

BILAN DE LA CONSOMMATION D'EAU DU CAMPUS ARLON ET RECHERCHE DE SOLUTIONS

Auteur : Befolo Abina, Francine Flore

Promoteur(s) : Jupsin, Hugues

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée en gestion intégrée des ressources en eau

Année académique : 2021-2022

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/13905>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

Faculté des Sciences
Département des Sciences et Gestion de l'Environnement
[2021-2022]

Bilan de la consommation d'eau du campus d'Arlon et recherche de solutions



Mémoire présenté par **Befolo Abina Francine Flore**

En vue de l'obtention du grade de

Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée en gestion intégrée des ressources en eau

Promoteur : Monsieur **Hugues JUPSIN**

Comité de Lecture

Monsieur Joost Wellens

Monsieur Hassan El Halouani

Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège.

*L'autorité académique est représentée par le(s) promoteur(s) membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : Befolo Abina Francine Flore

Adresse électronique : befolofrancine@gmail.com

Remerciements

Au terme de ce mémoire, je souhaite exprimer tout mon respect et ma reconnaissance envers les personnes qui ont participé de près ou de loin à ce projet.

Avant tout, je souhaite adresser un grand merci à mon promoteur **Monsieur JUPSIN Hugues**, pour son encadrement, ses enseignements et ses nombreux conseils tout au long de mon travail. Je souhaite aussi lui exprimer ma gratitude pour son aide lors de la rédaction et la relecture de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à **Messieurs Hassan El Halouani** et **Joost Wellens**, membres du jury pour le temps dédié à l'évaluation de mon travail.

Finalement, je remercie de tout mon cœur mes parents et mes frères pour leur soutien et leurs encouragements durant l'entièreté de mes études, ainsi que pour leur aide pour l'aboutissement de ce projet.

Résumé

Le constat actuel de la pénurie relative de l'eau douce, du point de vue quantitatif et qualitatif, a graduellement fait de cette ressource un objet précieux. Economiser l'eau devient dès lors un objectif crucial pour préserver l'homme ainsi que son environnement. Ce mémoire porte sur la consommation d'eau du campus d'Arlon, plus spécifiquement du bâtiment chercheur qui est alimenté par plusieurs sources d'approvisionnement en eau : eau potable de la SWDE, l'eau de pluie et l'eau du puit. La première partie porte sur un état des lieux de la consommation en eau du bâtiment chercheur, une analyse fine de celle-ci au moyen de l'implantation de compteurs intelligents spécifiques, la situation du système de réutilisation de l'eau de pluie et la possibilité de réutilisation de l'eau du puit.

La seconde partie porte sur l'étude de la réutilisation des sources d'eau possible pour les différents usages du bâtiment, et en premier la réutilisation de l'eau de pluie par la réhabilitation de la citerne enterrée, et ensuite l'utilisation de l'eau du puit en la soumettant un traitement spécifique. Toutes ces démarches ayant pour but de rendre le bâtiment chercheur le plus économe possible en matière d'eau.

Mots - Clés :

Economie d'eau – récupération d'eau de pluie – réutilisation d'eau – bilan des consommations d'eau sur un bâtiment public

Abstract

The current realization of the relative scarcity of freshwater, both quantitatively and qualitatively, has gradually made this resource a precious object. Saving water therefore becomes a crucial objective for preserving man and his environment. This thesis focuses on the water consumption of the Arlon campus, more specifically of the research building which is supplied by several water supply sources: drinking water from the SWDE, rainwater and water from the well. The first part concerns an inventory of the water consumption of the research building, a detailed analysis of this by means of the installation of specific smart meters, the situation of the rainwater reuse system and the possibility of reuse of water from the well.

The second part deals with the study of the reuse of possible water sources for the different uses of the building, and first of all the reuse of rainwater by the rehabilitation of the underground cistern, and then the use of water from the well by subjecting it to a specific treatment. All these steps aim to make the research building as efficient as possible in terms of water.

Keywords :

Water saving - rainwater recovery - water reuse - water consumption assessment in a public building

Table des matières

Introduction générale.....	10
1.1 Contexte de l'économie de l'eau.....	10
1.2 Problématique.....	11
1.3 L'hypothèse de l'étude.....	11
1.4 Objectifs de l'étude.....	12
1.5 Méthodologie de travail.....	12
1.6 Structuration de l'étude.....	12
2 REVUE DE LITTÉRATURE.....	13
2.1 Eau douce, une ressource rare.....	13
2.2 Disponibilité en eau douce.....	14
2.3 Usage mondial de l'eau.....	15
2.4 Les menaces qui pèsent sur l'eau douce.....	16
2.5 Eau douce en Europe : cas de la Belgique.....	17
2.6 Intérêt d'économiser la consommation d'eau.....	17
2.7 Les structures publiques consommatrices d'eau.....	18
2.8 Principe de Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie : une pratique associée au bâtiment.....	19
2.8.1 La composition d'un dispositif de RUEP.....	20
2.8.2 La cuve de stockage ou citerne de récupération.....	24
2.8.3 Pompe de distribution.....	25
2.8.4 Domaine d'utilisation.....	26
2.8.5 Cadre réglementaire.....	27
2.9 Eau du puit.....	28
2.9.1 Les eaux souterraines.....	28
2.9.2 Généralités sur les forages d'eau.....	28
2.9.3 Définitions des puits.....	29
2.9.4 Qualité des eaux de puit.....	29
2.9.5 Réglementation de l'utilisation de l'eau du puit.....	33
3 Matériels Et Méthodes.....	35
3.1 Description du site.....	35
3.2 Localisation.....	35
3.3 Description du système.....	37
3.3.1 Récupération des eaux de pluie en aval des toitures.....	37
3.3.2 Réutilisation dans le bâtiment chercheur.....	38
3.4 Eau du puit.....	41

3.5	Localisation et gestion des compteurs du campus d'Arlon.....	41
3.6	Matériels.....	42
3.7	Méthodes	42
3.7.1	Recherche documentaire	42
3.7.2	Echantillonnage et techniques de prélèvement d'eau de puits.....	43
3.7.3	Travail au laboratoire	43
3.8	Dimensionnement et économies	44
3.8.1	Potentialité du site : évaluation des ressources et des besoins.....	44
3.9	Dimensionnement du groupe hydrophore	48
3.9.1	Le débit.....	48
3.9.2	La pression.....	48
3.9.3	La hauteur manométrique totale (HMT).....	48
4	Résultats et discussion	50
4.1	RESUTATS	50
4.1.1	Aspect qualitatif de l'eaux de puit.....	50
4.1.2	Potentiel de récupération de l'eau de pluie.....	51
4.1.3	Dimensionnement des pompes.....	53
4.1.4	Evaluation de la consommation d'eau de campus.....	57
4.1.5	Comparaison des index de consommations des compteurs globaux	58
4.1.6	Evaluation de la consommation d'eau du bâtiment chercheur	59
4.1.7	Évaluation de la consommation d'eau du laboratoire avec système osmose inverse .	59
4.1.8	Comparaison entre réseau eau de ville et eau de pluie.....	60
4.1.9	Consommation d'eau des différents points d'usages du bâtiment chercheur	61
4.2	Discussion	62
5	Recommandations.....	65
5.1	Le cuvelage	65
5.1.1	Cuvelage avec revêtement d'étanchéité.....	66
5.1.2	Devis estimatif	67
5.1.3	Système de filtration	68
5.2	Présentation des dispositifs favorisant les économies d'eau.....	69
5.2.1	Dispositifs à économie d'eau pour la robinetterie	70
5.2.2	Dispositifs pour les toilettes	71
	Conclusion et perspective	72
	BIBLIOGRAPHIE.....	73
	Webographie :.....	77
	Annexes	79

Table des figures

Figure 1 Répartition de l'eau douce dans le monde.....	13
Figure 2 : Cycle de l'eau.....	14
Figure 3 Volume d'eau disponible par pays par personne et par année en m ³ /personne.année.	15
Figure4 Le principe général de la RUEP.	19
Figure 5Captage et de récupération de l'eau de pluie.	21
Figure 6 Le composant de rinçage (déviation).....	21
Figure 7 Déviation par infiltration.	22
Figure 8 La position du filtre externe dans le dispositif de RUEP.....	23
Figure 9 Quelques modèles des filtres externes.	23
Figure 10: Filtre interne « micro-filtre »	23
Figure 11 Différents types de cuves de stockage de l'eau de pluie.	25
Figure 12 Schéma de principe des installations	26
Figure 13 : Utilisation de l'eau de pluie par les ménages en Belgique	26
Figure 14 Plan du campus Arlon	35
Figure 15 Localisation du site d'étude.....	36
Figure 16 : Situation géographique du site	36
Figure 17 : Système de collecte des eaux de pluie	37
Figure 18: citerne enterrée du campus	38
Figure 19 : Entrée du local technique.....	39
Figure 20: système de pompage.....	39
Figure 21 réservoir sous pression eau de pluie.....	40
Figure 22: puit du campus Arlon	41
Figure 23 localisation des compteurs du campus	42
Figure 24 Calcul de la « surface de récupération »	45
Figure 25: Installation d'un groupe hydrophore avec pompe de SURFACE.....	49
Figure 26: Concentration des paramètres physico chimiques du puit	51
Figure 27 : Tableau de pertes de charge.	56
Figure 28: Consommation annuelle de 2020 en eau du campus Arlon.....	57
Figure 29 Comparaison des index des bâtiments 140 et chercheur issu du télérelève.....	58
Figure 30 Index de consommation mensuelle d'eau de ville bâtiment chercheur.....	59
Figure 31 Evolution de la consommation mensuelle d'eau avec le système osmose inverse60	
Figure 32 comparaison entre consommation eau de ville et eau de la pluie de l'année 202161	
Figure 33 Cuvelage.	65
Figure 34: Avant et après du cuvelage d'une citerne d'eau.....	67
Figure 35: les filtres eau de pluie.	69
Figure 36 Dispositifs à économie d'eau pour la robinetterie.....	70
Figure 37: Dispositifs à économie d'eau pour les toilettes	71

Table des tableaux

Tableau 1 : Catégorisation des puits en fonction des volumes	33
Tableau 2 Résultats et méthodes d'analyses des différents paramètres physico chimiques eau du puit	43
Tableau 3 Différents volumes estimés dans le WC domestique	46
Tableau 4 Les différents usages de l'eau dans le campus	47
Tableau 5 Concentration en substances chimiques dans l'échantillon de l'eau du puit.....	50
Tableau 6 Pluviométrie moyenne pour la période 2020 ,	52
Tableau 7 Besoins en eau du bâtiment chercheur	52
Tableau 8. Débits de base des appareils selon la Norme NF P 41-204	53
Tableau 9 Débit minimal des appareils (l/s)	54
Tableau 10 Valeurs de HTM	56
Tableau 11 Comparaison des consommations d'eau	57
Tableau 12: Consommation mensuelle du laboratoire, des sanitaire et eau du puit	61
Tableau 13 Devis cuvelage de la citerne	68

Liste des sigles et acronymes

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

RUEP : Récupération et Utilisation de l'Eau de Pluie

NTU: Nephelometric Turbidity Unit

pH : Potentiel hydrogène

IBGE : Institut Bruxellois de Gestion de l'Environnement

SWDE : Société Wallonne Des Eaux

Introduction générale

1.1 Contexte de l'économie de l'eau

L'eau est source et ressource. Elle est source de vie, source de développement économique, social, culturel, spirituel. L'eau est ressource (transport, navigation, tourisme) et pourvoyeuse de ressources (halieutique, énergétique, sel, ...) (Mamadou Sarr, 2003). Sur la surface de la Terre l'eau salée représente 96,5% d'eau et seuls 2,5% de cette eau est douce. Il reste donc peu sur Terre pour assouvir les besoins des êtres humains et des espèces animales et végétales. Par conséquent c'est une denrée précieuse et la ressource naturelle la plus exploitée à travers le globe.

Selon l'Organisation des Nations Unies (ONU) 2,2 milliards de personnes, soit près d'un tiers de la population mondiale, continuent de ne pas avoir accès à une eau potable gérée en toute sécurité¹. A cet effet, l'Objectif du Développement Durable six « ODD6 » et la cible 4 ont été défini pour une utilisation rationnelle des ressources en eau en garantissant leur viabilité d'ici 2030². C'est face à ces problèmes que l'UE met sur pied en 2001 le texte de loi le plus ambitieux (Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE) dont l'un de ses objectifs est de promouvoir une utilisation durable de l'eau, fondée sur la protection à long terme des ressources en eau disponibles³.

En effet, depuis le début du 20e siècle, la population mondiale est passée de 1,6 milliards d'individus en 1900 à plus de 6 milliards au début du XXIe siècle. En plus de la nécessité d'abreuver ces milliards de personnes, l'explosion démographique a entraînée, d'une part, l'intensification des activités agricoles (il s'agit de l'industrie qui consomme le plus d'eau) et, d'autre part, l'émergence d'énormes parcs industriels ayant comme finalité de répondre aux besoins des consommateurs (Loiselle, 2009). Les besoins en eau ont augmenté au cours des cinquante dernières années et la quantité d'eau disponible par habitant a été réduite de moitié.

Les bâtiments publics sont des endroits où nous rencontrons le plus souvent le gaspillage d'eau. Cela peut se manifester à travers les chasses et les fuites d'eau qui sont parmi les facteurs de surconsommations les plus importants. En Belgique d'après le journal *La Libre* « 35 % - De l'eau potable est gaspillée. Des pertes liées aux canalisations abîmées, à des problèmes "mécaniques" ou à des erreurs humaines. Selon les estimations, environ un

¹ <https://news.un.org/fr/story/2021/03/1092052>

² Objectif 6 : Garantir l'accès de tous à des services d'alimentation en eau et d'assainissement gérés de façon durable – Développement durable (un.org) consulté le 06/07/2021

³ <https://wwz.ifremer.fr/dce/La-DCE>

cinquième des ménages belges seraient concernés par des fuites d'eau sans toujours en être conscients. ». L'eau peut être gaspillé de plusieurs manières. Il existe aussi plusieurs méthodes pour économiser l'eau. Le Gouvernement a pour devoir de fournir aux usagers une eau de qualité conforme aux normes et ces derniers ne doivent pas la gaspiller en disciplinant sur certains gestes quotidiens de la vie

Arlon Campus Environnement est situé au Sud de la Belgique au centre d'Arlon, chef-lieu de la province de Luxembourg. Ce dernier occupe une position stratégique car se trouve à la frontière entre le Grand-Duché de Luxembourg, la France et Allemagne. Le campus s'étend sur une superficie de 3 hectares et accueille chaque année 150 étudiants de nationalités différentes. Notre périmètre d'étude sera les bâtiments du campus d'Arlon. Cet établissement dispose en son sein trois réseaux de distributions d'eau existantes : il y a l'eau potable fournit par la Société Wallonne Des Eaux (SWDE), un système de récupération et de réutilisation des eaux de pluies et enfin de l'eau du puit.

1.2 Problématique

Dans l'optique d'économiser l'eau, pour éviter une pénurie de cette ressource il est important d'adopter de nouvelles techniques durables. Dans un bâtiment il est possible de combiner l'utilisation de l'eau de distribution et les techniques alternatives La mise en place et le fonctionnement de des ressources alternatives dans notre périmètre d'étude nous pousse à nos poser plusieurs questions telles que :

- Quels sont les points présentant une forte consommation d'eau et leur impact sur le système existant ?
- Quelle est la quantité d'eau perdu ?
- Comment rendre l'économie d'eau plus efficace ?
- Quel coût et quel volume vont résulter du basculement de l'eau ville vers l'eau de pluie dans le réseau de distribution ?

1.3 L'hypothèse de l'étude

Notre étude repose sur les hypothèses suivantes :

- Les problèmes d'économie de la ressource en eau sont plutôt économiques, climatiques, sociales etc...
- La gestion des ressources alternatives contribue de manière efficace à la durabilité de la ressource en eau naturelle.

1.4 Objectifs de l'étude

L'objectif global est de faire un bilan de l'utilisation de l'eau, réduire la consommation d'eau et de contribuer à l'optimisation de l'économie d'eau du Campus d'Arlon. Plus spécifiquement il s'agit de :

- i. Réaliser un diagnostic des consommations d'eau des bâtiments et des grands consommateurs ;
- ii. Identifier la législation en charge de la gestion des ressources alternatives ;
- iii. Mettre en place des dispositifs économes en eau ;
- iv. Caractériser les propriétés physico chimiques de l'eau du puit ;
- v. Réhabiliter la citerne enterrée pour la réutilisation de l'eau de pluie ;
- vi. Faire une étude comparative des index de compteurs des différents secteurs de consommations d'eau ;
- vii. Dimensionner le groupe hydrophore.

1.5 Méthodologie de travail

La méthode utilisée dans le cadre de cette étude consiste à faire la revue de la littérature existante sur les questions de gestion de l'économie d'eau des bâtiments dans le monde et une recherche de revues scientifiques liées au sujet d'étude.

1.6 Structuration de l'étude

Le mémoire comporte quatre (04) chapitres encadrés par une introduction et une conclusion

- Chapitre 1 Une introduction avec le contexte de l'étude, la problématique, les objectifs ainsi la méthodologie utilisée ;
- Chapitre 2 est dédié à faire une revue de littérature sur le principe de récupération et utilisation de l'eau de pluie, les généralités concernant l'eau du puit enfin les lois et les réglementations de ces sources alternatives ;
- Le chapitre 3 est dédié à faire un état des lieux et une évaluation de consommation d'eau des bâtiments du campus d'Arlon, état des lieux des mécanismes des ressources alternatives (eau de puit et eau de pluie), principe de récupération et utilisation de l'eau de pluie et enfin la méthode d'analyse de l'échantillon eau de puit ;
- Chapitre 4 porte sur les résultats de l'analyse de l'échantillon de l'eau de puit, évaluation comparative de la consommation d'eau entre les bâtiments (140 et chercheur) sur un période de 4 ans et la comparaison de consommations des index d'eau du bâtiment chercheur ;
- Le chapitre 5 porte sur les recommandations, il va mettre en exergue une étude technico économique et estimation des coûts, le principe du cuvelage ;
- Conclusion.

2 REVUE DE LITTÉRATURE

2.1 Eau douce, une ressource rare

L'eau est très présente sur notre planète. De telle manière que, vue de l'espace, la planète terre apparaît bleue, près des trois quarts sa cette surface est représentée par les océans approximativement (96,5%). L'eau recouvre 72 % des 509 millions de km² de la surface du globe d'où son surnom de **planète bleu**. 97 % de cette eau salée est contenue dans les mers intérieures, les océans, mais aussi dans certaines nappes souterraines. L'eau douce est cette eau disponible utilisable par l'Homme mais très limitée comme l'illustre la figure 1.

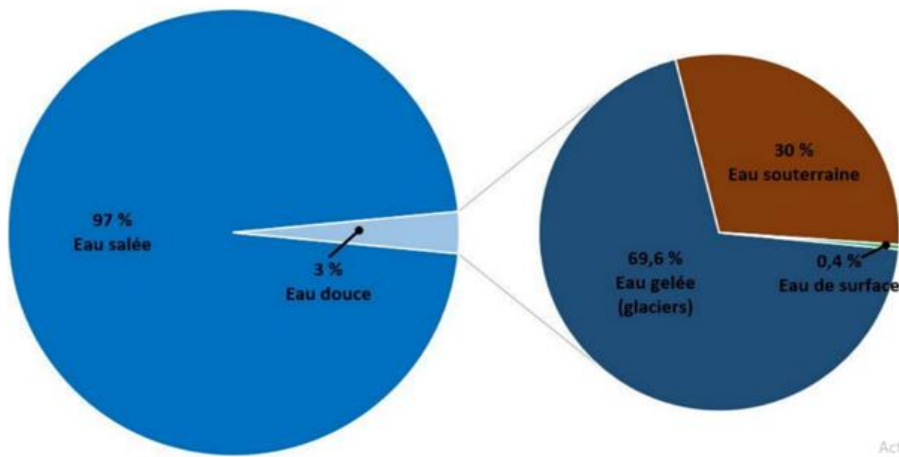


Figure 1 Répartition de l'eau douce dans le monde

Source : <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/l-hydrosphere-s1340>

Le cycle de l'eau

L'eau de la Terre est toujours en mouvement, et le cycle naturel de l'eau, aussi connu comme le cycle hydrologique, décrit le mouvement continu de l'eau, au-dessus et en dessous de la surface de la Terre. Le volume d'eau présent à la surface du globe sous ses trois états (liquide, solide et gazeux) est considéré comme fini (Assaad, 2018).

Pour Benoît (2004) l'eau poursuit un périple perpétuel entre le ciel et la terre, en plusieurs étapes :

- L'évaporation : Sous l'effet de la chaleur du soleil, l'eau des océans et l'eau de surface se transforment en vapeur et s'élèvent vers le ciel ;
- La condensation : La vapeur d'eau se refroidit dans le ciel et produit des gouttes qui, ensemble, forment alors un nuage ;

- Les précipitations (c.) Les gouttes d'eau contenues dans les nuages grossissent jusqu'au moment où elles deviennent trop lourdes et retombent sous forme de pluie, de grêle ou de neige ;
- Le ruissellement (d.) ou l'infiltration : La pluie tombe du ciel et atteint le sol.

