

La réutilisation des eaux grises dans le logement unifamilial : Une étude complète pour l'établissement d'un cadre clair en Belgique

Ing. C. JACQUES
Ir. B. BLEYS
Ir. T. DELWICHE
N. SIEBERT
ECAM – Bruxelles

La réutilisation des eaux grises en Belgique offre une solution pour économiser l'eau potable. Toutefois, son adoption est limitée en raison du manque d'un cadre clair autour de cette pratique. Pour pallier cela, cette recherche explore les systèmes compacts de réutilisation des eaux grises adaptés aux logements unifamiliaux, étudie leurs modes de traitement, propose des critères de qualité de l'eau en fonction de son utilisation pour garantir la sécurité sanitaire et fournit également des directives pour le dimensionnement, le stockage et l'entretien de ces systèmes, le tout agrémenté de l'analyse d'un système opérationnel, contribuant ainsi à combler les lacunes réglementaires et à favoriser leur développement et adoption.

Mots-clefs : Eaux grises, Réutilisation, logements unifamiliaux, traitements, qualités d'eau, dimensionnement

Greywater reuse in Belgium offers a solution for saving drinking water. However, its adoption is limited due to the lack of a clear framework surrounding this practice. To address this, this research explores compact greywater reuse systems suitable for single-family homes, studies their treatment methods, proposes water quality criteria based on its use to ensure health safety, and also provides guidelines for sizing, storage, and maintenance of these systems, complemented by the analysis of an operational system, thus helping to fill regulatory gaps and promote their development and adoption.

Keywords : Greywater, Reuse, single-family homes, water qualities, treatments, sizing

1. Introduction

L'eau douce, et plus spécifiquement l'eau potable, sont des ressources cruciales dont la préservation est devenue indispensable, particulièrement face à l'augmentation des épisodes de sécheresse, en particulier en Flandre dans le contexte belge [1].

En Belgique, comme dans de nombreux autres pays, l'eau potable est souvent employée pour des activités ne nécessitant pas une telle qualité, comme la chasse d'eau, le lavage du linge, et l'arrosage des jardins [2]–[4]. Bien que l'utilisation de l'eau de pluie pour ces tâches soit largement répandue en Belgique, elle n'est pas toujours disponible en quantité suffisante, en particulier durant les périodes de sécheresse, ou l'installation d'un système d'utilisation des eaux de pluies peut se heurter à des contraintes d'espace ou autres (par exemple surface de toiture trop restreinte) [1], [5]. Une autre alternative prometteuse, et sur laquelle ce travail se concentre, est la réutilisation des eaux grises [3], [4], [6]–[8]. Ces eaux usées, de qualité suffisante pour être traitées et réutilisées aisément du fait de l'absence de matières fécales (contrairement aux eaux noires), offrent une solution viable à l'eau potable et à l'eau de pluie [1], [6], [7], [9]–[14]. De plus, contrairement aux eaux de pluie, elles sont disponibles même en temps de sécheresse et ne dépendent pas de la surface de la toiture [6]. Les systèmes de réutilisation des eaux grises – en particulier les systèmes compacts destinés à un usage pour le logement unifamilial - peuvent aussi présenter des avantages en termes d'installation et d'encombrement [12]–[15].

Cependant, malgré son potentiel, l'adoption de systèmes de réutilisation des eaux grises en Belgique reste limitée ; notamment dû à leur méconnaissance encouragée par l'absence de réglementations et de normes spécifiques en Belgique, ce qui complique leur déploiement et démocratisation [1].

Ce travail vise à combler les lacunes réglementaires et à fournir des lignes directrices pratiques pour la mise en œuvre de systèmes compacts de réutilisation des eaux grises en Belgique. Trois approches méthodologiques ont été employées : une revue bibliographique, un sondage en ligne auprès des professionnels du secteur et l'analyse d'un système compact de réutilisation des eaux grises en fonctionnement dans une maison unifamilial.

L'article est organisé comme suit : après que le contexte et les enjeux aient été présentés, la méthodologie suivie est brièvement introduite. Les résultats obtenus portent principalement sur la qualité de l'eau en fonction de son usage, ainsi que sur le dimensionnement des systèmes de réutilisation d'eaux grises. Ces résultats incluent également une étude des traitements disponibles, visant à avoir un aperçu du mode de traitement à adopter, ainsi que les aspects liés au stockage et à l'entretien de ces systèmes. Enfin, une analyse sommaire d'une installation réelle en fonctionnement est présentée, avant de conclure l'article.

2. Contexte et objectifs

Comme introduit précédemment, face à l'intensification du nombre et de l'intensité des stress hydriques en Belgique, particulièrement en Flandre, il est crucial de limiter la demande en eau potable des bâtiments [1], [7]. Dans ce contexte, le laboratoire des techniques de l'eau du centre Buildwise - un centre dédié à l'innovation et à la diffusion de recherches avancées dans le secteur de la construction [16] - explore, en plus de l'eau de pluie, des alternatives à l'eau potable visant à réduire l'impact de ces stress hydriques [5], [6].

Les systèmes compacts de traitement et de réutilisation des eaux grises émergent comme une solution prometteuse pour les logements unifamiliaux, grâce à leur conception automatique, standardisée, compacte et économique [12]–[15], [17], [18]. Cette approche, en pleine expansion, a le potentiel de démocratiser et d'étendre l'utilisation des eaux grises [12]–[15], [17], [18]. Toutefois, le manque de directives claires en Belgique freine le développement et l'adoption généralisée de ces technologies [1]. Par ailleurs, une demande croissante pour des normes et des lignes directrices spécifiques émane des professionnels du sanitaire et de l'assainissement, notamment auprès de Buildwise.

Malgré l'initiative de l'Union européenne, notamment le projet "Blue Deal" et la norme NBN EN 16941-2 [3], visant à normaliser l'utilisation non-potable des eaux grises, il reste d'importantes lacunes réglementaires en Belgique [1], [19]. Ces lacunes concernent les normes de réutilisation des eaux grises et la qualité de l'eau adaptée à différents usages. Cette situation souligne l'urgence de développer des directives claires et complètes pour encadrer la réutilisation des eaux grises, en tenant compte des dernières avancées et des besoins du secteur.

Ce travail s'inscrit dans ce contexte, visant à combler ces lacunes réglementaires et normatives. Il se concentre sur les applications non-potables de la réutilisation des eaux grises, telles que la chasse d'eau, l'arrosage des jardins et le lavage du linge. Pour ce faire, il vise à adresser les insuffisances de la norme NBN EN 16041-2 [3] et de la réglementation belge, en proposant une synthèse normative des critères de qualité de l'eau, des méthodes de traitement, et des directives pour le dimensionnement, le stockage, et l'entretien des installations. De plus, afin d'améliorer l'impact et la diffusion des résultats de ce travail, un outil Excel de dimensionnement reprenant ceux-ci a été réalisé.

En approfondissant la recherche dans ce domaine et en apportant des éléments concrets tels que l'outil excel de dimensionnement, ce travail a pour objectif de faciliter l'adoption des systèmes de réutilisation d'eaux grises en Belgique, en particulier les systèmes compacts pouvant s'installer dans les logements unifamiliaux.

3. Méthodologie de Recherche

Pour répondre aux objectifs de ce travail, trois principales méthodes ont été adoptées:

1. Recherche bibliographique approfondie : Cette méthode a servi à l'identification et l'étude des principales réglementations et normes, tant au niveau international, européen qu'au niveau belge, concernant la réutilisation des eaux grises.
2. Sondage en ligne : Un sondage a été effectué pour recueillir des données sur la perception des professionnels de la réutilisation des eaux grises en Belgique.
3. Analyse d'un système de réutilisation des eaux grises : Cette étude a analysé l'installation sanitaire d'une maison unifamilial flamande comprenant un système de réutilisation des eaux grises pour apporter une perspective pratique aux résultats de la recherche.

La méthodologie adoptée vise à apporter une réponse complète et structurée aux questions posées dans cette recherche. Elle combine des approches théoriques et pratiques, ainsi qu'une analyse des normes et réglementations en vigueur, pour aboutir à une compréhension qui se veut la plus exhaustive possible de la réutilisation des eaux grises en Belgique.

4. Sondage sur la réutilisation des eaux grises

Un sondage ciblant principalement des professionnels en bureaux d'études et des entrepreneurs travaillant dans le milieu sanitaire et de l'assainissement a été mené. Ce sondage a été réalisé dans l'objectif d'avoir un bref aperçu de l'intérêt des professionnels pour les systèmes de réutilisation des eaux grises. Au total, 37 personnes ont participé. Les résultats indiquent que les participants ont une bonne connaissance de ces systèmes, avec une note moyenne supérieure à 7/10. Cependant, l'intérêt financier est considéré comme modéré, principalement en raison des coûts initiaux élevés. Par ailleurs, un intérêt environnemental fort a été noté, en particulier en raison des préoccupations croissantes liées à la rareté de l'eau potable. Les entrepreneurs sont plus enthousiastes que les concepteurs, et le sondage a mis en lumière la nécessité de démocratiser les systèmes de réutilisation d'eaux grises, appuyant la pertinence de ce travail.

