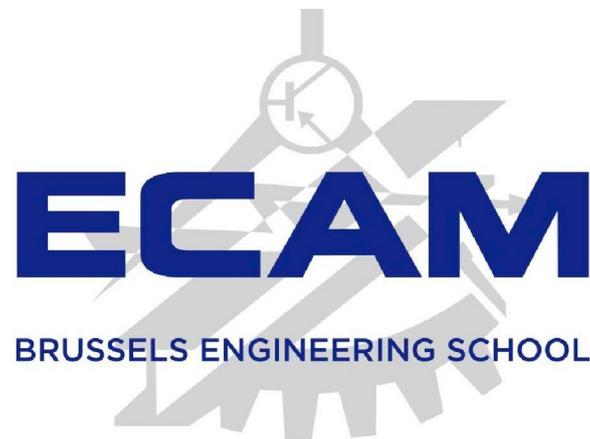


Haute École ICHEC - ECAM - ISFSC

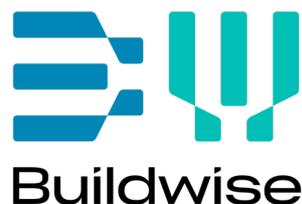


Les systèmes compacts de traitement et de réutilisation
des eaux grises dans les maisons unifamiliales en
Belgique : Un guide de bonnes pratiques

Travail de fin d'études présenté par

JACQUES Colin - 17101

Réalisé auprès de Buildwise dans le laboratoire Techniques de l'eau



En vue de l'obtention du diplôme de

Master en Sciences de l'Ingénieur Industriel orientation Construction

Promoteur : BLEYS Bart

Tutrice : SIEBERT Nathalie

Remerciements

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude envers Buildwise, ses responsables et ses collaborateurs pour leur précieuse contribution à mon travail de fin d'études. Je remercie tout spécialement M. Bart Bleys, mon promoteur, et M^{me} Liesbeth Vos, pour leur soutien et leur disponibilité, ainsi que, plus généralement, tous les collaborateurs de Buildwise avec lesquels j'ai eu la chance de travailler, en particulier ceux du laboratoire Techniques de l'eau, pour leur accueil chaleureux et leur bienveillance.

Un grand merci à ma superviseuse, M^{me} Nathalie Siebert, pour son suivi tout au long de ce travail de fin d'études.

Un merci tout particulier à ma copine pour son soutien inconditionnel et ses précieux conseils.

Mes remerciements vont également à mes parents pour leur relecture attentive de ce travail et pour m'avoir offert l'opportunité de suivre ce cursus.

Enfin, ces études ont été source de nombreuses rencontres et partages. Ma reconnaissance s'adresse également à toutes ces personnes dont j'ai croisé le chemin et qui m'ont gratifié de leur savoir et connaissances.

Résumé

La réutilisation des eaux usées qui ne contiennent pas de matières fécales, appelées eaux grises, représente une alternative prometteuse pour réduire la consommation d'eau potable dans les maisons unifamiliales en Belgique. Cependant, en raison du manque d'informations et de réglementations spécifiques, ces systèmes sont encore peu répandus. Afin de combler ces lacunes, ce travail de recherche se concentre sur les systèmes compacts de réutilisation des eaux grises et vise à fournir des recommandations pratiques pour leur mise en œuvre.

Ce travail débute par une introduction mettant en évidence l'importance de préserver l'eau potable et d'utiliser de manière rationnelle les ressources en eau. Il souligne également les avantages de la réutilisation des eaux grises dans les maisons unifamiliales, en particulier en Belgique, où la plupart des foyers utilisent encore de l'eau potable pour des tâches ne nécessitant pas une telle qualité d'eau. Cependant, les systèmes traditionnels de réutilisation des eaux grises sont souvent coûteux et encombrants, ce qui limite leur adoption dans les maisons unifamiliales.

Ce travail propose alors une méthodologie en trois étapes pour aborder cette problématique. Tout d'abord, une recherche bibliographique approfondie a été réalisée, portant sur les réglementations, les normes et les articles scientifiques relatifs à la réutilisation des eaux grises. Ensuite, un sondage en ligne a été mené auprès d'installateurs et d'entrepreneurs pour recueillir leurs opinions et expériences. Enfin, une visite sur le terrain a été effectuée dans une maison unifamiliale équipée d'un système de réutilisation des eaux grises pour confronter la théorie à la réalité.

Les résultats et discussions de ce travail mettent en évidence plusieurs éléments importants. Tout d'abord, afin de garantir la sécurité sanitaire des utilisateurs, une proposition de norme a été formulée pour les eaux grises traitées utilisées dans divers usages domestiques en Belgique. Ensuite, une étude des différents modes de traitement des eaux grises a permis de recommander des solutions peu coûteuses, peu encombrantes et nécessitant peu d'entretien. Le stockage des eaux grises a également été abordé, avec une recommandation de durée maximale de stockage de 24 heures.

En ce qui concerne le dimensionnement des installations, une méthode de calcul a été proposée pour déterminer les volumes de production des eaux grises et la demande en eau grise traitée. Cette méthode prend en compte le nombre d'utilisateurs de l'installation et permet un pré-dimensionnement même en l'absence d'informations spécifiques.

Enfin, des recommandations pour l'inspection et l'entretien des systèmes de réutilisation des eaux grises ont été données, particulièrement utiles en cas d'absence d'informations fournies par les fabricants. Une visite sur le terrain a permis de confirmer la conformité de l'installation étudiée avec les critères de qualité proposés, sauf lors de périodes de stagnation de l'eau.

En conclusion, ce travail de recherche a apporté de nombreuses réponses quant aux lacunes dans les réglementations et normes belges concernant la réutilisation des eaux grises, notamment pour les systèmes compacts unifamiliaux. Il contribuera à la démocratisation de ces systèmes en Belgique en ouvrant la voie à des projets futurs visant à relever les défis associés à la raréfaction des ressources en eau et à la préservation de l'environnement.

Table des matières

Introduction	8
1 Contexte	10
1.1 Le centre Buildwise	10
1.2 Eaux grises et réutilisation des eaux grises	10
1.3 Réglementation actuelle concernant la réutilisation des eaux grises	12
1.4 Objectifs du TFE	14
2 Méthode	16
3 Résultats et discussions	18
3.1 Sondage	18
3.1.1 Méthode	18
3.1.2 Résultats	19
3.1.2.1 Participants	19
3.1.2.2 Connaissances et intérêts d'un système de réutilisation des eaux grises	20
3.1.3 Discussion	20
3.2 Qualité de l'eau en fonction de son utilisation	22
3.2.1 Recherche bibliographique et résultats	23
3.2.2 Discussion	27
3.2.3 Qu'en retenir?	28
3.3 Caractéristiques des eaux grises	29
3.4 Les types de traitements	33
3.4.1 Traitement physique	33
3.4.1.1 Traitement par sédimentation	33
3.4.1.2 Traitement par filtration	34
3.4.2 Traitement chimique	37
3.4.2.1 Coagulation et Flocculation	37
3.4.3 Traitement biologique	37
3.4.3.1 Traitement aérobique	38
3.4.3.2 Traitement anaérobique	38
3.4.3.3 Traitement enzymatique	39
3.4.4 Les technologies de traitements	39
3.4.4.1 Marais filtrant	39
3.4.4.2 Flottation	41
3.4.4.3 Réacteur à biofilm sur substrats mobiles (MBBR)	43
3.4.4.4 Désinfection	44
3.4.4.5 Traitement par absorption	47
3.4.4.6 Fractionnement de la mousse	48
3.4.5 Types de traitements pour les systèmes compacts	49
3.5 Détermination du mode de traitement	53
3.6 Stockage	55
3.6.1 Capacité	56
3.6.2 Temps de stockage	58
3.7 Dimensionnement	60
3.7.1 Méthodes de calculs	60
3.7.2 Hiérarchie de la demande et de la production	61
3.7.3 Approche de base	62

3.7.3.1	Domaines d'applications	62
3.7.3.2	Méthodes de calculs	62
3.7.4	Approche détaillée	63
3.7.4.1	Domaines d'applications	63
3.7.4.2	Production d'eaux grises	64
3.7.4.3	Demande en eau non-potable	68
3.8	Installation et mise en service	71
3.9	Suivi et entretien d'un système	74
3.9.1	Suivi	74
3.9.2	Entretien	75
4	Visite d'une installation compacte de réutilisation des eaux grises dans une maison unifamiliale (« Hydraloop »)	78
4.1	Mise en contexte	78
4.2	Méthode de prise d'essais	81
4.3	Résultats des analyses	82
4.4	Contrôle de la qualité de l'eau	83
	Conclusions et perspectives	87
	Références	89
	Annexes	93
A	Présentation de l'outil Excel de dimensionnement	93
A.1	Captures d'écran de l'Excel	93
A.1.1	Feuille 1 - Dimensionnement	93
A.1.2	Feuille 2 - Provenance des valeurs par défaut	97
B	Questions du sondage (Les systèmes de réutilisation des eaux grises : Premiers retours de terrains)	100
C	Exemples de plans d'installation de systèmes de réutilisation des eaux grises proposés par la norme BS 8525-1 : 2010 [12]	102
C.1	Exemples de systèmes typiques de réutilisation des eaux grises avec différents systèmes d'alimentation d'appoint en eau.	102
C.2	Exemples de systèmes typiques de réutilisations des eaux grises et des eaux de pluies combinés	104
D	Dispositif de protection contre les retours d'eau (surverse)	106

Table des figures

1.1	Carte mondiale des niveaux de référence annuels du stress hydrique (UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (2021) [9])	11
3.1	Sondage : Répartition des rôles des participants	19
3.2	Sondage : Lieu(x) d'activités professionnelles des installateurs, entrepreneurs et bureaux d'études	20
3.3	Sondage : État des connaissances et intérêts des systèmes de réutilisation des eaux grises des participants	20
3.4	Fourchette de dimensions de différentes particules et du type de filtration pouvant les bloquer (WJW Foundation (2018) [46])	34
3.5	Exemple d'un système de marais filtrant à écoulement sous-surfacique vertical utilisant la re-circulation (A. GROSS et al. (2015) [33])	41
3.6	Exemples de clarificateur à flottation à air dissous utilisant un pré-traitement par coagulation-floculation (figure de gauche : M. A. MUSA et al. (2021) [62]; figure de droite : J RUBIO et al. (2002) [63])	43
3.7	Système typique de réacteur à biofilm sur substrat mobile (MBBR)(WJW Foundation (2018) [46])	43
3.8	Schéma d'un système de désinfection par ultra-violet (UV)(WJW Foundation (2018) [46])	47
3.9	Caractéristiques principales d'une colonne de fractionnement de la mousse (T. BUCKLEY et al. (2021) [69])	49
3.10	Hierarchies des sources et des usages des eaux grises en fonction de leurs qualités (NBN EN 16941-2 (2021) [3], BS 8595 : 2013 (2013) [31])	61
3.11	Production et demande en eaux grises journalières moyennes types selon NBN EN 16941-2 [3] (NBN EN 16941-2 (2021) [3])	62
3.12	Production et demande en eaux grises journalières moyennes types selon BS 8525-1 : 2010 [12] (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12])	63
3.13	Plage type de consommation d'eau selon NBN EN 16941-2 [3]	65
3.14	Plage type de demande en eau selon NBN EN 16941-2 [3]	68
4.1	Vue aérienne du quartier (GOOGLE MAPS (2023) [84])	78
4.2	Système « Hydraloop » de réutilisation des eaux grises (Photo de l'auteur)	79
4.3	Système de purification (Filtre tissé classique, filtre à charbon actif et désinfection UV) de l'eau venant de la citerne d'eau de pluie (Photo de l'auteur)	79
4.4	Schéma de l'installation étudiée, et emplacement des points de prise d'échantillons . .	80
4.5	Logo échantillon (PIXEL PERFECT (s.d.) [85])	82
4.6	Référence visuelle de la couleur (clarté) d'une eau selon l'échelle « Platine-Cobalt » (Hazen) (TECNOVA HT (s.d.) [87])	85
A.1	Vue globale de la feuille "Dimensionnement" de l'Excel	93
A.2	Partie haute (zoom 1) de la feuille "Dimensionnement" de l'Excel	94
A.3	Partie du milieu (zoom 2) de la feuille "Dimensionnement" de l'Excel	95
A.4	Partie basse (zoom 3) de la feuille "Dimensionnement" de l'Excel	96
A.5	Vue globale de la feuille "Prov. des valeurs par défaut" de l'Excel	97
A.6	Partie du haut (zoom 1) de la feuille "Prov. des valeurs par défaut" de l'Excel	98
A.7	Partie du bas (zoom 2) de la feuille "Prov. des valeurs par défaut" de l'Excel	99
C.1	Exemple d'un système de réutilisation des eaux grises avec stockage (réutilisation indirecte) et appoint en eau avec surverse de type AB (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12]) . . .	102
C.2	Exemple d'un système à module compact de réutilisation des eaux grises sans stockage (réutilisation directe) et appoint en eau avec surverse de type AB (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12])	102

C.3	Exemple d'un système de réutilisation des eaux grises sans stockage (réutilisation directe) et appoint en eau avec surverse de type AB (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12]) . . .	103
C.4	Exemple d'un système de réutilisation des eaux grises sans stockage (réutilisation directe) et appoint en eau avec surverse de type AA (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12]) . . .	103
C.5	Exemple d'un système de réutilisation des eaux grises et des eaux de pluie combinées, avec un seul réservoir (mélange des eaux) et appoint en eau avec surverse de type AA (BS 8525-1 : 2010 [12])	104
C.6	Exemple d'un système de réutilisation des eaux grises et des eaux de pluie combinées, avec deux réservoirs séparés (pas de mélange des eaux) et appoint en eau avec surverse de type AB (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12])	105
D.1	Dispositif de protection contre les retours d'eau, surverse de type AA (surverse total) (NBN EN 16941-2 (2021) [3])	106
D.2	Dispositif de protection contre les retours d'eau, surverse de type AB (surverse avec trop-plein non circulaire) (NBN EN 16941-2 (2021) [3])	107

Liste des tableaux

1.1	Utilisations potentielles de l'eau de pluie (S.A Aquawal (2006) [13])	13
3.1	Vue d'ensemble des réglementations et des <i>guidelines</i> de différents pays, pour la réutilisation des eaux grises dans le résidentiel unifamilial	24
3.2	Proposition de qualités d'eau pour les systèmes de réutilisation des eaux grises traitées en Belgique	29
3.3	Types d'eaux grises, leurs sources et contaminants	30
3.4	Paramètres physiques et chimiques des eaux usées domestiques et eaux grises, d'après une synthèse de la littérature de ANSES (2015) [29]	31
3.5	Caractéristiques micro-biologiques des eaux grises, d'après une synthèse de littérature	31
3.6	Caractéristiques des eaux grises utilisées pour la certification des systèmes connectés selon NSF/ANSI 350 - 2022 [28]	32
3.7	Types de membrane et quelques caractéristiques	36
3.8	Pourcentage de réduction de différents paramètres définissant la qualité de l'eau selon le traitement utilisé, d'après une synthèse de la littérature	54
3.9	Provenance des valeurs types pour la <u>production</u> d'eaux grises des équipements d'eau sanitaire	67
3.10	Provenance des valeurs par défaut pour la <u>demande</u> en eaux grises des équipements d'eau sanitaire	70
3.11	Exemple d'interprétation des résultats du contrôle bactériologique selon la série de normes BS 8525 (NBN EN 16941-2 (2021) [3])	75
3.12	Exemple d'interprétation des résultats du contrôle physico-chimique selon la série de normes BS 8525 (NBN EN 16941-2 (2021) [3])	75
3.13	Calendrier d'inspection et d'entretien des systèmes de réutilisation des eaux grises recommandé par la norme BS 8525-1 : 2010 [12] en l'absence d'information du fabricant. (BS 8525-1 : 2010 [12])	77
4.1	Descriptions et emplacements de la prise d'échantillons en fonction du type d'eau testée	81
4.2	Résultats des analyses de l'eau de la maison de Grimbergen	83
4.3	Vérification de la conformité des résultats de l'analyse de l'eau suivant la proposition de qualités d'eau pour les systèmes de réutilisation des eaux grises traitées en Belgique	84

Introduction

L'eau, communément appelée l'or bleu, est une ressource vitale pour l'humanité depuis toujours. L'augmentation des épisodes de sécheresse due au réchauffement climatique a renforcé la nécessité de préserver cette ressource précieuse et de l'utiliser de manière rationnelle, en particulier l'eau potable. En Belgique, la plupart des foyers utilisent de l'eau potable pour toutes les tâches nécessitant de l'eau, alors que de nombreuses activités ne requièrent pas une qualité d'eau aussi élevée. Par exemple, la chasse des WC, le lavage du linge ou encore l'arrosage du jardin peuvent être effectués avec de l'eau non potable. Il est donc possible de réduire la consommation d'eau potable en utilisant d'autres types d'eaux. La réutilisation des eaux usées qui ne contiennent pas de matières fécales, appelées eaux grises, semble être l'une des alternatives les plus prometteuses. Ces eaux usées sont encore de qualité acceptable pour être traitées facilement et réutilisées, contrairement aux eaux noires qui contiennent des matières fécales plus difficiles à traiter.

Toutefois, en Belgique, il est rare de trouver des maisons équipées de systèmes de réutilisation des eaux grises. Cela est dû en partie au fait que les systèmes traditionnels sont coûteux, encombrants et souvent dimensionnés pour accepter de grands volumes d'eau, ce qui ne convient pas aux maisons unifamiliales. Toutefois, des alternatives plus compactes et moins onéreuses, mieux adaptées aux maisons unifamiliales, font leur apparition sur le marché.

Cependant, étant donné que ces technologies sont relativement nouvelles en Belgique, peu d'informations sont disponibles tant au niveau de la réglementation que des normes. Il reste donc encore de nombreuses inconnues à élucider quant à l'utilisation de ces systèmes, ainsi qu'à la réutilisation des eaux grises en général. Tout cela représente un frein au développement et à la démocratisation de tels systèmes dans les maisons unifamiliales belges.

Ce constat suscite le développement d'études plus approfondies sur la question, dont ce travail de fin d'études (TFE), en se concentrant sur les systèmes compacts de réutilisation des eaux grises pour les maisons unifamiliales.

Ce TFE a donc pour objectif de contribuer à combler les lacunes dans les réglementations belges en matière de réutilisation des eaux grises, en particulier les systèmes compacts. Pour ce faire, il déterminera des qualités d'eau requises et fournira des informations sur les systèmes de traitement existants, leur dimensionnement, stockage et installation. De plus, celui-ci vise à créer un guide de bonnes pratiques et un outil Excel de dimensionnement pour aider les entrepreneurs et installateurs à dimensionner et installer les systèmes compacts de réutilisation des eaux grises dans les maisons unifamiliales. Le but ultime de ce travail serait d'aider à la démocratisation et au déploiement de ces systèmes dans les ménages belges.

Pour atteindre ces différents objectifs et apporter les informations nécessaires à la réalisation de ce guide de bonnes pratiques, trois outils ont été utilisés. Premièrement, une recherche bibliographique approfondie portée sur les réglementations, normes et articles scientifiques relatifs à la réutilisation des eaux grises a été réalisée. Deuxièmement, un sondage en ligne a été mené pour obtenir les opinions d'installateurs et d'entrepreneurs quant à la réutilisation des eaux grises. Troisièmement, une visite sur place avec prise d'échantillons a été effectuée afin de comprendre le fonctionnement d'une installation de réutilisation des eaux grises dans une maison unifamiliale et de pouvoir comparer la théorie étudiée dans ce travail avec la réalité du terrain.

Ce travail est divisé en cinq parties principales, chacune comportant plusieurs sous-parties.

La première partie expose le contexte dans lequel ce TFE a été réalisé. Il commence par une brève présentation du centre Buildwise, hôte de la réalisation de ce TFE, puis aborde le concept de la réutilisation des eaux grises et son intérêt. Une recherche sur l'état des réglementations actuelles sur la réutilisation des eaux grises en Belgique est également présentée. Enfin, les différents objectifs du TFE sont précisés et clôturent cette partie.

La deuxième partie, plus concise, présente la méthodologie et les moyens utilisés pour réaliser ce TFE.

La troisième partie est de loin la plus conséquente. Elle présente l'ensemble des résultats et discussions de ce travail. Elle commence par présenter le sondage réalisé en ligne ayant permis de récolter des retours de terrains auprès d'entrepreneurs et installateurs travaillant dans le domaine de l'eau. Ensuite, une étude des qualités d'eau pouvant être utilisées en fonction de leur usage est développée, suivie d'une proposition de solution pour la Belgique. Cette partie se poursuit avec une étude des différents modes de traitement présents dans les systèmes de réutilisation des eaux grises et le stockage de ces eaux. Un point sur le dimensionnement est ensuite abordé, dans lequel l'Excel de dimensionnement est présenté. Enfin, deux sous-parties consacrées à l'installation, la mise en service, le suivi et l'entretien de ces systèmes sont présentés.

La quatrième partie est consacrée à la visite d'une installation unifamiliale de réutilisation des eaux grises utilisant un système « Hydraloop ». Le système y est brièvement décrit et les résultats de l'analyse des échantillons prélevés y sont présentés. Ces résultats sont ensuite comparés avec les recherches et résultats effectués tout au long de ce travail.

La cinquième et dernière partie conclut ce travail en rappelant et résumant les différents résultats obtenus et met en lumière les différentes perspectives que ce travail apporte.

1 Contexte

Dans cette partie, sont présenté le contexte dans lequel s'inscrit ce TFE et l'entreprise responsable du projet. Le concept d'eaux grises, leur réutilisation et la réglementation actuelle en vigueur à ce sujet seront ensuite décrits. Cette partie est clôturée par l'exposé des objectifs du TFE.

1.1 Le centre Buildwise

Ce TFE a été réalisé à la demande du laboratoire des technologies de l'eau du centre Buildwise. Anciennement dénommé « Centre Scientifique et Technique de la Construction », celui-ci a été créé en 1959. Il trouve son origine dans l'arrêté-loi De Grootte du 30 janvier 1947. Cet arrêté-loi a pour objectif de promouvoir la recherche appliquée et d'améliorer la compétitivité du secteur de la construction. Il confère à Buildwise un statut particulier, à l'instar de sept autres centres collectifs de recherche et d'information similaires, spécialisés chacun dans un secteur, tels que celui de la construction routière (CRR), des industries du ciment (CRIC) ou encore du bois (CTIB-WOOD.BE). Ce statut légal particulier oblige les entreprises du secteur concerné à adhérer au centre et à le financer [1].

Trois missions régissent l'activité de Buildwise. La première, "**Développer**", consiste à mener des recherches scientifiques et techniques au profit des membres de Buildwise. Ces recherches se doivent innovantes et prénormatives. Ensuite, il a pour mission d'"**Informer**". C'est à dire, de diffuser les résultats de ses recherches, ainsi que d'assister les membres au niveau technique et organisationnel. Sa dernière et troisième mission est d'"**Innover**". Elle a pour objectif de contribuer à l'innovation et au développement du secteur de la construction [1]. C'est dans le cadre de ces missions que ce TFE prend place.

En sa qualité de centre de recherche « De Grootte » pour le secteur de la construction, Buildwise est essentiellement financé par les entreprises de construction, qui en sont membres statutaires. En 2021, le centre comptait 101.721 affiliés [2].

Actuellement, Buildwise suit un nouveau plan intitulé "ambitions 2025". Ces trois ambitions sont les suivantes [1] :

1. « l'Approche Métier, priorité aux besoins du terrain » [1] : Il s'agit d'aider les entreprises dans leurs demandes concrètes afin d'améliorer leurs connaissances technologiques et de gestion d'entreprise. Pour cela, Buildwise développe des outils et applications accessibles au plus grand nombre.
2. « le Green Deal, les opportunités de la transition verte » [1] : Il s'agit ici de saisir et de soutenir toutes les opportunités de développement en matière de réduction de la consommation d'énergie.
3. « la Construction 4.0, la clé de l'avenir » [1] : Les nouvelles technologies numériques sont des atouts que la construction doit apprendre à exploiter afin d'améliorer sa productivité et ainsi garder sa compétitivité.

1.2 Eaux grises et réutilisation des eaux grises

Les eaux grises sont définies comme les eaux usées ne reprenant pas l'apport des flux de toilettes. Cela reprend donc l'ensemble des eaux usées sans matière fécale [3, 4, 5, 6] ; environ 65% de la production d'eaux usées [4, 7]. Ces eaux grises sont parfois aussi appelées eaux ménagères [3], et proviennent essentiellement de lave-vaisselles, machines à laver, éviers, douches et baignoires. Leur composition est variée et découle du mode de vie, des installations et des conditions climatiques [3, 4, 5, 6]. Les caractéristiques des eaux grises seront discutées plus en détail dans la suite de ce travail (voir chapitre 3.3).

La réutilisation des eaux grises est aujourd'hui une question et un enjeu cruciaux [4, 5, 6, 7, 8]. En effet, la pénurie d'eau est un défi majeur d'ampleur planétaire qui touche déjà de nombreux pays, y compris en Europe (voir figure 1.1) [8]. D'ici cinquante ans, on estime qu'environ 40% de la population mondiale pourrait faire face à une pénurie aiguë d'eau [4]. La réutilisation de ces eaux permettrait de faire face partiellement à cette problématique. Par ailleurs, les ressources d'eau potable sont de plus en plus exposées à la pollution. La hausse de la population mondiale et la croissance continue de l'activité économique, en particulier industrielle, mettent également sous pression les quantités disponibles [4, 5, 8]. Il en découle une situation critique à résoudre : les ressources diminuent mais la demande augmente [4, 5].

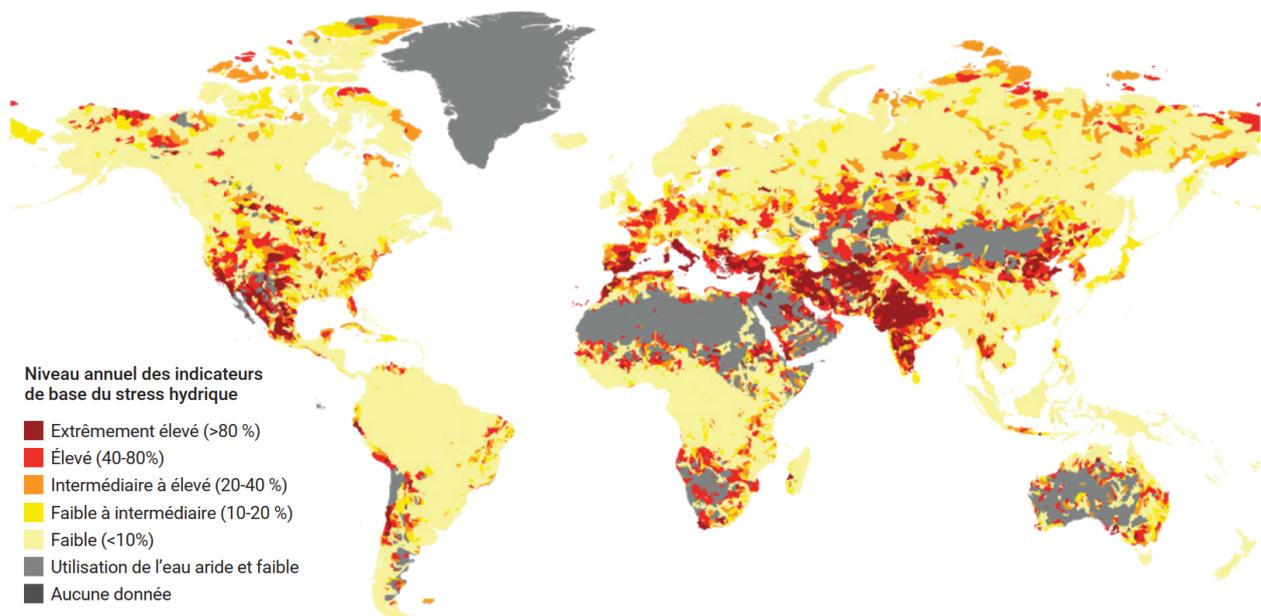


FIGURE 1.1 – Carte mondiale des niveaux de référence annuels du stress hydrique (UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (2021) [9])

Comme le stipule un rapport de la Commission européenne en 2014 sur la réutilisation de l'eau en Europe [8], l'organisation mondiale de la santé (OMS) a reconnu en 2006 que les principaux moteurs de la réutilisation des eaux usées dans le monde sont les suivants [8] :

- L'augmentation de la pénurie d'eau et du stress hydrique¹ ;
- L'augmentation de la population et les problèmes de sécurité alimentaire qui en découlent ;
- L'augmentation de la pollution environnementale due à l'élimination inadéquate des eaux usées ;
- Une reconnaissance croissante de la valeur des ressources des eaux usées, des excréments et des eaux grises.

Il est donc nécessaire et urgent de trouver des alternatives afin d'économiser l'eau potable. La réutilisation des eaux grises en est une. Cependant, ces eaux contiennent des éléments potentiellement dangereux pour la santé et pour l'environnement. Il est donc souvent indispensable de les traiter avant réutilisation [4]. C'est pourquoi la réutilisation des eaux grises est favorisée par rapport à celle des eaux usées. Ces dernières comportant des matières fécales sont plus difficiles à traiter [4, 5].

1. « Également appelé "pénurie d'eau", voire "rareté de l'eau" dans les cas les plus extrêmes, le stress hydrique est une situation critique qui surgit lorsque les ressources en eau disponibles sont inférieures à la demande en eau. » [10]

Le plaidoyer précité de la Commission européenne en faveur de la réutilisation de l'eau publié en 2014 [8] est soutenu depuis 2021 dans l'Union européenne (UE) par la nouvelle norme NBN EN 16941-2 [3] « *Réseaux d'eau non potable sur site - Partie 2 : Systèmes pour l'utilisation des eaux grises traitées* » [3].

Ce travail se base sur cette norme de traitement de la réutilisation des eaux grises pour des applications non-potables. Il se concentre dès lors sur les applications de réutilisations non-potables des eaux grises traitées. Cela concerne la chasse des toilettes, l'arrosage du jardin, le lavage du linge et le nettoyage [3]. Il sera vu que si la norme apporte des réponses quant à la réutilisation des eaux grises en UE, elle reste toutefois incomplète sur de nombreux points [3].

Récemment, en janvier 2023, l'UE a exprimé sa volonté de lancer un nouveau projet appelé « Blue Deal ». Celui-ci fait écho au désormais connu projet : le « Green Deal ». L'objectif du « Blue Deal » est de faire face aux challenges actuels de la crise de l'eau à venir. Le comité européen social et économique (EESC) souhaite proposer, en cette année 2023, des solutions concrètes quant à l'accès à l'eau potable, la gestion durable de l'eau et l'impact économique de ce Blue Deal [11]. Ce projet en cours confirme, si cela était encore nécessaire, l'intérêt et le sens de ce travail, en soulignant l'importance de se pencher sur la réutilisation des eaux grises afin d'économiser l'eau douce.

L'installation de systèmes de traitement et de réutilisation des eaux grises est peu répandue en Belgique, en particulier dans les maisons unifamiliales. Les systèmes traditionnels s'avèrent coûteux et encombrants. De plus, ces systèmes sont souvent dimensionnés pour accepter de grands volumes d'eau et ne conviennent généralement pas à un usage unifamilial. Cela représente un frein au développement et à la démocratisation de la réutilisation des eaux grises. Toutefois, des alternatives compactes et moins onéreuses, plus adaptées aux maisons unifamiliales, apparaissent sur le marché. Étant donné que ces systèmes, ainsi que la réutilisation des eaux grises en général, sont relativement nouveaux en Belgique, de nombreuses inconnues à leur sujet restent à élucider. Un sondage a été mené à ce propos et sera développé dans la suite de ce travail (voir 3.1). Face à ces inconnues et aux demandes croissantes des entrepreneurs et des concepteurs, Buildwise a décidé de mener cette recherche à ce sujet, ce qui va permettre le lancement de futurs projets, dont notamment le projet « RecyBeau » (call Win4collective en Wallonie) porté par « Buildwise » et « CEBEDEAU » qui a pour objectif de créer un cadre et des connaissances collectives pour le développement et la diffusion de technologies novatrices de valorisation de l'eau de pluie et des eaux grises. Ce TFE, se concentrera exclusivement sur les systèmes compacts de réutilisation d'eaux grises dans les maisons unifamiliales.

1.3 Réglementation actuelle concernant la réutilisation des eaux grises

Comme expliqué précédemment, les eaux grises traitées sont principalement réutilisées pour alimenter les chasses d'eau de toilette, les machines à laver, ainsi que pour des activités à l'extérieur de la maison (arrosage du jardin, lavage de la voiture...).

Actuellement, en Belgique, aucun cadre précis ne permet de définir si une eau grise traitée peut être réutilisée pour l'une des applications précitées. En effet, seule la norme européenne NBN EN 16941-2 [3] suggère des qualités d'eau à atteindre en fonction de l'usage qui va être fait de l'eau grise traitée, reprises de la norme britannique BS 8525-1 : 2010 [12].

Ci-après sont brièvement présentées la réglementation de l'UE et la situation en Belgique, d'abord du point de vue fédéral et ensuite du point de vue des trois régions du pays.

En Union européenne (UE)

Actuellement, hormis l'eau destinée à l'irrigation agricole et à la consommation humaine, aucune réglementation précise ne définit la qualité d'eau nécessaire pour un usage domestique.

En matière d'irrigation agricole, le règlement (UE) 2020/741 définit précisément les exigences minimales applicables à la réutilisation de l'eau. Afin d'atteindre les exigences requises, ces "eaux réutilisables" issues des eaux grises doivent être traitées en fonction de leur qualité initiale (directive 91/271/CEE). Il existe également une réglementation (directive 2006/7/CE) définissant les seuils de qualité de l'eau destinée à la baignade.

La qualité de l'eau destinée à la consommation humaine (régie par la Directive 2020/2184 en UE) ne sera pas discutée étant donné que dans l'optique de ce travail, une eau atteignant un tel niveau de qualité n'est pas nécessaire.

Plusieurs pays membres de l'UE disposent de leurs propres normes de réutilisation de l'eau. Certains les ont intégrées dans leur législation nationale, notamment la France, l'Italie et l'Espagne [8]. Par ailleurs, en tant que membres de l'UE, ces pays doivent conformer leurs législations respectives aux règles et principes énoncés dans ce domaine par les directives de l'UE. Il en découle que l'utilisation de ces législations, en particulier dans ce travail, garanti en principe que les directives européennes sont respectées.

Belgique

Au niveau de la Belgique, seules les directives européennes déjà énoncées ci-dessus s'appliquent. Il n'existe actuellement aucune réglementation plus stricte que ces dernières au niveau national.

Wallonie

Aquawal (Union professionnelle des opérateurs publics du cycle de l'eau en Wallonie) a rédigé une étude sur l'utilisation des eaux de pluie, où sont définis ses usages potentiels. Ainsi, l'eau de citerne classique devrait être réservée aux usages extérieurs, à l'entretien du logement et au rinçage des toilettes. Par contre, l'utilisation de cette eau pour le rinçage du linge et pour l'hygiène corporelle est déconseillée [13] (voir tableau 1.1).

Poste	Utilisation de l'eau de pluie
Usages extérieurs (jardin, voiture...)	Oui
Entretien du logement	Oui
WC	Oui
Lessive	Peu recommandé
Hygiène corporelle	Non
Vaisselle	Non
Boisson ou alimentation	Non

TABLEAU 1.1 – Utilisations potentielles de l'eau de pluie (S.A Aquawal (2006) [13])

La dite « eau de citerne classique » s'apparente ici à une eau de pluie dont le traitement est basique et ne concerne pas une potabilisation [13]. Elle ne peut être assimilée à une eau sortant d'un système de traitement d'eaux grises. Par conséquent, il faut constater qu'il n'existe actuellement en Wallonie aucune règle sur la qualité des eaux grises.

En ce qui concerne l'évacuation des eaux, le « Code de l'eau du 3 mars 2005 (partie réglementaire) Art.R.277 §1., §3. et §5. » [14] stipule que si un réseau d'égouts est prévu dans la rue, les eaux usées domestiques doivent obligatoirement y être évacuées. Par conséquent, même si une station de traitement individuelle est installée, la législation impose que les eaux traitées en sortie soient évacuées vers les égouts. Il en découle que l'arrosage du jardin avec des eaux grises, même traitées, est interdit.

Par contre, le Code de l'eau ne semble pas interdire l'utilisation des eaux grises traitées pour des usages tels que les chasses d'eau, étant donné que ces eaux finissent par être intégrées au réseau public

d'égouttage après leur réutilisation. Il est donc possible d'utiliser les eaux grises traitées pour différents usages, tant que l'eau est finalement évacuée vers le réseau public d'assainissement lorsqu'il est présent dans la rue.

Des exceptions peuvent être envisagées lorsqu'aucun d'égouttage public n'est présent et que les coûts de l'équipement d'assainissement (par exemple, une fosse septique) sont disproportionnés par rapport au coût environnemental du rejet dans la nature des eaux usées non traitées. Cependant, il reste obligatoire de rejeter les eaux usées via le système mis en place (par exemple, un système d'infiltration).

De plus, pour les nouvelles constructions, il est obligatoire de séparer les eaux pluviales des eaux usées. Cela signifie qu'il est interdit, pour l'instant, d'utiliser un seul réservoir pour les eaux grises traitées et les eaux pluviales.

Il est important de noter que ces différentes règles du Code de l'eau restent sujettes à interprétation, car elles sont quelque peu floues et ne font pas de distinction entre eaux grises traitées et non traitées. Pourtant ces eaux ont des qualités radicalement différentes, comme le montrera la suite de ce travail.

Flandre

En Flandre, pour ce qui concerne l'évacuation et la séparation des eaux usées et des eaux de pluie, la législation VLAREM II (Vlaams Reglement betreffende de Milieuvergunning) reprend des règles relativement similaires au Code de l'eau wallon.

Si un réseau d'égouts est présent dans la rue, les eaux usées doivent y être évacuées, même si une station de traitement individuelle est installée. L'utilisation des eaux grises traitées pour l'arrosage du jardin est interdite pour les mêmes raisons. L'utilisation de celles-ci pour d'autres usages est donc autorisée si elles sont finalement évacuées vers le réseau public d'assainissement. De plus, il est obligatoire de séparer les eaux pluviales des eaux usées. Le stockage commun de ces eaux est donc aussi interdit.

Région de Bruxelles-Capitale

La région de Bruxelles-Capitale suit elle aussi les réglementations européennes concernant la qualité d'eau de réutilisation dans le ménage. Aucune autre règle que celle sur la qualité des eaux de baignade et d'irrigation agricole n'existe concernant l'utilisation d'eau non-potable.

1.4 Objectifs du TFE

Ce bref aperçu des réglementations conduit à constater que la Belgique et ses entités régionales ne disposent pas (encore) de dispositions réglementaires précises et exhaustives quant aux qualités d'eau requises pour les diverses réutilisations possibles des eaux grises. Ce TFE a pour objectif de participer au comblement de ces lacunes.

