HAUTE ÉCOLE
D'INGÉNIERIE ET DE GESTION
DU CANTON DE VAUD
www.heig-vd.ch

Département EC+G
Filière Géomatique
Orientation Génie de l'environnement

Travail de Bachelor

Les étangs urbains pour réduire la pollution de nos lacs et rivières

Non confidentiel

Étudiante : **Laïs Jeanneret**
Enseignant responsable : **David Consuegra**
Experts : **Beat Oertli & Michel Enggist**
Année académique : 2020-2021

Yverdon-les-Bains, le 23 avril 2021

Préambule

Ce travail de Bachelor (ci-après TB) est réalisé en fin de cursus d'études, en vue de l'obtention du titre de Bachelor of Science HES-SO en Ingénierie.

En tant que travail académique, son contenu, sans préjuger de sa valeur, n'engage ni la responsabilité de l'auteur, ni celles du jury du travail de Bachelor et de l'Ecole.

Toute utilisation, même partielle, de ce TB doit être faite dans le respect du droit d'auteur.

HEIG-VD

Le Chef du Département

Yverdon-les-Bains, le 23 avril 2021

Authentification

La soussignée, Laïs Jeanneret, atteste par la présente avoir réalisé seule ce travail et n'avoir utilisé aucune autre source que celles expressément mentionnées.

Yverdon-les-Bains, le 23 avril 2021

Laïs Jeanneret

REMERCIEMENTS

Par ces quelques lignes, je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont consacré de leur temps, m'ont apporté leur soutien et m'ont montré leur intérêt :

- M. David Consuegra, professeur à l'HEIG-VD et directeur de ce mémoire, pour la proposition du sujet ainsi que sa disponibilité, sa patience, son écoute, sa bienveillance et ses conseils avisés tout au long de la réalisation de ce travail.
- M. Beat Oertli, responsable du projet CONFORTO, professeur à l'HEPIA et expert pour ce travail de Bachelor, pour son accueil, ses renseignements et sa disponibilité.
- Mme Marine Decrey, membre du projet CONFORTO et collaboratrice scientifique à l'institut Terre-Nature-Environnement (inTNE) à l'HEPIA, pour sa coordination dans l'échange d'informations et de la mise à disposition de données du projet.
- M. Ulysse Beytrison, membre du projet CONFORTO et collaborateur scientifique à l'institut du Paysage, d'Architecture, de la Construction et de Territoire (inPACT) à l'HEPIA, pour la mise à disposition des données relatives à la campagne de mesure des hauteurs d'eau de l'étang Belle-cour.
- M. Michel Enggist de l'Office cantonal de l'eau de Genève (OCEau), pour son accompagnement, la mise à disposition de matériels et son partage de connaissance lors de la visite de terrain du 31 mars 2021 ainsi que pour sa sympathie.
- Tous les autres acteurs du domaine avec lesquels j'ai pu entretenir des échanges de mails et qui ont répondu à mes questions.
- Mes parents et mes trois frères pour leur soutien inconditionnel durant mes années d'études ainsi que pour l'estime de mes compétences.
- Samuel, mon camarade de classe et véritable ami, pour son aide avec les différents logiciels informatiques.
- Ella, Lisa, Sophie et Viviane pour la relecture attentive de ce travail ainsi que pour leur fidèle amitié.
- Toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la bonne marche de ce travail.

RÉSUMÉ

Ce travail de Bachelor étudie la faisabilité d'insérer des zones humides, telles que des étangs, en milieu urbain afin de permettre une épuration des eaux de ruissellement, potentiellement chargées en polluants, avant leurs rejets dans les milieux récepteurs. Il regroupe les réponses aux cinq questions essentielles suivantes :

- *Est-ce que les eaux de ruissellement du bassin versant étudié sont polluées ?*
- *En cas de confirmation d'une pollution des eaux de ruissellement, est-ce que celles-ci doivent subir un traitement avant leur déversement dans les milieux récepteurs ?*
- *En cas de nécessité d'un traitement des eaux de ruissellement, quelles sont les paramètres hydrauliques qu'un ouvrage doit détenir pour être qualifié de système de traitement naturel ?*
- *Est-ce qu'un système de traitement naturel tel qu'une zone humide épuratrice possède uniquement une fonction qualitative ?*
- *Au-delà des paramètres hydrauliques, existe-il d'autres moyens pour permettre une optimisation du rendement épuratoire ?*

Ce rapport concentre des concepts théoriques sur la problématique et les illustre en appliquant les principes sur l'étang Belle-cour, situé dans la commune d'Onex à Genève qui a la particularité d'être en réalité un bassin de rétention.

Les résultats de cette étude démontrent que le potentiel de pollution des eaux de la route du Grand-Lancy présente un degré de pollution moyen tandis que les toitures et les façades ainsi que les places et les surfaces de circulation de la zone étudiée, présentent un degré de pollution variable de moyen à élevé. Le déversement dans le milieu récepteur des eaux de ruissellement provenant de la route est admissible. Les deux autres sources de pollution requièrent un traitement élevé si l'on considère le degré de pollution élevé, et demeure admissible au déversement autrement.

L'évaluation des capacités hydrauliques de l'étang Belle-cour affirme que ce dernier est dysfonctionnel en termes de protection contre les crues, et qu'il ne possède pas les caractéristiques exigées pour être qualifié en tant qu'une zone humide épuratrice. Dès lors, deux variantes de dimensionnement d'un système de traitement naturel ont été modélisées pour améliorer l'efficacité hydraulique et l'efficacité épuratoire de l'étang Belle-cour. Bien que ces deux variantes puissent encore être optimisées, elles donnent des pistes de réflexion pertinentes pour envisager la possibilité de réaménager d'autres bassins de rétention et/ou d'agrément dans le but de posséder une fonction épuratrice.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS IV

RESUME V

TABLE DES MATIERES VI

TABLE DES ILLUSTRATIONS IX

TABLE DES ABREVIATIONS XI

1. INTRODUCTION 1

2. PROBLEMATIQUE 2

2.1 Objectifs 2

2.2 Limites de l'étude 3

3. METHODOLOGIE 4

3.1 Première partie | Contextualisation 4

3.2 Seconde partie| Zone humide épuratrice 4

3.3 Troisième partie | Etude de cas 4

4. CONTEXTUALISATION 6

4.1 L'eau 6
4.1.1 Le cycle de l'eau 6
4.1.2 La qualité de l'eau 6

4.2 Urbanisation 7
4.2.1 Concept et développement 7
4.2.2 Impacts sur l'environnement 7

4.3 Législation 8
4.3.1 Lois et ordonnance fédérales 8
4.3.1.1 LAT & LPE 8
4.3.1.2 LEaux & OEaux 9
4.3.2 Normes, directives et instructions 10