Les résultats sous formes de graphiques et les questions du sondage sont disponibles dans l'annexe 9.1.

5. Résultats

5.1. Les caractéristiques des eaux grises

En Belgique, les eaux grises représentent environ 65% des eaux usées domestique, soit une production d'environ 60 litres par jour et par personne [3], [7], [20]. Ces eaux grises proviennent principalement des lave-vaisselles, machines à laver, éviers, douches et baignoires.

Bien que les eaux grises soient plus aisément traitables que les eaux usées contenant des matières fécales, celle-ci contiennent des éléments potentiellement dangereux (traces de matières fécales, détergents, etc.) (voir Tableau 1) à éliminer afin de pouvoir réutiliser ces eaux [7], [9], [11]. L'importance de connaître leur qualité initiale est donc nécessaire pour déterminer les traitements appropriés afin d'atteindre la qualité d'eaux grises traitées finale voulue (les qualités d'eaux nécessaires en fonction de leur utilisation sont étudiées au point 5.2).

Selon la norme européenne NBN EN 16941-2 [3], les eaux grises sont classées en deux catégories : légères et lourdes (ou "non-légères"). Les eaux de lave-linges, des éviers de cuisine et de lave-vaisselles sont considérées comme "lourdes" en raison de leur concentration plus élevée en contaminants (voir Tableau 1 ci-dessous) [3], [21]–[24].

Types d'eaux grises	Eaux grises			
	Eaux grises légères		Eaux grises lourdes	
	Salle de bain		Buanderie	Cuisine
Source	Douche et Baignoire	Lavabo	Lave-Linge	Évier et Lave-vaisselle
Contaminants principaux	savon, shampoing, produits de soins corporels, cheveux, graisses corporelles, peluches et traces d'urine.	savon, dentifrice, produits de soins corporels, déchets de rasage, cheveux.	savon, décolorant, huile, peinture, solvant, fibres non biodégradables de vêtements, traces de matières fécales.	résidus alimentaires, quantité élevée d'huiles et de graisses, savon et détergent de vaisselle.

Tableau 1 : Types d'eaux grises, leurs sources et contaminants [3], [21], [24]

La nature des eaux grises est influencée par divers facteurs dont l'origine de l'eau, les habitudes de vie des occupants, le type d'installations sanitaires et même les conditions climatiques [9], [21], [25]. Vu ces nombreux facteurs, la qualité des eaux grises peut fortement varier, comme le montrent les Tableau 2 et Tableau 3. Dès lors déterminer les volumes et types d'eaux grises produites peut s'avérer complexe ; c'est pourquoi une méthode de calcul simplifiée et détaillée permettant de déterminer les volumes d'eaux grises produites par une installation sanitaire est proposée au point 5.5 de cet article.

En vue de proposer une méthode de prédimensionnement des systèmes compacts de réutilisation des eaux grises, les principales caractéristiques des eaux grises légères et lourdes ont été rassemblées dans les deux tableaux ci-dessous ; à noter qu'il s'agit de tableaux construits sur base d'une recherche bibliographique. Des recherches plus approfondies basées sur des campagnes de mesure et études en laboratoire seraient judicieuses afin de préciser ces résultats.

Paramètres	Unités	EG légères ^a		EG lourdes ^b		Eaux grises ^c		Eaux usées domestiques	
		sdb		lave-linge	cuisine				
pH	Unité pH	6,8 - 7,6	7,2 - 9,3	-	-	6,06	8,93	5,5	8,1
Turbidité	NTU	20 - 164	14 - 120	-	-	25	265	-	-
MES	mg/L	32 - 200	68 - 165	235 - 1250	45 - 838	227	1230	-	-
BOD ₅	mgO ₂ /L	29 - 166	48 - 472	536 - 1042	58 - 1049	150	500	-	-
COD totale	mgO ₂ /L	73 - 587	725 - 1815	936 - 2180	228 - 1898	250	1174	-	-
COD soluble	mgO ₂ /L	29 - 221	-	-	-	95	383	-	-
COD/BOD ₅	/	1,4 - 3,8	1,5	1,7	2,1	-	-	-	-
COD	mgC/L	12 - 56	-	-	-	18	621	173	297
Tensioactifs anioniques	mg/L	0,3 - 4,1	-	-	-	0	95	6	13
TN	mgN/L	4,1 16,4	-	-	-	4,4	15,1	20	123,9
N - NH ₄ ⁺	mgN/L	0,3 11,8	0,06 - 10,7	0,99 - 4,6	0,1 4,7	20	92,4	-	-
N - NO ₃ ⁻	mgN/L	3,9 7,5	-	0,45 - 5,8	0,1 5,7	0	3,6	-	-
TP	mgP/L	0,2 2,8	-	-	0,1 14,0	4	25	-	-
P - PO ₄	mgP/L	0,3 19,2	21 - 101	15,6 - 26	-	-	-	-	-

Notes : ^a Eaux grises provenant de la salle de bain (douche, baignoire, lavabo). | ^b Eaux grises provenant de la cuisine (évier, lave-vaisselle) et du lave-linge. | ^c Combinaison des eaux grises légères et lourdes.
 Abréviations : EG = Eaux grises ; sdb = Salle de bain ; MES = Matières en suspensions ; BOD₅ = Demande biologique en oxygène ; COD = Demande chimique en oxygène ; TN = Azote total ; TP = Phosphore total.

Tableau 2 : Paramètres physiques et chimiques des eaux usées domestiques et eaux grises, d'après une synthèse de la littérature de l'ANSES [11]

Paramètres	Unités	Eaux grises légères ^a		Eaux grises lourdes ^b		Eaux grises ^c	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Coliformes totaux	NPP	200	5100000	200	4200000	200	5100000
Coliformes fécaux	NPP	64	4000000	13	4000000	13	4000000
Escherichia coli	NPP	200	1490	-	-	2000	14900
Entérocoques intestinaux	UFC/L	-	-	-	-	1000	10000000
Coliphages	UFC/L	-	-	-	-	0	1300

Abréviations : Min = Minimum ; Max = Maximum.
 Notes : ^a Eaux grises provenant de la salle de bain (douche, baignoire, lavabo) | ^b Eaux grises provenant de la cuisine (évier, lave-vaisselle) et du lave-linge | ^c Combinaison des eaux grises légères et lourdes.

Tableau 3 : Caractéristiques micro-biologiques des eaux grises, d'après une synthèse de la littérature [11], [24], [26]–[28]

Finalement, lors de la réutilisation des eaux grises, il est préférable de privilégier les eaux de meilleure qualité, ce qui établit une hiérarchie dans la préférence de réutilisation comme suit : 1) les eaux issues des salles de bain (douche, baignoire et lavabo), 2) les eaux de buanderie (provenant de la machine à laver), et 3) les eaux de cuisine (émanant de l'évier et du lave-vaisselle) [3], [6], [21], [24].

5.2. Qualité de l'eau en fonction de son utilisation

Pour réutiliser l'eau grise traitée efficacement, il est crucial de déterminer la qualité d'eau nécessaire pour chaque usage spécifique [3], [8], [10]. Utiliser une eau de qualité insuffisante peut poser des risques sanitaires ou être inadéquat pour l'usage envisagé (par exemple, l'utilisation d'eau non-transparente pour le lavage du linge peut colorer les vêtements) [1], [7], [8], [21]. Inversement, il est inutile d'exiger une qualité d'eau supérieure à celle nécessaire, ce qui entraînerait une dépense excessive d'énergie, de temps et de ressources pour réaliser le traitement de l'eau [21]. Il est donc essentiel de trouver un équilibre optimal qui satisfasse à la fois la sécurité sanitaire et l'efficacité d'utilisation.

Par ailleurs, la balance entre la priorisation de l'approvisionnement en eau et la sécurité sanitaire constitue un autre aspect critique [1], [7], [8], [24]. Les pays confrontés à un stress hydrique peuvent adopter des normes moins strictes pour encourager la réutilisation de l'eau, tandis que d'autres, privilégiant la sécurité sanitaire, optent pour des normes plus rigoureuses [1], [7], [8], [24].

Dans ce contexte, la présente étude sert d'introduction à des recherches plus approfondies et à des initiatives futures visant à établir des directives claires en Belgique pour la réutilisation des eaux grises. Étant principalement une revue de littérature, en attendant la confirmation ou l'infirmité de ces résultats par des recherches ultérieures (telles que des essais en laboratoire ou des mesures sur le terrain), il a été choisi d'adopter systématiquement les critères de qualité les plus stricts pour garantir un niveau de sécurité sanitaire élevé.

Le défi pour la Belgique réside dans la sélection d'un ensemble de normes, législations et guidelines pour compléter la norme NBN EN 16941-2 [3], qui ne fait actuellement que donner des exemples de critères de qualité d'eau de manière assez incomplète [3].