Comme déjà exposé, ce projet est également issu d'une demande de Buildwise ; de nombreux installateurs et entrepreneurs recherchent davantage d'informations concernant la réutilisation des eaux grises. Différents systèmes existent à l'heure actuelle notamment les systèmes compacts (voir partie 1.2) et sont de plus en plus demandés. Dès lors, outre la capacité à déterminer les qualités d'eau requises, il est nécessaire de disposer davantage d'informations concernant les systèmes de traitement d'eau existant, leur dimensionnement, stockage et installation.

Ce TFE a pour ambition d'apporter et de préciser les informations manquantes dans la norme NBN EN 16941-2 [3] afin de permettre la création d'un guide de bonne pratique pour le dimensionnement et l'installation des systèmes compacts unifamiliaux de réutilisation des eaux grises. De plus, ce TFE a pour objectif de produire un outil Excel de dimensionnement de ces systèmes (voir annexe A) qui viendrait en aide aux entrepreneurs confrontés à ces questions.

2 Méthode

Afin d'apporter les résultats nécessaires à la réalisation d'un guide de bonne pratique basé sur la norme NBN EN 16941-2 [3] ainsi que sur une série d'autres normes pertinentes en Belgique, une combinaison de trois outils a été utilisée :

1. Une recherche bibliographique approfondie ;
2. Un sondage (en ligne) ;
3. La visite d'une installation de traitement des eaux grises dans une maison unifamiliale.

La recherche bibliographique approfondie a été menée pour identifier les principales réglementations et normes européennes et belges relatives à la réutilisation des eaux grises. Les sites web des différents pays voisins de la Belgique ont également été consultés afin d'obtenir un point de comparaison. Une recherche scientifique a été menée sur des bases de données telles que "Scinapse" [15] et "ScienceDirect" [16] afin de trouver différents articles pertinents. Le logiciel de gestion de références bibliographiques "Jabref" [17] a été utilisé pour gérer la bibliographie, trier les articles et générer les références bibliographiques de ce travail.

Le sondage en ligne a, quant à lui, été mené pour collecter des données sur la perception des participants quant à la réutilisation des eaux grises en Belgique. Ce sondage a permis d'obtenir des réponses d'un échantillon de la population belge travaillant dans le domaine de la réutilisation des eaux grises. Les résultats obtenus ont été analysés de manière qualitative pour compléter l'étude bibliographique (voir point 3.1).

Une visite d'une installation de réutilisation des eaux grises a été organisée pour comprendre le fonctionnement de ce type de système. Cette visite a permis d'approfondir les différents aspects pratiques de la réutilisation des eaux grises et d'identifier au mieux les défis associés à la mise en place d'un tel système.

Pendant l'élaboration de ce TFE, chaque partie a été rédigée en suivant un plan détaillé. L'un des principaux défis rencontrés a été de limiter l'étendue du travail au vu du grand nombre d'articles pertinents existant sur le sujet. L'aide de différentes personnes travaillant dans le milieu et ayant déjà réalisé des travaux de recherche a permis de sélectionner au mieux les articles et les normes pertinents pour le sujet initial de ce travail. Les articles sélectionnés ont été triés par niveau de pertinence dans le logiciel "Jabref". Ils ont ensuite été classés par ordre de grandeur (de 1 à 5) et par catégorie (qualité de l'eau, traitement des eaux, stockage, dimensionnement...). Cette organisation des sources facilite leur utilisation ultérieure.

La norme européenne d'application en Belgique NBN EN 16941-2 [3], sur laquelle s'appuie ce TFE, a été établie principalement sur la base de la norme britannique BS 8525 composée de 2 normes :

1. « *BS 8525-1 :2010 : Greywater systems - Code of practice* » [12] ;
2. « *BS 8525-2 :2011 : Greywater systems - Domestic greywater treatment equipment. Requirements and test methods* » [18].

La première norme britannique, BS 8525-1 : 2010 [12], concerne la réutilisation générale des eaux grises, tandis que la seconde, BS8525-2 : 2011 [18], est spécifique aux systèmes préfabriqués de réutilisation des eaux grises, assemblés ou non sur place. C'est sur la première norme britannique (BS 8525-1 : 2010 [12]) que se base principalement la norme européenne d'application en Belgique, NBN EN 16941-2 [3].

Étant donné que la norme européenne qui régit ce travail (NBN EN 16941-2 [3]) se fonde sur ces deux normes britanniques, ces dernières sont particulièrement pertinentes pour ce TFE. Elles seront régulièrement utilisées pour expliquer et étudier les différents sujets abordés dans ce TFE.

3 Résultats et discussions

Dans cette partie, sont présentés les résultats du sondage, de la recherche bibliographique relative aux systèmes de réutilisation des eaux grises ainsi que les résultats issus de la visite d'une installation compacte dans une maison unifamiliale. Ces différents résultats seront, à chaque fois directement discutés et interprétés.

3.1 Sondage

Dans le cadre de ce TFE, un sondage sur les systèmes de réutilisation des eaux grises, et notamment les systèmes compacts (voir chapitre 1.2) a été réalisé. Ce sondage a été initié à la suite d'une demande de Buildwise qui constate que de nombreux installateurs, concepteurs et entrepreneurs (belges) souhaitent obtenir plus d'informations sur ces systèmes. Il s'agit au travers de ce sondage :

- D'obtenir les premiers retours d'expériences des utilisateurs, des concepteurs et des installateurs de ces systèmes ;
- De comprendre les tendances générales du marché actuel de ces systèmes, ce qui est utilisé actuellement sur le terrain ;
- De cerner les attentes et les besoins des personnes concernées.

À partir des résultats de ce sondage, un guide de bonne pratique pourra être construit de manière à être au plus près des demandes des installateurs et concepteurs de ces systèmes.

3.1.1 Méthode

Le sondage a été réalisé sur "Microsoft Forms" et était accessible en français et en néerlandais (question en français disponible dans l'annexe B). Il a été diffusé via une URL partagée sur plusieurs plateformes (Linkedin [19], Circular Wallonia [20]...). Tout d'abord, M. Bart Bleys, chercheur dans le laboratoire H_2O chez Buildwise, l'a publié sur LinkedIn, invitant les personnes concernées à répondre au sondage. Bart Bleys possède plus de 2000 contacts professionnels travaillant dans le milieu de l'eau sur LinkedIn. J'ai ensuite partagé moi-même ce lien sur LinkedIn. Par ailleurs, un article sur le site web de "Circular Wallonia - L'économie circulaire en Wallonie" a été rédigé le 24/03/2023, invitant les personnes à répondre au sondage via le lien Microsoft Forms [21]. Cet article a été partagé sur le réseau social LinkedIn [19] par "Circular Wallonia" [20], Bart Bleys et moi-même. Circular Wallonia compte plus ou moins 3500 followers sur LinkedIn. Pour finir, Madame Veerle Depuydt, qui travaille pour Vlakwa, l'a diffusé sur sa page LinkedIn.

Le sondage est resté ouvert du 19 mars 2023 au 9 avril 2023.

En outre, il convient de mentionner que :

- Circular Wallonia est une organisation à but non lucratif qui vise à promouvoir l'économie circulaire en Wallonie. Elle a pour objectif de sensibiliser les entreprises, les autorités et les citoyens à l'importance de la transition vers une économie plus durable et plus respectueuse de l'environnement. Circular Wallonia propose également des formations, des événements et des projets pour accompagner les acteurs wallons dans cette transition [20].
- Vlakwa, "The Flanders Knowledge Center Water", est un centre de connaissance indépendant en Flandre axé sur la promotion de la collaboration entre les gouvernements locaux, l'industrie et les universités dans le domaine de l'eau. Il soutient l'acquisition de connaissances et la valorisation internationale de la technologie de l'eau. En tant que division du groupe "VITO" (centre indépendant flamand de recherche dans le développement durable), il coordonne également des

projets de recherche et de démonstration en vue de trouver des solutions pour les défis de l'eau [22].

La diffusion du sondage à la fois sur le site Web de Circular Wallonia et sur les profils LinkedIn de Circular Wallonia et de M^{me} Depuydt de Vlakwa a permis d'atteindre un large éventail de personnes, ce qui renforce la représentativité de l'échantillon. Cependant, il convient de noter que les répondants ont participé de manière spontanée et non par invitation, ce qui signifie que seules les personnes intéressées et concernées par le thème du sondage ont répondu. Par conséquent, il existe un biais potentiel qui peut influencer les résultats du sondage dans ce sens.

Le choix de Microsoft Forms pour la réalisation du sondage est motivé par plusieurs facteurs. Premièrement, il s'agit d'un outil simple et facile d'utilisation, qui permet de créer rapidement des sondages en ligne. Deuxièmement, il offre la possibilité de personnaliser les questions et les réponses en fonction des besoins, ainsi que de suivre les résultats en temps réel. Troisièmement, l'outil permet de télécharger les résultats du sondage sous forme de fichiers Excel, ce qui facilite l'analyse des données.

Le fait que le sondage ait été proposé en version bilingue français/néerlandais permet également de toucher un public plus large, tant en Wallonie qu'en Flandre. Il était important de toucher des personnes dans ces deux régions linguistiques de la Belgique ainsi qu'à Bruxelles, car les pratiques et les normes peuvent différer selon les régions. Les données recueillies par le sondage ont été analysées à l'aide de l'outil d'analyse de données de Microsoft Forms et de Microsoft Excel.

3.1.2 Résultats

3.1.2.1 Participants

Au total, 37 personnes ont participé au sondage ; une personne est un client ayant installé chez lui un système de réutilisation des eaux grises (3%), 14 personnes sont des entrepreneurs ou des installateurs de ce type de système (35%), 21 travaillent dans un bureau d'étude (57%) et une est architecte (3%) (voir figure 3.1).

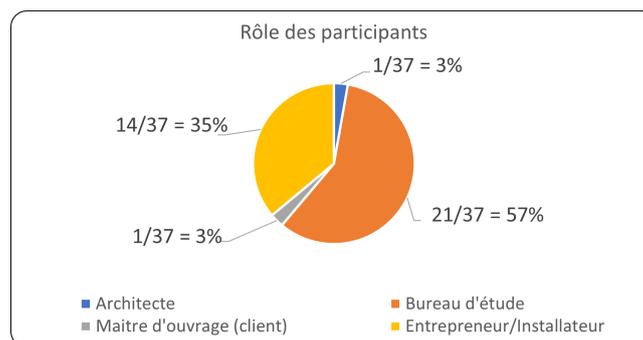


FIGURE 3.1 – Sondage : Répartition des rôles des participants

Comme le montre la figure 3.2, la majorité des répondants au sondage (69%) travaillent en Flandre. Le client a été supprimé de cette représentation graphique afin d'illustrer uniquement les participants exerçant une activité professionnelle en rapport avec la thématique de ce TFE. Il est à noter que trois personnes travaillent aux Pays-Bas.

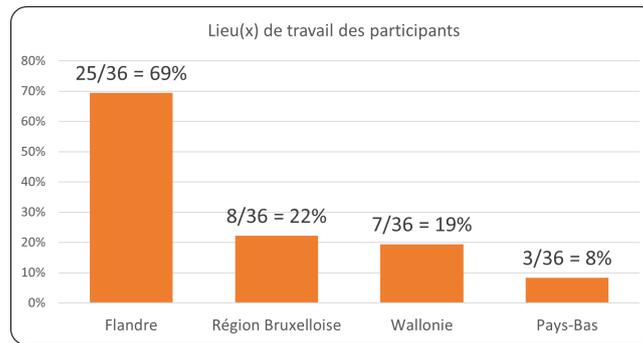


FIGURE 3.2 – Sondage : Lieu(x) d’activités professionnelles des installateurs, entrepreneurs et bureaux d’études

3.1.2.2 Connaissances et intérêts d’un système de réutilisation des eaux grises

L’analyse des résultats entrepris ici s’appuie sur les réponses données par les participants entrepreneurs/installateurs ou professionnels actifs dans un bureau d’études.

Les résultats sont affichés dans la figure 3.3. Il a été demandé aux participants d’évaluer, sur une échelle qualitative ordinaire de 1 à 10 (du plus faible au plus élevé), leurs connaissances, l’intérêt global d’un système de réutilisation des eaux grises et son intérêt financier pour le client. En matière de connaissances, les professionnels exerçant dans un bureau d’études s’attribuent une cote moyenne de $7,14 \pm 1,83$ et les entrepreneurs/installateurs une cote moyenne de $7,57 \pm 2,31$. L’intérêt financier pour un client d’installer ce type de système est évalué en moyenne à $5,73 \pm 2,81$ (bureaux d’études) et à $6,92 \pm 2,56$ (entrepreneurs/installateurs). L’intérêt global obtient quant à lui les moyennes de $6,25 \pm 2,67$ (bureaux d’étude) et de $7,82 \pm 2,09$ (entrepreneurs/installateurs).

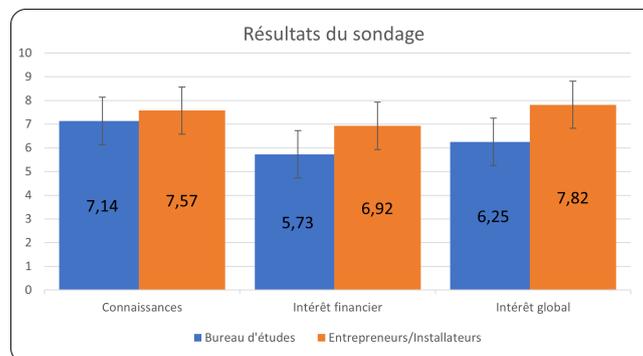


FIGURE 3.3 – Sondage : État des connaissances et intérêts des systèmes de réutilisation des eaux grises des participants

3.1.3 Discussion

Dans l’ensemble, qu’ils travaillent en bureaux d’études ou exercent en qualité d’entrepreneurs / installateurs, les participants estiment avoir une relativement bonne connaissance des systèmes de réutilisation des eaux grises (moyenne supérieure à 7/10). Il est à noter que seulement 43% des entrepreneurs / installateurs ont déjà réellement installé ce type de système. Une majorité des entrepreneurs / installateurs (93%) manifestent néanmoins leur motivation quant à leur implication future dans l’installation de ces systèmes.

Au vu de la figure 3.3, les répondants estiment que l’intérêt financier du client n’est que modéré

pour ce type d'installation. Ils justifient cela par le fait que les retours financiers ne sont souvent visibles que 10 ans après l'installation compte tenu de leur coût actuel. Certains participants mentionnent qu'un système de réutilisation des eaux grises est intéressant financièrement pour les grosses infrastructures tels que les hôtels mais pas encore pour les particuliers. *"Cela demande à l'heure actuelle un investissement important pour des économies limitées"*. Cependant, un participant mentionne l'intérêt financier grandissant de ce genre d'infrastructure pour un particulier au vu de l'augmentation future du prix de l'eau. De plus la démocratisation de ces systèmes peut aussi conduire à une diminution de l'investissement et donc une rentabilité plus rapide.

Au-delà du seul aspect de leur rentabilité, les participants ont également évalué l'intérêt global de ces systèmes. Les valeurs moyennes sont cette fois plus élevées. Les répondants considèrent que le recours à ces systèmes est à l'heure actuelle un choix plus environnemental et écologique que financier. Leur intérêt est également estimé grandissant au vu du futur et du potentiel manque d'eau potable à venir. *"Est-il nécessaire d'employer de l'eau potable pour toutes nos utilisations quotidiennes ?"* se demande un participant. Ces systèmes sont aussi intéressants lorsque la réutilisation d'eau de pluie n'est pas possible comme, par exemple, dans les appartements avec une petite surface de toit. Deux participants mentionnent que, malgré cet intérêt écologique fondamental, il est essentiel de mentionner au client le besoin de suivi du dispositif voire même de le reprendre dans le contrat avec le client.

Dans l'ensemble, les installateurs apparaissent plus enthousiastes quant à l'intérêt du système que les répondants travaillant en bureaux d'études. Cela peut être dû au fait que certains ont déjà installé ce type de système ou sont plus à même d'en rencontrer dans leur travail et d'en voir directement les avantages. De plus, il pourrait aussi être dans leur intérêt d'en placer.

Au vu des résultats du sondage, il semble essentiel de réduire les coûts d'installation des systèmes de réutilisation des eaux grises afin d'en augmenter la rentabilité et d'en démocratiser l'accès. Par ailleurs, il reste nécessaire d'approfondir et d'uniformiser les connaissances sur ces systèmes pour que leur usage se répande.

Cependant, il convient de souligner les limites du sondage. Des biais dans la conception ou la diffusion du sondage peuvent avoir affecté les résultats. Par exemple, la diffusion du sondage sur LinkedIn et dans les réseaux professionnels de l'entourage des chercheurs a pu entraîner un biais de sélection qui peut rendre les résultats moins généralisables à la population entière. Les personnes qui ont répondu au sondage sont peut-être plus enclines à utiliser ou à s'intéresser aux systèmes de réutilisation des eaux grises que la moyenne de la population.

De plus, bien que nous ayons essayé de diffuser le sondage de manière équilibrée en français et en néerlandais, il est possible que cela ait affecté les résultats en fonction de la langue de préférence des répondants. De fait, il a été constaté que 78% des répondants au sondage s'exprimaient en néerlandais contre 22% en français. Enfin, le nombre de répondants était également limité (37 répondants), bien que le sondage ait été diffusé auprès d'un large échantillon d'utilisateurs, de concepteurs et d'installateurs de systèmes de réutilisation des eaux grises en Belgique. Le faible ratio diffusion / répondants ne permet pas d'affirmer que les indices calculés au terme de l'enquête sont représentatifs au sens strict du terme. Ce taux réduit de réponses par rapport à l'ampleur de la diffusion témoigne sans doute aussi de l'intérêt ressenti et de la diffusion effective encore limités des systèmes étudiés ; il est encore possible que la diffusion elle-même ne représentait pas une population suffisamment grande et variée pour généraliser les résultats à l'ensemble de la profession et des aires géographiques visés.

Malgré ses limites, notre enquête a fourni des informations indicatives sur les tendances du marché actuel, les attentes et les besoins des personnes concernées et les problèmes rencontrés lors de l'ins-

tallation ou de l'utilisation des systèmes de réutilisation des eaux grises. Ces résultats peuvent être utiles pour les entreprises et les décideurs qui cherchent à améliorer ou à développer des systèmes qui répondent aux besoins des utilisateurs et aux exigences de durabilité.

En conclusion, les résultats de notre enquête ont montré que les participants, qu'ils soient entrepreneurs/installateurs ou travailleurs dans un bureau d'études, ont une connaissance relativement bonne des systèmes de réutilisation des eaux grises. Cependant, il convient de noter que cette conclusion ne peut pas être généralisée en raison des biais présents parmi les répondants, étant donné que la majorité d'entre eux sont des personnes familiarisées avec ces systèmes qui ont répondu à l'enquête.

Bien que l'intérêt financier pour les clients ne soit pas très élevé selon les participants, l'intérêt global de ces systèmes est reconnu, notamment en raison de leur impact environnemental et de la préoccupation croissante quant à la rareté de l'eau potable. Les entrepreneurs/installateurs se sont montrés plus enthousiastes que les participants travaillant en bureaux d'études quant à l'intérêt de ces systèmes. Le sondage a mis en évidence la nécessité d'en démocratiser l'accès et d'uniformiser les connaissances pour en étendre l'utilisation. Ces résultats confortent l'utilité de la thématique choisie pour ce TFE.

Pour approfondir davantage, il serait pertinent de mener une recherche parallèle sur l'aspect financier de ces systèmes, étant donné que ce travail ne l'aborde pas. Cette recherche pourrait notamment aborder leur rentabilité et leur temps de retour sur investissement, afin de soutenir l'objectif global de ce TFE, qui est de promouvoir la démocratisation de ces systèmes.

3.2 Qualité de l'eau en fonction de son utilisation

Selon la norme NBN EN 16941-2 [3] : un système de réutilisations des eaux grises se compose généralement de quatre éléments fonctionnels principaux :

1. La collecte ;
2. Le traitement ;
3. Le stockage ;
4. La distribution.

Les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12] stipulent également que le choix du système idéal de traitement des eaux grises pour un projet repose sur le dimensionnement adéquat de celui-ci. Il s'agit de déterminer le type et la capacité de traitement ainsi que la capacité de stockage les plus adaptés au projet. Pour réaliser correctement le dimensionnement, les facteurs-ci dessous sont à prendre en compte dans la démarche de calcul [3] :

- « Les exigences en matière de qualité de l'eau pour l'usage prévu » ;
- « Le taux de traitement à capacité maximale » ;
- « La demande et la production, basées sur » :
 - « Le nombre et la nature des installations prévues, à la fois présentes et futures »,
 - « Le volume et les caractéristiques d'utilisation de ces installations »,
 - « Les valeurs de rejets des eaux grises des installations raccordées en vue de leur utilisation ».

Ces facteurs cités dans la norme NBN EN 16941-2 [3] ont guidé la rédaction de ce travail. Ces différents points sont abordés dans cette section. Il y est succinctement abordé, la qualité d'eau re- quise, les caractéristiques des eaux grises, les types de traitements et la détermination du mode de traitement, le stockage des eaux traitées, le dimensionnement d'un système de réutilisation des eaux grises, l'installation et la mise en service d'un tel système et enfin son suivi et son entretien.

3.2.1 Recherche bibliographique et résultats

Afin d'obtenir un aperçu des différentes règles existantes dans le monde concernant les qualités minimales requises pour l'eau grise traitée réutilisée, le tableau suivant 3.1 a été établi. Ce tableau s'appuie sur des recherches en matière de réglementation, norme et *guideline* dans la littérature. Il offre une vue d'ensemble des réglementations et des *guidelines* de différents pays en matière de réutilisation des eaux grises dans le résidentiel unifamilial.

Les valeurs *guidelines* sont des recommandations non contraignantes pour établir des normes de référence dans un domaine. Elles sont souvent élaborées par des experts et peuvent être suivies vo- lontairement. Les réglementations, en revanche, sont des normes juridiquement contraignantes et obli- gatoires pour les entreprises et les individus. En l'absence de réglementations, les valeurs *guidelines* peuvent être utilisées pour guider les pratiques, mais les réglementations sont considérées comme plus importantes pour assurer la sécurité et la protection de l'environnement.

Paramètres	Réglementations										Guidelines				
	NSW Australie ^e	Italie	Espagne ^e	France ⁱ	Grande-Bretagne ^a (BS8525-2:2011 (résidentiels préfabriqués) ²)	Grande-Bretagne ^a (BS8525-2:2011) et UEF ^f (EN 16941-2:2021)	Allemagne	NSF 350:2022 - États-Unis ^d	ISO 30500:2018 [23] ^{e, h}	France ^j					
	Irrigation souterraine	WC et LL	Usage domestique	WC, AJ	Usage domestique	Pulv. LSP, LSE, AJ	WC, AJ	Usage domestique	WC, AJ	Usage domestique	WC, AJ	WC, AJ	LL	Usage domestique	WC, LSE sous LSP
pH		6-9,5			5-9,5	5-9,5	5-9,5		5-9,5	5-9,5	5-9,5	5-9,5	6-9	6-9	
EC (µS/cm)		<3000													
BOD ₅ (mg/L)	<20	<20											<10 <25]		<10
COD (mg/L)		<100		<60									<10 <25]		≤50
MES (mg/L)	<30	<10	<10	<15							Presque rien		<10 <30]		≤10
Turbidité (NTU)		<2			<10	<10	N/A	<10	<10	N/A	<10	<10	<5 <10]		<2 ou ³ <0,5
Tension actifs anioniques (mg/L)		<0,5 (total)													
TN (mg/L)		<15													≥70%(CR)
TP (mg/L)		<2													≥80%(CR)
Bore (mg/L)		<1													
Chlore résiduel (mg/L)	0,2<Cl<2				<2 ¹	<2 ¹	<0,5 ¹	<2 ¹	<2 ¹	<0,5 ¹	<2 ¹	<2 ¹	<2 ¹		0,1<Cl<0,5
Bromure résiduel (mg/L)					0	<5 ¹	0 ¹	<5 ¹	0	<5 ¹	0 ¹	<5 ¹			
Couleur								claire	claire	claire	claire	claire		m.n.	
Odeur														n.a.	
Film d'huile et mousse														n.d.	
COT (mg/L)															
Coliformes totaux (UFC/L)					<10	<10	<1000	<10	<10	<1000	<10	<10	<100		<5
E. coli (UFC/100mL ou NPP/100mL)		<100	n.d.	≤ 250	n.d.	<25	<25	n.d.	<25	<250	<250	n.d.	<14 <240]	<10(≥ 6RL)	n.d./100mL
Coliformes fécaux (UFC/100mL ou NPP/100mL)	<30	<10													
Nématodes intestinaux (œufs/10L)															
Entérocoques (nbre/100mL)															
Legionella pneumophelia (UFC/L)															
Coliphages MS2 (PFU/100mL)															
Phages ARN F-spécifiques (RL)															
BSR Anaérobiques (RL) ⁴															
Clostridium perfringens spores ⁴															
Ascaris stum (nbre/L)															

Sources : F. BOANO et al. (2020) [24]; ^a BS8525-2 : 2011 (2011) [18]; ^c RD 1620/2007, of 7 December (2011) [25]; ^d E Eriksson et al. (2012) [26]; ^e Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines (2005) [27]; ^f NBN EN 16941-2 (2021) [3]; ^g NSF/ANSI 350 - 2022 (2022) [28]; ^h et h ISO 30500 : 2018 (2018) [23]; ⁱ ANSES (2015) [29] et (2010) [30]; ^j ANSES (2015) [29].

Abbreviations : EC = Conductivité électrique; BOD₅ = Demande biologique en oxygène; COD = Demande chimique en oxygène; MES = Matières en suspension; TN = Azote total; TP = Phosphore total; GBT = Carbone organique total; E. coli = Escherichia coli; BSR = Bactéries sulfato-réductrices; WC = Chasse d'eau des toilettes; LSP = Lavage sous pression; AJ = Arosage du jardin; LSE = Lavage de surface extérieure (y compris lavage de voiture); LL = Lave-linge; n.d. = Non détecté; m. n. = Seulement mesuré et notifié; n.a. = Non-agressive; sdf = Sans débris flottants; pulv. = Utilisation avec pulvérisation; [] = Valeurs maximales; CR = Charge réduite; RL = Réduction logarithmique.

Notes : ¹ Lorsque du chlore ou du brome est utilisé dans le processus de traitement. ² Pour les équipements de traitement des eaux grises domestiques conditionnés et/ou assemblés sur place, ainsi que pour les équipements de traitement dont tous les composants préfabriqués sont assemblés en usine ou sur site par un fabricant et testés comme une seule unité. ³ <2 NTU au point d'usage et <0,5 NTU en entrée du réacteur ultraviolet le cas échéant | ⁴ Spores de bactéries anaérobies sulfato-réductrices (*Clostridium perfringens* fait partie de cette famille de bactérie)

TABLEAU 3.1 – Vue d'ensemble des réglementations et des guidelines de différents pays, pour la réutilisation des eaux grises dans le résidentiel unifamilial

En Belgique et en Union européenne (UE)

La norme NBN EN 16941-2 [3] relative à la réutilisation des eaux grises traitées (sur laquelle ce travail est basé), reprend dans son Annexe D des valeurs *guidelines* de certains paramètres permettant de définir la qualité des eaux grises traitées en fonction de leurs applications.

Ces valeurs *guidelines* proviennent de la série des normes britanniques BS 8525 (principalement BS 8525-1 : 2010 [12]) (voir tableau 3.1). Une différenciation entre l'application de l'eau par pulvérisation ou non y est prise en compte pour déterminer la qualité requise. En effet, la pulvérisation de l'eau présente un plus grand risque d'inhalation par les personnes autour de son point d'utilisation. Étant donné ce risque, une sécurité supplémentaire a été ajoutée en augmentant le niveau de qualité exigé pour ce genre d'application.

De plus, une troisième norme britannique s'intitulant « *BS 8595 :2013 : Code of practice for the selection of water reuse systems* » [31] contient des exemples d'usages pour lesquels les eaux grises peuvent être réutilisées.

La norme britannique BS8525-2 : 2011 [18] impose des critères de qualité de l'eau plus stricts et contraignants pour les systèmes de réutilisation préfabriqués des eaux grises, qui diffèrent légèrement des normes BS 8525-1 : 2010 [12] et NBN EN 16941-2 [3], lesquelles sont destinées à la réutilisation générale des eaux grises. Le tableau 3.1 présente ces différences de critères de qualité de l'eau.

Certains articles (tel que F. BOANO et al. (2020) [24]) classent cette norme plus stricte (BS8525-2 : 2011 [18]) comme une législation plutôt que comme *guidelines*. C'est ce choix qui a été fait dans le tableau 3.1.

Il convient de noter que les normes britanniques mentionnées ci-dessus ont été élaborées lorsque le Royaume-Uni était encore membre de l'UE. De plus, la norme belge NBN EN 16941-2 [3] s'appuie sur ces normes britanniques. Par conséquent, ces dernières sont a priori conformes à la réglementation européenne en vigueur avant le Brexit (2020).

En plus de la Belgique et de la Grande-Bretagne, d'autres pays de l'UE figurent dans le tableau 3.1. C'est notamment le cas de l'Allemagne et de la France, deux pays limitrophes de la Belgique. Cette proximité géographique est intéressante pour notre analyse car elle offre des similarités climatiques, culturelles et réglementaires.

La France distingue deux qualités d'eau en fonction de son usage. La première concerne l'utilisation domestique de l'eau pour la chasse des WC et le lavage sans pression des surfaces extérieures. La deuxième qualité définie vise uniquement l'arrosage du jardin.

L'Allemagne ne fait par contre aucune distinction entre utilisations. La qualité d'eau recommandée est valable pour tous les usages domestiques.

La France et l'Allemagne, comme la Belgique, ne disposent en fait que de valeurs guides, à l'exception du moins des exigences fixées en France en matière d'utilisation des eaux grises traitées pour l'arrosage du jardin, qui ont force réglementaire dans ce pays [29, 30]. On notera aussi que l'Allemagne figure parmi les pays de référence en matière de recherche dans le domaine de l'eau.

Bien que les Pays-Bas et le Luxembourg soient voisins de la Belgique, aucune valeur venant de ces pays n'est reprise dans le tableau 3.1. En effet, aucune des sources analysées dans le cadre de ce TFE n'y fait référence. Même le rapport de la Commission européenne sur la réutilisation de l'eau en Europe [8] et le rapport de l'ANSES sur la réutilisation des eaux grises domestiques [29] ne mentionnent pas ces pays.

Le tableau 3.1 couvre aussi l'Espagne et l'Italie, les deux pays européens les plus cités dans la littérature sur la réutilisation des eaux grises traitées [24, 4, 8, 29].

Hors Union européenne (UE)

En dehors de l'UE, d'autres normes ou réglementations définissent la qualité nécessaire en fonction de son application dans les ménages. De nombreux États ont développé des normes sur la réutilisation des eaux grises avant l'UE. Parmi eux, peuvent être citées l'Australie et les États-Unis (voir tableau 3.1). Cette avance par rapport à l'UE peut s'expliquer par une urgence plus prégnante d'y économiser l'eau potable. Ces pays subissent un stress hydrique élevé (voir figure 1.1) depuis bien plus longtemps que l'Europe. Les périodes de sécheresse, accentuées par le réchauffement climatique, y sont de plus en plus fréquentes, longues et intenses [32].

Le tableau 3.1 montre que la série de normes britanniques BS8595, la norme européenne NBN EN 16941-2 [3] et les normes australiennes (NSW) classent les qualités d'eau en fonction du niveau d'exposition et donc de l'application pour laquelle l'eau va être utilisée. En effet, comme expliqué plus haut, les normes britanniques dont s'inspire la norme européenne font la distinction entre deux types d'application : usage de l'eau avec projections ou sans projections. Ces dernières se divisent ensuite en trois usages : arrosage du jardin, chasse d'eau de toilette et machine à laver [12, 18, 31].

Les normes NSW distinguent quant à elles l'irrigation souterraine, l'irrigation de surface et la chasse d'eau de la toilette.

La norme américaine NSF/ANSI 350 - 2022 [28] prescrit enfin une distinction entre maisons unifamiliales et bâtiments résidentiels/commerciaux.

Ces trois normes nationales établissent la qualité microbienne de l'eau en utilisant des bactéries indicatrices de contamination fécale. La norme de NSW est la seule à prévoir l'option de l'irrigation en sous-sol, pour laquelle elle autorise l'utilisation de l'eau grise de faible qualité microbienne. Cette option permet d'utiliser l'eau grise pour une irrigation dans une seule habitation [33].

Il convient de noter que de nombreux systèmes compacts de réutilisation des eaux grises présents sur le marché (« Hydraloop », « Recover », « ECOVIE-Aqualoop », « Greyter ») sont certifiés selon la norme NSF/ANSI 350 - 2022 [28]. Ces différents systèmes sont étudiés plus en détails dans la suite de ce travail (voir point 3.4.5).

Des systèmes non compacts sont également certifiés selon cette norme. Il semble donc que la norme NSF/ANSI 350 - 2022 [28] soit actuellement la référence quant à la certification et à la vérification du bon fonctionnement des systèmes de réutilisation des eaux grises, y compris pour les systèmes compacts. Dans cette norme, les systèmes de traitement des eaux grises sont classés en deux groupes : classe R (résidentiel unifamilial) et classe C (résidentiel multi-familial et commercial). Dans le cadre de ce travail, seule la classe R est utile [34].

La norme BS8525-2 : 2011 [18] n'est pas la seule à se concentrer sur des systèmes préfabriqués. La norme internationale ISO 30500 : 2018 [23] est aussi dédiée spécifiquement à ce type de systèmes. Cependant, cette dernière est orientée vers les systèmes totalement déconnectés d'un réseau d'égouttage publique, ce qui n'est pas obligatoirement le cas pour les systèmes étudiés ici.

3.2.2 Discussion

Comme énoncé précédemment, l'objectif de cette recherche est d'apporter et d'éclairer les installateurs et concepteurs belges de systèmes de réutilisation des eaux grises quant aux qualités d'eau préconisées pour sa réutilisation. Cette recherche est le prélude d'une étude de plus grande ampleur qui vise à terme la rédaction de règles précises et leur mise en œuvre en Belgique sous forme soit réglementaire soit normative. D'autres projets vont être lancés dans la foulée de celui-ci, notamment RecyBeau suivant l'appel de Win4collective.

En effet, comme le montre le tableau 3.1, de nombreux pays, dont la Belgique, ne possèdent pas encore de législations dans ce domaine. Les valeurs *guideline* existantes peuvent orienter le travail des professionnels de l'eau mais elles n'ont pas fait l'objet d'une certification officielle. Les valeurs provenant de normes existantes sont, quant à elles, généralement plus sûres, sauf lorsqu'il est spécifiquement précisé qu'il s'agit de valeurs données à titre d'exemples. C'est notamment le cas dans les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12].

De plus, comme le montre le tableau 3.1, pour de nombreux paramètres les valeurs varient fortement en fonction des pays. La diversité des valeurs de référence pour un même paramètre semble témoigner d'un manque de fiabilité de ces valeurs. Il est aussi possible qu'un excès de précautions ait également conduit à les fixer à un niveau excessif, au nom de la sécurité. Dans les législations, les écarts sont beaucoup plus faibles.

Des interrogations sont à résoudre en vue d'arrêter les choix les plus adaptés pour la Belgique. D'abord, est-il préférable de se baser sur les législations des autres pays, les normes, les valeurs guides ou l'ensemble des trois ? Sur la base des informations qu'y viennent d'être évoquées, le premier choix semble le plus adéquat. Ensuite, est-il préférable de se référer aux pays géographiquement les plus proches du nôtre ou non ? S'appuyer sur des pays de l'UE apparaît en effet rassurant vu la similarité de certaines législations entre pays membres. Ce raisonnement semble encore plus pertinent s'agissant des pays voisins de la Belgique.

Le climat peut aussi être un critère pertinent pour choisir les pays auxquels se référer. En effet, les épisodes de fortes chaleurs, les sécheresses et les inondations peuvent justifier les valeurs de seuils de certains paramètres affichés dans le tableau 3.1. À cet égard, un conflit de priorités entre sécurité d'approvisionnement et sécurité sanitaire qui peut motiver deux options ou interprétations opposées sera relevé.

La priorité donnée à l'approvisionnement pourrait conduire un pays souffrant de graves sécheresses ou de fortes chaleurs à adopter des seuils plus bas afin de limiter les obstacles à la réutilisation de l'eau, et ce au détriment d'une qualité "suffisante".

A l'inverse, la priorité donnée à la sécurité sanitaire pourrait conduire ces pays à exiger le respect de seuils plus stricts pour certains paramètres (par rapport à la Belgique), considérant que des températures très élevées peuvent influencer négativement la qualité de l'eau. Ces pays ont dès lors intérêt à relever leur niveau d'exigence afin de se maintenir dans une zone à risque plus faible même en cas de dépassement des seuils à l'occasion, par exemple, d'épisodes caniculaires.

En somme, il est recommandé de privilégier les valeurs provenant de réglementations ou de normes, ainsi que celles des pays proches de la Belgique. Toutefois, il convient de noter que certaines normes, telles que les normes allemandes NSF/ANSI 350 - 2022 [28] et ISO 30500 : 2018 [23], ne font pas de distinction en terme de qualité de l'eau en fonction de son utilisation (hormis spécifier un usage résidentiel), contrairement à la norme BS 8525-1 : 2010 [12] et la norme belge NBN EN 16941-2 [3]. Cette distinction d'usage est néanmoins importante pour une réutilisation optimale des eaux grises. C'est pourquoi la proposition de qualité de l'eau pour les systèmes de réutilisation des eaux grises

traitées en Belgique (voir tableau 3.2.3) applique cette distinction d'utilisation, en prenant en compte l'ensemble des pays et normes du tableau 3.1 qui l'appliquent également.

Afin de garantir un niveau de sécurité maximal, la proposition a été construite en choisissant systématiquement, parmi les diverses valeurs identifiées dans les normes, réglementations et *guidelines* sélectionnés, les valeurs de qualité les plus strictes.

Toujours dans l'optique de réaliser une proposition la plus adéquate pour la Belgique, différentes options ont été prises lors de la construction du tableau 3.2 à partir du tableau 3.1.

Premièrement, pour les normes NSW australiennes, l'irrigation souterraine n'a pas été utilisée et l'irrigation de surface a été considérée comme équivalente à de l'arrosage de jardin avec ou sans pulvérisation [27]. Ensuite, la valeur donnée par ces normes pour le paramètre de chlore résiduel pour l'irrigation de surface sans pulvérisation n'a pas été retenue. Cette valeur entraine en contradiction avec les *guidelines* de la France, pays voisin de la Belgique, et dont les valeurs se rapprochaient davantage de celle de la norme NBN EN 16941-2 [3]. C'est donc la valeur française qui a été utilisée pour garantir une cohérence avec les normes et réglementations les plus proches de la Belgique.