Une partie est absorbée par les végétaux pour être évaporée dans l'air par les feuilles. Le reste humidifie le sol ou s'infiltré vers le bas et alimente une nappe souterraine (ou aquifère). L'eau de la nappe ressort par des fissures du sol et forme une source. L'eau de source va alimenter les cours d'eau, les rivières et rejoindre la mer. Le cycle de l'eau est bouclé comme le montre la figure ci-dessous.



Figure 2 : Cycle de l'eau.
Source SPW Environnement – DEMNA. Création graphique : Visible

2.2 Disponibilité en eau douce

Les ressources en eau sont inégalement réparties d'un point de vue géographique (voir Figure 3) : 9 pays concentrent 60% des ressources en eau douce (le Brésil qui a lui seul en possède 12%). La Chine reçoit 7% des précipitations qui abrite 21% de la population du globe, alors que l'Amazonie qui compte 0.3% de la population mondiale reçoit 15% des pluies (Lasserre, 2009).

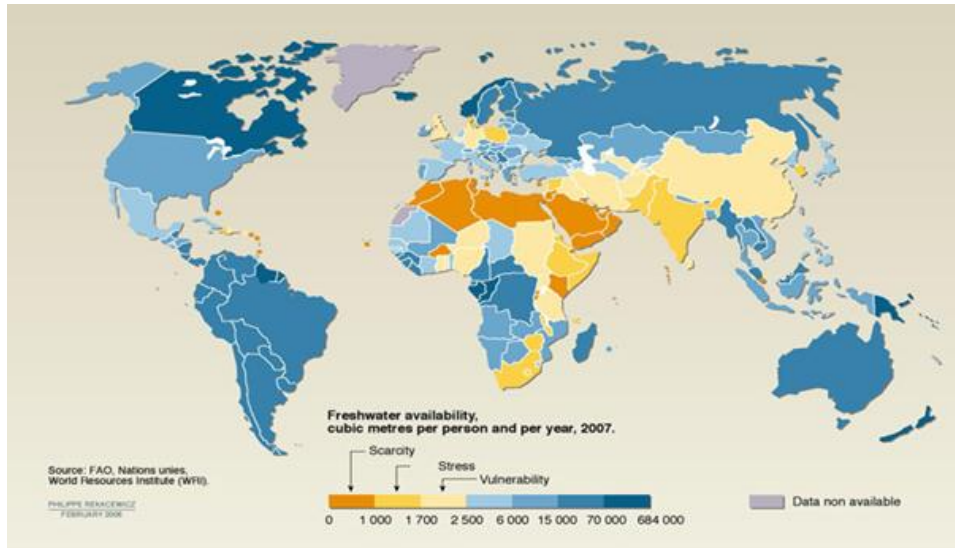


Figure 3 Volume d'eau disponible par pays par personne et par année en m³/personne.année.

Source :Global Waterstress and scarcity, PNUE(2008) <https://www.monde-diplomatique.fr/cartes/disponibiliteeau>

De nos jours près de 1,1 milliards de personnes n'ont toujours pas accès à l'eau potable. Comme nous montre la figure 3 on peut constater l'eau est inégalement répartie entre les pays certains sont des « puissances de l'eau » comme les qualifient les Nations unies alors d'autres sont en manque chronique d'eau et subissent de grandes périodes de sécheresse.

Près de 4 milliards de personnes sont touchées par la pénurie d'eau potable sévère pendant au moins un mois par an (Mekonnen et Hoekstra, 2016), les causes de cette pénurie sont : important besoin en eau pour les activités économiques (usines) , ainsi que pour une population vivant en milieu urbain .

2.3 Usage mondial de l'eau

L'eau est nécessaire pour de nombreux usages qui dépendent de sa quantité et sa qualité.

Parmi ces différents usages nous pouvons citer :

- ✓ Les usages agricoles : l'agriculture est l'activité humaine la plus consommatrice d'eau : elle représente en moyenne 70 % de la consommation mondiale ;
- ✓ Les usages domestiques : chaque être humain consomme en moyenne 120 litres d'eau par jour. Une grande partie de l'eau consommée est utilisé directement pour l'hygiène corporelle, les sanitaires, l'entretien de l'habitat et les tâches ménagères. Les autres consommations telles que la boisson et la préparation des aliments ne représentent que 7% de la consommation totale ;

- ✓ Les usages industriels : près d'un quart des ressources mondiales d'eau douce est consommée par l'industrie. L'eau est utilisée pour transporter de la chaleur (ex. : refroidissement des machines), pour transporter des matières (ex. : extraction de matières premières), pour être mélangée à la fabrication (boissons, chimie...);
- ✓ Les usages énergétiques : L'énergie hydraulique représente l'énergie fournie par le mouvement de l'eau tels que : chute, cours d'eau, vagues. Elle permet également de produire de l'électricité ;
- ✓ Les usages liés aux loisirs : comme activités sportives liés directement à l'utilisation nous avons la voile, le ski nautique, la plongée, la baignade, le canoë-kayak et la pêche, les piscines etc....
- ✓ Les usages liés à la santé : on fait référence ici aux cures thermales et à la thalassothérapie.

Une analyse des comportements des gros consommateurs et consommatrices est plus que jamais utile pour la protéger (Vanclouster, 2021). Protéger l'eau, tout en harmonisant l'ensemble des usages avec les besoins de la population, est donc un enjeu d'intérêt général.

2.4 Les menaces qui pèsent sur l'eau douce

Avant toute chose, rappelons que Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat (GIEC, IPCC en anglais) définit le changement climatique comme étant « *une variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité persistant pendant de longues périodes (généralement, pendant des décennies ou plus). Le changement climatique peut être dû à des processus internes naturels, à des forçages externes, ou à des changements anthropiques persistants de la composition de l'atmosphère ou de l'affectation des terres. On notera que la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), dans son Article 1, définit les « changements climatiques » comme étant des « changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables ».* La CCNUCC fait ainsi une distinction entre les « changements climatiques » qui peuvent être attribués aux activités humaines altérant la composition de l'atmosphère, et la « variabilité climatique » due à des causes naturelles ». (IPCC, 2001a)

À la suite du réchauffement climatique, une plus grande quantité d'eau s'évapore des océans et de la terre. Par conséquent, on s'attend à ce que dans certaines régions (à partir des latitudes 30°N et 30°S vers les pôles) les précipitations augmentent, alors que dans les autres régions (tropicales et subtropicales), elles diminuent. Quand les températures de l'air sont plus élevées, l'eau qui est présente dans le sol s'évapore plus rapidement, ce qui provoque l'assèchement des sols dans les zones déjà sèches(Est & Que, 2014).

2.5 Eau douce en Europe : cas de la Belgique

L'Union Européenne est constituée de 27 Etats , l'eau dans ce territoire est destinée à plusieurs usages : 44% sert à l'agriculture , 40% aux usages énergétiques et industriels enfin 15 % à la distribution de l'eau potable pour les usages domestiques (Oboulo, n.d.). De prime abord l'eau douce paraît abondante en Europe pourtant elle n'est pas répartie de manière égale .Les pays méditerranéens, font face à un stress hydrique important dû à l'augmentation de la population, les habitudes de consommation, le développement d'une agriculture intensive ou de nouvelles industries .D'un autre côté l'Europe est confrontée à des enjeux faisant débat dans de nombreux rapports de la commission européenne il s'agit des pénuries et de la dégradation de la qualité de l'eau provoquées par une surexploitation des ressources dans certaines zones. Selon Marie François (2006), 67 % du territoire espagnol est touché par un processus de désertification.

La Belgique est située dans une zone où l'eau douce est abondante, le niveau moyen de précipitation atteint 800 litres par mètre carré et par an. A l'échelle du Royaume, cela représente environ 35 milliards de mètres cubes d'eau de pluie par an (C Prevedello, 2007). En outre cette quantité n'est régulière pas et varie d'une année à une autre. Ce qui fait que la Belgique dispose d'une eau douce en quantité suffisante et disponible régulièrement

2.6 Intérêt d'économiser la consommation d'eau

La Charte européenne de l'eau du 6 mai 1968 dit ceci :« L'eau fait partie du patrimoine commun de l'humanité, c'est un bien précieux et fragile, indispensable à la vie et à toutes les activités humaines. Chacun a le devoir de l'économiser et d'en user avec soin »(Secretariat, 2017).

Une gestion durable en eau est donc nécessaire pour répondre aux besoins en eau de tous les êtres vivants sur la planète. De ce fait il est donc urgent de changer nos habitudes, de reconsidérer les différents usages de l'eau, appliquer des comportements et des techniques afin de pérenniser les ressources et de réduire les factures. Certains auteurs comme Leclerc et Scheromm (2008) citent les différentes raisons principales d'économiser l'eau :

- Nous sommes déjà en situation de pénurie ponctuelle et ces pénuries vont s'aggraver ; il y a donc urgence à maîtriser nos consommations ;
- Restreindre sa consommation d'eau constitue une économie financière : économie sur la facture d'eau et économie d'énergie concernant l'eau chaude ;
- L'eau consommée repart dans les milieux aquatiques sans être complètement dépolluée ; ces rejets génèrent donc une pollution des milieux naturels.

Par ailleurs l'Etat wallon met également un point sur l'utilisation parcimonieuse de l'eau dans sa réglementation via l'Art. **D.205 du CDE**⁴ : *L'utilisateur veille à une utilisation parcimonieuse de l'eau et doit se conformer aux décisions et instructions du distributeur limitant l'usage de l'eau en cas de sécheresse, d'incidents techniques ou relatifs à la qualité de l'eau, sans préjudice des pouvoirs dont disposent les autorités compétentes.*

2.7 Les structures publiques consommatrices d'eau

Les administrations de l'État, les collectivités et les établissements et les équipements publics sont concernés par les économies d'eau en tant que consommateur et parfois en tant que distributeurs et producteurs. Les services publics consomment d'énorme quantité d'eau à travers les bâtiments administratifs, les équipements et activités. Ces équipements collectifs génèrent via les gaspillages et les fuites un hausse inutile de la consommation en eau par conséquent de la facture d'eau. Ainsi, dans chaque structure des économies peuvent être réalisées. Selon le principe de « mieux gérer avant d'investir », le rôle des collectivités est en premier lieu de limiter les fuites dans les réseaux. « Limiter » est le bon terme car on ne verra jamais 100 % des eaux prélevées arriver aux robinets des consommateurs (Leclerc & Pascale, 2008). Parmi les principales sources de consommation d'eau d'un bâtiment administratif sont les suivantes :

- L'usage domestique tels que les urinoirs, les bains, douches et éviers, les chasses des toilettes enfin les lessives ;
- L'usage pour les unités de refroidissement et de chauffage : tels que : les climatiseurs, compresseurs et condenseurs refroidis à l'eau et les chaudières à vapeur ;
- L'aménagement paysager : tels que l'arrosage et les fontaines décoratives.

Pourquoi mettre en place une telle démarche, tout simplement parce que les ressources en eau ne sont pas illimitées. La mauvaise gestion le changement climatique Le gaspillage, la pollution, contribuent à diminuer ces ressources sans oublier la population mondiale, elle qui, augmente et par conséquent, la consommation d'eau. En outre l'instabilité entre les prélèvements et la consommation des ressources en eau conduit à l'assèchement des rivières et la baisse des niveaux des nappes.

La consommation d'eau de distribution diminue en Wallonie pour atteindre 118,3 litres par jour et par habitant pour toutes les activités (ménages, industrie, agriculture, services publics...) donc le seul usage domestique est estimé à 90 litres par jour et par habitant. Avec ce niveau de consommation, la Wallonie est une des régions où la demande en eau est la plus faible d'Europe et bien plus faible qu'à Bruxelles et en Flandre (STIB, 2016). Cela représente

⁴ <http://environnement.wallonie.be/legis/Codeenvironnement/codeeaucoordonneD.htm>

un bon départ, mais qui ne devrait pas nous empêcher de mettre en place des plans d'action pour protéger ce bien précieux, car ailleurs de milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau potable. D'où tout l'importance d'économiser l'eau qui devient primordial voir crucial, pour notre survie, afin d'assurer la pérennité des ressources en eau.

D'après le guide des économies d'eau (2009) la mise en place d'une démarche de maîtrise de la consommation d'eau a donc plusieurs intérêts :

- Intérêt économique : elle permet de diminuer les factures d'eau et de faire des économies, parfois considérables et souvent amorties en quelques mois, de fonctionnement en retardant l'échéance de nouveaux investissements de production, de distribution ou de dépollution d'eau.
- Intérêt écologique : elle contribue à la préservation de l'environnement en sollicitant moins les ressources naturelles.
- Intérêt social : en faisant des économies d'eau, la collectivité montre l'exemple et se dote d'une plu-value environnementale.

2.8 Principe de Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie : une pratique associée au bâtiment

La Récupération et l'Utilisation de l'Eau de Pluie (RUEP) est une pratique qui consiste à collecter, à stocker et à utiliser l'eau de pluie issue des toitures de bâtiments. L'utilisation de d'eau de pluie comme une ressource alternative à l'eau potable est actuellement l'objet d'un intérêt croissant (Belmeziti et al., 2009).

Cette eau de pluie peut être utilisée pour des usages domestiques, industriels, agricultures, élevages. Elle peut être aussi utilisée comme moyen de lutte contre les inondations ou encore comme réserve incendie (Datar 2006, König 2000).

Le principe général de la pratique de RUEP est schématisé ci-dessous :

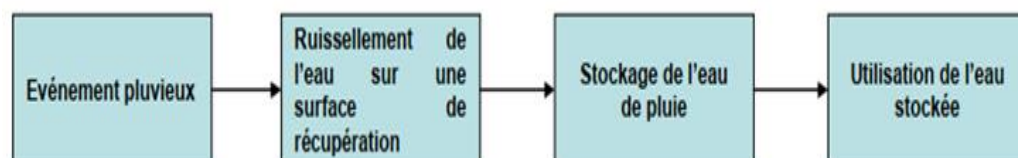


Figure4 Le principe général de la RUEP.
Source : adapté depuis (Roebuck 2007)

Un « dispositif de RUEP »⁵ peut varier entre une simple cuve mise en dessous d'une gouttière, où l'eau de pluie stockée est utilisée pour l'arrosage de la pelouse généralement et un ensemble d'appareils (cuve, filtre, pompe,) plus compliqués, couramment synonyme d'un usage à l'intérieur du bâtiment, tel que l'alimentation des chasses d'eau des toilettes et/ou le lave-linge (Roebuck 2007).

Toutefois, tous les dispositifs de RUEP partagent au moins les composants suivants (Gould et Nissen Peterson 1999) :

- La surface de récupération : la toiture du bâtiment qui permet de capter l'eau de pluie ;
- La gouttière : pour transporter l'eau entre la surface de récupération et la cuve.
- La cuve de stockage : l'espace de stockage de l'eau récupérée.
- Un dispositif de sortie de l'eau : qui achemine l'eau vers les points d'usages.
- Un trop plein : afin d'évacuer l'eau de pluie lorsque la cuve est pleine.

A. Fewkes classe les usages de l'eau pluie comme suit (Fewkes 1999 (a)) :

- Eau potable ou son complément (dans les pays en voie de développement).
- Complément à l'eau potable (dans les pays développés).

2.8.1 La composition d'un dispositif de RUEP

Pour Belmeziti (2012) les composants d'un dispositif de RUEP peuvent être classés en deux catégories :

- Les composants propres au bâtiment. Ils caractérisent le bâtiment, mais ils sont nécessaires au fonctionnement du dispositif de RUEP. Il s'agit de la surface de collecte, de la gouttière et les points d'usage susceptibles d'être alimentés par l'eau de pluie ;
- Les composants propres au dispositif. Ils sont des composants qui s'ajoutent au bâtiment si nous désirons l'équiper d'un dispositif de RUEP. Comme nous l'avons dit plus haut, ces composants sont différents selon plusieurs paramètres et considérations (nature du bâtiment, usages visés, niveau de sophistication, qualité de l'eau de pluie souhaitée,).

La forme d'un dispositif de RUEP dépend de : la nature du bâtiment qui adapte l'utilisation le dispositif, les usages visés des eaux récupérés et le degré de complexité et de sophistication souhaité. Cependant, entre une simple cuve mise de manière artisanale et des composants plus sophistiqués, le même principe général reste le même.

- Captage et récupération de l'eau de pluie

⁵ Nous entendons par le terme « dispositif de RUEP » l'ensemble des composants techniques utilisés pour remplir la fonction « utilisation de l'eau de pluie » à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment donné.

En Belgique et dans les pays en développement, la collecte de l'eau de pluie se fait en général à partir des toitures et les surfaces de ruissellement. Les surfaces de captage les mieux adaptées sont les toitures de tôle ondulée et galvanisée, ou en fibro-ciment, non peintes. (DTU, 2002). Ce procédé consiste à récupérer les eaux pluviales passant à travers une gouttière équipée d'un filtre, en général par le biais de la toiture, puis à les stocker dans des cuves enterrées ou non, plutôt que de les rejeter directement vers le réseau d'assainissement (Abdelkrim,2017).

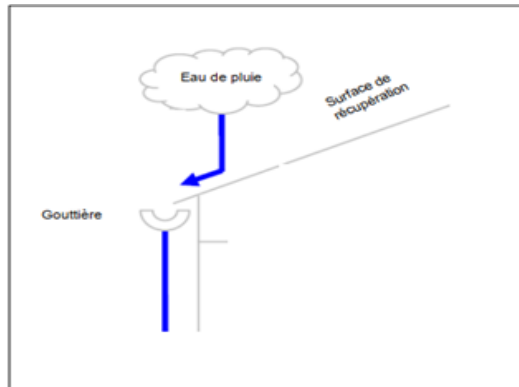


Figure 5 Captage et de récupération de l'eau de pluie. Source : adapté de (Roebuck ,2007).

- La déviation de rinçage

L'eau de pluie issue de la phase précédente passe ensuite par un dispositif de « déviation » utilisé pour rincer la surface de récupération et pour éviter de stocker et d'utiliser les premières pluies après une longue période sèche. En effet, après une telle période les toitures des bâtiments (surfaces de récupération) sont devenues contaminées par des polluants : particules atmosphériques, fientes d'oiseaux, feuilles des arbres et autres débris (Cunliffe 1998, Fewkes 2006).

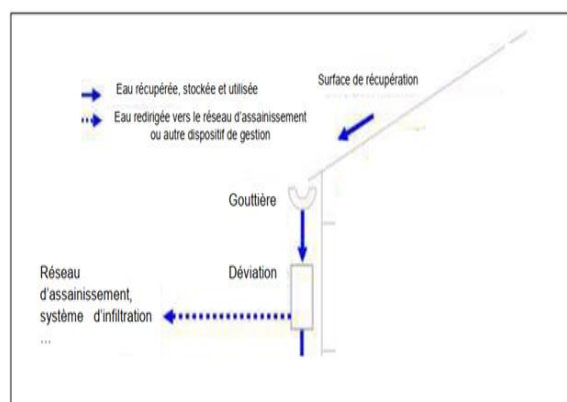


Figure 6 Le composant de rinçage (déviation). Source : adapté de (Roebuck 2007).

C'est-à-dire que, quand il pleut une grande partie de ces contaminants est transportée avec l'eau de pluie qui rince les toitures. La première vague de ruissellement est plus polluée que les flux ultérieurs et que la concentration des contaminants est décroissante dans le temps au cours d'un même événement pluviométrique et croît avec le temps séparant deux événements successifs (Wu et al. 2003).

D'après le rapport de l'Arene intitulé Récupération Et utilisation de l'eau de pluie dans les pays en développement (2009) ce système permet de déconnecter le réservoir des gouttières, lors des premières pluies et ainsi de nettoyer la toiture avant de recueillir l'eau. Il est en général très simple d'utilisation : il suffit d'attendre la fin de la première forte pluie pour raccorder le réservoir aux gouttières

Techniquement, il existe plusieurs appareils pour éviter que l'eau de pluviale issue de la première pluie ne soit pas acheminée vers les systèmes de stockage ne soit pas stockée dans la cuve. Dans la figure ci-dessous, on expose quelques exemples de ces appareils (équipements).

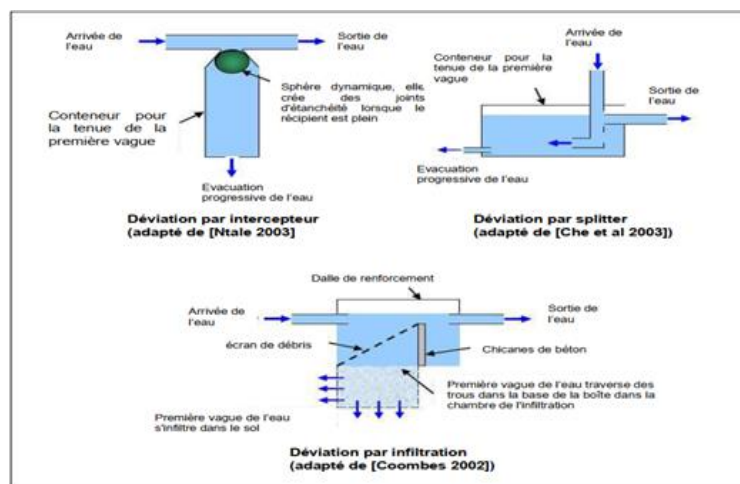


Figure 7 Déviation par infiltration. Source : adapté de (Coombes, 2002).