Pour cela, il semble pertinent de se concentrer sur les pays de l'UE, notamment les voisins géographiques de la Belgique, en raison de similarités climatiques, culturelles et réglementaires [1]. Ainsi, un tableau récapitulatif (Tableau 4) a été élaboré, intégrant les valeurs les plus strictes en matière de qualité d'eaux issues des normes, réglementations et directives de Belgique, Grande-Bretagne, Italie, Espagne et France. La hiérarchie dans la sélection de ces valeurs est : 1) réglementations, 2) normes et 3) directives ; les réglementations étant juridiquement contraignantes et donc prioritaires pour assurer la sécurité et la protection de l'environnement. En l'absence de réglementations, les guidelines, bien que non contraignantes, servent de référence.

En plus de privilégier la sécurité sanitaire, la construction du Tableau 4, ainsi que la sélection des valeurs qui le composent, sont guidées par une hiérarchie d'utilisation des eaux traitées dans le but d'optimiser le traitement et les coûts associés. Selon les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 [10], l'ordre de préférence pour l'utilisation de l'eau non potable est : 1) la chasse des toilettes, 2) l'usage extérieur sans pulvérisation, 3) le lavage du linge, et 4) l'usage extérieur avec pulvérisation [11], [29]–[32]. Cette hiérarchisation vise à éviter un traitement excessif pour des eaux qui n'en nécessiteraient pas [3], [10], [21]. Une distinction est faite pour les usages pulvérisant l'eau, en raison des risques sanitaires accrus [3], [10].

Paramètres	Utilisation avec pulv.	Utilisation sans pulv.		
	LSP, LSE, AJ	WC	AJ, LSE	LL
pH	5-9,5	5-9,5	5-9,5	5-9,5
BOD_5 (mg/L)	<10	<10	<10	<10
COD (mg/L)	<60	<100	<60	<60
MES (mg/L)	<10(sdf)	<10(sdf)	<10(sdf)	<10(sdf)
Turbidité (NTU)	<2 ou ^c <0,5	<2 ou ^c <0,5	<2 ou ^c <0,5	<10
TN (mg/L)	<15	<15	<15	<15
TP (mg/L)	<2	<2	<2	<2
Bore (mg/L)	<1	<1	<1	<1
Chlore résiduel (mg/L)	$0,2 \leq Cl^a \leq 2$	$0,5 \leq Cl^a \leq 2$	$0,1 \leq Cl^a \leq 0,5$	$0,5 \leq Cl^a \leq 2$
Bromure résiduel (mg/L)	0 ^a	<5 ^a	0 ^a	<5 ^a
Couleur	claire	claire	claire	claire
Coliformes totaux (UFC/L)	<10	<1000	<1000	<10
E. coli (UFC/100mL ou NPP/100mL)	n.d.	<25	<25	n.d.
Coliformes fécaux (UFC/100mL)	<30	<10	<30	<10
Entérocoques intestinaux (nbre/100mL)	n.d.	<10	<10	n.d.
Legionella pneumophelia (UFC/L)	<10	-	-	-

Abréviations : WC = Chasse d'eau des toilettes; LSP = Lavage sous pression; AJ = Arrosage du jardin; LSE = Lavage de surface extérieure (y compris lavage de voiture); LL = Lave-linge; pulv. = Pulvérisation; BOD_5 = Demande biologique en oxygène; COD = Demande chimique en oxygène; MES = Matières en suspensions; TN = Azote total; TP = Phosphore total; COT = Carbone organique total; E. coli = Escherichia coli; nbre = Nombre; sdf = Sans débris flottants; Cl = Chlore; n.d. = Non détecté.

Notes : ^a Lorsque du chlore ou du brome est utilisé dans le processus de traitement. | ^b Spores de bactéries anaérobies sulfitoréductrices ("Clostridium perfringens" fait partie de cette famille de bactéries) | ^c <2 NTU au point d'usage et <0,5 NTU en entrée du réacteur ultraviolet le cas échéant.

Note générale : Si du désinfectant ou des sous-produits résiduels sont présents dans l'eau traitée, celle-ci pourrait ne pas convenir pour le lavage du linge ou l'arrosage des jardins. De plus, de l'eau adoucie artificiellement pourrait aussi ne pas convenir pour l'arrosage de certaines plantes et de certains sols.

Tableau 4 : Proposition de qualités d'eaux pour les systèmes de réutilisation des eaux grises traitées en Belgique [3], [11], [29]–[32]

Il est important de souligner que les législations actuelles en Wallonie et en Flandre, à savoir le « Code de l'eau du 3 mars 2005 (Art.R.277. § 1^{er}) » [33] et la législation VLAREM II (Deel : 6.2.2.1.2.§ 3) [34], ne reconnaissent pas explicitement la réutilisation des eaux grises. En conséquence, elles interdisent de facto l'utilisation des eaux grises traitées pour l'irrigation des jardins, en imposant le rejet de toutes les eaux usées domestiques vers les réseaux d'égouts. Cette situation restreint les options de réutilisation des eaux grises dans ces régions, notamment pour l'arrosage des espaces verts. Cependant, anticipant d'éventuelles révisions législatives favorables à l'utilisation des eaux grises traitées, la mise en place de systèmes d'irrigation des jardins a été envisagé.

5.3. Types de traitements pour les systèmes compacts de réutilisation d'eaux grises

Dans le cadre de la réutilisation des eaux grises en milieu résidentiel, divers types de traitements sont nécessaires pour atteindre la qualité d'eau requise. Selon la norme NBN EN 16941-2 [3], les principales méthodes de traitement comprennent la sédimentation, la filtration, les traitements biologiques et chimiques et la désinfection. Les technologies de traitement sont classées en trois grandes catégories : physique, chimique et biologique. Les systèmes compacts pour logements unifamiliaux, l'objet de cette étude, doivent être peu encombrants, économiques et demander peu d'entretien.

Plusieurs de ces systèmes commerciaux tels que "Spareau" [13], "Hydraloop" [15], "Recover" [17], "ECOVIE-Aqualoop" [18] et "Greyter" [14] ont été examinés, révélant une certaine similarité dans les approches de traitement. Il est constaté que la combinaison de traitements physiques et chimiques est efficace pour gérer les fluctuations de volume et de qualité des eaux grises [21]. La filtration est le procédé le plus couramment utilisé, et certains systèmes utilisent des filtres auto-nettoyants pour limiter leur entretien [14], [17], [18], [21], [35]. La désinfection au chlore est fréquemment utilisée en raison de son faible coût et de son pouvoir résiduel important face à la désinfection aux UV (ultra-violet), qui bien que plus coûteuse, offre une plus longue durabilité opérationnelle sans intervention humaine, conférant ainsi une plus grande autonomie au système [21], [36].

Néanmoins, d'autres options de traitements et combinaisons, y compris des approches low-tech, restent à explorer dans ce domaine en développement rapide. En voici un exemple :

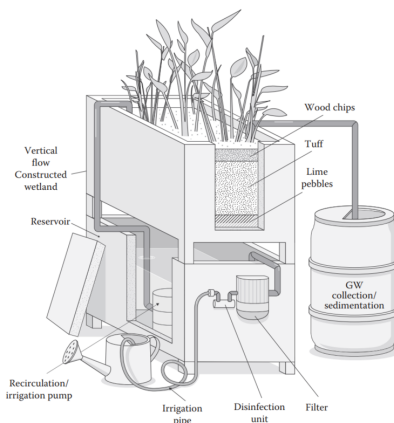


Figure 1 : Exemple d'un système de réutilisation des eaux grises « low-tech » (marais filtrant à écoulement sous-surface vertical avec re-circulation) [21]

Choix du type de traitement

Le choix du mode de traitement pour la réutilisation des eaux grises dépend de divers facteurs, dont la qualité initiale de l'eau et l'usage final prévu. Comme étudié au point 5.1, les **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Tableau 2 et Tableau 3 présentent les qualités initiales de l'eau qui doit être traitée, tandis que le Tableau 4 étudié au point 5.2 indique la qualité à atteindre pour un usage spécifique. Ensemble, ces trois tableaux fournissent donc des informations sur la qualité initiale et finale de l'eau. Pour déterminer quel mode de traitement permet de passer de la qualité initiale à la qualité finale, un tableau additionnel (Tableau 5) a été créé. Ce tableau met en évidence la capacité des différents modes de traitement à gérer divers paramètres de qualité de l'eau.

En combinant ces quatre tableaux, il est possible d'obtenir un premier aperçu des modes de traitement qui peuvent être appliqués dans un cas spécifique.

Il est important de noter qu'il est souvent nécessaire de combiner différents types de traitements pour atteindre la qualité d'eau requise [3], [21], [37].