Deuxièmement, les paramètres « Tensioactifs anioniques », « Phages ARN F-spécifiques », « BSR (Bactéries sulfato-réductrices) anaérobiques » et « COT (Carbone organique total) » n'ont pas été pris en considération dans la proposition belge car il n'y avait qu'une seule norme, réglementation ou *guideline* qui faisait usage de ce paramètre dans le tableau 3.1. Ces paramètres ont donc été jugés non pertinents.

Troisièmement, pour l'Espagne et la France, les valeurs du paramètre d'« E. coli » (*Escherichia coli*) pour l'alimentation des chasses d'eau n'ont pas été retenues en raison de leur extrême sévérité par rapport aux autres normes et directives. Exiger une qualité d'eau trop élevée pour les toilettes n'a pas beaucoup d'intérêt et peut réduire le potentiel de réutilisation en augmentant les coûts de traitement.

Quatrièmement, en ce qui concerne l'alimentation en eau des chasses de toilettes, la valeur française pour le paramètre de chlore résiduel n'a pas été retenue, car elle était en contradiction avec les réglementations australiennes, qui étaient plus proches des valeurs de la norme NBN EN 16941-2 [3]. C'est donc la valeur australienne qui a été utilisée pour garantir une cohérence avec les normes et réglementations les plus proches de la Belgique.

Finalement, la construction du tableau a été régie conformément à la hiérarchie d'utilisation des eaux traitées présentée dans le chapitre 3.7.2. Dès lors, si la valeur A d'un paramètre associée à un usage tolérant une qualité moindre se révèle plus stricte que la valeur B de ce même paramètre associée à un usage exigeant une qualité plus élevée, ou si aucune valeur spécifique pour ce paramètre n'est définie pour les autres types d'usages, alors cette valeur A est également assignée aux usages exigeant une qualité d'eau plus élevée.

Par exemple, pour le paramètre COD, la valeur des WC donnée par l'Italie a été appliquée à toutes les utilisations sauf à l'arrosage du jardin qui possédait sa propre valeur plus stricte, étant donné qu'aucune valeur n'était disponible pour les autres usages.

3.2.3 Qu'en retenir ?

Le tableau 3.2 a été créé à la suite de la discussion ci-dessus. Il est composé des valeurs des normes, réglementations et *guidelines* de la Belgique (UE), de la Grande-Bretagne, de l'Australie, de l'Italie, de l'Espagne et de la France. Les qualités requises ont été séparées en fonction de leur utilisation à l'instar de la norme belge (NBN EN 16941-2 [3]) et des normes britanniques (BS 8525-1 : 2010 [12]).

Afin de privilégier la sécurité, les valeurs proposées pour chaque paramètre sont les plus restrictives, hormis les exceptions motivées au point précédent.

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	<100
MES (mg/L)	<10(sdf)	<10(sdf)	<10(sdf)	<10(sdf)
Turbidité (NTU)	<2 ou ^c <0,2	<2 ou ^c <0,2	<2 ou ^c <0,2	<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.	n.d.	n.d.	n.d.
Legionella pneumophelia (UFC/L)	<10	-	-	-

Sources : NBN EN 16941-2 (2021) [3], BS8525-2 : 2011 (2011) [18], F. BOANO et al. (2020) [24], ANSES (2015) [29], RD 1620/2007, of 7 December (2011) [25], Australian Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines (2005) [27].

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; BOD₅ = Demande biologique en oxygène; COD = Demande chimique en oxygène; MES = Matières en suspension; 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 sulfite-réductrices ("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 [3].

TABLEAU 3.2 – Proposition de qualités d'eau pour les systèmes de réutilisation des eaux grises traitées en Belgique

Il est important de noter que, s'agissant d'une proposition, celle-ci n'engage en rien la responsabilité de l'auteur de l'ouvrage, de l'ECAM et de Buildwise quant aux problèmes dus à l'utilisation d'une eau de la qualité décrite ci-dessous. Il s'agit d'ordres de grandeurs pouvant permettre un pré-dimensionnement, pour lequel une seconde vérification plus poussée doit être appliquée afin de s'assurer de l'élimination de tout risque pour la santé, l'environnement et pour les équipements.

3.3 Caractéristiques des eaux grises

Il est important de connaître la qualité d'origine de l'eau afin de déterminer les traitements nécessaires pour atteindre une qualité d'eau finale. C'est pourquoi cette partie étudie les caractéristiques des eaux grises en fonction de leurs sources.

Pour rappel, les eaux grises sont les eaux usées qui ne contiennent pas de déchets provenant des toilettes. Cela comprend toutes les eaux usées domestiques à l'exception de celles contenant des matières fécales [3, 4, 5, 6].

La norme européenne NBN EN 16941-2 [3] divise les eaux grises en deux catégories. Ces catégories sont : les eaux grises « légères » et « non légères ». Les eaux grises légères se distinguent par le fait

que leur concentration en contaminants est plus faible que les eaux grises dites « non-légères ». Dans la littérature, ces eaux grises « non-légères » sont régulièrement appelées « eaux grises lourdes » ; cette dénomination sera utilisée pour la suite de ce travail [33, 35, 36, 37, 38].

Dans le cas de la norme NBN EN 16941-2 [3], les eaux de lave-linge sont considérées comme des eaux grises lourdes. Cependant, ce n'est pas systématique. Certains ouvrages les considèrent comme légères [33]. Étant donné que ce travail se base sur cette norme, les eaux de lave-linge seront considérées comme lourdes.

La différence entre les eaux grises légères et les eaux grises lourdes est expliquée dans le tableau ci-dessous.

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.

Sources : NBN EN 16941-2 (2021) [3], D. M. GHATIDAK et al. (2013) [38], A. GROSS et al. (2015) [33]

TABLEAU 3.3 – Types d'eaux grises, leurs sources et contaminants

Comme le montre le tableau 3.3, la différence entre les deux types d'eaux grises se retrouve dans leur nature et leur niveau de pollution. En effet, comme le stipule la norme NBN EN 16941-2 [3], les eaux grises légères ont un niveau de polluant beaucoup plus faible que les eaux grises lourdes, en particulier lorsque elles ont comme origine la salle de bain [3]. Les eaux grises lourdes demandent donc des traitements plus intensifs pour respecter les qualités des eaux recommandées dans les *guidelines* [3]. Si les volumes le permettent, il est conseillé de privilégier la réutilisation des eaux grises légères plutôt que lourdes [3].

De nombreux facteurs influencent la nature et les caractéristiques des eaux grises dans une maison. Les principaux sont [5, 33, 39] :

- Origines de l'eau (voir tableau 3.3),
- Habitudes et modes de vie des habitants tels que :
 - Type de produits de lavage,
 - Nombre et type de toilettes corporelles appliquées par jour,
 - Habitudes culturelles.
- Nombre d'occupants ;
- Type d'installations sanitaires ;
- Conditions climatiques ;
- Localisation géographique ;
- Réseau et qualité de l'eau de distribution.

Vu ces nombreux facteurs, la qualité de l'eau grise peut fortement varier, comme le montre les tableaux 3.4 et 3.5.

En vue de proposer une méthode de pré-dimensionnement des systèmes compacts de réutilisation des eaux grises, une synthèse des principales caractéristiques des eaux grises légères et lourdes a été réalisée dans les tableaux 3.4 et 3.5.

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		-	-

Source : ANSES (2015) [29].

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 3.4 – Paramètres physiques et chimiques des eaux usées domestiques et eaux grises, d'après une synthèse de la littérature de ANSES (2015) [29]

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

Sources : D. M. GHAITIDAK et al. (2013) [38], I. N. SHAIKH et al. (2020) [40], S. CHARLESWORTH et al. (2020) [41], E. ERIKSSON et al. (2002) [42], ANSES (2015) [29].

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 3.5 – Caractéristiques micro-biologiques des eaux grises, d'après une synthèse de littérature

Pour information, selon ces résultats, les plus grandes sources de coliformes fécaux présents dans les eaux grises sont les eaux de douche, de bain et de lave-linge [42, 38, 33]. Cette observation semble s'expliquer en partie par la présence de traces d'urine et d'excréments dans les sous-vêtements pour le lavage du linge, ainsi que par le fait que certains utilisateurs urinent dans la douche ou la baignoire. Selon une enquête réalisée en 2017 en Belgique par Bodysol [43], environ 40% des personnes interrogées ont admis avoir déjà uriné sous la douche. Toutefois, il est possible que la présence d'un système de réutilisation des eaux grises incite les utilisateurs à limiter cette pratique afin de préserver la qualité

de l'eau à traiter.

La norme américaine NSF/ANSI 350 - 2022 [28] qui est utilisée pour certifier la plupart des systèmes de réutilisation des eaux grises, a été utilisée afin de comparer et vérifier la pertinence des tableaux 3.4 et 3.5. Cette norme propose un tableau (voir tableau 3.6) reprenant les caractéristiques des eaux grises utilisées pour certifier ces équipements.

Paramètres	Plage requise						Essai seul maximal
	Toil. corp.		Lave-linge		Toil. corp. + Lave-Linge		
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
MES (mg/L)	50	100	50	100	50	160	-
BOD_5 (mg/L)	100	200	220	370	130	210	-
Température (°C)	25	35	25	35	25	35	-
pH	6	8,5	6	8,5	6	8,5	-
Turbidité (NTU)	30	70	50	90	30	100	-
Phosphore total (TP) (mg/L)	1	4	<2		1	3	-
Azote total (TN) (mg/L)	3	5	4	6	3	5	-
COD (mg/L)	200	400	300	740	230	420	-
Coliformes totaux (UFC/L ou NTU/L) ^a	10 ⁴	10 ⁸	10 ⁴	10 ⁸	10 ⁴	10 ⁸	10 ¹⁰
E. coli (UFC/L ou NTU/L) ^a	10 ³	10 ⁷	10 ³	10 ⁷	10 ³	10 ⁷	10 ⁸

Source : NSF/ANSI 350 - 2022 (2022) [28].

Abréviations : Toil. corp. = Toilette corporelle ; Min = Minimum ; Max = Maximum ; MES = Matières en suspensions ; BOD_5 = Demande biologique en oxygène ; COD = Demande chimique en oxygène ; TN = Azote total ; TP = Phosphore total ; E. coli = Escherichia coli.

^a Moyenne géométrique sur 30 jours. Lorsque la moyenne sur 30 jours ou la moyenne géométrique de la concentration d'un ou de plusieurs paramètres individuels de l'influent est inférieure à la valeur minimale requise, des jours de données individuels peuvent être exclus pour ramener la période de 30 jours dans la fourchette. Lorsque les données relatives à l'influent sont exclues des moyennes, toutes les données relatives à l'influent et à l'effluent de ce jour sont également exclues.

TABLEAU 3.6 – Caractéristiques des eaux grises utilisées pour la certification des systèmes connectés selon NSF/ANSI 350 - 2022 [28]

Les différents tableaux présentés ci-dessus (tableaux 3.4, 3.5 et 3.6) font tous référence à des qualités d'effluents d'eaux grises pour le résidentiel. Cependant, les valeurs diffèrent grandement entre les deux tableaux 3.4 et 3.5, qui ont été construits à partir de la littérature scientifique, et le tableau 3.6 qui sort de la norme NSF/ANSI 350 - 2022 [28] ; en particulier pour les valeurs maximales. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que les valeurs du tableau 3.6 sont des valeurs précises utilisées dans une certification et ne sont donc pas forcément fidèles à la réalité. De plus, puisqu'il s'agit d'une norme américaine, celle-ci est probablement spécifiquement formatée autour des eaux grises rencontrées aux États-Unis. Les tableaux 3.4 et 3.5 se fondent quant à eux sur de très nombreux articles consacrés aux études et mesures des caractéristiques des eaux grises dans des situations multiples et variées. Une différence non négligeable entre ces tableaux peut donc en résulter.

3.4 Les types de traitements

Pour qu'une eau grise atteigne le niveau de qualité d'eau défini dans le tableau 3.2 en fonction de son application, cette eau doit subir un ou plusieurs types de traitements. Selon la norme NBN EN 16941-2 [3], voici la liste des types de traitements devant être utilisés pour réutiliser l'eau grise :

- Sédimentation/flottation ;
- Filtration (grossière, membrane) ;
- Traitement biologique ;
- Traitement chimique ;
- Désinfection ;

Dans cette partie, cette liste sera étoffée et détaillée afin d'avoir une vue globale des types de traitements des eaux grises les plus communément utilisés et un aperçu de leurs caractéristiques respectives. Ce travail visant exclusivement les systèmes "compacts" de réutilisation des eaux grises pour des maisons unifamiliales, ici seront développés les modes de traitement les plus communément utilisés pour ce type d'application, c'est-à-dire des systèmes à faible encombrement, de coût « peu » élevé et demandant peu d'entretien. Cette analyse donnera une explication brève de ces modes de traitement. Par contre, le dimensionnement d'une installation dans son ensemble sera abordé ultérieurement, dans la partie 3.5.

Les différentes technologies de traitements de l'eau abordées dans la suite de ce document utilisent divers principes généraux de traitement de l'eau. Selon la littérature, ils sont généralement classés en trois grands groupes [33, 4, 44, 45, 46, 26].

- Traitement Physique :
 - Exemples : Sédimentation, Flottation, Filtration
- Traitement Chimique :
 - Exemples : Flocculation, Précipitation
- Traitement Biologique :
 - Exemples : Aérobie, Anaérobie

Une combinaison de ces différents principes de traitement permet de composer et de créer des technologies de traitements de l'eau de la manière la plus adéquate possible en fonction de sa qualité d'origine et de la qualité de sortie souhaitée. Certaines technologies de traitements se basent sur un seul principe et porteront donc le nom de ce dernier. Pour information, les traitements de désinfection sont utilisés dans les trois groupes, en particulier dans les traitements chimiques et physiques [33, 4, 44, 45, 46, 26].

3.4.1 Traitement physique

3.4.1.1 Traitement par sédimentation

Le traitement par sédimentation est un procédé de dépôt gravitaire de particules de taille supérieure à $10\mu\text{m}$ et des matières en suspensions (MES) au fond d'un bassin de sédimentation. Ce traitement est couramment utilisé pour le pré-traitement des eaux usées brutes chargées en particules ainsi que pour séparer les boues et les surnageants après traitement secondaire [33]. La sédimentation seule

permet de supprimer en général entre 50 à 70% des MES et 25 à 40% du BOD_5 [45]. Combinée à la coagulation-floculation, cela peut monter jusqu'à 80-90% pour les MES et 40 à 70% pour le BOD_5 [45].

Combinée à la floculation et la coagulation, la sédimentation est régulièrement utilisée comme méthode de pré-traitement pour les membranes telle que l'osmose inverse [7].

Le bassin de sédimentation fonctionne grâce à la gravité et à la circulation de l'eau. La taille des particules qui peuvent être éliminées de l'eau dépend des dimensions du bassin et de la vitesse de l'eau qui y circule. Les systèmes de sédimentation sont souvent utilisés en combinaison avec une filtration grossière en tant que pré-traitement ou premier traitement. En fonction de la configuration du bassin, cette technique peut également permettre de séparer les huiles et les graisses présentes dans l'eau [33]. Ce type de traitement est fréquemment accompagné d'un traitement par coagulation afin d'éliminer des particules encore plus petites qui ne sédimentent pas naturellement [33, 7, 47] (plus d'informations sur la coagulation au paragraphe 3.4.2.1).

3.4.1.2 Traitement par filtration

La filtration est un processus physique qui implique le passage d'un liquide à travers un élément filtrant pour en séparer les particules en suspension ou dissoutes, en fonction de leur taille. En effet, la capacité de traitement d'un filtre est fonction de la taille de ses pores ; plus les pores sont petits, plus la taille des éléments pouvant être filtrés est petite. Les particules trop grandes pour passer au travers de ces pores seront donc bloquées par le filtre. Le passage du liquide à travers le filtre est possible en utilisant la force gravitationnelle ou une pression positive [33, 46]. La figure 3.4 donne une idée des dimensions et des types de particules pouvant être filtrées pour différents types de filtration.

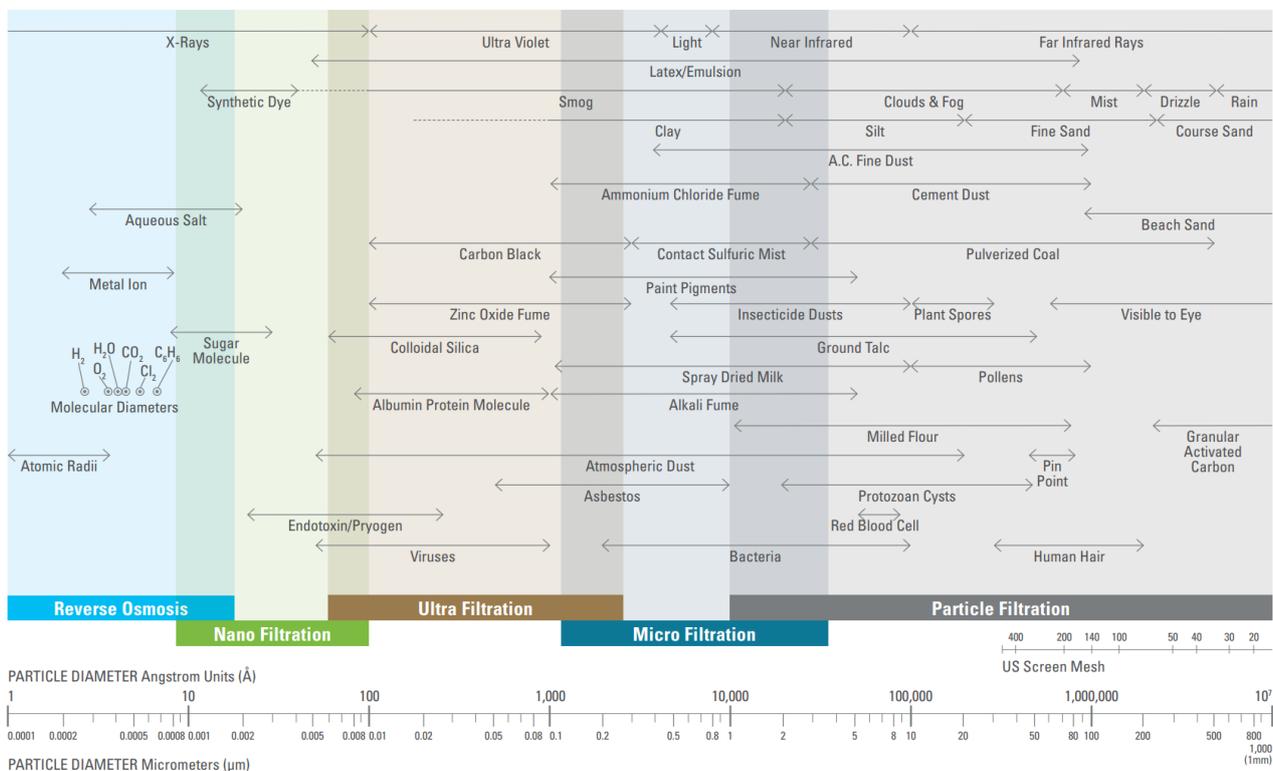


FIGURE 3.4 – Fourchette de dimensions de différentes particules et du type de filtration pouvant les bloquer (WJW Foundation (2018) [46])

La filtration possède un très grand spectre d'application (voir figure 3.4). Pour les eaux grises, le

spectre intéressant concerne les particules solides dans l'eau (grains de sables et cheveux) jusqu'aux particules dissoutes de dimension d'ordre moléculaire. Les plus grosses particules qui ne sont pas dissoutes dans l'eau peuvent déjà être bloquées par des filtres faisant partie de la catégorie "filtration de particules" (noté "particule filtration" dans la figure 3.4) tandis que les matières dissoutes dans l'eau sont filtrées par des filtres appelés "membranes". Il existe différents types de membranes qui se distinguent par la taille de leurs pores. En voici la liste ; des pores les plus larges au plus petits : la micro-filtration (MF), l'ultra-filtration (UF), la nano-filtration (NF) et l'osmose inverse (OI) [33, 46].

Filtration de particules

Comme déjà énoncé au point précédent, la « filtration de particule » permet d'arrêter des éléments non dissous dans l'eau ("particules"). Ce type de filtration englobe deux autres groupes : « les filtres à lit granuleux » et « la filtration grossière ». Les premiers permettent de filtrer des particules ayant une taille supérieure à $1\mu\text{m}$ tandis que « la filtration grossière » permet de filtrer des éléments de taille supérieure à $50\mu\text{m}$ [33, 46]. Les filtres à lit granuleux (ex : filtres à sable) sont volumineux [33] et compliqués à entretenir [41] ; c'est pourquoi ce type de traitement ne semble pas convenir pour les systèmes compacts de traitement des eaux grises. Pour le filtrage de particules, la « filtration grossière » est donc la seule solution étudiée dans ce travail.

Filtration grossière

La filtration grossière permet de traiter de grosses particules visibles à l'œil nu. ($>50\mu\text{m}$) [33, 46]. Ce type de filtration est donc souvent utilisé comme pré-traitement dans de nombreux systèmes de réutilisation des eaux grises [33]. Il permet d'évacuer les grosses particules qui empêcheraient le bon fonctionnement des autres traitements par la suite [33, 46]. Comme dit précédemment, la filtration grossière est parfois combinée avec la technique de sédimentation [33].

Membranes

Les membranes sont une partie spécifique de la filtration. Elles concernent l'ensemble des méthodes de filtration permettant de filtrer des éléments dissous dans l'eau [33, 26]. Cette méthode est assez courante et semble bien convenir dans les systèmes de traitement compacts unifamiliaux [7, 41].

Une pression (due au passage de l'eau) est appliquée d'un côté de la membrane obligeant l'eau à traverser cette membrane semi-perméable et bloquant les éléments dissous à filtrer. Puisqu'il s'agit d'un type de filtration, la taille des particules filtrées dépend de la dimension des pores de la membrane [33, 26]. Plus les pores sont petits, plus la pression nécessaire pour faire passer l'eau sera grande et plus la membrane risque de se colmater rapidement. Pour éviter cela, des pré-traitements sont nécessaires comme par exemple la filtration grossière [33]. Avec le temps un colmatage se forme dans tous les cas ce qui entraîne une réduction du débit de traitement. Il vient un moment où il faut donc remplacer la membrane [41]. De plus, avec une pression plus élevée, le coût énergétique de fonctionnement de la membrane sera considérable [26].

Il existe actuellement différents types de configuration de membrane sur le marché ayant chacun ses avantages et ses inconvénients (NF, MF, UF et OI). Le choix de la configuration dépend du type de traitement souhaité [33, 48]. Comme le montre la figure 3.7, l'utilisation d'une membrane peut être définie par la taille de ses pores. L'utilisation de membranes et en particulier sa combinaison avec d'autres modes de traitement permet d'atteindre de bonnes qualités d'eaux grises traitées qui respectent les *guidelines* de réutilisation des eaux grises [49].

Type de membrane	Pression de filtration (TMP) ^a	Taille des pores ^a [μm]	Contaminants principaux traités	Usage principal
Microfiltration (MF)	0,1-2	0,1-10	MES, turbidité, quelques ocystes et kystes de protozoaires, quelques bactéries et virus	Prétraitement pour OI
Ultrafiltration (UF)	0,5-10	0,005-0,2	Macromolécules, colloïdes, la plupart des bactéries, certains virus, protéines	Séparation des émulsions d'huile; Prétraitement pour OI
Nanofiltration (NF)	5-25	0,001-0,01	Petites molécules, une certaine dureté, virus	Adoucissement de l'eau; "désinfection"
Osmose inverse (OI)	5-80	<0,002	Très petites molécules, couleur, dureté, sulfates, nitrate, sodium, autres ions	Désalination de l'eau; "désinfection"

Sources : A. GROSS et al. (2015) [33], E ERIKSSON et al. (2012) [26], WJW Foundation (2018) [46]

Note :^a Ces plages de valeurs sont données à titre indicatif et dépendent des caractéristiques de chaque membrane et des conditions de filtration. Il est crucial de se référer aux spécifications techniques et aux recommandations du fabricant pour avoir les informations exactes de la membrane utilisée.

TABLEAU 3.7 – Types de membrane et quelques caractéristiques

Différents types d'écoulement peuvent être appliqués pour l'utilisation des membranes. Chacun a des caractéristiques qui vont influencer le débit de traitement, la capacité de traitement et la durée de vie de la membrane [33, 50, 51].

Micro-filtration

« La micro-filtration » (MF) est un type de filtration membranaire. La taille des pores se situe entre 0,1 et 10 μm [33, 46, 48]. Elle permet de se débarrasser des particules suspendues et colloïdes. Les bactéries et les protozoaires sont eux-aussi complètement supprimés [33, 48]. De plus, ce type de filtre a la capacité de diminuer par 2 ou 3 fois la charge virale présente dans l'eau [33]. Son utilisation comme pré-traitement d'une désinfection aux UV permet d'atteindre une bonne efficacité de suppression des virus [48]. La figure 3.4 et le tableau 3.7 montrent plus en détails les différents éléments traités par ce type de membrane. La MF est la membrane la plus communément utilisée [48], seule ou comme pré-traitement pour NF et OI [33, 48].

Ultra-filtration

« L'ultra-filtration » (UF) est un autre type de filtration membranaire présent sur le marché. La taille des pores est plus petite; de l'ordre de 0,01 μm [33, 48]. Elle permet la suppression des MES [33, 48], des résidus colloïdaux [33, 48, 41], des éléments organiques et inorganique (ex. savon), la séparation des huiles et la diminution de la BOD des eaux usées [33, 48]. Elle est aussi utilisée dans l'objectif de filtrer tous les virus [33, 48, 41]. Cependant, la taille des pores de la membrane n'étant pas homogène, il n'est jamais certain de pouvoir supprimer l'ensemble du contenu viral de l'eau [33, 48]. Pour cette raison, le traitement par UF est souvent accompagné d'un autre mode de désinfection [33]. Comme la MF, l'UF est également utilisée comme pré-traitement pour la NF et l'OI [33].

Nano-filtration

« La nanofiltration » (NF) est souvent précédée d'un pré-traitement par MF ou UF et est principalement utilisée afin d'obtenir une qualité d'eau permettant sa réutilisation comme eau potable indirecte (ex : réinjection dans la nappe phréatique) [33]. Elle s'apparente à une désinfection et diminue le nombre d'ions multivalents et donc la dureté de l'eau. Elle permet de traiter tous les éléments déjà énoncés dans l'UF [48, 41]. La taille des pores se situe entre 0,005 μm et 0,1 μm [33, 46, 48, 41].

Osmose inverse

« L'osmose-inverse » (OI) ressemble à la NF mais avec des pores encore plus petits et donc un effet encore plus filtrant. Cependant, elle demande un investissement en énergie encore plus grand pour son fonctionnement (pour créer la pression du flux d'eau imposé) et pour son entretien (retirer le colmatage) [33, 41]. Selon A. GROSS et al. (2015) [33], ce type de traitement n'est pas utilisé pour les

eaux grises. L'OI est utilisée lorsque l'eau doit être de très haute qualité [45]. Elle permet notamment une bonne suppression des hormones et de molécules provenant de médicaments [26]. Réaliser une coagulation en pré-traitement est souvent intéressant combinée à l'OI [33]. Il est nécessaire d'utiliser des pré-traitements pour l'OI afin d'augmenter son efficacité et sa durée de vie [33, 7]. La MF est un pré-traitement commun [48]. L'OI peut aussi être utilisée afin de déminéraliser l'eau [52, 41].

Membrane bio-réacteur (MBR)

D'autres types de membranes existent encore telle que la MBR combinant un traitement biologique et une séparation des solides par une membrane. Cependant, ce type de système représente un coût élevé d'investissement et d'entretien et consomme une grande quantité d'énergie [33, 39]. Selon M. FOUNTOLAKIS et al. (2016) [39], l'utilisation de la MBR ne devient intéressante que lorsque le coût de l'eau publique et de l'évacuation des eaux dépassent 10€ par m^3 . En 2023, en Belgique, le coût-vérité de la distribution d'eau et de l'assainissement s'élèvent ensemble à 5,62€ ce qui est près de deux fois moins élevé que ce seuil [53]. Pour ces différentes raisons, la MBR ne semble pas conseillée dans les systèmes compacts de traitement d'eaux grises pour maisons unifamiliales.

3.4.2 Traitement chimique

3.4.2.1 Coagulation et Flocculation

La coagulation est un processus consistant à ajouter un ou des coagulants (matière chimique ; par exemple, l'alun, le chlorure ferrique, le sulfate ferrique) à l'eau [33, 35]. Ces coagulants ont la capacité de rassembler les petites impuretés (MES et colloïdes) présentes dans l'eau en floccules (plus gros floccs) [33, 35, 51]. Le plus grand diamètre des floccules permet de faciliter leur suppression de l'eau par des techniques telles que la sédimentation [33, 35, 51]. Sans coagulant, certaines impuretés seraient trop petites pour être traitées par ces modes de traitement [33, 35]. Par réaction chimique, le coagulant inséré dans l'eau élimine la charge négative qui repousse les particules entre elles [33, 35]. La coagulation et la flocculation précèdent dès lors généralement les traitements par sédimentation [45, 35]. Selon F. BOANO et al. (2020) [24] il s'agit du mode de traitement chimique le plus utilisé dans le traitement des eaux grises.

Certaines recherches ont montré que cette technique peut être intéressante à utiliser comme pré-traitement pour l'OI. D'autres montrent que des systèmes utilisant une étape de traitement par coagulation peut atteindre de hautes qualités d'eaux (BOD_5 et $MES \leq 10mg/L$) [33]. Enfin, l'utilisation de procédés physico-chimiques semble adéquate pour le traitement des eaux grises dans de petits systèmes caractérisés par des volumes et des qualités d'eaux usées variables. Cela concerne typiquement les systèmes compacts de traitement des eaux grises pour maisons unifamiliales étudiés dans ce travail [33].

3.4.3 Traitement biologique

Dans les eaux grises se retrouvent souvent des matières organiques dissoutes ou en suspension. Il est donc nécessaire de les éliminer [33, 54]. Le traitement biologique de l'eau est une façon de procéder. Il permet aussi parfois d'éliminer l'azote, le phosphore [33, 54] voire les sels [33]. Ce type de traitement a pour objectif de créer les conditions optimales dans l'eau (chaleur, pH, aération, oxygène...) afin d'activer les micro-organismes décomposant la matière organique présente dans l'eau [33, 51, 54]. Pour atteindre ces conditions, des bio-réacteurs sont utilisés. Ils sont conçus de manière à apporter aux micro-organismes contenus dans l'eau tout ce qu'il faut en terme d'oxygène et de chaleur notamment pour les éliminer [51, 54].

Le traitement sera plus ou moins efficace en fonction du régime (continu VS discontinu ; mélange complet VS écoulement piston) et du type d'écoulement (saturé VS non saturé), en fonction des conditions de fonctionnement (aérobie VS anaérobie) et du type de croissance microbienne (fixe VS en suspension) [33, 51, 54]. Son efficacité est mesurée à partir d'un bilan massique [33]. Ce type de traitement est souvent mis en place dans de gros immeubles [44]. Ci-dessous deux types de traitements biologiques différents seront décrits :

- Traitement aérobie ;
- Traitement anaérobie.

Le développement des micro-organismes peut se faire de plusieurs manières. Certaines méthodes de traitement biologique nécessitent l'utilisation de substrats pour que les micro-organismes puissent s'y développer et ainsi former un biofilm [33, 51]. Ce substrat consiste en un matériau inerte (tel qu'une pierre, du gravier, du plastique, du sable...) [33] sur lequel se retrouvent les micro-organismes, appelés biofilm, dégradant la matière organique polluante [33, 51]. Les polluants organiques sont donc dégradés une fois l'eau passée dans le substrat. Cela peut se faire de façon aérobie ou anaérobie [33, 51]. Le substrat peut être totalement immergé dans l'eau ou partiellement (cela dépend du mode de traitement). Au plus grande la surface du substrat sera, au plus le biofilm pourra se développer et au meilleur sera la performance de ce type de traitement [33, 51].

Il existe deux grands types de substrats. Leur différence réside dans la mobilité du support. Dans un cas le substrat est fixe ; il compose notamment les marais filtrants artificiels et les contacteurs biologiques rotatifs [33, 51, 54]. Le second, quant à lui, est mobile et compose notamment les bioréacteurs à biofilm à substrats mobiles (MBBR) [51].

3.4.3.1 Traitement aérobie

Le traitement des eaux usées par aérobie implique l'utilisation de bactéries pour décomposer les polluants biologiques présents dans l'eau [33, 54]. Ces bactéries ont besoin d'oxygène comme accepteur d'électrons pour effectuer les réactions métaboliques nécessaires [55, 54] ; à savoir l'anabolisme (construction de molécules organiques) et le catabolisme (décomposition de molécules organiques) [33]. En présence de dioxygène (O_2), les bactéries consomment les matières organiques présentes dans l'eau grise et les transforment en composés plus simples tels que du dioxyde de carbone (CO_2) et des matières cellulaires (résidus bactériens (création de boues)) ce qui améliore la qualité de l'eau grise en réduisant les niveaux de pollution biologique [33, 54]. Ces différents composés forment des boues activées qui doivent être évacuées et potentiellement traitées [54]. Cela peut être effectué par divers traitements dont, notamment, la sédimentation ou la décantation [51, 54].

Selon S. D. GISI et al. (2015) [56], la combinaison de traitement la plus économique et la plus réalisable pour la réutilisations des eaux grises semble être un système intégrant un traitement biologique aérobie, un traitement de filtration et/ou un traitement de désinfection.

3.4.3.2 Traitement anaérobie

Les traitements anaérobies reprennent l'ensemble des techniques de dégradation biologique où l'oxygène n'est pas le catalyseur essentiel de la réaction. En d'autres mots, le traitement anaérobie utilise des micro-organismes qui n'ont pas besoin d'oxygène pour décomposer les matières organiques [33, 54]. Au lieu d'oxygène, ces micro-organismes utilisent des accepteurs d'électrons autres que l'oxygène (ex : CO_2) pour décomposer les matières organiques, comme le nitrate ou le sulfate [33, 54]. Ci-dessous l'équation générale décrivant la décomposition en conditions anaérobies [33] :



Ce principe de traitement est plus long que le traitement aérobique. Il produit également des gaz odorants et toxiques tels que du méthane, du sulfure ou de l'ammoniac [33, 54]. Il demande un environnement spécifique, plus complexe en terme de pH et de composition. Cependant, il permet de décomposer certains composants (comme les pesticides ou les composés halogènes) qui ne seront pas sensibles au système aérobique. La production de boue est également moindre. Ce principe anaérobique peut, entre autres, être utilisé dans des bassins de sédimentation en pré-traitement [33].

3.4.3.3 Traitement enzymatique

Le traitement enzymatique, comme son nom l'indique, se base sur l'utilisation d'enzymes. Les enzymes sont des protéines avec des caractéristiques catalytiques créées par des cellules vivantes [57]. Elles déclenchent et accélèrent les réactions chimiques généralement nécessaires dans le métabolisme de ces cellules [57]. Les enzymes sont nécessaires au maintien et à l'activité de la vie, elles sont très nombreuses et présentent des caractéristiques spécifiques à différentes réactions ; elles peuvent être hydrolysantes, oxydantes ou réductrices. Cela leur confère un attrait dans différents processus industriels dont le traitement des eaux [57]. Les enzymes étant de nature biologique mais leurs actions sur les contaminants des eaux s'apparentant à des procédés chimiques, le traitement enzymatique se trouve entre les traitements physico-chimiques et les traitements biologiques [57].

Lors du traitement des eaux usées, les enzymes sont utilisées afin de décomposer des macromolécules organiques en composés plus petits afin de les rendre hydrosolubles. Ils peuvent alors être assimilés par des bactéries. Afin de compléter le traitement enzymatique, il est nécessaire d'introduire des bactéries dans l'eau [58].

Ce type de traitement présente différents avantages, le principal étant d'être plus propre pour l'environnement que les traitements physico-chimiques conventionnels [57]. Les auteurs [57] avancent également d'autres avantages potentiels tels qu'une efficacité sur les éléments réfractaires, une activité à des concentrations élevées comme faibles ainsi que dans une large gamme de pH, de salinité et de température, une absence de délai d'acclimatation de la masse, une production de boues plus faible et un contrôle de la procédure plus facile [57]. Ces enzymes présentent également la possibilité d'être modifiées chimiquement et génétiquement pour améliorer leurs propriétés clés comme la spécificité du substrat et l'activité spécifique [57].

Le développement et l'utilisation de ce type de traitement sont poussés par son potentiel de traitement des résidus de médicaments, souvent très difficiles à supprimer des eaux usées [59]. Le traitement par enzymes permet également d'éliminer les micro-polluants organiques présents dans l'eau [59].

3.4.4 Les technologies de traitements

3.4.4.1 Marais filtrant

Appelé "Constructed Wetland" en anglais, les marais filtrants sont une méthode de traitement utilisant des processus naturels [33, 5]. De nos jours, les marais filtrants naturels ont été remplacés par des marais artificiels afin d'améliorer leur performance [33, 46, 5] et de protéger l'environnement des composants toxiques présents dans l'eau. Il s'agit d'une méthode économique qui demande peu d'entretien et qui a une capacité de traitement relativement efficace [33]. Ce type de système peut

fonctionner sans opérateur [5].

Le principe de cette méthode se base sur l'écoulement de l'eau à traiter à travers un ou plusieurs bassin(s) de faible profondeur [33] dans le(s)quel(s) se trouvent des micro-organismes qui vont dégrader la matière organique biodégradable présente dans l'eau. Il s'agit d'un système utilisant le principe de traitement par substrat fixe [33, 46, 5]. De plus, en fonction du type de marais filtrants rencontré, ces derniers peuvent aussi traiter l'eau via des mécanismes physiques (filtration et sédimentation) [33, 5], chimiques (absorption) et biologiques (utilisation de la végétation) [33, 46, 5]. Tout cela dépendra de la composition des bassins et de la végétation présente dans ceux-ci [33]. En effet, ce traitement utilise des plantes pour fonctionner. Elles ont un intérêt divers et peuvent notamment favoriser l'installation et le développement des micro-organismes grâce à leurs racines [33, 46]. Ces racines jouent aussi un rôle de filtration non négligeable [33]. De plus, les plantes installées ont la capacité d'absorber une partie de l'azote présent dans l'eau [33]. En outre, elles permettent encore de créer un microclimat protégeant le marais du froid et du vent notamment, de libérer de l'oxygène, du carbone et d'autres composés qui encouragent la décomposition de la matière organique, la nitrification et la dénitrification [33], d'absorber divers nutriments [33, 46], sels et métaux présents dans l'eau [33, 5] et d'augmenter à long terme la porosité du substrat [46]. Enfin, les plantes jouent aussi un rôle esthétique [33, 46].

Ils existent trois grands types de marais filtrants qui se distinguent par leur type d'écoulement de l'eau à traiter [33, 5].

1. Les marais filtrants à écoulement de surface ;
2. Les marais filtrants sous-surfacique :
 - À écoulement horizontal,
 - À écoulement vertical.
3. Les marais filtrants flottants.