4.4 Gestion des eaux 11
4.4.1 Facteurs de la pollution des eaux de ruissellement 11

4.5 Zones humides 12

4.6 Synthèse 13

5. ZONE HUMIDE EPURATRICE (ZHE) 15

5.1 Principes 15
5.1.1 Volumes pour la qualité de l'eau 15
5.1.2 Temps de séjour (T_s) 17
5.1.2.1 Optimisation du temps de séjour 18
5.1.3 Aménagement, biodiversité et qualité de l'eau 18
5.1.4 Phytoremédiation 19
5.1.5 Synthèse 22

6. ETUDE DE CAS 24

6.1 Méthodologie 24

6.2 Etang Belle-cour | Trévisan 25
6.2.1 Diagnostic 25
6.2.1.1 Evaluation de l'aménagement 25
6.2.1.1.1 Topographie du bassin 26
6.2.1.1.2 Végétation 26
6.2.1.2 Evaluation des paramètres hydrauliques 26
6.2.1.2.1 Conception 26
6.2.1.2.2 Capacités hydrauliques 27
6.2.1.3 Evaluation du degré d'atteintes portées aux eaux 31
6.2.2 Synthèse 36
6.2.3 Proposition et comparaison de conceptions hydrauliques 37
6.2.3.1 Dimensionnement 37
6.2.3.2 Synthèse des résultats 41
6.2.3.2.1 Volumes de la qualité des eaux et protection pour les petites crues 41
6.2.3.2.2 Temps de séjour 41
6.2.3.3 Recommandation de variante 43
6.2.3.4 Limites de la conception et améliorations possibles 43

7. CONCLUSION 44

8. LIMITES 45

9. BIBLIOGRAPHIE 46

10. ANNEXES 48

10.1 Annexe 1 | Résultats de l'ensemble des étangs recensés 49

10.2 Annexe 2 | Cartes de la zone d'étude de l'étang Belle-cour 50

10.3 Annexe 3 | Carte du TJOM de la Route du Grand-Lancy 51

10.4 Annexe 4 | E-mail de M. Pierre Philippe, Route du Grand-Lancy 52

10.5 Annexe 5 | Caractéristiques des sous bassins versants de L'Aire 53

10.6 Annexe 6 | Graphique de la simulation en fonction des précipitations 54

10.7 Annexe 7 | Statistiques pré-urbanisation 55

10.8 Annexe 8 | Données utilisées pour le schéma de l'étang Belle-cour et les variantes A et B.....56

10.9 Annexe 9 | Graphiques des hauteurs d'eau en fonction du temps selon l'état actuel et des variantes 58

***10.10* Annexe 10 | Répartition de la surface totale de l'étang actuel.....60**

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Cycle de l'eau | Britannica.com 6
Figure 2 : Influence de l'urbanisation sur les eaux pluviales | megamanual.geosyntec.com 7
Figure 3 : Schéma selon l'art. 7 LEaux | LEaux, RS 814.20 9
Figure 4 : Schéma du concept du projet |Laïs Jeanneret, Flaticon.com 15
Figure 5 : Stratification de l'étang en fonction de son service de régulation | Maryland Department of the Environment 15
Figure 6 : Schéma du dimensionnement du Cpv | Laïs Jeanneret 16
Figure 7 : Exemple de dimensionnement d'une ZHE | SWMM 16
Figure 8 : Schéma explicatif pour le traitement total ou partiel des eaux issues des petites crues | Laïs Jeanneret 17
Figure 9 : Recommandation pour la détermination du Ts | Laïs Jeanneret 17
Figure 10 : Parcours sinueux pour augmenter le T_s | Conn et Fiedler 2006 18
Figure 11 : Exemple d'eutrophisation | Ecotoxicologie.fr 19
Figure 12 : Bioaccumulation de la charge polluante par les végétaux | Pilon-Smits 2005 19
Figure 13 : Principales fonctions des macrophytes dans les marais artificiels | Boutin 2014 20
Figure 14 : Marche à suivre pour l'élimination de la végétation de la ZHE | Laïs Jeanneret 21
Figure 15 : Eléments d'appréciation d'une ZHE | Laïs Jeanneret 22
Figure 16 : Recensement des étangs du projet CONFORTO | CONFORTO 24
Figure 17 : Situation de l'étang Belle-cour |SITG 25
Figure 18 : Etang Belle-cour | Laïs Jeanneret, 31.03.2021 25
Figure 19 : MNT de l'étang Belle-cour | Swisstopo 26
Figure 20 : Etat de la végétation de l'étang Belle-cour | Laïs Jeanneret, 31.03.2021 26
Figure 21 : Etang Belle-cour et ses caractéristiques | Laïs Jeanneret, visite du 31.03.21 27
Figure 22 : Situation du projet et caractéristiques du bassin de rétention | SWMM 27
Figure 23 : Modélisation de l'étang Belle-Cour, réponse du bassin du bassin de rétention, en rouge la modélisation, en bleu les valeurs mesurées | SWMM 28
Figure 24 : Graphique des temps de retour des débits de pointe entrants | Laïs Jeanneret, SWMM 28
Figure 25 : Graphique des temps de retour des volumes générés par les débits de pointe entrants | Laïs Jeanneret, SWMM 29
Figure 26 : Graphique associant les débits de pointe entrants avec les volumes générés | Laïs Jeanneret, SWMM 29
Figure 27 : Boxplot des débits sortants | Laïs Jeanneret, SWMM 30
Figure 28 : Capacité hydraulique de l'étang Belle-cour | SWMM 31
Figure 29 : Schéma du dimensionnement de l'état actuel | Laïs Jeanneret 39
Figure 30 : Schéma du dimensionnement de la variante A | Laïs Jeanneret 39
Figure 31 : Schéma du dimensionnement de la variante B | Laïs Jeanneret 40

Liste des tableaux

Tableau 1 : Surfaces et polluants produits par les surfaces imperméables | Selon tableau B5 de la directive VSA 10
Tableau 2 : Rendement épuratoire de bassins permanents pour un même temps de séjour |SETRA 17
Tableau 3 : pondération en fonction des MES en charge annuelle pour un même temps de séjour | SETRA 18
Tableau 4 : Plantes bioaccumulatrices de métaux lourds | Guittonny-Philippe et al. 2014 20
Tableau 5 : Avantages et inconvénients principaux de la ZHE 22
Tableau 6 : Evaluation du rendement hydraulique 31
Tableau 7 : Evaluation de la pollution des eaux de ruissellement sur les toitures et les façades | Selon Tableau B6 de la Directive VSA 32
Tableau 8 : Synthèse de l'évaluation des eaux de ruissellement selon le principe du scénario le plus défavorable et la directive VSA 33
Tableau 9 : Admissibilité du déversement d'eau de ruissellement dans des eaux superficielles compte tenu de la charge polluante | Selon la directive VSA 35
Tableau 10 : Synthèse du diagnostic de l'étang Belle-cour 36
Tableau 11 : Caractéristiques de dimensionnement de l'état actuel et des variantes A et B 38
Tableau 12 : Résumé des volumes de l'état actuel et des variantes 41
Tableau 13 : Synthèse comparative des résultats des simulations 42