Processus de traitement	BOD ₅	COD	MES	Turbidité	TN	TP	Cl R.	TC	CF	E. coli	Ent. Int.	Leg. Pneu.
Filtration (dont membrane)	60 - 98	20 - 94	6 - 93	31 - 86	-1 - 98	7 - 91	-	<99	-	0 - 100	0 - 90	-
Membrane	56 - 100	91 - 57	35 - 100	48,6 - 100	-3 - 93	47 - 100	-	99,9	-	>99,9	99,9	-
UF membrane	56	-	-	48,6	-	-	-	99,9	99,9	>99,9	-	-
NF membrane	93,4	-	-	96,7	-	-	-	99,9	99,9	>99,9	-	-
RO membrane	97,7	-	-	100	-	-	-	99,9	99,9	>99,9	-	-
Floculation	51 - 89	64 - 78	76 - 100	-	<13	-	-	>99	-	-	-	-
Floculation + sédimentation	52 - 91	40 - 63	64 - 67	58 - 85	-1 - 10	95	-	-	-	-	-	-
Floculation + sédimentation + filtration	59 - 99	64 - 91	64 - 71	87	2	95	-	-	-	>99	>99	>99
UV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>99	>99	>99
Coagulation	12 - 89	64	88	96 - 98	<13	95 - 96,3	-	>99	-	99,9	-	-
Coagulation + UV	93,5	65	98	99,9	-	-	-	-	-	-	-	-
Marais filtrants	99	81 - 82	90 - 98	-	26 - 82	<72	92 - 94	99	-	-	-	-
Marais filtrants à flux vertical	74 - 97	73 - 91	75 - 93	36 - 96	10 - 68	57 - 72	-	-	-	-	-	-
Marais filtrants + UV	-	75 - 79	-	-	-	-	-	97 - 100	-	98,3 - 99,9	-	-
Processus anaérobique	-	24 - 54	-	-	-64 - 62	-35 - 50	-	-	-	-	-	-
Processus anaérobique + aérobique	60 - 97	38 - 89	93 - 94	79 - 95	24 - 78	3 - 88	-	99	-	92	-	-
MBBR	59 - 99	70 - 93	87,07	66	-	12	-	-	-	-	>99	>99
Désinfection au chlore	59	-	-	-	-	12	-	-	-	>99	>99	>99
Filtration + désinfection au chlore	-	-	16	47	-	-	-	99,9	-	-	-	-
Filtration + sédimentation + désinfection	54,4	-	-	15	37,3	-	-	99,9	99,9	-	-	-
Ozonation	-	-	-	-	-	-	-	-	-	>99	>99	>99
Charbon actif	97 - 98	94	-	-	98	91	-	-	-	-	-	-
DAF	70 - 80	30 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sources : M. OTENG-PEPRAH et al. (2018) [5], S. D. GISI et al. (2015) [56], F. BOANO et al. (2020) [24], M. KHALIL et al. (2021) [77], K. M. JABRI et al. (2019) [64], S. BERING et al. (2018) [78], M. A. MUSA et al. (2021) [62], ENVIRONMENT PROTECTION AND HERITAGE COUNCIL et al. (2006) [45], P. G. SUBRAMANIAN et al. (2020) [79].
 Abréviations : UF = Ultra-filtration ; NF = Nano-filtration ; UV = Ultra-violet ; MBBR = réacteur à biofilm sur substrats mobiles ; DAF = flottation à air dissous ; BOD₅ = demande biologique en oxygène ; COD = demande chimique en oxygène ; MES = Matières en suspensions ; TN = Azote total ; TP = Phosphore total ; Entérocoques intestinaux ; Leg. Pneu. = Legionella pneumophila.
 Note : Toutes les valeurs sont exprimées en pourcentage (%) de réduction après traitement.

Tableau 5 : Pourcentage de réduction de différents paramètres définissant la qualité de l'eau selon le traitement utilisé, d'après une synthèse de la littérature [9], [30], [38]–[44]

5.4. Stockage

La norme européenne NBN EN 16941-2 [3] ne donne pas de directive précise pour le stockage des eaux grises. Elle suggère cependant, d'éviter le stockage d'eaux grises non-traitées et de limiter le stockage d'eaux grises traitées.

Temps de stockage

Selon divers normes et articles dont notamment la NBN EN 16941-2 [3] et la BS 8525-1 [10], il est crucial de limiter le temps de stockage des eaux grises pour maintenir leur qualité. Deux approches de gestion sont recommandées : l'utilisation d'une minuterie vidant automatiquement le réservoir et/ou un système de contrôle qualité en temps réel. Sans ce dernier, il a été conclu que le stockage ne doit pas excéder 24 heures afin d'éviter la prolifération microbienne et une dégradation de la qualité de l'eau en deçà des exigences [3], [4], [8], [10], [45], [46]. Le non-respect de ces directives augmente les risques sanitaires [3], [10], [46]. À noter que la qualité de l'eau stockée est également influencée par les méthodes de traitement préalables. Ainsi, la durée de stockage sécuritaire sera plus ou moins longue en fonction des types de traitement mis en place [4].

Capacité de stockage

La norme NBN EN 16941-2 [3] précise que la capacité nominale de stockage est le volume maximal que le dispositif peut contenir. En se basant sur le fait que la qualité des eaux grises, même traitées, se dégrade rapidement (amenant à limiter son stockage à 24h maximum), il en découle de limiter le volume de stockage à la demande moyenne quotidienne en eaux grises traitées [3], [4], [8], [10], [45], [46]. Cependant, étant donné que le coût et l'espace nécessaire pour le stockage augmentent avec la capacité [3], [4], [10], lorsque la production en eaux grises est inférieure à la demande, il semble logique de limiter le volume de stockage à la production afin d'optimiser le volume de remplissage du réservoir. Par conséquent, le volume de stockage optimal (V_S) pour les eaux grises peut être déterminé comme étant le minimum entre la demande journalière moyenne en eaux grises traitées (D_G) et la production journalière moyenne d'eaux grises à traiter (Y_G). Une formule est proposée pour calculer cette capacité :

$$V_S[L] = \min(D_G; Y_G) [L/j] \cdot 1[j] = \min(V_{D_G}; V_{Y_G}) [L]$$

- V_S : Vol. de stockage [L]
- Y_G : Prod. journalière d'eaux grises à traiter [L/j]
- V_{Y_G} : Vol. moy. journalier en eaux grises à traiter [L]
- $1[j]$: Durée ref. d'une journée
- L : Litre

- D_G : Dem. moy. journalière en eaux grises traitées [L/j]
- V_{DG} : Vol. moy. journalier demandé en eaux grises traitées [L]
- J : Jour

Équation 1 : Formule de détermination de la capacité de stockage d'un système de réutilisation d'eaux grises

5.5. Dimensionnement

Cette section aborde la détermination des volumes de production et de demande en eaux grises, guidée par les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1:2010 [10]. Deux méthodes sont proposées : la première, dite de base, est conçue pour les installations résidentielles individuelles et se focalise exclusivement sur la réutilisation des eaux grises légères. La seconde, plus élaborée, englobe la réutilisation des eaux grises lourdes en plus des légères, se prêtant non seulement aux résidences individuelles mais également à une variété plus large d'applications, y compris les complexes résidentiels collectifs tels que les hôtels. Ces normes soulignent l'importance du "nombre de personnes" comme variable clé pour évaluer la demande et la production d'eau. Ici, cette variable a été définie comme étant la capacité maximale d'occupation du bâtiment car elle tient compte de la capacité d'accueil totale du bâtiment. Un outil Excel a été développé pour aider à dimensionner les installations de systèmes de réutilisation d'eaux grises (voir paragraphe « Un outil Excel de dimensionnement »).

Avoir une méthode de dimensionnement adéquate permet d'évaluer la production et la demande en eaux grises, afin d'identifier les types et volumes d'eaux grises que le système de réutilisation des eaux grises devra traiter, ainsi que le potentiel de réutilisation de ces eaux. Ces données facilitent également la détermination des apports complémentaires en eau potable ou en eau de pluie nécessaires pour assurer le bon fonctionnement de l'installation dans son ensemble. Elles contribuent ainsi à la conception et au dimensionnement optimisés d'une installation dotée d'un système de réutilisation des eaux grises.

Approche de base

Hypothèse

- Les demandes journalières par personne pour la chasse des toilettes et le lavage du linge sont considérées comme relativement constantes [3], [10].
- La production des eaux grises légères par personne est relativement constante [3], [10].

Méthodes de calculs

Si ces hypothèses sont validées, le dimensionnement peut tout simplement se baser sur les valeurs données par la norme NBN EN 16941-2 [3] visibles dans le Tableau 6 ci-dessous.

Occupation	Production ^a	Demande		
		Toilettes	Lavage du linge ^b	Autres utilisations d'eau non potable ^c
1 personne	60	35	15	10

^a Production des douches, baignoires et/ou lavabos.
^b Ces chiffres sont basés sur la demande journalière moyenne. Il est à noter qu'un lave-linge consomme généralement entre 30 l et 60 l par cycle.
^c Par exemple, arrosage des jardins.

