédiaires du changement climatique, de l'eutrophisation (des eaux douces et marines), et l'épuisement des ressources (minérales et fossiles). Les autres catégories soit sont peu impactées par le cycle anthropique de l'eau⁶, soit ne font pas suffisamment consensus au niveau du JRC pour en déduire des résultats concluants⁷.

Les caractéristiques principales des catégories sélectionnées sont les suivantes, selon la terminologie anglophone [10, 34]:

1. **Climate change (CC) [kg CO₂ éq]**: changement climatique: potentiel d'effet de serre additionnel lié aux émissions de gaz à effet de serre: émissions de CO₂ fossile, de N₂O (combustion du fuel et du gaz naturel), de CH₄ (décomposition en décharge, ruminants,...), etc..
Modèle du GIEC (IPCC Climate Change 2007, perspective à 100 ans).
2. **Freshwater eutrophication (FE) [kg P éq]**: eutrophisation de l'eau douce: potentiel d'enrichissement des eaux en nutriments, le phosphore étant l'élément limitant.
Modèle: basé sur les modèles CARMEN et EUTREND.
3. **Marine eutrophication (ME) [kg N éq]**: eutrophisation de l'eau de mer: potentiel d'enrichissement des eaux en nutriments, l'azote étant l'élément limitant.
Modèle: basé sur les modèles CARMEN et EUTREND.
4. **Mineral resource depletion (MRD)**, aussi noté **Metal resource depletion [kg Fe éq]**: épuisement des ressources minérales (minerais, sels,...).
Modèle: basé en partie sur la méthode d'évaluation d'impacts Eco-Indicator 99, traite seulement des ressources non renouvelables (deposits) [13].
5. **Fossil fuel depletion (FD) [kg oil éq]**: épuisement des ressources fossiles (gaz, pétrole,...)
Modèle: basé en partie sur Eco-Indicator 99, traite seulement des ressources non renouvelables (deposits) [13].

3 Objectif et champ d'étude

L'objectif principal de cette étude est de déterminer l'impact environnemental potentiel de l'utilisation de l'eau domestique en Wallonie depuis le captage ou la récolte jusqu'à l'épuration des eaux usées, en prenant en compte les différentes opérations (potabilisation, adduction, distribution, égouttage, épuration) que subit l'eau aussi bien avant qu'après le robinet de l'utilisateur.

La fonction étudiée est donc assez simple à définir. Il s'agit de la production, de la distribution et de l'épuration de l'eau en Wallonie, ainsi que la récolte de l'eau de pluie par les particuliers. L'année de référence est 2010.

L'unité fonctionnelle, qui est l'unité à laquelle vont être ramenées toutes les données, est plus complexe à définir. Par cohérence, l'unité fonctionnelle de l'étude "PIRENE 2000" a été conservée,

⁶ Catégories peu impactées: Ozone depletion, Terrestrial Acidification, Photochemical oxidant formation, Particulate matter formation.

⁷ Catégories pour lesquelles aucune méthode n'est recommandée ou à appliquer avec circonspection (méthode de niveau III) [9]: Human toxicity, Terrestrial, Freshwater et Marine ecotoxicity, Ionising radiation, Land use (Agricultural et Urban land occupation, Natural land transformation), Water depletion.

à savoir 1 m³ d'eau au niveau du robinet utilisateur. La présente étude diffère cependant par l'intégration de la consommation d'eau de pluie en plus de l'eau de distribution, et l'évaluation de son impact en regard de celui d'une quantité similaire d'eau de distribution. L'unité fonctionnelle sera donc **1 m³ d'eau utilisée, incluant à la fois l'eau de distribution et l'eau de pluie.**

Les frontières du système déterminent les processus qui sont pris en compte lors de l'étude. Elles incluent les étapes suivantes:

1. Captage et potabilisation des eaux souterraines et des eaux de surface
2. Adduction et distribution
3. Récolte d'eau de pluie
4. Collecte et égouttage des eaux usées
5. Épuration collective des eaux usées
6. Épuration autonome des eaux usées
7. Rejet dans le milieu naturel sans épuration

Les frontières du système s'arrêtent "aux murs" des habitations. Les installations intérieures (canalisation de distribution et d'évacuation) n'en font pas partie.

Les travaux de terrassement et de construction ne sont pas comprises dans les frontières du système, tout comme la mise en forme des matériaux (tuyaux ou coffrages par ex.), la pose des conduites (adduction, distribution, égouttage), le transport des matériaux et des produits chimiques, ni l'utilisation directe de l'espace (c'est à dire la surface urbaine ou agricole occupée par les différents ouvrages). La fin de vie des ouvrages, leur démantèlement et le déclassement des sites, ne sont pas inclus dans les frontières du système. Toutes ces données ne sont pas directement disponibles et leur évaluation aurait demandé de longues et complexes investigations qui sortent du cadre de cette étude. De plus, les impacts des phases de constructions sont mineurs en comparaison de ceux induits par le fonctionnement des diverses installations [35].

En dehors des rejets dans les eaux de surface, les émissions directes dans l'air, l'eau et le sol ne sont pas comptabilisées, notamment pour ce qui concerne l'épandage agricole des boues (émission de gaz à effet de serre, métaux lourds), ou les émanations des égouts.

L'impact de l'épuisement des nappes phréatiques n'est pas intégré dans cette étude dans la mesure où la pluviométrie en Wallonie est suffisante pour assurer leur renouvellement et où la directive 2000/60/CE oblige les États membres à faire en sorte que leurs masses d'eau souterraine atteignent le bon état quantitatif, soit l'équilibre entre les prélèvements et la recharge [33]. Par ailleurs, le Water Exploitation Index (WEI) de la Wallonie est estimé à 5%, un chiffre bien inférieur aux valeurs indiquant un stress hydrique ([27], p.21).

4 Inventaire

4.1 Scénarios

Plusieurs scénarios sont considérés: un scénario de base (2010), ainsi que deux scénarios alternatifs dans lesquels varient respectivement la quantité d'eau de pluie récoltée et le taux d'équipement épuratoire. Les impacts environnementaux de l'eau anthropique sont également comparés à ceux relatifs à l'utilisation de la voiture par une personne. Quel que soit le scénario, l'unité fonctionnelle reste fixée à 1 m³ d'eau utilisée par un citoyen wallon.

4.1.1 2010 (6,4% eau de pluie – 76,2% épuration)

L'année 2010 a été choisie comme année de référence pour le scénario de base. Il est construit à partir des données recueillies auprès des administrations, des intercommunales et des opérateurs de terrain afin de décrire au mieux la situation telle qu'elle était à ce moment précis. Il inclut la récolte d'eau de pluie à raison de 6,4% du total de l'eau consommée par les citoyens wallons. Selon les Plans d'Assainissement par Sous-bassins Hydrographiques (PASH), 88% des habitations se situent en zone d'assainissement collectif, et 12% en zone d'assainissement individuel, mais la totalité du parc épuratoire n'est pas encore implémentée [33]. Le taux d'équipement épuratoire total en 2010 s'élève à 76,2% (75,2% d'habitations raccordées à l'égouttage et dont les effluents sont traités en STEP, 1% d'habitations pourvues de SEI).

La totalité des effluents des STEP est déversée dans les cours d'eau. On considère que seuls 31% des effluents rejetés par les SEI atteignent effectivement les eaux vives. Pour les rejets sans épuration, cette proportion s'élève à 37% (données DGO3).

4.1.2 15% d'eau de pluie

Le scénario "15% d'eau de pluie" examine l'impact qu'aurait la récolte d'une plus grande proportion d'eau de pluie dans la consommation globale des Wallons (pour des usages ne nécessitant pas d'eau potable). Cette valeur de 15% de substitution de l'eau de distribution par de l'eau de pluie se base sur des hypothèses réalistes compte tenu du rythme d'évolution probable d'équipement en citernes de récolte d'eau de pluie. La diminution de la consommation d'eau de réseau induite est imputée proportionnellement aux sources actuellement utilisées pour l'eau de distribution, soit 85% aux eaux souterraines et 15% aux eaux de surface. Cette hypothèse est établie sur base des disponibilités en eaux et de la flexibilité des installations de captage et potabilisation, qui sont considérées comme étant dimensionnées de façon à pouvoir supporter cette variation de consommation d'eau de distribution. Les volumes non enregistrés (VNE) ainsi que les flux après utilisation sont supposés égaux en volumes à ceux du scénario de base.

Les infrastructures (captage, potabilisation et distribution) sont considérées comme étant identiques quelle que soit la quantité d'eau de pluie recueillie, et leur contribution est la même dans tous les scénarios. En effet, une modification modérée des besoins des citoyens n'entraîne pas de modification structurelle du réseau déjà en place (des conduites ne seront pas supprimées si la demande en eau de distribution diminue). Par contre, les consommations en réactifs et en énergie sont proportionnelles à la quantité d'eau traitée et les pondérations sont modifiées en conséquence lorsque les volumes captés diffèrent du scénario de base.

4.1.3 2020 (6,4% eau de pluie – 95,7% épuration)

La planification générale de l'assainissement des eaux usées est traduite dans les Plans d'Assainissement par Sous-bassins Hydrographiques (PASH). La politique en matière d'assainissement et de gestion des eaux usées urbaines est, notamment, régie par la directive 91/271/CEE relative au traitement des eaux urbaines résiduaires. Les obligations de cette directive fixent les échéances à respecter pour ce qui concerne la collecte et le traitement des eaux usées des agglomérations en Wallonie. Le scénario "2020" envisage la configuration où les obligations de cette directive sont respectées pour l'épuration collective, c'est à dire où l'entièreté du réseau d'égouttage est construit ainsi que les stations d'épuration collectives (STEP), et où 64% parmi les 12% des habitations situées en zone d'assainissement autonome (ZAA) sont équipées d'un système d'épuration individuel (SEI) (soit 7,7% des habitations sur les 12% potentiels). Les fractions des effluents rejoignant les eaux vives restent identiques à celle déterminées pour le scénario 2010.

4.1.4 Sans épuration

A *contrario*, le scénario "sans épuration" considère qu'aucun système de collecte ou de traitement des eaux usées n'existe, ni collectivement ni individuellement. La totalité des eaux usées est rejetée sans épuration. L'inventaire s'arrête à l'utilisateur, les étapes en amont restant inchangées par rapport au scénario 2010. L'hypothèse que 37% des rejets non épurés atteignent les eaux vives est conservée. Seules sont comptabilisées les eaux grises⁸ et noires⁹, les eaux de ruissellement ne sont pas intégrées par manque d'information sur leur composition.

4.1.5 Voiture

Le scénario "voiture" a été créé dans le but de comparer les résultats des autres scénarios avec une situation de référence facilement appréhendable pour le public. La référence choisie est le transport d'un individu dans un véhicule automobile. Son impact environnemental est calculé à partir de la base de données Ecoinvent qui dresse l'inventaire des émissions et des consommations pour le fonctionnement, la construction et la fin de vie du véhicule ainsi que pour l'infrastructure routière.

En Belgique en 2010, le diesel représentait 83% de la consommation de carburant contre 17% pour l'essence [36]. Cette proportion est répercutée dans le modèle "voiture". Les normes d'émission de ces véhicules correspondent à celles de la flotte moyenne en 2010 (selon la répartition existante dans le parc automobile européen en 2010 entre les différentes catégories d'émissions). La représentativité des données n'est donc pas du tout comparable avec ce qui a été développé au niveau du cycle de l'eau. Néanmoins, ceci permet une représentation plus familière de l'impact environnemental de la consommation quotidienne moyenne d'un citoyen wallon, soit environ 100 L d'eau [33], en évaluant le nombre de km parcourus en voiture ayant un impact global équivalent. La comparaison est faite sur base du calcul du score unique par la méthode ReCiPe endpoint.

4.2 *Flux d'eau en Région wallonne*

Le choix de 1 m³ d'eau au niveau de l'utilisateur comme unité fonctionnelle amène à établir un bilan des flux d'eau en Région wallonne afin de déterminer les volumes d'eau effectivement traités lors de la production de l'eau potable ou de l'épuration des eaux usées.