TABLE DES ABRÉVIATIONS

Abréviation	Signification
Cp_v	*Channel protection volume* – le volume de protection pour les milieux récepteurs
DBO_5	Demande biochimique en oxygène calculée sur 5 jours
DCO	Demande chimique en oxygène
EM	Eaux mélangées
EP	Eaux pluviales
EU	Eaux usées
HAP	Hydrocarbure aromatique polycyclique
LAT	Loi fédérale sur l'aménagement du territoire
LEaux	Loi fédérale sur la protection des eaux
LPE	Loi fédérale sur la protection de l'environnement
MES	Matières en suspension
MNT	Modèle numérique de terrain
NTK	Azote totale Kjeldahl
OEaux	Ordonnance sur la protection des eaux
OLED	Ordonnance fédérale sur la limitation et l'élimination des déchets
OPAM	Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs
PP	Point de pollution
SITG	Système d'information géographique du canton de Genève
SWMM	Storm Water Management Model
TJOM	Trafic journalier moyen des jours ouvrables
T_s	Temps de séjour
VSA	Association suisse des professionnels de la protection des eaux
WQ_v	*Water Quality volume* – le volume de la qualité de l'eau
ZHE	Zone humide épuratrice

1. INTRODUCTION

Ce travail de Bachelor succède trois années de formation dans la filière *Géomatique*, orientation *Génie de l'environnement* au sein de la Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud (HEIG-VD) d'Yverdon-les-Bains. Il a pour objectif de mettre en pratique et d'approfondir les connaissances acquises lors du cursus académique ainsi que de renforcer les compétences personnelles en termes d'autonomie, de responsabilité, d'organisation et de gestion de travail. Ces compétences ont été largement mises à l'épreuve, en particulier au vu de la situation sanitaire actuelle, contraignant à réaliser l'entier de cette étude à distance et en s'adaptant avec des nouvelles formes de communication.

Ce travail de Bachelor s'insère dans le cadre du projet CONFORTO mené par l'institut du Paysage, d'Architecture, de la Construction, du Territoire (inPACT) et l'institut Terre-Nature-Environnement (inTNE) de la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève (HEPIA) en partenariat avec la Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud (HEIG-VD), la Haute école d'ingénierie et d'architecture de Fribourg (HEIA-FR) ainsi que l'Office cantonal de l'eau de Genève (OCEau).

Ce projet vise à déterminer les particularités d'un plan d'eau idéal en milieu urbain en offrant plusieurs services écosystémiques au bénéfice du bien-être de la population. Cette démarche vise notamment à réintroduire de nouvelles zones humides dans l'espace urbanisé et d'adapter, dans la mesure du possible celles déjà existantes (Oertli et al. s. d.).

Plusieurs disciplines participent à l'élaboration du projet. Dans le cadre de ce travail, il a été choisi de se concentrer principalement sur la régulation de la qualité des eaux sous des aspects principalement hydrauliques mais aussi environnementaux.

Projet CONFORTO

Personne de contact

Prof. Beat OERTLI | beat.oertli@hesge.ch

Lien de la description du projet [HEPIA]

www.hesge.ch/hepia/sites/default/files//raetd/documents/com_conforto_intne_fiches_2020.pdf

2. PROBLÉMATIQUE

La croissance de l'urbanisation, la préservation et la valorisation des ressources naturelles ou encore l'impact du changement climatique sont devenus, depuis plusieurs décennies maintenant, la réalité à laquelle la *société* actuelle est confrontée. Par le biais de la coordination entre les différents pays, des solutions à la fois viables et pérennes se doivent d'être trouvées. L'urgence de la situation est indépendante de l'attente et l'apparition de nouvelles technologies révolutionnaires. Elle impose la prise de conscience du fonctionnement, des relations et des échanges entre les différents écosystèmes. Il s'agit de reconnaître qu'en lieu et place de fonctionner de manière symbiotique, la *société* est davantage dans une relation de parasitisme avec ses ressources naturelles devant être réévaluée. L'envergure d'une telle problématique ne peut aboutir à l'obtention de résultats souhaités sans actions mais surtout sans définir des objectifs clairs, concrets ainsi que des moyens pour y parvenir.

Ce travail porte sur une sous-catégorie des enjeux auxquels les générations actuelles et surtout futures doivent faire face. Il s'agit de la qualité de l'eau, en particulier en milieu urbain. Plus précisément, cette étude sensibilise le lecteur à la qualité de l'eau issue des eaux pluviales et soumet à la réflexion la possibilité d'implanter des zones humides épuratrices dans l'espace urbain pour éliminer la charge polluante présente dans les eaux de ruissellement, protéger les milieux récepteurs et leurs populations animales et végétales ainsi que de ramener de la biodiversité dans les agglomérations.

Ce travail est composé de trois parties. La première contextualise l'étude. Il s'agit de permettre au lecteur de comprendre à la fois comment le processus d'urbanisation impacte les ressources naturelles et plus particulièrement les eaux mais aussi d'apprendre qu'il est possible d'implanter des systèmes de traitement naturels comme les zones humides épuratrices (ZHE).

La seconde partie se focalise sur la conception idéale d'une ZHE. Elle décrit les caractéristiques que celle-ci doit posséder en termes de dimensionnement et d'aménagement pour garantir un haut rendement épuratoire. Elle renseigne à la fois sur des concepts d'hydraulique et d'ingénierie environnementale.

Et finalement, la troisième et dernière partie établit le diagnostic d'un étang, situé dans le canton de Genève et faisant partie du projet CONFORTO, ayant pour fonction principale la rétention des eaux. Il s'agit notamment d'apprécier le potentiel de pollution des eaux de ruissellement de la zone étudiée ainsi que le potentiel épuratoire du bassin de rétention. Des propositions de dimensionnement d'une ZHE, répondant aux exigences mentionnées dans la partie précédente et en intégrant les critères de la zone d'étude sont présentées.

2.1 Objectifs

Ce travail porte sur deux disciplines que sont le dimensionnement et l'aménagement l'hydraulique d'un côté, et la protection et la valorisation de l'environnement en vue d'améliorer la qualité des eaux en milieu urbain de l'autre. Par conséquent, les objectifs de cette étude sont doubles. Dans un premier temps, il s'agit d'élaborer une méthodologie permettant l'implantation voire la modification d'un étang en milieu urbain. Puis dans un second temps, il s'agit d'assurer une épuration naturelle par ledit étang afin de réduire l'impact de la pollution des eaux de ruissellement sur les milieux récepteurs. Ces buts peuvent être listés comme suit :

- Développer une méthodologie pour configurer et dimensionner un étang capable de satisfaire les contraintes imposées en matière de rejets de pollution dans les milieux récepteurs
- Déterminer les paramètres hydrologiques et hydrauliques des surfaces contributives utiles au dimensionnement
- Déterminer les caractéristiques de la pluviométrie utiles au dimensionnement
- Définir le volume minimal pour obtenir un rendement de dépollution élevé
- Configurer l'évacuateur de débit de façon appropriée pour rallonger les temps de séjour de l'eau
- Produire une fiche synthétique avec les paramètres et les calculs nécessaires

L'information découlant de ce rapport a aussi pour but de partager des connaissances et stimuler les moyens d'actions des différents corps de métiers susceptibles d'être confrontés aux enjeux précités. Il se veut également informatif pour toute personne curieuse et sensible à la problématique.