Tableau 6 : Production et demande en eaux grises journalières moyennes types selon la NBN EN 16941-2 [3]

Approche détaillée

L'approche détaillée, contrairement à l'approche de base, est applicable à divers secteurs, y compris résidentiel, commercial et industriel. Elle suppose une consommation constante d'eaux grises, excluant les pics d'utilisation [3], [10]. Bien que cette hypothèse facilite la conception et le dimensionnement des systèmes, elle peut ne pas être valable dans tous les cas, comme dans les logements unifamiliaux. Pour pallier cela, les systèmes doivent inclure un trop-plein et un apport en eau supplémentaire pour éviter les débordements ou les pénuries. Prendre en compte les comportements de consommation "anormaux" est recommandé pour un dimensionnement optimal.

Production d'eaux grises

L'Équation 2 ci-dessous permet de déterminer la production d'eaux grises, Y_G , en litre par jour [L/j] selon la norme NBN EN 16941-2 [3] :

$$Y_G = n \cdot (Q_S \cdot t_S \cdot u_S + V_{BT} \cdot u_{BT} + Q_{HWB} \cdot t_{HWB} \cdot u_{HWB} + V_{WM} \cdot u_{WM} + Q_{KS} \cdot t_{KS} \cdot u_{KS} + V_{DW} \cdot u_{DW})$$

- Y_G : Production d'eaux grises [L/j]
- n : Nombre de pers. (p)
- Q_S : Débit douche [L/min]
- t_S : Durée douche [min]
- u_S : Taux d'utilisation douche [1/(p·j)]
- V_{BT} : Volume baignoire [L]
- u_{HWB} : Taux d'utilisation lavabo [1/(p·j)]
- V_{WM} : Volume lave-linge [L]
- u_{WM} : Cycles lave-linge [1/(p·j)]
- Q_{KS} : Débit évier [L/min]
- t_{KS} : Durée évier [min]
- u_{KS} : Taux utilisation évier [1/(p·j)]

- u_{BT} : Taux d'utilisation baignoire [1/(p·j)]
- Q_{HWB} : Débit lavabo [L/min]
- t_{HWB} : Durée lavabo [min]
- V_{DW} : Volume lave-vaisselle [L]
- u_{DW} : Cycles lave-vaisselle [1/(p·j)]

Équation 2 : Méthode détaillée - Production d'eaux grises

Demande en eaux grises

Comme pour la production, la norme NBN EN 16941-2 [3] donne une formule (Équation 3) détaillée qui permet de déterminer la demande d'eaux grises, D_G , en litre par jour [L/j] :

$$D_G = n \cdot (V_T \cdot u_T + V_U \cdot u_U + V_{WM} \cdot u_{WM}) + V_{misc}$$

- D_G : Demande eaux grises [L/j]
- n : Nombre de personne [p]
- V_T : Volume chasse WC [L]
- u_T : Taux d'utilisation WC [1/(p·j)]
- V_U : Volume chasse urinoir [L]
- u_U : Taux d'utilisation urinoir [1/(p·j)]
- V_{WM} : Volume lave-linge [L]
- u_{WM} : Cycles lave-linge [1/(p·j)]
- V_{misc} : Volume autres usages [L/j]

Équation 3 : Méthode détaillée – Demande en eaux grises

Valeurs types

Les équations de la méthode détaillée présentées ci-dessus sont conçues pour estimer les volumes moyens quotidiens de production et de demande en eaux grises d'un système. Cependant, l'identification des paramètres spécifiques composants ces équations, notamment la fréquence et la durée d'utilisation des équipements sanitaires, peut s'avérer complexe. Pour cette raison, disposer de valeurs types pour ces paramètres est crucial pour un dimensionnement adéquat du système.

Face à l'absence de certaines valeurs dans la norme NBN EN 16941-2 [3] une recherche bibliographique a été entreprise dans cette étude pour combler ces manques. En l'absence de données spécifiquement belges, nous avons privilégié des valeurs provenant des normes britanniques, en particulier de la norme BS 8525-1 : 2010 [10], reconnues pour leur influence sur les standards européens de réutilisation des eaux grises. Concernant l'usage des lave-vaisselles, l'étude française "Étude Usage Lavage Domestique" de l'ADEME (TNS Sofres (2015) [47]) a été jugée adéquate pour notre contexte. Il est crucial de préciser que les valeurs retenues s'appuient sur une revue bibliographique centrée sur des pays voisins de la Belgique (Grande-Bretagne et France). Ces valeurs préliminaires visent à établir un fondement pour de futures études et sont destinées à être scrutées, confirmées ou infirmées par des recherches ultérieures au sein de Buildwise, notamment via des prélèvements lors de campagnes

de mesures spécifiques. Finalement, il est à noter que l'exploitation de données réelles obtenues à partir d'installations existantes de réutilisation d'eaux grises constitue la démarche la plus fiable.

L'annexe 9.2 contient deux tableaux qui reprennent et expliquent en détails les valeurs types discutées ci-dessus.

Un outil Excel de dimensionnement

Dans l'objectif de faciliter le dimensionnement des systèmes de réutilisation des eaux grises, un outil Excel a été créé, intégrant les équations et les valeurs types abordées dans les points précédents, le tout suivant une méthodologie claire. Afin de diffuser cet Excel pour qu'il puisse servir au plus grand nombre, Buildwise prévoit de le mettre à disposition des participants de formations dédiées à la réutilisations des eaux grises, facilitant ainsi leur compréhension et leur engagement envers ces technologies. Il est également prévu que cet outil évolue en fonction des futures avancées autour de la réutilisation des eaux grises.

Cet outil Excel est disponible, via ce lien cliquable : [Excel Dimensionnement](#) ou via un le scan de ce QR code :



5.6. Installation et mise en services

L'installation et la mise en service des systèmes de réutilisation des eaux grises sont régies par des normes spécifiques, notamment la NBN EN 16941-2 [3] et la BS 8525-1 : 2010 [10]. Ces normes fournissent des directives sur la plomberie, les raccordements et les considérations de site, comme la stabilité du sol et la proximité des réseaux publics. Certains systèmes combinent la réutilisation des eaux grises et des eaux de pluie, nécessitant des considérations supplémentaires, non abordées dans ce travail. Enfin, la mise en service doit inclure des tests d'étanchéité, de sécurité électrique et une certification de conformité.

5.7. Suivi et entretien d'un système

Pour assurer le bon fonctionnement et la sécurité des systèmes de réutilisation des eaux grises, un suivi et un entretien réguliers sont indispensables. Selon la norme NBN EN 16941-2 [3], des mesures de contrôle intégrées, telles que des alertes pour les utilisateurs et des tests de qualité de l'eau, sont nécessaires. Le design du système

doit également permettre un accès facile à tous les composants pour leur entretien ou remplacement. Lorsque les instructions d'entretien du fabricant sont manquantes, la norme britannique BS 8525-1 : 2010 [10] peut être utilisée comme référence, notamment pour des procédures de sécurité et de contrôle de la qualité de l'eau. Elle présente aussi un calendrier d'entretien et d'inspection très utile lorsqu'aucune information n'est fournie par le fabricant. Finalement, un registre des inspections et des opérations d'entretien doit être tenu à jour.

6. Visite d'une installation compacte de réutilisation des eaux grises dans une maison unifamiliale en Flandre

6.1. Mise en contexte

À Grimbergen, en Flandre, une maison unifamiliale datant de 2020 intègre un dispositif compact de réutilisation d'eaux grises, « Hydraloop » [15]. Destiné initialement à approvisionner les machines à laver, les toilettes, et à irriguer les espaces verts, ce système compact et multifonctionnel est aujourd'hui exclusivement dédié à l'alimentation des toilettes. Un schéma de l'installation avec les points de prises d'échantillon est présenté dans l'annexe 9.3.

Il assure pour une famille de quatre personnes la gestion intégrale des eaux grises. Il se charge de la collecte, du traitement, du stockage ainsi que de la distribution. Le traitement des eaux est effectué grâce à des méthodes physiques (sédimentation), physico-chimiques (flottation et fractionnement de la mousse) et biologiques (MBBR), le tout finalisé par une désinfection aux ultraviolets (UV) [12], [15].

Parallèlement, une citerne enterrée de 7,5m³, collecte l'eau pluviale de la toiture de la maison, laquelle, après filtration et désinfection UV, alimente l'ensemble des autres applications domestiques, à l'exception de l'évier de cuisine et des points d'eau froide des lavabos nécessitant une eau potable. Il est toutefois à noter qu'alimenter l'eau chaude sanitaire avec de l'eau de pluie n'est pas recommandé ; notamment par Buildwise, au risque d'avoir des problèmes sanitaires importants [5]. Enfin, en situation de surcharge du dispositif « Hydraloop » [15], l'excédent d'eau est automatiquement redirigé vers la citerne d'eau de pluie.