Ces différents types de marais filtrants possèdent des caractéristiques et des capacités de traitement propres à chacun d'entre eux. Le type de végétation utilisé est fonction du type de marais filtrant utilisé. La capacité et les caractéristiques de traitement du système sont donc liées aux types de plantes installées [33].

Les marais filtrants traditionnels possèdent différents désavantages qui les rendent difficilement utilisables dans de nombreux cas. Ces derniers nécessitent de grandes surfaces pour être exploités. L'utilisation de plantes aquatiques conduit à une perte du volume d'eau due à l'importante évapotranspiration de ces dernières. Il s'agit aussi de systèmes dynamiques complexes qui sont influencés par de nombreux facteurs (environnementaux, saisonniers...). Il est donc compliqué de déterminer précisément le type de marais filtrant adéquat et de respecter les normes de qualité d'eau sans adapter le système dans le temps [33]. C'est pourquoi ce type de traitement ne convient pas pour le système compact unifamilial [33].

Cependant, pour se décharger du problème de place, des marais filtrants permettant la re-circulation (en partie ou totalement) de l'eau à traiter à travers le système sont utilisés [33, 46, 26]. Cela permet d'avoir des systèmes beaucoup plus compacts sans compromis sur la qualité du traitement [33]. Il en existe de nombreux types dont des systèmes hybrides combinant les différents types de marais filtrants en série afin de cumuler les avantages de chacune des techniques [33, 46]. Ces systèmes peuvent être combinés à des filtres et à des systèmes de désinfection à UV afin d'atteindre les normes requises [33, 26].

Voici un exemple d'un système de marais filtrant à écoulement sous-surfacique vertical à re-circulation (MFEVR) [33] :

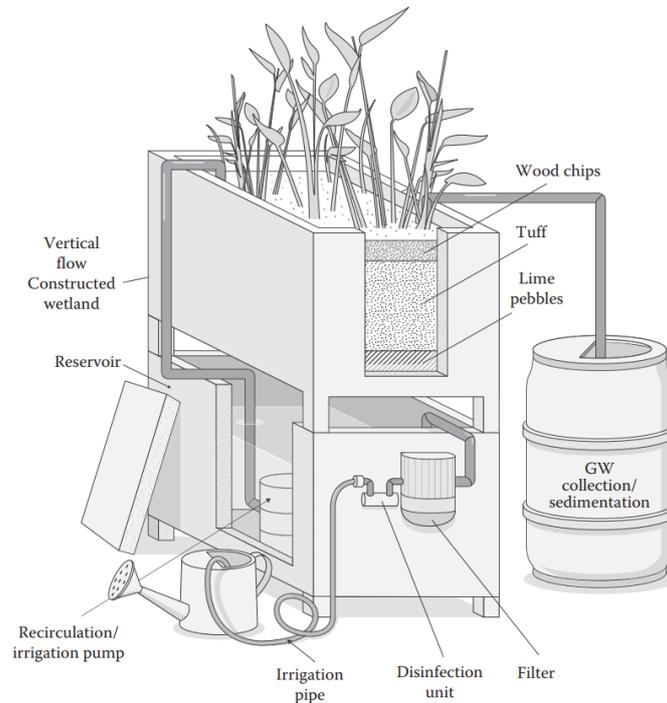


FIGURE 3.5 – Exemple d'un système de marais filtrant à écoulement sous-surfacique vertical utilisant la re-circulation (A. GROSS et al. (2015) [33])

Dans le cas des MFEVR, le bassin est alimenté en eau par le haut et l'eau s'écoule à travers le substrat pour en ressortir par le bas. Ce système permet d'avoir un substrat qui n'est pas entièrement immergé dans l'eau, ce qui apporte une plus grande concentration d'oxygène que les systèmes horizontaux. Cela permet une décomposition plus rapide de la matière organique et la diminution de la taille des bassins nécessaires. Ce système ne fonctionne pas dans des conditions anoxiques, l'azote n'est pas supprimé de l'eau. Cependant, les eaux grises possèdent peu d'azote étant donné que sa principale source est l'urine. Dans le cas de réutilisation de l'eau pour de l'irrigation, conserver l'azote est même un avantage [33].

Ce système (MFEVR) permet de réutiliser l'eau traitée après avoir effectué une circulation dans le système pendant 6 à 8h [33].

Les marais filtrants à flux de marée ou à mouvement alternatif sont parmi les conceptions les plus compactes [46]. Des pompes sont utilisées pour remplir et vider alternativement les bassins de marais filtrants à écoulement sous-surfacique. Le processus de drainage fournit passivement de l'oxygène aux micro-organismes de traitement. Cela permet d'atteindre des normes élevées de réutilisation et de réduire considérablement la taille du système comparé à d'autres designs de marais filtrants sous-surfacique [46].

3.4.4.2 Flottation

La flottation est une technique initialement utilisée dans le traitement des minéraux [60, 61] mais trouve aujourd'hui beaucoup d'autres applications dont le traitement des eaux grises [61].

Par gravité, la flottation permet de séparer les éléments solides du liquide. De fait, cette séparation

concerne les particules avec une densité inférieure ou rendue inférieure à celle du liquide dans lequel elles se trouvent [51, 60, 61, 62].

Il existe de nombreux types de flottation. Ils diffèrent quant aux moyens mis en œuvre pour obtenir des particules de densité plus faible que le liquide. La flottation est dite "naturelle" si la différence de densité entre les particules et l'eau est suffisante pour une séparation [51]. Elle est "assistée" si des moyens extérieurs (ex : injection de gaz) sont utilisés pour améliorer la suppression des particules qui sont naturellement capables de flotter mais à de faible vitesse [60, 61, 51]. Finalement, la flottation est dite "provoquée" lorsqu'il y a réduction artificielle de la masse volumique des particules initialement plus denses que l'eau afin qu'elles puissent flotter grâce à leur capacité à s'attacher à des bulles de gaz injectées dans le liquide [51].

Dans le cas de la flottation "assistée" et "provoquée", le gaz injecté dans l'eau permet de transporter les éléments à supprimer vers la surface du liquide [60, 61, 51]. Ces éléments viennent se fixer sur les bulles de gaz et remontent alors à la surface [60, 61, 62].

Dans tous les cas, les particules remontant à la surface forment une couche de boue qui peut facilement être éliminée en la raclant [62, 48].

Deux techniques sont principalement utilisées pour générer des bulles dans l'eau : la flottation à air dispersé et la flottation à air dissous (DAF) [60, 61]. Le choix d'une technique ou de l'autre dépend de différents critères : leur sélectivité sur les particules à traiter, leur impact environnemental, leur coût et leur possibilité de combinaison avec d'autres modes de traitement [61]. Selon PUB (2014) [48], le DAF peut produire des eaux grises traitées de très bonne qualité.

Cette technique de traitement permet d'éliminer différents matériaux biologiques flottant efficacement comme les bactéries, les champignons, les levures, les boues activées ou les tiges de raisin [61]. La flottation est également utilisée pour les MES [60]. Cependant, selon M. A. MUSA et al. (2021) [62], le DAF ne permet pas une séparation efficace des MES. La flottation est déjà fréquemment utilisée pour la suppression de micro-plastiques (<5mm) dans les stations d'épuration [60].

Combinée à la coagulation et à la floculation, la flottation semble présenter de meilleurs résultats [60, 62]. Des exemples de ces systèmes sont présentés à la figure 3.6. Un agent chimique floculant semble être presque toujours utilisé en combinaison avec la DAF [48]. De plus, elle permet aussi de supprimer les huiles des eaux usées ainsi que les ions métalliques présents dans l'eau et potentiellement dangereux pour la santé et l'environnement [60, 61].

Cette technique présente de nombreux avantages mais ne semble pas toujours économiquement intéressante dans les traitements des eaux grises [61].

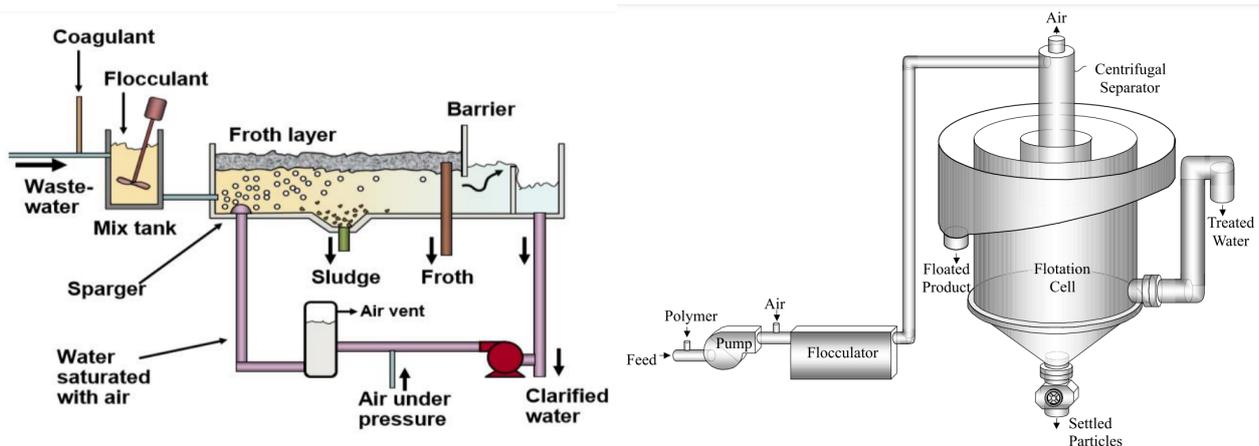


FIGURE 3.6 – Exemples de clarificateur à flottation à air dissous utilisant un pré-traitement par coagulation-floculation (figure de gauche : M. A. MUSA et al. (2021) [62]; figure de droite : J RUBIO et al. (2002) [63])

3.4.4.3 Réacteur à biofilm sur substrats mobiles (MBBR)

Comme énoncé dans le point 3.4.3 et comme leur nom l'indique, les réacteurs à biofilm sur substrats mobiles (MBBR) sont des traitements biologiques aérobiques utilisant des substrats mobiles placés dans un bioréacteur [46, 64]. En effet, comme le montre la figure 3.7 ci-dessous, ce type de traitement utilise un bioréacteur contenant des éléments (appelés substrats) gardés en perpétuel mouvement dans l'eau [46]. Ces substrats généralement composés de plastique ou de mousse en polyuréthane permettent le développement à leur surface de biofilm [46, 64].

L'utilisation de biofilm assure l'efficacité et la résistance (longévité) de ce traitement pour les flux d'eaux grises variables fréquemment rencontrés dans les systèmes de traitement compacts [46]. Il permet la suppression de matières organiques et de nutriments (ex : azote et phosphore) [65].

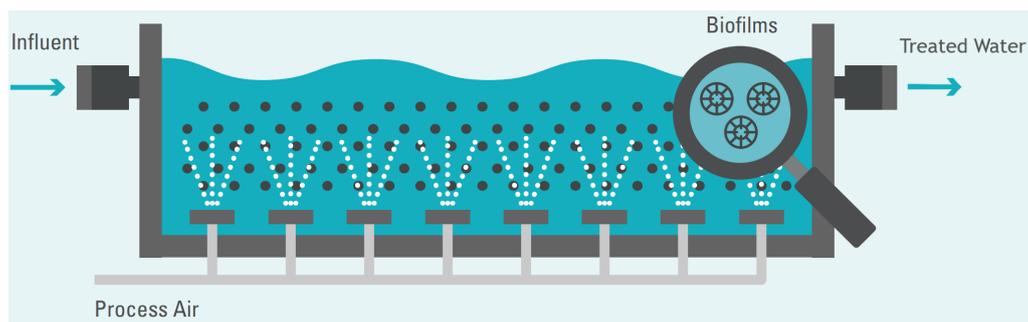


FIGURE 3.7 – Système typique de réacteur à biofilm sur substrat mobile (MBBR)(WJW Foundation (2018) [46])

Le MBBR nécessite un gros pré-traitement de filtration. Il peut être combiné à diverses technologies de séparation et de filtration des solides [46].

Selon K. M. JABRI et al. (2019) [64], l'adoption d'un système MBBR pour le traitement et le recyclage des eaux grises est considérée comme une solution respectueuse de l'environnement qui pourrait être généralisée dans de nombreux bâtiments pour faire face à la pénurie d'eau.

3.4.4.4 Désinfection

La désinfection de l'eau est souvent nécessaire afin d'atteindre les normes de réutilisation des eaux grises. Elle permet de diminuer la contamination de micro-organismes pathogènes de l'eau grise qui représente un grand risque pour les humains et les plantes. Elle est utilisée comme dernière étape dans un système de traitement de l'eau [33, 66, 46].

En fonction de la technologie utilisée, le mode de désinfection peut être de deux types [33, 66] :

- Par suppression physique des pathogènes (filtration membranaire) ;
- Par inactivation : Les agents pathogènes sont inactivés suite à la destruction de leurs cellules. L'objectif est de perturber la morphologie cellulaire et par conséquent leurs fonctions. Cela ne supprime pas les pathogènes de l'eau mais empêche leur viabilité.

Les technologies chimiques, photochimiques (par rayonnement) et de stérilisation thermique fonctionnent sur le principe de l'inactivation [33, 66, 26, 49] tandis que les processus de filtration vont physiquement supprimer les agents pathogène de l'eau [33, 66].

La capacité désinfectante d'un procédé n'est pas toujours suffisante pour pouvoir l'utiliser comme désinfectant. De nombreux facteurs vont influencer son aptitude à être utilisé [33]. Le degré du processus de désinfection proposé doit prendre en compte le type de réutilisation ainsi que le risque d'exposition pour la population [66].

Voici des propriétés importantes qu'un bon désinfectant se doit d'avoir [33] :

- Disponible en grande quantité ;
- Bon marché ;
- Absence de toxicité pour les êtres-humains et les animaux ;
- Non corrosif ;
- Sans coloration ;
- Non absorbé par des matières organiques autres que les cellules bactériennes ;
- Capable d'aider à améliorer les odeurs de l'eau ;
- Capable de pénétrer à travers les surfaces ;
- Sans danger pour le transport, le stockage, le traitement et l'utilisation de l'eau ;
- Soluble dans l'eau ou dans le tissu cellulaire avec une faible perte d'efficacité de désinfection lorsqu'il n'est pas utilisé ;
- Efficace même en dilution élevée ;
- Efficace dans un large éventail de températures de l'air.

En plus du type de désinfectant, le processus de désinfection est également déterminé par la quantité de désinfectant nécessaire ainsi que par le temps de contact de ce dernier avec l'élément à traiter [33].

Désinfection chimique

Désinfection au chlore

La désinfection au chlore est la technique de désinfection la plus répandue. Elle présente en effet de nombreux avantages tels que son efficacité, sa simplicité d'utilisation, son faible coût et son long effet résiduel prévenant la re-croissance de micro-organismes dans l'eau même longtemps après avoir été traitée [33, 66]. De plus ce pouvoir résiduel est intéressant pour limiter la re-croissance des micro-organismes lors du stockage des eaux grises traitées [46].

Différents composés au chlore existent ; les plus fréquents pour la désinfection sont le chlore gazeux (Cl_2), le dioxyde de chlore (ClO_2) et les sels hypochlorites comme l'hypochlorite de Sodium ($NaOCl$) et l'hypochlorite de Calcium ($Ca(OCl)_2$) [33, 41]. Ces composés réagissent dans l'eau, se transforment et ont alors la capacité d'oxyder certains éléments dont les micro-organismes à désactiver [33, 66]. Cependant, ces molécules oxydantes vont également réagir avec d'autres éléments présents dans l'eau tels que des matériaux oxydatifs inorganiques (Fe_2+ , Mn_2+ , H_2S) et organiques. Il est donc nécessaire de doser le chlore afin que l'ensemble des éléments présents dans l'eau, dont l'entièreté des éléments pathogènes, soit oxydé [33, 66].

L'efficacité de la désinfection va donc dépendre de la concentration en chlore actif mais également d'autres facteurs dont les caractéristiques chimiques de l'eau (pH principalement), l'efficacité du mélange eau-chlore, la concentration de particules dans l'eau, le temps de contact et les caractéristiques des micro-organismes. De fait, la sensibilité des micro-organismes au chlore varie ; les bactéries étant les plus sensibles suivies par les virus, puis les protozoaires, rarement retrouvés dans les eaux grises, sont eux très peu sensibles à cette désinfection [33, 48].

Une bonne désinfection aura donc lieu avec une grande quantité de chlore activé, un temps de contact long, un pH bas (idéal entre 5,5 et 7,5), une turbidité basse et une faible présence de facteurs perturbants dans l'eau. Une eau grise bien pré-traitée demande en général une faible quantité de chlore pour pouvoir être désinfectée correctement [33, 48].

Le désavantage majeur de la désinfection au chlore est que sa présence dans l'eau peut être toxique pour certains organismes. Cette toxicité peut avoir des effets néfastes pour l'environnement si de l'eau traitée au chlore est déversée dans la nature [48, 66].

Désinfection au Peroxide d'Hydrogène stabilisé

Une alternative au chlore est l'utilisation de peroxyde d'hydrogène plus (HPP) aussi appelé peroxyde d'hydrogène stabilisé. Ce peroxyde diffère des autres peroxydes (H_2O_2) de par la présence de molécules organiques stabilisant le composant et gardant donc le désinfectant actif plus longtemps. Ce système semble viable et économiquement intéressant pour désinfecter les eaux grises dans de petits systèmes de traitement. Il présente un haut pouvoir désinfectant, un bon effet résiduel et n'est actuellement pas connu comme étant dangereux pour la santé [33].

Désinfection aux UV

Les Ultraviolets (UV) sont de plus en plus populaires. C'est un type de désinfection par radiation détruisant l'acide nucléique (ADN) des micro-organismes qui leur est nécessaire [33, 66, 46]. La longueur d'onde des UV varie entre 100 et 400nm. Il existe des catégories d'UV différentes en fonction de la longueur d'onde. Plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie sera élevée et donc plus il y aura de dommages aux organismes. Cependant, une longueur d'onde trop courte (<200nm) sera absorbée par l'eau et ne suffira pas pour atteindre les micro-organismes. Il s'agit donc de trouver le bon équilibre. Une longueur d'onde entre 200 et 300nm (catégorie UV-C) semble permettre d'inactiver

les bactéries sans être trop absorbée par l'eau [33, 66, 46]. Le pic d'absorption (et donc de destruction) de l'ADN se produit aux alentours de 254nm [33, 66].

Ce type de désinfection a ses avantages mais aussi ses inconvénients. Le fait que les UV désactivent les organismes mais ne les détruisent pas est un premier inconvénient [33, 66, 49]. Ces organismes restent donc métaboliquement actifs et certains peuvent s'auto-réparer. Il existe deux modes principaux de reconstruction enzymatique, l'un sous l'effet de la lumière visible, l'autre en l'absence de cette lumière [33, 66].

La diminution progressive de la puissance d'émission d'une lampe UV est un deuxième inconvénient. En outre, faute d'entretien régulier, son encrassement affectera également la puissance d'UV produite. Une lampe UV doit être remplacée lorsque son émission ne dépasse plus 80% de sa puissance initiale. Cela correspond à une durée de vie entre 6000 et 8000 heures [33].

Troisième inconvénient, la désinfection par UV (ainsi que la désinfection par l'ozone et la filtration par membrane) n'a pas d'effet résiduel [33, 66]. La qualité microbienne de l'eau après désinfection ne peut pas toujours être garantie.

Enfin, l'utilisation d'une lampe UV est une option souvent plus coûteuse que les traitements chimiques tels que la chloration [33]. Elle reste toutefois une technologie efficace et économe en énergie [46].

Selon A. GROSS et al. (2015) [33], même une dose élevée de rayonnement (400 mW/s/cm^2) n'est pas très efficace pour une élimination complète de toutes les bactéries.

En ce qui concerne les points positifs, un des nombreux avantages de la désinfection par UV réside dans le dosage. De fait, contrairement au traitement chimique, il n'est pas nécessaire de régulièrement vérifier le dosage et de l'adapter [33, 66]. De plus, le fait de ne pas devoir ajouter de produits chimiques permet d'éviter d'altérer l'eau avec des produits potentiellement dangereux pour la santé et l'environnement [33, 66].

Ces avantages en font une option intéressante pour les petits systèmes de traitement [66].

Ainsi que comme mentionné plus haut, la dose requise dans le processus de désinfection dépend de la sensibilité des particules au désinfectant. Pour la désinfection par UV, la dose sera calculée à partir de l'intensité de la radiation et du temps de contact. La qualité de l'eau influence également l'efficacité du traitement par UV. En effet, la présence de MES peut avoir pour effet de protéger les micro-organismes contre les UV et donc de diminuer l'efficacité de la désinfection. Un pré-traitement permettant d'enlever les MES est dès lors primordial via des traitements biologiques ou de filtration (UF) [33, 48, 46]. La combinaison de la MF et de la désinfection aux UV est très efficace pour la suppression des virus [48].

La figure ci-dessous (figure 3.8) illustre le visuel et résume le principe de fonctionnement de la désinfection aux UV.

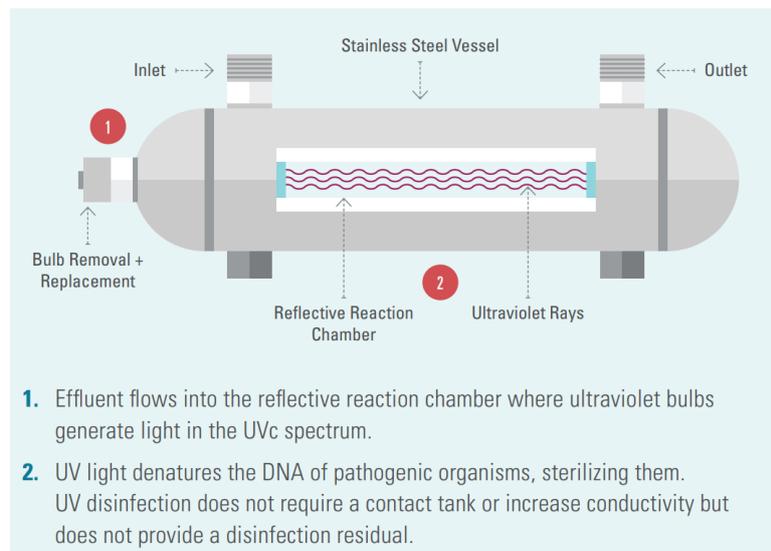


FIGURE 3.8 – Schéma d'un système de désinfection par ultra-violet (UV) (WJW Foundation (2018) [46])

3.4.4.5 Traitement par absorption

Le traitement par absorption se base sur la capacité de certains matériaux à fixer à leur surface des ions ou molécules (gaz, métaux, molécules organiques...) [51]. Cette capacité dépend de différents critères : la surface spécifique, la nature de la liaison adsorbant-adsorbé et le temps de contact entre le solide adsorbant et les éléments à adsorber [51].

La surface spécifique (m^2/g) dépend du matériau utilisé. Le charbon actif, par exemple, a une micro-porosité élevée (600 à environ $2500 m^2/g$) ce qui en fait un adsorbant industriel affichant de bonnes propriétés d'adsorption [51].

Il existe deux types de liaisons adsorbé-adsorbant : les liaisons physiques et les liaisons chimiques [67]. Dans le milieu aqueux, l'adsorption a lieu grâce aux forces de van der Waals et aux forces électrostatiques faiblement spécifiques (c'est-à-dire qui ne dépendent pas de la nature de la substance). Ce sont des liaisons physiques. Ces forces dépendent de l'enthalpie libre d'interaction entre l'adsorbant et la molécule en contact avec sa surface [67, 51]. Ce type d'adsorption a pour caractéristique d'être faiblement spécifique, d'être réversible et d'avoir un faible effet thermique (ordre de $1kJ/mol$) [67]. Les liaisons chimiques (chimisorption) concernent l'adsorption causée par des réactions chimiques entre l'adsorbé et l'adsorbant comme la création de liaisons covalentes ou ioniques. Ce type d'adsorption se caractérise par sa sélectivité, son irréversibilité (majoritairement) et son effet thermique de dizaine à centaine de kJ/mol [67].

Le temps de contact entre le solide adsorbant et les éléments adsorbés déterminera également la capacité d'adsorption. Cela correspond au temps accordé aux polluants pour se déplacer jusqu'à la surface de l'adsorbant [51].

La masse de polluant adsorbée par unité de surface est fonction de la concentration du polluant en phase aqueuse [51].

Absorption par charbon actif

Le charbon actif (CA) peut être utilisé comme adsorbant. C'est d'ailleurs l'adsorbant le plus utilisé dans le traitement des eaux grises [68]. Il est principalement utile pour supprimer les composés organiques réfractaires dissous (qui résistent à la dégradation) [45, 68]. Il permet aussi d'éliminer

des éléments inorganiques comme l'azote, le sulfure et les métaux lourds. Le CA supprime donc de nombreux contaminants de l'eau grise dont, notamment, les pesticides et herbicides, les produits pharmaceutiques, les sous-produits de désinfection et les toxines cyanobactériennes [48]. Cependant, il a une faible affinité pour les espèces organiques polaires de faible poids moléculaire [45].

Il se présente en poudre (CAP) ou en granules (CAG) de carbone absorbant avec une grande capacité d'élimination des traces et composants solubles d'une solution [45, 51].

Le CAP est une poudre de particules entre 10 et 50 μm . Il est davantage utilisé dans le traitement de clarification. Il est introduit en continu dans l'eau avec des coagulants. Des floccs se forment donc pour finir par la création de boue. Le tout est évacué en une fois [51, 48]. Le CAP présente divers avantages : un coût moins élevé que le CAG (2 à 3 fois moins cher), un investissement réduit et une cinétique d'absorption élevée [51]. Nonobstant, il n'est pas possible de le régénérer s'il se retrouve mélangé à des boues, contrairement au CAG [51].

Le CAG, quant à lui, est utilisé sous la forme d'un lit filtrant de granules traversé par l'eau. Il remplit quatre fonctions principales : filtration, support bactérien (participe à l'épuration de l'eau), action réductrice (désinfection partielle) et enfin l'absorption qui est son rôle essentiel [51].

Le CA est un produit assez coûteux. Cependant, il existe diverses façons de le régénérer (régénération à la vapeur, régénération thermique et régénération biologique) et d'ainsi diminuer les coûts [48, 51]. Cette régénération est possible si le CA n'est pas mélangé à d'autres composants comme des boues [51]. Pour le CAG, il est nécessaire de le régénérer régulièrement, surtout lorsqu'il est utilisé en tant que méthode de traitement dominante dans la suppression des contaminants par rapport au traitement biologique [26].

3.4.4.6 Fractionnement de la mousse

Un autre type de traitement des eaux est le fractionnement de la mousse. Ce procédé physico-chimique élimine les éléments amphiphiles (tensioactifs) présents dans une solution aqueuse [69, 70]. Des bulles d'air (interfaces air-liquide) sont créées dans les eaux grises par injection d'air (via un système venturi ou autre) [69, 70]. Les molécules amphiphiles dissoutes ont dès lors tendance à se fixer la surface des bulles montantes afin de diminuer l'enthalpie du système [69, 70]. De fait, de par leur absorption, la quantité de travail nécessaire pour "étirer" l'interface est réduite tout comme l'énergie à l'interface [69]. Si l'énergie de surface de ces molécules est suffisamment faible, cette couche devient stable et permet de maintenir les bulles d'air à la surface du liquide créant ainsi une couche de mousse. Cette mousse contient les éléments amphiphiles et peut être retirée mécaniquement [69, 70].

La stabilité de la mousse dépend de trois phénomènes : le drainage, qui peut faire disparaître la mousse si les films liquides séparant les bulles se cassent ; la coalescence permettant à de plus petites bulles de se rassembler et de former de plus grandes bulles ; et la différence de pression entre deux bulles de tailles différentes créant également la fusion de petites bulles en plus grandes [69].

Ces bulles d'air fonctionnent donc comme un absorbant tel que le CAG. Elles présentent néanmoins des applications différentes du CAG. Les bulles fractionnent en mousse des protéines, des enzymes et des contaminants amphiphiles [70]. Cette technique a pour avantage d'être bon marché, mobile, "durable" et ne nécessite pas d'être remplacée après utilisation [69]. Elle demande également peu d'investissement, présente de faibles besoins énergétiques et donc de faibles coûts d'exploitation [69]. La figure 3.9 illustre le principe de fonctionnement d'un système de fractionnement à mousse de type colonnes.

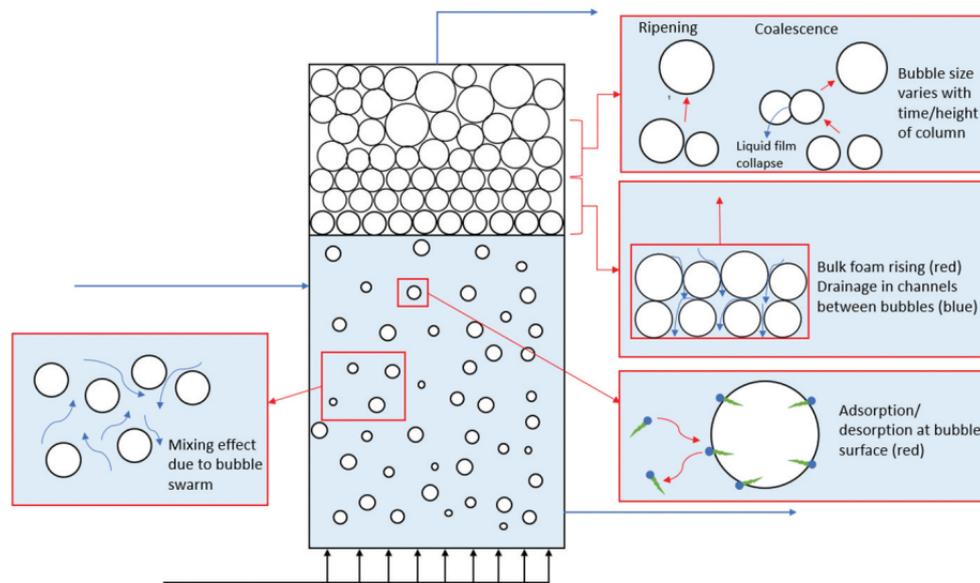


FIGURE 3.9 – Caractéristiques principales d'une colonne de fractionnement de la mousse (T. BUCKLEY et al. (2021) [69])

3.4.5 Types de traitements pour les systèmes compacts

Les systèmes de réutilisation des eaux grises décentralisés, objets de ce travail, sont soumis à des volumes et des qualités d'eaux grises assez fluctuants dans le temps. Il est donc intéressant de disposer de techniques de traitement pouvant supporter ces fluctuations. Il a été remarqué que la combinaison de traitements physiques et chimiques offre de bonnes capacités de traitement des eaux grises dans ces conditions. L'utilisation de traitements physiques seuls gère bien la fluctuation des volumes d'eaux grises. Toutefois, ces traitements ne sont pas optimaux pour supprimer la matière organique totale. Ils tendent à se colmater si aucun autre traitement n'est effectué au préalable [33].

Ci-après, sont présentés différents systèmes "compacts" de réutilisation des eaux grises présents sur les marchés belge et internationaux. Sauf indication contraire, ces systèmes ont été sélectionnés car ils conviennent pour une utilisation en résidentiel unifamilial, pouvant être utilisé dans du résidentiel. Leurs modes de traitement seront détaillés et confrontés à la littérature afin de déterminer les modes de traitement à privilégier dans les systèmes compacts.

Les différents systèmes, leurs modes de traitement et leurs utilisations sont les suivants :

Système « Hydraloop » [71] :

- Traitements :
 - Traitement physique : Sédimentation (Suppression des sédiments),
 - Traitements physico-chimiques :
 - * Flottation (Suppression des savons et des cheveux),
 - * Flottation à air dissous (Suppression des MES et des matières organiques),
 - * Fractionnement de la mousse (Suppression des savons, shampoings, après-shampoings, solides et matières organiques).
 - Traitement biologique : MBBR,

- Désinfection UV.
- Utilisations : Bâtiment de type résidentiel unifamilial ou de taille équivalente (ou pour de plus gros bâtiments (par exemple hôtel), si plusieurs systèmes sont connectés en cascade) :
 - Lave-linge,
 - Arrosage du jardin,
 - Chasse de toilette,
 - (Remplissage de piscine).
- Testé et certifié suivant la norme NSF/ANSI 350 - 2022 [28].

Système « Recover » [72] :

- Traitements :
 - Traitement physique : (Pré)filtre gravitaire auto-nettoyant grossier ($100\mu\text{m}$),
 - Traitement chimique : Désinfection au chlore via eau d'appoint (galets de chlore à diffusion prolongée (type piscine)).
- Utilisations : Bâtiment de type résidentiel unifamilial ou de taille équivalente :
 - Chasse de toilette.
- Testé et certifié suivant la norme NSF/ANSI 350 - 2022 [28].

Système « Spareau » [73] :

- Traitements :
 - Traitement physique : Filtre tamis grossier,
 - Traitements physico-chimiques :
 - * 2 filtres de $5\mu\text{m}$ aux CA,
 - * 3 filtres de $100\mu\text{m}$ dont un imprégné de CA.
 - Traitement biologique : Traitement enzymatique (par pastilles enzymatiques hydrosolubles).
- Utilisations : Bâtiment de type résidentiel unifamilial ou de taille équivalente :
 - Chasse de toilette.

Système « ECOVIE-Aqualoop » [74] :

- Traitements :
 - Traitements physiques :
 - * Préfiltre grossier auto-nettoyant,
 - * Membrane auto-nettoyante à UF ($0,02\mu\text{m}$) : rôle de désinfection (bactérie et virus),
 - Traitements biologiques :
 - * Réacteur aérobique,
 - * Digestion aérobique biologique (première étape des MBR).
- Utilisations : Peut convenir pour de l'unifamilial, mais conçu à la base pour de plus gros bâtiments.

- Testé et certifié suivant la norme NSF/ANSI 350 - 2022 [28].

Systeme « Greyter » [55] :

- Traitements :
 - Traitements physiques :
 - * Filtre grossier (préfiltre auto-nettoyant) pour les grosses particules et cheveux,
 - * UF (99,99% des micro-organismes, petits solides et d'une partie du savon),
 - * Absorption média (suppression savon, couleur et odeur).
 - Traitement chimique : Désinfection au chlore (réservoir).
- Utilisations : Bâtiment de type résidentiel unifamilial ou de taille équivalente :
 - Chasse de toilette
- Testé et certifié suivant la norme NSF/ANSI 350 - 2022 [28].

Pour information, à l'exception de « Spareau » tous ces systèmes sont équipés d'une interface de contrôle et de gestion automatique de la qualité de l'eau.

Ces différents systèmes favorisent l'utilisation de techniques de traitement demandant peu d'entretien et permettant un lavage automatique. Certains modèle, tel que « Hydraloop » et « Recover » en font un argument de vente. De plus, selon « Hydraloop » [71], l'utilisation de traitements ne nécessitant pas de consommable semble être un atout dans ce type de système.

La filtration est le procédé le plus souvent utilisé dans les systèmes compacts présents sur le marché (utilisée par tous sauf « Hydraloop »). Les types de filtration diffèrent mais la majorité utilisent des systèmes de filtres auto-nettoyants (« Recover », « ECOVIE-Aqualop » et « Greyter »). L'intérêt d'utiliser ce type de filtration est de supprimer les grosses particules (cheveux entre autres) [33, 46].

La filtration par membrane est aussi régulièrement mise en place dans ces systèmes (« Spareau », « Greyter », « ECOVIE-Aqualoop »). Lorsque des membranes sont utilisées, il s'agit toujours d'UF. Pour « Greyter », l'utilisation d'UF sert à supprimer la plupart des bactéries (99,99%), les petits solides et une partie du savon. Le MBR ne se retrouve pas dans les systèmes compacts unifamiliaux. Il est davantage utilisé dans de plus gros systèmes destinés au secteur commercial et aux grands immeubles [75, 76]. Lorsque le MBR est utilisé dans l'unifamilial (tel que le modèle « ECOVIE-Aqualoop » de Ecovie [74]), les systèmes ne sont pas compacts et leur installation est contraignante et coûteuse comme le stipule la littérature [33, 39]. Le MBR n'est donc pas conseillé dans le cadre de systèmes compacts pour l'unifamilial.

Différentes techniques sont utilisées pour la désinfection.

La désinfection au chlore est fréquemment présente dans les systèmes compacts unifamiliaux (« Recover » et « Greyter »). Elles présentent différents avantages : faible coût, pouvoir désinfectant et pouvoir résiduel important [33, 66]. Ce pouvoir résiduel est intéressant pour limiter la re-croissance des micro-organismes lors du stockage de l'eau grise traitée [46]. Cela fait de cette désinfection un type de traitement efficace dans les systèmes compacts pour les maisons unifamiliales. Cependant, un traitement au chlore nécessite un rechargement périodique du système [33, 66].

La désinfection aux UV est également utilisée dans ces systèmes (« Hydraloop »). Si, comme l'indiquent A. A. S. AL-GHEETHI et al. (2018) [66], cette méthode semble adaptée à une utilisation pour

les petits systèmes, la désinfection au chlore reste toutefois la technique de désinfection la plus utilisée. Peut-être ce recours moindre au traitement par UV est-il dû à son faible pouvoir résiduel et à son coût plus élevé, comparativement à la désinfection au chlore [33, 66].

Des traitements par absorbant sont aussi utilisés (« Spareau » et « Greyter »). L'utilisation d'absorbant impose son remplacement périodique. « Spareau » utilise notamment du CA combiné à de l'UF. « Greyter » utilise de l'absorbant, d'un type non spécifié, pour supprimer les résidus de savon qui n'auraient pas été arrêtés par l'UF.

« Spareau » utilise aussi un traitement enzymatique. Des pastilles hydrosolubles contenant des enzymes sont trempées dans l'eau grise à traiter. Ces pastilles doivent être achetées et rechargées périodiquement [73]. Bien que « Spareau » fasse appel à ce procédé, aucun article pertinent n'a été trouvé concernant sa mise en œuvre pour la réutilisation des eaux grises. Ce traitement par enzymes présente néanmoins divers avantages tels qu'un impact plus faible sur l'environnement que les autres traitements physico-chimiques conventionnels, une utilisation pour une grande plage de pH et une efficacité dans la dégradation de particules réfractaires [57]. Il serait donc intéressant d'approfondir le sujet et d'étudier son intérêt dans la réutilisation des eaux grises.

« Hydraloop » se veut un système ne nécessitant aucun consommable et quasiment aucun entretien, contrairement aux autres systèmes étudiés. Pour ce faire, il utilise cinq types de traitements qu'aucun autre système n'utilise, combinant des traitements physico-chimiques et biologiques. La littérature conseille d'intégrer un traitement biologique aérobique, un traitement de filtration et/ou un traitement de désinfection [56]. « Hydraloop » utilise comme système aérobique le MBBR. Il n'utilise néanmoins pas de processus de filtration mais combine un grand nombre de traitements physio-chimiques et une désinfection aux UV.