2.2 Limites de l'étude

Ce travail s'intéresse uniquement à l'impact de la pollution chronique transportée par les eaux de ruissellement. Dès lors, les pollutions saisonnières et accidentelles ne seront pas traitées en tant que telles.

Les paramètres hydrauliques ainsi que la valorisation de la biodiversité ont été abordés en relation avec la thématique centrale de cette étude, à savoir : la qualité des eaux. Ce choix a été considéré, étant donné qu'il s'agit de deux domaines vastes qui ont fait l'objet de nombreuses études référencées.

3. MÉTHODOLOGIE

Ce travail de Bachelor a été mené sur une durée totale de 8 semaines à temps plein (de début mars à fin avril). Sa rédaction a été réalisée au fur et à mesure de l'acquisition des informations. Il en résulte que la présente étude est composée de trois parties. Une méthodologie propre à chacune d'entre elles a été utilisée :

1. Contexte et enjeux
2. Zone humide épuratrice
3. Etude de cas

3.1 Première partie | Contextualisation

La première partie de ce travail détient un caractère *exploratoire*. Elle établit le contexte général des enjeux relatifs à l'eau et du phénomène de l'urbanisation au niveau mondial et fédéral. Une description de la gestion des eaux en milieu urbain et de la législation en vigueur a été effectuée sur le territoire helvétique. De plus, cette partie amorce le concept d'une zone humide épuratrice.

Méthode employée

L'élaboration de la première partie a été réalisée selon une recherche bibliographique, soutenue par les ressources d'informations suivantes.

- Littérature institutionnelle (sites de la Confédération et textes juridiques)
- Articles de presses
- Google Scholar
- Google

Les mots-clés subséquents ont été utilisés : cycle de l'eau, qualité de l'eau en Suisse, urbanisation, impact sur les ressources naturelles, épuration naturelle, étangs, étang en milieu urbain, etc.

3.2 Seconde partie| Zone humide épuratrice

La deuxième partie de ce travail fait état de la technique. Elle décrit le principe d'une zone humide épuratrice et expose les éléments de dimensionnement et d'aménagement pour la mise en place d'un système de traitement naturel pour garantir la qualité des eaux.

Méthode employée

Pour la réalisation de la seconde partie, les ressources suivantes ont été utilisées.

- Littérature scientifique
- Littérature institutionnelle (sites de la Confédération et textes juridiques)
- Google Scholar

Les mots-clés subséquents ont été utilisés : pollution, épuration naturelle, zon humide, zone humide épuratrice, phytoremédiation, biodiversité, étanchéité, rhizosphère, macrophytes, *wetlands*, *ponds*, *stormwater retention*, etc.

3.3 Troisième partie | Etude de cas

La troisième partie de ce travail évalue le caractère épuratoire d'un étang du canton de Genève ayant pour fonction la rétention des eaux de ruissellement. Elle propose également le dimensionnement d'une ZHE répondant aux contraintes de la zone d'étude.

Méthode employée

- Analyse des données disponibles (CONFORTO)
- Récupération de données par le système d'information géographique de Genève (SITG)
- Détermination de l'étang à analyser
- Littérature institutionnelle (norme VSA)
- Visite de terrain du 31.03.2021
  - → Prise de mesures
  - → Photographies
  - → Contrôle de la véracité des informations disponibles
  - → Etat du site
- Simulation avec le logiciel SWMM

PREMIÈRE PARTIE | CONTEXTUALISATION

4. CONTEXTUALISATION

Ce chapitre sensibilise le lecteur afin d'appréhender les tenants et les aboutissants de cette étude. Il aborde diverses thématiques telles que, l'eau, l'urbanisation, la législation, la gestion des eaux ainsi que les zones humides. L'analyse de ces éléments porte principalement au niveau de la Confédération.

4.1 L'eau

4.1.1 Le cycle de l'eau

L'eau sur la Terre est présente sous trois états : sous forme solide par la glace, sous forme liquide par les précipitations et sous forme de gaz par la vapeur d'eau. Les réserves en eau sont estimées à environ 1.4 milliards kilomètres cubes (Grotzinger et Jordan 2014).

Le cycle de l'eau est trivial. Il est alimenté par l'énergie solaire permettant aux océans de s'évaporer et de transporter la vapeur d'eau dans l'atmosphère. Sous certaines conditions de température et d'humidité de l'air, la vapeur d'eau se condense en gouttelettes formant ainsi des nuages et provoquant éventuellement des précipitations. Lorsqu'il pleut ou qu'il neige, l'eau repart sur les continents. Une partie va s'infiltrer dans le sol permettant la recharge des nappes phréatiques ou l'alimentation de la végétation tandis qu'une autre partie va ruisseler en surface pour rejoindre les cours d'eau, les rivières puis les lacs pour finalement retourner à son réservoir majeur, les océans. L'eau transite ainsi des océans à l'atmosphère, de l'atmosphère aux continents et des continents aux océans indéfiniment. La Figure 1 illustre ce cycle.

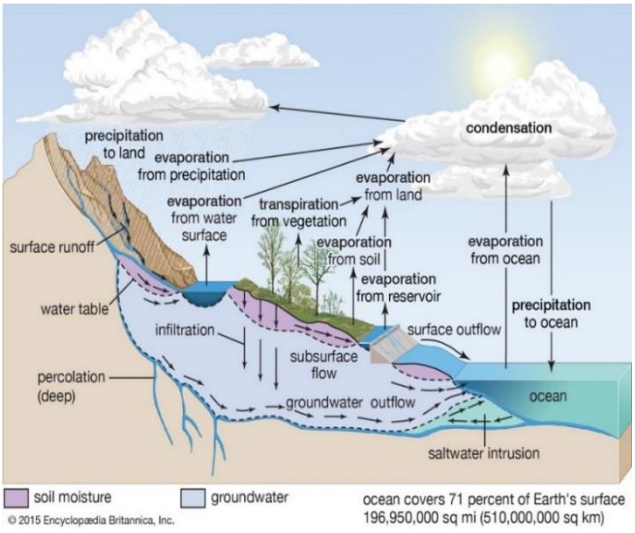


Figure 1 : Cycle de l'eau | Britannica.com

Le passage d'un état à un autre suit un circuit fermé, se baladant ainsi entre ses différents réservoirs (océans, calottes polaires, glaciers, lacs, rivières et nappes phréatiques). Le territoire helvétique, qualifié également comme étant le château d'eau de l'Europe, possède de nombreuses ressources en eau. La Suisse possède dès lors plusieurs réservoirs dans lesquels il est possible d'assurer une distribution en eau potable à l'ensemble de ses résidents. Le pays prélève majoritairement l'eau provenant des nappes phréatiques et des sources. Les eaux de surfaces, telles que les lacs, sont également utilisées comme ressources en eau pour la consommation.