Comme énoncé précédemment, des ajustements par rapport au plan d'installation d'origine ont été opérés pour se conformer à la législation flamande, notamment au niveau de l'irrigation des espaces verts avec de l'eau grise, pratique interdite en Flandre, comme abordée au point 5.2 [34]. Toutefois, certains aspects non conformes subsistent, comme le transfert d'eau excédentaire du système « Hydraloop » [15] vers la citerne pluviale, pratique actuellement aussi prohibée en Flandre [34]. Toutefois, l'eau contenue dans cette citerne subit systématiquement un processus de filtration

avec charbon actif et de désinfection aux UV avant utilisation, réduisant ainsi significativement le risque d'utiliser une eau de « mauvaise » qualité (voir point 6.2).

En dépit de ces modifications, les résidents expriment leur satisfaction quant à l'efficacité et à l'adaptabilité de leur système d'eau, qui satisfait intégralement leurs besoins sans recourir à l'eau de ville. Cet exemple illustre la capacité d'intégration et d'optimisation des ressources en eaux grises et pluviales dans un cadre d'habitat privé, tout en mettant en relief l'importance d'ajustements normatifs et fonctionnels en résonance avec les impératifs légaux locaux et les exigences des consommateurs.

6.2. Analyse et résultats

Des évaluations de la qualité de l'eau au sein du dispositif « Hydraloop » [15] de récupération d'eaux grises ont été conduites, se basant sur divers critères tels que la température, le pH ajusté selon la température, la demande biologique (BOD_5) et chimique (COD) en oxygène, les matières en suspension, l'azote et le phosphore totaux, la couleur de l'eau, ainsi que le décompte de plusieurs bactéries, dont l'E. coli, les coliformes totaux, l'entérocoques et les légionelles. Ces critères, englobant des aspects physico-chimiques et microbiologiques, permettent d'évaluer la qualité de l'eau traitée par le système.

Ces analyses réalisées sur les échantillons prélevés du système "Hydraloop" [15] ont été comparés aux critères de qualité d'eaux proposés dans le Tableau 4 au point 5.2. Ces échantillons incluent des eaux grises après traitement ainsi que des eaux pluviales, qui, après analyse, s'avèrent répondre majoritairement positivement aux standards de qualité du Tableau 4. Toutefois, des points spécifiques méritent une vigilance accrue. Par exemple, l'eau grise froide traitée, collectée juste après l'ouverture du robinet, présente une qualité ne respectant pas les critères du Tableau 4, particulièrement au niveau de la BOD_5 , de la COD, et de la couleur. Ce déclin qualitatif est probablement imputable à la stagnation de l'eau dans la conduite, soulignant ainsi la nécessité d'une utilisation rapide des eaux grises post-traitement. Cette observation est en accord avec la conclusion formulée dans le chapitre 5.4.

Concernant l'eau pluviale, bien que la majorité des normes soient respectées, des exceptions sont notées pour la couleur et la présence d'entérocoques dans l'eau prélevée après avoir attendu un renouvellement d'eau fraîche dans la conduite, points qui nécessitent des investigations complémentaires.

En somme, les résultats obtenus sont optimistes quant à l'emploi de systèmes de récupération d'eaux grises tel que l'"Hydraloop" [15]. Néanmoins, des mesures de précaution s'imposent vis-à-vis de l'eau stagnante. Pour renforcer la fiabilité des données, des recherches complémentaires sur diverses installations et une gamme

élargie de paramètres qualitatifs sont préconisées. Malgré tout, les données préliminaires actuelles constituent une expérimentation initiale favorable au regard des critères de qualités belges établis pour les eaux grises traitées proposés dans le cadre de cette étude (voir Tableau 4).

7. Conclusions et perspectives

La présente étude a été consacrée à une exploration approfondie de la réutilisation des eaux grises dans les logements unifamiliaux en Belgique. En réponse aux lacunes actuelles des normes et réglementations belges, des critères de qualité pour les eaux grises traitées ont été proposés dans le but d'assurer la sécurité sanitaire des utilisateurs. Des outils et des lignes directrices ont également été développés pour le dimensionnement de ces systèmes.

Divers modes de traitement, ainsi que les questions relatives au stockage et à l'entretien, ont été présentés, offrant ainsi des informations techniques cruciales pour une conception optimale de ces systèmes.

Une mise en pratique des résultats théoriques de critères de qualités d'eau a été réalisée par la visite d'une installation existante confirmant la viabilité du système « Hydraloop » [15] par rapport aux critères de qualité proposés, à l'exception des cas où l'eau est restée stagnante.

Cette étude a posé les fondations pour l'élaboration de normes et directives claires sur la réutilisation des eaux grises en Belgique, ciblant principalement les habitations unifamiliales. Elle vise à promouvoir les systèmes de réutilisation des eaux grises dans le pays, contribuant à une gestion plus durable de l'eau en réponse à l'urgence climatique et à la pénurie d'eau. La continuation de recherches dans ce domaine est essentielle pour anticiper les défis futurs, y compris une analyse économique et financière de ces systèmes pour en évaluer la viabilité.

8. Références

- [1] European Commission. Joint Research Centre, *Water reuse in Europe : relevant guidelines, needs for and barriers to innovation*. Bruxelles: Publications Office, 2014.
- [2] C. P. Richter and R. Stamminger, “Water Consumption in the Kitchen – A Case Study in Four European Countries,” *Water Resour. Manag.*, vol. 26, no. 6, pp. 1639–1649, 2012.
- [3] “Réseaux d’eau non potable sur site - Partie 2 : Système pour l’utilisation des eaux ménagères traitées.” Bureau de Normalisation (Belge), Bruxelles, NBN EN 16941-2, 2021.
- [4] “Code of practice for the selection of water reuse systems,” BSI British Standards Institution, Britain, BS 8595: 2013, 2013.
- [5] Buildwise, “Utilisation de l’eau de pluie,” *CSTC - Contact - Edition spéciale : nouvelles exigences... nouveaux risques !*, vol. 2014/1, p. 11, 2014.
- [6] L. Vos and B. Bleys, “En quoi consiste le recyclage des eaux grises?,” *Buildwise Magazine juillet-août 2023*, Zaventem, p. 2, 2023.
- [7] A. K. Vuppaladiyam, N. Merayo, P. Prinsen, R. Luque, A. Blanco, and M. Zhao, “A review on greywater reuse: quality, risks, barriers and global scenarios,” *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology*, vol. 18, no. 1, pp. 77–99, 2018.
- [8] “Code of Practice for the Reuse of Greywater in Western Australia 2010,” Government of Western Australia : Department of Health, Perth, 2010.
- [9] M. Oteng-Pepurah, M. A. Acheampong, and N. K. DeVries, “Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception - a Review,” vol. 229, no. 8.
- [10] “Greywater systems - Code of practice,” BSI British Standards Institution, Britain, BS 8525-1: 2010, 2010.
- [11] ANSES, “Analyse des risques sanitaires liés à la réutilisation d’eaux grises pour des usages domestiques - Avis de l’Anses: Rapport d’expertise collective,” France (Paris), 2015.
- [12] Hydraloop, “Hydraloop : Centre d’informations : Hydraloop.” [Online]. Available: <https://info.hydraloop.com/public/fr/>. [Accessed: 09-May-2023].
- [13] Spareau, “Economiseur d’eau potable : Fiche présentation caisson Spareau.” France (Saint Gely du fesc), 2022.
- [14] Greyter Water System, “Residential Homes : The Greyter Home Residential Water Recycling System : Greyter Water System.” .
- [15] Hydraloop, “Technique : Comment fonctionne Hydraloop : Hydraloop.” .
- [16] Buildwise, “À propos de Buildwise • Faites connaissance avec votre centre innovant : Buildwise.” [Online]. Available: <https://www.buildwise.be/fr/a-propos-de-buildwise/>. [Accessed: 04-Mar-2023].
- [17] ACQUA.ECO, *Catalogue : Eau grises - Recover® : Recyclage résidentiel*. France (MEZE): ACQUA.ECO and BIOMICROBICS, 2022.