- Filtre externe

Il s'agit de la première filtration qui doit être appliquée directement en sortie de gouttière. C'est la phrase essentielle pour toute récupération d'eau de pluie. L'usage de ce filtre permet de retenir davantage de matériaux hors du réservoir et évite aussi l'entrée d'insectes ou de petits animaux (Arene,2009). Mais aussi de retirer les débris comme les feuilles des arbres, le sable, la mousse et la terre ou autre qui s'échappent tout de même de la phase de déviation Ces filtres sont à nettoyer par l'utilisateur du dispositif de RUEP (de Gouvello, 2010).

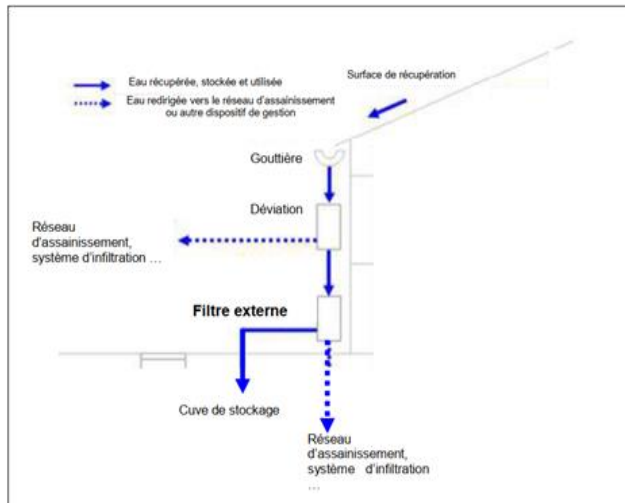


Figure 8 La position du filtre externe dans le dispositif de RUEP. Source : adapté de (Roebuck 2007)

Il existe plusieurs formes pour ce type de filtres (plate, cylindrique,) et peut être placé en différents endroits, à condition qu'il soit en amont de la cuve de stockage.



Figure 9 Quelques modèles des filtres externes. source (Belmeziti, 2012)

- Filtre interne

Ces filtres à eau de pluie retiennent les particules de sable et de rouille de l'eau courante afin qu'elles n'abîment pas les conduites d'eau. Ces particules lors de leur transport par l'eau de pluie peuvent causer la corrosion des conduites. Ils se placent après la cuve de stockage. Les micro-filtres ont pour rôle d'assurer une filtration fine afin de répondre aux exigences qualitatives de certains usages (le lave-linge, par exemple), leur principe de fonctionnement est comparable : les particules avec taille supérieure à la maille du filtre seront retenues, alors que l'eau traverse le filtre sous l'effet de la pression (Belmeziti, 2012).



Figure 10: Filtre interne « micro-filtre » source : solyd.be

2.8.2 La cuve de stockage ou citerne de récupération

L'eau de pluie qui traverse le filtre externe s'achemine vers « la cuve de stockage », il s'agit d'un espace de stockage et de conservation d'eau récupérée afin de la mettre en sécurité en quantité et en qualité (de Gouvello 2010).

La cuve sert de stockage l'eau de pluie et se diversifie en fonction de deux catégories : son matériau de fabrication et son emplacement.

Selon le premier critère (les matériaux de fabrication) la cuve de stockage peut être en :

- PEHD (Polyéthylène haute densité) ;
- Béton (préfabriquée ou construite in-situ) ;
- Acier galvanisé ;

Et selon le second critère (emplacement) elle peut être :

- Aérienne extérieure ;
- Aérienne intérieure ;
- Enterrée.

Voici un aperçu des différents matériaux de réservoir et de leurs spécificités :

- Cuves en plastique (PEHD) : Ces cuves sont moins coûteuses et facilement installables, elles ne nécessitent qu'un filtre, gouttière et robinet. La durée de vie de ces citernes qui peuvent être aérienne-extérieure, aérienne-intérieure, enterrée ou non, ainsi que leurs accessoires ne dépasse pas quelques années.

-Cuves en béton : Ce sont des cuves fabriquées en béton, elles sont souvent enterrées. Les volumes que ces cuves peuvent contenir vont de 2000 litres à 7000 litres et ont une longue durée de vie. La gamme de cuve eau de pluie en béton est très robuste par sa conception, durable, stable et naturel. Le béton neutralise l'acidité de l'eau et sa réalisation la rendant unique sur le marché.

-Cuves en acier galvanisé : Ces cuves sont idéales pour gérer, diriger et réguler les eaux pluviales. Les volumes que ces cuves peuvent contenir vont de 1500 litres à 10000 litres et vont jusqu'à 70 ans de durée de service. Très écologique car réduit l'empreinte carbone, fiabilité et robustesse.

-Cuve souple : Elle intervient lorsque lorsqu'il pas de solutions pour installer une cuve à enterrer pour la récupération d'eau de pluie, la citerne souple constitue la solution alternative. Elle est facile à installer et peut avoir une capacité importante pouvant jusqu'à 600 m³. La cuve souple est fermée par conséquent pas d'évaporation toute l'eau récupérée est conservée.



Figure 11 Différents types de cuves de stockage de l'eau de pluie. Source (Belmeziti, 2012)

Trop plein : lors des grandes averses il peut arriver que la cuve se trouve dans une situation de débordement de la cuve d'où la présence obligatoire d'un trop plein qui est un dispositif d'évacuation du surplus d'eau. La section de cette conduite doit être calculée pour absorber la totalité de l'eau rentrant lorsque la cuve est pleine (de Gouvello 2010). Les positions idéales au niveau de la cuve sont :

- Au plus haut de la cuve pour optimiser le volume du stockage
- En dessous de l'arrivée d'eau dans la citerne ;

2.8.3 Pompe de distribution

L'eau est ensuite acheminée aux points de puisage, généralement par pompage. Les usages dans les bâtiments nécessitent alors la création d'un double réseau pour les deux types de qualité d'eau différente (Vialle, 2011). Toutefois, cette mission peut être assurée de deux façons : par gravité (dans le cas d'un réservoir de tête) ou par pompe de distribution. B. de Gouvello a dégagé 4 types de pompes : pompe manuelle, pompe émergée, pompe de surface et pompe sur-presseur (de Gouvello 2010). De plus Vialle (2011) précise que pour des raisons sanitaires liées aux qualités d'eau différentes, le réseau de distribution des eaux pluviales doit être strictement différencié, disconnecté et indépendant du réseau public d'eau potable.

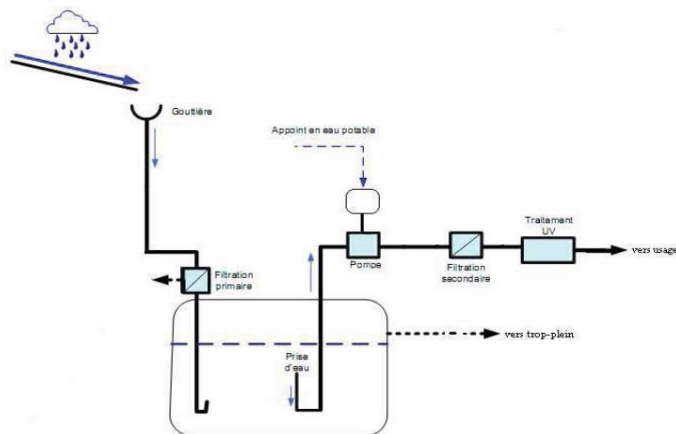


Figure 12 **Schéma de principe des installations source** (Vialle, 2011)

2.8.4 Domaine d'utilisation

L'eau de pluie n'est pas dans la plus par des cas une eau potable : elle a été en contact avec différents aérosols provenant de l'atmosphère, des surfaces de récupération polluées contenant souvent des débris végétaux, animaux ou minéraux, des micro-organismes et des métaux. Toute fois A. Fewkes classe les usages de l'eau pluie comme suit (Fewkes, 1999)

- Eau potable ou son complément (dans les pays en voie de développement) ;
- Complément à l'eau potable (dans les pays développés).

Les différents usages envisageables peuvent alors être répartis en deux catégories : les usages extérieurs d'une part et les usages intérieurs d'autre part, lesquels requièrent la création d'un double réseau. En ce qui concerne les usages extérieurs peuvent être rapprochés à l'arrosage des espaces verts, et aux nettoyages des voiries et des véhicules ou encore à l'industrie et l'élevage. En Belgique, l'eau de pluie est utilisée à l'intérieur du bâtiment pour les usages : alimentation des chasses d'eau des toilettes (WC), le lave-linge et le nettoyage du sol. Ces usages peuvent représenter 64% de la consommation domestique en eau potable (Cornut et Marissal 2007).

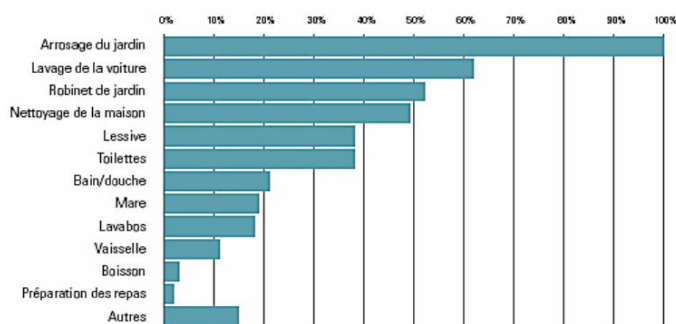


Figure 13 : Utilisation de l'eau de pluie par les ménages en Belgique (en pourcentage de ménage qui utilisent l'eau de pluie) **source** WWF-Belgique (2003), Campagne Vivons l'eau

2.8.5 Cadre réglementaire

- Position internationale

Pour Vialle (2011) la récupération des eaux de pluie et leur utilisation pour l'irrigation ou l'évacuation des excréta sont des pratiques répandues dans certains pays tels l'Australie, la Nouvelle-Zélande et l'Inde. Au contraire, le Canada et les Etats-Unis n'incitent pas à la récupération des eaux de pluie. En fait, les utilisations dans l'habitat ne sont autorisées que sous certaines conditions (pénurie d'eau, établissements spécifiques, respect d'un cahier des charges strict).

- Position européenne

Concernant la RUEP dans l'habitat, la position en Europe est marquée par l'ambiguïté des textes réglementaires. En réalité, la directive européenne 98/83/CE du 3 novembre 1998 oblige une eau potable pour les « usages domestiques ». Cependant les différents états membres ont fixé diversement ces usages domestiques acceptant ainsi des attitudes différentes vis-à-vis de l'utilisation des eaux de toits dans le bâtiment. Dans les pays tels qu'Allemagne, Suède et Norvège cette manière utilisée l'eau de pluie est très répandue.

D'après Micheau (2007), pour la récupération et la valorisation des eaux de pluie, l'Allemagne fait figure de pionnière en favorisant l'utilisation générale de systèmes de captage des eaux de pluie pour des usages résidentiels et autres. L'intérêt manifesté à l'endroit du captage des eaux de pluie est le moteur principal sur les usages non potables, l'irrigation, chasse d'eau des toilettes et eau de lessive. Dans le contexte législatif français, le code civil (art. 641) reconnaît à chacun le droit d'utiliser les eaux pluviales tombant sur sa propriété.

D'après l'Office International de l'Eau (2008), quatre critères doivent prévaloir lors de la mise en place d'un système de récupération des eaux pluviales dans un édifice :

- Sécurité sanitaire : l'installation ne doit pas être une source de risque pour l'hygiène ;
- Pas de perte de confort : l'installation ne doit pas occasionner d'odeurs, de dépôts sur les installations (céramique...), de colmatage du réseau ou des filtres ;
- Tolérance environnementale : le système ne doit pas impliquer l'utilisation de produits chimiques comme le chlore ou la consommation excessive d'énergie etc....

- Position Belge

En Belgique, les mesures législatives nationales et des campagnes incitant à économiser l'eau ont favorisé le recours à la réutilisation des eaux pluviales requirant que toute nouvelle

construction soit pour vue d'une installation de captage des eaux pluviales aux fins de chasse des eaux des toilettes et à l'utilisation de l'eau à l'extérieur (Chéron, 2004) et (Soroczan, 2002).

Ces mesures ont un double objet :

- Réduire la demande en eau traitée et freiner l'agrandissement des réseaux de distribution d'eau ;
- Capturer et réutiliser les eaux pluviales au lieu de surcharger les réseaux d'égouts, une opportunité pour la protection contre les inondations.

L'article 16 « collecte des eaux pluviales » du « chapitre 5 – raccordement » du Règlement Régional d'Urbanisme (RRU) précise que :

- « *Les eaux pluviales de ruissellement issues de toutes les surfaces imperméables sont récoltées et conduites vers une citerne, un terrain d'épandage ou à défaut, vers le réseau d'égouts public* »
- « *Dans le cas d'une nouvelle construction, la pose d'une citerne est imposée afin notamment d'éviter une surcharge du réseau d'égouts. Cette citerne a les dimensions minimales de 33 litres par m² de surface de toitures en projection horizontale* ».

2.9 Eau du puit

2.9.1 Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont les ressources en eau privilégiées pour l'eau potable, car elles sont plus à l'abri des polluants que les eaux de surface (Guergazi et Achour, 2005). Les eaux souterraines constituent une des principales sources d'approvisionnement d'eau de la population wallonne car elles sont en général de meilleure qualité et potabilisable à moindre coût. En 2016, selon les données du Service public de Wallonie (SPW - DGO3 - DEE), le volume total d'eau prélevé en Wallonie à des fins de distribution publique s'élevait à 390,1 millions de m³.

Les eaux souterraines sont concentrées sur l'ensemble des réserves d'eau qui se situent dans le sous-sol. L'eau est conservée dans des zones appelées aquifères et peut s'accumuler à l'intérieur pour former des nappes. En effet il existe deux types de nappes. Les nappes phréatiques sont celles qui se trouvent près de la surface facilement accessible pour les activités humaines. Selon la profondeur de l'aquifère, les modes d'exploitation seront différents (Hounsounou et al., 2017). Et les nappes plus profondes, généralement captives sont situées à plus de 50 mètres de profondeur

2.9.2 Généralités sur les forages d'eau

Le forage d'eau est un ouvrage réalisé par des professionnels pour la mise en valeur des eaux profondes. Le forage est une technologie qui est spécifique à l'hydrologie du terrain ainsi qu'aux contraintes extérieurs tels que topographie, hydrographie, risques de salinisation,

de transfert de pollution depuis la surface. Le captage des eaux souterraines à travers le forage se fait grâce avec l'intervention d'une foreuse. On peut citer deux types de forages ; le forage de prospection, utilisé dans un contexte hydrogéologique difficile et les forages d'exploitation d'eau qui sont destinés à permettre l'extraction de l'eau contenue dans une formation aquifère. (Ayade wissam, 2007).

2.9.3 Définitions des puits

Le puits est l'ouvrage permettant de recueillir de l'eau grâce à un trou creusé dans le sol et ayant au moins 60 cm de diamètre et trois (3) mètres de profondeur pour capter l'eau d'une formation aquifère (Coulibaly et al., 2004). Les puits traditionnels sont des ouvrages fabriqués par les populations des régions rurales avec des moyens rudimentaires. Leur profondeur généralement, s'altère entre 10 et 100 mètres avec un diamètre qui varie entre 0,80 et 1 m. ce type d'ouvrages est destiné aux nappes phréatiques. D'après Molinie (2009) l'exhaure peut être assurée par puisage manuel (seau et corde), par pompe à corde (nappe peu profonde) ou par pompe à motricité humaine (nappe d'eau de profondeur supérieure à 10 mètres).

2.9.4 Qualité des eaux de puit

L'analyse de l'eau de puit est très importante pour la détection de la dégradation de l'eau dû aux suites des activités anthropiques de l'homme. De ce fait il est essentiel de déterminer sa caractéristique physico-chimique liés à la structure naturelle de l'eau ainsi que les paramètres indésirables.

Paramètres physico-chimiques

- Le pH

Le pH est un paramètre bien connu de toute personne qui s'occupe de traitement de l'eau. En effet, il s'agit d'un paramètre essentiel de la qualité de l'eau (Cédric Prevedello, 2006). C'est un paramètre très primordial car il renseigne non seulement la corrosion mais aussi la stabilité de l'eau. D'autre part, il fait partie aussi des paramètres essentiels de contrôle de la qualité de l'eau. En effet, il donne une idée sur un large éventail d'équilibres physico-chimiques entre les gaz dissous (CO_2), les ions carbonates et bicarbonates (Belghiti et al 2013, Akil et al., 2014). Il traduit ainsi la balance entre acide et base sur une échelle de 0 à 14, 7 étant le pH de neutralité.

- La turbidité

La turbidité permet de contrôler la qualité de l'eau. Elle est causée par des particules présentes dans l'eau et agit sur l'efficacité des processus de traitement et de désinfection. Elle n'a pas une signification sanitaire mais elle doit être maintenue à un niveau faible pour être acceptable par les consommateurs. La valeur médiane de la turbidité idéale devrait être inférieure à 0.1 NTU (Nephelometric Turbidity Unit) (OMS,2011).

- Phosphate

Le phosphore n'est pas toxique pour l'homme et son environnement mais il est plutôt néfaste pour les milieux aquatiques ça favorise l'eutrophisation c'est pour cette raison que sa teneur est contrôlée. Le phosphate est obtenu dans la nature à partir des restes de squelettes des animaux marins qui sont minéralisés par les micro-organismes. Bien que non toxiques, les phosphates présents dans l'eau peuvent occasionner des troubles digestifs à cause de leur effet tampon. (Samake, 2002). Les phosphates dégradent les qualités organoleptiques de l'eau (odeur, saveur, turbidité, couleur), bouleversent les conditions d'utilisation ne serait-ce qu'en raison de son aspect inesthétique (putréfaction) (Maïga, 2005).

- Azote total Kjeldahl NTK ou NK

L'azote total Kjeldahl (NTK) désigne la somme de l'azote ammoniacal et de l'azote organique. L'azote qui se retrouve sous forme oxydée, tel que les nitrites ou les nitrates par exemple, n'est pas mesuré par cette technique. C'est un paramètre crucial du fait de son origine majoritairement anthropique Les composés azotés évalués par cette méthode sont issus notamment de la dégradation bactérienne des composés organiques provenant de l'azote. Une concentration élevée en azote Kjeldahl dans les rejets peut entraîner des conséquences graves sur le milieu récepteur car la dégradation de l'azote organique consomme beaucoup d'oxygène avec le risque associé de choc anoxique, lequel est encore aggravé par la présence d'ammoniac et/ou d'ions ammonium⁶.

- Charge en matières organiques : demande biochimique en oxygène (DBO) et demande chimique en oxygène (DCO)

Deux méthodes permettant d'évaluer la quantité en matière organique présente dans l'eau sont généralement utilisées : la demande biochimique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO). Ces deux méthodes se basent sur la différence entre la teneur en oxygène dissous initiale et la teneur en oxygène dissous finale après oxydation de la matière organique présente dans un échantillon d'eau (De Villers et al., 2005).

Selon Rejsek (2002), la demande biochimique en oxygène après 5 jours (DBO5) d'un échantillon est la quantité d'oxygène consommé par les microorganismes aérobies présents dans cet échantillon pour l'oxydation biochimique des composés organiques et/ou inorganiques.

⁶ [http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Azote_total_Kjeldahl_/NKJ_\(HU\)](http://wikhydro.developpement-durable.gouv.fr/index.php/Azote_total_Kjeldahl_/NKJ_(HU))

La DCO (demande chimique en oxygène) exprime la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant, le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présentes dans l'échantillon (RéFEA, 2020). Pour De Villers et al (2005) la différence entre la DCO et la DBO est due aux substances qui ne peuvent pas être décomposées biologiquement. Le rapport entre la DBO et la DCO constitue une mesure indicative de la « dégradabilité » biochimique des composés présents dans l'eau.

La notion de la biodégradabilité représente la capacité d'une substance ou son aptitude à être décomposée par les microorganismes (Ayache, 2016) :

- $2 < \text{DCO/DBO}_5 < 5$: traitement biologique avec adaptation de souche.
- $\text{DCO/DBO}_5 > 5$: traitement physico-chimique.

- Les matières en suspension (MES)

Les MES sont les très fines particules en suspension (sable, argile, produits organiques, particules de produits polluants, micro-organismes,) qui donnent un aspect trouble à l'eau. De plus elles déterminent les matières solides insolubles visibles à l'œil nu présentes en suspension dans un liquide. Ayache (2016) estime que les MES sont responsables de la baisse de pénétration de la lumière dans l'eau, ce qui entraîne une diminution l'activité photosynthétique et une chute de la productivité du phytoplancton.

- Le magnésium

Le magnésium est contenu dans toutes les eaux naturelles et favorise largement à leur dureté et il donne un goût désagréable à l'eau. Les principales sources du magnésium contenu dans ces eaux sont les minéraux ferromagnésiens des roches ignées et les carbonates de magnésium des roches sédimentaires (La, 1987). Élément à effets bénéfiques pour l'organisme, le déficit en magnésium se traduit par des manifestations cardiaques et des troubles neuromusculaires (Wanélus, 2016).