En ce qui concerne la production d'eau pour la distribution, le bilan se base sur les données transmises par Aquawal, et récoltée au niveau des différents producteurs d'eau potable en Wallonie (SWDE, CILE, IECBW, Vivaqua, IDEA, INASEP, TMVW, etc.).

Chaque année, ce sont environ 388 millions de m³ d'eau qui sont captés en Région wallonne à partir des eaux souterraines (~ 80%) et des eaux de surface (~ 20%). Une partie non négligeable (environ 160 millions de m³) est exportée après potabilisation vers les Régions flamande et de Bruxelles-Capitale. Sur les 228 millions de m³ restant, environ 161 millions de m³ sont facturés au consommateur en Wallonie. Cette quantité, appelée volumes enregistrés (VE), correspond à la consommation mesurée par les compteurs d'eau. La différence entre ces volumes est imputable aux volumes non enregistrés (VNE). Les volumes non enregistrés sont utilisés par les distributeurs pour nettoyer leurs installations (± 2 %), par la protection civile et les services incendies,

⁸ Eaux grises: Eaux peu chargées en matières polluantes par exemple des eaux d'origine domestique, résultant du lavage de la vaisselle, des mains, des bains ou des douches (Wikipedia).

⁹ Eaux noires: Eaux contenant diverses substances plus polluantes ou plus difficiles à éliminer tels que des matières fécales (avec parfois des germes pathogènes), des produits cosmétiques, ou tout type de sous-produit industriel mélangé à l'eau (Wikipedia).

consistent en des fuites en réseaux, ou ne sont simplement pas comptabilisés au niveau des compteurs d'eau (pertes, dysfonctionnement des compteurs) [33].

Les données concernant l'équipement existant et à construire pour l'égouttage et l'épuration collective proviennent du Tableau de Bord de l'Environnement Wallon 2010 [33] et du rapport 2011 des Statistiques de l'eau potable et de l'assainissement des eaux usées en Wallonie [32]. Ainsi, en se basant sur le taux de raccordement à une station d'épuration et sur le taux de collecte, on évalue qu'environ 92 millions de m³ d'eaux usées devraient arriver théoriquement dans les stations d'épuration. Or, le volume mesuré à l'entrée des STEP pour l'année 2010 s'établit à environ 249 millions de m³. La différence provient des eaux pluviales qui sont récoltées par le réseau d'égouttage lors d'épisodes pluvieux et qui arrivent directement dans les stations d'épuration.

Concernant la récolte d'eau de pluie pour son usage domestique, les estimations se basent sur deux études relatives à 2001 [25] et 2009 [26]. La principale différence réside dans le nombre des citernes d'eau de pluie présentes dans les nouvelles constructions. Leur nombre est évalué sur base des données cadastrales disponibles. On peut estimer que cette quantité d'eau de pluie est relativement stable au cours du temps compte tenu des intervalles de confiance de l'évaluation de l'eau de pluie récoltée. Le volume collecté en 2010 est considéré comme étant égal à celui de 2009, soit 11 millions de m³ (\pm 4 millions de m³, intervalle de confiance à 95%) [26].

Le Tableau 1 résume les différents volumes d'eau à considérer. La Figure 4 propose une représentation schématique des flux d'eau en Région wallonne pour le scénario 2010.

Tableau 1: Bilan des flux d'eau en Région wallonne pour l'année de référence 2010, avec récolte d'eau de pluie.

	Scénario 2010 avec 6,4 % eau de pluie		
	2010 (m ³)	2010 (M m ³)	coef. UF
Importations (m ³)	739.097	0,739	0,004
Exportations (m ³)	159.937.694	159,9	0,930
Total capté (m ³)	387.695.325	387,7	2,254
Total capté+ import (m ³)	388.434.422	388,4	2,258
Captage souterrain (m ³)	305.904.051	305,9	1,778
Potabilisation souterraine (m ³)	305.904.051	305,9	1,778
Exporté potabilisé (m ³)	112.733.266	112,7	0,655
Pertes lavage potabilisation (m ³)	267.071	0,267	0,002
Distribué souterrain RW (m ³)	192.903.714	192,9	1,122
Captage surface (m ³)	81.791.274	81,79	0,476
Potabilisation surface (m ³)	81.791.274	81,79	0,476
Exporté potabilisé (m ³)	47.204.428	47,20	0,274
Distribué surface RW (m ³)	34.586.846	34,59	0,201
Distribué total RW: surf RW + sout RW + import (m ³)	228.229.657	228,2	1,327
VNE (total) (m ³)	67.491.831	67,49	0,392
dont VNE lavage (m ³)	8.796.192	8,796	0,051
VNE hors lavage (m ³)	58.695.639	58,70	0,341
Distribué (m ³)	219.700.536	219,7	1,277
Volume eau réseau enregistré (m ³) (VE)	161.004.897	161,0	0,936
Nombre de raccordements	1.508.700		
Conso eau distribution (m ³ /an/raccordement)	107		
Volume eau de pluie récoltée (m ³) (soit 6,4% total.)	11.000.000	11,00	0,064
Total usagers eau distribution + pluie (m³)	172.004.897	172,0	1,000
Conso eau totale (m ³ /an/raccordement)	114		
Industries: prélèvement eau distrib. (extrap. 2002)	27.000.000	27,00	0,157
Industries: volumes non rejetés (2007)	16.800.000	16,80	0,098
Volume eau à épurer (m³)	155.204.897	155,2	0,902
<i>Volume eau à épurer par raccordement (m³)</i>	102,87		
Taux de population située en zone d'assainissement collectif	88%		
Taux d'égouttage	86%		
Taux d'équipement en STEP (= patrimoine technique)	75,2%		
STEP: volume traité venant des usagers (m ³)	88.226.509	88,23	0,513
STEP: volume entrant comptabilisé (m ³)	248.980.001	249,0	1,448
STEP: eaux ruissellement entrant en STEP (m ³)	160.753.492	160,8	0,935
SEI: 12 % des raccordements situés en ZAA (nombre)	181.044		
SEI: 12 % des raccordements situés en ZAA (volume) (m ³ /an)	18.624.588	18,62	0,108
SEI: hyp 1% des raccordements équipés (nombre)	15.087		
SEI: hyp 1% des raccordements équipés (m ³ /an)	1.552.049	1,552	0,009
SEI: % effluents atteignant les eaux de surface	31%		
SEI: Rejets épurés en SEI atteignant les eaux de surf. (m ³)	481.135	0,481	0,003
Rejet sans épuration (m ³)	65.426.339	65,43	0,380
% eau non épurées atteignant les eaux de surf.	37%		
Rejet atteignant les eaux surf sans épuration (m ³)	24.207.745	24,21	0,141

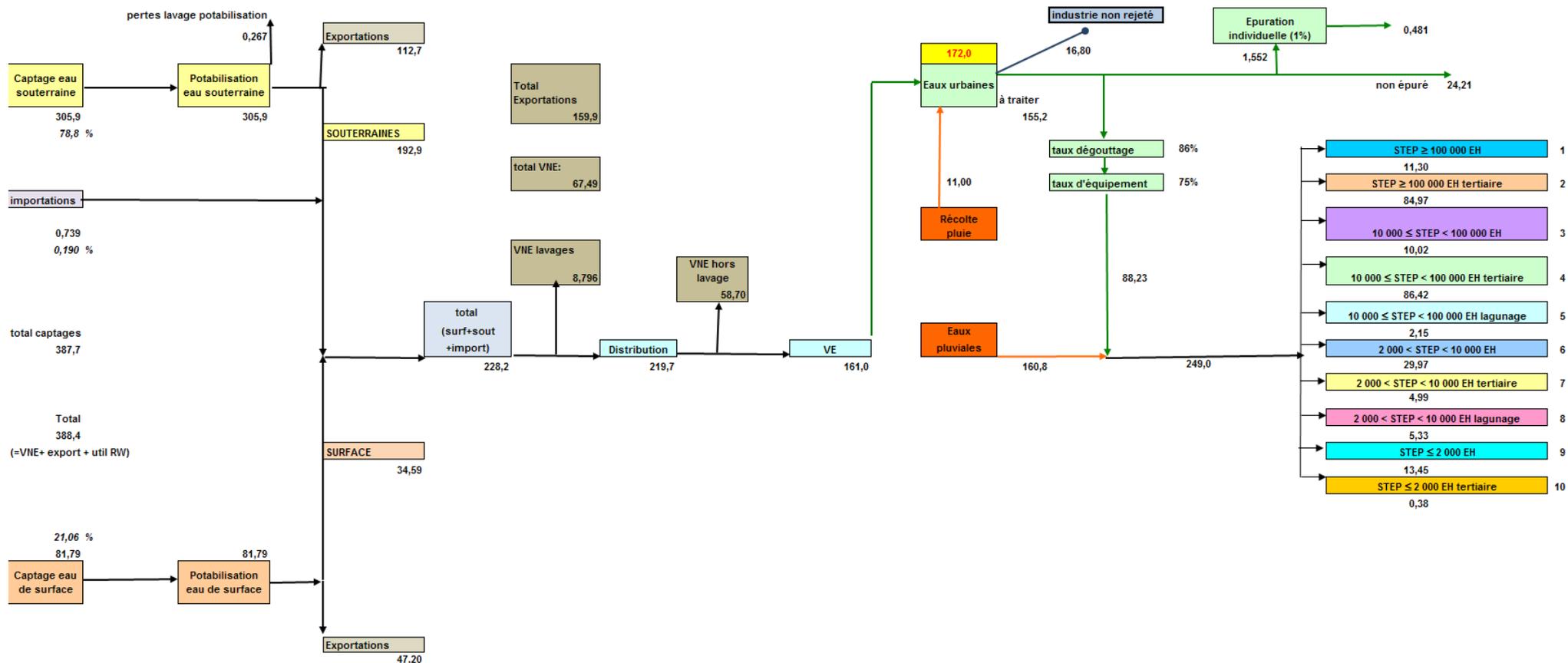


Figure 4: Représentation schématique des flux d'eau de distribution et d'eau de pluie en Région wallonne en millions de m³ – scénario 2010

4.3 Données de l'inventaire

Comme signalé dans la définition du champ de l'étude, seuls les matériaux des infrastructures (incluant leur durée de vie), les consommations d'énergie et de réactifs chimiques, les boues et les effluents sont pris en compte. Les autres étapes ne font pas partie des frontières du système (voir §3). Les éléments intégrés dans l'inventaire sont décrits succinctement.

4.3.1 Captage et potabilisation des eaux souterraines et de surface

- Matériaux de construction pour les infrastructures de captage et de potabilisation
- Réactifs pour la potabilisation
- Boues de potabilisation (valorisation agricole et en cimenterie)
- Consommation énergétique pour le captage et la potabilisation
- Production hydroélectrique des barrages

4.3.2 Adduction et distribution

- Matériaux de construction pour les réseaux d'adduction et de distribution (hors châteaux d'eau et réservoirs)
- Consommation énergétique pour assurer l'adduction et la distribution
- Raccordements depuis le réseau public jusqu'au compteur des habitations

4.3.3 Eau de pluie

- Citerne (béton) et raccordement jusqu'aux murs des habitations
- Groupe hydrophore: matériaux et consommation électrique

4.3.4 Égouttage

- Matériaux de construction pour les réseaux des colleteurs et des égouts
- Consommation électrique des stations de pompage

4.3.5 Épuration collective (STEP)

Les STEP situées en Wallonie ont été classées en dix catégories en fonction de leur capacité nominale (en équivalent habitant, EH¹⁰) et des types de traitements qui y sont appliqués (Tableau 2). Les données exhaustives transmises par la Société Publique de la Gestion de l'Eau (SPGE) incluent pour chaque STEP le débit traité, la consommation électrique, les caractéristiques des eaux en entrée et sortie (charge carbonée, matières en suspension, azote, phosphore), ainsi que les informations concernant les boues et leur valorisation. Les données sur les réactifs ne couvrent qu'une cinquantaine de sites, mais ces informations sont complètes pour les STEP documentées (et considérées comme représentatives). Ces grandeurs sont moyennées par catégorie, et une STEP type est modélisée en calculant pour chaque paramètre la somme pondérée par le débit traité de ces valeurs moyennes pour chaque catégorie.