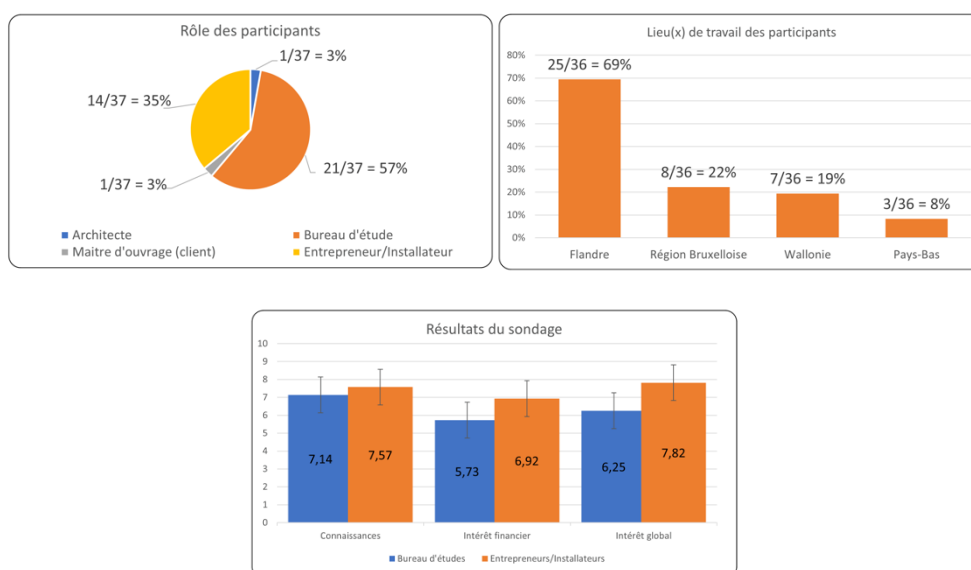
- [18] Ecovie, “ECOVIE : Technology - Aqualoop Membrane Station With System Control : Ecovie.” [Online]. Available: <https://www.ecoviewater.com/products/aqualoop/aqualoop-tech/>. [Accessed: 26-Feb-2023].
- [19] European Economic and Social Committee, *Time for an EU Blue Deal*. Bruxelles, 2023.
- [20] L. Vovard, “Callmepower.be by Selectra : Quelle est la consommation moyenne d’eau en Belgique ?,” 2024. [Online]. Available: <https://callmepower.be/fr/eau/consommation>. [Accessed: 28-Feb-2024].
- [21] A. Gross, A. Maimon, Y. Alfiya, and E. Friedler, *Greywater Reuse*. Taylor & Francis Group, 2015.
- [22] A. A. S. Al-Gheethi, E. A. Noman, R. M. S. R. Mohamed, B. A. Talip, A. H. Abdullah, and A. H. M. Kassim, “Reuse of Greywater for Irrigation Purpose,” *Manag. Greywater Dev. Ctries.*, pp. 73–87, 2018.
- [23] L. Allen, J. Christian-Smith, and M. Palaniappan, *Overview of Greywater Reuse : The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management*. Pacific Institute, 2010.
- [24] D. M. Ghaitidak and K. D. Yadav, “Characteristics and treatment of greywater - a review,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 20, no. 5, pp. 2795–2809, 2013.
- [25] M. S. Fountoulakis, N. Markakis, I. Petousi, and T. Manios, “Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing,” *Sci. Total Environ.*, vol. 551–552, pp. 706–711, 2016.
- [26] I. N. Shaikh and M. M. Ahammed, “Quantity and quality characteristics of greywater: A review,” *J. Environ. Manage.*, vol. 261, p. 110266, 2020.
- [27] S. Charlesworth, C. A. Booth, and K. Adeyeye, *Sustainable Water Engineering*. Elsevier, 2020.
- [28] E. Eriksson, K. Auffarth, M. Henze, and A. Ledin, “Characteristics of grey wastewater,” *Urban Water*, vol. 4, no. 1, pp. 85–104, 2002.
- [29] “Greywater systems - Domestic greywater treatment equipment. Requirements and test methods,” BSI British Standards Institution, Britain, BS 8525-2: 2011, 2011.
- [30] F. Boano *et al.*, “A review of nature-based solutions for greywater treatment: Applications, hydraulic design, and environmental benefits,” *Sci. Total Environ.*, vol. 711, pp. 1–26, 2020.
- [31] ASERSA, UPC, and CCB, “Spanish Regulations for Water Reuse,” State Official Journal, Espagne, Royal Decree 1620/2007 of 7 Decembre, 2011.
- [32] “Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines - Part 4, Clause 43(1), Local Government (Approvals) Regulation, 1999,” Local Government of Australia, 2005.
- [33] “Code de l’Eau (Partie Réglementaire) - 03 mars 2005,” Gouvernement wallon, Art.R.277. § 1er., 2023.
- [34] “VLAREM II: Deel 6. MILIEUVOORWAARDEN VOOR NIET-

- INGEDEELDE INRICHTINGEN,” Vlaanderen is omgeving, Deel : 6.2.2.1.2.§3, 2023.
- [35] WJW Foundation, “Onsite non-potable water reuse practice guide,” 2018.
- [36] A. A. S. Al-Gheethi, E. A. Noman, R. M. S. R. Mohamed, B. A. Talip, A. H. M. Kassim, and N. Ismail, “Disinfection Technologies for Household Greywater,” *Manag. Greywater Dev. Ctries.*, pp. 185–203, 2018.
- [37] F. Li, K. Wichmann, and R. Otterpohl, “Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses,” *Sci. Total Environ.*, vol. 407, no. 11, pp. 3439–3449, 2009.
- [38] S. De Gisi, P. Casella, M. Notarnicola, and R. Farina, “Grey water in buildings: a mini-review of guidelines, technologies and case studies,” *Civ. Eng. Environ. Syst.*, vol. 33, no. 1, pp. 35–54, 2015.
- [39] M. Khalil and Y. Liu, “Greywater biodegradability and biological treatment technologies: A critical review,” *Int. Biodeterior. Biodegradation*, vol. 161, p. 105211, 2021.
- [40] M. A. Musa and S. Idrus, “Physical and Biological Treatment Technologies of Slaughterhouse Wastewater : A Review,” *Sustainability*, vol. 13, no. 9, p. 4656, 2021.
- [41] Environment Protection and Heritage Council, the N. R. M. M. Council, and the A. H. M. Conference, *National Guidelines for Water Recycling : Managing Health ,and Environmental Risks (PHASE 1)*. Canberra: NSW Government Department of Water & Energy, 2006.
- [42] K. M. Jabri, E. Nolde, A. Ciroth, and L. Bousselmi, “Life cycle assessment of a decentralized greywater treatment alternative for non-potable reuse application,” *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 17, no. 1, pp. 433–444, 2019.
- [43] S. Bering, J. Mazur, K. Tarnowski, M. Janus, S. Mozia, and A. W. Morawski, “The application of moving bed bio-reactor (MBBR) in commercial laundry wastewater treatment,” *Sci. Total Environ.*, vol. 627, pp. 1638–1643, 2018.
- [44] P. S. G. Subramanian *et al.*, “Decentralized treatment and recycling of greywater from a school in rural India,” *J. Water Process Eng.*, vol. 38, p. 101695, 2020.
- [45] “Technical Guides for Greywater Recycling System,” PUB. Singapore’s National Water Agency, Singapore, 2014.
- [46] Y. Kobayashi, N. J. Ashbolt, E. G. R. Davies, and Y. Liu, “Life cycle assessment of decentralized greywater treatment systems with reuse at different scales in cold regions,” *Environ. Int.*, vol. 134, p. 105215, 2020.
- [47] ADEME, “Etude Usage Lavage Domestique,” TNS Sofres, France (Paris), 2015.

9. Annexes

9.1. Sondage (Les systèmes de réutilisation des eaux grises : Premiers retours de terrains)

Résultats



Questions

A) Questions communes :

- 1) À quel titre répondez-vous à ce sondage ?

B) Questions spécifiques aux « Entrepreneurs/Installateurs » :

- 1) Où réalisez-vous la majorité de votre activité professionnelle ?
- 2) Connaissez-vous les systèmes de réutilisation des eaux grises ?
- 3) Avez-vous déjà installé des systèmes de réutilisation des eaux grises ?
- 4) Combien en avez-vous installés ?
- 5) Installez-vous ces systèmes plutôt dans des constructions neuves ou plutôt dans des bâtiments existants ? (Si possible, donnez une estimation en pourcentage [% de neuf / % d'existant])
- 6) Dans les systèmes que vous avez installés, quels sont les modes de traitement utilisés ? Si ce sont des systèmes "tout fait" (par exemple type « Hydraloop »), quels sont les modèles que vous avez installés ?
- 7) Dans les systèmes que vous installez, combien de temps faut-il attendre pour utiliser le système après son installation ?
- 8) Dans les systèmes que vous installez, quelle est la durée de traitement de l'eau ?
- 9) Dans les systèmes que vous installez, quelles sont les durées maximales de stockage des eaux traitées ?
- 10) Dans les systèmes que vous installez, que se passe-t-il si ce temps de stockage est dépassé ?
- 11) Y a-t-il des consommables dans les systèmes que vous installez ?

- 12) Si oui, à la question précédente, en moyenne combien cela coûte par an en consommables (en €) ?
- 13) Dans les systèmes que vous installez, quelle est la fréquence d'entretien, (lavage de filtre...)?
- 14) Après installation, y a-t-il un suivi de la qualité de l'eau traitée ? Fonctionnent-ils en autonomie ou doivent-ils être contrôlés ?
- 15) À quelle fréquence s'effectuent les contrôles ?
- 16) Avez-vous déjà installé des systèmes mélangeant des eaux grises traitées et des eaux de pluie dans le même réservoir ?
- 17) Sur base de quels critères vous basez-vous pour déterminer le type de système à installer et les dimensions/capacités de traitement de ce dernier ?
- 18) Pensez-vous que ce genre d'installation est intéressante financièrement pour le client ?
- 19) Pouvez-vous expliquer votre choix à la question précédente ?
- 20) Outre l'aspect financier, conseillez-vous en général l'installation de ce genre de système ?
- 21) Pouvez-vous expliquer votre choix à la question précédente ?
- 22) Recevez-vous régulièrement des demandes de clients pour l'installation de ce genre de système ?
- 23) Si oui, à la question précédente, en moyenne à quelle fréquence en recevez-vous ?
- 24) Seriez-vous potentiellement intéressé à installer ce genre de système dans le futur ?
- 25) Pouvez-vous expliquer votre choix à la question précédente ?