En conclusion, les différents systèmes compacts pour maisons unifamiliales déjà présents sur le marché utilisent des procédés relativement semblables. Au vu des contraintes du marché résidentiel unifamilial (faible coût, système compact, peu d'entretien...), cette similarité de la majorité des systèmes existants n'est pas étonnante. Au vu du nombre et de la variété des modes de traitement existants, d'autres options sont envisageables, sans avoir encore été bien étudiées à l'heure actuelle. Des alternatives commencent à voir le jour (comme « Hydraloop ») mais un grand panel de traitements et de combinaisons de traitements restent à étudier. Les systèmes compacts sont d'apparition encore récente et leur développement n'en est qu'à ses débuts. La situation va certainement sensiblement évoluer dans les années à venir.

Face à ces systèmes mobilisant plusieurs technologies, il peut être intéressant de rappeler qu'il existe des systèmes lowtechs nécessitant peu d'investissement tels que les MFEVR. Si ces systèmes ne semblent pas être la solution pour la réutilisation complète et automatique des eaux grises dans les maisons, de nouvelles études pourraient peut-être à terme justifier une révision de ce jugement, ce sujet récent étant en pleine expansion et évolution.

3.5 Détermination du mode de traitement

Le tableau 3.8 présenté ci-après, fournit des indications sur la réduction des paramètres physico-chimiques et biologiques pour différents types de traitements des eaux grises. Combiné avec les caractéristiques physico-chimiques (voir tableau 3.4) et biologiques (voir tableau 3.5) des eaux grises, ainsi qu'avec les recommandations de qualité de l'eau en fonction de son utilisation (tableau 3.2), il permet de donner une première indication sur les types de traitements qui peuvent être envisagés dans différentes situations.

En effet, en fonction des caractéristiques des eaux grises à traiter et de l'utilisation finale de l'eau traitée, le choix du type de traitement peut varier. Les traitements physico-chimiques peuvent être privilégiés pour éliminer les polluants solides et dissous, tandis que les traitements biologiques peuvent être plus efficaces pour réduire la charge microbienne de l'eau.

Il convient de noter que ce tableau ne doit être utilisé qu'à titre indicatif et ne constitue pas une évaluation complète de la qualité de l'eau. Une analyse plus détaillée de chaque situation individuelle devra être réalisée pour déterminer le traitement approprié.

En résumé, le tableau 3.8 constitue une aide précieuse pour orienter le choix du traitement de l'eau grise en fonction de ses caractéristiques et de l'usage prévu. En combinant ces informations avec d'autres données pertinentes, il est possible d'optimiser le choix du traitement pour obtenir une eau grise traitée de qualité optimale pour une utilisation sûre et efficace.

Plusieurs généralités quant au mode et au type de traitement utilisé peuvent être mises en avant.

Le premier traitement mis en place consiste en général en un traitement physique avec ou sans assistance chimique [45]. Ce premier traitement a pour objectif principal de supprimer les MES. Il n'a souvent que peu d'influence sur les autres particules dissoutes ou colloïdales [45]. Le système « Hydra-loop » par exemple utilise comme premier traitement la sédimentation ainsi que différentes techniques de flottation dont la DAF. Ce premier traitement peut également être une filtration grossière telle que dans les systèmes « Recover », « Spareau », « Greyter » et « ECOVIE-Aqualoop ».

Le second traitement quant à lui est plus fréquemment un traitement biologique et/ou une sédimentation afin d'éliminer les matières organiques [45]. A cette étape, 85% des BOD et de la MES doivent avoir été supprimés. Toutefois, l'efficacité sur les virus est moindre [45]. Différentes options de traitement sont possibles ; cela peut être le MBBR comme pour le système « Hydra-loop », le traitement enzymatique comme « Recover » ou encore la digestion aérobie biologique comme pour « ECOVIE-Aqualoop ». Certains systèmes comme le « Greyter » n'utilisent pas de traitement biologique à cette étape mais une UF avec une absorption média afin d'obtenir des résultats similaires en terme de suppression de particules.

La troisième et dernière étape de traitement a pour objectif d'éliminer les bactéries entériques, les virus et autres toxines spécifiques [45]. Pour ce faire, il est conseillé de combiner une filtration conventionnelle, une filtration par membrane ou un autre type de filtration avec une coagulation, une sédimentation, une flottation et surtout une désinfection [45]. « Hydra-loop » utilise une désinfection UV par exemple. « Greyter » et « Recover » ont quant à eux fait le choix d'une désinfection chlore. « ECOVIE-Aqualoop » combine cette désinfection au chlore avec une UF. « Spareau » quant à lui combine cette filtration à une désinfection au CA.

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	-
UF membrane	56	-	-	48,6	-	-	-	99,9	99,9	-	-	-
NF membrane	93,4	-	-	96,7	-	-	-	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	-	-	-	-	-	-
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	-	-	-	-	-	-
Désinfection au chlore	59	-	-	-	-	12	-	-	-	>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	-
Charbon actif	97 - 98	94	-	-	98	91	-	-	-	-	-	-
DAF	70 - 80	30 - 90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Sources : M. OTENG-PEPRAH et al. (2018) [5], S. D. GHSI 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 3.8 – Pourcentage de réduction de différents paramètres définissant la qualité de l'eau selon le traitement utilisé, d'après une synthèse de la littérature

3.6 Stockage

Dans les systèmes compacts de réutiliserons des eaux grises, un stockage des eaux traitées est nécessaire afin de former une réserve pour les futures utilisations et de ne pas être obligé de les réutiliser directement au moment où elles sont produites.

D'après le sondage réalisé (voir point 3.1), les temps de stockage des systèmes mis en place actuellement en Belgique varient fortement. Certains systèmes ne permettent pas de stockage et d'autres vont jusqu'à 5 jours de stockage. Une fois le temps de stockage dépassé, l'eau stockée est vidangée. Il semble donc important d'étudier et de mettre au point ce qui est conseillé afin d'uniformiser le système et le temps de stockage.

Ainsi, selon la norme européenne NBN EN 16941-2 [3] applicable en Belgique, il est déconseillé de stocker des eaux grises non-traitées et il est conseillé de limiter autant que possible le stockage des eaux grises traitées. S'il faut stocker des eaux grises traitées, il est possible de le faire de deux manières : soit en les intégrant dans le procédé de traitement des eaux grises, soit en effectuant un stockage séparé. Il est même envisageable de combiner ce stockage avec un système de récupération d'eau de pluie. La norme britannique BS 8525-1 : 2010 [12] sur laquelle cette norme se base donne les mêmes indications. Il faut tout de même veiller à vérifier les législations locales en vigueur. De fait, en Flandre et en Wallonie le mélange des eaux de pluies et des eaux grises traitées dans le même réservoir est interdit.

Ces deux normes définissent aussi de la même manière les paramètres dont un système de stockage pour eaux grises doit tenir en compte :

- Le débit maximal fourni par l'équipement de traitement [3, 12] ;
- « *La température de stockage nécessaire en permettant une ventilation naturelle* » [3] ;
- La durée maximale de stockage et toute autre condition énoncée par le fabricant de l'équipement de traitement [3, 12] ;
- « *Le fait que le système soit dédié uniquement aux eaux grises ou soit combiné à un système de récupération de l'eau de pluie* » [3].

Ensuite, selon la norme NBN EN 16941-2 [3], de nombreux aspects sont à prendre en considération afin de définir le type de stockage approprié ; en voici la liste :

- Matériaux ;
- Dimensions ;
- Capacité ;
- Comportement structurel ;
- Étanchéité à l'eau ;
- Raccordement et systèmes de tuyaux internes ;
- Accès ;
- Trop-plein.

Parmi cette liste, la norme NBN EN 16941-2 [3] se suffit à elle-même pour la plupart des points, à l'exception du point sur la capacité de stockage. Les autres éléments ne seront donc pas étudiés

dans ce travail. Cependant, en plus de cette liste, une recherche sur les temps de stockage est aussi effectuée.

Comme expliqué dans le point 3.2.3, les décisions concernant le stockage pour les systèmes de réutilisation des eaux grises se basent sur les normes suivantes :

- BS 8525-1 : 2010 [12] ;
- BS8525-2 : 2011 [18] ;
- BS 8595 : 2013 [31] ;
- NSF/ANSI 350 - 2022 [28] ;
- ISO 30500 : 2018 [23].

3.6.1 Capacité

La norme NBN EN 16941-2 [3] définit la capacité nominale de stockage comme étant : « *le volume maximal d'eau pouvant être contenu dans le dispositif de stockage* » [3]. De plus, celle-ci doit « *être précisée par le fabricant ou le concepteur* » [3].

Cette norme ainsi que les normes BS 8525-1 : 2010 [12] et BS 8595 : 2013 [31] spécifient que la capacité de stockage optimale pour l'eau grise traitée doit être déterminée suivant :

- Le débit de traitement maximal ;
- La production, la demande ou les habitudes de comportement.

Elles stipulent qu'il est toujours préférable d'utiliser l'eau grise traitée immédiatement (dès que possible) plutôt que de la stocker. Comme les eaux grises non traitées sont généralement disponibles en quantité suffisante, ces normes considèrent que la capacité de stockage du réservoir d'eaux grises traitées peut être égale au volume de production journalier des eaux grises [31, 12]. La norme belge suit cette idée et mentionne que « *le stockage d'une quantité comprise entre 50 % et le volume utilisé sur une journée est normalement considéré comme suffisant* » [3].

La norme NSF/ANSI 350 - 2022 [28] préconise quant à elle que les systèmes de traitement aient une capacité de stockage minimale égale à 500% du volume journalier d'eau traitée si aucun moyen de dérivation pour l'évacuation directe des eaux grises non traitées n'est prévu. Cette dérivation doit être activée pendant les périodes de dysfonctionnement du système.

Dans tous les cas, la norme NBN EN 16941-2 [3] précise que les systèmes de réutilisation des eaux grises doivent être munis d'un système de bypass et/ou de trop-plein afin d'empêcher des inondations dues au débordement du réservoir.

Pour information, dans le cas où un système combine le stockage des eaux grises traitées et des eaux de pluie, la taille de stockage peut se voir augmenter [12, 31].

Au vu des normes précitées, il semble que le volume de stockage des eaux grises le plus adéquat corresponde, au maximum, au volume de la demande moyenne journalière d'eaux grises non traitées des appareils connectés. Ce choix qu'encouragent les normes, se fonde sur la qualité de base inférieure de l'eau grise qui, même traitée, tend à se dégrader rapidement une fois stockée. Afin de limiter le stockage à une durée de 24 heures, ces normes (NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12]) recommandent dès lors que la demande en eau grise traitée permette la vidange complète du réservoir dans ce laps de temps ; c'est-à-dire que la demande quotidienne soit égale à la capacité du réservoir. Cette norme [3] est la plus exigeante en terme de sécurité car elle recommande même un stockage pouvant

se limiter à 50% de la demande.

Cependant, si la production moyenne journalière est inférieure à la demande moyenne journalière, il est envisageable de baser le volume de stockage sur la production plutôt que sur la demande. De fait, si le stockage est basé sur la demande mais que celle-ci dépasse sensiblement la production journalière, le volume calculé sera trop important et peut engendrer des coûts inutiles.

Si un système de réutilisation des eaux grises traitées peut garantir une conservation de la qualité de l'eau pendant un stockage prolongé (c'est notamment le cas du système « Hydraloop » [71]), une capacité de stockage supérieure à un jour peut être envisagée. De même, si le système est équipé d'un dispositif de vidange automatique enclenché de manière horaire ou via un contrôle de la qualité de l'eau stockée, un stockage supérieur à la demande journalière d'eaux grises traitées peut également être envisagé.

Il convient de noter que l'augmentation de la capacité de stockage peut avoir des conséquences sur les coûts d'installation et d'entretien du système ainsi que sur l'espace nécessaire pour le stockage. Il est donc important de prendre en compte ces facteurs lors de la conception du système de réutilisation des eaux grises [3, 12].

Dans tous les cas, le choix de la capacité de stockage doit être appuyé et justifié par une étude préalable. Cette étude prendra en compte plusieurs facteurs tels que le débit de sortie du système de traitement, la qualité de l'eau après traitement, la qualité de l'eau après stockage, les coûts et la faisabilité technique du système de stockage [3, 12].

En conclusion, comme le montre la formule (2), dans le cas d'un prédimensionnement, une bonne première approche consiste à choisir un volume de stockage égal à la demande journalière moyenne sauf si la production est inférieure à la demande. Dans ce cas, le volume de stockage devra être égal à la production moyenne journalière [3, 12].

$$V_S[L] = \min(D_G; Y_G)[L/j] \cdot 1[j] = \min(V_{DG}; V_{YG})[L] \quad (2)$$

Où " V_S " représente le volume de stockage en litres, " D_G " représente la demande moyenne journalière en eaux grises traitées en litres par jour, " $1[j]$ " est une durée de référence d'une journée et " V_{DG} " représente le volume moyen journalier demandé en eaux grises traitées en litres.

" V_S " peut être considéré comme le volume minimal à prévoir dans le cas où le dispositif dispose d'une garantie quant à la tenue de la qualité de l'eau dans le réservoir.

" Y_G " représente la production journalière d'eaux grises à traitées en litres par jour, et " V_{YG} " représente le volume moyen journalier d'eaux grises à traitées en litres.

La formule 2 exprime que le volume de stockage " V_S " (en litre) est égal à la demande moyenne journalière en eaux grises traitées " D_G " (en litre par jour) multipliée par une durée de référence d'une journée, qui est ici égale à " $1[j]$ ", ou bien, de manière équivalente, au volume moyen journalier demandé en eaux grises traitées, représenté par " V_{DG} ".

Le paragraphe 3.7 reprend les méthodes de calculs pour la détermination de la production et de la demande en eaux grises (traitées).

3.6.2 Temps de stockage

Selon les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12], il est important de s'assurer que les eaux grises traitées ne soient pas stockées pendant une période de temps pouvant altérer leur qualité en deçà des normes spécifiées (en Belgique : voir tableau 3.2) ou dépassant les exigences du fabricant. Il est donc conseillé de limiter le plus possible le temps de stockage des eaux grises traitées et encore plus des eaux grises non traitées [3, 12].

Plusieurs méthodes semblent pouvoir être mises en place pour répondre à ces exigences. Une solution consiste à évacuer (vidanger) l'eau stockée avant que celle-ci ne respecte plus les critères de qualité requis. Pour savoir quand il faut vidanger, deux systèmes semblent pouvoir être mis en œuvre ; d'une part, un système qui consiste en une minuterie automatique vidant entièrement le réservoir une fois par jour, quelles que soient les circonstances, d'autre part un système de contrôle automatique et en temps réel de la qualité de l'eau dans le réservoir qui permet de savoir si la qualité de l'eau est trop détériorée pour autoriser sa réutilisation. Si tel est le cas, le système se vidange automatiquement. Selon BS 8525-1 : 2010 [12], lorsque l'équipement de traitement des eaux grises ne comporte pas de dispositif de vidange automatique, il convient de consulter les instructions du fabricant concernant les dispositions à prendre pour l'évacuation des eaux grises traitées stockées en cas de dépassement de la durée maximale de stockage.

Par ailleurs, le temps de stockage des eaux grises traitées étant fonction de la qualité de l'eau grise qui arrive dans le réservoir, les traitements qui sont appliqués à l'eau grise vont avoir une influence sur le temps de stockage maximum [31].

C'est pour toutes ces raisons que les normes déconseillent le stockage "longue durée" des eaux grises non traitées. La locution "longue durée" n'est toutefois pas définie ; il est dès lors difficile de savoir ce qu'elle signifie réellement. Dans tous les cas, il est conseillé d'utiliser ces eaux au plus vite [3, 12], si possible directement après qu'elles aient refroidi [12].

Selon « *Code of Practice for the Reuse of Greywater in Western Australia 2010* » (2010) [80] et PUB (2014) [48], la locution "longue durée" recouvre une période supérieure à 24 heures. En effet, en Australie occidentale et à Singapour, l'eau grise non traitée ne peut pas être stockée plus de 24 heures en raison du développement rapide des coliformes fécaux dans ces eaux (multiplication de 10 à 100 fois pendant les premières 24 à 48 heures de stockage) [80, 48]. Ces deux normes se basent en partie sur la norme britannique BS 8525-1 : 2010 [12].

L'article Y. KOBAYASHI et al. (2020) [81] explique que plus le temps de stockage est long, plus cela dégrade le chlore résiduel qui peut servir de désinfectant et plus cela permet aux bactéries indésirables de se développer. Cela augmente les risques potentiels pour la santé humaine.

Dans tous les cas, les systèmes doivent être placés de manière à ce que l'eau stockée n'atteigne pas des températures susceptibles de favoriser une croissance microbienne indésirable [48].

Afin de maintenir une qualité d'eau stockée correcte pendant une période plus longue et d'augmenter le temps de stockage, il peut être intéressant de jouer sur les modes de traitement utilisés. En effet, l'utilisation de modes de traitement plus efficaces en amont du stockage améliore la qualité de l'eau entrant dans le réservoir et permet ainsi d'augmenter le temps de stockage maximum [31]. Une autre solution consiste à ajouter des étapes de traitement supplémentaires, en sus du traitement en amont. En effet, des traitements de l'eau en sortie de réservoir et/ou pendant le stockage lui-même semblent pouvoir être effectués afin d'augmenter le temps de stockage. Ainsi, si un système permet de retraiter l'eau stockée pour respecter les critères requis, le temps de stockage sera évidemment prolongé. Une

autre méthode potentiellement envisageable, mais discutable, consisterait à autoriser un dépassement des limites de qualité d'eau requises au sein du réservoir, si l'eau stockée est retraitée à sa sortie pour respecter les exigences fixées au niveau des points de puisage. Cette solution n'est pas idéale car elle implique la possibilité de stocker des eaux de mauvaise qualité (équivalentes ou inférieures à des eaux grises non traitées), ce qui est déconseillé [12, 48, 80, 3].

Les dispositions et exigences quant au contrôle des systèmes de réutilisation des eaux grises sont étudiées plus en détail dans la partie 3.9.

En conclusion, il est fortement préconisé de limiter autant que possible le temps de stockage des eaux grises, en particulier lorsque celles-ci ne sont pas traitées (stockage maximal de 24 heures). Le temps de stockage maximal varie fortement en fonction de la qualité de l'eau stockée. Par conséquent, si aucun système de contrôle de la qualité de l'eau et de vidange automatique n'est mis en place, un temps de stockage maximal de 24 heures semble être applicable même pour les eaux grises traitées. Dans le cas où un système de contrôle et de vidange automatique est mis en place, celui-ci doit être réglé de manière à ce que la qualité de l'eau stockée respecte toujours les exigences requises (Proposition en Belgique : voir tableau 3.2).

3.7 Dimensionnement

3.7.1 Méthodes de calculs

Cette section se focalise sur la détermination des volumes de production et de demande en eaux grises.

Pour ce faire, les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12] proposent deux méthodes de calculs qui permettent de déterminer le type et la capacité du système d'eaux grises requis.

1. La première méthode, appelée "approche de base", se limite à la réutilisation des eaux grises légères (eaux de salles de bains) pour la chasse des toilettes et/ou le lavage du linge et/ou pour d'autres petites applications d'eaux non potables (par exemple, l'arrosage du jardin) dans des locaux résidentiels individuels. L'approche de base peut être utilisée pour les installations résidentielles individuelles.
2. La deuxième méthode, dite "approche détaillée", est plus complète et précise. Elle peut être utilisée dans des applications qui sortent du cadre de l'approche de base. Comme son nom l'indique, il s'agit d'une méthode plus détaillée qui peut s'appliquer pour la récupération et la réutilisation des eaux grises de diverses applications. Elle permet la réutilisation des eaux grises tant légères que lourdes.

Ces normes précisent que : "*Lorsqu'un bien est destiné à être utilisé comme hôtel, résidence ou d'autres bâtiments d'habitation similaires, ou lorsque plusieurs biens sont destinés à être alimentés par un seul système d'eaux grises, il convient d'utiliser l'approche détaillée*" [3]. Dans un cas purement résidentiel (par exemple une maison unifamiliale), l'approche de base semble donc être suffisante.

Ces deux normes utilisent le "nombre de personnes" pour évaluer la demande et la production d'eau domestique. Le choix de mettre "nombre de personnes" entre guillemets souligne son importance car c'est la variable la plus importante pour déterminer la consommation et la demande en eau dans un bâtiment. Les personnes utilisent les équipements sanitaires, créant ainsi une demande et une production d'eau. Il est donc crucial de choisir ce nombre avec précaution. Pour plus d'informations sur le choix de ce nombre, se référer à l'étude statistique des tailles de ménages réalisée dans le projet « OptiDim » de Buildwise sur l'optimisation du dimensionnement de la production d'eau chaude sanitaire [82].

Deux méthodes semblent pouvoir être utilisées pour déterminer le nombre de personnes. La première consiste simplement à prendre en compte le nombre d'occupants actuels ou futurs du bâtiment qui utiliseront le système de réutilisation des eaux grises. La deuxième méthode consiste à considérer d'emblée la capacité maximale d'occupation du bâtiment car le nombre de personnes peut varier au fil du temps. En général, la deuxième méthode sera préférable car elle tient compte de la capacité d'accueil totale du bâtiment. De plus, lors de la revente de l'immeuble, l'acquéreur peut s'attendre à ce que l'installation soit utilisable pour la capacité réelle d'occupation du bâtiment.

Pour rappel, en vue de faciliter la mise en pratique des principes exposés dans cette partie, un outil d'aide au dimensionnement a été mis au point. Contenu dans un fichier Excel (voir annexe A), cet outil permet à l'utilisateur de déterminer de façon claire et simplifiée la production et la demande en eaux grises traitées d'une installation de réutilisation des eaux grises, en vue de pouvoir la dimensionner. L'utilisateur peut en outre utiliser, au choix, les valeurs de l'approche de base ou de l'approche détaillée, celles-ci ayant été combinées au sein de l'outil Excel.

3.7.2 Hiérarchie de la demande et de la production

Étant donné que la capacité de traitement de l'eau ainsi que son coût dépendent du taux de traitement nécessaire, les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12] établissent une hiérarchie d'utilisation des eaux grises pour réduire l'effort de traitement et éviter de collecter et de traiter des eaux qui ne peuvent pas être utilisées.

Il est recommandé de suivre l'ordre de préférence suivant pour l'utilisation de l'eau non potable [3, 12] :

1. La chasse des toilettes ;
2. L'usage extérieur sans pulvérisation ;
3. Le lavage du linge ;
4. L'usage extérieur avec pulvérisation.

De même, pour la collecte, il convient de suivre l'ordre de préférence suivant [3, 12] :

1. Douches et baignoires ;
2. Lavabos, lave-linges ;
3. Eviers et/ou lave-vaisselles.

Cette hiérarchisation des sources en entrée et des utilisations en sortie doit permettre de réduire l'effort de traitement en évitant de collecter et de traiter des eaux qui ne peuvent pas être utilisées [3, 12].

Pour plus de clarté, la figure 3.10 ci-dessous illustre ces différentes hiérarchies d'usage et de collecte de manière schématique.

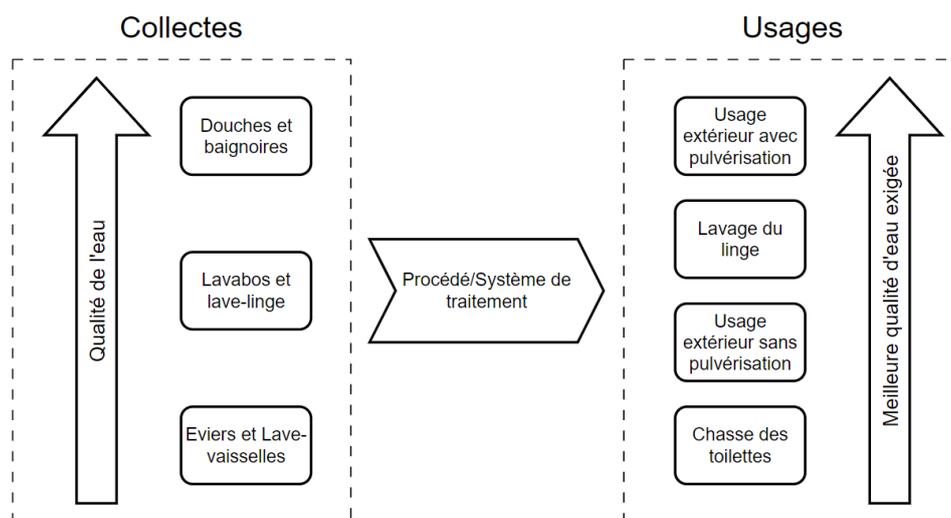


FIGURE 3.10 – Hiérarchies des sources et des usages des eaux grises en fonction de leurs qualités (NBN EN 16941-2 (2021) [3], BS 8595 : 2013 (2013) [31])

3.7.3 Approche de base

3.7.3.1 Domaines d'applications

L'utilisation de l'approche de base requiert le respect des deux hypothèses ci-dessous [3, 12] :

1. Les demandes journalières par personne pour la chasse des toilettes et le lavage du linge sont considérées comme relativement constantes.
2. La production des eaux grises légères par personne est relativement constante.

Ces deux hypothèses s'approchant plus d'une situation résidentielle, l'approche de base n'est valable que pour ce type de bâtiment.

3.7.3.2 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 sur la figure 3.11 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.				

FIGURE 3.11 – Production et demande en eaux grises journalières moyennes types selon NBN EN 16941-2 [3] (NBN EN 16941-2 (2021) [3])

Ainsi qu'indiqué au début de ce TFE (voir point 2), la norme NBN EN 16941-2 [3] s'appuie sur la série de normes britanniques BS8525, en particulier sur la norme BS 8525-1 : 2010 [12]. Ces deux normes présentent toutes deux l'approche de base de manière similaire (voir la section 3.7.1). Cependant, les valeurs fournies par ces deux normes ne sont pas identiques. En effet, comme le montre la figure 3.12 ci-dessous, la norme britannique définit le volume de production journalier moyen d'eaux grises légères à 50L et le volume demandé par les WC à 25L alors que la norme européenne d'application en Belgique (NBN EN 16941-2 [3]) fixe le volume de production d'eaux grises légères à 60L et la demande des WC à 35L (voir figure 3.11). Il semble donc, selon ces normes, que les ménages belges ont tendance à produire plus d'eaux grises légères et à consommer plus d'eau que les ménages britanniques [3, 12].

Occupancy	Yield ^{A)}	Demand		
		WC	Laundry ^{B)}	Other non-potable uses ^{C)}
1 person	50	25	15	10
2 people	100	50	30	20
3 people	150	75	45	30
4 people	200	100	60	40
5 people	250	125	75	50
6 people	300	150	90	60

A) Yield from showers, baths and/or wash and hand basins.

B) These figures are based on average daily demand. It is noted that a washing machine will typically use 50 L per cycle.

C) For example, garden watering.

NOTE These values have been derived from the Communities and Local Government (CLG) Water Efficiency Calculator [17]. An electronic version of the calculator is available at <http://www.wrcplc.co.uk/partgcalculator/>.

FIGURE 3.12 – Production et demande en eaux grises journalières moyennes types selon BS 8525-1 : 2010 [12] (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12])

Cette étude portant sur la Belgique, il semble a priori naturel, afin d'être au plus près de la réalité locale, d'adopter les valeurs de la norme belge (NBN EN 16941-2 [3]) lorsque l'approche de base est utilisée pour réaliser une installation sur le territoire belge. Cependant, comme cela sera discuté dans le point à suivre (3.7.4), les valeurs de la norme britannique reprises sur la figure 3.12 seront tout de même utilisées dans ce travail concernant la Belgique.

Pour finir, comme le montrent les figures 3.11 et 3.12, l'approche de base considère que le volume de demande journalière en eau grise légère traitée est égal au volume de production journalier d'eau grise légère. Un équilibre des deux volumes est donc considéré.

3.7.4 Approche détaillée

3.7.4.1 Domaines d'applications

Selon l'approche détaillée énoncée dans les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12], la production et la demande en eaux grises sont supposées constantes et les pics d'utilisation sont exclus.

Cette hypothèse se différencie de celles de l'approche de base qui, contrairement à l'approche détaillée, ne spécifient pas les types d'eaux grises réutilisées ni leurs applications spécifiques. En effet, dans l'approche de base, les hypothèses sont spécifiques à la réutilisation des eaux grises légères pour les toilettes et le lavage du linge ainsi que pour d'autres applications d'eaux non potables telles que l'arrosage du jardin ou le lavage de la voiture [3, 12].

Alors que l'approche de base n'était valable que pour les locaux résidentiels, l'approche détaillée est applicable tant au secteur résidentiel qu'aux locaux commerciaux, industriels et aux espaces publics [3, 12].

Il faut souligner que l'hypothèse selon laquelle la consommation moyenne quotidienne est constante, telle que spécifiée par la norme NBN EN 16941-2 [3], peut ne pas être respectée dans toutes les situations. En effet, cette hypothèse est généralement valide lorsque l'installation compte un nombre suffisant d'utilisateurs pour lisser la production et la consommation, et que le système ne se vidange pas. Toutefois, dans le cas d'une maison unifamiliale, le nombre d'habitants peut ne pas être suffisant

pour assurer ce lissage [82], et les systèmes de réutilisation des eaux grises peuvent se vidanger assez fréquemment [3].

Comme expliqué précédemment, la norme NBN EN 16941-2 [3] a néanmoins choisi d'utiliser cette hypothèse, tout comme ce travail. Ce choix s'explique par la difficulté d'estimer, à défaut de cette hypothèse, les volumes de production et de demande. Il peut même être impossible de concevoir un système qui s'adapte aux habitudes de consommation et de production de ses utilisateurs, compte tenu de la disparité des situations et des comportements qui peut exister d'un jour à l'autre ou d'une semaine à l'autre. Par conséquent, pour faciliter l'accès et le dimensionnement de ces systèmes, il a été jugé préférable de suivre la norme et dès lors de privilégier l'hypothèse précitée.

Afin de pallier le problème de l'imparfaite adéquation de l'installation aux besoins des utilisateurs, tout système de réutilisation des eaux grises doit être équipé d'un trop-plein pour éviter les débordements en cas de production d'eaux grises à traiter supérieure à la demande en eaux grises traitées. Il doit également être doté d'un apport en eau pour le cas inverse, afin de toujours pouvoir alimenter les différents points de puisage raccordés [3, 12].

Si, pour une raison quelconque, il est possible de prendre en compte les comportements "anormaux" de consommation ou de production d'eaux grises (par exemple, une concentration de l'utilisation des lave-linges le week-end), il reste toujours préférable d'exploiter cette possibilité afin d'obtenir une installation dimensionnée au mieux.

3.7.4.2 Production d'eaux grises

Les deux normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12] définissent chacune une formule permettant la détermination de la production d'eaux grises (Y_G) en litres par jour. Ces deux normes utilisent le même principe de calcul : multiplier le débit ou le volume produit de chaque équipement sanitaire par son taux et sa durée d'utilisation. Toutefois, la norme belge décompose chaque terme alors que la norme britannique regroupe les taux d'utilisation et le temps d'utilisation en une seule notion, dénommée "*facteur d'utilisation*". Il sera vu dans la suite de ce chapitre que cette différence a son importance (voir tableau (3.9)).

La formule (3) 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] :

$$Y_G = n \cdot (Q_S \cdot t_S \cdot u_S + V_{BT} \cdot u_{BT} + Q_{HWB} \cdot t_{HWB} \cdot u_{HWB} + V_{WM} \cdot u_{WM} + Q_{KS} \cdot t_{KS} \cdot u_{KS} + V_{DW} \cdot u_{DW}) \quad (3)$$

Où :

Y_G	est la production d'eaux grises, en litres par jour [L/j];
n	est le nombre de personnes (p);
Q_S	est le débit volumique d'une douche, en litres par minute [L/min];
t_S	est la durée d'utilisation d'une douche à chaque utilisation, en minutes [min];
u_S	est le taux d'utilisation d'une douche par personne et par jour [$1/(p \cdot j)$];

V_{BT}	est le volume d'eau utilisé à chaque utilisation d'une baignoire, en litres $[L]$ (pas le volume de remplissage maximal) ;
u_{BT}	est le taux d'utilisation d'une baignoire par personne et par jour $[1/(p \cdot j)]$;
Q_{HWB}	est le débit volumique d'un lavabo, en litres par minute $[L/min]$;
t_{HWB}	est la durée d'utilisation d'un lavabo à chaque utilisation, en minutes $[min]$;
u_{HWB}	est le taux d'utilisation d'un lavabo par personne et par jour $[1/(p \cdot j)]$;
V_{WM}	est le volume d'eau utilisé par cycle de fonctionnement d'un lave-linge, en litres $[L]$;
u_{WM}	est le nombre de cycles de fonctionnement d'un lave-linge par personne et par jour $[1/(p \cdot j)]$;
Q_{KS}	est le débit volumique des robinets (d'eau chaude et froide) d'un évier, en litres par minute $[L/min]$;
t_{KS}	est la durée d'utilisation d'un évier à chaque utilisation, en minutes $[min]$;
u_{KS}	est le taux d'utilisation d'un robinet d'évier par personne et par jour $[1/(p \cdot j)]$;
V_{DW}	est le volume d'eau utilisé par cycle de fonctionnement d'un lave-vaisselle, en litres $[L]$;
u_{DW}	est le nombre de cycles de fonctionnement d'un lave-vaisselle par personne et par jour $[1/(p \cdot j)]$.

Cette formule permet d'estimer le volume de production journalier moyen en eaux grises d'une installation. Cependant, il n'est pas toujours facile, voire parfois impossible, de trouver les valeurs de chacune des variables qui composent la formule (3). En effet, pour une personne lambda, il est complexe de savoir combien de minutes ou de fois elle utilise, par exemple, le lavabo par jour, et combien de litres celui-ci délivre par minute. Des valeurs par défaut communes à la plupart des installations sont donc les bienvenues afin d'avoir une première idée des valeurs à utiliser et ainsi pré-dimensionner l'installation.

Face à ce problème, la norme NBN EN 16941-2 [3] n'est pas d'une grande aide car elle ne donne que quelques plages de valeurs concernant les débits et volumes de consommation des équipements sanitaires produisant des eaux grises (voir figure 3.13).

Consommation d'eau	Unité	Plage
Débit volumique d'une douche (Q_S)	(l/min)	5 à 15
Volume d'eau utilisé à chaque utilisation d'une baignoire (pas le volume de remplissage maximal) (V_{BT})	(l)	70 à 200
Volume d'eau utilisé par cycle de fonctionnement d'un lave-linge (V_{WM})	(l/cycle)	30 à 60
Débit volumique des robinets (d'eau chaude et froide) d'un évier (Q_{KS})	(l/min)	5 à 15
Volume d'eau utilisé par cycle de fonctionnement d'un lave-vaisselle (V_{DW})	(l)	10 à 20

FIGURE 3.13 – Plage type de consommation d'eau selon NBN EN 16941-2 [3]

Face à ce manque d'information et pour faciliter l'utilisation de l'approche détaillée, il a été nécessaire de rechercher des valeurs par défaut dans d'autres documents. Le principal document ayant permis d'apporter des valeurs par défaut pour les différents paramètres est la norme BS 8525-1 : 2010 [12]. Il s'agit encore de cette même norme dont s'inspire largement la norme belge NBN EN 16941-2 [3]. C'est pourquoi ce document et les valeurs qu'il présente sont considérés comme pertinents, considérant qu'en Belgique, en l'état actuel des choses, ces valeurs ne sont pas facilement identifiables.

Il reste néanmoins, comme dit précédemment, que la norme britannique propose des "facteurs d'utilisation" issus du produit du taux d'utilisation et de la durée d'utilisation de l'équipement sanitaire, alors que la norme belge distingue ces deux paramètres. C'est pourquoi, afin de pouvoir utiliser les valeurs par défaut de la norme britannique dans la norme belge, une adaptation des coefficients de la norme NBN EN 16941-2 [3] suivant la norme BS 8525-1 : 2010 [12] doit être effectuée, comme expliqué dans le tableau 3.9.

En ce qui concerne les plages de consommation données par la norme NBN EN 16941-2 [3] et affichées dans la figure 3.13, il a été décidé de les découper en trois valeurs de la manière suivante :

1. Basse consommation = Valeur la plus basse de la plage (exemple robinet : $5L/min$)
2. Moyenne consommation = Valeur centrale de la plage (exemple robinet : $10L/min$)
3. Haute consommation = Valeur la plus haute de la plage (exemple robinet : $15L/min$)

Ce découpage en trois valeurs a pour objectif de proposer des estimations de consommation d'eau facilement utilisables et représentatives de la réalité. Il convient de noter que, comme le montre le tableau 3.9, la norme britannique (BS 8525-1 : 2010 [12]) donne une valeur de "consommation moyenne" à $12L/min$, ce qui a été préféré à la valeur de $10L/min$ déterminée via la méthode (expliquée ci-dessus) de découpage des plages de consommations de la norme NBN EN 16941-2 [3]. Les choix ont été faits dans le but d'obtenir un ensemble adéquat de valeurs qui se rapprochent au mieux de la réalité, permettant ainsi un pré-dimensionnement aussi précis que possible. Cependant, il était crucial de ne pas complexifier inutilement le processus en proposant un trop grand nombre de valeurs.

En plus de ces deux normes, le document, TNS SOFRES (2015) [83] a été utilisé pour déterminer la consommation en eau des lave-vaisselles ainsi que leurs taux d'utilisation.

Il importe de souligner que les valeurs utilisées ici sont des estimations et qu'il est recommandé d'utiliser les données de consommation d'eau réelles des équipements sanitaires pour dimensionner au mieux son installation. Pour les électroménagers, ces données sont facilement disponibles sur les étiquettes énergétiques de l'UE [3].

Il faut également noter que dans cette étude, l'eau grise produite par les équipements sanitaires est considérée comme étant égale à leur consommation. Cette hypothèse n'est pas totalement exacte car une partie de l'eau consommée dans certaines applications ne se retrouve pas évacuée en tant qu'eau grise. Un exemple notable est le lavage du linge où une partie de l'eau est retenue dans le tissu et n'est pas évacuée dans les eaux grises. Néanmoins, cette approximation semble acceptable pour cette étude, car les deux normes principalement utilisées dans ce travail (NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12]) font cette même hypothèse.

Le tableau 3.9 ci-dessous résume l'origine et la méthodologie de détermination des différentes valeurs par défaut pouvant être utilisées dans la formule (3). Ces valeurs par défaut ont permis de compléter l'outil Excel de dimensionnement des systèmes de réutilisation des eaux grises (annexe A), offrant ainsi une aide aux installateurs et concepteurs de tels systèmes.