- L'aluminium

L'aluminium c'est le troisième élément le plus abondant sur terre après l'oxygène et le silicium, il représente 8% de la croûte terrestre. Certains minéraux, tels le feldspath et le mica contiennent l'aluminium qui, à la longue, se décomposent en argile. Dans l'eau potable, les sels d'aluminium sont utilisés comme coagulants dans le traitement de l'eau et l'aluminium naturel sont les sources les plus courantes qui peuvent contribuer à augmenter la teneur en aluminium (OMS, 2011). Une concentration trop élevée au-dessus du seuil acceptable par les normes de OMS peut causer un effet délétère sur les neurones et peut nuire à la mémoire.

- Le calcium

Le calcium est le minéral le plus abondant du corps humain, varie entre 1 et 1,2 kg environ chez l'adulte. Ce calcium contribue à 99% à la formation et à la solidité des os et des dents. Il est présent sous la forme du cation Ca^{2+} dans ses composés connus à l'exemple d'aluminium de calcium ($\text{Ca}_3(\text{AlO}_3)_2$). Il est important pour la vie des plantes et des animaux. Dans l'environnement, il est majoritairement trouvé dans les roches ignées, spécifiquement dans les pyroxènes, les amphiboles et les feldspaths. Au-delà d'une certaine concentration, le calcium provoque aussi un problème de goût à l'eau. Selon l'anion associé, le seuil de goût pour l'ion calcium se situe entre 100 et 300 mg/l (OMS,2011).

- ✚ Paramètres concernant les substances indésirables

- Les nitrates et nitrites

Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre *Nitrosomonas*, puis en nitrates par les bactéries du genre *Nitrobacter* (Santé Canada, 1992). Les principales sources de pollution (nitrates/nitrites) sont l'utilisation des engrais, la fabrication d'explosifs, l'industrie chimique et alimentaire. La teneur en nitrates de l'eau est généralement plus élevée que celle des nitrites. Une forte concentration en nitrites indique une pollution bactériologique par suite de l'oxydation de l'ammoniac (Maïga, 2005). Certains auteurs comme Levallois et al (1992) estiment que Sous l'action oxydatrice des micro-organismes, les nitrates (NO_3^-) sont formés naturellement à partir de l'ion ammonium (NH_4^+). Quant aux nitrites (NO_2^-), ils sont formés par dégradation de la matière azotée mais sont rapidement transformés en nitrates dans les sources d'eau potable. Les femmes enceintes et les nourrissons de moins de trois mois sont réputés comme étant des sous-groupes de la population spécifiquement fragiles à la présence de nitrates et de nitrites dans l'eau potable. Par ailleurs il a été reconnu que l'eau chargée en nitrates employée pour des biberons de lait en poudre était susceptible de faire apparaître chez les nourrissons une cyanose liée à la formation de méthémoglobine (Maïga, 2005).

- Le manganèse

Le manganèse est présent dans plus d'une centaine de composés de sels et de minéraux communs que l'on retrouve dans les roches, les sols et au fond des lacs et des océans. Le plus souvent, on trouve le manganèse sous forme de dioxyde, de carbonate ou de silicate de manganèse (Canada & River, 1987). C'est ainsi qu'il se retrouve particulièrement dans certaines eaux souterraines, à cause des conditions réductrices qui entraînent la dissolution du manganèse des roches. Il peut provenir aussi de sources anthropiques telles que l'exploitation minière, les rejets industriels, la lixiviation à partir des sites d'enfouissement (Santé Canada, 2016). Le manganèse est un oligoélément indispensable à l'homme car

intervient dans la synthèse d'enzymes qui combattent contre le stress oxydant et apaisent les dommages des radicaux libres. A faible dose il n'a aucun impact sanitaire mais sa surconsommation cause un véritable problème pour la santé tels que des soucis neurologiques et des douleurs musculaires. Cependant certains aliments à l'instar des céréales, les noix, les fruits et les légumes verts sont des sources de manganèse.

- Le fer

Le fer est un élément assez abondant dans les roches sous forme de silicates, d'oxydes et hydroxydes, de carbonates et de sulfures (Hirsh et al., 2010). Dans la nutrition humaine, il joue un rôle essentiel. La dotation minimale journalière en fer dans l'organisme varie de 10 à 50 mg en fonction de l'âge, du sexe, de sa biodisponibilité et de l'état physiologique de la personne considérée (OMS, 2011). Le fer se détecte naturellement dans la couche aquifère mais dans les eaux souterraines sa concentration peut s'accroître à cause de l'activité des hommes (forage, ...). Les eaux souterraines empoisonnées de fer ont souvent une coloration orange. À une concentration de 2 mg/l dans l'eau potable, le fer ne présente aucun danger pour la santé des consommateurs. Au-dessus de ce seuil, le goût et la couleur de l'eau sont généralement affectés (OMS, 2011).

- Le cuivre

Le cuivre est un métal stable et un élément nutritif essentiel naturellement présent sous diverses formes minérales dans l'environnement. En outre il est aussi abondamment employé dans les domaines industriels et domestiques. Le cuivre peut être trouvé dans les eaux de surface, les eaux souterraines ou l'eau de mer. Sa présence fait suite à l'érosion du sol ou des rochers, de la dislocation du sol, ou encore à des activités anthropogéniques, telle que l'activité minière ou agricole, et les effluents provenant des usines de traitement des eaux usées (ATSDR, 2004; Cal EPA, 2008). L'Organisation mondiale de la santé a établi une valeur limite de 2 mg/l pour le cuivre présent dans l'eau potable (OMS, 2004). Quand sa concentration excède 5mg/litre, il agit sur la coloration de l'eau et lui confère aussi un goût amer (OMS, 2011).

2.9.5 Réglementation de l'utilisation de l'eau du puit

En Belgique, l'exploitation d'une prise d'eau souterraine répond à certaines exigences, spécifique au type de puit.

Tableau 1 : Catégorisation des puits en fonction des volumes

Puit	Prise d'eau	Classe
Type 1	Inférieure ou égale à 10 m ³ /jour et à 3.000m ³ /an	Classe 2
Type 2	Supérieure à 10 m ³ /jour ou à 3.000 m ³ /an et inférieure à 10 millions m ³ /an)	Classe 3

Comme l'illustre le tableau ci-dessus en fonction de la classe du puit que différentes exigences réglementaires sont à respecter. Depuis 2004 l'exploitant doit aussi disposer d'un permis d'environnement pour l'utilisation de son puits que soit de classe 2 ou de classe 3 ⁷.

⁷ <https://www.fwa.be/environnement/puits-comment-savoir-si-vous-etes-en-ordre>

3 Matériels Et Méthodes

3.1 Description du site

Arlon campus environnement abrite le département des Sciences et Gestion de l'Environnement de la faculté des sciences de l'université de Liège dont l'objectif principal est d'administrer la recherche scientifique appliquée et l'enseignement de 3^e cycle dans les Sciences de l'Environnement. Anciennement dénommée Fondation universitaire luxembourgeoise (FUL) c'est un établissement constitué de 4 bâtiments qui sont :

- Le bâtiment administration rattaché à l'église du Sacré-cœur qui a été construit depuis les années 1895 ;
- Bâtiments recherche-laboratoires aile A et Aile B ;
- Bâtiment-laboratoire J. Geelen .

Situé dans la ville d'Arlon, le Campus Arlon Environnement à une superficie totale de 2ha.

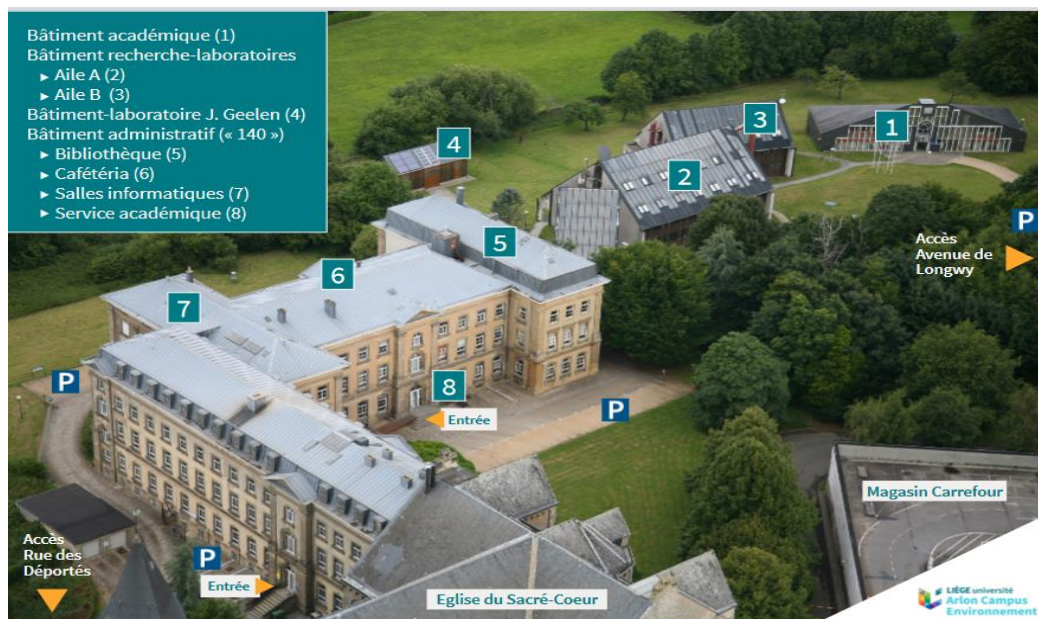


Figure 14 plan du campus Arlon

source : https://www.campusarlon.uliege.be/cms/c_4137546/fr/arlon-plan-du-campus

3.2 Localisation

Le site est situé à la province de Luxembourg, au Sud de la Belgique en plein cœur de la ville Arlon . Elle occupe une position stratégique dans cette zone car se trouve à moins de 30 km de Luxembourg-Ville, de la France (à 90 km de Metz), et à 75 km de Trèves en Allemagne.



Figure 15 Localisation du site d'étude



Figure 16 : Situation géographique du site d'étude Carte IGN (1 :500)

Coordonnées GPS : 755011.94" N 541900.81"S

 Bâtiment chercheur

Notre site d'étude se sera spécifiquement sur le bâtiment chercheur qui abrite un ensemble de bureaux ainsi que le laboratoire des ressources hydriques qui a 40 ans d'expérience, est spécialisé dans le domaine de l'analyse de l'eau, le management de la qualité et l'échantillonnage automatique. Du fait de sa compétence il est agréé par le ministère de la

Région wallonne (Catégorie A : analyses physico-chimiques Catégorie B : analyses microbiologiques) et également par le ministère de l'Environnement du Grand-Duché du Luxembourg.

3.3 Description du système

3.3.1 Récupération des eaux de pluie en aval des toitures

- Surface de collecte

Le bâtiment chercheur constitué de l'Aile A-R1/3 et de l'Aile B-1/2, présente une toiture en tuiles ou ardoises naturelles avec des pentes 42% une surface projetée au sol de 421 m².

- Descentes pluviales

Les eaux de pluie sont évacuées de la toiture aux angles du bâtiment chercheur. La répartition de la surface de la toiture par descente de gouttière. Elles sont ouvertes et sont en acier tout comme les descentes pluviales. Les descentes pluviales sont réparties autour du bâtiment et alimentent la cuve à l'aide de tuyaux de dimensions 22 extérieur et 21 intérieurs avec des raccords comme nous pouvons le voir sur la figure ci-dessous.



Figure 17 : Système de collecte des eaux de pluie avec 1 : eau de pluie qui ruissèle du toit, 2 : elle glisse vers les gouttières, 3 : elle tombe vers les descentes de gouttière via le tuyau qui relie la gouttière à la citerne

- Citerne eau de pluie

La citerne en béton a une capacité de 34 m³ avec une hauteur de 2.63 mètres et se trouve a été construite près de deux sapins comme illustrée la figure (a). La citerne comporte un compartiment. L'eau arrive dans le compartiment où les éléments et objets lourds sont séparés des objets flottants.

Le toit de la citerne est réalisé avec un système de poutrelle et de hourdis dimensionnées peut supporter 20 cm de poids de terre minimum sur lequel par la suite on coule une chape en béton associé à un regard de visite.

L'utilisation d'une citerne en béton offre plusieurs avantages tels que la remonté du pH acide vers le pH neutre. La citerne minéralise l'eau de pluie facilitant ainsi sa potabilisation. Elle préserve l'eau à l'abri de l'air, de la lumière et des insectes.



Figure 18: citerne enterrée du campus

Toutefois la citerne en béton du campus d'Arlon souffre de problèmes d'infiltration et d'étanchéité. C'est une ancienne citerne conçue qui avec le temps, la membrane d'étanchéité s'est fissurée et la citerne commence à perforer. L'eau s'échappe par le bas où par les parois latérales, la citerne ne se sature plus en eau. Elle est également équipée d'un trop plein qui permet l'évacuation de l'eau lorsqu'elle est pleine favorisant l'évacuation des particules en suspension.

3.3.2 Réutilisation dans le bâtiment chercheur

-Système de pompage

Le système de pompage se situe dans un local technique localisé à quelques mètres de la citerne (figure 21). Il comprend des groupes hydrophores, des réservoirs sous pressions de l'eau de pluie et eau du puit enfin des compteurs (eau de ville – eau de pluie – eau du puit).



Figure 19 : Entrée du local technique

Le groupe hydrophore est également installé dans le local technique depuis plus de 25 ans et ne fonctionne plus. Le système de pompage est un VOG 100-380 fabriqué par l'entreprise stork. La pompe comporte un moteur poulie et courroie. Sa puissance est de 2,2 kW.



Figure 20: système de pompage

Cette pompe a pour particularité d'aspirer l'eau directement de la citerne via un tuyau d'aspiration situé à l'avant de la pompe. L'eau est par la suite refoulée par le corps de pompe sous haute pression par le dessus de la pompe.

-Réservoir sous pression

Cette pompe dispose d'un réservoir sous pression de 4 m³ qui permet à la pompe de ne pas s'enclencher à chaque demande d'eau. Par exemple si chasse d'eau est utilisée la pompe ne s'enclenchera pas. L'eau présente dans le réservoir sous pression sera utilisée. Cela permet

de prolonger la durée de vie de la pompe. Le réservoir sous pression est un volume étanche dans lequel on trouve une vessie qui se remplit d'eau lorsque la pression du réseau d'eau augmente par l'action de la pompe au fur et à mesure du pompage l'air se comprime autour de la vessie. Le réservoir sous pression permet donc de conserver un certain volume d'eau sous une pression comprise entre 2.1 bars et 3.4 bars

L'arrivée de l'eau potable s'effectue par écoulement libre par le haut du réservoir d'appoint afin d'éviter tout risque d'interconnexion avec le réseau d'eau de pluie (Vialle, 2011). Il s'agit d'une disconnexion par surverse totale au sens de la norme NF EN 1717 (AFNOR, mars 2001).

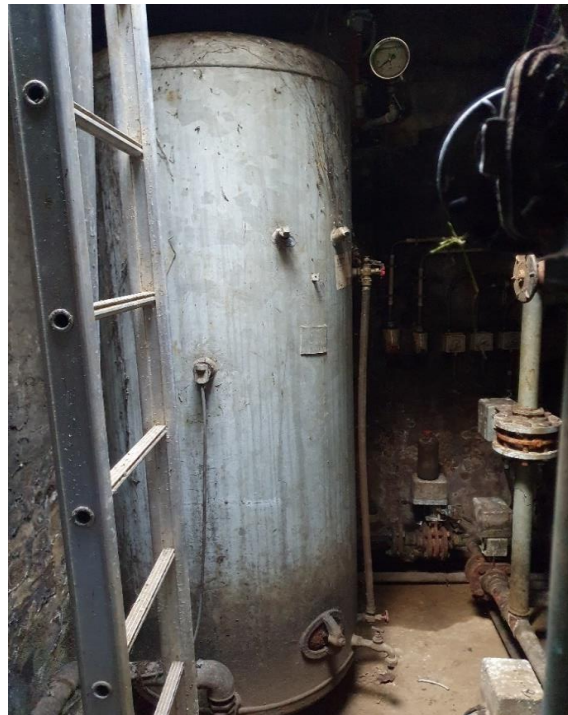


Figure 21 réservoir sous pression eau de pluie

A cela il faut noter que dans le bâtiment jésuite (140) dispose également d'un système de pompage eau de pluie.

Un pressostat est un appareil permettant de mesurer ou de commander la pression d'un fluide dans une canalisation⁸. Il se déclenche lorsque la pression du réseau d'eau descend sous 2,5 bars et s'arrête lorsque la pression du réseau d'eau remonte à 5 bars.

⁸ www.linternaute.fr/dictionnaire/fr

3.4 Eau du puit

Le puit foré du campus se situe également au sous-sol du bâtiment administratif. Comme nous pouvons le constater sur les figures 6 et 7 c'est un puit qui est bien fermé et protégé de l'extérieur par des grillages.



Figure 22: puit du campus Arlon

3.5 Localisation et gestion des compteurs du campus d'Arlon

Les bâtiments (chercheur et 140) sont raccordés au réseau eau de ville et disposent des sources alternatives : eau de pluie et eau du puit. Autrefois l'établissement était équipé uniquement de simples compteurs sur lesquels étaient relever les index de manière manuelle.

Mais depuis mars 2021 l'établissement a mis en place des compteurs intelligents qui enregistrent la consommation d'eau toutes les 15 minutes. Les données de consommation sont donc communiquées automatiquement, de façon programmée.

Un compteur muni d'une solution de télérelève permet d'effectuer à un relevé quotidien. Cette alternative contribue ainsi à une gestion modernisée de la facturation. L'utilisation des compteurs télé relevés permet de déceler un problème de fuite (valeurs anormales de la consommation journalière en eau). En cas de dysfonctionnement, le système de télérelève aide à déceler et éviter toute surconsommation.

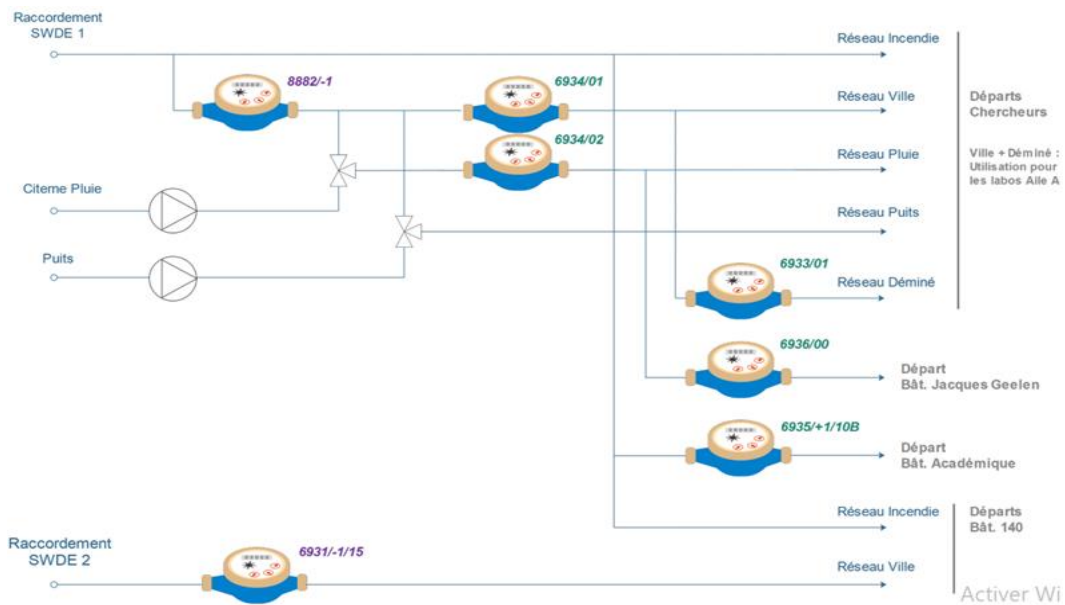


Figure 23 localisation des compteurs du campus

Deux autres compteurs enregistrent la consommation d'eau des résidences estudiantines du campus (N°149 et la N°157). Au total le campus possède 7 compteurs.

3.6 Matériels

Dans le cadre de notre étude, pour la collecte des informations nous avons utilisé :

- Un bidon en propylène stérile pour maintenir les échantillons d'eau à analyser ;
- Un appareil photo pour la prise de vues ;
- Une corde pour atteindre le fond du puits et prélever l'eau pour des analyses
- Le logiciel Excel pour le traitement et l'analyse des données de télérelève des compteurs d'eau ;
- Les factures de consommations d'eau du campus des quatre dernières années.

3.7 Méthodes

3.7.1 Recherche documentaire

Cette étape a consisté à se documenter sur

- Les paramètres physico-chimiques et les substances indésirables de l'eau du puit à usage domestique. Les paramètres qui ont été concernés sont : calcium, magnésium, manganèse, fer, chlorure, fluorure, sodium, potassium, aluminium, nitrite, nitrate, sulfates, arsenic, cuivre, zinc, phosphates, matières en suspension, demande

chimique en oxygène, demande biologique en oxygène, Azote total Kjeldhal NTK ou NK . ;

- Le mode de fonctionnement d'une citerne de RUEP ;
- La consommation d'eau du campus d'Arlon.