4.1.2 La qualité de l'eau

La qualité de l'eau est un enjeu mondial. Cette problématique implique des actions des Etats, par le biais des politiques, et par diverses organisations mondiales afin de mettre en place des mesures de protection des eaux. Il s'agit de garantir à la fois un approvisionnement en eau potable à la population et le maintien en bon état des cours d'eau, lacs et rivières abritant une faune et flore aquatiques qui en dépendent.

En Suisse, il y a une trentaine d'années auparavant, il n'était pas envisageable de considérer les lacs comme des espaces d'agrément et de baignade dû à la pollution des eaux par les eaux usées issues de l'industrie, de l'agriculture ou encore des agglomérations (SCNAT s. d.). L'apparition des stations d'épuration des eaux usées a permis de réduire les atteintes portées aux eaux superficielles.

Actuellement, les eaux pluviales ne sont pas traitées. A priori, elles ne sont pas polluées. Cependant, les propriétés et la composition de l'eau sont altérées durant leur cheminement au travers des différents réservoirs. Bien qu'elles puissent être contaminées par des substances polluantes et toxiques ou encore par des bactéries pathogènes, leur passage au travers le sol, parfois avec l'association d'espèces végétales, offre une épuration naturelle en considérant des charges polluantes non disproportionnées et biodégradables. Ce principe est connu sous le nom d'autoépuration.

La charge polluante des eaux de ruissellement varie selon différents facteurs (cf. 4.4.1 *Facteurs de la pollution des eaux de ruissellement*). Le déversement de ces eaux dans les milieux récepteurs a une influence sur ces écosystèmes aquatiques et potentiellement, de manière indirecte, sur la santé de l'homme.

Au-delà de ce qui précède, les cours d'eau et les rivières ont également subi des pressions notamment concernant les mesures de protection contre les crues. Ceci a impacté la diversité morphologique des cours d'eau et a eu pour conséquence de limiter l'établissement d'un environnement prospère pour une valorisation de la biodiversité (SCNAT s. d.).

4.2 Urbanisation

4.2.1 Concept et développement

L'urbanisation en Europe occidentale s'est déroulée principalement au cours du XIXe siècle. Ce phénomène résulte d'une migration d'une population se concentrant à un endroit donné à l'intérieur d'un pays pour aboutir à la création de la *ville*. L'industrialisation a encouragé le développement d'une population autour d'un centre portant ainsi des modifications aux structures économiques et sociales. Actuellement, la majorité de la population mondiale vit en zone urbaine. En 2050, le taux d'urbanisation atteindrait les 66% (Damon 2016). Un constat similaire est observé en Suisse. Les trois quarts de la population réside en zone urbaine. Cette augmentation de la population dans les agglomérations et villes-centres helvétiques, comme ailleurs dans le monde, comporte certaines contraintes dont notamment les suivantes : posséder des ressources suffisantes et attractives en termes de logements et d'emplois mais également au niveau des infrastructures ainsi que de l'équipement des terrains (OFS 2020).

4.2.2 Impacts sur l'environnement

Bien que l'urbanisation puisse renvoyer une image de société prospère, en particulier dans les pays développés, ce processus génère des impacts non négligeables sur l'environnement.

En Suisse, l'utilisation du sol en surface d'habitat et d'infrastructure représente moins de 8% du territoire (OFS 2004). Cependant, la majorité de ces surfaces sont imperméabilisées par la couverture du sol avec un matériau artificiel comme le béton ou l'asphalte. Lorsqu'une surface possède un taux d'imperméabilité élevé, les eaux pluviales auront tendance à ruisseler à défaut d'être infiltrées. Ceci perturbe le cycle hydrologique naturel de l'eau, lessive la pollution présente sur les surfaces bâties directement dans les milieux récepteurs (cours d'eau, lacs, rivières) et augmente les risques d'inondations en zone urbaine en cas de crues. Dès lors, le développement urbain réduit à la fois les ressources du sol et limite les services écosystémiques provenant de celui-ci.

La Figure 2 met en évidence l'augmentation du taux de ruissellement – *runoff* – au fur et à mesure que le taux d'imperméabilité du sol augmente. Lorsque la couverture du sol est naturelle, environ 50% des eaux pluviales sont infiltrées, 40% retournent directement dans l'atmosphère par évapotranspiration et les 10% restants deviennent des eaux de ruissellement. La tendance est inverse en zone urbaine. La majorité des eaux pluviales ruissellent tandis qu'un faible pourcentage est infiltré.

Le schéma permet également de rendre compte de l'importance de la végétation. La nature dans les villes est sous-représentée. La disparition des surfaces vertes au profit des surfaces bâties diminue la rétention des eaux et la biodiversité, et développe l'effet d'îlot de chaleur (augmentation de la température dans les villes engendrée par les activités anthropiques, la forme et les matériaux utilisés dans l'espace urbain).

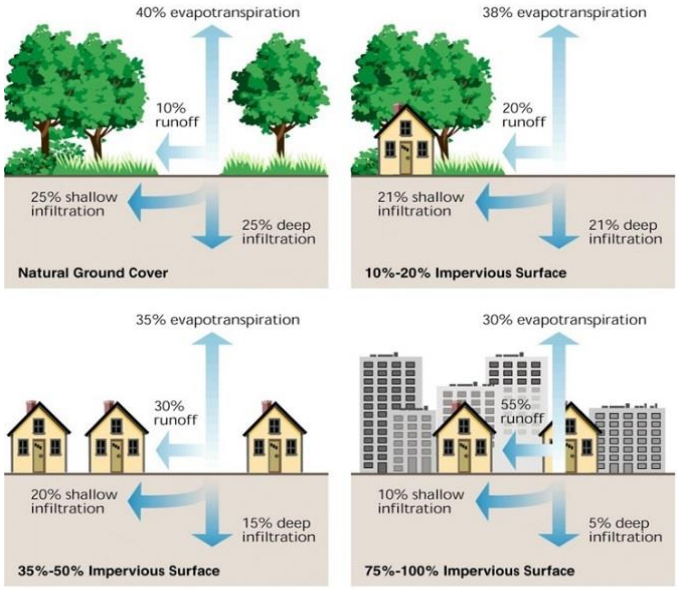


Figure 2 : Influence de l'urbanisation sur les eaux pluviales | megamanual.geosyntec.com

Au-delà du fait que les zones urbaines réduisent les surfaces naturelles, restreignant dès lors leurs fonctions écologiques, les activités anthropiques émettent de nombreux polluants dans les différents compartiments de l'environnement (air, eaux souterraines, eaux superficielles et sol). Cela dégrade non seulement les écosystèmes mais porte également atteinte à l'homme. Le réchauffement climatique, la problématique des micropolluants ou encore la bioaccumulation de certains polluants dans la chaîne alimentaire en sont des exemples.