Eaux grises Type	Appellation	Annotation selon :		Valeur(s) type(s) utilisée(s)	Unité	Provenance de(s) (la) val- eur(s) type(s) utilisé(s)	Commentaires
		NBN EN 16941-2 [3]	BS 8525-1 ; 2010 [12]				
Eaux grises légères	Douche			B.C. ou douche électrique : 5 Mélangeur standard : 12 Douche à haut débit : 15 Uniquement une douche : 5,6 Il y a aussi un bain : 4,37	L/min $min/(p \cdot j)$	[3] et [12] [12]	/
	Baignoire			B.C. : 70 M.C. : 135 H.C. : 200 B.C. : 120 M.C. : 185 H.C. : 250 Uniquement un bain : 0,5 Il y a aussi une douche : 0,11	L L $1/(p \cdot j)$	[3] [12] [12]	Attention : la valeur U_b , ne peut s'utiliser qu'avec le volume maximal de la baignoire (B) comme stipulé dans BS 8525-1 ; 2010 [12]. Si U_b est utilisé, le volume d'utilisation (V_{BT}) donnée par NBN EN 16941-2 [3] ne peut donc pas être utilisé car $V_{BT} \neq B$. Donc si la valeur type de U_b de la norme BS 8525-1 ; 2010 [12] est utilisée, la production journalière en eaux grises des baignoires vaut : $Y_{BT} = B \cdot U_b \cdot n$ sinon elle vaut : $Y_{BT} = V_{BT} \cdot u_{BT} \cdot n$
	Lavabo			B.C. : 5 M.C. : 10 H.C. : 15 1,58 P.M. : 30 M.M. : 45 G.M. : 60	L/min $min/(p \cdot j)$ $L/cycle$ $kg/(j \cdot p)$	[3] et [12] [12] [3] et [12] [12]	/ L'utilisation du facteur d'utilisation U_{hab} de la norme BS 8525-1 ; 2010 [12] a tendance à surestimer l'utilisation des lavabos, car ce facteur prend en compte l'ensemble des éviers où l'on se lave les mains, y compris ceux de la cuisine. En revanche, la norme NBN EN 16941-2 [3] considère uniquement le taux u_{HWB} et la durée u_{HWB} d'utilisation des lavabos, sans inclure l'évier de la cuisine.
Eaux grises lourdes	Volume par cycle				$L/cycle$	[3] et [12]	/
	Facteur d'utilisation				kg/L	[3] et [12]	Nombre moyen de kg de vêtements secs lavés par jour et par personne
	Consommation d'eau par kg de lessive (vêtement sec)				kg/L	[3] et [12]	Il s'agit de la valeur de consommation d'eau par kilogramme de vêtements secs, selon les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 ; 2010 [12]. Dans ce travail, cette valeur est arbitrairement appelée " $R_{W,M}$ " et est exprimée en litres d'eau par kilogramme de vêtement sec (L/kg).
	Taux d'utilisation				$kg/(j \cdot p)$	[3] et [12]	Attention : l'utilisation de la valeur type de $u_{W,M}$ conduit dans tous les cas à une production en eaux grises des lave-linges de 16,8L/j.p, quelque soit la taille de la machine. Ceci est du au fait que le calcul de ce taux $u_{W,M}$ 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.
	Débit				L/min	[3] et [12]	Hypothèse : Le débit d'un robinet d'évier de cuisine (Q_{KS}) = Le débit d'un robinet de lavabo (Q_{HWB}) (hypothèse utilisée car manque d'information dans les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 ; 2010 [12])
Facteur d'utilisation de la vaisselle					$L/(p \cdot j)$	[12]	Uniquement utiliser F_{wb} lorsque vous utilisez le facteur d'utilisation U_{hab} pour les lavabos. Cette valeur par défaut provient de la manière dont fonctionne la norme BS 8525-1 ; 2010 [12]. Le facteur F_{wb} représente le nombre de litres utilisés par jour et par personne pour faire la vaisselle.
Volume par cycle					$L/cycle$	[3] et [12]	/
Taux d'utilisation					$kg/(j \cdot p)$	[83]	/

Sources : BS 8525-1 ; 2010 (2010) [12]; NBN EN 16941-2 (2021) [3], TNS SIFRES (2015) [83].
 Abréviations : 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<kg<8; G.M. = Grande machine à laver >8kg; p = Nombre de personnes; L = Litre; j = Jour; n = Nombre de personnes; cycle = Cycle de fonctionnement de lave-linge ou lave-vaisselle; min = Minute; $Q_S = S$ = Débit volumique d'une douche [L/min]; $t_S = \tau_S$ = Durée d'utilisation d'une douche à chaque utilisation [min]; u_S = Taux d'utilisation [min]; u_S = Taux d'utilisation d'une douche [$min/(p \cdot j)$]; V_{BT} = Volume de remplissage maximal d'une baignoire [L] (pas le volume de remplissage maximal); Y_{BT} = Production d'eau grises des baignoires [L/j]; u_{BT} = Facteur d'utilisation d'une douche [$min/(p \cdot j)$]; $Q_{HWB} = H_{wb}$ = Débit volumique d'un lavabo [L/min]; $t_{HWB} =$ Durée d'utilisation d'un lavabo à chaque utilisation [min]; $u_{HWB} =$ Taux d'utilisation d'un lavabo [$min/(p \cdot j)$]; U_{hab} = Facteur d'utilisation d'un lavabo [$min/(p \cdot j)$]; U_{hab} = Taux de fonctionnement d'un lavabo [$min/(p \cdot j)$]; $W = W$ = Volume d'eau utilisé par cycle de fonctionnement d'un lave-linge [$L/cycle$]; U_{wm} = Facteur de fonctionnement d'un lave-linge [$kg/(p \cdot j)$]; u_{WM} = Taux de fonctionnement d'un lave-linge [$kg/(p \cdot j)$]; $R_{W,M}$ = Consommation d'eau en litre par kilogramme de vêtements secs lavés [L/kg]; Q_{KS} = Débit volumique des robinets (d'eau chaude et froide) d'un évier [L/min]; F_{wb} = Volume d'eau utilisé par jour et par personne pour faire la vaisselle. [$L/(p \cdot j)$]; V_{DW} = Volume d'eau utilisé par cycle de fonctionnement d'un lave-vaisselle [$L/cycle$]; u_{DW} = Taux d'utilisation d'un lave-vaisselle [$kg/(p \cdot j)$].
 Notes : 1 : Si un ou plusieurs paramètres figurant 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 consommation 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.

TABLEAU 3.9 – Provenance des valeurs types pour la production d'eau grises des équipements d'eau sanitaire

3.7.4.3 Demande en eau non-potable

Pour la demande, le principe est identique à celui présenté pour la production (voir point 3.7.4.2). Les deux normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12] définissent chacune une formule permettant la détermination de la demande d'eaux grises (D_G) en litres par jour. De plus, comme pour la production, le principe consiste à multiplier le débit ou le volume produit par chaque équipement sanitaire par son taux et sa durée d'utilisation avec d'une part la norme belge qui décompose chaque terme et d'autre part la norme britannique qui regroupe les taux d'utilisation et temps d'utilisation en un unique terme appelé "*facteur d'utilisation*".

Comme pour la production, la norme NBN EN 16941-2 [3] donne une formule (formule (4)) détaillée qui permet de déterminer la demande d'eaux grises, D_G , en litre par jour $[L/j]$:

$$D_G = n \cdot (V_T \cdot u_T + V_U \cdot u_U + V_{WM} \cdot u_{WM}) + V_{misc} \quad (4)$$

Où :

D_G	est la demande en eaux grises, en litres par jour $[L/j]$;
n	est le nombre de personnes $[p]$;
V_T	est le volume d'eau utilisé par chasse pour la chasse d'un WC, en litres $[L]$;
u_T	est le taux d'utilisation d'un WC par personne et par jour $[1/(p \cdot j)]$;
V_U	est le volume d'eau utilisé par chasse pour la chasse d'un urinoir, en litres $[L]$;
u_U	est le taux d'utilisation d'un urinoir par personne et par jour $[1/(p \cdot j)]$;
V_{WM}	est le volume d'eau utilisé par cycle de fonctionnement d'un lave-linge, en litres $[L]$;
u_{WM}	est le nombre de cycles de fonctionnement d'un lave-linge par personne et par jour $[1/(p \cdot j)]$;
V_{misc}	est le volume d'eau utilisé pour d'autres usages (par exemple arrosage des jardins, nettoyage), en litres par jour $[L/j]$.

Afin de dimensionner correctement une installation de réutilisation des eaux grises à partir de la formule (4), il est important de disposer de valeurs types pour déterminer la demande en eau d'une installation. Cette exigence est similaire à la nécessité de disposer de valeurs types pour calculer la production des eaux grises. Bien que la norme en vigueur en Belgique (NBN EN 16941-2 [3]) présente quelques plages types de valeurs de demande en eau (voir figure 3.14), celles-ci peuvent se révéler insuffisantes. Pour compléter ces valeurs, il est possible de se référer à la norme britannique (BS 8525-1 : 2010 [12]), pour les mêmes raisons ayant déjà justifié le renvoi à cette norme pour le calcul de la production.

Demande en eau	Unité	Plage
Volume d'eau utilisé par chasse pour la chasse d'un WC (V_T)	(l/chasse)	3 à 8
Volume d'eau utilisé par chasse pour la chasse sous pression d'un urinoir (V_U)	(l/chasse)	1 à 2
Volume d'eau utilisé par cycle de fonctionnement d'une machine à laver (V_{WM})	(l/cycle)	30 à 60

FIGURE 3.14 – Plage type de demande en eau selon NBN EN 16941-2 [3]

Comme pour la production des eaux grises, il est à noter que les valeurs utilisées dans cette partie sont des valeurs types et qu'il est recommandé d'utiliser les données de demande en eau réelles des équipements sanitaires pour dimensionner au mieux une installation [3].

Le tableau 3.10 ci-après résume l'origine et la méthodologie de détermination des différentes valeurs par défaut pouvant être utilisées dans la formule (4). Aux côtés de celles concernant la production en eaux grises, ces valeurs par défaut ont permis d'encore compléter l'outil Excel (annexe A) d'aide au dimensionnement des systèmes de réutilisation des eaux grises au service de installateurs et concepteurs de ces systèmes (voir annexe A).

Type	Eaux grises		Appellation	Annotation selon :		Valeur(s) type(s) utilisée(s)	Unité	Provenance de(s) (la) valeur(s) type(s) utilisée(s)	Commentaires				
	Usage			NBN EN 16941-2 [3]	BS 8525-1 : 2010 [12]								
Chasse de toilette	Unique	Volume	V_{WC}	/	8	$L/chasse$	[3]	NBN EN 16941-2 [3]	BS 8525-1 : 2010 [12]				
		Facteur d'utilisation grande classe								U_{sf}	4,42	$chasse/(p \cdot j)$	[12]
		Volume classe											
	Double	Facteur d'utilisation grande classe	U_{Ff}	1,46	$chasse/(p \cdot j)$	[12]							
		Volume petite classe					8	$L/chasse$	[3]				
		Facteur d'utilisation petite classe								U_{Ff}	2,96	$chasse/(p \cdot j)$	[3]
Urinoir	Volume par chasse	/	2	$L/chasse$	[3]	/							
Autres usages que pour la chasse des toilettes	Lave-Linge	Volume par cycle	V_{WM}	W	P.M. : 30 M.M. : 45 G.M. : 60	$L/cycle$	[3] et [12]	/	/				
		Facteur d'utilisation	/	U_{wm}	2,1	$kg/(j \cdot p)$	[12]	Nombre moyen de kg de vêtements secs lavés par jour et par personne					
		Demande d'eau par kg de lessive (vêtement sec)	/	/	8	kg/L	[3] et [12]	Il s'agit de la valeur de la demande en eau par kilogramme de vêtements secs, selon les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12]. Dans ce travail, cette valeur est arbitrairement appelée " R_{WM} " et est exprimée en litres d'eau par kilogramme de vêtements secs [L/kg].					
		Taux d'utilisation	u_{WM}	/	$\frac{U_{wm} \left[\frac{kg}{j \cdot p} \right]}{V_{WM} \left[\frac{L}{cycle} \right]} \cdot R_{WM} \left[\frac{L}{kg} \right]$	$cycle/(j \cdot p)$	[3] et [12]	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, 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.					
		Débit (robinet)	/	/	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_{HLVB}) (hypothèse utilisée car manque d'information dans les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12]).					
	Lavage de la voiture	Débit (robinet)	V_{misc}	/	/	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_{misc} utilisé par la norme NBN EN 16941-2 [3]. Cette méthode a été choisie pour l'Excel de dimensionnement.				

Sources : BS 8525-1 : 2010 (2010) [12], NBN EN 16941-2 (2021) [3].
 Abréviations : 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 < kg < 8; G.M. = Grande machine à laver > 8kg; p = Nombre de personnes; L = Litre; j = Jour; cycle = Cycle de fonctionnement d'un lave-linge; chasse = Chasse de WC min; Minute; V_T = Volume d'eau utilisé par la chasse des Toilettes (sans les urinoirs) [L]; u_T = Taux d'utilisation des toilettes [$1/(p \cdot j)$]; V_{WC} = Volume d'eau utilisé par la grande chasse des toilettes à chasse unique [L]; U_{sf} = Taux d'utilisation de la petite chasse des toilettes à chasse double [$1/(p \cdot j)$]; V_{FWC} = Volume d'eau utilisé par la petite chasse des toilettes à chasse double [$1/(p \cdot j)$]; V_{FWC} = Volume d'eau utilisé par la petite chasse des toilettes à chasse double [$1/(p \cdot j)$]; U_{Ff} = Taux d'utilisation de la petite chasse des toilettes à chasse double [$1/(p \cdot j)$]; 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_{wm} = Facteur d'utilisation du lave-linge [$kg/(p \cdot j)$]; u_{WM} = Taux de fonctionnement d'un lave-linge [$cycle/(p \cdot j)$]; R_{WM} = Consommation d'eau en litre par kilogramme de vêtements secs lavés [L/kg]; Q_{HWB} = Débit volumique d'un lavabo [L/min]; Q_{EXT} = Débit volumique d'un robinet extérieur [L/min]; V_{misc} = Volume d'eau utilisé pour d'autres usages (par exemple arrosage des jardins, nettoyage) [L/j].
 Notes : 1 : Si un ou plusieurs paramètres figurant dans l'équation (4) ne sont pas repris dans ce tableau, c'est qu'il n'y a 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.

TABLEAU 3.10 – Provenance des valeurs par défaut pour la demande en eaux grises des équipements d'eau sanitaire

3.8 Installation et mise en service

Dans cette partie sera abordée dans un premier temps l'installation des systèmes de réutilisation des eaux grises pour, dans un second temps, étudier leur mise en service.

A propos de l'installation des systèmes de réutilisation des eaux grises, la norme NBN EN 16941-2 [3] informe sur la façon dont la plomberie doit être réalisée. En effet, elle stipule que ces travaux de plomberie doivent être réalisés suivant les règles de bonnes pratiques concernant les réseaux d'alimentation en eau et d'évacuation des eaux usées (voir normes EN 806, EN 12056-5 et EN 1610). Ces règles de bonnes pratiques doivent être utilisées en tenant compte des réglementations nationales et des instructions d'installation du concepteur ou du fabricant. La norme NBN EN 16941-2 [3] liste d'ailleurs les points importants à mentionner par les fabricants dans les instructions.

Ci-dessous, la liste des informations devant au minimum figurer dans les instructions d'installation [3] :

- Les caractéristiques requises pour l'emplacement ;
- L'assemblage des composants ;
- L'accès pour l'entretien et/ou pour le remplacement des éléments consommables ;
- Les raccordements des tuyaux ;
- Les branchements électriques ;
- Les considérations relatives à la température ;
- Les aspects d'hygiène et de sécurité (par exemple, un accès sécurisé).

Finalement, la norme donne quelques indications sur les systèmes enterrés, notamment sur la protection de ces systèmes contre les racines. De fait, avant d'installer des dispositifs enterrés, il convient de prendre en compte tous les facteurs liés au site qui peuvent affecter leur processus d'installation, tels que [3] :

- La résistance et la stabilité du sol ;
- La contamination du terrain ;
- Le remblai ;
- Le niveau de la nappe phréatique ;
- La proximité avec les réseaux publics et les fondations ;
- La nécessité d'éviter toute charge future au-dessus du dispositif de stockage qui n'a pas été prise en compte dans la conception ;
- Les canalisations et câbles existants ;
- Les voies d'accès.

Dans l'ensemble, ces différents points mettent en évidence les éléments importants à prendre en compte lors de l'installation d'un système de réutilisation des eaux grises. La norme BS 8525-1 : 2010 [12] reprend les mêmes points en y ajoutant quelques précisions.

Il semble intéressant d'ajouter que l'ensemble des composants du système doivent rester accessibles pour leur entretien et leur inspection, et ce, pour s'assurer que le système soit et reste toujours pleinement opérationnel [3, 12].

De nombreux facteurs sont donc à prendre en considération lors de l'installation d'un système de réutilisation des eaux grises, en particulier dans le cas d'un système enterré.

En fin de compte, la norme NBN EN 16941-2 [3] couvre tous les éléments à considérer et pour lesquels une étude supplémentaire doit être réalisée. Elle pourrait toutefois être plus précise en vue d'assurer, lors de la conception et installation du système, le respect et la correcte prise en compte de l'ensemble des points évoqués. Cela permettrait de garantir que le système fonctionne correctement et ne présente aucun risque pour la santé ou l'environnement.

On observe en somme combien il est crucial de se référer aux normes et réglementations en vigueur pour garantir la qualité et la sécurité de l'installation d'un système de réutilisation des eaux grises. Les normes NBN EN 16941-2 [3] et BS 8525-1 : 2010 [12] fournissent des informations importantes sur les bonnes pratiques à suivre pour l'installation de ces systèmes. Il est également essentiel de prendre en compte les facteurs spécifiques au site et de garantir un accès facile pour l'entretien périodique et l'inspection régulière du système. En respectant ces différentes étapes, il est possible de concevoir et d'installer un système de réutilisation des eaux grises efficace et durable.

La norme BS 8525-1 : 2010 [12] peut servir de base pour apporter des précisions supplémentaires. Ses annexes contiennent différents exemples de plans d'installations de systèmes de réutilisation des eaux grises en fonction du type d'appoint en eau. Parmi ces exemples, voici les types de systèmes représentés [12] (voir annexe C.1) :

1. Système avec stockage des eaux grises traitées (réutilisation indirecte) (figure C.1)
2. Système sans stockage et réutilisation directe des eaux grises traitées (figures C.2, C.3 et C.4)

Le type d'appoint en eau dépend du dispositif de protection contre les retours d'eau (surverse) mis en place. Deux types sont présentés dans cette norme BS 8525-1 : 2010 [12] ainsi que dans la norme NBN EN 16941-2 [3] : le surverse de type AA (surverse total) et le surverse de type AB (surverse avec trop-plein non circulaire). Toutes les informations relatives à ce sujet sont disponibles dans la norme NBN EN 16941-2 [3] (voir annexe D).

La norme BS 8525-1 : 2010 [12], reprend également des plans d'installations combinant réutilisation des eaux grises et des eaux de pluie. Voici les exemples repris (voir annexe C.2) :

1. Un seul stockage pour les deux types d'eaux (mélange des eaux) (figure C.5)
2. Un stockage séparé pour chaque type d'eau (figure C.6)

Dans le cadre de ce travail, la combinaison des eaux de pluie et des eaux grises dans un seul espace de stockage n'est pas abordée. Il pourrait donc être intéressant d'effectuer des recherches supplémentaires sur ce sujet afin d'étudier les avantages financiers et écologiques potentiels, tout en évitant les risques pour l'environnement et la santé humaine. Cependant, il est important de rappeler que la combinaison des eaux grises traitées et de l'eau de pluie dans un même réservoir est actuellement interdite en Flandre et en Wallonie.

Finalement, concernant l'installation des systèmes de réutilisation compacte des eaux grises, il peut être conclu que ceux-ci nécessitent [3, 12] :

- Une arrivée d'eau pour pouvoir effectuer un appoint en eau si nécessaire (avec surverse de type AA ou AB) ;

- Une évacuation pour la vidange du système et le trop-plein ;
- Un raccord pour collecter les eaux grises à traiter du bâtiment ;
- Un raccord pour distribuer les eaux grises traitées (vers par exemple le WC ou le lave-linge) ;
- Un raccord électrique, le cas échéant.

Ces informations sur l'installation des systèmes de réutilisation des eaux grises seront utilisées dans le point 4 afin d'obtenir une meilleure compréhension du système étudié.

En ce qui concerne la mise en service des systèmes, la norme NBN EN 16941-2 [3] stipule que les systèmes de réutilisation des eaux grises doivent :

- Être contrôlés conformément aux recommandations des concepteurs ;
- Subir une chasse des canalisations de distribution et de collecte ;
- Être soumis à une inspection d'étanchéité des interconnexions de la tuyauterie via un essai au colorant ou par essais de pression (voir l'EN 806-4, l'EN 12056-5 et l'EN 1610) ;
- Être soumis à un test de la partie électrique du système d'eaux grises selon la réglementation en vigueur pour vérifier la sécurité électrique et l'absence d'interférence avec d'autres éléments électriques ou électroniques ;
- Comporter une fiche de mise en service certifiant que le système est techniquement conforme et entièrement opérationnel (à remettre au propriétaire de l'installation).

Les points énoncés ci-dessus sont des points basiques qui peuvent s'appliquer à la plupart des installations de plomberie.

Par ailleurs, comme pour l'installation, la norme BS 8525-1 : 2010 [12] peut également fournir des précisions supplémentaires sur les consignes à suivre pour l'installation d'un système de réutilisation des eaux grises. Bien qu'elle soit principalement orientée vers la plomberie et non spécifique aux systèmes de réutilisation des eaux grises, certaines règles peuvent s'appliquer à ce type d'installation. Il convient toutefois de garder à l'esprit que ces règles sont basées sur les normes britanniques et peuvent différer des réglementations en vigueur en Belgique.

3.9 Suivi et entretien d'un système

Dans cette partie sont abordés successivement, le suivi et l'entretien d'un système de réutilisation des eaux grises. Pour garantir le bon fonctionnement et la sécurité de ces systèmes, la norme NBN EN 16941-2 [3] stipule qu'un suivi ainsi qu'un entretien régulier des systèmes d'eaux grises sont nécessaires. Il faut donc qu'ils soient installés et positionnés de manière à ce que tous les composants, y compris les réservoirs, soient accessibles pour le suivi et l'entretien futur et/ou le remplacement des pièces consommables [3, 12].

3.9.1 Suivi

Concernant le suivi des systèmes de réutilisation des eaux grises, un système de contrôle et de surveillance doit y être intégré afin de garantir que [3] :

- Les utilisateurs soient informés si le système fonctionne correctement ;
- Les utilisateurs/opérateurs soient informés si les consommables doivent être renouvelés ou remplacés ;
- Les eaux grises traitées ne soient pas stockées pendant une période qui risquerait d'altérer la qualité de l'eau en-dessous des normes ou des exigences du fabricant ;
- Les utilisateurs soient avertis en cas de défaillance du système, par exemple à travers un signal sonore ou visuel ;
- Les eaux grises non traitées soient évacuées vers le réseau de collecte des eaux usées en utilisant un dispositif de dérivation (bypass) ;
- Les équipements alimentés par le système d'eaux grises soient connectés à un système d'appoint en eau en cas de problème de traitement ;
- Le système d'appoint en eau soit activé automatiquement lorsque l'unité de traitement le nécessite ;
- Les pompes soient contrôlées et la consommation d'énergie et l'usure soient réduites autant que possible ;
- Une sortie soit disponible pour permettre au système d'eaux grises de se connecter à un système de gestion technique des bâtiments (GTB) le cas échéant.

Dans le cas où le système de traitement des eaux grises est non-électrique, tel qu'un simple filtre, il est important de prendre les mesures adéquates pour surveiller visuellement les performances ou l'état de l'équipement de traitement et pour remplacer ou nettoyer l'équipement de traitement si nécessaire.

De plus, dans le cadre du contrôle de la qualité de l'eau, la norme NBN EN 16941-2 [3] donne une méthode d'interprétation des résultats du contrôle bactériologique et physico-chimique qui peut être utilisée pour évaluer la possibilité d'installer un système de traitement des eaux ou non. Cette interprétation est représentée dans les tableaux 3.11 et 3.12.

Résultat de l'échantillonnage	Statut	Interprétation
< G	vert	Système sous contrôle
G à 10 G	orange	Ré-échantillonnage pour confirmer le résultat et étudier le fonctionnement du système
> 10 G*	rouge	Suspendre l'utilisation des eaux grises jusqu'à la résolution du problème

G = valeur guide, voir le tableau 3.2

* En l'absence d'escherichia coli, d'entérocoques intestinaux et de legionella, selon le cas, il n'est pas nécessaire de suspendre l'utilisation du système si les niveaux de coliformes dépassent 10 fois la valeur guide et si un ré-échantillonnage est effectué pour confirmer les résultats.

Note : Le point d'échantillonnage doit être intégré au système et les échantillons doivent être prélevés ponctuellement pendant le processus de traitement du système, sous forme d'échantillons ponctuels [3].

TABLEAU 3.11 – Exemple d'interprétation des résultats du contrôle bactériologique selon la série de normes BS 8525 (NBN EN 16941-2 (2021) [3])

Résultat de l'échantillonnage	Statut	Interprétation
< G	vert	Système sous contrôle
> G	orange	Ré-échantillonnage pour confirmer le résultat et étudier le fonctionnement du système

G = valeur guide, voir le tableau 3.2

Note : Le point d'échantillonnage doit être intégré au système et les échantillons doivent être prélevés ponctuellement pendant le processus de traitement du système, sous forme d'échantillons ponctuels [3].

TABLEAU 3.12 – Exemple d'interprétation des résultats du contrôle physico-chimique selon la série de normes BS 8525 (NBN EN 16941-2 (2021) [3])

Vu le nombre d'exigences et de recommandations relatives aux systèmes de réutilisation des eaux grises présentées dans ce TFE, les mesures précitées de suivi, contrôle et surveillance sont indispensables pour garantir un fonctionnement correct et conforme du système de traitement, notamment en terme de qualité minimale de l'eau et de temps de stockage. Toute installation correcte devrait donc comprendre un système de contrôle efficace et complet, couvrant les différents points énumérés dans cette partie.

3.9.2 Entretien

En parallèle du suivi, les systèmes de réutilisation des eaux grises ont besoin d'être entretenus régulièrement [3].

La norme NBN EN 16941-2 [3] stipule que les instructions d'entretien pour les systèmes de réutilisation des eaux grises installés doivent être disponibles, conservées et suivies. Ces instructions doivent contenir des informations complètes sur l'entretien et l'ensemble des conditions de fonctionnement, y compris les raccordements des tuyaux, les branchements électriques et les procédures de mise en service et de démarrage.

La norme recommande également de pratiquer des entretiens réguliers pour assurer le bon fonctionnement et la durabilité du système.

Enfin, elle stipule que des observations sur la qualité de l'eau, telles que l'odeur et la couleur, doivent être effectuées pendant l'entretien pour vérifier les performances du système. Si celui-ci ne fonctionne pas de manière satisfaisante, des essais doivent être effectués pour en rechercher la cause. Pour ce faire des échantillons d'eaux du système peuvent être prélevés et contrôlés, par exemple selon les valeurs proposées pour la Belgique (voir tableau 3.2). Ces contrôles d'échantillons par rapport à des valeurs de référence facilitent la recherche et l'identification de la ou des cause(s) du problème observé.

Même si cette norme préconise que les fabricants de systèmes de réutilisation des eaux grises délivrent l'entièreté des informations d'entretien, il peut arriver que celles-ci ne soient pas disponibles, voire n'existent tout simplement pas. Vu ces potentielles lacunes dans l'information fournie, il est inté-

ressant de rechercher plus de données quant aux procédures et calendriers d'entretien que nécessitent ces différents systèmes.

Pour apporter ces informations manquantes, c'est à nouveau la norme britannique BS 8525-1 : 2010 [12] qui est utilisée. Celle-ci recommande d'observer la qualité de l'eau avant toute procédure d'entretien. Ensuite, le système de récupération des eaux grises doit être vidangé et rincé avec de l'eau propre afin de réduire les risques de contamination pour les personnes en charge de l'entretien, les personnes à proximité et l'environnement. L'électricité et toutes les alimentations en eau doivent être isolées avant d'ouvrir les couvercles scellés. Il est également conseillé d'éviter l'entrée humaine dans les réservoirs mais, si cela est nécessaire, cela ne doit être effectué que par du personnel formé et avec un équipement de protection individuel adapté aux espaces confinés.

Tout comme la norme NBN EN 16941-2 [3], la norme BS 8525-1 : 2010 [12] recommande de suivre les instructions d'entretien du fabricant. Cependant, en l'absence d'instructions, elle invite à utiliser le calendrier d'entretien et d'inspection présenté dans le tableau 3.13. Les intervalles d'entretien et d'inspection des différents composants sont fournis à titre indicatif dans le tableau. Ils doivent être ajustés en fonction de l'expérience opérationnelle, c'est-à-dire en se basant sur les informations récoltées lors de l'utilisation du système. Enfin, un registre doit être tenu à jour pour les inspections et l'entretien.

En conclusion, pour garantir le bon fonctionnement et la sécurité des systèmes de traitement des eaux grises, il est essentiel d'intégrer un système de contrôle et de surveillance, tel que spécifié dans la norme NBN EN 16941-2 [3]. En outre, pour assurer un entretien adéquat de ces systèmes, les instructions d'entretien doivent être disponibles, conservées et suivies conformément à la norme susmentionnée. Dans le cas où ces instructions ne sont pas disponibles, il convient de se référer au tableau 3.13 de la norme BS 8525-1 : 2010 [12], qui fournit des informations détaillées sur la manière de réaliser l'inspection et l'entretien de ces systèmes en toute sécurité. En respectant ces normes et en suivant les procédures d'entretien, il peut être assuré que ces systèmes fonctionnent efficacement et en toute sécurité.

Composant du système	Opération	Fréquence*	Notes
Filtres, membranes, supports biologiques et tamis	Inspection/ Entretien	Annuellement	Vérifiez l'état du (des) filtre(s), etc. et nettoyez ou remplacez-le(s) si nécessaire.
Biocide, désinfectant ou autre produit chimique consommable	Inspection/ Entretien	Mensuellement	Vérifiez que toutes les unités de distribution fonctionnent correctement ; rechargez le produit chimique si nécessaire.
Lampes ultraviolet	Inspection/ Entretien	Tous les 6 mois	Nettoyez et remplacez si nécessaire.
Réservoirs de stockage / citernes	Inspection	Annuellement	Vérifiez qu'il n'y a pas de fuites, qu'il n'y a pas d'accumulation de débris et que tous les réservoirs sont stables.
	Entretien	Tous les 10 ans	Vidangez et nettoyez
Pompes et commandes de pompe	Inspection/ Entretien	Annuellement	Vérifiez qu'il n'y a pas de fuites et qu'il n'y a pas de corrosion ; effectuez un essai ; vérifiez la charge de gaz dans les réservoirs d'expansion ou les amortisseurs de chocs.
Source d'eau de secours	Inspection	Annuellement	Vérifiez que la source d'eau de secours fonctionne correctement et que les espaces d'air sont maintenus.
Unité de contrôle	Inspection/ Entretien	Annuellement	Vérifiez que l'unité fonctionne correctement, y compris les fonctions d'alarme le cas échéant.
Jauge de niveau d'eau	Inspection	Annuellement	Vérifiez que l'indication de jauge répond correctement au niveau d'eau dans le réservoir d'alimentation ou la citerne.
Câblage	Inspection	Annuellement	Vérifiez visuellement que le câblage est électriquement sûr.
Tuyauterie	Inspection	Annuellement	Vérifiez qu'il n'y a pas de fuites, que les tuyaux sont étanches et que tous les débordements sont évacués.
Marquages	Inspection	Annuellement	Vérifiez que les avis de danger et l'identification des tuyauteries et des vannes sont corrects, visibles et en place.
Supports et fixations	Inspection/ Entretien	Annuellement	Ajustez et serrez si nécessaire.
Lavage en contre-courant	Inspection/ Entretien	Annuellement	Vérifiez le fonctionnement.

Note : Certains des composants cités dans ce tableau peuvent être absents dans certains systèmes (ex : lampe à ultraviolet). Le cas échéant, ces composants ne doivent donc pas être contrôlés.

* Ces fréquences sont recommandées si aucun renseignement n'est donné par le fabricant.

TABLEAU 3.13 – Calendrier d'inspection et d'entretien des systèmes de réutilisation des eaux grises recommandé par la norme BS 8525-1 : 2010 [12] en l'absence d'information du fabricant. (BS 8525-1 : 2010 [12])

4 Visite d'une installation compacte de réutilisation des eaux grises dans une maison unifamiliale (« Hydraloop »)

Dans cette partie, sera brièvement décrit un système de réutilisation des eaux grises installé dans une maison unifamiliale flamande. Ensuite, la méthode de prise d'échantillons leur analyse et les résultats qui en découlent seront expliqués et discutés à la lumière des recherches effectuées tout au long de ce travail.

4.1 Mise en contexte

Le système a été installé dans un quartier récent datant de 2020 à Grimbergen dans le Brabant flamand. Il a été mis en place lors de la construction de la maison. Ci-dessous, une prise de vue aérienne du quartier extraite de "Google Maps" (voir figure 4.1).

Ce système compact est utilisé par une famille de quatre personnes, dont deux jeunes enfants.



FIGURE 4.1 – Vue aérienne du quartier (GOOGLE MAPS (2023) [84])

Le système mis en place est un modèle « Hydraloop », modèle vu précédemment (3.4.5). Pour rappel, ce système utilise les modes de traitement suivants :

- Traitements physiques : Sédimentation (suppression des sédiments),
- Traitements physico-chimique :
 - Flottation (suppression des savons et des cheveux),
 - Flottation à air dissous (suppression des MES et des matières organiques),
 - Fractionnement de la mousse (suppression des savons, shampoings, après-shampoings, solides et matières organiques).
- Traitements biologiques : MBBR ;
- Désinfection UV.

Ce modèle est prévu pour pouvoir alimenter les lave-linges et les chasses d'eau et pour arroser les jardins. Il est certifié selon la norme NSF/ANSI 350 - 2022 [28]. Dans le cas présent, le système n'est utilisé que pour alimenter les chasses d'eaux des toilettes.



FIGURE 4.2 – Système « Hydraloop » de réutilisation des eaux grises (Photo de l'auteur)



FIGURE 4.3 – Système de purification (Filtre tissé classique, filtre à charbon actif et désinfection UV) de l'eau venant de la citerne d'eau de pluie (Photo de l'auteur)

Une photo du système de réutilisation « Hydraloop » installé est présentée sur la figure 4.2

Dans le cadre de cette installation, sur les plans originaux, il était prévu d'alimenter toute la maison en eau non-potable excepté les robinets de la cuisine et des lavabos (eau chaude et eau froide). Le système de réutilisation des eaux grises devait récupérer l'eau des deux douches et de la baignoire et alimenter un robinet extérieur, la chasse des toilettes ainsi que le lave-linge. Pour compléter ce système, une citerne d'eau de pluie de $7,5m^3$ a été prévue avec pour objectif d'alimenter l'eau chaude et froide des douches, bain et lavabos. De plus, cette citerne vient en appoint du système « Hydraloop » lorsque celui-ci est vide. Cette eau de pluie subit également un traitement par filtration (deux filtres, dont un à charbon actif) et par désinfection UV (voir figure 4.3).

Si la citerne devait être vide, un système d'appoint manuel utilisant de l'eau de ville est prévu pour permettre son remplissage. Cependant, aucune information n'a été fournie quant à la façon dont les utilisateurs sont informés de l'état de remplissage de la citerne.

Par ailleurs, dans le cas d'un trop-plein du système « Hydraloop », l'eau traitée est re-dirigée vers la citerne. Ceci est visible sur la figure 4.4.

En pratique, des ajustements ont été réalisés par rapport aux objectifs initiaux. En raison de l'interdiction en Flandre d'arroser le jardin avec de l'eau grise, qu'elle soit traitée ou non, le robinet extérieur a finalement été relié à la citerne d'eau de pluie. De plus, le lave-linge est actuellement alimenté par la citerne d'eau de pluie. Toutefois, un robinet alimenté en eaux grises traitées par le système « Hydraloop » est en attente à côté du lave-linge. Les chasses d'eau sont, quant à elles, alimentées par le système de réutilisation des eaux grises comme prévu à l'origine. Une autre adaptation a consisté à alimenter les lavabos en eau de pluie chaude à la place d'eau de ville chaude, ce qui n'était pas prévu initialement. Un schéma de l'installation est visible sur la figure 4.4.

Le système « Hydraloop » installé, uniquement utilisé pour les chasses d'eau, est jugé suffisant par les occupants de cette maison unifamiliale ; l'eau stockée est presque toujours entièrement utilisée. Ils mentionnent également n'avoir encore jamais dû recourir à ce jour au système d'appoint de la citerne (connexion à l'eau de ville). En résumé, les occupants se disent satisfaits de leur installation.

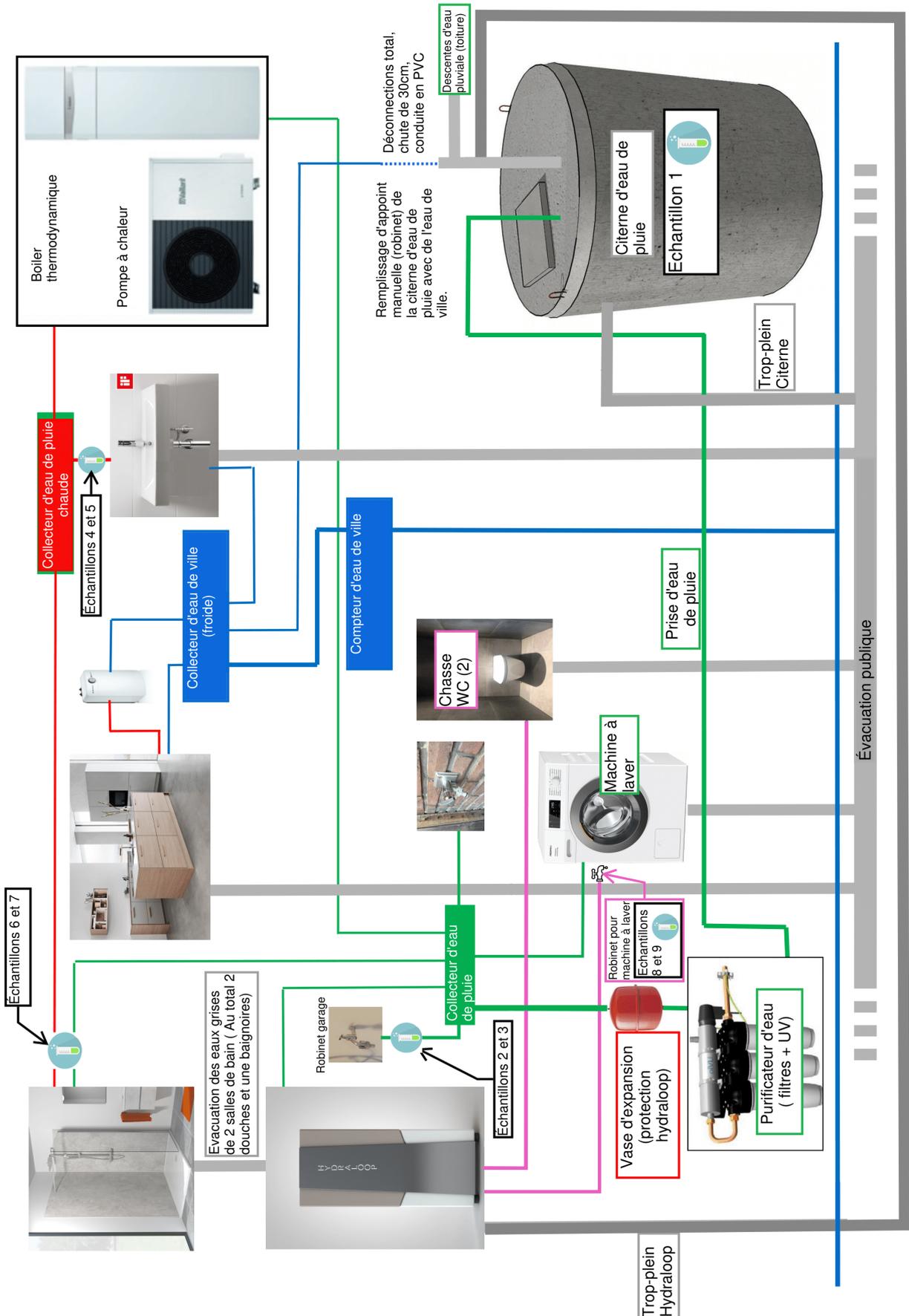


FIGURE 4.4 – Schéma de l'installation étudiée, et emplacement des points de prise d'échantillons

4.2 Méthode de prise d'essais

Cette visite avait aussi pour objectif le prélèvement d'échantillons d'eau pour effectuer diverses analyses. Le pH et la température ont été mesurés directement sur site. D'autres paramètres repris dans le tableau 4.2 ont ensuite été analysés dans le laboratoire de microbiologie de Buildwise.