On notera l'absence des micropolluants, des substances (potentiellement) toxiques, ou encore des microorganismes pathogènes dans les analyses de routines effectuées en entrée/sortie de STEP. Ce manque d'information est à prendre en compte dans l'interprétation des résultats puisqu'un bénéfice sanitaire important pour la santé humaine et l'environnement n'est pas mis en évidence dans les estimations des impacts des STEP. Les métaux lourds sont en général concentrés dans les

¹⁰ Équivalent-Habitant (EH): Unité de mesure permettant d'évaluer la capacité d'une station d'épuration. La directive européenne du 21 mai 1991 définit l'équivalent-habitant comme la charge organique biodégradable ayant une DBO₅ de 60 g O₂/j (environ 170-180 litres d'eau par jour).

boues. Bien que des analyses soient effectuées sur les boues qui sont destinées à être valorisées en agriculture afin de vérifier que leur teneur en métaux lourds est conforme à la législation (AGW du 12/01/1995 – M.B. 12.04.1995), nous n'avons pas réussi à nous procurer ces données. Ces remarques sont également applicables aux opérations de potabilisation pour lesquelles nous ne disposons pas des analyses de l'eau avant/après traitement pour évaluer l'apport sanitaire pourtant fondamental de cette étape.

Tableau 2: Liste des catégories de STEP et pourcentage du débit traité – NP = traitement tertiaire (élimination de l'azote et du phosphore)

Catégorie	Caractéristiques	% du débit traité
1	≥100.000 EH	4,5%
2	≥ 100.000 EH- NP	34,1%
3	10.000 ≤ STEP < 100.000 EH	4,0%
4	10.000 ≤ STEP < 100.000 EH – NP	34,7%
5	10.000 ≤ STEP < 100.000 EH- lagunage	0,9%
6	2.000 ≤ STEP < 10.000 EH	12,0%
7	2.000 ≤ STEP < 10.000 EH – NP	2,0%
8	2.000 ≤ STEP < 10.000 EH – lagunage	2,1%
9	≤ 2.000 EH	5,4%
10	≤ 2.000 EH – NP	0,2%

L'inventaire comprend:

- Matériaux de construction (mais pas la surface occupée au sol, ni les fondations, etc.)
- Consommation énergétique
- Réactifs
- Boues d'épuration (valorisation agricole, (co)incinération)
- Effluents (DBO₅, DCO, MES, N-NO₃, N-NH₄, P-PO₄ – valeurs en sortie de STEP)

4.3.6 Systèmes d'épuration individuels (SEI)

- Matériaux de construction
- Raccordement à la maison
- Consommation électrique
- Effluents: pas de données disponibles, hypothèse du respect des normes en matière de rejets DBO₅, DCO, MES (AGW 25/09/2008)
- Gadoues

4.3.7 Rejet non épuré

- Effluents: assimilés à la charge en entrée de la STEP de Hulsonniaux (300 EH): DBO₅, DCO, MES, N-NO₃, N-NH₄, P-PO₄

4.3.8 Mix électrique wallon 2010

La plupart des étapes du cycle anthropique de l'eau de distribution et de pluie implique la consommation d'énergie électrique. Le mix wallon¹¹ pour l'année 2010 est décrit au Tableau 3. Pour ce qui concerne l'électricité, les principaux impacts sont dus à l'utilisation de combustible nucléaire (eutrophisation, épuisement des ressources minérales, toxicité humaine et radiations ionisantes) et de gaz naturel (changement climatique, épuisement des ressources fossiles, transformation des zones naturelles due aux forages offshore). L'empreinte environnementale de l'électricité wallonne se répercute directement sur les processus qui en font usage.

¹¹ Le mix wallon comporte une plus grande part de nucléaire que le mix belge en 2010, et un peu moins de gaz naturel (BE: nucléaire = 47,9%, gaz naturel = 33,2%) (source: European Commission, Country factsheets).

Tableau 3: Composition des sources pour la production du mix wallon 2010 [source: SPW, CWaPE, ICEDD]

Source	2010
Combustibles nucléaires	67,0%
Gaz naturel	23,6%
Charbon (solide)	0
Hydraulique	0,8%
Pétrole	0,4%
Biomasse	4,4%
Déchets/autres (incinérateur)	0,9%
Déchets organiques (incinérateur)	0,2%
Éolien	2,0%
Photovoltaïque	0,2%
Gaz de haut fourneau	0,3%
Gaz de cokerie	0,3%

5 Évaluation des impacts et interprétation

5.1 Méthodes

L'analyse du cycle de vie est réalisée au moyen du logiciel SimaPro 8.0.3 [3], dans lequel sont implémentées la base de données Ecoinvent 3 [1] et la méthode ReCiPe 1.10 midpoint (et endpoint).

5.2 Caractérisation du cycle global

Les résultats de la caractérisation du cycle anthropique de l'eau au moyen de la méthode ReCiPe midpoint sont présentés à la Figure 5 et au Tableau 4. Les catégories d'impact ayant des unités différentes (et ce quelle que soit la méthode choisie), les résultats graphiques sont présentés en %. Le "100%" est défini indépendamment pour chaque catégorie, par la valeur totale des impacts. Lorsque plusieurs processus sont comparés, le "100%" est défini par la valeur la plus élevée d'impact au sein de chaque catégorie. La Figure 6 propose les graphiques détaillés par catégorie d'impact.

Les étapes du processus ayant globalement l'impact le plus important sur **le changement climatique** se situent au niveau de l'épuration de l'eau (en saumon), de l'approvisionnement en eau et de sa potabilisation (en bleu), et dans une moindre mesure de son adduction et distribution (en rouge).

L'épuisement des ressources minérales est particulièrement affecté par l'étape d'adduction et de distribution (en rouge) du fait des matériaux qui composent ces réseaux (fonte ductile, acier).

L'épuisement des ressources fossiles est essentiellement lié à la consommation de réactifs et d'énergie par les stations d'épuration collectives (en saumon) et au captage et à la potabilisation (en bleu), ainsi que par les réseaux d'adduction et distribution (en rouge).

L'eutrophisation (marine et d'eau douce) est majoritairement imputable aux **effluents des stations d'épuration collectives** (en saumon). Le **rejet sans épuration** (en bleu clair) affecte un peu moins ces catégories bien que la charge polluante rejetée soit plus élevée. Ceci est lié au fait que le volume d'eau non épuré ne représente que 65 millions de m³ dont un tiers seulement atteint les eaux de surface (soit 24 millions de m³) selon l'hypothèse de travail retenue (cf. 4.1.4). Par contre, l'eau qui sort épurée des STEP représente un beaucoup plus grand volume (249 millions de m³), qui est intégralement déversé en eaux de surface. Les quantités nettes totales de

polluants, même si leurs concentrations sont fortement diminuées par les traitements, sont globalement plus élevées pour l'ensemble de l'eau traitée dans les STEP. Il faut cependant garder en mémoire qu'un rejet total sans aucun traitement serait bien plus délétère pour l'environnement.

Les étapes contribuant le moins sont clairement identifiées: la récolte d'eau de pluie (en vert) en raison du faible volume récolté et de l'absence de traitements de potabilisation (selon les frontières de cette étude), l'épuration en système d'épuration individuel (en orange), et la collecte des eaux usées (égouttage, en mauve).

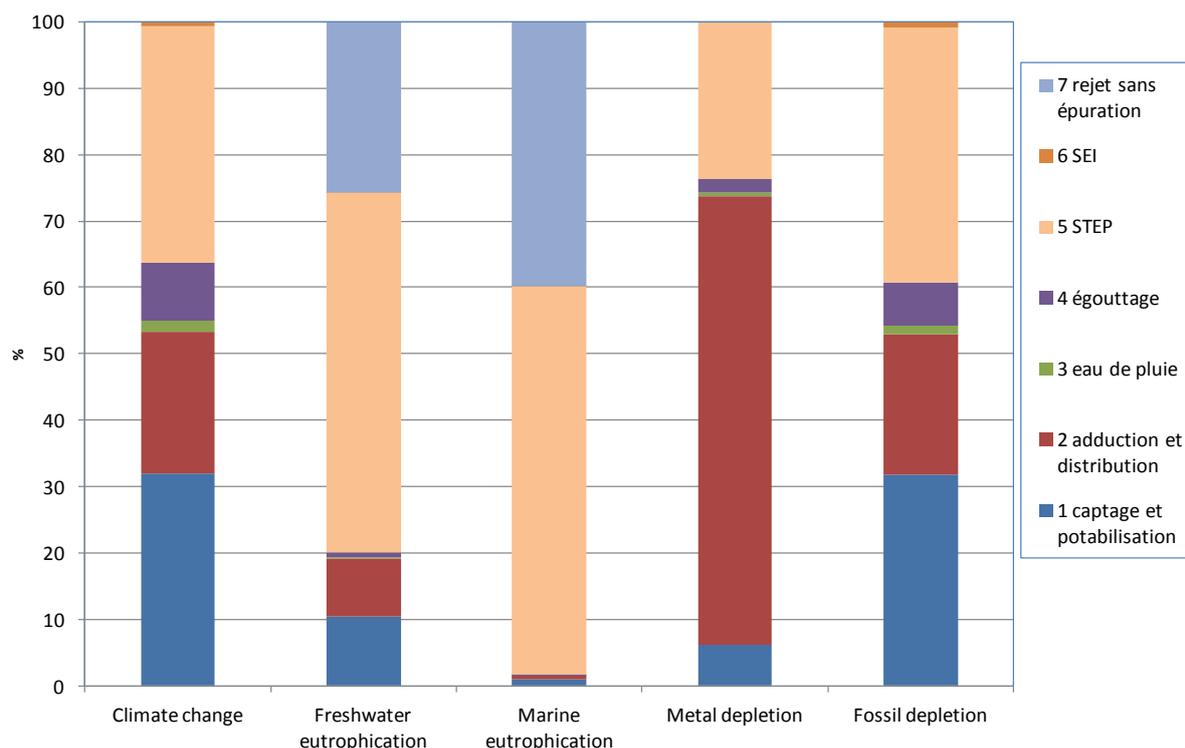


Figure 5 : Caractérisation du cycle global 2010 pour 1 UF (1m³ d'eau chez l'utilisateur) – ReCiPe Midpoint

Tableau 4: Caractérisation du cycle global 2010 pour 1 UF (1m³ d'eau chez l'utilisateur) – ReCiPe Midpoint

Catégorie d'impact	Unité	Total	1 capt. & potab.	2 add. & dist.	3 pluie	4 égouts	5 STEP	6 SEI	7 rejet non épuré
Climate change	kg CO ₂ éq	1,17	3,74 ^{E-01}	2,48 ^{E-01}	2,02 ^{E-02}	1,02 ^{E-01}	4,15 ^{E-01}	7,95 ^{E-03}	0
Freshwater eutrophication	kg P éq	9,97 ^{E-04}	1,03 ^{E-04}	8,75 ^{E-05}	1,50 ^{E-06}	8,30 ^{E-06}	5,41 ^{E-04}	5,91 ^{E-07}	2,56 ^{E-04}
Marine eutrophication	kg N éq	6,66 ^{E-03}	6,30 ^{E-05}	3,77 ^{E-05}	2,44 ^{E-06}	1,24 ^{E-05}	3,88 ^{E-03}	8,40 ^{E-07}	2,65 ^{E-03}
Mineral depletion	kg Fe éq	2,23 ^{E-01}	1,36 ^{E-02}	1,50 ^{E-01}	1,31 ^{E-03}	4,70 ^{E-03}	5,23 ^{E-02}	3,79 ^{E-04}	0
Fossil depletion	kg Oil éq	3,02 ^{E-01}	9,61 ^{E-02}	6,41 ^{E-02}	3,86 ^{E-03}	1,96 ^{E-02}	1,16 ^{E-01}	2,63 ^{E-03}	0

Remarque: L'impact d'un scénario sur une catégorie donnée se calcule par la multiplication des quantités des substances répertoriées dans l'inventaire de ce scénario par les facteurs de caractérisation d'impact de la méthode pour cette catégorie et pour chacune des substances

considérées par le modèle. Les valeurs nulles pour les impacts du "rejet non épuré" dans certaines catégories proviennent du fait que les données de l'inventaire pour cette étape ne comportent que les émissions dans l'eau en termes de DCO, DBO₅, MES, azote Kjeldhal (N_{kj}), azote ammoniacal (N-NH₄), nitrates (N-NO₃), azote total (N_{tot}) et phosphates (P-PO₄). Or seuls les modèles d'eutrophisation intègrent ces substances comme ayant un impact, les autres catégories ne les prenant pas en considération. En conséquence, la contribution de cette étape est nulle pour ces catégories (autres que l'eutrophisation).