4.3 Législation

4.3.1 Lois et ordonnance fédérales

4.3.1.1 LAT & LPE

La loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT, RS 700), adoptée en 1979, constitue les prémices de la politique environnementale en Suisse. A cette époque, le développement de l'urbanisation, en particulier son extension horizontale, a généré l'accroissement du mitage du territoire suisse par la création de nouvelles zones construites. Malgré l'introduction de la LAT, puis l'adoption en 1983, de la loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE, RS 814.01) le constat est sans appel. Quotidiennement, entre 1985 et 1997, pas moins de 11 hectares de terres cultivables ont été perdues. Bien qu'un tiers de ces terres ont été regagnées par la forêt, la majorité a été cédée au profit des zones à bâtir (Badilatti 2003). Les terres cultivables altèrent également les ressources naturelles. En effet, l'assèchement des zones humides (cf. 4.5 Zones humides), le compactage du sol par les machines agricoles et l'utilisation d'engrais en sont responsables. Le taux d'imperméabilité du sol demeure plus faible en comparaison à l'espace urbain ce qui permet davantage l'infiltration des eaux pluviales.

La LAT est un outil légal qui permet de limiter l'expansion urbaine. Cette loi valorise la densification afin de protéger les éléments naturels, faisant partie intégrante de l'identité du pays, tout en assurant une qualité de vie à sa population, selon son article premier :

« [1]*La Confédération, les cantons et les communes veillent à une utilisation mesurée du sol et à la séparation entre les parties constructibles et non constructibles du territoire. Ils coordonnent celles de leurs activités qui ont des effets sur l'organisation du territoire et ils s'emploient à réaliser une occupation du territoire propre à garantir un développement harmonieux de l'ensemble du pays. Dans l'accomplissement de leurs tâches, ils tiennent compte des données naturelles ainsi que des besoins de la population et de l'économie.*

[2] *Ils soutiennent par des mesures d'aménagement les efforts qui sont entrepris notamment aux fins:*

- *a. de protéger les bases naturelles de la vie, telles que le sol, l'air, l'eau, la forêt et le paysage;*
- *a^{bis}. d'orienter le développement de l'urbanisation vers l'intérieur du milieu bâti, en maintenant une qualité de l'habitat appropriée;*
- *b. de créer un milieu bâti compact;*
- *b^{bis}. de créer et de maintenir un milieu bâti favorable à l'exercice des activités économiques;*
- *c. de favoriser la vie sociale, économique et culturelle des diverses régions du pays et de promouvoir une décentralisation judicieuse de l'urbanisation et de l'économie;*
- *d. de garantir des sources d'approvisionnement suffisantes dans le pays;*
- *e. d'assurer la défense générale du pays;*
- f. *d'encourager l'intégration des étrangers et la cohésion sociale.* »

La LPE, quant à elle, édicte les principes de base concernant la protection de l'environnement. Elle a notamment pour but (art. 1 LPE) :

« [1] *[…] de protéger les hommes, les animaux et les plantes, leurs biocénoses et leurs biotopes contre les atteintes nuisibles ou incommodantes, et de conserver durablement les ressources naturelles, en particulier la diversité biologique et la fertilité du sol.*

[2] *Les atteintes qui pourraient devenir nuisibles ou incommodantes seront réduites à titre préventif et assez tôt.* »

La notion d'atteinte définie les préjudices subis par l'environnement. L'article 7 alinéa 1 de la LPE en dresse une liste exhaustive dont en fait partie la pollution des eaux.

4.3.1.2 LEaux & OEaux

La loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux, RS 814.20) a été adoptée en 1991. Elle érige les lignes directrices, comme son nom l'indique, en matière de protection des eaux. L'article 7 de cette loi informe globalement sur leur gestion. Dans la mesure du possible, la loi valorise l'infiltration. Ce mécanisme permet notamment d'alimenter les nappes phréatiques et de garantir un approvisionnement des ressources en eaux. Bien qu'il soit interdit de porter atteintes aux eaux (art. 6 LEaux), si celles-ci ont été polluées, elles ont l'obligation d'être traitées avant d'envisager leur infiltration ou leur déversement dans les milieux récepteurs. La Figure 3 illustre ces propos.

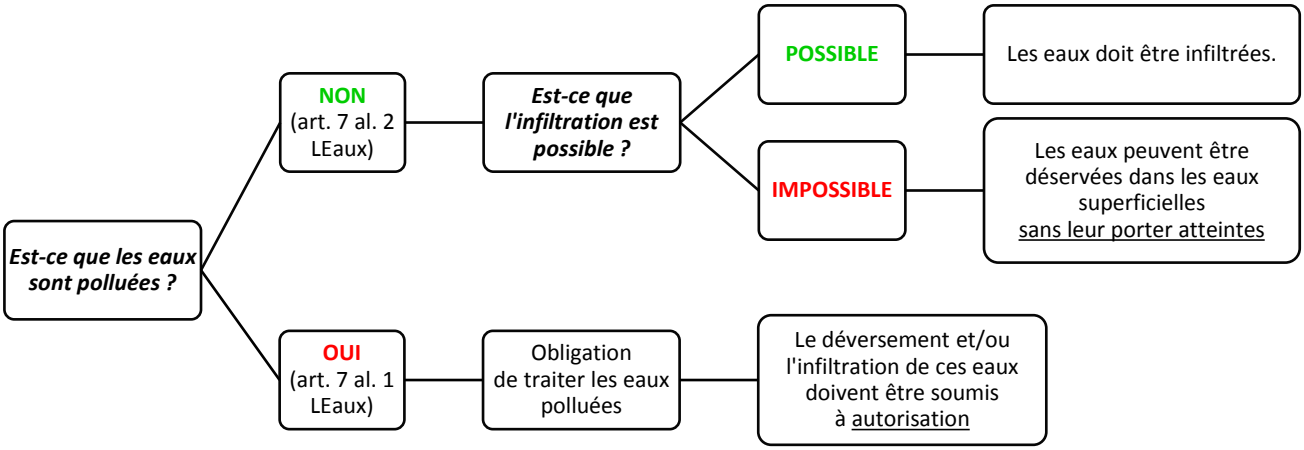


Figure 3 : Schéma selon l'art. 7 LEaux | LEaux, RS 814.20

Il appartient donc aux cantons d'établir une planification communale voire régionale de l'évacuation des eaux (art. 7 al. 3 LEaux). Le plan général d'évacuation des eaux (PGEE) est l'instrument utilisé pour réaliser cette planification. Selon l'article 5 alinéa 2 de l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux, RS 814.201), le PGEE doit renseigner les éléments suivants :

a. les périmètres à l'intérieur desquels les réseaux d'égouts publics doivent être construits;
b. les zones dans lesquelles les eaux de ruissellement provenant des surfaces bâties ou imperméabilisées doivent être évacuées séparément des autres eaux à évacuer;
c. les zones dans lesquelles les eaux non polluées doivent être évacuées par infiltration;
d. les zones dans lesquelles les eaux non polluées doivent être déversées dans des eaux superficielles;
e. les mesures à prendre pour que les eaux non polluées dont l'écoulement est permanent ne soient plus amenées à la station centrale d'épuration;
f. l'endroit où les stations centrales d'épuration doivent être construites, le procédé de traitement dont elles doivent être équipées et la capacité qu'elles doivent avoir;
g. les zones dans lesquelles des systèmes autres que les stations centrales d'épuration des eaux doivent être utilisés et comment les eaux doivent être évacuées dans ces zones.