Pour faire cette revue de littérature, des documents scientifiques, thèses de doctorat, livres, articles, rapports, revues et mémoires appropriés ont été consultés. En vue de mettre en évidence les éventuels problèmes qu'ils peuvent provoquer chez les hommes et son environnement. Nous avons également utilisé des captures d'écran de certaines figures qui nous a semblés importants pour notre travail.

3.7.2 Echantillonnage et techniques de prélèvement d'eau de puits

Une descente sur le terrain pour échantillonnage d'eau et de mesure des paramètres physicochimiques a été menée au campus d'Arlon avril 2021. Au cours duquel un échantillon d'eau a été prélevé. Aider d'un homme d'entretien qui a pu dévisser les grilles qui bloquent l'entrée du puit, il a par la suite attaché un bidon avec une corde et l'a introduit dans le puit. Une fois puisée, l'eau prélevée à l'aide du bidon est transférée sur des flacons d'échantillonnage préparés en laboratoire.

Habituellement, un essai de pompage nécessite la vidange du puit donc la procédure consiste à vider le puit deux fois et le laisser se remplir pour être sûr d'avoir l'eau de la nappe et non l'eau puit Cette opération n'a pas été faite dans notre cas car, c'était techniquement difficile on ne pouvait pas vider le puit à s'amuser à passer des tuyaux à travers tout le bâtiment 140 pour descendre une pompe et vider le puit.

3.7.3 Travail au laboratoire

Les analyses chimiques ont été faites dans le laboratoire des ressources hydriques du campus d'Arlon, elles sont tirées des normes de OMS le tableau ci-dessous précise les méthodes employées pour obtenir les résultats :

Tableau 2 Résultats et méthodes d'analyses des différents paramètres physico chimiques eau du puit

Paramètres	Méthodes
NO ₂ ⁻	ISO 13395
NO ₃ ⁻	ISO 13395

NH ₄ ⁺	dér. ISO 11905-1
PO ₄	SM 4500-PF
Pt	dér. ISO 11905-1
Nk	EN 25663
DCO	ISO 15705
DBO	EN 1899
MES	EN 872
Mg	ISO 17294-2
K	ISO 17294-2
Na	ISO 17294-2
Ca	ISO 17294-2
Fe	ISO 17294-2
Zn	ISO 17294-2
Al	ICPMS

Sept (8) méthodes d'analyse ont été utilisées pour la détermination des paramètres physico-chimiques. Il s'agissait des méthodes spectrophotométriques, minéralisation, méthode spécifique à la DBO₅, DCO. Ainsi, les nitrites (NO₂-), les nitrates (NO₃-) ont été mesurés par spectrophotométrie et l'aluminium (Al) mesuré par spectrophotométrie de masse à plasma à couplage inductif. Cette méthode consiste à mesurer la densité optique des substances chimiques en fonction de leur longueur d'onde d'absorption. Elle est une méthode à la fois simple, précise et rapide qui permet de réduire les erreurs qui pourraient être dues aux manipulations (Rodier et al., 2009).

Le zinc (Zn), le fer (Fe), le calcium (Ca), le sodium (Na), le potassium (K), le magnésium (Mg) ont été mesurés par spectrométrie de masse avec plasma à couplage inductif. L'ammonium (NH₄⁺) et le phosphore total ont été mesurés par minéralisation oxydante au peroxydisulfate. Cette méthode La méthode décrite permet de déterminer l'azote présent dans l'eau, sous la forme d'ammoniac libre, d'ammonium, de nitrites et de composés organiques azotés capables de se convertir en nitrates ⁹.

3.8 Dimensionnement et économies

3.8.1 Potentialité du site : évaluation des ressources et des besoins

- **Pluviométrie**

La pluviométrie est le premier paramètre (exprimée en mm) qui est pris en compte pour mettre en place un dispositif RUEP). Par ailleurs la pluie est un phénomène naturel. Pour son étude des dispositifs de RUEP du département de l'Hérault, B. de Gouvello a utilisé les données

⁹ <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-iso-119051/qualite-de-leau-dosage-de-lazote-partie-1-methode-par-mineralisation-oxydan/fa046637/13523#AreasStoreProductsSummaryView>

pluviométriques quotidiennes de 10 ans parmi l'ensemble des données (31 ans « 1977-2007 ») mise à sa disposition par le département.

- **Volume d'eau de pluie récupérable**

Le lieu de collecte des eaux de pluie est considéré comme « la surface de récupération » qui prend en compte, la surface de toiture qui sera effectivement raccordée au stockage d'eau de pluie. En fonction des caractéristiques de la toiture, toutes ou seule une fraction des gouttières pourront être ramenées au point de stockage. La surface utile de collecte (S, exprimée en m²) correspond à la valeur projetée au sol de la surface de toiture effectivement connectée au stockage (Bregnon et al., 2015)

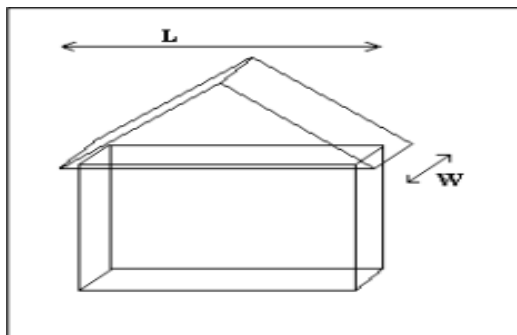


Figure 24 Calcul de la « surface de récupération »
Source :(Environment Agency 2003)

Pour calculer cette surface, il faut multiplier la longueur (L) horizontale et la largeur (W) horizontales de la toiture (Vialle et al. 2010, Gould et Nissen-Petersen 1999; Leggett et al. 2001):

$$S_r = L \times W \text{ (Équation 1)}$$

Si la toiture est en pente, cette méthode donne la surface projetée en plan et non la surface réelle, ainsi, l'emprise au sol est plutôt utilisée (sans le débordement de la toiture). Toutefois, ces modèles permettent d'estimer avec une bonne approximation la surface de récupération. Il convient de signaler aussi que dans le calcul de la quantité de l'eau de pluie, les modèles supposent que la pluie tombe verticalement sur la toiture (Environment Agency ,2003).

Toutefois, l'élément le plus crucial dans cette surface de récupération est le « *coefficient de récupération* » qui détermine la quantité de l'eau de pluie collectée en amont de la cuve par rapport à celle tombée sur la toiture du bâtiment (Belmeziti, 2012)

J. Gould a exprimé le « coefficient de récupération » par l'équation suivante (Gould et Nissen-Peterson, 1999)

$$Cr = \frac{Vr(t)}{Vp(t)} \text{ (Équation 2)}$$

Où :

Cr : coefficient de récupération.

t : la période considérée.

Vr (Volume de ruissellement) : volume de l'eau qui s'écoule sur la « surface de récupération » vers les gouttières et ensuite vers la cuve de stockage pendant la période t considérée.

Vp (Volume des précipitations) : volume de l'eau de pluie qui tombe sur la « surface de récupération » pendant la période t considérée.

- **Besoin en eau de pluie**

Il s'agit des besoins à satisfaire en eau de pluie qui remplace l'eau potable utilisée habituellement avant la mise en œuvre du dispositif de RUEP) (Vialle et al. 2010).

Volume alimentation des toilettes « domicile »

Tableau 3 Différents volumes estimés dans le WC domestique (Belmeziti, 2012)

Volume alimentation des toilettes « domicile » (WCdom)		
Valeur	Organisme	Méthode et hypothèse de calcul
27.4 l/hab/j	C.I.Eau (www.cieau.com)	Une consommation moyenne de l'eau potable estimée à 137 l/hab/j 20% de cette consommation est dédiés au WCdom
30 l/hab/j	CSTB [François et Hilaire 2000]	Un habitant tire la chasse d'eau 25 fois par semaine (3 fois par jour en semaine et 5 fois par jour pour week-end) La capacité des chasses d'eau est de 9 litres Un habitant occupe son domicile 340 jours /an
24 l/hab/j	Eau de Paris (www.eaudeparis.fr)	Une consommation moyenne de l'eau potable estimée à 120 l/hab/j 20% de cette consommation est dédié au WCdom

Nous observons que l'on peut qu'on peut travailler avec des valeurs entre 24 et 30 l/hab/j et d'une moyenne de 27.1 l/hab/j. Cette dernière est proche de la valeur désigné par le C.I.Eau (27.4 l/hab/j).

Nous prenons alors un volume de base moyen pour l'alimentation des toilettes « domicile » équivalent à 27.4 l/ habitant/jour, en s'appuyant sur les hypothèses telles que :

- Un habitant tire la chasse d'eau des toilettes 3 fois par jour pendant la semaine.
- Il tire la chasse d'eau des toilettes 2 fois de plus (5 fois) par jour pour le week-end.
- Il occupe son domicile 340 jours par an (20 jours de vacances par an en moyenne) (François et Hilaire 2000).
- 90% des chasses d'eau utilisées ont une capacité de 9 litres
- 10% chasses d'eau utilisées ont d'autres capacités (6 et 3/6 litres)

Volume alimentation des toilettes « professionnel »

Ce volume est basé principalement par le temps passé par l'utilisateur à l'intérieur du bâtiment. Pour le volume employé nous avons illustrés plus haut qu'un usager tire la chasse d'eau 3 fois en : moyenne par jour pendant la semaine, cependant il la tire 5 fois par jour pendant le week-end. On considère que l'utilisateur tire la chasse d'eau 2 fois sur son lieu de travail, cela donne une moyenne de 5 fois par jour (3 fois dans son domicile et 2 fois dans son lieu de travail) (Guide méthodologique 2008).

Si on estime que des chasses d'eau de capacité de 9 litres, cela donne un volume de 18 litres par jour pendant 220 jours (la majorité des bâtiments de travail sont fermés le week-end, et chaque employé prend entre 5 à 7 semaines de vacances par an). Cela donne une moyenne annuelle de 11 litres par employé et par jour (Belmeziti, 2012).

Le tableau ci-dessous nous donne une récapitulation des différents usages de l'eau dans le bâtiment chercheur

Tableau 4 Les différents usages de l'eau dans le campus

Source approvisionnement	Eau de ville	Eau de pluie	Eau du puit
Usages	-Les douches -Robinet service local technique -Laboratoire déminéralisé	-Humidificateurs -Evier couloir -Sanitaire (wc et urinoire)	-Robinet jardin -Lavabos

3.9 Dimensionnement du groupe hydrophore

L'eau est une source précieuse. Garantir sa qualité et en évitant de gaspiller les ressources sont des objectifs les plus urgents. De ce fait en fonction du nombre d'habitants ou d'occupants d'un bâtiment, en fonction des règles strictes de protection incendie, le groupe hydrophore a est un but à la fois "sanitaire" et "de sécurité" qu'il a lieu d'intégrer à la fois en termes de fiabilité et d'économie d'énergie. Les pompes utilisées dans le système de réutilisation de l'eau de pluie sont les pompes centrifuges, elles présentent plusieurs avantages telles que : Utilisation facile, peu coûteuses, bon rendement etc... De plus il y a différents modèles de pompes électriques (pompe directe, pompe hydrophore et pompe immergée), celle qui nous intéresse est la pompe hydrophore.

Une pompe hydrophore est l'assemblage d'une pompe centrifuge avec un réservoir sous pression comportant une membrane. La pompe approvisionne d'eau le réservoir, ce qui emprisonne l'air contenu dans le réservoir. Quand l'eau est utilisée, le volume d'air s'accroît et la pression diminue, jusqu'au seuil où la pompe se remet en marche.

Pour acheter un groupe hydrophore on tient compte de trois éléments essentiels qui sont :

3.9.1 Le débit

Le débit Q correspond à la quantité d'eau (l ou m³) pompée et rejetée par la pompe par unité de temps (mn ou hr)¹⁰. Le débit est moins important lorsque pour un même diamètre (mm) de tuyau de pompe la différence de hauteur est grande et inversement le débit est important lorsque les points d'aspiration et de hauteur sont proches. Si l'eau pompée n'est pas traitée il faut considérer qu'il faut au point de rejet 2m³/h pour cinq personnes au minimum et par personne supplémentaire faut ajouter 0,25 m³/h.

3.9.2 La pression

Elle est nécessaire pour les habitations, elle est comprise entre 2 et 3 bars pour une pression dite confortable.

3.9.3 La hauteur manométrique totale (HMT)

La hauteur manométrique totale HMT exprimée en mètres, mètres de colonne d'eau [mCE], en bars ou en kg/cm². Le calcul de la hauteur manométrique permet de déterminer la pompe à eau qui correspondra le mieux à vos besoins.

La hauteur manométrique totale est calculée suivant l'équation suivante :

$$\mathbf{H.M.T = H_a + H_r + P_c + P_r}$$

¹⁰ www.manomano.fr

Avec

Ha : hauteur manométrique d'aspiration c'est-à-dire à la hauteur entre le niveau de l'eau et de votre pompe.

Hr : hauteur de refoulement c'est-à-dire à la hauteur entre la pompe et le point d'utilisation de l'eau le plus haut.

Pc : pertes de charges moyennes liées au débit ainsi qu'à la longueur et diamètre du tuyau.

Pr : pression de refoulement souhaitée à l'ouverture du robinet. En moyenne la pression d'une eau de réseau est d'environ 3 bars soit 30 mètres de colonne d'eau.

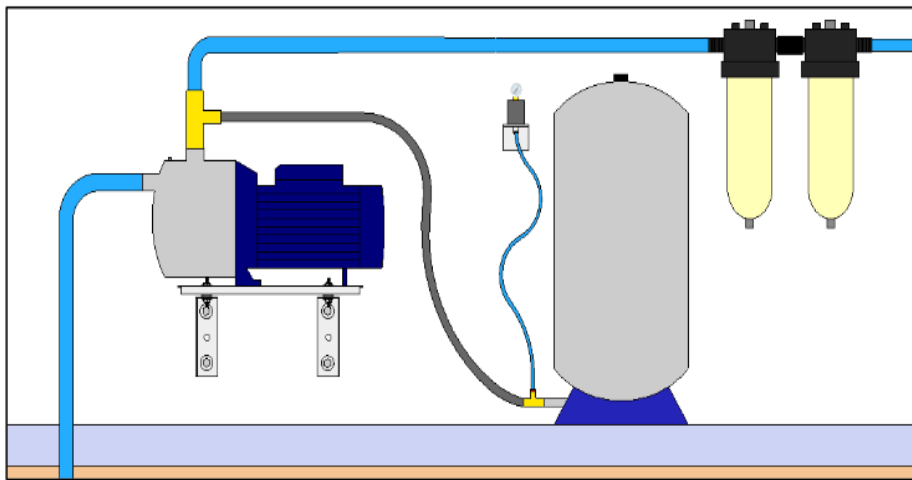


Figure 25: Installation d'un groupe hydrophore avec pompe de SURFACE

Source : PompesPHC

4 Résultats et discussion

4.1 RESULTATS

4.1.1 Aspect qualitatif de l'eaux de puit

La détermination des paramètres physico-chimiques dans l'eau destinée à la consommation humaine est une démarche importante pour évaluer sa qualité. Elle reste l'un des moyens d'identification d'éventuels cas de contamination par des substances chimiques(Orelien, 2017).

De ce fait le tableau ci-dessous illustre le résultat les teneurs en substances physico-chimiques mesurées pour les paramètres étudiés du campus d'Arlon du mois avril 2021.

Tableau 5 Concentration en substances chimiques dans l'échantillon de l'eau du puit

Paramètres	Unités	Échantillon	Normes OMS ¹¹	Directive UE ¹²
pH	Unité pH	7,87	6.5- 8.5	6.5-9.5
Conductivité	µS/cm	645	< 1200	2500
Turbidité	NTU	0,4	< 1	0,5
Azote total Kjeldhal	MgN/l	0,5		
Nitrite	MgN/l	<0,01	<0,2mg/l	<0,50 mg/l
Nitrate	MgN/l	<0,01	<50mg/l	< 50 mg/l
Phosphate	MgP/l	<0,05	<5mg/l	
Phosphore totale	MgP/l	<0,1		
Sélénium	µg/l	<0,03	0,01 mg/l	0.01mg/l
Demande chimique oxygène en	mgO ₂ /l	6	< 20 mg/l.	Non mentionées
Demande biochimique oxygène en	mgO ₂ /l	2,27	<3 mg/l.	Non mentionées
Matière suspension en	Mg/l	80	PVG	PVG
Aluminium	Mg/l	0,04915	<0,2mg/l	0,2 mg/l
Plomb	mg/l	0,01021	<0,01mg/l	0,01 mg/l
Sodium	mg/l	25,27103	<200 mg/l	200 mg/l
Potassium	mg/l	4,21679	PVG	1,1- 6,6 mg/l.
Baryum	mg/l	0,06071	<0,7mg/l	PVG
Béryllium	mg/l	1,0*10 ⁻⁵	<0.001mg/l	PVG
Bore	mg/l	0,02962	<0.5mg/l	0,001 mg/L
Cadmium	mg/l	8,0*10 ⁻⁵	0,003 mg/l	0.005mg/l

¹¹ (OMS,2006) ;

¹² Directive du conseil 98/83/EC sur la qualité de l'eau attendue pour la consommation humaine. Cette directive fut adoptée le 3 novembre 1998:

Calcium	mg/l	51,45579	100 mg/l	100 mg/l
Cobalt	mg/l	0,001 28	PVG	PVG
Fer	mg/l	25,74857	PVG	0,2 mg/l
Magnésium	mg/l	6,9265	50 mg/l	50 mg/l
Manganèse	mg/l	0,15611	<0,4mg/l	0,05 mg/l
Arsenic	mg/l	1,0×10 ⁻⁵	<0,01mg/l	0,01mg/g
Cuivre	mg/l	0,001 89	<2mg/l	2 mg/l
Chrome	mg/l	0,00031	<0,05mg/l	0.05 mg/l
Mercure	mg/l	0,00071	<0,006 mg/l	0.001mg/l
Molybdène	mg/l	3,0×10 ⁻⁵	<0,07mg/l	PVG
Nickel	mg/l	0,00128	<0,02 mg/l	0,02 mg/l
Zinc	mg/l	1,081 64	<3mg/l	0,2 mg/l

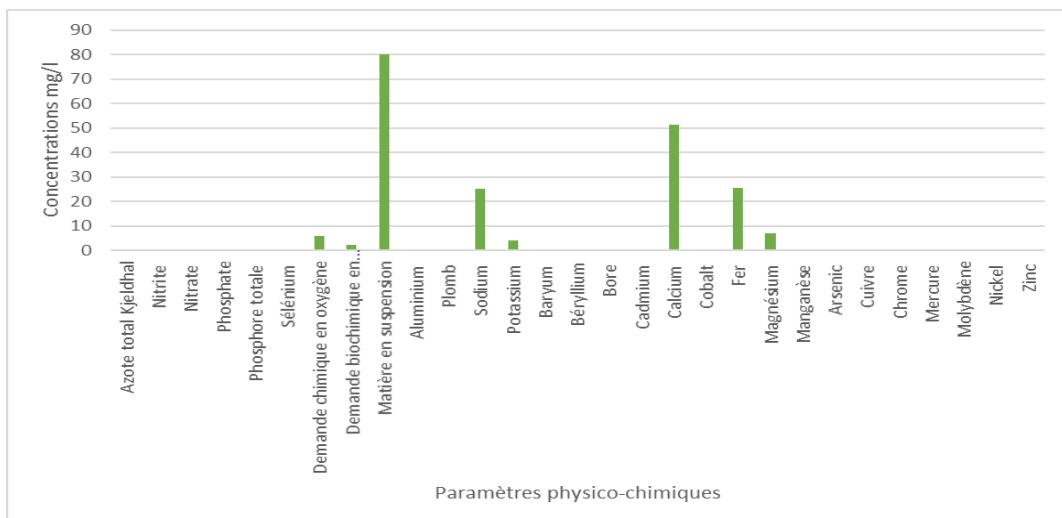


Figure 26: concentration des paramètres physico chimiques du puit

Ces résultats montrent que mise à part le zinc, le Mn et le fer, les autres paramètres mesurés sont tous conformes aux normes de l'OMS et de l'UE pour lesquels les valeurs guides sont spécifiées.

4.1.2 Potentiel de récupération de l'eau de pluie

Le potentiel de récupération de l'eau de pluie se caractérise en termes d'efficacité en quantité et en qualité de l'eau de pluie.

La quantité d'eau de pluie récupérée

La formule permettant de calculer la quantité de l'eau récupérer est donnée par cette formule :

$Q = P \times S \times O$ avec :

P = la pluviométrie annuelle [l/m²] ;

S = la surface de collecte [m²] ;

O = le coefficient de perte.