Différents échantillons d'eau ont été prélevés afin d'étudier les qualités de l'eau en fonction de leur utilisation et de leur emplacement dans le système. Le tableau 4.1 résume le type d'échantillons pris, leur emplacement et dans quelles conditions ces opérations ont été effectuées.

N° d'échantillon	Type d'eau testée	Emplacement de la prise d'échantillon	Description de l'échantillon
1	Eau de pluie non purifiée et non chauffée	Directement dans la citerne	EP-Citerne : Échantillon d'eau de pluie pris directement dans la citerne d'eau de pluie enterrée en extérieur
2	Eau de pluie purifiée froide AO	Robinet dans le garage	EP Froide AO : Échantillon d'eau de pluie purifiée pris à l'ouverture du robinet du garage
3	Eau de pluie purifiée froide à TC	Robinet dans le garage	EP Froide TC : Échantillon d'eau de pluie purifiée pris au robinet du garage après avoir laissé couler l'eau jusqu'à stabilisation de sa température (température constante)
4	Eau de pluie purifiée chaude AO	Robinet d'eau chaude de la salle de bain du rez-de-chaussée	EP Chaud AO : Échantillon d'eau de pluie purifiée chaude pris à l'ouverture du robinet d'eau chaude du lavabo de la salle de bain du rez-de-chaussée
5	Eau de pluie purifiée chaude à TC	Robinet d'eau chaude de la salle de bain du rez-de-chaussée	EP Chaud TC : Échantillon d'eau de pluie purifiée chaude pris au lavabo de la salle de bain du rez-de-chaussée après avoir laissé couler l'eau jusqu'à stabilisation de sa température (température constante)
6	Mélange d'eau de pluie purifiée chaude et froide à T° commune pour se laver (38°C) AO	Mélangeur de la baignoire de la salle de bain du rez-de-chaussée réglé sur 38°C	EP Mixte AO : Échantillon d'eau de pluie purifiée "tiède" (mélangeur réglé sur 38°C, donc mélange d'eau de pluie filtrée chaude et froide) pris à l'ouverture du robinet de la baignoire de la salle de bain du rez-de-chaussée
7	Mélange d'eau de pluie purifiée chaude et froide à T° commune pour se laver (38°C) à TC	Mélangeur de la baignoire de la salle de bain du rez-de-chaussée réglé sur 38°C	EP Mixte TC : Échantillon d'eau de pluie purifiée "tiède" (mélangeur réglé sur 38°C, donc mélange d'eau de pluie filtrée chaude et froide) pris au robinet de la baignoire de la salle de bain du rez-de-chaussée après avoir laissé couler l'eau jusqu'à stabilisation de sa température (température constante)
8	Eau grise traitée (froide) par le système « Hydraloop », AO	Robinet d'attente à coté du lave-linge	EG Froide AO : Eau grise traitée froide prise à l'ouverture du robinet d'attente du lave-linge
9	Eau grise traitée (froide) par le système « Hydraloop », à TC	Robinet d'attente à coté du lave-linge	EG Froide TC : Eau grise traitée froide prise au robinet d'attente du lave-linge après avoir laissé couler l'eau jusqu'à stabilisation de sa température (température constante)

AO (à l'ouverture) = Prise d'échantillon directement à l'ouverture du point de puisage ;

TC (température constante) = Prise d'échantillon après avoir laissé couler l'eau pendant un certain temps, jusqu'à ce que la température de l'eau soit constante.

TABLEAU 4.1 – Descriptions et emplacements de la prise d'échantillons en fonction du type d'eau testée

La figure 4.4 schématise l'installation et montre les différents points de prise d'échantillons présentés dans le tableau 4.1 ci-dessus. Pour information, l'emplacement des prises d'échantillons sur la figure 4.4 sont représentés par le logo affiché ci-dessous :



FIGURE 4.5 – Logo échantillon (PIXEL PERFECT (s.d.) [85])

4.3 Résultats des analyses

Les systèmes compacts de réutilisation des eaux grises, et notamment le système « Hydraloop » utilisé ici, intègrent tous les composants nécessaires (traitement, stockage, pompe de distribution, etc.) en un seul bloc (voir figure 4.2) [71]. Si un réservoir spécifique pour les eaux grises traitées est en effet bien présent dans l'installation visitée, l'eau de débordement du trop-plein de ce réservoir est évacuée vers la citerne d'eau de pluie, ce qui est actuellement interdit en Flandre (voir chapitre 1.3). Pour des raisons de sécurité, un système de purification avec désinfection (voir figure 4.3) a été installé pour traiter l'eau provenant de la citerne d'eau de pluie. En effet, comme expliqué au point 1.3, il existe un risque de détérioration de la qualité de l'eau de pluie stockée à long terme dans la citerne. Pour information, aucun problème de qualité n'a été constaté après utilisation du purificateur (voir point 4.4). Il serait intéressant d'analyser la qualité de l'eau présente dans la citerne pour évaluer plus précisément le risque.

En ce qui concerne les raccordements, ce système « Hydraloop » utilise une arrivée d'eau de ville, une évacuation (vers la citerne d'eau de pluie), des raccords pour collecter les eaux grises et distribuer les eaux grises traitées, et un raccord électrique, conformément à ce qui a été présenté dans le point 3.8 sur l'installation et la mise en service de ces systèmes.

Toujours conformément aux recommandations discutées dans le chapitre 3.8, le fabricant fournit l'entièreté des informations et des instructions d'installation du système ; ces informations sont également disponibles sur son site web [86].

Enfin, il est intéressant d'examiner quel plan d'installation, parmi ceux discutés dans le point 3.8 et disponibles en annexe C, correspond le mieux à l'installation visitée. Après analyse approfondie, il a été observé qu'aucune des installations présentées en annexe C ne correspond parfaitement à celle qui a été visitée. Plusieurs éléments diffèrent, tels que le système de contrôle automatisé et l'emplacement du stockage par rapport au module de traitement. Un rapprochement des installations types figurant en annexe et du système visité peut malgré tout être imaginé, à titre d'approximation, en combinant les schémas d'installation représentés sur les figures C.6 et C.2 (voir annexe C).

Une combinaison de ces deux schémas permet d'établir un plan d'installation comprenant à la fois un système compact de réutilisation des eaux grises et un système d'eaux grises doté d'un réservoir distinct. Toutefois, pour obtenir un schéma plus proche du plan de l'installation visitée, des modifications doivent être apportées au plan obtenu en combinant les schémas des figures C.6 et C.2 ; ces modifications concernent le rejet du trop-plein des eaux grises vers la citerne d'eau de pluie, l'utilisation des eaux grises et eaux de pluie pour alimenter le lave-linge et l'alimentation en eau de pluie chaude et froide des lavabos et des salles de bains. Moyennant ces adaptations, il serait possible d'obtenir un plan plus précis et cohérent.

Au vu des multiples adaptations nécessaires pour rapprocher le plan de l'installation visitée des modèles d'installation proposés par la norme BS 8525-1 : 2010 [12], la conclusion est qu'aucun des modèles proposés par la norme ne correspond à l'installation analysée dans le cadre de la visite de

terrain. Cela met en évidence une fois de plus les lacunes actuelles dans les systèmes (compacts) de réutilisation des eaux grises, pour lesquels les normes actuelles ne couvrent pas encore suffisamment le sujet.

Concernant les résultats des échantillons, ceux-ci sont présentés dans le tableau 4.2. Il convient de souligner que le pH a été mesuré à température corrigée. Étant donné que la température de l'eau peut influencer la mesure du pH, la sonde a simultanément mesuré la température de l'eau et corrigé la valeur du pH à une température de référence (25°C). Ainsi, toutes les valeurs de pH incluses dans le tableau peuvent être comparées.

De plus, la couleur est définie soit comme "vraie" soit comme "apparente". La couleur "apparente" correspond à la couleur de l'eau telle qu'elle sort du robinet, c'est-à-dire l'eau avec les substances dissoutes et les MES tandis que la couleur "vraie" correspond à la couleur de l'eau une fois les MES filtrées.

Les conditions de la legionella et les germes totaux sont exprimés en jours par degrés. Il s'agit d'une combinaison de la température et du temps d'incubation, qui sont des conventions en microbiologie. Par exemple, pour les germes totaux à 22°C, la lecture des plaques doit se faire après 72 heures.

Paramètres	Condition	Unités	EP Citerne	EP Froide		EP Chaude		EP Mixte		EG Froide	
				AO	TC	AO	TC	AO	TC	AO	TC
T°	-	°C	9,5	20,3	14,0	22,0	50,7	30,3	40,6	20,7	21,0
pH	T°. Corr.	-	6,90	6,99	7,13	7,23	6,84	6,97	6,86	8,05	7,06
BOD ₅	-	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	27	2
COD	-	mg/L	8	40	0	13	8	0	21	915	5
MES	-	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TN	-	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0,8	7,4
TP	-	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0,2	0,6
Couleur	Vraie	Pt-Co	8	10	5	8	1	0	3	19	11
	Apparente	Pt-Co	17	59	7	8	8	6	9	31	10
E. coli	-	UFC/100mL	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Coliformes totaux	24h/36°C	UFC/100mL	352	0	0	0	0	0	0	0	0
Entérocoques	2j/36°C(100 ml)	UFC/100mL	126	0	44	0	0	0	0	0	0
Legionella totaux	10j/36°C	UFC/L	10000*	n.d.**	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Abbréviations : T° = Température; BOD₅ = Demande biologique en oxygène; COD = Demande chimique en oxygène; MES = Matières en suspensions; TN = Azote total; TP = Phosphore total; E. coli = Escherichia coli; T°. Corr. = Température Corrigée; Pt-Co = Échelle de couleur « Platine-Cobalt »; n.d. = Non détecté (< 170 UFC/L);

EP Citerne = Eau de pluie prise directement dans la citerne d'eau de pluie;

EP Froide = Eau de pluie prise directement après filtration depuis le robinet du garage;

EP Chaude = Eau de pluie filtrée chaude directement prise depuis le robinet chaud du lavabo de la salle de bain du rez de chaussée;

EP Mixte = Eau de pluie filtrée "tiède" (mélangeur réglé sur 38°C, donc mélange de l'eau chaude et froide) prise directement depuis le robinet de la baignoire de la salle de bain;

EG Froide = Eau grise traitée froide prise au robinet d'attente de la machine à laver;

AO (à l'ouverture) = Prise d'échantillon directement à l'ouverture du point de puisage;

TC (température constante) = Prise d'échantillon après écoulement d'eau prolongé jusqu'à obtention d'une température d'eau constante.

* Résultats provenant d'une colonie sur une plaque directe (0,1 ml étalé) = limite de détection".

TABLEAU 4.2 – Résultats des analyses de l'eau de la maison de Grimbergen

4.4 Contrôle de la qualité de l'eau

Dans cette partie, sont comparés les résultats de l'analyse des échantillons du système « Hydra-loop » aux critères de qualité d'eau en Belgique discutés au point 3.2.1 (voir tableau 3.2). Bien qu'il s'agisse d'échantillons prélevés sur une seule installation de réutilisation des eaux grises, cette comparaison permet un premier retour de terrain intéressant. Il est à noter que les échantillons réalisés dans cette installation ne concernent pas uniquement des eaux grises traitées mais aussi des eaux de pluie. Puisque le tableau 3.2 peut également être utilisé pour l'eau de pluie, tous les échantillons sont

analysés à partir de celui-ci. Cette proposition peut en effet être transposée à l'eau de pluie car elle concerne la qualité d'eau d'utilisation et non la qualité d'origine de l'eau.

Le résultat de cette comparaison est illustré dans le tableau 4.3. Celui-ci met en évidence le respect ou non des différents paramètres étudiés. Il est important de noter que tous les paramètres de qualités d'eau utilisés dans la proposition belge (voir tableau 3.2), n'ont pas été mesurés. Il serait donc intéressant d'approfondir ces mesures pour obtenir des résultats encore plus pertinents.

		Vérifications suivant la proposition belge (voir tableau 3.2) de la qualité de l'eau des échantillons								Proposition de qualité d'eau pour les systèmes de réutilisation des eaux grises traitées en Belgique (voir tableau 3.2)										
		EP Citerne		EP Froide		EP Chaude		EP Mixte					EG Froide							
Type d'utilisation ^a :		s.o.		Douches, bain et arrosage du jardin		Douches, bain et lavabo		Douche et bain		Chasse des toilettes et lave-linge		AJ			WC			LL		
Type d'utilisation vérifiée ^b :		s.o.		Arrosage du jardin (AJ)		s.o.		s.o.		Chasse des toilettes (WC) et lave-linge (LL)										
		-		AO	TC	AO	TC	AO	TC	AO	TC									
Paramètres	pH	-	V	V	-	-	-	-	-	V	V	5-9,5	5-9,5	5-9,5						
	BOD ₅	-	-	-	-	-	-	-	-	X	V	<10	<10	<10						
	COD	-	V	V	-	-	-	-	-	X	V	<60	<100	<100						
	MES	-	V	V	-	-	-	-	-	V	V	<10(sdf)	<10(sdf)	<10(sdf)						
	TN	-	-	-	-	-	-	-	-	V	V	<15	<15	<15						
	TP	-	-	-	-	-	-	-	-	V	V	<2	<2	<2						
	Couleur (apparente)	-	V/X ^c	V ^c	-	-	-	-	-	X ^c	V ^c	Claire	Claire	Claire						
	E. Coli	-	V	V	-	-	-	-	-	V	V	n.d.	<25	n.d.						
	Coliformes totaux	-	V	V	-	-	-	-	-	V	V	<10	<1000	<10						
	Entérocoques	-	V	X	-	-	-	-	-	V	V	n.d.	n.d.	n.d.						
Legionella totaux ^d	-	V	V	-	-	-	-	-	-	-	<10 ^e	-	-							

Abbreviations : s.o = Sans objet ; AJ = Arrosage du jardin ; WC = Chasse de toilette ; LL = Lave-linge ; BOD₅ = Demande biologique en oxygène ; COD = Demande chimique en oxygène ; MES = Matières en suspensions ; TN = Azote total ; TP = Phosphore total ; E. coli = Escherichia coli ; n.d. = Non détecté ; sdf = Sans débris flottant.

EP Citerne = Eau de pluie prise directement dans la citerne d'eau de pluie ;

EP Froide = Eau de pluie prise directement après filtration depuis le robinet du garage ;

EP Chaude = Eau de pluie filtrée chaude directement prise depuis le robinet chaud du lavabo de la salle de bain du rez de chaussée ;

EP Mixte = Eau de pluie filtrée "tiède" (mélangeur réglé sur 38°C, donc mélange de l'eau chaude et froide) prise directement depuis le robinet de la baignoire de la salle de bain ;

EG Froide = Eau grise traitée froide prise au robinet d'attente de la machine à laver ;

AO (à l'ouverture) = Prise d'échantillon directement à l'ouverture du point de puisage ;

TC (température constante) = Prise d'échantillon après écoulement d'eau prolongé jusqu'à obtention d'une température d'eau constante.

V : Signifie que le résultat de l'échantillon du tableau 4.2 respecte le(s) critère(s) de la proposition de qualité d'eau pour la Belgique ;

X : Signifie que le résultat de l'échantillon du tableau 4.2 ne respecte PAS le(s) critère(s) de la proposition de qualité d'eau pour la Belgique.

Notes : ^a Définit à quelle utilisation résidentielle potentielle l'eau prélevée dans l'échantillon est normalement destinée ;

^b Utilisation résidentielle pouvant être vérifiée grâce à la proposition de qualité d'eau pour les systèmes de réutilisation des eaux grises traitées en Belgique ;

^c Attention à la subjectivité de ces résultats. Une couleur d'eau « Claire » est considérée comme étant équivalente à ≤ 10 sur l'échelle d'unité « Platine-Cobalt » (voir figure 4.6) ;

^d Le paramètre « Legionella totaux » n'est pas vérifié dans la proposition belge pour la qualité de l'eau, mais cette dernière vérifie le paramètre « Legionella pneumophila », qui est vérifié pour l'eau pulvérisée. Les "Legionella totaux" sont un groupe de différentes souches de Legionella, y compris "Legionella pneumophila". Donc, si le paramètre "Legionella totaux" est conforme aux limites du paramètre « Legionella pneumophila », cela implique que ce dernier est également respecté. Par contre, si le paramètre « Legionella totaux » dépasse la valeur limite de « Legionella pneumophila », aucune conclusion ne peut en être tirée quant au respect du critère « Legionella pneumophila » ; dès lors, dans cette situation, il est considéré par défaut que la condition « Legionella pneumophila » n'est pas respectée ;

^e Paramètre valable pour « Legionella pneumophila » et donc aussi pour « Legionella totaux » (voir ^d).

TABLEAU 4.3 – Vérification de la conformité des résultats de l'analyse de l'eau suivant la proposition de qualités d'eau pour les systèmes de réutilisation des eaux grises traitées en Belgique

Étant donné que la proposition faite pour la Belgique (voir tableau 3.2) classe la qualité des eaux en fonction de leur utilisation, il a fallu définir l'utilisation potentielle des eaux pour chacun des échantillons. De cette manière, comme affiché dans le tableau ci-dessus, la ligne « Type d'utilisation : » reprend :

- « EP Froide » qui est potentiellement utilisée pour les douches, le bain et l'arrosage du jardin ;
- « EP Chaude » qui est potentiellement utilisée pour les douches et le bain ;
- « EG Froide » qui est potentiellement utilisée pour la chasse des toilettes et le lave-linge.

Parmi ces utilisations, seuls l'arrosage du jardin (AJ), la chasse des toilettes et le lave-linge figurent parmi les utilisations abordées dans la proposition belge (voir tableau 3.2). C'est pourquoi seuls ces échantillons sont comparés dans le tableau 4.3. Voici la liste de ces échantillons et leurs types d'utilisation étudiés :

- « EP Froide (AO et TC) »² : Arrosage du jardin ;
- « EG Froide (AO et TC) »² : Chasse des toilettes et lave-linge.

Dans le tableau 4.3, ceci est visible à la ligne « Type d'utilisation vérifié ».

L'eau de la citerne n'est pas étudiée en tant que telle puisqu'elle n'est pas utilisée sans traitement préalable.

La proposition belge ne donne qu'un critère imprécis pour le paramètre de la couleur de l'eau (clarté). Une méthode de conversion de ce paramètre a dès lors du être définie pour permettre sa comparaison à l'échelle d'unité « Platine-Cobalt » (valeur numérique) utilisée dans nos résultats. Sur la base de la figure 4.6 ci-dessous, il a été défini qu'une eau "claire" correspond à une eau qui obtient un résultat inférieur ou égal à 10 sur l'échelle de « Platine-Cobalt ».

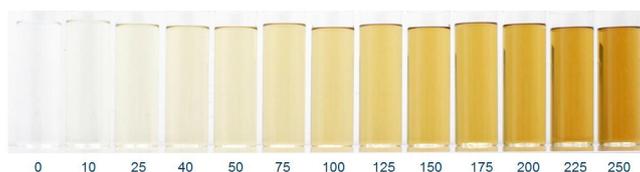


FIGURE 4.6 – Référence visuelle de la couleur (clarté) d'une eau selon l'échelle « Platine-Cobalt » (Hazen) (TECNOVA HT (s.d.) [87])

Cette méthode de conversion reste quoiqu'il en soit assez subjective car l'appréciation de la "clarté" dépend fortement de l'interprétation individuelle. C'est pourquoi le rôle et l'impact de ce critère doit être nuancé. Si tous les critères de qualité d'eau sont respectés hormis celui-là, l'impact sera mineur et n'aura aucune influence sur la santé des utilisateurs. Par contre, il aura de l'importance pour un utilisateur exigeant en matière de « clarté » de l'eau, notamment en fonction de son utilisation (exemple : lave-linge) [3]. Cette subjectivité est prise en compte dans l'analyse et l'interprétation des résultats.

Le tableau 4.3 permet de constater que la plupart des critères sont respectés. L'eau grise froide directement après ouverture du robinet a une qualité d'eau moindre comparée aux autres échantillons. Cependant, une fois l'eau à température constante, les critères sont respectés. Le fait que l'échantillon ait été prélevé au niveau d'un robinet intérieur non-utilisé (robinet de raccord pour le lave-linge) peut expliquer ces résultats. La stagnation de l'eau à température ambiante peut conduire à une augmentation du BOD_5 et du COD , deux critères qui sont trop élevés dans cet échantillon. Une différence de couleur a par ailleurs été observée entre l'eau à l'ouverture du robinet et l'eau à température constante. L'eau à l'ouverture est plus trouble et ne respecte pas les critères définis précédemment. Or, s'agissant ici d'un robinet d'alimentation d'un lave-linge, la couleur de l'eau, malgré la subjectivité de sa perception, est un critère important pour éviter la coloration des vêtements [3]. Ces résultats confirment la recommandation des normes et documents étudiés dans ce travail d'utiliser l'eau grise traitée le plus rapidement possible et de ne pas la laisser stagner [3, 18, 28]. De fait, une eau stagnante peut s'écarter rapidement des critères de qualité exigés.

Concernant l'eau de pluie froide, les critères sont respectés dans l'ensemble, hormis la couleur de l'eau à l'ouverture du robinet et les entérocoques de l'eau à température constante. La couleur de l'eau

2. Pour la signification de ces termes : voir tableaux 4.1, 4.2 et 4.3

étant un critère subjectif au vu de la méthode utilisée, le résultat peut être discuté. Il a donc été choisi de mettre ce critère comme neutre ("V/X", ni respecté "V", ni non-respecté "X").

Le résultat concernant les entérocoques mériterait des investigations complémentaires. C'est en effet le seul échantillon (à part la citerne, voir tableau 4.2) dont les résultats diffèrent de 0. De plus, ce résultat concerne étonnement l'eau à température constante et non l'eau à l'ouverture. Or, s'agissant du robinet du garage, l'eau à l'ouverture a potentiellement stagné plusieurs heures voire plusieurs jours dans la conduite. Cette dernière devrait donc à priori de moins bonne qualité, or c'est l'inverse ici. Il faudrait dès lors réaliser une nouvelle étude afin de confirmer ces résultats et les approfondir.

En conclusion, la majorité des critères définis sont respectés, des résultats sont dès lors encourageants pour l'utilisation de ce type de système de réutilisation des eaux grises (« Hydraloop »). Il faut cependant toujours faire attention aux eaux grises stagnantes qui peuvent conduire à une détérioration de la qualité des eaux. Pour affiner les résultats et en permettre une éventuelle généralisation, il s'imposerait d'élargir le périmètre de l'étude à plusieurs installations et à plusieurs types de systèmes et d'élargir le champ des paramètres analysés. Il s'agirait de prélever des échantillons sur différents terrains et sur l'ensemble des paramètres étudiant la qualité de l'eau. Quoiqu'il en soit, les analyses d'échantillons effectuées pour ce travail ont permis d'expérimenter l'utilisation de la proposition belge des critères de qualité des eaux grises traitées et d'y apporter des améliorations afin d'en faciliter l'utilisation et d'en accroître la pertinence.

Conclusions et perspectives

Le présent TFE avait pour objectif de fournir des informations et des recommandations concernant la réutilisation des eaux grises dans les maisons unifamiliales en Belgique, dans le but de préserver l'eau potable et de promouvoir une gestion durable de l'eau.

Les systèmes traditionnels de réutilisation des eaux grises s'avèrent souvent coûteux et peu adaptés aux maisons unifamiliales en Belgique. Bien que des solutions plus adaptées commencent à apparaître sur le marché, elles demeurent marginales en raison des nombreuses lacunes dans les normes et réglementations belges qui entravent leur déploiement. Un sondage en ligne a souligné la nécessité de rendre l'accès à ces solutions plus démocratique et d'uniformiser les connaissances pour en favoriser l'utilisation. Afin de répondre à ces problématiques, ce TFE vise à combler les lacunes en proposant des critères de qualité de l'eau, en fournissant des informations sur les systèmes de traitement existants, leur dimensionnement, leurs modes de stockage et leur installation, ainsi qu'en élaborant un guide de bonnes pratiques et un outil de dimensionnement Excel (annexe A) destinés à aider les entrepreneurs et les installateurs à dimensionner et à installer des systèmes compacts de réutilisation des eaux grises dans les maisons unifamiliales.

En ce qui concerne la qualité de l'eau en fonction de son utilisation, une proposition de norme a été formulée pour les eaux grises traitées utilisées dans divers usages domestiques en Belgique. Cette proposition vise à garantir la sécurité sanitaire des utilisateurs lors de l'utilisation des eaux grises traitées. Elle servira de base pour l'élaboration d'une norme officielle concernant les critères de qualité de l'eau en fonction de son utilisation en Belgique.

L'étude des différents modes de traitement utilisés par les systèmes de réutilisation des eaux grises a permis de mettre en évidence les modes recommandés pour ce type de système. Il s'agit des modes de traitement requérant peu d'entretien, de prix abordable, à faible encombrement et exigeant peu ou pas de consommable (par exemple, les filtres grossiers auto-nettoyants). De plus, cette étude permet d'acquérir des connaissances générales intéressantes sur ces modes de traitement.

La section consacrée au stockage a permis d'éclaircir les questions relatives aux durées et aux capacités de stockage nécessaires pour les systèmes de réutilisation des eaux grises, dans le but de fournir les connaissances nécessaires à une bonne conception de ces installations. Il a ainsi été observé qu'une durée maximale de stockage de 24 heures semble appropriée dans le cas où aucun système de contrôle ne permet de vérifier la qualité de l'eau (ce qui, a priori, n'est pas autorisé selon la norme [3]). En ce qui concerne la capacité de stockage, il est recommandé de prendre la valeur la plus petite entre le volume moyen de production et la demande journalière, ce qui semble le plus approprié.

Le dimensionnement des installations a été abordé à l'aide d'une méthode de calcul permettant de déterminer les volumes de production des eaux grises et la demande en eau grise traitée auxquels une installation contenant un système de réutilisation des eaux grises doit pouvoir répondre. Cette méthode repose sur le nombre d'utilisateurs de l'installation. Des valeurs par défaut ont été incluses dans le calcul et dans l'outil Excel afin de permettre un pré-dimensionnement de l'installation même en l'absence de toutes les informations requises.

Enfin, un calendrier recommandé pour l'inspection et l'entretien des systèmes de réutilisation des eaux grises a été proposé, en prenant en compte la problématique de l'entretien et du suivi du bon fonctionnement de ces systèmes en l'absence d'informations fournies par les fabricants.

La visite d'une installation de réutilisation des eaux grises a permis de confronter la théorie et les

recherches de ce travail à la pratique ; les résultats ont été remis en question et adaptés en conséquence. Dans l'ensemble, les résultats de cet échantillonnage ont montré que l'installation respectait les critères de qualité proposés, à l'exception des moments où l'eau était stagnante, c'est-à-dire lorsqu'un point de prélèvement n'avait pas été utilisé depuis une longue durée (largement supérieure à 24h).

En résumé, ce TFE a atteint ses objectifs en fournissant des informations et des propositions qui serviront de base pour des projets futurs chez Buildwise, notamment en ce qui concerne la qualité de l'eau et le dimensionnement des systèmes de réutilisation. Ces résultats contribueront à améliorer les connaissances sur cette approche résiliente de la consommation de l'eau. Cela ouvre la voie à des projets visant à maximiser la valorisation des eaux grises, tels que le projet Recybeau, réalisé en partenariat avec CEBEDEAU. À terme, cela aidera à démocratiser ce type de système, qui est actuellement trop coûteux pour être rentable en Belgique. La démocratisation de ces systèmes est l'objectif principal de ce travail.

En outre, compte tenu du changement climatique et de l'importance croissante accordée à la préservation de l'environnement par la population, il est essentiel de poursuivre la recherche dès maintenant afin que ces systèmes puissent atteindre leur maturité et répondre aux défis de demain. Ces défis, liés notamment à la raréfaction croissante des ressources en eau, rendront ces systèmes nécessaires et potentiellement plus rentables.

Références

- [1] BUILDWISE. (« À propos de Buildwise »). Buildwise. s.d. EN LIGNE : URL. <https://www.buildwise.be/fr/a-propos-de-buildwise/> (visité le 04/03/2023).
- [2] CSTC. *CSTC-Rapport Annuel 2021*. Bruxelles : CSTC, 2021. 6 p.
- [3] NBN. *NBN EN 16941-2 : Réseaux d'eau non potable sur site - Partie 2 : Système pour l'utilisation des eaux ménagères traitées*. Bruxelles, 25 fév. 2021.
- [4] A. K. VUPPALADADIYAM, N. MERAYO et al. « A review on greywater reuse : quality, risks, barriers and global scenarios ». In : *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* 18.1 (déc. 2018), p. 77-99. DOI : 10.1007/s11157-018-9487-9.
- [5] M. OTENG-PEPRAH, M. A. ACHEAMPONG et al. « Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review ». In : *Water, Air, & Soil Pollution* 229.8 (juill. 2018), p. 1-16. DOI : 10.1007/s11270-018-3909-8.
- [6] A. A. S. AL-GHEETHI, E. A. NOMAN et al. « Qualitative Characterization of Household Greywater in Developing Countries : A Comprehensive Review ». In : *Management of Greywater in Developing Countries*. Springer International Publishing, mai 2018, p. 1-31. DOI : 10.1007/978-3-319-90269-2_1.
- [7] S. KANT, F. H. JABER et al. « Evaluation of a portable in-house greywater treatment system for potential water-reuse in urban areas ». In : *Urban Water Journal* 15.4 (avr. 2018), p. 309-315. DOI : 10.1080/1573062x.2018.1457165.
- [8] EUROPEAN COMMISSION. JOINT RESEARCH CENTRE. *Water reuse in Europe : relevant guidelines, needs for and barriers to innovation*. Bruxelles : Publications Office, 2014. 51 p. DOI : 10.2788/29234.
- [9] UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2021*. 2021^{re} éd. United Nations, 2021. 224 p. DOI : 10.18356/9789214030157.
- [10] M. MACÉ. (« *QUEST-CE QUE LE STRESS HYDRIQUE ? COMMENT Y RÉPONDRE ? : Le stress hydrique : sa définition, ses causes et ses conséquences* »). *Le centre d'information sur l'eau*. s.d. EN LIGNE : URL. <https://www.cieau.com/eau-transition-ecologique/enjeux/quest-ce-que-le-stress-hydrique-comment-y-repondre/> (visité le 09/05/2023).
- [11] EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE. *Time for an EU Blue Deal*. Bruxelles, 1^{er} jan. 2023. 2 p.
- [12] BSI. *BS 8525-1 : 2010 : Greywater systems - Code of practice*. Britain, juin 2010. DOI : 10.3403/30184123.
- [13] C. PREVEDELLO. *L'utilisation de l'eau de pluie en Région wallonne*. Namur : S.A Aquawal, sept. 2006. Chap. 3.1.3. 70 p.
- [14] « Code de l'Eau (Partie Réglementaire) ». In : *Wallonix : Le droit en Wallonie - LIVRE II du Code de l'environnement* (3 mars 2005).
- [15] SCINAPSE. *Scinapse : Academic Search Engine*. 2023. EN LIGNE : URL. <https://www.scinapse.io/> (visité le 11/05/2023).
- [16] SCIENCE DIRECT[®]. *ScienceDirect[®]*. 2023. EN LIGNE : URL. <https://www.sciencedirect.com/> (visité le 11/05/2023).
- [17] JABREF. *Jabref*. 2023. EN LIGNE : URL. <https://www.jabref.org/> (visité le 11/05/2023).
- [18] BSI. *BS 8525-2 : 2011 : Greywater systems - Domestic greywater treatment equipment. Requirements and test methods*. Britain, août 2011. DOI : 10.3403/30184125u.
- [19] LINKEDIN. *LinkedIn*. 2023. EN LIGNE : URL. <https://www.linkedin.com/> (visité le 11/05/2023).
- [20] C. WALLONIA. (« *L'économie circulaire en Wallonie : La Wallonie circulaire* »). *Circular Wallonia*. s.d. EN LIGNE : URL. <https://economiecirculaire.wallonie.be/wallonie-circulaire> (visité le 09/04/2023).
- [21] CIRCULAR WALLONIA. (« *L'économie circulaire en Wallonie : Participez à une enquête sur les systèmes à réutilisation d'eaux grises* »). *Circular Wallonia*. 23 mars 2023. EN LIGNE : URL. <https://economiecirculaire.wallonie.be/articles/actualite/participez-enquete-systemes-reutilisation-eaux-grises> (visité le 09/04/2023).
- [22] VLAKWA. (« *Over Vlakwa* »). Vakwa. s.d. EN LIGNE : URL. <https://vlakwa.be/nl/over-vlakwa> (visité le 14/04/2023).
- [23] ISO. *ISO 301500 : 2018 - Non-sewered sanitation systems Prefabricated integrated treatment units General safety and performance requirements for design and testing*. Genève, oct. 2018.
- [24] F. BOANO, A. CARUSO et al. « A review of nature-based solutions for greywater treatment : Applications, hydraulic design, and environmental benefits ». In : *Science of The Total Environment* 711 (avr. 2020), p. 1-26. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2019.134731.
- [25] ASERSA, UPC et al. *Spanish Regulations for Water Reuse - Royal Decree 1620/2007 of 7 December*. Espagne, sept. 2011.
- [26] E ERIKSSON, K AUFFARTH et al. *Guidelines for Water Reuse*. Washington D.C, sept. 2012. 643 p.
- [27] LOCAL GOVERNMENT OF AUSTRALIA. *Domestic Greywater Treatment Systems Accreditation Guidelines - Part 4, Clause 43(1), Local Government (Approvals) Regulation, 1999*. Australia, fév. 2005.

- [28] NSF/ANSI 350 - 2022 : *Onsite Residential and Commercial Water Reuse Treatment Systems*. USA, 6 avr. 2022.
- [29] 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) : ANSES, fév. 2015. 144 p.
- [30] « Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts, Annexe I ». In : *Journal officiel électronique authentifié n°0201 du 31/08/2010 de la République Française* (2 août 2010).
- [31] BSI. *BS 8595 : 2013 : Code of practice for the selection of water reuse systems*. Britain, 30 sept. 2013. DOI : 10.3403/30259800.
- [32] W. CRAMER, J. GUIOT et al. « Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean ». In : *Nature Climate Change* 8.11 (22 oct. 2018), p. 972-980. DOI : 10.1038/s41558-018-0299-2.
- [33] A. GROSS, A. MAIMON et al. *Greywater Reuse*. Taylor & Francis Group, 2015. 301 p. ISBN : 9781482255058.
- [34] NSF. (« NSF/ANSI 350 : *Onsite Residential and Commercial Water Reuse Treatment* »). NSF : NSF Product and Service Listing. NSF. 9 mars 2023. EN LIGNE : URL. <https://info.nsf.org/Certified/Wastewater/Listings.asp?Standard=350&> (visité le 09/03/2023).
- [35] K. A. FAYYAZ ALI MEMON, éd. *Proceedings of the Water Efficiency Conference 2015* (2015). UK : WATEF Network/University of Brighton. Exeter, 7 août 2015. 405 p.
- [36] A. A. S. AL-GHEETHI, E. A. NOMAN et al. « Reuse of Greywater for Irrigation Purpose ». In : *Management of Greywater in Developing Countries*. Springer International Publishing, mai 2018, p. 73-87. DOI : 10.1007/978-3-319-90269-2_4.
- [37] L. ALLEN, J. CHRISTIAN-SMITH et al. *Overview of Greywater Reuse : The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management*. Pacific Institute, 2010. 41 p. ISBN : 978-1-893790-29-2.
- [38] D. M. GHAITIDAK et K. D. YADAV. « Characteristics and treatment of greywater - a review ». In : *Environmental Science and Pollution Research* 20.5 (fév. 2013), p. 2795-2809. DOI : 10.1007/s11356-013-1533-0.
- [39] M. FOUNTOULAKIS, N. MARKAKIS et al. « Single house on-site grey water treatment using a submerged membrane bioreactor for toilet flushing ». In : *Science of The Total Environment* 551-552 (mai 2016), p. 706-711. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2016.02.057.
- [40] I. N. SHAIKH et M. M. AHAMMED. « Quantity and quality characteristics of greywater : A review ». In : *Journal of Environmental Management* 261 (mai 2020), p. 110266. DOI : 10.1016/j.jenvman.2020.110266.
- [41] S. CHARLESWORTH, C. A. BOOTH et al. *Sustainable Water Engineering*. Elsevier, 2020. 312 p. ISBN : 9780128164044. DOI : 10.1016/c2017-0-04301-x.
- [42] E. ERIKSSON, K. AUFFARTH et al. « Characteristics of grey wastewater ». In : *Urban Water* 4.1 (mars 2002), p. 85-104. DOI : 10.1016/s1462-0758(01)00064-4.
- [43] BODYSOL Dermo Protection. *Bodysol fête ses 20 ans : "Ma douche : mon moment à moi !"* Gand (Nazareth) : Bodysol, mars 2017. 2 p.
- [44] M. PIDOU, F. A. MEMON et al. « Greywater recycling : treatment options and applications ». In : *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Engineering Sustainability* 160.3 (sept. 2007), p. 119-131. DOI : 10.1680/ensu.2007.160.3.119.
- [45] ENVIRONMENT PROTECTION AND HERITAGE COUNCIL, the NATURAL RESOURCE MANAGEMENT MINISTERIAL COUNCIL et al. *National Guidelines for Water Recycling : Managing Health and Environmental Risks (PHASE 1)*. Sous la dir. de BIOTEXT PTY LTD. Canberra : NSW Government Department of Water & Energy, nov. 2006. 72 p. ISBN : 1921173068.
- [46] WJW FOUNDATION. *Onsite non-potable water reuse practice guide*. WJW Foundation, 2018. 87 p.
- [47] B. ABADA, S. JOAG et al. « Hypersaline produced water clarification by dissolved air flotation and sedimentation with ultrashort residence times ». In : *Water Research* 226 (nov. 2022), p. 119241. DOI : 10.1016/j.watres.2022.119241.
- [48] PUB. *Technical Guides for Greywater Recycling System*. 1^{re} éd. Singapour : PUB, juill. 2014. 32 p.
- [49] B. WU. « Membrane-based technology in greywater reclamation : A review ». In : *Science of The Total Environment* 656 (mars 2019), p. 184-200. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2018.11.347.
- [50] W. J. KOROS, Y. H. MA et al. « Terminology for membranes and membrane processes (IUPAC Recommendations 1996) ». In : *Pure and Applied Chemistry* 68.7 (jan. 1996), p. 1479-1489. DOI : 10.1351/pac199668071479.
- [51] MEMENTO DEGREMONT®. (« Eau et généralités ; procédés et technologies »). Memento degremont® de suiez. s.d. EN LIGNE : URL. <https://www.suezwaterhandbook.fr/eau-et-generalites> (visité le 03/03/2023).
- [52] W. A. HUSSIEN, F. A. MEMON et al. « Assessing and Modelling the Influence of Household Characteristics on Per Capita Water Consumption ». In : *Water Resources Management* 30.9 (avr. 2016), p. 2931-2955. DOI : 10.1007/s11269-016-1314-x.