Cette même ordonnance complète l'article 7 de la LEaux en évoquant les critères impliquant une pollution des eaux (art. 3 al. 1 OEaux). De plus, les eaux de ruissellement provenant des surfaces bâties ou imperméabilisées peuvent être considérées comme étant non polluées, à savoir les eaux provenant (art. 3 al. 3 OEaux) :

a. des *toits;*
b. des routes, des chemins et des places sur lesquels ne sont pas transvasées, ni traitées ni stockées des quantités considérables de substances pouvant polluer les eaux, et si, en cas d'infiltration, ces eaux sont suffisamment épurées dans le sol; en évaluant si les quantités de substances sont considérables, on tiendra compte du risque d'accident;
c. des voies ferrées, s'il est garanti que l'on renonce à long terme à y utiliser des produits phytosanitaires ou si, en cas d'infiltration, une couche de sol biologiquement active permet une rétention et une dégradation suffisantes des produits phytosanitaires.

4.3.2 Normes, directives et instructions

Les normes, les directives et les instructions complètent la législation fédérale. Elles renseignent sur l'état de la technique et réglementent la gestion des eaux pluviales.

Comme évoqué précédemment, l'OEaux juge que les eaux de ruissellement, provenant de certaines surfaces imperméabilisées, ne sont pas polluées. En réalité, cette affirmation doit être nuancée. L'Association suisse des professionnels de la protection des eaux (VSA) a édité en 2019 la directive *Gestion des eaux urbaines par temps de pluie*. Elle rend compte des différents sources et degrés de la pollution impactant les eaux de ruissellement en zone urbaine. Cette directive est la référence principale dans le cadre de ce travail dans l'appréciation du degré de la pollution des eaux de ruissellement. Le Tableau 1 résume les sources, les polluants et leurs provenances.

Tableau 1 : Surfaces et polluants produits par les surfaces imperméables | Selon tableau B5 de la directive VSA

Surface réceptrice	Polluants	Provenance
Toitures ou façades comprenant des parties métalliques (p. ex. lucarnes, chéneaux, tuyaux de descente, bordures de velux, cheminée d'aération)	Métaux lourds, en particulier plomb, cuivre, zinc, étain, qui ont des taux de lessivage plus élevés que, p.ex., les aciers au chrome-nickel. Présents principalement sous forme dissoute dans les eaux de ruissellement.	Lessivage des métaux lourds, dépend fortement du taux de dissolution. Voir aussi à ce propos la recommandation de la KBOB Construction durable [308].
Toiture ou façades comprenant des matériaux contenant des pesticides	Pesticides et autres micropolluants organiques.	Matériaux d'étanchéité, bandes bitumineuses, produits phytosanitaires, peintures, etc.
Routes	Surtout métaux lourds (principalement sous forme particulaire, adsorbée par les MES) et MES (particules qui agissent comme traceurs des autres substances ou sont elles-mêmes problématiques [p.ex. abrasion]), ainsi que HAP, substances organiques, azote, calcium, chlorure.	Pièces d'usure (abrasion des pneus et des freins), résidus de combustion de carburant, érosion de la chaussée, service hivernal (sel de déverglaçage, etc.), entretien des routes, etc.
Avant-places, voies d'accès, places de parc avec faible passage, etc.	Métaux lourds (sous forme dissoute et particulaire), HAP, substances organiques.	Pertes de fluides, nettoyage de voitures, produits phytosanitaires, etc.
Places de transbordement et de stockage	Métaux lourds (sous forme dissoute et particulaire), MES, HAP, substances organiques.	Pertes de fluides, nettoyage de véhicules, pertes lors du transbordement de marchandises, produits phytosanitaires, etc.
Terrasses de toit, balcons, etc.	Substances diverses, en fonction de leur utilisation.	Utilisation d'engrais, produits phytosanitaires, produits de nettoyage et autres produits, dépôts de matériel/déchets, etc.
Places de parc avec passage important, places de parcs urbaines, etc.	Métaux lourds (sous forme dissoute et particulaire), HAP, substances organiques, MES.	Pièces d'usure (abrasion des pneus et des freins), érosion de la chaussée, service hivernal, pertes de fluide, déchets de marchés et autres (p.ex. confettis), etc.

4.4 Gestion des eaux

Comme mentionné préalablement, la LEaux édicte les principes de la gestion des eaux et de leur protection. Depuis l'entrée en vigueur de cette loi, les cantons et les communes sont tenus d'aménager leur réseau de canalisations en régime séparatif. Cela signifie que les eaux usées (EU), qui nécessitent un traitement avant leur rejet, sont collectées séparément des eaux pluviales (EP). Auparavant, la gestion des eaux ne différenciait pas les EU des EP. Le réseau de canalisations fonctionnait donc en régime dit unitaire contenant ainsi des eaux mélangées (EM). Bien que la législation fédérale en matière de protection des eaux sollicite la mise en place d'un réseau de canalisations en régime séparatif, il existe encore actuellement des zones en régime unitaire, en particulier dans les centres-villes en raison des coûts élevés et de l'ampleur des travaux que cela impliquerait.

Toute canalisation possède une certaine capacité de débit d'évacuation des eaux. Or, en cas de fortes intempéries, il se peut que cette capacité soit atteinte voire même dépassée. Afin d'éviter l'encombrement des conduites et un refoulement dans les chambres qui pourraient entrainer une inondation, le réseau est équipé avec des déversoirs d'orage. Ils sont notamment présents pour les réseaux qui disposent d'un régime unitaire. Ces ouvrages ont pour fonction de déverser une partie des effluents des EM directement dans les lacs et les rivières. Bien que les milieux récepteurs s'en trouvent impactés, ce système permet de garantir le bon fonctionnement du réseau ainsi que de ne pas surcharger la capacité des stations de traitement situées en aval.