C) Questions spécifiques aux « Clients » :

- 1) Où est-ce que votre(vos) installation(s) a(ont) été placée(s) ?
- 2) Depuis combien de temps avez-vous un système de réutilisation des eaux grises ?
- 3) En êtes-vous satisfait ?
- 4) Pouvez-vous expliquer votre choix à la question précédente ?
- 5) Quel type de système de réutilisation d'eau grise est installé chez vous ? Quelle marque, quel modèle ?
- 6) Combien de temps devez-vous attendre avant de pouvoir utiliser votre eau traitée (en heures) ?
- 7) Est-ce contraignant à l'usage ? Beaucoup d'entretiens ? Pensez-vous à le désactiver lorsque vous ne l'utilisez pas ? Ou alors, le système fonctionne-t-il en autonomie totale ?
- 8) Combien vous a coûté l'installation de votre système de réutilisation d'eau grise (en €) ?
- 9) Pour quelle(s) raison(s) avez-vous installé un système de réutilisation des eaux grises ?

D) Questions spécifiques aux « Bureaux d'études et Architectes » :

- 1) Où réalisez-vous la majorité de votre activité professionnelle ?
- 2) Quelle(s) est(sont) votre(vos) activité(s) principale(s) professionnelle(s) ?
- 3) Connaissez-vous les systèmes de réutilisation des eaux grises ?
- 4) Pensez-vous que ce genre d'installation est intéressant financièrement pour le client ?
- 5) Pouvez-vous expliquer votre choix à la question précédente ?
- 6) Recevez-vous régulièrement des demandes de clients pour l'installation de ce genre de système ?
- 7) Si oui, à la question précédente, en moyenne à quelle fréquence en recevez-vous ?
- 8) Outre l'aspect financier, conseillez-vous en général l'installation de ce genre de système ?
- 9) Pouvez-vous expliquer votre choix à la question précédente ?

Tableau explicatif des valeurs types pour la demande en eaux grises des équipements sanitaire :

Type	Eaux grises		Appellation	Annnotation selon :		Valeur(s) type(s) utilisé(s)	Unité	Provenance de(s) la valeur type(s) utilisé(s)	Commentaires
	Usage			NBN EN 16941-2 [3]	BSS525-1 :2010 [10]				
Chasse de toilette	Unique	Volume	V_{r-ur}	V_{WC}	8	L/chasse	[3]	NBN EN 16941-2 [3] et BSS525-1 :2010 [10] $V_{r-ur} = V_{WC} \cdot U_J + V_{PWC} \cdot U_{PJ} + V_{PWC} \cdot U_{PJ}$	
		Facteur d'utilisation grande chasse		U_J	4,42	chasse/(p·j)	[10]		
		Volume grande chasse		V_{PWC}	8	L/chasse	[3]		
		Facteur d'utilisation grande chasse		U_{PJ}	1,46	chasse/(p·j)	[10]		
		Volume petite chasse		V_{PWC}	8	L/chasse	[3]		
Urinoir	Double	Facteur d'utilisation petite chasse	V_U	U_{PJ}	2,96	chasse/(p·j)	[3]	Les valeurs types de : • U_J s'utilise uniquement s'il n'y a que des WC à une seule chasse d'eau. • U_{PJ} et U_{PJ} s'utilisent uniquement s'il n'y a que des WC à double chasse d'eau.	
		Volume par chasse		2	L/chasse	[3]			
		Volume par cycle		P.M. : 30 M.M. : 45 G.M. : 60	L/cycle	[3] et [10]			
		Facteur d'utilisation		U_{mm}	2,1	kg/(j·p)	[10]		
		Demande d'eau par kg de lessive (vêtement sec)		/	8	kg/L	[3] et [10]		
Autres usages que pour la chasse des toilettes	Lave-Linge	Facteur d'utilisation	u_{WM}	/	$\frac{U_{mm} \left[\frac{kg}{j \cdot p} \right]}{V_{WM} \left[\frac{L}{cycle} \right]} \cdot R_{WM} \left[\frac{L}{kg} \right]$	cycle/(j·p)	[3] et [10]	Attention : l'utilisation de la valeur type de u_{WM} conduit dans tous les cas à une demande en eaux grises des lave-linges de 16,8L/j·p, quelque soit la taille de la machine. Ceci est dû au fait que le calcul de ce taux u_{WM} est fait à partir du coefficient $R = 8L/kg$ (8 litres d'eau consommés pour laver 1 kg de linge sec) qui ne prend pas en considération la taille de la machine à laver.	
		Taux d'utilisation		/	B.C. : 5 M.C. : 10 H.C. : 15	L/min	[3]		Hypothèse : le débit d'un robinet extérieur (Q_{EXT}) = le débit d'un robinet de lavabo (Q_{LAV}) (hypothèse utilisée car manque d'information dans les normes NBN EN 16941-2 [3] et BSS525-1 :2010 [10]).
		Débit (robinet)		V_{max}	B.C. : 5 M.C. : 10 H.C. : 15	L/min	[3]		
Autres usages que pour la chasse des toilettes	Arrosage du jardin	Débit (robinet)	V_{max}	/	B.C. : 5 M.C. : 10 H.C. : 15	L/min	[3]	Hypothèse : le débit d'un robinet extérieur (Q_{EXT}) = le débit d'un robinet de lavabo (Q_{LAV}) (hypothèse utilisée car manque d'information dans les normes NBN EN 16941-2 [3] et BSS525-1 :2010 [10]).	
		Débit (robinet)		/	B.C. : 5 M.C. : 10 H.C. : 15	L/min	[3]		
Autres usages que pour la chasse des toilettes	Lavage de la voiture	Débit (robinet)	V_{max}	/	B.C. : 5 M.C. : 10 H.C. : 15	L/min	[3]	Combiné avec un facteur d'utilisation (ex : u_{EXT}), cette valeur type de débit (Q_{EXT}) peut être utilisée dans la détermination de V_{max} utilisé par la norme NBN EN 16941-2 [3]. Cette méthode a été choisie pour l'Excel de dimensionnement.	
		Débit (robinet)		/	B.C. : 5 M.C. : 10 H.C. : 15	L/min	[3]		

SOURCES : NBN EN 16941-2 [3]; BSS525-1 :2010 [10].
 ABBREVIATIONS : B.C. = Appareil à basse consommation d'eau; M.C. = Appareil à moyenne consommation d'eau; H.C. = Appareil à haute consommation d'eau; P.M. = Petite machine < 5kg; M.M. = Moyenne machine 5 à 7kg; G.M. = Grande machine > 7kg; V_{WC} = Volume d'eau utilisé par la chasse des toilettes à chasse unique [L]; U_J = Taux d'utilisation des toilettes à chasse unique [1/(p·j)]; V_{PWC} = Volume d'eau utilisé par la chasse des toilettes à chasse double [L]; U_{PJ} = Taux d'utilisation des toilettes à chasse double [1/(p·j)]; V_{PWC} = Volume d'eau utilisé par la petite chasse des toilettes à chasse double [L]; U_{PJ} = Taux d'utilisation de la petite chasse des toilettes à chasse double [1/(p·j)]; V_U = Volume d'eau utilisé par la chasse d'un urinoir [L]; V_{WM} = W = Volume d'eau utilisé par cycle de fonctionnement d'un lave-linge [L/cycle]; U_{PJ} = Facteur d'utilisation du lave-linge [kg/(p·j)]; u_{WM} = Taux de fonctionnement d'un lave-linge [cycle/(p·j)]; R_{WM} = Consommation d'eau en litre par kilogramme de vêtements secs lavés [L/kg]; Q_{EXT} = Débit volumique d'un robinet extérieur [L/min]; Q_{LAV} = Débit volumique d'un robinet extérieur [L/min].
 Notes : 1 : Si un ou plusieurs paramètres figurent dans l'équation 3 ne sont pas repris dans ce tableau, c'est qu'aucune valeur par défaut n'a pu être déterminée pour ces paramètres. 2 : Les valeurs présentées dans ce tableau sont des valeurs types qui ont pour objectif d'aider à pré-dimensionner un système. Pour dimensionner au mieux son installation, il est important d'utiliser les valeurs 'réelles' de demande en eau des équipements sanitaires. Pour les électroménagers, ces valeurs réelles sont facilement disponibles via les 'étiquettes énergétiques de l'UE' apposées sur ces derniers.

9.3. Schéma de l'installation analysée, et emplacement des points de prise d'échantillons