5.3 Caractérisation par étape et par catégorie d'impact

Les figures suivantes (Figure 6) illustrent pour chaque catégorie les impacts des différentes étapes du cycle anthropique de l'eau, et permettent ainsi une comparaison de leur importance relative. L'analyse détaillée des étapes du cycle anthropique de l'eau (non présentée ici) permet d'identifier les mécanismes selon lesquelles elles impactent les différentes catégories.

- **Captage et potabilisation des eaux souterraines et des eaux de surface (en bleu).** Les deux sous-étapes qui affectent principalement les différentes catégories sont la consommation d'énergie pour le fonctionnement des unités de captage et de potabilisation, et les réactifs pour la potabilisation des eaux de surface (et dans une moindre mesure ceux pour la potabilisation des eaux souterraines).
- **Adduction et distribution (en rouge).** Les étapes d'adduction et de distribution sont très impactantes en raison de l'utilisation de fonte et d'acier, qui est particulièrement coûteuse au niveau environnemental. Les raccordements représentent une masse de matériaux minime par rapport au reste du réseau (longueur et surtout diamètres inférieurs). L'énergie nécessaire à l'adduction et à la distribution de l'eau affecte particulièrement le changement climatique et l'épuisement des ressources fossiles (cf. électricité).
- **Récolte d'eau de pluie (en vert).** L'impact sur le changement climatique est lié à l'utilisation de béton pour la citerne, l'épuisement des ressources minérales est dû au groupe hydrophore et l'épuisement des ressources fossiles est imputable à peu près à parts égales au béton de la citerne et à la consommation électrique de la pompe.
- **Égouttage (comprend les égouts et les collecteurs) (en mauve).** Les égouts affectent majoritairement toutes les catégories du fait de l'importance de leur réseau par rapport à celui des collecteurs. Les impacts sont liés à l'utilisation de fonte ductile et de béton.
- **Épuration collective des eaux usées (STEP) (en saumon).** Les réactifs sont les facteurs les plus globalement dommageables pour l'environnement, ainsi que l'électricité nécessaire au fonctionnement des STEP. Les effluents, pour leur part, affectent fortement l'eutrophisation. Le gain environnemental lié à la valorisation des boues¹² est non négligeable mais ne permet pas de compenser l'ensemble des émissions liées à l'épuration collective (infrastructures et fonctionnement).
- **Épuration autonome des eaux usées (SEI) (en orange).** L'électricité consommée pour assurer le fonctionnement des SEI est très majoritairement l'élément expliquant les impacts de ces dispositifs.

¹² Valorisation agricole des boues: gains liés à l'évitement des engrais chimiques NPK ainsi qu'à la valeur neutralisante (les boues sont chaulées avant épandage).

- **Rejet dans le milieu naturel sans épuration (en bleu clair).** N'impliquant ni infrastructures ni consommations d'énergie ou de réactifs, les rejets non épurés n'affectent que l'eutrophisation parmi les catégories retenues pour cette étude (en raison de leur composition).

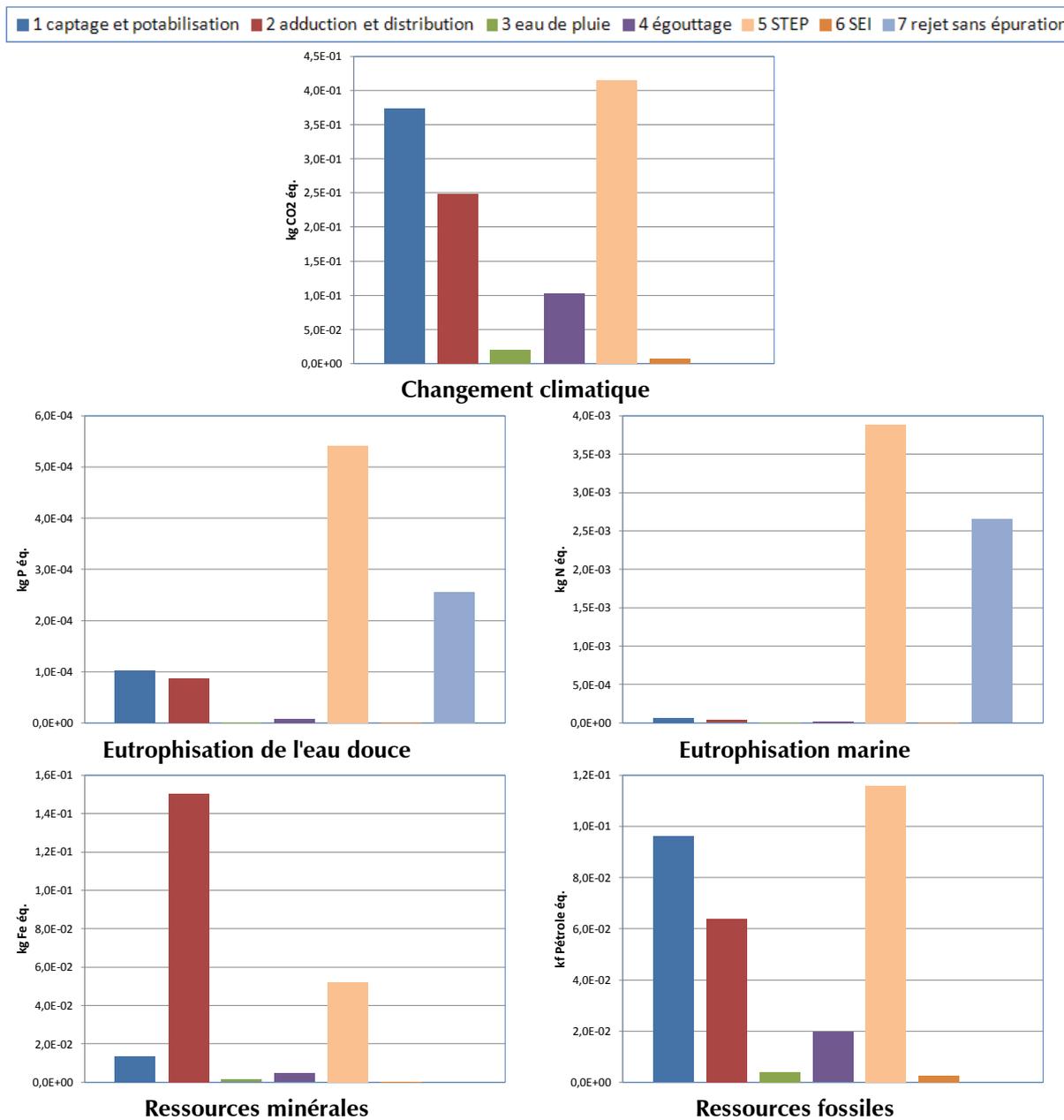


Figure 6: Comparaison par catégorie d'impact des valeurs de caractérisations pour les étapes du cycle anthropique de l'eau pour 1 UF (1m³ d'eau chez l'utilisateur) – ReCiPe Midpoint

5.4 Normalisation des impacts du cycle global

L'étape de normalisation consiste à obtenir un score exprimé sous forme d'une grandeur adimensionnelle quelle que soit la catégorie d'impact. Pour ce faire on divise le score obtenu dans chaque catégorie lors de la caractérisation par un impact de référence. Selon les standards ISO, cette étape est optionnelle, mais elle permet de percevoir plus aisément quelles sont les catégories sur lesquelles le processus étudié a le plus d'incidence. L'impact de référence est celui d'un citoyen européen moyen, c'est-à-dire les impacts totaux pour la zone Europe sur une année

divisés par le nombre d'habitants dans l'Union Européenne, et ce pour chaque catégorie. Les facteurs de normalisation pour chaque catégorie sont intégrés dans la méthode ReCiPe.

Les catégories qui sont relativement les plus impactées par 1 m³ d'eau consommée sont l'eutrophisation de l'eau douce, l'eutrophisation des eaux marines, ainsi que l'épuisement des ressources minérales et fossiles (Figure 7). La production et l'utilisation de 1 m³ d'eau en Wallonie n'ont que très peu d'impact sur le réchauffement global (environ 10.000 fois moins d'impact que l'impact annuel global d'un citoyen européen sur le changement climatique¹³).

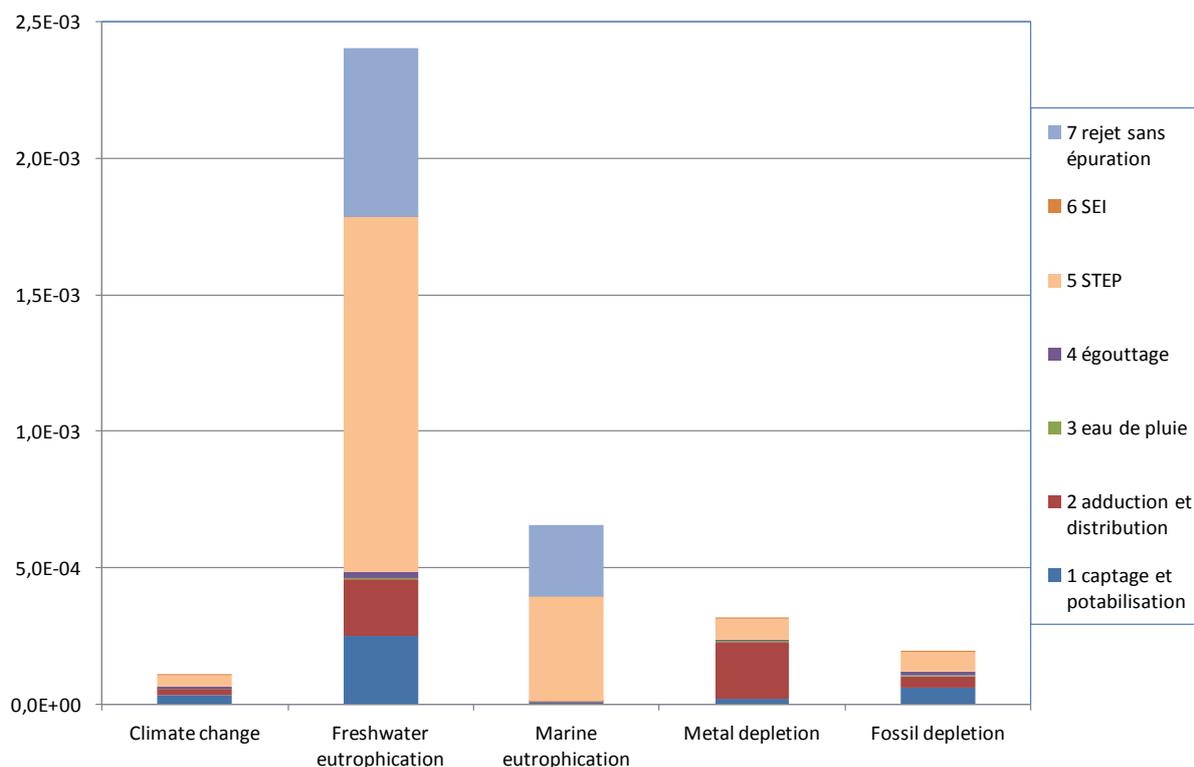


Figure 7: Normalisation cycle global 2010 pour 1 UF (1m³ d'eau chez l'utilisateur)- ReCiPe Midpoint

5.5 Comparaison des scénarios

5.5.1 Scénario voiture

Le but est d'évaluer à quelle distance parcourue par une voiture "moyenne" belge correspond l'impact environnemental associé à 1 m³ d'eau consommée par un citoyen wallon (scénario "2010"). Pour rappel, la "voiture moyenne belge" est définie par rapport au type de carburant, c'est-à-dire 83% de diesel et 17% d'essence.