Tableau 6 Pluviométrie moyenne pour la période 2020 ,

Source : Archive des stations - Météo en Belgique (meteobelgique.be)

Mois de l'année 2020	Pluviométrie
Janvier	84 l/m ²
Février	183,4 l/m ²
Mars	68,6 l/m ²
Avril	23,2 l/m ²
Mai	40 l/m ²
Juin	75 l/m ²

Juillet	18,6 l/m ²
Aout	21,8 l/m ²
Septembre	33,4 l/m ²
Octobre	123 l/m ²
Novembre	27,6 l/m ²
Décembre	147 l/m ²
Total	845.6l/m ² /an

Surface de la toiture : **421 m²**

Pour les pertes : x 0.9 pour une toiture en tuiles ou ardoises naturelles

$$AN : Q = 845.6 \times 421 \times 0.9 = 320.39 \text{ m}^3$$

Le volume d'eau de pluie récupérée sur le bâtiment chercheur en 2020 est de **320.39 m³**. Nous avons déjà le volume de la cuve qui est de **34 m³**

- **Détermination des besoins en eau**

Besoin en eau Sanitaires (WC et urinoirs) = 2* Capacité des réservoirs * Nombre de jours d'ouvertures * Nombre d'usagers

Tableau 7 Besoins en eau du bâtiment chercheur

Type usage	Consommations ¹³ (l/jour/personne)	Fréquence	Nombre usagers	Ouvrable+/-260 jours/an	
				Remplaçable par une source alternative	Volume annuel d'eau nécessaire [m ³ / an]
Sanitaires (WC et urinoirs)	9 à 12 l/jour/pers.	2	28	Oui	175m ³
Douches	0,75 l/jour/pers		28	Non	Eau potable
Lavabos	3 l/jour/pers		28	Non	Eau potable
Entretien du bâtiment	1,3 l/jour/pers.	4	28	Oui	39m ³
Entretien des abords	4 l/jour/pers.	2	28	Oui	58,24 m ³
Total			28		272,24 m³

¹³ Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement

Les besoins en eau non potable sont donc de **272,24 m³** or par an pour le bat chercheur on a une consommation de **387 m³/an** fournit par la facture de régularisation donc l'eau de pluie peut combler les 2/3 de la demande en eau.

- **Étude de pré faisabilité**

C'est une étude qui peut être déterminé par un indicateur la compacité hydraulique d'un bâtiment en rapport avec ses besoins en eau tels que lien entre la densité d'occupation, la surface de collecte et le dimensionnement de la citerne de de récupération.

Nous pouvons déterminer le potentiel de récupération de l'eau de pluie d'après la formule suivante :

$$PE = \frac{\text{recupération de l'eaude pluie}}{\text{besoin en eau}} = \frac{320.39}{272,24} = 1,17 = +/-1$$

D'après le guide bâtiment durable on se retrouve dans une compacité hydraulique optimale caractérisée par :

- Valorisation optimale de l'eau de pluie collectée ;
- Rejets réduits ;
- Autonomie de 2 à 5 semaines ;
- Mauvaise gestion de l'eau de pluie.

4.1.3 Dimensionnement des pompes

- **Norme de conception**

Règles DTU 60.11 (DTU P40-202) (octobre 1988) : Règles de calcul des installations de plomberie sanitaire et des installations d'évacuation des eaux pluviales

La norme NF P 41-204 nous donne les débits de base des appareils, ainsi que la section des tuyauteries d'alimentations

Tableau 8. Débits de base des appareils selon la Norme NF P 41-204¹⁴

Désignation de l'appareil	Qmin de calcul		Diamètre intérieurs mini des Canalisations d'alimentation (en mm)
	Eau froide en mm) l/s	Eau chaude en l/s	
Evier timbre office	0.20	0.20	12
Lavabo	0.20	0.20	10

¹⁴ Traité de Plomberie, p 172, Juillet 1985

Lavabo collectif par rejet	0.05	0.05	Suivant nombre de rejet
Bidet	0.20	0.20	10
Baignoire	0.33	0.33	13
Douche	0.20	0.23	12
Poste d'eau robinet 1/2	0.33	-	12
Poste d'eau robinet 3/4	0.42	-	13
W.C avec réservoir de chasse	0.12	-	10
W.C avec robinet de chasse	1.50	-	10
Urinoir avec robinet individuel	0.15	-	Au moins le diamètre du robinet
Lave-mains	0.10	-	10
Machine à laver le linge	0,20	-	10

- **Calcul du débit**

Nous allons tout d'abord calculer le débit brut et le débit réel selon les abaques de la norme DTU 60.11 :

Tableau 9 Débit minimal des appareils (l/s)

No	Désignation de l'appareil	Nombre D'appareils	Débit (l/s)
1	Lavabo	8	3.2
2	Urinoirs	2	0.3
3	Douche	3	1.29
4	Poste d'eau robinet 1/2	3	0.99
5	Poste d'eau robinet 3/4	2	0.84
6	WC avec réservoir de chasse	6	0.72
7	Evier	9	3.6
Total		33	10.94

- **Le débit brut du bâtiment chercheur**

Soit : 33 appareils pouvant couler ensemble avec un $Q_b = 10.94/l/s$

- **Le débit réel**

Le débit réel Q_r est obtenu en multipliant le débit brut par le coefficient de simultanété Z :

$$Z = \sqrt{\frac{1}{33-1}} = 0.17$$

On a $Q_r = Q_b \times Z = 10.94 \times 0.17 = 1.90 \text{ l/s}$

La vitesse d'écoulement dans les canalisations des bâtiments est comprise entre 0,5m/s et 1m/s.

- **CALCUL DU DIAMETRE DE LA CONDUITE**

C'est la canalisation du réseau hydraulique générale vers un groupe hydrophore et ce dernier vers la citerne. La valeur du diamètre s'obtient en fonction du débit et de la vitesse.

Formule : $Q = S \times V$ ou $Q = \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) \times V$

Q = débit probable en m^3/s

S = section transversale de la conduite

V = vitesse d'écoulement de l'eau en m/s

D = diamètre en m

Avec $Q_r = 1.90 \text{ l/s}$ et $V = 1 \text{ m/s}$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1.90 \cdot 10^{-3}}{3.14 \cdot 1}} = 0.050 \text{ m}$$

$D = 0,050\text{m} \Rightarrow 50\text{mm}$

Nous allons prendre un tuyau de diamètre de 50 avec un débit de 1.90 l/s soit 7 m^3/h (166l/min) alors la perte de charge sera de 3 d'où on se trouve dans une zone verte, cela signifie que le ratio débit/taille de tuyau est correct comme illustré dans la figure ci-dessus

CALCUL DE PERTES DE CHARGE DANS LES TUYAUX - (en m de CE pour 100 mètres de tuyauterie)													
DEBIT : (m3/h)	DEBIT : (l/min)	DEBIT : (l/s)	Tuyau 15	Tuyau 20	Tuyau 25	Tuyau 32	Tuyau 40	Tuyau 50	Tuyau 65	Tuyau 80	Tuyau 100	Tuyau 125	Tuyau 150
			1/2" Ø15/21	3/4" Ø20/27	1" Ø25/34	1 1/4" Ø33/42	1 1/2" Ø40/49	2" Ø50/60	2 1/2" Ø60/76	3" Ø80/90	4" Ø102/114	5" Ø127/140	6" Ø152/165
			PE 20	PE 25	PE 32	PE 40	PE 50	PE 63	PE 75	PE 90	PE 110	-	-
0.5	8.33	0.14	9	2	0.7	0.2							
0.7	11.66	0.19	16	3	1.5	0.4							
1	16.66	0.28	33	8	2.8	1.0	0.25						
1.5	25	0.42		12	6.2	2.0	0.50	0.16					
2	33.33	0.55		20	10	3.3	0.9	0.3					
3	50	0.83			23	7.5	1.9	0.7	0.2	0.1			
4	66.66	1.10			40	12	3	1	0.3	0.2			
5	83.33	1.40				20	4.6	1.6	0.4	0.2			
6	100	1.70				28	6.5	2.5	0.7	0.3			
7	116.66	1.90					8	3	1	0.4			
8	133.33	2.20					11	4.5	1.2	0.5	0.1		
9	150	2.50					14	5	1.5	0.6	0.2		
10	166.66	2.80					17	6	1.8	0.7	0.2		
12	200	3.30						7.6	2.5	0.9	0.3		
15	250	4.20						12	3.2	1.2	0.4		
20	333.33	5.50							5.2	2.2	0.6	0.2	0.1
30	500	8.30							12	4.7	1.3	0.45	0.18
40	666.66	11.10								8	2.3	0.7	0.3
50	833.33	13.90								12	3.5	1.1	0.45
60	1000	16.70									5.0	1.6	0.6
75	1250	21.00									9.0	2.5	1.0
90	1500	25.00										3.4	1.4
105	1750	29.00										4.6	1.8
150	2500	41.70											3.8

Figure 27 : Tableau de pertes de charge. Source : <https://www.pompe-moteur.fr/blog/comment-dimensionner-une-pompe-n8>

- **Calcul de la pression ou Hauteur Manométrique Totale (HMT)**

Pression = HMT = Ha + Hr + Pc + Pr

Ha : Hauteur géométrique d'aspiration

Hr : Hauteur géométrique de refoulement

Pr : Pression résiduelle dans l'appareil le plus haut

Pc : pertes de charges moyennes, dans les tuyaux (asp + ref.).

Calcul approximatif : $Pc = 0.1 \times l_g$ des tuyaux

Avec 15 % pour les frottements

Tableau 10 Valeurs de HTM

Ha	Hr	Pc	Pr
7 m	13	(13+7) x 0.15	2 bars soit 20 m

Nous demanderons aux fournisseurs un groupe hydrophore ayant pour caractéristiques un débit = 7 m³/h et HMT= 43m

4.1.4 Evaluation de la consommation d'eau de campus

A travers les résultats montrés ci-dessous la consommation d'eau du bâtiment chercheur et du bâtiment 140 pour issu de la facture de régularisation des compteurs de la SWDE avec l'index daté du 17-05-2019 et l'index du 20-05- 2020. Ces derniers nous ont permis d'en déduire que le bâtiment chercheur consomme 387 m³ d'eau et le bâtiment 140 consomme 756 m³ d'eau. Ceci veut juste signifier que le bâtiment dispose de plusieurs postes de consommation d'eau qui sont plus nombreux que le bâtiment chercheur, qui nécessitent une demande importante en eau.

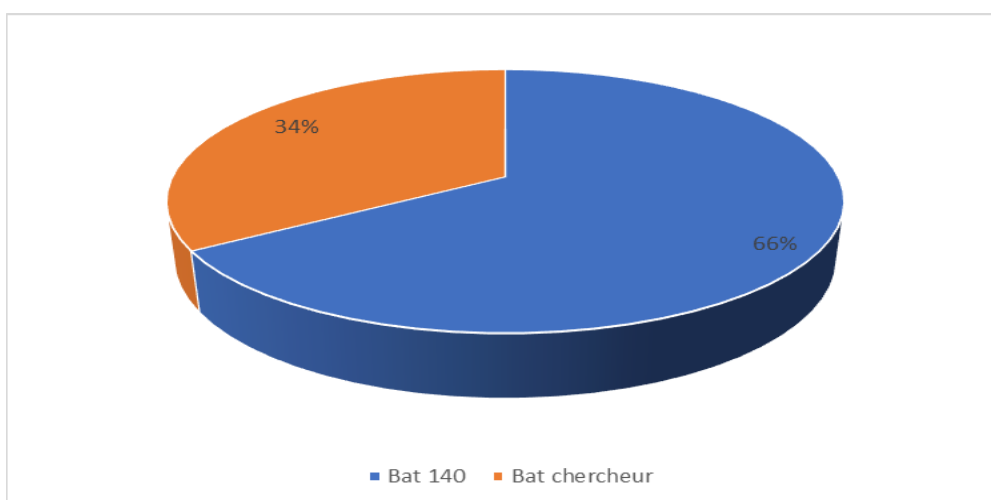


Figure 28: Consommation annuelle de 2020 en eau du campus Arlon

Les résultats précédents sont comparés aux relevés manuels des années antérieures. On constate que les consommations des bâtiments chercheur et 140 sont conformes, de l'ordre de 387 m³ pour le bâtiment chercheur et plus ou moins 756 m³ pour le bâtiment 140.

Tableau 11 Comparaison des consommations d'eau

SWDE	Bat chercheur	Bat 140
20-12-2008	28,02 m3	106,48 m3
20-03-2019	20,67	81,00
20-06-2019	33,26	38,15
20-09-2019	20,22	49,24
30-12-2019	19,90	73,07
20-03-2020	61,11	75,93
Total m3	366,36(moy*12)	847,74
17-05-2019 20-05-2020 (Facture de la SWDE)° m3	387	756

4.1.5 Comparaison des index de consommations des compteurs globaux

Le télérelève fournit des données de consommations toutes les 15 minutes des compteurs intelligents installés sur le campus, nous avons donc pu avoir accès à ces données sur une période de 8 mois (avril-novembre) qui nous ont permis de faire les différentes comparaisons que nous allons développer plus explicitement par la suite.

Les deux index de consommation d'eau des deux bâtiments ont été comparés. Il en ressort que pour le bâtiment 140 que du mois d'avril et de mai nous avons des index négatifs ce qui est impossible. Par sa définition l'index mesure le totale du volume d'eau passé ce qui nous pousse à croire qu'il y a eu des remises à zéro de l'index.

Les mois suivants on observe une variation de la consommation d'eau du bâtiment 140 avec une moyenne de 43 m³ inférieur à la moyenne de l'année 2020 qui est de 63 m³.

Cette différence est dû au fait que les index n'ont pas fonctionné pendant le mois d'avril et de mai et on peut aussi émettre l'hypothèse de la baisse des usagers dans le bâtiment qui pratiquent le télétravail.

La moyenne de consommation d'eau du bâtiment chercheur est de 31,53 m³ ce qui est juste car correspond plus ou moins à la moyenne de l'année 2020 qui est de 32,25 m³. La figure ci-après illustre la variation de la consommation d'eau du bâtiment 140 et du bâtiment chercheur fournit par le télé-relevé.

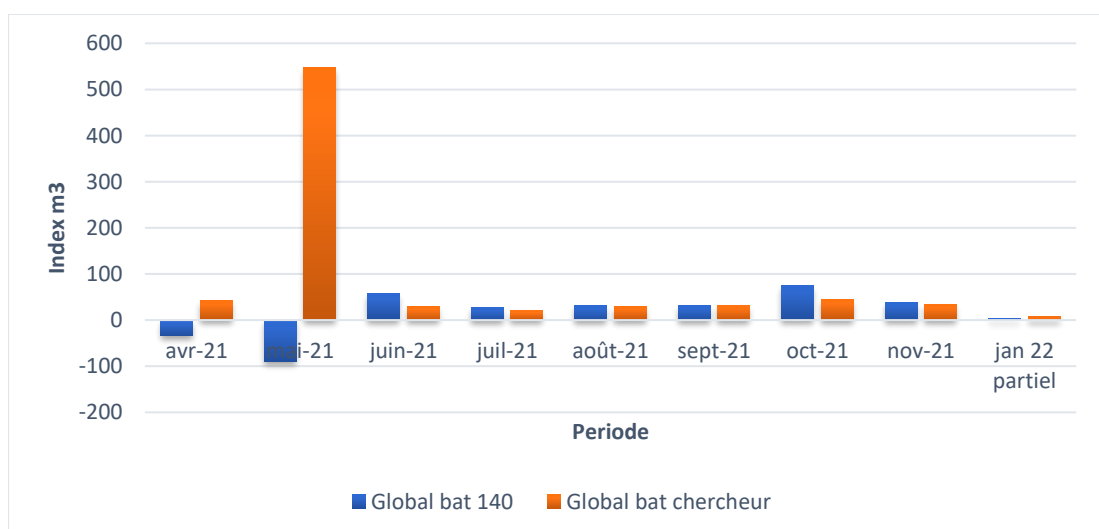


Figure 29 comparaison des index des bâtiments 140 et chercheur issu du télérelève

4.1.6 Evaluation de la consommation d'eau du bâtiment chercheur

Nous constatons un grand écart de consommation mensuelle d'eau du bâtiment chercheur entre les trois sous compteurs (eau de ville-laboratoire-bâtiment académique). Le compteur eau de ville est celui qui alimente l'eau du laboratoire et celui du bâtiment académique. De plus pour le global bâtiment chercheur a une moyenne de 31,53 m³ ce qui est dans les normes. Cette moyenne correspond à la somme des consommations (eau ville bat chercheur- laboratoire-bâtiment académique-eau de pluie) qui donne une valeur de 29,11 m³ différent de la moyenne du global bâtiment chercheur ce qui nous laisse penser qu'il y a eu une perte d'eau de 2,42 m³ dans le bâtiment chercheur.

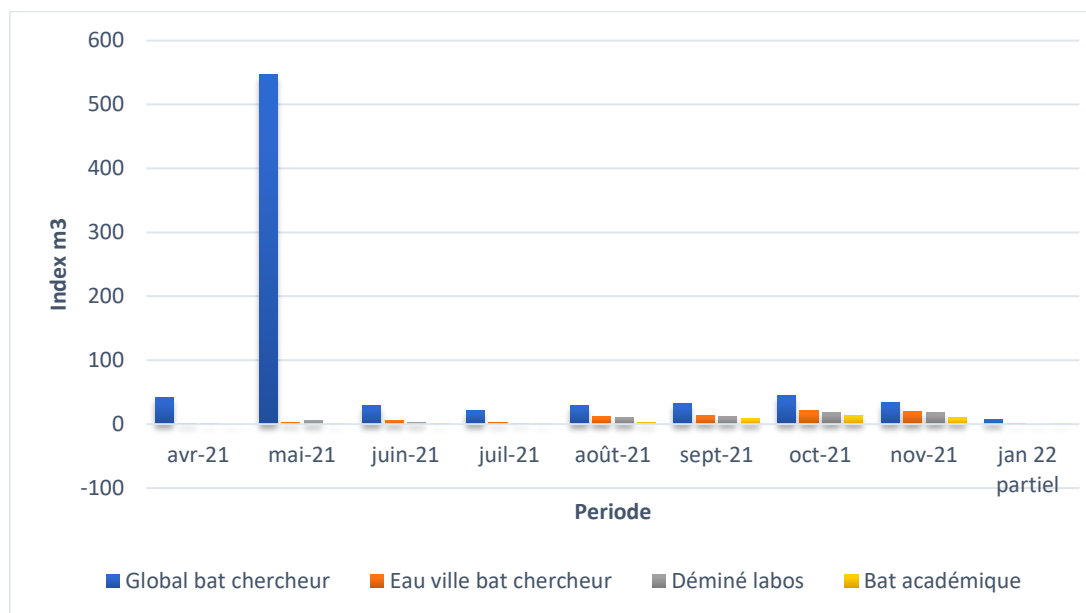


Figure 30 Index de consommation mensuelle d'eau de ville bâtiment chercheur

La figure 32 nous montre une augmentation croissante du débit d'eau de ville laboratoire ainsi que celui du bâtiment académique est observée au fur et à mesure des mois. Le débit du bâtiment académique évolue aussi de manière progressive mais presque inexistante pendant les mois d'avril jusqu'à juillet qui correspond aux vacances scolaires.

4.1.7 Évaluation de la consommation d'eau du laboratoire avec système osmose inverse

Le système d'osmose inverse consiste à la purification de l'eau ne laissant passer que les molécules d'eau. La présence de ce système au laboratoire est essentielle car permet lors de nombreuses utilisations de l'eau telles que la préparation d'échantillons, lavages des pipettes et de lavage des bains de rinçage la sécurité du matériel les mettant à l'abri de substances pouvant biaiser les résultats. La consommation semble être plus importante le

second trimestre de l'année qui ne peut être dû à une demande importante d'eau pour l'analyse des échantillons (eaux, boues et sédiments) mais qui est quasi nulle au mois de janvier sûrement à une baisse d'activité au laboratoire. La consommation moyenne du laboratoire déminéralisé d'après le télé-relevé est de 10,67 m³.

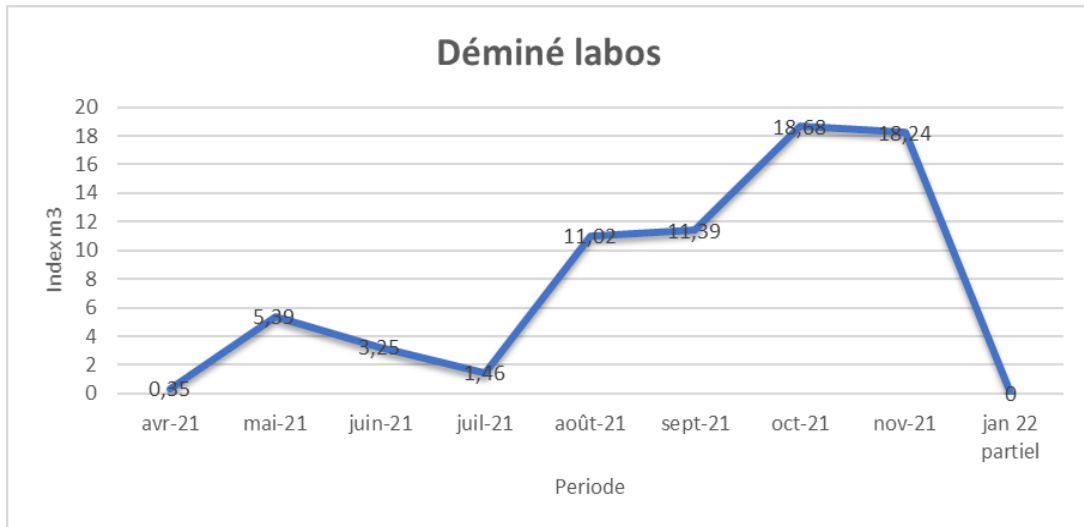


Figure 31 comparaison entre avant et après le système osmose inverse

4.1.8 Comparaison entre réseau eau de ville et eau de pluie

La variation des débits entre eau de ville et de l'eau de pluie est marquante, Il faut rappeler que le circuit eau de pluie est raccordé avec l'eau de ville (figure25) .Le premier constat qu'on observe c'est une baisse brutale de la consommation d'eau pluie entre le mois d'avril et mai qui devient constante avec une valeur de 0 m³ au cours des mois suivants (mai-novembre) ce qui est impossible puisque que c'est un circuit qui est raccordé aux toilettes qui sont opérationnelles pendant la semaine donc il y a un soucis au niveau du compteur eau de pluie qui ne fonctionne pas. La moyenne de l'eau de ville est de 12,35 m³.