- [53] SWDE. (« *Le prix de l'eau en Belgique* »). SWDE. 2023. EN LIGNE : URL. <https://www.swde.be/fr/le-prix-de-leau-en-belgique> (visité le 04/03/2023).
- [54] CONDORCHEM ENVITECH. (« *AEROBIC DIGESTION REACTORS (ADR) FOR BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT* »). Condorchem envitech. s.d. EN LIGNE : URL. <https://condorchem.com/en/blog/aerobic-reactors-for-biological-wastewater-treatment> (visité le 04/03/2023).
- [55] GREYTER WATER SYSTEM. (« *Residential Homes : The Greyter Home Résidential Water Recycling System* »). Greyter Water System. s.d. EN LIGNE : URL. <https://greyter.com/residential/> (visité le 26/02/2023).
- [56] S. D. GISI, P. CASELLA et al. « Grey water in buildings : a mini-review of guidelines, technologies and case studies ». In : *Civil Engineering and Environmental Systems* 33.1 (déc. 2015), p. 35-54. DOI : 10.1080/10286608.2015.1124868.
- [57] INFINITA BIOTECH. (« *3 Uses Of Enzymes In Wastewater Treatment* »). Infinita Biotech. 2021. EN LIGNE : URL. <https://infinitabiotech.com/blog/3-ways-to-use-enzymes-in-wastewater-treatment/> (visité le 03/03/2023).
- [58] REALZYME. (« *Water treatment* »). REALZYME. s.d. EN LIGNE : URL. <https://www.realzyme.com/water-treatment/> (visité le 03/03/2023).
- [59] COMMISSION EUROPÉENNE (CORDIS). (« *Horizon 2020 - A cost- energy-efficient treatment technology to remove pharmaceutical pollutants from water. Résultats en Bref - Une unité de traitement enzymatique élimine les micropolluants organiques* »). Commission Européenne : CORDIS - Résultats de la recherche de l'UE. 18 déc. 2020. DOI : 10.3030/804453. EN LIGNE : URL. <https://cordis.europa.eu/article/id/428643-enzyme-treatment-unit-removes-organic-micropollutants/fr> (visité le 03/03/2023).
- [60] G. KYZAS et K. MATIS. « Flotation in Water and Wastewater Treatment ». In : *Processes* 6.8 (août 2018). DOI : 10.3390/pr6080116.
- [61] G. KYZAS et K. MATIS. « Flotation of Biological Materials ». In : *Processes* 2.1 (mars 2014), p. 293-310. DOI : 10.3390/pr2010293.
- [62] M. A. MUSA et S. IDRUS. « Physical and Biological Treatment Technologies of Slaughterhouse Wastewater : A Review ». In : *Sustainability* 13.9 (avr. 2021), p. 4656. DOI : 10.3390/su13094656.
- [63] J RUBIO, M. SOUZA et al. « Overview of flotation as a wastewater treatment technique ». In : *Minerals Engineering* 15.3 (mars 2002), p. 139-155. DOI : 10.1016/s0892-6875(01)00216-3.
- [64] K. M. JABRI, E. NOLDE et al. « Life cycle assessment of a decentralized greywater treatment alternative for non-potable reuse application ». In : *International Journal of Environmental Science and Technology* 17.1 (août 2019), p. 433-444. DOI : 10.1007/s13762-019-02511-3.
- [65] A. di BIASE, M. S. KOWALSKI et al. « Moving bed biofilm reactor technology in municipal wastewater treatment : A review ». In : *Journal of Environmental Management* 247 (oct. 2019), p. 849-866. DOI : 10.1016/j.jenvman.2019.06.053.
- [66] A. A. S. AL-GHEETHI, E. A. NOMAN et al. « Disinfection Technologies for Household Greywater ». In : (mai 2018), p. 185-203. DOI : 10.1007/978-3-319-90269-2_10.
- [67] A. E. BURAKOV, E. V. GALUNIN et al. « Adsorption of heavy metals on conventional and nanostructured materials for wastewater treatment purposes : A review ». In : *Ecotoxicology and Environmental Safety* 148 (fév. 2018), p. 702-712. DOI : 10.1016/j.ecoenv.2017.11.034.
- [68] M. SAPHIRA, R. MOHAMED et al. « Management of Greywater in Developing Countries ». In : *Water Sci. Technol. Libr.* 87 (2019). Sous la dir. de R. M. S. R. MOHAMED, A. A. S. AL-GHEETHI et al. DOI : <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90269-2>.
- [69] T. BUCKLEY, X. XU et al. « Review of foam fractionation as a water treatment technology ». In : *Separation Science and Technology* 57.6 (juill. 2021), p. 929-958. DOI : 10.1080/01496395.2021.1946698.
- [70] D. J. BURNS, P. STEVENSON et al. « PFAS removal from groundwaters using Surface-Active Foam Fractionation ». In : *Remediation Journal* 31.4 (août 2021), p. 19-33. DOI : 10.1002/rem.21694.
- [71] HYDRALOOP. (« *Technique : Comment fonctionne Hydraloop* »). Hydraloop. s.d. EN LIGNE : URL. <https://www.hydraloop.com/fr/technical> (visité le 26/02/2023).
- [72] ACQUA.ECO. *Catalogue : Eau grises - Recover[®] : Recyclage résidentiel*. France (MEZE), 2022. 1 p.
- [73] SPAREAU. *Economiseur d'eau potable : Fiche présentation caisson Spareau*. France (Saint Gely du fesc), mai 2022. 1 p.
- [74] ECOVIE. (« *Technology : Aqualoop Membrane Station With System Control* »). Ecovie. s.d. EN LIGNE : URL. <https://www.ecoviewater.com/products/aqualoop/aqualoop-tech/> (visité le 26/02/2023).
- [75] AQUACO. *Brochure : Commercial MBR Grey Water Recycling*. UK, fév. 2021. 7 p.
- [76] AQUABILITY : INTELLIGENT WATER MANAGEMENT. *Aqua-Recycling-Control : Greywater Recycling System*. France (Talence), 2014. 9 p.
- [77] M. KHALIL et Y. LIU. « Greywater biodegradability and biological treatment technologies : A critical review ». In : *International Biodeterioration & Biodegradation* 161 (juill. 2021), p. 105211. DOI : 10.1016/j.ibiod.2021.105211.
- [78] S. BERING, J. MAZUR et al. « The application of moving bed bio-reactor (MBBR) in commercial laundry wastewater treatment ». In : *Science of The Total Environment* 627 (juin 2018), p. 1638-1643. DOI : 10.1016/j.scitotenv.2018.02.029.

- [79] P. G. SUBRAMANIAN, A. V. RAJ et al. « Decentralized treatment and recycling of greywater from a school in rural India ». In : *Journal of Water Process Engineering* 38 (déc. 2020), p. 101695. DOI : 10.1016/j.jwpe.2020.101695.
- [80] ANONYME. *Code of Practice for the Reuse of Greywater in Western Australia 2010*. Western Australia, 2010.
- [81] Y. KOBAYASHI, N. J. ASHBOLT et al. « Life cycle assessment of decentralized greywater treatment systems with reuse at different scales in cold regions ». In : *Environment International* 134 (jan. 2020), p. 105215. DOI : 10.1016/j.envint.2019.105215.
- [82] LABORATOIRE H2O, BUILDWISE. (« Tous les projets de Buildwise : Projet optidim - Optimisation du dimensionnement de la production deau chaude sanitaire »). Buildwise. 2022. EN LIGNE : URL. <https://www.buildwise.be/fr/recherche-innovation/showroom-des-projets/optimisation-du-dimensionnement-de-la-production-d-eau-chaude-sanitaire-optidim/> (visité le 06/05/2023).
- [83] TNS SOFRES. *Etude Usage Lavage Domestique*. Sous la dir. d'ADEME. France (Paris), juill. 2015. 138 p.
- [84] GOOGLE MAPS. (« Google Maps : Vue aérienne d'un quartier de Grimbergen en Belgique »). Google Maps. 2023. EN LIGNE : URL. <https://www.google.com/maps/@50.9583061,4.3611955,276m/data=!3m1!1e3> (visité le 14/04/2023).
- [85] PIXEL PERFECT. (« Tube à essai Icône gratuite »). Flaticon. s.d. EN LIGNE : URL. https://www.flaticon.com/fr/icone-gratuite/tube-a-essai_187283 (visité le 21/04/2023).
- [86] HYDRALOOP. (« Hydraloop : Centre d'informations »). Hydraloop. s.d. EN LIGNE : URL. <https://info.hydraloop.com/public/fr/> (visité le 09/05/2023).
- [87] TECNOVA HT. (« Scala apha »). TECNOVA HT. s.d. EN LIGNE : URL. <https://tecnovaht.it/alcol-i-grassi/scala-apha/> (visité le 23/04/2023).

Cliquer pour :
Réinitialiser le
formulaire

Les valeurs proposées dans ce document pour la consommation et la production des appareils sont des moyennes journalières qui peuvent être utilisées à titre indicatif pour le prédimensionnement d'une installation. Toutefois, il convient de noter que la consommation et la production (c'est-à-dire les appareils installés et les conditions d'utilisation). Il est donc impératif de vérifier et éventuellement corriger ces valeurs en fonction des caractéristiques spécifiques à chaque installation étudiée. Les auteurs déclinent toute responsabilité quant à l'utilisation des valeurs moyennes proposées dans ce document sans une vérification préalable appropriée.

La méthode principalement utilisée dans cette feuille Excel se base majoritairement sur celle proposée dans la norme NBN EN 16941-2. Cependant, afin de proposer des valeurs par défaut pour faciliter son utilisation, la norme britannique BS 8525-1:2010 a également été largement utilisée. Pour plus d'informations, les explications du choix de ces différentes valeurs sont disponibles en annexe.

ATTENTION: Dans cet Excel, l'hypothèse d'une consommation moyenne journalière constante a été prise en compte conformément à la norme NBN EN 16941-2. Cette hypothèse peut ne pas être respectée dans certains cas, en raison des habitudes de consommation des utilisateurs ou d'autres raisons. Dans tous les cas, il est important de toujours essayer de rester fidèle aux caractéristiques spécifiques de l'installation étudiée. Ainsi, si des comportements de consommation "anormaux" se produisent (par exemple, une concentration du fonctionnement des lave-linges le week-end), il est préférable de les prendre en compte lors du dimensionnement de l'installation.

1] Productions d'eaux grises

Production d'eaux grises, en litres par jour

Cliquer pour :
Réinitialiser la
production

Nombre de personnes

Je souhaite réinitialiser les :

- Eaux grises légères: OUI
- Douche: OUI
- Baignoire: OUI
- Lavabo: OUI
- Chaudière: OUI
- Eaux grises lourdes: OUI
- Lave-linge: OUI
- Evier: OUI
- Lave-vaisselle: OUI

Utiliser les valeurs par défaut?

Dimensionnement Prov. des valeurs par défaut

	Q _v	U _v	U _p	U _s	V _v	U _v	V _p	U _p	V _r	U _r
debit volumique d'une douche en litres par minute	U _{min}									
durée d'utilisation d'une douche à chaque utilisation en minutes	min									
taux d'utilisation d'une douche par personne et par jour	%(p.j)									
taux d'utilisation des douches	0 L/j									
production d'eaux grises provenant des douches en litres par jour	0 L/j									
volume d'eau utilisé à chaque utilisation d'une baignoire en litre (volume de remplissage)	L									
taux d'utilisation d'une baignoire par personne et par jour	%(p.j)									
production d'eaux grises provenant des baignoires en litres par jour	0 L/j									

Commentaires

Pour le calcul des volumes de productions des bains, c'est la méthode de la norme britannique BS 8525-1:2010 qui a été exclusivement utilisée, afin de pouvoir utiliser la valeur de facteur d'utilisation des baignoires.

FIGURE A.2 – Partie haute (zoom 1) de la feuille "Dimensionnement" de l'Excel

A	B	C	D	E	F	G	H
32	Eaux grises						
31		débit volumique d'un lavabo, en litres par minute	Q _{lave}	l/min		NDN	
32		durée d'utilisation d'un lavabo à chaque utilisation	t _{lave}	min			
33		taux d'utilisation d'un lavabo par personne et par jour	U _{lave}	1/p.j			
34		facteur d'utilisation des lavabos	U _{lave}	0 mir/p.j		NDN	L'utilisation de la valeur par défaut tend à surestimer la production d'eaux grises provenant des lavabos, car cette valeur est basée sur la norme BS 6825-1:2010, qui inclut l'ensemble de l'eau utilisée pour les lavages de mains dans les éviers et les lavabos, contrairement à la norme NEN-EN 15341-2, qui sépare les deux.
35		production d'eaux grises provenant des lavabos, en litres par jour	V _{lave}	0 L/j		NDN	
36		production d'eaux grises légères, en litres par jour	V _{lave}	0 L/j		NDN	
38	Eaux grises lourdes						
39		volume d'eau utilisé par cycle de fonctionnement d'un lave-linge	V _{lave}	L		NDN	
40		le nombre de cycles de fonctionnement d'un lave-linge par personne et par jour	U _{lave}	cycles/p		NDN	
41		production d'eaux grises provenant des lave-linges, en litres par jour	V _{lave}	0 L/j		NDN	
42		débit volumique des robinets (d'eau chaude et froide) d'un évier, en litres par minute	Q _{evier}	l/min		NDN	
43		durée d'utilisation d'un évier à chaque utilisation, en minutes	t _{evier}	min			
44		taux d'utilisation d'un robinet d'évier par personne et par jour	U _{evier}	1/p.j			
45		facteur d'utilisation des éviers	U _{evier}	0 mir/p.j		NDN	la valeur par défaut proposée pour les lavabos par la norme BS 6825-2:2010 est utilisée. La raison en est que le volume d'eau produit par le lavage des mains dans les éviers de cuisine est déjà inclus dans cette valeur par défaut des lavabos. Ainsi, cette valeur de 138 L ne représente effectivement que les eaux usées de la vaisselle.
46		production d'eaux grises provenant des éviers, en litres par jour	V _{evier}	0 L/j		NDN	Valeur par défaut tirée d'un rapport de l'ADEVE "comportement évier" 15 octobre 2010 pour une famille de 3,2 personnes. Source : A. D. Z. (2010) Performance, Sources, 11. Soins, Etude Usage Lavage Domestique, Sous la dir. d'ADEVE.
47		volume d'eau utilisé par cycle de fonctionnement d'un lave-vaisselle, en litres	V _{lave}	L		NDN	
48		nombre de cycles de fonctionnement d'un lave-vaisselle par personne et par jour	U _{lave}	cycles/p		NDN	
49		production d'eaux grises provenant des douches, en litres par jour	V _{douche}	0 L/j		NDN	
50		Production d'eaux grises légères provenant des lavabos, en litres par jour	V _{lave}	0 L/j		NDN	
52	2) Demande en eaux grises traitées						
58		Demande en eaux grises, en litres par jour	D _e	0 L/j			
59		Nombre de personnes	n	1 p			
60							Même nombre de personnes que pour la production ? :
61							OUI
62							
63							
64							
65							
66							
67							
68							
69							
70							
71							
72							

FIGURE A.3 – Partie du milieu (zoom 2) de la feuille "Dimensionnement" de l'Excel

B Questions du sondage (Les systèmes de réutilisation des eaux grises : Premiers retours de terrains)

A) Questions communes :

- 1) A 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 placés ?
- 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 consommable (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 pluies 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 client pour l'installation de ce genre de système ?
- 23) Si oui, à la question précédente, en moyenne à quelle fréquence en recevez vous ?
- 24) Est-ce que vous seriez potentiellement intéressé d'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 heure) ?
- 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) activités 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 ?

C Exemples de plans d'installation de systèmes de réutilisation des eaux grises proposés par la norme BS 8525-1 : 2010 [12]

C.1 Exemples de systèmes typiques de réutilisation des eaux grises avec différents systèmes d'alimentation d'appoint en eau.

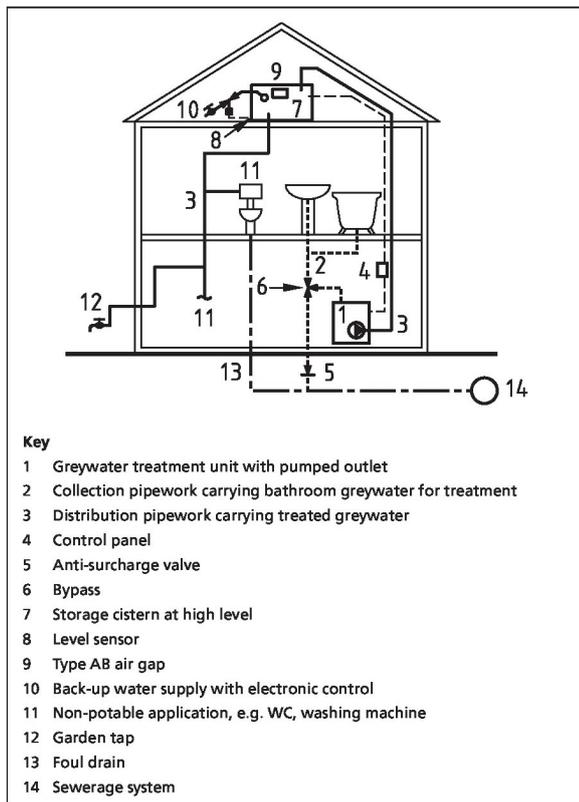


FIGURE C.1 – Exemple d'un système de réutilisation des eaux grises avec stockage (réutilisation indirecte) et appoint en eau avec surverse de type AB (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12])

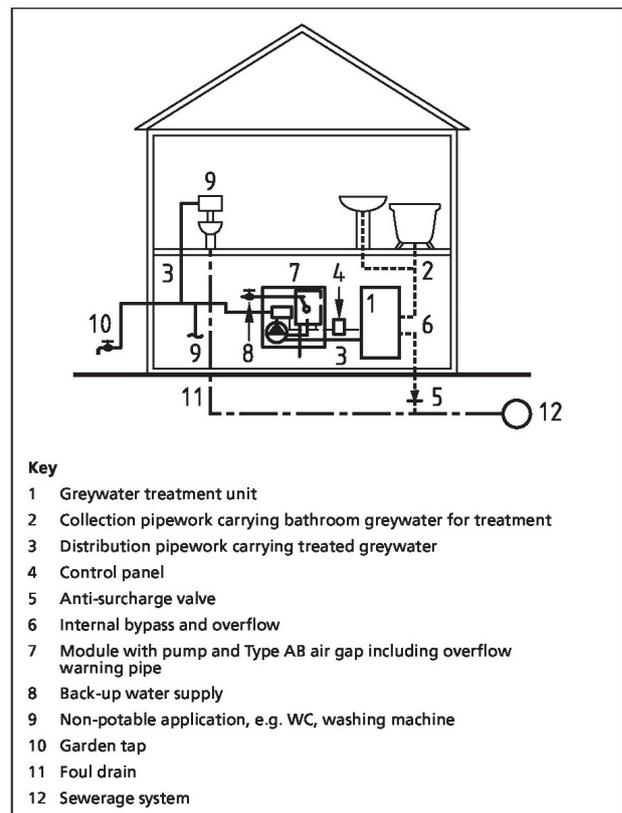


FIGURE C.2 – Exemple d'un système à module compact de réutilisation des eaux grises sans stockage (réutilisation directe) et appoint en eau avec surverse de type AB (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12])

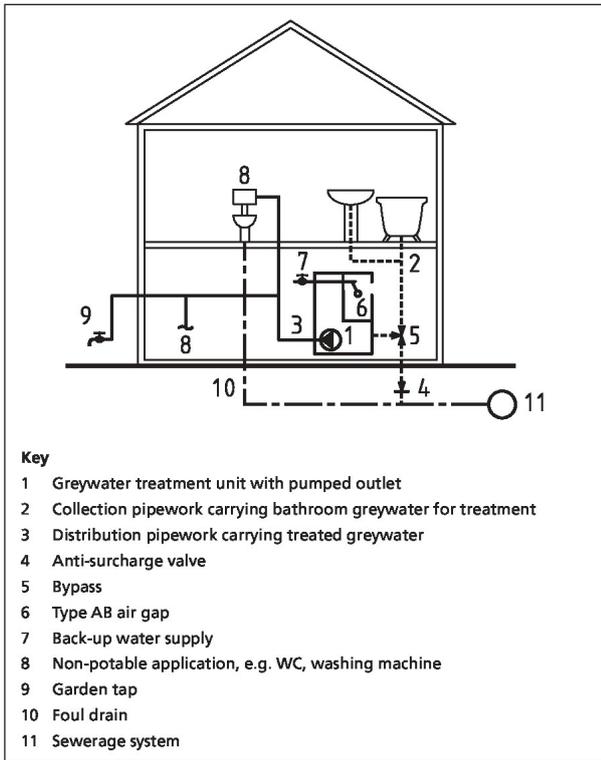


FIGURE C.3 – Exemple d'un système de réutilisation des eaux grises sans stockage (réutilisation directe) et appoint en eau avec surverse de type AB (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12])

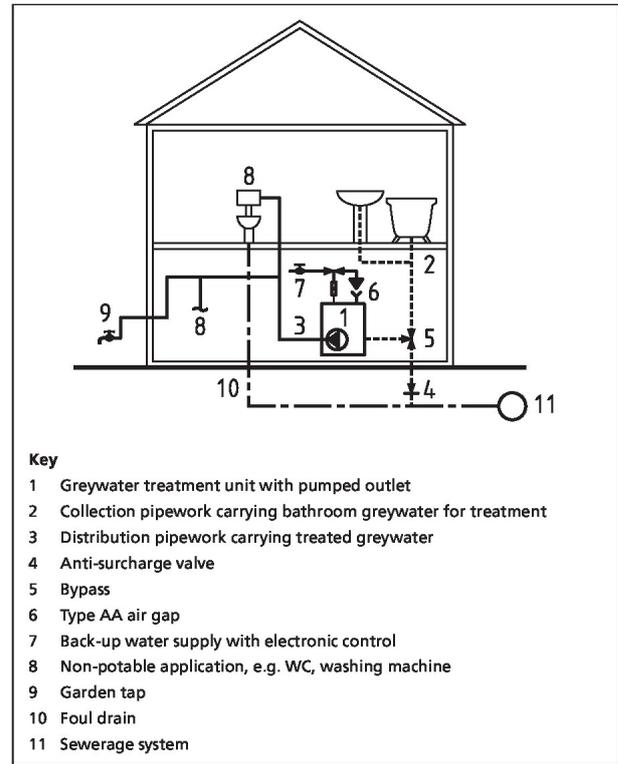


FIGURE C.4 – Exemple d'un système de réutilisation des eaux grises sans stockage (réutilisation directe) et appoint en eau avec surverse de type AA (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12])

C.2 Exemples de systèmes typiques de réutilisations des eaux grises et des eaux de pluies combinés

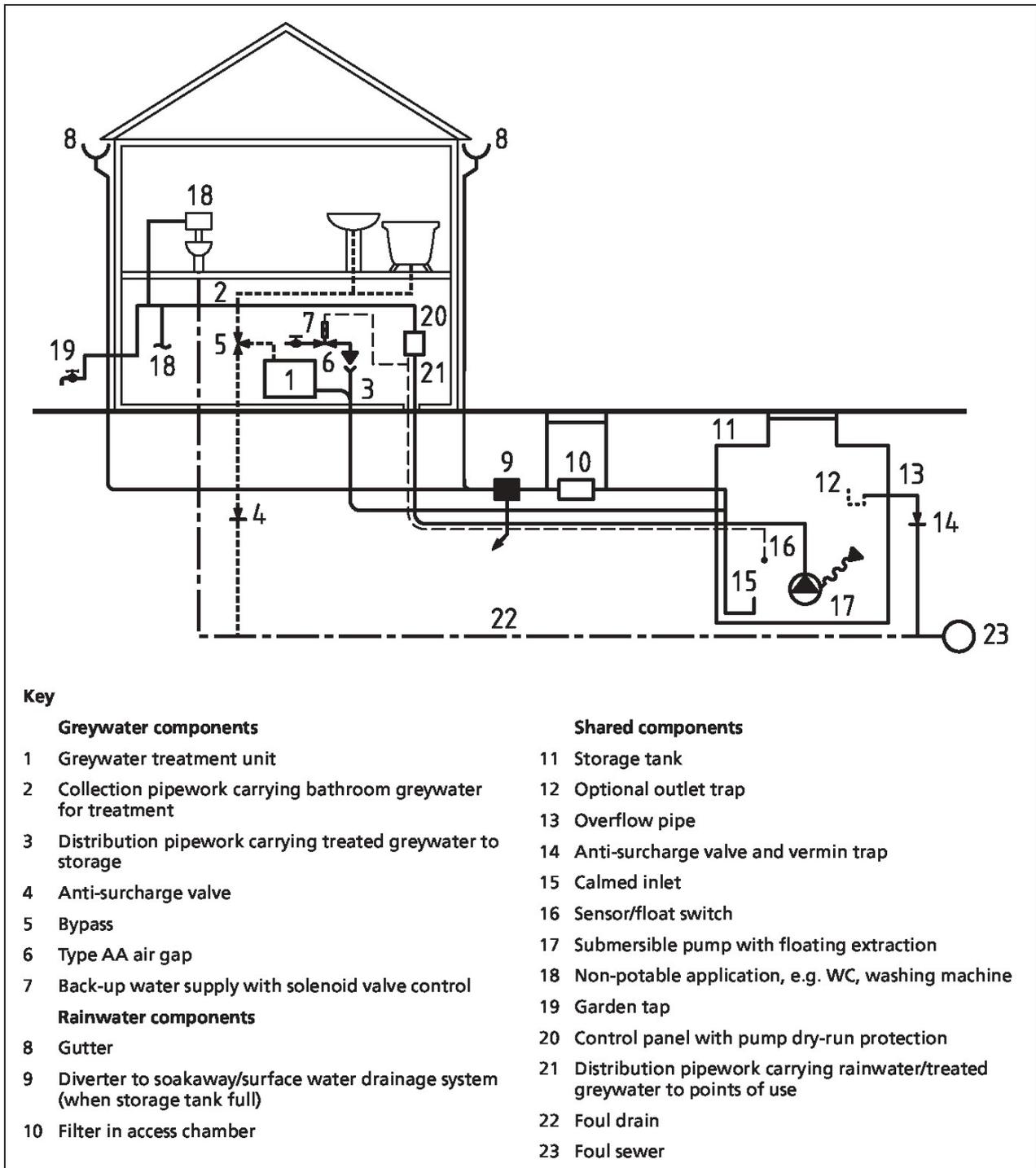


FIGURE C.5 – Exemple d'un système de réutilisation des eaux grises et des eaux de pluie combinées, avec un seul réservoir (mélange des eaux) et appoint en eau avec surverse de type AA (BS 8525-1 : 2010 [12])

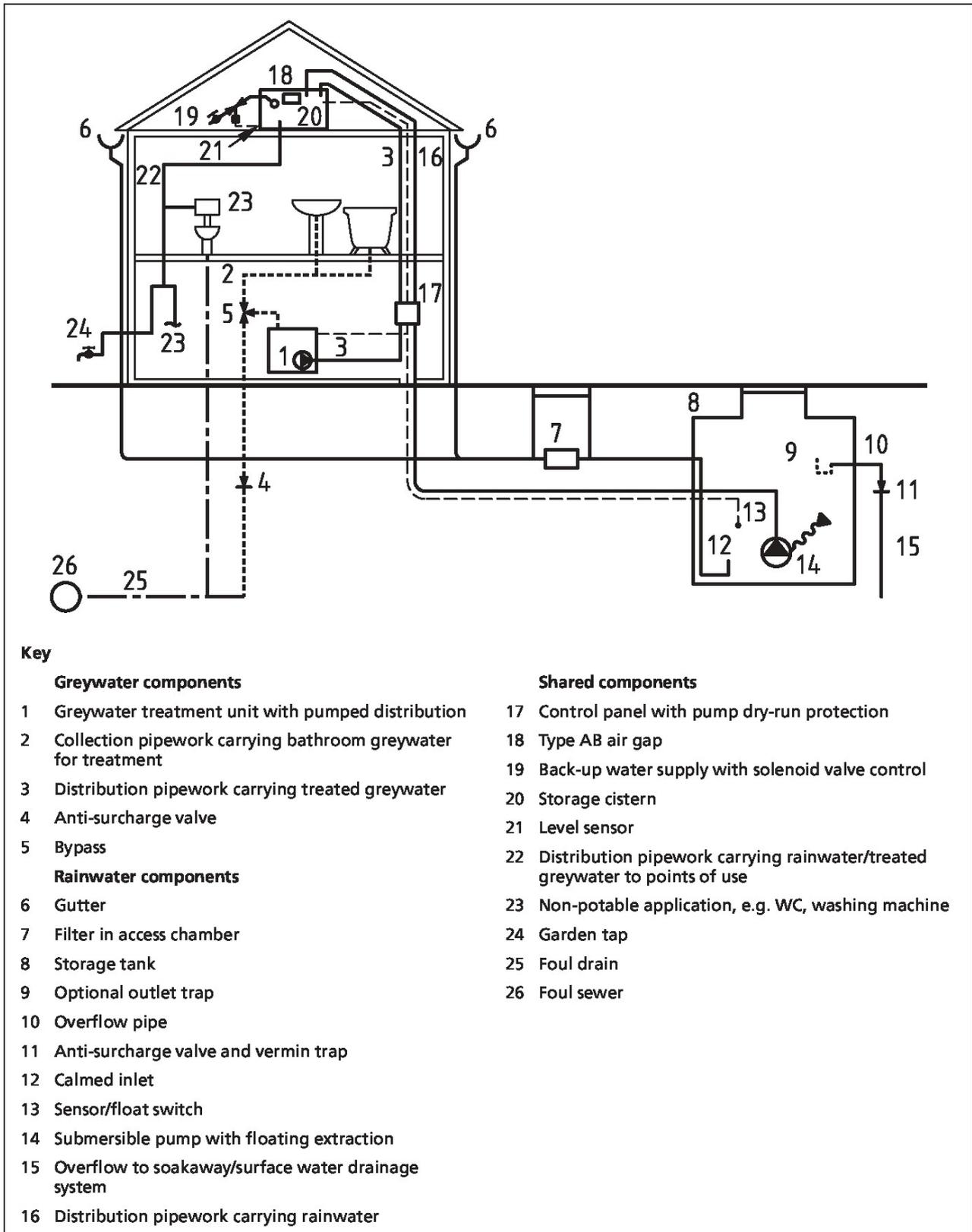


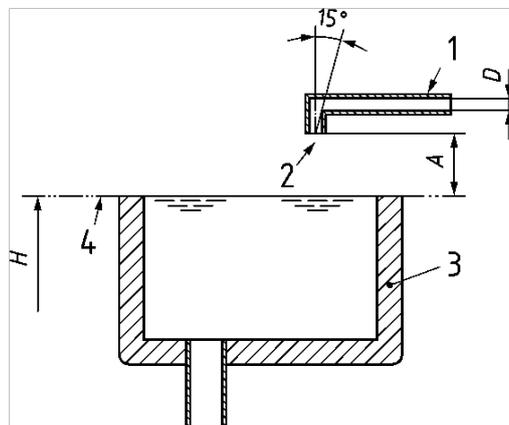
FIGURE C.6 – Exemple d'un système de réutilisation des eaux grises et des eaux de pluie combinées, avec deux réservoirs séparés (pas de mélange des eaux) et appoint en eau avec surverse de type AB (BS 8525-1 : 2010 (2010) [12])

D Dispositif de protection contre les retours d'eau (surverse)

Pour empêcher que de l'eau non potable ne pénètre dans le réseau d'alimentation en eau potable ou dans le réseau public, l'appoint doit être muni d'un ensemble de protection capable d'assurer une protection contre la contamination par des fluides de catégorie 5 (une garde d'air) conformément à l'EN 1717, comme décrit :

- dans l'EN 13076, pour les disconnecteurs de la famille A, type A, « AA surverse totale » (voir la Figure 2) :

Une surverse « AA » est une garde d'air visible, complète et libre, installée de manière permanente et verticalement entre le point le plus bas de l'orifice d'alimentation et le plan de débordement du réceptacle déterminant le niveau maximal de fonctionnement ;



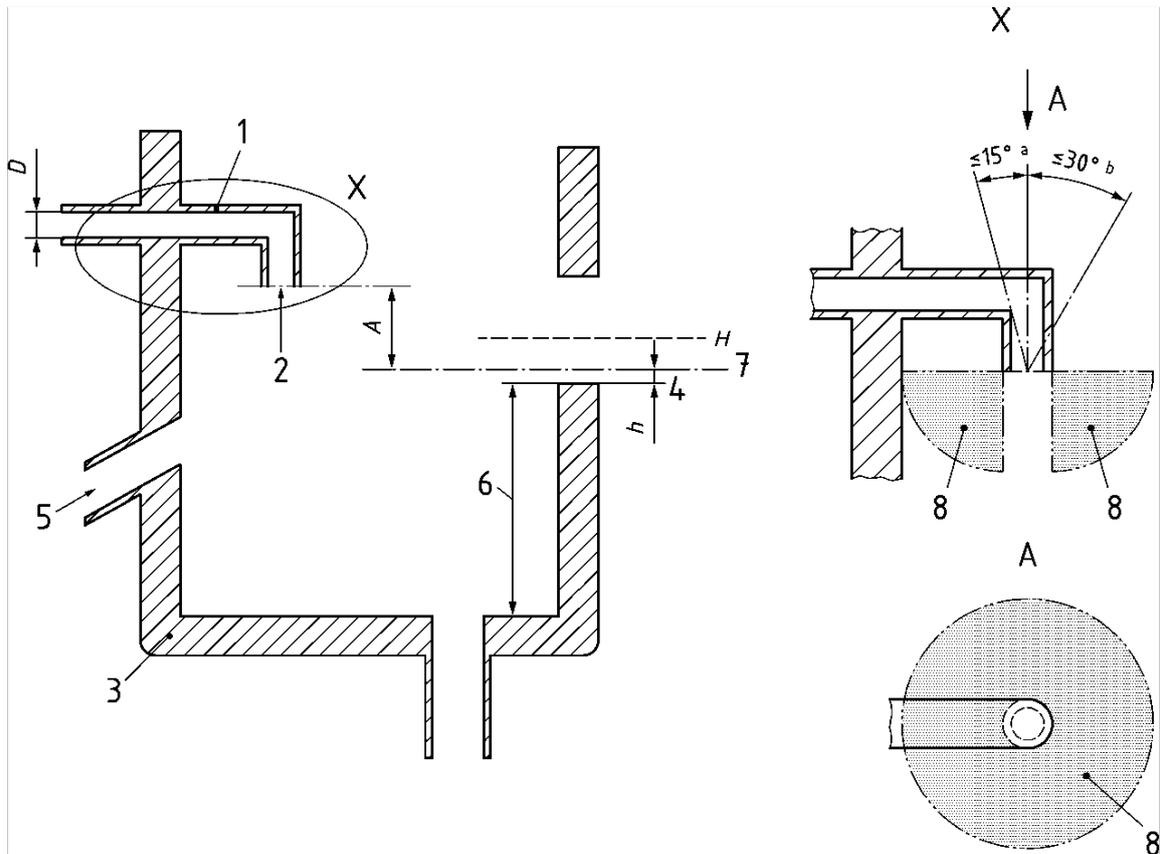
Légende

- | | | | |
|---|-----------------------------|---|---|
| 1 | canalisation d'alimentation | A | surverse (double du diamètre intérieur de l'orifice d'alimentation, mais mesurant au minimum 20 mm) |
| 2 | orifice d'alimentation | D | diamètre intérieur de la canalisation d'alimentation |
| 3 | réceptacle | H | niveau d'eau maximal |
| 4 | niveau de débordement | | |

Figure 2 — Surverse totale de type AA conformément à l'EN 13076

- dans l'EN 13077, pour les disconnecteurs de la famille A, type B, « AB surverse avec trop-plein non circulaire » (voir la Figure 3) :

Une surverse « AB » est une garde d'air verticale et permanente entre le point le plus bas de l'orifice d'alimentation et le niveau d'eau critique. Le trop-plein doit être de conception non circulaire et doit pouvoir évacuer le débit maximal d'eau dans le cas d'une surpression.



Légende

- | | | | |
|---|---|-----|--|
| 1 | canalisation d'alimentation | 7 | niveau d'eau critique (distance h) |
| 2 | orifice d'alimentation | 8 | écart radial minimal de $2D$ |
| 3 | réceptacle | A | surverse (distance) |
| 4 | niveau de débordement | D | diamètre intérieur de la canalisation d'alimentation |
| 5 | canalisation d'avertissement facultative | H | niveau d'eau maximal |
| 6 | $U_w \geq 5h$ (surface interne verticale) | a | 15° maximum par rapport à la verticale (validation par essai ou calcul) |
| | | b | 30° maximum par rapport à la verticale (validation par essai seulement) |

Figure 3 — Surverse totale de type AB avec trop-plein non circulaire conformément à l'EN 13077

Les débits, la perte de charge et les exigences d'installation doivent être pris en compte lors du choix du dispositif de protection contre les retours d'eau.

Lorsque le dispositif de protection contre les retours d'eau sert à alimenter directement en eau le dispositif de stockage et qu'il y a un risque de retour d'odeurs dans le bâtiment, un siphon doit être installé.

FIGURE D.2 – Dispositif de protection contre les retours d'eau, surverse de type AB (surverse avec trop-plein non circulaire) (NBN EN 16941-2 (2021) [3])