L'impact dans les différentes catégories étant réparti très différemment pour ces deux scénarios, l'estimation du nombre de kilomètres est faite sur base de la méthode ReCiPe – endpoint afin de pouvoir agréger les impacts en un score unique. Bien que l'inventaire entre une voiture et tout le cycle de l'eau soit intuitivement très différent, les catégories endpoint impactées se distribuent d'une façon relativement semblable, la voiture consommant cependant un peu plus d'énergies fossiles.

¹³ ou que l'eau consommée en une journée par un citoyen wallon (100 litres) représente 1/263^e de son impact moyen quotidien sur le changement climatique.

Sur base de cette comparaison, on peut en conclure qu'il faut qu'une voiture moyenne belge parcoure 6,90 km pour produire le même impact que la consommation de 1 m³ d'eau disponible par l'utilisateur (incluant 6,4% d'eau de pluie en complément de l'eau de distribution).

Plus intuitivement, cela signifie que la consommation d'eau moyenne quotidienne d'un citoyen wallon, évaluée à environ 100 litres, produit un impact environnemental similaire de celui d'un parcours de 690 m en voiture, soit moins d'un kilomètre.

5.5.2 Influence de la quantité d'eau de pluie collectée et du taux d'équipement épuratoire

Quatre scénarios sont comparés (Tableau 5 et Figure 8):

1. **Sans épuration**, collecte d'eau de pluie à hauteur de **6,4%**
2. **2010: 76,2%** de taux d'équipement épuratoire (75,2% collectif¹⁴, 1% individuel¹⁵), collecte d'eau de pluie à hauteur de **6,4%**
3. **2010b: 76,2%** de taux d'équipement épuratoire (75,2% collectif¹⁴; 1% individuel¹⁵), collecte d'eau de pluie à hauteur de **15%**
4. **2020: 95,7%** de taux d'équipement épuratoire (88% collectif¹⁴; 7,7% individuel¹⁵), collecte d'eau de pluie à hauteur de **6,4%**

Tableau 5: Caractérisation – Influence du taux d'épuration et de la récolte d'eau de pluie pour 1 UF (1m³ d'eau chez l'utilisateur incluant l'eau de pluie) – ReCiPe Midpoint

Catégorie d'impact	Unité	Sans épuration – 0% 6,4% pluie	2010 – 76,2% 6,4% pluie	2010b – 76,2% 15% pluie	2020 – 95,7% 6,4% pluie
Climate change	kg CO ₂ éq	0,643	1,17	1,16	1,32
Freshwater eutrophication	kg P éq	7,98 ^E -04	9,97 ^E -04	9,92 ^E -04	8,77 ^E -04
Marine eutrophication	kg N éq	6,39 ^E -03	6,66 ^E -03	6,65 ^E -03	5,03 ^E -03
Mineral depletion	kg Fe éq	1,65 ^E -01	2,23 ^E -01	2,24 ^E -01	2,36 ^E -01
Fossil depletion	kg Oil éq	1,64 ^E -01	3,02 ^E -01	2,98 ^E -01	3,46 ^E -01

¹⁴ sur les 88% possibles selon les PASH

¹⁵ sur les 12% souhaitables selon les PASH

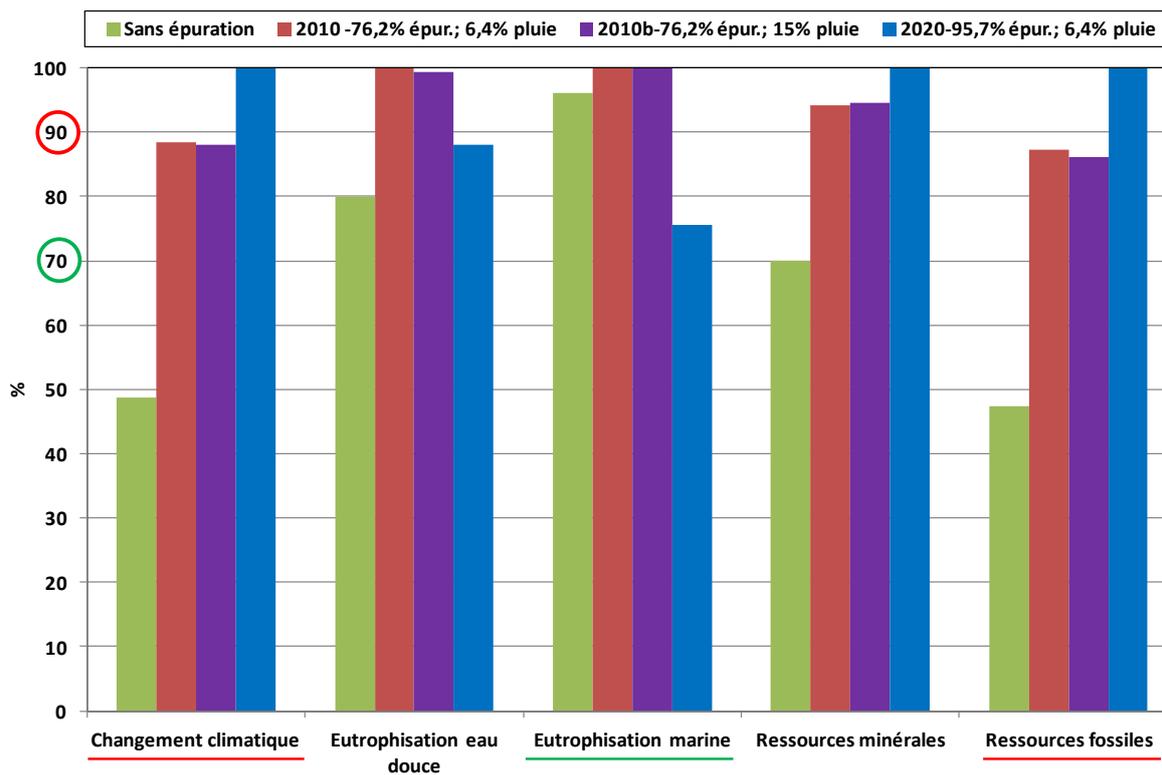


Figure 8: Caractérisation – Comparaison de différents scénarios selon la quantité d'eau de pluie collectée et le taux d'équipement épuratoire pour 1 UF (1m³ d'eau chez l'utilisateur) - ReCiPe Midpoint

Les résultats d'une analyse du cycle de vie, quelle que soit la méthode utilisée pour l'évaluation des impacts, reposent sur des hypothèses quant aux effets des différentes substances ou procédés. Du fait des incertitudes quant aux facteurs de caractérisation utilisés (inhérentes aux hypothèses nécessaires à l'établissement des modèles), il faut que les différences entre deux systèmes soient substantielles pour être validées. Pour être considérée comme significative (au niveau midpoint), la différence entre les impacts de deux procédés doit s'élever à 10% pour le changement climatique et l'épuisement des ressources fossiles, et 30% pour l'eutrophisation [19]. En deçà de ces proportions, les différences sont considérées comme non significatives et les systèmes comparés sont présumés identiques. Il n'y a pas encore consensus sur le seuil d'écart significatif pour l'épuisement des ressources minérales. Ces seuils sont indiqués sur les graphiques, en rouge pour le changement climatique et les ressources fossiles, en vert pour l'eutrophisation (Figure 8).

Influence de la quantité d'eau de pluie collectée:

On n'observe aucune différence significative entre les scénarios avec un niveau de récolte de 6,4% (en rouge) et de 15% d'eau de pluie (en mauve), quelle que soit la catégorie considérée (Figure 8). Les modifications structurelles se situent au niveau de l'utilisateur (citernes, pompes), et les quantités d'eau captées et potabilisées ne sont pas suffisamment différentes pour que ça influe sur le résultat, d'autant que le réseau de distribution n'est pas modifié. L'absence totale de récolte d'eau de pluie n'entraîne pas non plus de différence significative entre les impacts de ces scénarios (résultats non présentés ici). Le scénario comportant 15% de récolte d'eau de pluie peut dès lors être assimilé à celui avec 6,4% d'eau de pluie collectée.

Influence du taux d'équipement épuratoire:

La Figure 9 illustre l'effet d'une augmentation du taux d'équipement épuratoire par catégorie d'impact (caractérisation ReCiPe midpoint).

Une augmentation du taux d'équipement épuratoire augmente significativement l'impact sur le **changement climatique**, ainsi que sur l'**épuisement des ressources fossiles** (Figure 8 et Figure 9 a et e). Cette observation qui peut sembler paradoxale – "plus on épure plus on affecte l'environnement" – est cependant logique si l'on considère que toute amélioration ou augmentation des équipements induit non seulement une consommation accrue de matériaux pour les infrastructures, mais surtout de réactifs, et d'énergie pour le fonctionnement des différents procédés (du fait de l'augmentation du volume d'eau à traiter). Pour rappel, l'incidence des STEP et de leur fonctionnement (réactifs, électricité) résulte d'un transfert de pollution entre catégories d'impacts, qui est le prix à payer pour rejeter dans l'environnement une eau épurée, et les bénéfices en matière de santé publique ne sont pas pris en considération par l'ACV. L'analyse détaillée qui a été faite sur le scénario "2010" a clairement montré que ces aspects étaient prépondérants dans les impacts environnementaux, et que les STEP (tant pour leur construction que pour leur fonctionnement) étaient l'étape affectant le plus l'écosystème (hors eutrophisation).

Pour ce qui concerne l'**eutrophisation** (Figure 8 et Figure 9 b et c), la différence entre les rejets sans ou avec épurations des flux n'est pas significative (< 30%). Cela implique que les impacts environnementaux liés aux infrastructures et aux consommables (réactifs et énergie) sont compensés – pour cette catégorie – par les améliorations des rejets entraînant l'eutrophisation. Ce résultat est déterminé par la méthode ReCiPe, qui ne prend pas en compte les rejets carbonés et le bénéfice supplémentaire dérivant de leur réduction. En conséquence, on sous-estime l'effet positif de l'augmentation du taux d'épuration des rejets sur les impacts liés à l'eutrophisation. L'utilisation d'une autre méthode de calcul d'impact qui intègre les rejets carbonés, IMPACT World+, permet de mieux estimer l'utilité environnementale de l'épuration. Les résultats sont présentés au paragraphe suivant.

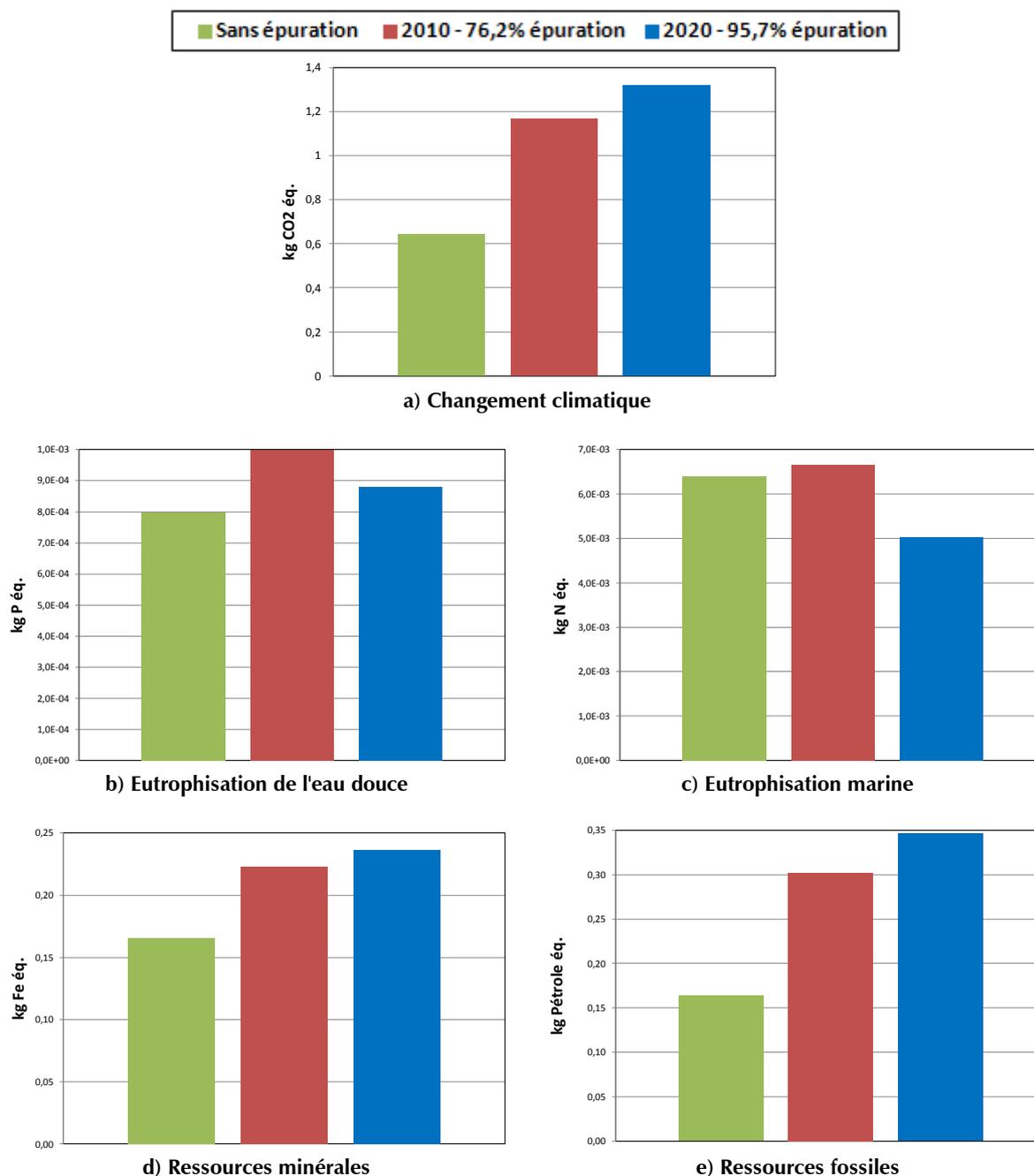


Figure 9: Caractérisation – Comparaisons par catégorie d'impact de différents scénarios selon le taux d'équipement épuratoire pour 1 UF (1m³ d'eau chez l'utilisateur)- ReCiPe Midpoint