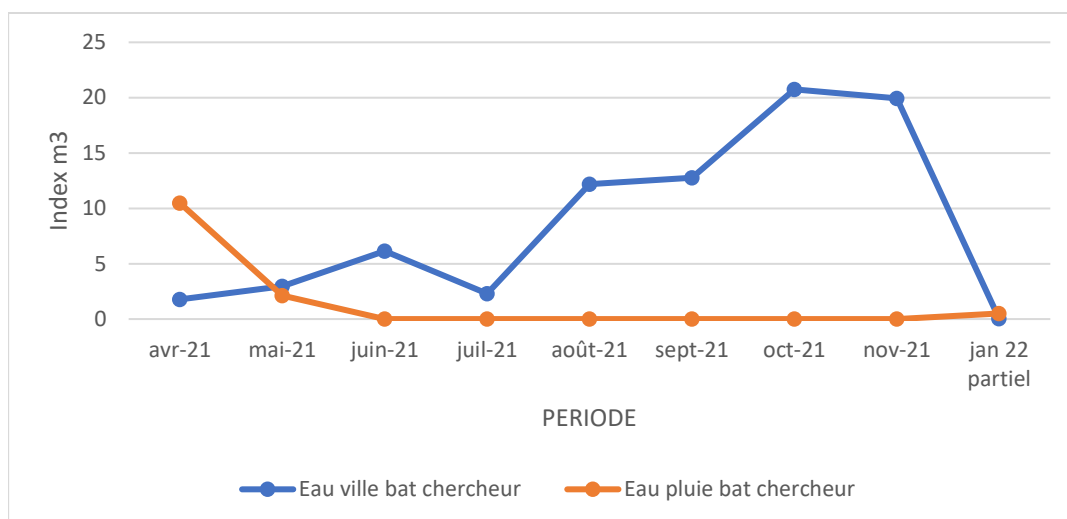


Figure 32 comparaison entre consommation eau de ville et eau de la pluie de l'année 2021

4.1.9 Consommation d'eau des différents points d'usages du bâtiment chercheur

Dans le bâtiment chercheur, les plus gros consommateurs d'eau sont les WC suivies des douches. De plus les eaux de pluie ne peuvent pas être utilisées dans les douches. Les eaux de pluie sont pour la plupart toxiques car elles contiennent des substances dangereuses pour la santé de l'homme. Pour être utilisées, elles doivent être soumises à une filtration rigoureuse. Les douches du bâtiment chercheur sont utilisées de manière occasionnelle. Sur la base de la disposition des compteurs sur le campus et leurs consommations mensuelles des différents points de consommation d'avril jusqu'à janvier nous avons pu déterminer la consommation mensuelle du laboratoire et des sanitaires.

Tableau 12: Consommation mensuelle du laboratoire, des sanitaire et eau du puit

Vérification total	Eau de ville - eau déminé = labos sans déminé	Eau de pluie - J Geelen = eau toilettes+ evier couloir+ humidificateur	Eau puit= douches+éviers toilettes + robinets techn = global-eau ville-eau pluie
V mensuel m3			
avr-21	1,44	10,36	29,93
mai-21	-2,42	2,05	542,31
juin-21	2,89	-0,15	22,86
juil-21	0,85	-0,08	18,39
août-21	1,17	-0,59	17,51
sept-21	1,37	-0,27	19,04

oct-21	2,07	-0,18	24,15
nov-21	1,71	-0,16	13,15
01/01/2022 partiel	0,24	1,93	0,64
Jan 22 estimation par mois	0,80	6,46	2,14

Le tableau 12 montre que la formule (eau de ville – eau déminé) nous donne la consommation mensuelle du laboratoire sans déminé qui est de 0,8 m³ l pour le mois de janvier. L'eau des toilettes est issue de la formule (eau de pluie -Bât J.Geelen) nous donne 6,46 m³ également pour le mois janvier .Enfin l' eau du puit correspond à la formule (global -eau ville -eau pluie) qui donne une consommation de 2,14 m³ d'eau par mois .

Toute fois pour l'eau des sanitaires on a deux débits qui sont acceptables c'est le mois d'avril et de janvier mais pour les autres mois le compteur ne fonctionnait pas d'où les valeurs négatives des index.

4.2 Discussion

Sur la base des résultats obtenus pour les paramètres indésirables (nitrites, nitrates, Mn, fer, Zn) les concentrations maximales mesurées (<0.01 mgN/L en NO₂-, <0.01 mgN/L en NO₃-, 0.156 mg/L en Mn, 25.74 mg/L en Fer, 1.08mg/L en Zn) dans les échantillons analysés sont conformes aux normes de l'OMS et de l'UE en matière de qualité de l'eau, sauf le fer, le Mn et le zinc. Les teneurs en nitrates, nitrites existe à l'état de trace ou sont nuls. Ces valeurs restent inférieures à la valeur admissible par la norme OMS qui est de 50 mg/L)(A. ayouba mahamane et al,2015) .

Néanmoins sur la base de ces concentrations nous avons constatés que le Mn a accusé d'une teneur de 0.156 mg/L alors que la norme de la directive de UE est de 0.05 mg/L , cette concentration élevée a pour impact de modifier le goût, l'odeur et la couleur de l'eau . La concentration moyenne de manganèse observée dans l'ensemble du Manitoba est de 0,5 mg/L(Avant, 2021.) .

Quant au fer, une valeur de 25.74857 mg/l supérieur à la valeur imposée par la législation qui représente aucun danger pour la santé mais pourrait entrainer une coloration brunâtre ou rougeâtre de l'eau. Cette augmentation est aussi dû au fait que les tuyaux sont en fonte (acier) l'eau ayant stagner dedans pendant plusieurs années sans être pomper elle s'est contaminée à la longue.

Pour le zinc de l'eau du puit est de 1.08164 µg/l supérieur à la norme légale maximale pour la quantité de zinc dans l'eau qui est de 0.2 mg/l. C'est un des métaux les moins toxiques et les problèmes de carence sont plus fréquents et plus graves que ceux de toxicité (Ricardo, 2013). L'OMS recommande comme valeur limite pour le zinc 3 mg/L(OMS,2006).

D'autres auteurs qui ont écrit sur la problématique de la qualité de l'eau ce qui a permis de mettre à jour des résultats qui s'assimilent à ceux de la présente étude. Wanélus (2016) a mesuré dans la région métropolitaine de Port-au-Prince des concentrations qui varient de 0.002 à 0.018 mg/L en Cu, de < 0.015 à 0.35 mg/L en Zn, et de <0.015 à 0.066 mg/L en Fe. Makoutode et al (1999) au Benin ont mesuré le fer et le manganèse dans les eaux de puits de la sous-préfecture du Grand-Popo. Pour le fer et le manganèse, la concentration mesurée a varié de 0 à 1 mg/L.

La plupart du temps une contamination au manganèse s'accompagne avec le fer la méthode de traitement physico chimique dans 2 filtres fermés est la déferrisation biologique (injection de permanganate, javel et chaux) suivit d'une démanganisation avec du mangagran. Les méthodes de traitement efficaces pour baisser la concentration Zn sont l'adsorption et l'échange des cations. L'élimination de ces métaux (le fer, le Mn et le zinc) permettra une possible utilisation de l'eau de puit sans danger pour l'homme et pourra subvenir aux besoins de des différents usages tels que douches, éviers toilettes, robinets techniques) favorisant une économie de l'eau potable du campus.

Le bilan de la consommation d'eau dans le campus a montré que le bâtiment 140 consomme plus le bâtiment chercheur ceci est confirmé à travers la facture de régularisation de 2020 et les données de télé-relevé. Après l'analyse des données des compteurs intelligents de différents secteurs de consommations d'eau du bâtiment chercheur fort est de constater que la source alternative eau de pluie que nous cherchons à valoriser ne fonctionne pas.

Ce dysfonctionnement est causé par le fait que la citerne en béton présente des problèmes d'étanchéité, actuellement la distribution hydraulique du bâtiment chercheur est assurée par l'eau de ville.

Pourtant l'utilisation de l'eau de pluie dans un bâtiment est avantageuse pour diverses raisons : une raison écologique puisse que l'usage de l'eau de pluie permette de moins solliciter les nappes phréatiques. Cette eau est naturellement douce, sans calcaire, ce qui permet de moins utiliser de produits nettoyants et de rejeter une eau usée moins polluée (Vos, 2010), raison économique son utilisation exercera une influence sur le coût de la facture d'eau.

Par ailleurs, la récupération des eaux de pluie, si elle est répandue, permet de lutter contre les inondations : elle limite l'évacuation des eaux pluviales par le réseau d'égouts, ce qui limite le

débordement des stations d'épuration des eaux usées et la diminution de leur rendement par dilution de l'effluent en temps de pluie (Bonneau, 2002).

L'eau de pluie peut subvenir à l'alimentation des toilettes, de l'arrosage et des usages divers, soit environ 50 % des besoins quotidiens (Vos, 2010). Géographiquement c'est la ressource alternative idéal puisse qu'on se trouve dans un pays où il pleut la-quasi moitié de l'année.

L'eau récupérée est utilisée pour alimenter les chasses d'eau des toilettes (et, le cas échéant, des urinoirs), au travers d'un réseau spécifique de desserte. Il s'agit de loin l'usage le plus répandu, puisqu' il concerne près de deux tiers des projets recensés (Gouvello et al., 2012).

5 Recommandations

5.1 Le cuvelage

Pour le traitement de l'étanchéité des murs enterrés pour que la citerne puisse conserver l'eau pluie et éviter toute infiltration d'eau extérieure dans le stockage que ce soit par les joints et les tuyauteries. Tout ceci dans le but de garder l'eau la plus propre et saine possible, la solution efficace et définitive est le cuvelage.

Définition cuvelage

Le cuvelage désigne à la fois les matériaux et les techniques utilisés pour consolider une construction souterraine et créer une protection étanche contre les eaux et les infiltrations par pression hydrostatique (Diab, 2017).

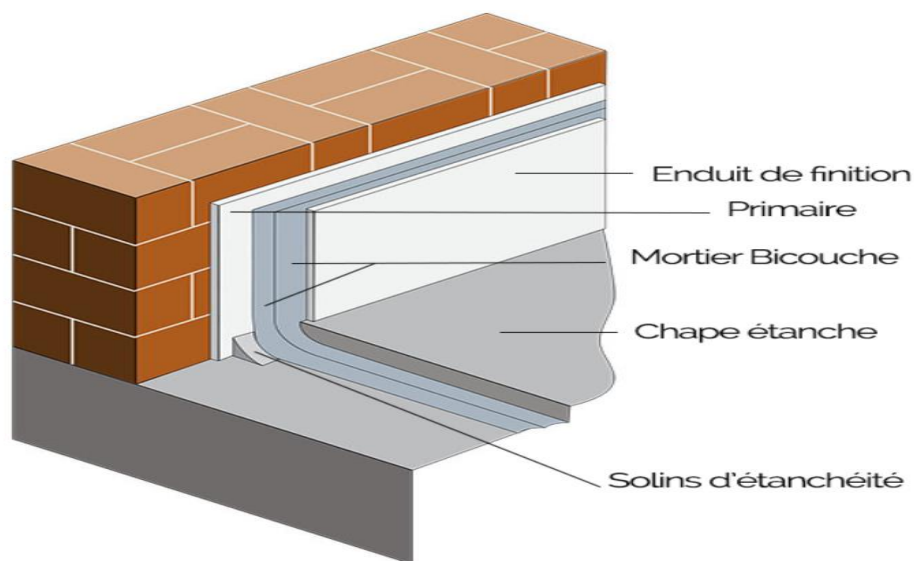


Figure 33 cuvelage. Source <https://www.btr29.com/traitement-humidite-maison/murs/cuvelage-cave-sous-sol/>

Aspect réglementaire

Actuellement, en Belgique le terme cuvelage dans la réglementation intervient dans « Arrêté du Gouvernement wallon du 4 mars 1999 modifiant le titre III du Règlement général pour la protection du travail en insérant des mesures spéciales applicables à l'implantation et l'exploitation des stations-service (M.B. 11.06.1999) » et en France les méthodes de calculs des infrastructures en contact avec une nappe d'eau est le DTU 14.1 « travaux de cuvelage », qui est une spécificité française. Ce DTU 1 définit des règles supplémentaires essentielles au calcul de l'enveloppe structurelle soit au niveau de limitation des contraintes des matériaux utilisés, soit au niveau des dispositions constructives minimales (Diab, 2017).

Procédés

La mise en place d'une structure étanche peut se dérouler de plusieurs façons. Il se constitue globalement d'une enveloppe structurelle complétée éventuellement par des systèmes d'étanchéité.

Le DTU 14.1 (Norme NF P 11.221) « travaux de cuvelage » envisage trois méthodes permettant de pratiquer un cuvelage :

- Cuvelage à structure relativement étanche.
- Cuvelage avec revêtement d'imperméabilisation.
- Cuvelage avec revêtement d'étanchéité.

Toutefois la méthode qui nous concerne pour la rénovation de notre citerne enterrée est le cuvelage avec revêtement d'étanchéité.

5.1.1 Cuvelage avec revêtement d'étanchéité

L'étanchéité est réalisée par un revêtement plastique, élastoplastique ou élastique appliqué à l'intérieur de la structure résistant aux poussées de l'eau. On peut noter que ce revêtement est le plus souvent mis en œuvre en indépendance sur la structure résistante et que c'est alors la pression de l'eau qui l'applique sur celle-ci. Ce type de cuvelage est étanche à l'eau liquide et à la vapeur (DTU 14.1).

Les étapes du cuvelage

Le cuvelage d'une citerne se déroule en plusieurs étapes :

- La vidange de la citerne ;
- Nettoyage à haute pression des parois du sol ;
- Evacuation des résidus ;
- Préparation du support sur l'ensemble à traiter : le décapage du support permet de travailler sur une surface nette et garantit le bon fonctionnement de l'assèchement ;
- Une réalisation de bandes solins avec un enduit étanche à base de ciment va permettre de bloquer les points de pressions de filtration dans tous les angles ;
- Afin d'éviter la migration des sels et des nitrates à sur la surface intérieure du mur on applique par pulvérisation une solution aqueuse ayant une propriété de convertisseur et neutralisateur de sels hygroscopiques ;
- Traitement de la surface humide avec de la poudre X qui permet de réaliser un équipage de l'eau qui s'infiltré sous pression ;

- Application avec un badigeon sur la surface du mur, un mélange constitué d'un enduit sec à base de ciment et d'un additif d'adhérence légèrement dilué afin d'obtenir une barbotine d'environ 5kg/m² ;
- Pour finir il faut appliquer une couche de finition d'environ 20 kg/m² enduit sec à base de ciment pur époxydique bi-composant qui assure l'étanchéité et la protection des murs.

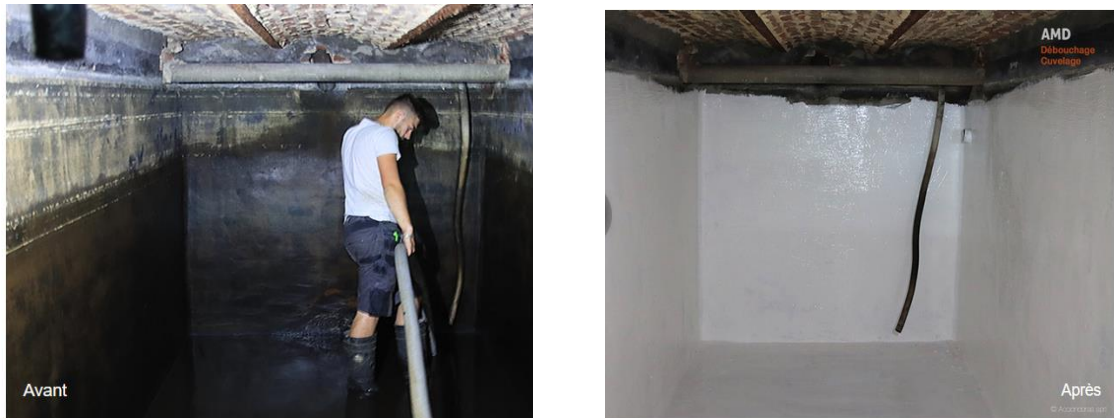


Figure 34: avant et après du cuvelage d'une citerne d'eau. Source <https://www.amd-debouchage.be/prix-d-une-renovation-par-un-cuvelage.html>

Avantages et inconvénients du cuvelage

Le cuvelage est une technique qui protège le mur contre l'humidité et les infiltrations, il est la solution idéale anti-humidité très rapide des murs enterrés avec des délais de réalisation très limité d'environ 3 à 4 jours. Cependant il peut arriver que des murs présentent des taux excessifs d'humidité, le cuvelage doit donc s'accompagner d'autres solutions telles que : le drainage, l'installation de membrane étanche etc.

5.1.2 Devis estimatif

Pour la réalisation d'un cuvelage il faut faire appel à des professionnels donc la structure possède une attestation de conformité sanitaire. Notre choix s'est donc porté sur l'entreprise AMD DEBOUCHAGE spécialiste traitement et réhabilitation des citernes d'eau en Belgique.

Tableau 13 Devis cuvelage de la citerne

	Prix hors tva
Nettoyage complet (vidange, nettoyage sous pression et la vérification complète de l'état de la citerne.)	2674 € HT
Rénovation de la citerne à eau	3626 € HT
Total	6300 € HT

Le coût global du projet est estimé à **six mille trois cents centimes** euros hors TVA pour une citerne de 34 m³. Un devis qui semble élevé mais qui nous permettra de faire un bénéfice efficace à long terme.

L'eau de pluie est beaucoup moins coûteuse que l'eau du robinet. La rénovation de la citerne représente certainement un montant excessif au départ, néanmoins dès lors qu'on utilise de l'eau gratuitement, on aura déjà récupéré ces frais d'ici quelques années.

5.1.3 Système de filtration

Pour optimiser notre système on devrait installer des filtres qui ont pour rôle de débarrasser l'eau de pluie de ses impuretés.

- Avant l'entrée de l'eau dans la citerne on place des « filtres à feuilles » encore appelé filtre primaire ou préfiltre. Il s'agit d'un simple filtre en éponge dans une chambre de visite rendant possible de recueillir les feuilles d'arbres et empêche par la même occasion que des petits animaux tels que des oiseaux, des souris ou des grenouilles entrent dans la citerne.
- A la sortie de la pompe on place un filtre de 5 à 25 microns. Il emprisonne les particules fines. Cette eau est alors idéale pour les toilettes. La mise en œuvre de ce filtre avec un filtre à charbon actif ou un filtre UV assurera une eau excessivement convenable. Cependant l'eau de pluie n'est pas de l'eau potable et ne doit pas être utilisée pour l'hygiène personnelle. L'eau peut alors être utilisé pour les usages domestiques tels que la lessive, les entretiens des bâtiments et des abords et les wc etc...



Figure 35: les filtres eau de pluie. A gauche préfiltre, au droite filtre à 20 micros Source ecoconso.be

5.2 Présentation des dispositifs favorisant les économies d'eau

La mesure la plus efficace en termes de réduction de l'impact environnemental lié à la consommation d'eau reste la réduction des consommations à la source, et notamment sur les locaux sanitaires (chasses des WC et des urinoirs).

En effet, en diminuant les consommations d'eau sur les WC, on freine d'une part la consommation d'eau potable par la même occasion le volume d'eaux usées à épurer. De plus, la récupération d'eau de pluie serait mieux valorisée et l'installation rationalisée.

Selon IBGE¹⁵ l'utilisation d'une ressource alternative dans les bureaux permet de faire des économies de l'eau à raison de :

- WC : 30-40 %
- Bains et douches : 0-15 %
- Urinoirs : 10-15 %
- Lavabos 10-20 %
- Vaisselle : 5-15%
- Entretien du bâtiment : 5-15%
- Entretien des abords : 5-10%

L'économie de l'eau potable passe par deux phases : une économie active et une économie passive.

Economie active : il s'agit ici de la sensibilisation des usagers en les stimulant à changer leurs habitudes quotidiennes et à assimiler des gestes économes.

¹⁵ Institut bruxellois pour la Gestion de l'Environnement

Economie passive : produit par la mise en place d'équipements hydro économes, surveillance et maintenance. Le bénéfice en termes d'économies se fait ressentir à court terme en outre il est primordial de s'assurer du bon entretien des installations.