5.5.3 Influence du taux d'équipement épuratoire sur l'eutrophisation – Méthode IMPACT World+

La méthode ReCiPe, bien que recommandée par l'ILDC Handbook, n'intègre pas les l'impact des rejets carbonés dans le calcul des effets environnementaux dans la catégorie de l'eutrophisation.

IMPACT World+ est une nouvelle méthode, toujours en développement [2, 11, 16]. Elle a été élaborée en réponse au besoin d'évaluation d'impacts régionalisée couvrant le monde entier. Elle comporte des approches de modélisation des caractérisations de pointe, développées sous la forme d'une actualisation conjointe des méthodes IMPACT 2002+, EDIP et LUCAS. Les facteurs de caractérisation sont ceux recommandés par la European Reference Life Cycle Datable (ELCD)

développée par la Commission Européenne (DG Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability). Si IMPACT 2002+ [20] fait intervenir la demande Chimique en Oxygène (DCO) dans les substances considérées pour le calcul de l'eutrophisation aquatique, IMPACT World+ va encore plus loin en intégrant la Demande Biologique en Oxygène (à 5 jours) (DBO₅). C'est pourquoi nous avons également analysé les résultats de l'inventaire pour l'évaluation de l'influence du taux d'équipement épuratoire sur l'eutrophisation avec cette méthode¹⁶.

La Figure 10 montre que la baisse des impacts liés à l'eutrophisation est significative (>30%) quand on épure à hauteur de 95,7% par rapport à un rejet sans aucune épuration. lorsqu'on augmente le taux d'équipement de 76,2 à 95,7%, l'amélioration est quasiment significative pour l'eutrophisation de l'eau douce (différence de 25,4%) et significative (>30%) pour l'eutrophisation marine.

Si on intègre l'estimation des impacts de la diminution de la charge carbonée (DCO et DBO₅) des eaux traités en plus de celle des nitrates et phosphates, les bénéfices de l'épuration par rapport aux impacts liés à la catégorie de l'eutrophisation sont clairement établis.

Dans la mesure où cette catégorie est celle qui est la plus affectée par le cycle anthropique de l'eau, l'augmentation du taux d'équipement en STEP de la Région wallonne est une option bénéfique pour l'environnement, encore renforcée si on tient compte de l'élimination de la pollution non prise en compte dans cette ACV. Il importe également de souligner que la présente étude ne rend pas compte de façon précise de la localisation géographique des contraintes environnementales. L'eutrophisation liée aux procédés correspond à un impact localisé dans les zones de fabrication ou extraction, qui sont parfois lointaines. Par contre, les rejets et l'eutrophisation qui en résulte ont des conséquences beaucoup plus localisées, notamment au niveau des eaux wallonnes. Le bénéfice "direct" et local du traitement des eaux usées est donc encore sous-estimé.

¹⁶ Bien que très intéressante et prometteuse dans son approche, la méthode IMPACT World+ est encore en développement et il aurait été peu judicieux de baser l'entièreté de cette analyse du cycle de vie sur elle seule. Elle permet cependant de mettre en perspective les résultats obtenus par une méthode robuste et fiable, validée en l'état par les instances européennes.

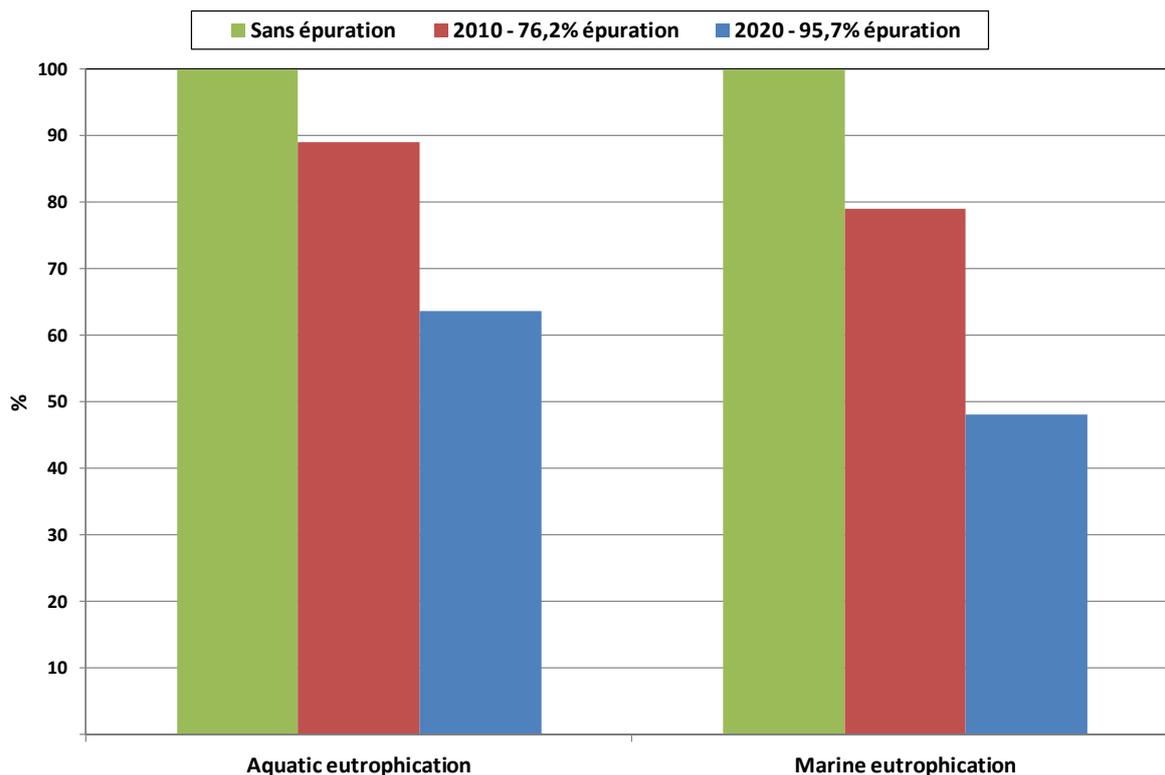


Figure 10: Caractérisation – Comparaisons pour la catégorie de l'eutrophisation de différents scénarios selon le taux d'équipement épuratoire pour 1 UF (1m³ d'eau chez l'utilisateur) - IMPACT World+ Midpoint

6 Discussions

6.1 Résultats et perspectives

Un modèle du cycle anthropique de l'eau en Wallonie a été développé sur base des données relatives à l'année 2010. Ce modèle a permis de réaliser une analyse du cycle de vie de l'eau de distribution, depuis son captage jusqu'à son épuration, et incluant la récolte d'eau de pluie par les ménages wallons, et de mettre en évidence la façon dont la consommation de l'eau par les citoyens affecte globalement l'environnement. Il comporte sept étapes essentielles: Captage et potabilisation, Adduction et distribution, Récolte d'eau de pluie, Collecte et égouttage des eaux usées, Épuration collective, Épuration individuelle, et Rejet sans épuration.

Les frontières du système incluent essentiellement les matériaux destinés à la construction des différents ouvrages, les consommations énergétiques et de réactifs chimiques, les effluents (liquides et boues).

Deux méthodes sont utilisées pour cette étude: ReCiPe midpoint et endpoint, et IMPACT World+ midpoint. Contrairement à ReCiPe, la méthode IMPACT World+ évalue les impacts sur l'eutrophisation en tenant compte des rejets de substances carbonées dans l'eau. Ces méthodes incluent des modèles de calcul d'impact recommandés par la Commission Européenne. À partir de l'inventaire réalisé et en tenant compte de ses limites, les impacts des différentes étapes du cycle sur les catégories de problèmes peuvent être évalués, ainsi que les dommages à long terme. On notera cependant que ces méthodes ne s'intéressent qu'aux dégâts environnementaux et non au bienfait sociétal sur la santé par exemple.

Selon le modèle développé pour le cycle anthropique de l'eau, **les catégories** les plus affectées par l'utilisation de 1 m³ d'eau sont dans l'ordre **l'eutrophisation** (de l'eau douce et de l'eau de mer), et dans une moindre mesure l'épuisement des ressources minérales et fossiles.

En comparaison, l'utilisation de 1 m³ d'eau équivaut à un déplacement de 6,9 km d'une personne dans une voiture (modèle belge basé sur le carburant: 87% diesel et 13% essence). Ou encore, **l'impact environnemental de la consommation quotidienne d'un citoyen, évaluée à 100 litres d'eau, correspond à un déplacement de 0,69 km en voiture, soit moins d'un km.**

La production et l'utilisation de 1 m³ d'eau en Wallonie n'ont que très peu d'impact sur le réchauffement global (environ 10.000 fois moins d'impact que l'impact annuel global d'un citoyen européen sur le changement climatique).

Les étapes du processus ayant globalement les impacts les plus importants sont **l'épuration en stations collectives (STEP), le captage et la potabilisation de l'eau, et sa distribution**. Exception faite pour **l'eutrophisation**, qui est directement imputable **aux effluents des STEP et aux rejets sans épuration**.

Les étapes contribuant le moins à l'impact global sont clairement identifiées: la récolte d'eau de pluie (du fait du faible volume représenté et de l'absence de potabilisation), l'épuration en SEI, et l'égouttage. Hormis pour le réseau de distribution, les infrastructures n'ont qu'un impact global très faible en raison de la grande quantité d'eau qui y est traitée et de leur durée de vie relativement longue qui dilue leurs impacts spécifiques dans le temps.

Pour **le captage et la potabilisation**, la majorité des impacts provient de la consommation de **réactifs chimiques** et d'**énergie électrique**. La **valorisation des boues de potabilisation et d'épuration** permet un gain non négligeable par la substitution soit de matières minérales (valorisation en cimenterie), soit d'engrais chimiques et de chaux (valorisation agricole) (résultats non illustrés).

Concernant **l'adduction et la distribution**, les matériaux métalliques constitutifs de ces réseaux (fonte et acier) grèvent lourdement cette étape.

La récolte d'eau de pluie par les ménages wallons (jusqu'à 15% de leur consommation totale d'eau, ou son abandon total) n'a pas d'impact significatif sur l'ensemble du cycle de l'eau. Pour ce qui concerne la récolte d'eau de pluie seule, la citerne en béton est le poste qui affecte le plus la quasi totalité des catégories (exception faite de l'épuisement des ressources minérales et fossiles imputables au groupe hydrophore).

Si l'on prend en compte la globalité du cycle anthropique de l'eau, **l'épuration collective des eaux usées** est l'étape la plus impactante pour la majorité des catégories envisagées, quelle que soit la méthode d'évaluation des impacts environnementaux. Tout comme pour l'étape de potabilisation, l'incidence des STEP est essentiellement liée aux consommations de **réactifs** et d'**énergie électrique**. Les stations avec traitement tertiaire sont particulièrement pénalisées par leur usage de réactifs à la fois pour le traitement primaire et pour l'élimination du phosphore. Cependant, le traitement tertiaire permet une diminution de l'eutrophisation qui justifie son implémentation, cette catégorie étant la plus affectée par le cycle de vie complet de l'eau anthropique. Une récupération du phosphore précipité dans les boues permettrait, lorsqu'elle peut être implémentée, un gain environnemental supplémentaire par sa valorisation.

Une **augmentation du taux d'épuration**, depuis le rejet de la totalité des eaux usées sans aucune épuration à l'hypothèse d'un équipement quasi total de la Wallonie en systèmes d'épuration (individuels et collectifs), affecte négativement le **changement climatique**, ainsi que **l'épuisement des ressources fossiles** (et minérales). Pour ce qui concerne **l'eutrophisation** (en tenant compte de l'élimination de la charge carbonée via la méthode Impact World+), l'amélioration des impacts est significative (>30%) quand on épure à hauteur de 95,7% par rapport à un rejet sans aucune épuration. Lorsqu'on augmente le taux d'équipement de 76,2 à 95,7%, l'amélioration est quasiment significative pour l'eutrophisation de l'eau douce (différence de 25,4%) et significative (>30%) pour l'eutrophisation marine. Cela implique que les impacts environnementaux liés aux infrastructures et aux consommables (réactifs et énergie) sont compensés – pour cette catégorie – par les améliorations des rejets entraînant l'eutrophisation.

Dans la présente étude, aucune donnée sur les teneurs en substances toxiques n'est disponible en entrée et sortie des STEP ou des stations de potabilisation (micropolluants, PCB, substances pharmaceutiques, perturbateurs endocriniens, dioxines, métaux lourds, composés aromatiques,...). Or leur toxicité est potentiellement beaucoup plus importante que celle des composants actuellement dosés en routine, particulièrement si l'on envisage un effet cocktail de ces polluants. La contamination microbiologique est également passée sous silence tant pour la potabilisation que l'épuration, d'autant qu'à ce jour aucune méthode d'analyse du cycle de vie n'intègre cet aspect sanitaire dans ses critères d'évaluation des impacts environnementaux. Or il est essentiel d'un point de vue tant environnemental que pour la santé humaine, et justifie pleinement la potabilisation de l'eau et son épuration.

Le modèle établi sur base des informations disponibles peut être considéré comme représentatif de l'impact environnemental de 1 m³ d'eau consommée en Wallonie (hors industries et secteur tertiaire). Cependant, des incertitudes subsistent sur certains postes, notamment tout ce qui concerne les infrastructures antérieures à l'informatisation (captage, distribution, égouttage) ou les gains réels apportés par la valorisation des boues en (co)incinération ou en cimenterie. Les données récoltées ont cependant permis de montrer leur intérêt en tant que matière première de substitution lorsqu'elles sont valorisées, surtout en agriculture (engrais organiques et valeur neutralisante) ou en cimenterie (matière minérale). Cette question mériterait une étude approfondie, tant d'un point de vue économique qu'écologique. Par ailleurs très peu de données sont disponibles pour les citernes de récolte d'eau de pluie ou les systèmes d'épuration individuels, que ça soit auprès des administrations régionale et communales, ou des vendeurs. Une étude complémentaire serait également nécessaire pour approfondir ce point.

En tant qu'outil d'aide à la planification, cette ACV peut apporter des indications pour orienter les choix des technologies à privilégier. Pour la potabilisation par exemple, l'ajout d'une unité de nanofiltration, qui permet d'éliminer de manière suffisante des matières organiques d'origine naturelle et de type humique, n'a pas un impact significatif sur l'impact global du cycle anthropique de l'eau et peut donc être une technique à adopter là où ce type d'action est nécessaire (résultats non illustrés). Les STEP étant particulièrement impactantes par leur consommation de réactifs chimiques et d'électricité, on peut envisager de privilégier les filières de type extensives (lagunage, filtres plantés de roseaux) qui n'en consomment pas (ou peu) pour compléter le parc existant, tout en tenant compte des contraintes techniques et financières qui sont spécifiques à chaque projet, ainsi que de l'espace disponible. Cette étude peut également servir de point de départ pour orienter les choix des matériaux pour les futures implémentations ou les rénovations (réseau de distribution ou égouts).

Les résultats obtenus lors de cette étude sont globalement cohérents avec ceux de la littérature, nonobstant les spécificités des différents systèmes auxquels elles se rapportent [4, 5, 7, 15, 21, 22, 23, 24, 29, 31, 35].

6.2 Limites de la méthodologie ACV appliquée au cycle anthropique de l'eau

Une analyse du cycle de vie du cycle anthropique de l'eau permet, en l'état actuel des connaissances, d'évaluer son empreinte environnementale pour un certain nombre de catégories d'impacts telles que le réchauffement climatique, l'épuisement des ressources, ou l'eutrophisation, malgré certaines limites. Dans le cadre d'un processus ayant des implications directes pour la santé humaine, il serait souhaitable d'effectuer une étude ciblée, qui intégrerait des données spécifiques telles que des analyses approfondies des substances prises en compte dans les modèles d'évaluation des toxicités (avant/après potabilisation et épuration par exemple).

L'évaluation des impacts sur la toxicité humaine et l'écotoxicité commence seulement à faire consensus via le modèle USEtox [30]. Or la présence de polluants tels que des microorganismes (colibacilles, entérobactéries, salmonelles, moisissures,...) ou des substances toxiques (PCB, dioxines, métaux lourds pour citer les plus toxiques, mais aussi nitrites, composés aromatiques, résidus de médicaments, perturbateurs endocriniens,...) est dommageable pour la santé humaine voire mortelle, et délétère pour les différents écosystèmes. Le modèle USEtox intègre plus de 10.000 substances (dont les pesticides, les perturbateurs endocriniens,...) mais ne tient pas encore compte à l'heure actuelle des métaux ou des microorganismes pathogènes. Les limitations au développement proviennent de la complexité pour établir des modèles décrivant rigoureusement les rapports de cause à effet entre les expositions à des substances (dose, durée, contexte, mécanismes de transfert, devenir des substances dans l'environnement,...) et leurs effets sur la santé humaine et les écosystèmes. Plusieurs équipes travaillent actuellement sur ces problématiques, notamment celle des métaux [14].

L'épuration des eaux grises et noires se justifie chaque jour un peu plus à la lumière des nouvelles études portant sur la toxicité des molécules, individuellement ou en effet cocktails [28]. Il faut rester prudent dans l'implémentation de nouvelles technologies telles que l'ozonation, dans la mesure où il est parfois complexe de déterminer la nature exacte des produits de transformation de certains polluants (jusqu'à trente pour une molécule donnée!), et qui peuvent se révéler toxiques, parfois plus que la substance d'origine (notamment certaines molécules à usage pharmaceutique). Malheureusement, ne disposant pas de données sur toutes ces substances et leur élimination par la potabilisation et par traitement des eaux usées, nous ne sommes en conséquence pas en mesure de les intégrer dans cette étude. Dans le même ordre d'idées, le polyacrylamide utilisé comme flocculant dans les STEP se retrouve dans les boues. La toxicité de son monomère devrait conduire le milieu industriel à chercher une alternative à cette molécule. Quoi qu'il en soit, il serait utile de mettre en place le suivi de diverses substances polluantes dans les eaux usées afin de pouvoir intégrer leur toxicité potentielle ou avérée dans l'évaluation des impacts positifs de l'épuration.

Les bénéfices sanitaires de la potabilisation de l'eau, de sa distribution ainsi que de l'épuration des eaux grises et noires sont immenses et indéniables, et cet aspect est à la base de la justification de l'investissement dans les traitements des eaux tels qu'imposés par les lois et normes. Seul le coût environnemental de la potabilisation, et l'existence des STEP et des SEI est évalué, et non le bénéfice vital qu'ils apportent tant à la population qu'aux écosystèmes.

Une autre limite à l'utilisation de la méthodologie de l'ACV au cycle anthropique de l'eau – dans ce contexte précis et en tenant compte des limites de temps et de financement qui y sont liées – provient de la complexité du système à étudier, de son étendue et de la multiplicité des acteurs de la filière.

Les hypothèses sur les frontières du système sont quelque peu restrictives en raison des difficultés pour établir l'inventaire. En effet, de nombreuses données sont soit indisponibles (ancienneté des installations, informations sous forme "papier" non centralisées, voire perdues ou inexistantes,...), soit dispersées et trop complexes à réunir dans les délais impartis. Un grand nombre d'acteurs sont impliqués pour chacune des étapes à inventorier, que ça soit les administrations, les organismes publics, les intercommunales, les entrepreneurs,... et tous n'ont pas systématiquement la disponibilité pour transmettre les informations demandées. Certaines données existent mais cette information même n'étant pas centralisée, elles sont "invisibles" lors des recherches en raison de l'absence de l'information sur leur accessibilité. Certaines données n'étaient que partiellement disponibles, impliquant l'établissement d'hypothèses pour les compléter et les rendre utilisables (par exemple le réseau des égouts).

Une amélioration tant qualitative que quantitative des renseignements collectés permettrait un traitement approfondi des différentes étapes du cycle anthropique de l'eau, mais demanderait un travail de récolte et de modélisation qui serait très conséquent. La plupart des ACV que l'on trouve dans la littérature sur le domaine ne portent d'ailleurs que sur une partie du cycle anthropique de l'eau (généralement soit en amont, soit en aval de l'utilisateur), et sont le fait soit d'une équipe plus ou moins nombreuse pour les études disposant d'un temps limité pour leur réalisation, soit l'objet d'une thèse de doctorat représentant plusieurs années de recherche.

La présente étude montre la complexité qu'entraîne le fait de devoir définir les frontières du système de façon homogène entre les différentes étapes envisagées dans une étendue géographique aussi limitée que la Wallonie. Cette démarche serait quasiment impossible à une échelle européenne, tant du point de vue de la collecte des données que de leur validation et de leur traitement. Cela nous engage également à une grande prudence dans l'interprétation ou la comparaison de résultats d'ACV de provenances variées.

Il faut être conscient qu'il est quasiment impossible de comparer quantitativement des analyses du cycle de vie réalisées dans des contextes fortement différents, notamment pour ce qui concerne les situations géographiques et climatiques, ou de tailles dissemblables. Il serait incohérent de vouloir établir un classement des pays ou des régions selon l'impact environnemental de leur cycle anthropique de l'eau. On ne peut comparer des situations aussi contrastées que celles de régions disposant de ressources hydriques importantes et facilement accessibles à d'autres plus arides ou nécessitant par exemple des étapes de dessalement d'eau de mer pour leur approvisionnement en eau potable, ainsi que des secteurs dont l'habitat est fortement dispersé, ou situé dans des régions au relief fortement accidenté. Une comparaison "objective" des impacts liés au cycle anthropique de l'eau par pays ou région demanderait l'établissement de facteurs de pondération dont la détermination serait non seulement complexe mais subjective (densité de population? répartition de l'altitude des habitations? réserves en eau par habitant? etc.). Une discussion comparative des impacts évalués dans différents contextes sur base d'analyses du cycle de vie ne pourrait être que qualitative, et aboutir à l'établissement de tendances générales.

7 Conclusions

Un modèle du cycle anthropique de l'eau en Wallonie a été développé sur base des données relatives à l'année 2010. Ce modèle a permis de réaliser une analyse du cycle de vie de l'eau de distribution, depuis son captage jusqu'à son épuration, et incluant la récolte d'eau de pluie par les ménages wallons, et de mettre en évidence la façon dont la consommation de l'eau par les citoyens affecte globalement l'environnement. Il comporte sept étapes essentielles: Captage et potabilisation, Adduction et distribution, Récolte d'eau de pluie, Collecte et égouttage des eaux usées, Épuration collective, Épuration individuelle, et Rejet sans épuration.