5.2.1 Dispositifs à économie d'eau pour la robinetterie

Le réducteur de pression

Comme son nom l'indique c'est un régulateur de pression c'est un appareil qui assure un écoulement constant et garantie une sortie d'eau avec une pression inférieure à la pression d'entrée. Le but de ce système est d'empêcher les bruits de canalisations et de réduire l'usure des robinets.

Le mousseur hydro-économe ou réducteur de débit

Cet appareil pour éviers et lavabos a pour rôle de réduire le débit d'eau en passant de 12 à 8 l/min (pour une pression à 3 bars) il est placé en sortie de robinet.). 30 % à 50 % d'eau. Peut-être économiser.

Le mitigeur thermostatique

C'est un appareil qui permet de régler la température, réduire le temps de recherche de la bonne température et limite le débit d'eau. En plus d'économiser l'énergie et l'eau, ce système propose plus de bien-être en limitant les risque de brûlures et baisse également la consommation d'eau de 10 % à 30 %.

Type de robinet	Illustration	Prix	Consommation d'eau (l/min)	Remarques	Amortissement
Robinet normal		A partir de 10 €	Jusqu'à 30		
Mitigeur		25 - 75 €	6	L'intérêt des mitigeurs est de limiter le temps de recherche de la bonne température	Immédiat
Robinet thermostatique		A partir de 100 €	6	Ces mitigeurs maintiennent de façon précise la température de l'eau	Immédiat
Robinet à fermeture automatique		55 à 200 €	6	Il faut prévoir des réglages de la temporisation qui peut se dérégler avec le temps	Immédiat

Figure 36 Dispositifs à économie d'eau pour la robinetterie <http://www.hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/dispositif-favorisant-economies-eau-sanitaires.php>

Pommeaux de douche économes

Une douche classique consomme 20 litres d'eau par minute en comparaison avec une douche économe qui parvient à réduire la consommation d'eau de 6 à 9 litres par minute ce qui fait une économie minimum de 50%.

5.2.2 Dispositifs pour les toilettes

La mise en œuvre de toilette à économie d'eau révèle d'un ensemble de dispositions correspondant à la nécessité de manager l'eau de manière durable, face aux changements climatiques et à l'augmentation de la population. Effectivement, cette mesure demeure la plus infaillible en termes d'atténuation de l'impact environnemental lié à la consommation d'eau.

Gros consommateurs d'eau dans les bureaux, les WC utilisent à eux seuls 30 à 40 % de l'eau potable de la maison, soit 9 à 12 litres à chaque utilisation avec une chasse d'eau classique. Les nouvelles toilettes économes avec double commande disposent d'un réservoir de rinçage de 3 litres.

Urinoirs à rinçage économique : Si 5 rinçages de 9 litres d'une chasse classique sont remplacés par 2 rinçages de 6 litres et 3 rinçages de 3 litres, 24 litres d'eau sont économisés, soit 53%¹⁶.



Type de toilette	Prix	Consommation d'eau (m ³ / pers /an)	Illustration	Amortissement*
Réservoir 12 l	200 €	26		
Réservoir 6 l	250 €	13		Immédiat
Réservoir 6 l à double touche	300 - 500 €	6		Immédiat
Réservoir 2.5 à 4 l avec accélérateur de débit pour l'évacuation	300 € + 150 € pour le booster	6		Immédiat
Urinoir normal	165 €	5.5		Immédiat

Figure 37: Dispositifs à économie d'eau pour les toilettes <http://www.hqe.guidenr.fr/cible-5-hqe/dispositif-favorisant-economies-eau-sanitaires.php>

¹⁶ <https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/toilette-a-chasse-double-touche.html?IDC=7463>

Conclusion et perspective

L'objectif de cette étude était de faire un bilan de l'utilisation de l'eau, réduire la consommation d'eau et de contribuer à l'optimisation de l'économie d'eau du Campus d'Arlon. Ce bilan a été effectué au travers d'une technologie innovante le télérelève des compteurs d'eau qui a permis d'évaluer la consommation d'eau des bâtiments du campus d'Arlon. Le campus est approvisionné par l'eau de ville fournie par la SWDE et dispose de deux sources alternatives eau de pluie et eau du puit. Le résultat des bilans a mis en évidence le fait qu'il y a un dysfonctionnement au niveau du compteur eau de pluie.

Le campus comprend un système de récupération et de réutilisation de l'eau de pluie dans le bâtiment chercheur et un puit situé dans le bâtiment jésuite mais qui ne fonctionnent pas. Il était question dans ce travail de proposer des solutions pour réduire la consommation d'eau de ville du bâtiment chercheur en valorisant les sources alternatives.

Le système de récupération de l'eau de pluie du bâtiment chercheur permet de récupérer 320,39 m³ d'eau par an ce qui est amplement suffisant pour combler les besoins en eau potable et le rendre 100 % autonome à l'année pour tous les usages domestiques tels que l'eau des toilettes, urinoirs etc...Mais pour que cela soit possible il faudrait réhabiliter la citerne en béton qui soumise à un devis estimatif reviendrait à 6700 euros hors TVA pour une citerne de 34 m³ ainsi que un système de filtration pour éliminer les impuretés avant et à la sortie de la citerne. Pour une récupération d'eau pluviale de 320,39 m³, l'établissement réalisera une économie de 1966,07 euros avec un taux d'amortissement de 4,2 ans. Le télérelève du compteur d'eau de pluie donne deux mois avec des débits acceptables, le mois d'avril et de janvier qui représentent 100,92 m³ d'eau économisée.

Les résultats des analyses physico chimiques de l'eau du puit ont montré un fort taux de concentration des paramètres tels que le Fer, le Zn et le Mn. Un traitement à base de filtre au charbon actif éliminera ces substances de l'eau de puit pour être réutilisée dans le système. Il faut souligner également que l'échantillonnage n'était pas conforme car techniquement impossible.

Le bâtiment chercheur consomme annuelle 387 m³, l'utilisation de ses sources alternatives contribuerait fortement à réduire la consommation d'eau et le rendre autonome. Il serait donc primordial de réhabiliter la citerne enterrée et traiter l'eau du puit du campus pour pouvoir mieux les valoriser.

BIBLIOGRAPHIE

- A. AYOUBA MAHAMANE et B. GUEL .,2015. Caractérisations physico-chimiques des eaux souterraines de la localité de Yamtenga (Burkina Faso) ,ISSN 1991-8631
- Abdelkrim Guebail ,2017. Doctorat en sciences en : Hydraulique Intitulé Approche non conventionnelle (récupération des eaux de pluie des toits des maisons). Abdelkrim Guebail.
- Akil A., Hassan T., Fatima E. H., Lahcen B., Abderrahim L., 2014. Etude de la qualité physicochimique et contamination métallique des eaux de surface du bassin versant de Guigou,Maroc.11p.
- Assaad, A. ,2018. Pollution anthropique de cours d ' eau : caractérisation spatio-temporelle et estimation des flux Aziz Assaad To cite this version : HAL Id : tel-01750762 soutenance et mis à disposition de l ' ensemble de la Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr.
- ATSDR ,2004. Toxicological profile for copper, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA, 1-265. Accessible au : www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=206&tid=37(le lien est externe). Consulté le 18 octobre 2021.
- Avant, L. (n.d.). La présence de manganèse dans l'eau de puits au Manitoba. www.bvlabs.com avec prudence. Le Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment, N° 5287, p78-82
- Ayache, L. (2016). T hèse.
- AYADE WISSAM. ,2007. .Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'el-harrouche (wilaya de Skikda)
- Belghiti M. L., Chahlaoui A., Bengoumi D., El Moustaine R. 2013. Etude de la qualité physicochimique et bactériologique de la nappe plio-quadernaire de la région de Meknès (Maroc).16p.
- Belgique, E. ,n.d.. Les ressources alternatives à l'eau de distribution. 1–10.
- Belmeziti, A. ,2012. Impact potentiel de l ' utilisation de l ' eau de pluie dans le b^ atiment sur les consommations d ' eau potable ` a l ' ´ echelle urbaine : le cas de l ' agglom ´ eration parisienne Manuel PRUVOST-BOUVATTIER.
- Belmeziti, A., Eau, R. D., Dans, D. E. P., & Contexte, L. E. ,2009. Elaboration d'un modèle prévisionnel de développement de la récupération d'eau de pluie dans le contexte de l'Île-de-France. 8ème Congrès International Gruttee.
- Bregnon, R., Chambolle, M., Domergue, M., Forestier, S., de Gouvello, B., Huau, M.-C., Lary, L., Le Pen, N., Loubiere-Desortiaux, B., Lovera, M., Manent, J.-L., Maytraud, T., Monier, L., Morice, E., Muller, C., Orditz, D., Quillien, R., Sauty, D., Sénéchal, C., ... Veiga, L. T. ,2015. Récupération et utilisation de l'eau de pluie. Techniques Sciences Méthodes, 4, 17–69. <https://doi.org/10.1051/tsm/201504017>
- Cal EPA ,2008. Public health goal for copper in drinking water, California Environmental Protection Agency, Office of Environmental Health Hazard Assessment; Pesticide and Environmental Toxicology branch, Oakland, California, 1, 70. Accessible au : oehha.ca.gov/water/phg/pdf/CopperPHG020808.pdf(le lien est externe). Consulté le 18 octobre 2021.
- Canada, A., & River, C. ,1987. Le manganèse. 1979.

Chéron, 2004. Comparaison financière des solutions avec et sans réutilisation des eaux pluviales Conference, Texcoco, Mexico, August 2003. consommation de la ville de bamako. www.keneya.net/fmpos/theses/2002/.../pdf/02P49.pdf - Mali. Consulté 17-10-2021

Cornut. P et Marissal. P,2007,. « La parabole de la citerne d'eau de pluie ou les contradictions des comportements écologiques anti-sociaux ». Environnement et inégalités sociales, Bruxelles, Editions de l'Université de Bruxelles, 2007. URL:http://digistore.bib.ulb.ac.be/2011/i9782800413969_000_f.pdf

Coulibaly L, Diomandé D, Coulibaly A, Gourène G. 2004. Utilisation des ressources en eaux, assainissement et risques sanitaires dans les quartiers précaires de la commune de Port-Bouët (Abidjan; Côte d'Ivoire). VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement, 5:(3)

Cunliffe. D.A.,1998, « Guidance on the use of rainwater tanks ». National Environmental Health Forum Monographs, Water Series No. 3.nOpenbook Publishers, 1998. Australia.

Datar. R.,2006. « Designing and implementing rainwater harvesting systems for industries - case study from Mumbai ». 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)", 21st-23rd November, 2006, Bangkok, Thailand.

De Gouvello. B,2010, « La gestion durable de l'eau : gérer durablement l'eau dans le bâtiment et sa parcelle ». Livre guide pour bâtir le développement durable. Editions CSTB. Novembre 2010

De Villers, J., Squilbin, M., & Yourassowsky, C. ,2005. Les données de l'IBGE : "L'eau à Bruxelles." 16.

Diab, H. ,2017. Étude de l' infrastructure d' un bâtiment vis-à-vis l' éventuelle remontée d' eau souterraine (crue) et la mitoyenneté des bâtiments existants Houssam Diab To cite this version : HAL Id : dumas-01664812.

DTU (Development technology Unit) (2002) Very Low cost Domestic Roof water Harvesting in the Humid Tropics : existing practices. Programme de recherché finance par le DFID

E.2001(a). « Rainwater and greywater use in buildings: best practice guidance ». CIRIA report C539, London.

Environment Agency ,2007. « Water resources: rainwater reuse ». 2007. Online article from Environment Agency website: http://www.environmentagency.gov.uk/subjects/waterres/286587/286911/548861/861599/?version=1&lang=_e

Est, Q. U., & Que, C. E. (2014). POURQUOI ET COMMENT L' UTILISONS - NOUS ?

Fewkes. A. ,(2006),« The technology, design and utility of rainwater catchment systems. In: Butler ». Water Demand Management. IWA Publishing. London 2006. pp27-61.

Fewkes. A.,(1999 (a)), « Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach », Building and Environment. 1999. Vol. 1 (Issue 4): p 323-333.

François. C et Hilaire. B ,2000. « Eau potable et sanitaire : Guide pour les économies d'eau ». CSTB 2000

Frédéric Lasserre, 2009, Écologie, irrigation, diplomatie, comment éviter les guerres de l'eau. L'eau au coeur des conflits du xxe siècle, Paris, Éditions Delavilla, 371 p.

Gould. J. & Nissen-Peterson. E.,1999. « Rainwater catchment systems for domestic supply: design, construction and implementation ». Intermediate Technology Publications, London 1999.

Guergazi S, Achour S. ,2005. Caractéristiques physico-chimiques des eaux d'alimentation de la ville de Biskra. Pratique de la chloration. Courrier du Savoir, 6: 53.

Guide méthodologique ,2008. « Analyse et réduction des consommations d'eau dans les établissements tertiaires ». CREAQ, 2008. URL : http://www.energies-davenir.com/bibliothequeea/eau/reduction_conso_eau_tertiaire.pdf

Hirsh, S., Boyle, B., Lamprianou, J., van Veen, K., Slegers, P., Mchunu, H., Steyn, G. M. G., Word Health Organization, 石井信一, Gerden dan Grave, Lessing, A., Witt, M. De, Scheerens Jaap, & Steyn, G. M. G. (2010). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title. Africa Education Review, 15(1), 156–179. <http://epa.sagepub.com/content/15/2/129.short%0Ahttp://joi.jlc.jst.go.jp/JST.Journalarchive/materia1994/46.171?from=CrossRef>

Hounsounou, E. O., Agassounon Djikpo Tchibozo, M., Kelome, N. C., Vissin, E. W., Mensah, G. A., & Agbossou, E. ,2017. Pollution des eaux à usages domestiques dans les milieux urbains défavorisés des pays en développement: Synthèse bibliographique. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 10(5), 2392. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i5.35>

IPCC (2001a). Climate Change 2001: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I,II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.Cambridge: Cambridge University Press

Jenkins. D., Pearson. F, Moore. E., Sun J. K., & Valentine. R,1978 ,. « Feasibility of rainwater collection systems in California ». Contribution No. 173. Californian Water Resources Centre, University of California. 1978.

Jennie Barron, 2009, Rainwater Harvesting: A Lifeline for Human Well-being , Stockholm Environment Institute, United Nations Environment Programme UNEP/Earthprint, - 69 pages

Konig. K. W.,(2000), "Rainwater utilisation. In: Technologies for Urban Water Recycling". Cranfield University. 2000

La, L. (1987). Le magnésium. 1978, 9–12.

Lazarova, Valentina & Hills, S. & Birks, R.. ,2003. Using Recycled Water for Non-Potable, Urban Uses: A Review with Particular Reference to Toilet Flushing. Water Science and Technology: Water Supply. 3. 10.2166/ws.2003.0047

Leclerc, M.-C., & Pascale, S. (2008). L'eau, une ressource durable ? Questions Ouvertes, 1–125. <http://www.crdp-montpellier.fr>

Leggett et al. 2001. Leggett, D.J., Brown, R., Brewer, D., Stanfield, G. & Holliday,

Levallois P. et Phaneuf D. 1992. Les risques associés à la contamination de l'eau potable par les nitrates. Bulletin d'information en santé environnementale. Centre de santé publique de Québec. Volume 3 - No 3. 18p.

Maïga, A. S. ,2005. Qualité organoleptique de l'eau de consommation produite et distribuée par l'E.D.M. . Sa dans la ville de Bamako : évaluation saisonnière. Thèse de l'Université de Bamako, 1–77.

- Makoutode M., Assani A. K., Ouendo E. M., Agueh V. D., Diallo P. 1999. Qualité et mode de gestion de l'eau de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand Popo. 7p
- Marie Francois. 2006. «La pénurie d'eau en Espagne : déficit physique ou socio-économique ?». Géocarrefour, vol 81/1, p. 25-35
- Marsily G. de, sous la dir. ,2006. Académie des Sciences. Les eaux continentales. Rapport sur la Science et la Technologie n° 25. Paris : EDP sciences. 328 p
- Mekonnen et Hoekstra , 2016, Quatre milliards de personnes confrontées à une grave pénurie d'eau, PROGRÈS DE LA SCIENCE ,12 Fév 2016 ,Vol 2, Numéro 2 sur <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1500323> consulté le 03-10-21 à 13h46
- Micheau A., 2007.
- Molinie L. 2009. Dispositifs rustiques d'alimentation et de traitement de l'eau potable pour des services de petites tailles en régions défavorisées. Synthèse Technique. Agro Paris Tech – Engref, p. 28
- Oboulo. (n.d.). L'eau douce sur Terre : politiques de gestion de l'eau et aspects géopolitiques. Office International de l'Eau, 2008.
- OMS (World Health Organization). ,2011. Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition. Geneva. 564p
- OMS (2004) Copper in drinking-water, Background document for the development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality, Organisation mondiale de la santé, Genève, WHO/SDE/WSH/03.04/88, 1-23. Accessible au : www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/copper.pdf(le lien est externe). Consulté le 18 octobre 2021
- Orelien, F. (2017). Etude de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine dans le sous-bassin versant de Ravine Diable (Anse-a-Veau). 85.
- Prevedello, C. ,2007. L' utilisation de l' eau de distribution en Région Wallonne. Distribution.
- Prevedello, Cédric. ,2006 La Qualité de l'Eau de Distribution. Distribution, 44.
- RéFÉA. (n.d.). Critères Physico-Chimique. 2020, 1–26.
- Rejsek, F., ,2002. Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques. Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine (CRDP). Bordeaux. 358 p.
- Ricardo Nolasco A., 2013. Évaluation de la contamination actuelle de métaux lourds et certains composés organiques persistants chez des poissons d'intérêt sportif du Fleuve Saint-Laurent à Québec. Essai présenté au Centre universitaire de formation en environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.). 83 p
- Rodier J., Legude B., Merlet N. et coll, 2009. L'analyse de l'eau. 9th Edition. Dunod.1579p.
- Rodier, J., 1996. L'analyse de l'eau. Dunod, Paris.
- Roebuck R M.,2007, « A WHOLE LIFE COSTING APPROACH FOR RAINWATER HARVESTING SYSTEMS: An investigation into the whole life cost implications of using rainwater harvesting systems for non-potable applications in new-build developments in the UK". A thesis submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of

Philosophy. School of Engineering, Design and Technology University of Bradford. 2007. URL : http://sudsolutions.co.uk/phd_thesis.htm

Samake, 2002. Analyse physico-chimique et bacteriologique au L.N.S. Des eaux de Santé Canada ,1992, Le nitrate et le nitrite. Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada - Documentation à l'appui, Accessible à: www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/water-eau/nitrate_nitrite/index-fra.php(le lien est externe), Consulté le 11 janvier 2022.

Secretariat, E. ,2017. La Charte De L ' Eau Du.

STIB. ,2016. Statistiques 2016.

V. Lazarova, S. Hills, R. Birks;2003, Utilisation de l'eau recyclée pour des usages urbains non potables : une revue avec une référence particulière à la chasse d'eau des toilettes. Approvisionnement en eau 1er août 2003; 3 (4) : 69-77. doi : <https://doi.org/10.2166/ws.2003.0047>

Vanclooster, M. ,2021. / ACTUALITÉ Journée mondiale de l ' eau - Quelle.

Vialle, C. ,2011. Etude du comportement hydraulique, physico-chimique et microbiologique d'un système de récupération d'eaux de toiture. Evaluation de l'empreinte environnementale. Institut National Polytechnique de Toulouse.

Vos, L. ,2010. La citerne d ' eau de pluie.

Wanélus F. ,2016. Caractérisation physico-chimique de l'eau destinée à la consommation humaine dans la Région Métropolitaine de Port-au-Prince, Haïti. Travail de Fin d'Etudes. 64p

Wu et al, 2003. Wu. C., Junqi. L., Yan. L & Wenhai. W. « First flush control for urban

Webographie :

<http://tpesurleau.free.fr/l-inegale-repartition-de-l-eau-dans-le-monde.php>

<https://www.geo.fr/histoire/eau-33278>

<https://www.cieau.com/connaitre-leau/la-pollution-de-leau/pollution-ressource-eau-comment-reduire/>

http://ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html

http://ec.europa.eu/environment/water/water-urbanwaste/legislation/directive_en.htm

http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/index_en.html

http://www.sagemayenne.fr/wp-content/uploads/2015/07/guide-ecodeau-collectivités_réduit.pdf

http://www.eptb-vienne.fr/IMG/pdf/Guide_Eco_Eau_allege.pdf

http://www.eau-loire-bretagne.fr/espace_documentaire/documents_en_ligne/guides_economies_deau/economie_eau_habitat.pdf

<https://fr.climate-data.org/europe/belgique-233/>

<https://www.bigmat.be/224-citernes>

<http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/RESS%203.html>

<http://csenv.free.fr/expos%E9s/analyse%20de%20l%27eau/02%20les%20param%E8tres%20organoleptiques.htm>

<https://www.1h2o3.com/apprendre/parametres-des-eaux-usees/quels-sont-les-parametres-les-plus-utilises-en-station-epuration/>

<https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/nitrates>

<https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/4-mettre-en-place-des-dispositifs.html?IDC=7949>

Annexes

Réseau de distribution hydraulique du bâtiment chercheur.