Les étapes qui influencent le plus son cycle de vie ont été mises en évidence : épuration collective (STEP), captage et potabilisation, adduction et distribution. Les catégories d'impact les plus affectées sont l'eutrophisation des eaux douces et marines, l'épuisement des ressources minérales et fossiles, et dans une moindre mesure le changement climatique. La consommation journalière d'un citoyen wallon (environ 100 litres) a un impact environnemental équivalent à un trajet en voiture de moins d'un kilomètre (0,690 km).

L'analyse de la façon dont les différentes étapes affectent les écosystèmes a fourni des pistes de réflexions sur les choix à privilégier pour les infrastructures à développer ou à remplacer. Il s'agit essentiellement de réduire ou modifier les consommations de réactifs chimiques pour l'épuration et la potabilisation, ainsi que les besoins en énergie (électrique). L'évolution du mix wallon à moyen termes vers une électricité plus verte et renouvelable permettra ainsi de réduire globalement les impacts de l'eau anthropique. L'implémentation d'unités de biométhanisation ou de gazéification pour la valorisation des boues dans les STEP pour la cogénération de chaleur et d'électricité peut permettre de limiter les besoins énergétiques, voire même tendre vers des stations "zéro énergie"¹⁷ mais cela demanderait une reconception des sites actuels.

L'analyse du cycle de vie de l'eau anthropique a mis en évidence la façon dont la consommation de l'eau par les citoyens wallons affecte globalement l'environnement ainsi que les améliorations possibles à mettre en œuvre pour réduire cet impact.

¹⁷ cf. les développements du Groupe de Travail "Boues" du cluster TWEED, les développements de nouveaux SEI par la société Eloy Water (lauréat 2014 du prix belge de l'énergie et de l'environnement, catégorie "Business Product Innovation Award", ou pour les petites stations d'épuration par la société KAMPS (Aquamara #60, p. 73-74).

8 Acronymes

ACV	Analyse du cycle de vie
CC	Changement Climatique / Climate Change
CILE	Compagnie Intercommunale Liégeoise des Eaux
DALY	Disability Adjusted Life Years
DBO ₅	Demande biologique en Oxygène à 5 jours (= BOD ₅)
DCO	Demande Chimique en Oxygène (= COD)
DGARNE	Direction Générale Opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et de l'Environnement
EH	Équivalent habitant
ÉICV (ou) ACVI	Évaluation des impacts du cycle de vie (ISO)
ELCD	European reference Life Cycle Data Systems (Système de Référence Européens pour les Données relatives au Cycle de Vie)
FD	Fossil fuel depletion
FE	Freshwater eutrophication
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
GWP	Global warming potential
ICV	Inventaire du cycle de vie
IDEA	Intercommunale de Développement Économique et d'Aménagement du territoire
IECBW	Compagnie Intercommunale des Eaux du Centre du Brabant Wallon
ILCD	International reference Life Cycle Data System Handbook (Manuel du Système International de Référence pour les Données Relatives au Cycle de Vie)
INASEP	Intercommunale Namuroise de Services Publics
JRC	Joint Research Centre (Centre Commun de Recherche)
ME	Marine eutrophication
MES	Matières en suspension
MRD	Mineral resource depletion
Nkj	Azote Kjeldahl
N-NH ₄	Azote ammoniacal
N-NO ₃	Nitrates
NTot	Azote total
PASH	Plans d'Assainissement par Sous-bassins Hydrographiques
PCB	Polychlorobiphényles
PDF.m ² .yr (PDF.m ² .an)	Potentially Disappeared Fraction of species per m ² per year
PIRENE	Programme Intégré de Recherche Environnement-Eau
P-PO ₄	Phosphates
SEI	Système d'épuration individuel
SPGE	Société Publique de Gestion de l'Eau
SPW	Service Public de Wallonie
STEP	Station d'épuration
SWDE	Société Wallonne Des Eaux
TMVW	Tussengemeentelijke Maatschappij der Vlaanderen voor Watervoorziening
UF	Unité fonctionnelle
VA	Valorisation agricole
VE	Volumes enregistrés
VN	Valeur neutralisante
VNE	Volumes non enregistrés
WEI	Water Exploitation Index
ZAA	Zone d'assainissement autonome

9 Références

1 <http://www.ecoinvent.ch/>

2 <http://www.impactworldplus.org/>

3 <http://www.pre-sustainability.com/>

4 Amores, M.J., Meneses, M., Pasqualino, J., Antón, A. and Castells, F. (2013) Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions by LCA approach. *Journal of cleaner production* 43(0), 84-92.

5 Barrios, R., Siebel, M., van der Helm, A., Bosklopper, K. and Gijzen, H. (2008) Environmental and financial life cycle impact assessment of drinking water production at Waternet. *Journal of cleaner production* 16(4), 471-476.

6 Belboom S. (2013) Évaluation de l'impact environnemental de la production de bioéthanol à partir de canne à sucre, betterave ou froment par analyse du cycle de vie. Comparaison des utilisations biocarburant et bioplastique. Thèse de Doctorat en Sciences de l'Ingénieur

7 Corominas, L., Foley, J., Guest, J.S., Hospido, A., Larsen, H.F., Morera, S. and Shaw, A. (2013) Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art. *Water Research* 47(15), 5480-5492.

8 European Commission - Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance. First edition March 2010. EUR 24708 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2010

9 European Commission-Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context. First edition November 2011. EUR 24571 EN. Luxembourg. Publications Office of the European Union; 2011

10 European Commission-Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability: International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook- Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment – Background document. First edition. Publications Office of the European Union; 2010

11 Friedrich, R., Kounina, A., Humbert, S., Jolliet, O., Preiss, P., Roos, J., & Torras, S. Project number: 243827 FP7-ENV-2009-1 Project acronym: LC-IMPACT Project title: Development and application of environmental Life Cycle Impact assessment Methods for improved sustainability Characterisation of Technologies.

12 Goedkoop M.J., Heijungs R, Huijbregts M., De Schryver A.;Struijs J., Van Zelm R (2009): "ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition Report I (version 1.08): Characterisation"; May 2013, <http://www.lcia-recipe.net>

13 Goedkoop M. et Spriensma R. (2000) "The Eco-indicator 99: A damage oriented method for life cycle impact assessment", PRé Consultants, Amersfoort, Pays Bas, 142 p.

14 Hauschild, M.Z., Jolliet, O. and Huijbregts, M.A. (2011) A bright future for addressing chemical emissions in life cycle assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 16(8), 697-700.

15 Herz, R., & Lipkow, A. (2002). Life cycle assessment of water mains and sewers. *Water Supply*, 2(4), 51-58.

16 Humbert, S. (2014) New developments in LCA. Keynote lecture - SAM 8, May 20, 2014, Liège, Belgium

17 ISO 14040: Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Principes et cadre. 1997. ISO.

18 ISO 14044: Management environnemental - Analyse du cycle de vie - Exigences et lignes directrices. 2006. ISO.

19 Jolliet O. (Quantis) – Communication lors d'un workshop dédié aux incertitudes, 6th SETAC World Congress 2012 – SETAC Europe 22nd Annual Meeting, Berlin, 20-24 May

20 Jolliet, O., M. Margni, R. Charles, S. Humbert, J. Payet, G. Rebitzer and R. Rosenbaum (2003). "IMPACT 2002+: A new life cycle impact assessment methodology." *The International Journal of Life Cycle Assessment* 8(6): 324-330.

21 Lassaux, S., Renzoni, R. and Germain, A. (2007) Life Cycle Assessment of Water: From the pumping station to the wastewater treatment plant (9 pp). *The International Journal of Life Cycle Assessment* 12(2), 118-126.

22 Lemos, D., Dias, A.C., Gabarrell, X. and Arroja, L. (2013) Environmental assessment of an urban water system. *Journal of cleaner production* 54(0), 157-165.

23 Lundie, S., Peters, G. M., & Beavis, P. C. (2004). Life cycle assessment for sustainable metropolitan water systems planning. *Environmental Science & Technology*, 38(13), 3465-3473.

24 Lundin, M., & Morrison, G. M. (2002). A life cycle assessment based procedure for development of environmental sustainability indicators for urban water systems. *Urban water*, 4(2), 145-152.

25 Prevedello, C. (Aquawal). L'utilisation de l'eau de pluie en Région wallonne – Dossier scientifique réalisé dans le cadre d l'élaboration du rapport analytique 2006-2007 sur l'état de l'environnement wallon.

26 Prevedello, C. (Aquawal) (2009), Étude relative à l'impact sur les usagers des réformes en matière de tarification de l'eau et à l'estimation de l'emploi généré par le cycle anthropique de l'eau en Wallonie.

27. Rapport sur l'état de l'environnement wallon. Les indicateurs clés de l'environnement wallon 2012. ICEW 2012. SPW | Édition. SPW. SPW- DGARNE. Coordination: V. Brahy

28 Raptis, C.E. (2014) Great ideas – greater difficulties in their modelling: when LCIA hits a dead-end. A tale of ecotoxic struggle, with a silver lining. SETAC Europe 24th Annual Meeting, Basel, Switzerland, May 11th-15th, 2014

29 Risch, E., P. Roux, C. Boutin and A. Héduit (2012). "L'analyse de cycles de vie (ACV) des systèmes d'assainissement: un outil complémentaire d'aide à la décision." Revue SET 09: 82-91.

30 Rosenbaum, R. K., Bachmann, T. M., Gold, L. S., Huijbregts, M. A., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A, Larsen, H.F., McLeod, M., Margni, M., McKone, T.E., Payet, J., Schumacher, 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. The International Journal of Life Cycle Assessment, 13(7), 532-546.

31 Sombekke, H.D.M., Voorhoeve, D.K. and Hiemstra, P. (1997) Environmental impact assessment of groundwater treatment with nanofiltration. Desalination 113(2–3), 293-296.

32 Statistique de l'eau potable et de l'assainissement des eaux usées en Wallonie - Rapport 2011, Aquawal

33 Tableau de bord de l'Environnement Wallon 2010, Service Public de Wallonie, Direction générale opérationnelle de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement (DGARNE), Département de l'Étude du milieu naturel et agricole, Direction de l'État environnemental

34 Thériault N. Dans le cadre d'une ACV, conception d'un outil d'aide à la sélection d'un jeu de catégories d'impact pour les entreprises européennes et nord-américaines du secteur textile. Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.), 2011

35 Vince, F., Aoustin, E., Bréant, P., & Marechal, F. (2008). LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. Desalination, 220(1), 37-56.

36 http://www.rtb.be/info/economie/detail_l-achat-d-un-vehicule-diesel-devient-de-moins-en-moins-avantageux?id=7648433

10 Remerciements

Les auteurs remercient toutes les personnes ayant contribué, par leurs conseils et leur aide, à la réalisation de cette analyse du cycle de vie.

Le Comité d'Accompagnement

Vincent Brahy, SPW - DGO3- Département de l'Etude du Milieu Naturel et Agricole (DEMNA) - Direction de l'Etat Environnemental (DEE)

Isabelle Buccella - SPW - DGO3- Département de l'Etude du Milieu Naturel et Agricole (DEMNA) - Direction de l'Etat Environnemental (DEE)

Francis Delloye, SPW - DGO3 - Département de l'Environnement et de l'Eau (DEE) - Direction des eaux souterraines (DES-OU)

Christian Didy, Responsable du Service Exploitation - Société Publique de Gestion de l'Eau (SPGE)

Rémy Frère - Société Publique de Gestion de l'Eau (SPGE)

Stéphane Lassaux, Société Wallonne des eaux (SWDE)

Emmanuel Maes - SPW - DGO3- Département de l'Etude du Milieu Naturel et Agricole (DEMNA) - Direction de l'Etat Environnemental (DEE)

Cédric Prevedello - Aquawal

L'équipe de l'Université de Liège – Laboratoire de Génie Chimique

Angélique Léonard, Professeur au Département de Chimie appliquée, Génie Chimique – Procédés et développement durable, ULg

Dr Ir Sandra Belboom, assistante au Département de Chimie appliquée, Génie Chimique – Procédés et développement durable, ULg

Toutes les personnes qui ont contribué à l'établissement de l'inventaire et sans lesquelles ce rapport n'aurait pu paraître.