La zone urbaine, fortement bâtie, offre de vastes surfaces polluées libre d'accès aux eaux de ruissellement résultant de l'urbanisation et de la forte imperméabilité du sol. Celles-ci peuvent dès lors être contaminées et comme susmentionné, elles sont directement acheminées pour être déversées dans les milieux récepteurs sans forcément passer au travers d'un système de traitement. Donc, les atteintes portées auxdits milieux récepteurs vont dépendre de la charge polluante qui est déversée ainsi que de leur vulnérabilité (DDTM 2014).

4.4.1 Facteurs de la pollution des eaux de ruissellement

La pollution des eaux de ruissellement dépend de plusieurs facteurs (Baumgartner et al. 2019). Ceux-ci mettent en avant la dynamique naturelle des eaux de ruissellement.

L'occupation du sol	Ce facteur dépend du taux d'imperméabilité du sol. Pour rappel, plus celui-ci sera élevé plus il y aura du ruissellement.
Degré d'urbanisation	Hypothèse : la concentration de la pollution est proportionnelle au degré d'urbanisation.
L'intensité de la pluie	Une forte intensité sur une courte durée augmentera le taux de lessivage des polluants. Leurs concentrations sera plus élevées. Dans le cas inverse, on observera une dilution de la pollution.
L'intervalle de temps entre deux averses	Dans le cas d'une longue période sèche entre deux averses, la pollution ne sera pas lessivée. Des concentrations plus élevées pourraient dès lors être observées directement lors de la prochaine pluie.
La pente	Plus la pente est forte, plus le ruissellement est direct. Cela concerne les routes en pente, les toitures inclinées, la rétention pour des toitures plates ainsi que les zones dépressionnaires de routes plates.
Les mouvements de l'air et les protections d'eau	Ce facteur est lié à l'utilisation des routes. Elles possèdent de nombreuses particules fines. Ces dernières sont transportées au bord des chaussées voire au-delà de celle-ci par les mouvements de l'air et les projections d'eau. Le dimensionnement des bords des chaussées peut avoir une influence sur la rétention de ces particules.

4.5 Zones humides

L'article premier alinéa 1 de la Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux, conclue en 1971, définit les zones humides comme étant :

« […] *des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres* » (RAMSAR 1971).

Depuis plusieurs siècles, la superficie des zones humides naturelles a fortement décru. Au niveau mondial, la perte de ces ressources est estimée à 87% (RAMSAR 2018). A l'échelle de la Confédération, bien qu'actuellement près de 32'000 étangs et mares ont été recensés, 90% de ceux-ci ont disparu notamment au profit de l'intensification de l'agriculture, de l'urbanisation et d'autres activités anthropiques (SCNAT 2017). La diminution de ces milieux, qu'elle soit d'origine naturelle ou artificielle, pourrait desservir les générations futures, confrontées aux enjeux générés par leurs prédécesseurs. En effet, les zones humides offrent plusieurs services écosystémiques favorables à l'homme et à son environnement, dont particulièrement ceux décrits ci-après (RAMSAR s. d.).

<u>La reconstitution des aquifères souterrains</u>

En fonction des caractéristiques du sol au-dessus duquel repose les zones humides, ces dernières sont en contact constant avec les nappes phréatiques. Elles permettent ainsi d'alimenter les eaux souterraines et d'assurer un approvisionnement en eau douce. La part d'eau douce dans le monde représente moins de 3% des ressources en eaux. Les trois quarts de ce pourcentage sont stockés sous forme de glace. Il en résulte que près de 0.3% de l'eau douce disponible constitue les nappes phréatiques (C.I.EAU s. d.).

<u>La valorisation de la biodiversité</u>

Chaque zone humide possède ses propres spécificités. De ce fait, cet écosystème peut contenir des espèces endémiques. Les zones humides offrent ainsi un habitat pour se nourrir, se développer, s'abriter ou encore servir de relais faisant partie intégrante d'un réseau écologique (RAMSAR s. d.).

<u>Le stockage de carbone</u>

Les zones humides marquées par la présence d'une eau stagnante, d'un sol saturé en permanence et en condition d'anaérobie favorisent l'établissement de tourbe en accumulant la litière végétale peu voire non minéralisée. Les tourbières permettent de stocker le carbone terrestre. Ces milieux naturels représentent 3% de la superficie émergée de la Terre. Néanmoins, 30% du carbone y est stocké (RAMSAR s. d.).

<u>La rétention et la diminution du risque d'inondation</u>

Certains de ces milieux naturels tels qu'entre autres, les mares et les étangs, aident à la régulation de l'activité hydrologique d'une région, d'une ville ou encore d'un quartier. Ils veillent ainsi à endiguer et à limiter les risques d'inondation en temporisant l'afflux des eaux de ruissellement et des eaux pluviales avant leur rejet dans les milieux récepteurs (RAMSAR s. d.).

<u>L'épuration des eaux</u>

Les zones humides possèdent une fonction de filtre naturel limitant ainsi la contamination et la propagation de certains polluants vers d'autres compartiments de l'environnement (notamment le sol et les eaux). Elles peuvent, grâce à certaines plantes hydrophytes et par leur substrat, absorber certains polluants (RAMSAR s. d.).

Bien que tous ces services écosystémiques s'entremêlent, il est difficilement envisageable de valoriser uniquement un seul de ces services sans avoir une quelconque influence sur un autre. Dès lors, étant donné que ce travail se focalise principalement sur l'utilisation d'étangs comme système de traitement de la pollution des eaux de ruissellement de la zone urbaine, la rétention des eaux de petites crues ou encore la valorisation de la biodiversité seront également promues.

4.6 Synthèse

Le développement urbain impacte et dégrade les ressources naturelles. Dans les pays fortement urbanisés et qui possèdent des taux d'imperméabilité du sol relativement élevés, la pollution augmente en offrant des surfaces de dépôt toujours plus conséquentes aux substances nocives à la fois à l'environnement et à l'homme.

Bien que la légalisation règlemente les atteintes portées aux ressources naturelles, un effort demeure pour temporiser et éliminer la charge polluante provenant des eaux de ruissellement avant leur déversement dans les milieux récepteurs.

DEUXIÈME PARTIE | ZONE HUMIDE ÉPURATRICE

5. Zone humide épuratrice (ZHE)

5.1 Principes

Comme évoqué précédemment, il existe des zones humides naturelles ou artificielles qui ont pour fonction d'assainir les eaux usées et polluées. Leur principe de fonctionnement se fonde sur des mécanismes d'ordre physique et biochimique tels que la décantation et la dégradation de la charge polluante par les microorganismes, la faune et la flore aquatiques.

Il s'agit d'une démarche *low tech* valorisant les services écosystémiques des zones humides en les considérant comme de véritables systèmes de traitement de la pollution. Dans le cadre de ce travail, les étangs urbains seraient de véritables zones tampons. Ceci permet ainsi de garantir une meilleure qualité des eaux et le respect des milieux récepteurs comme écosystème tout en assurant une évacuation des eaux de ruissellement en milieu urbain. Le schéma présenté ci-dessous illustre ces propos.

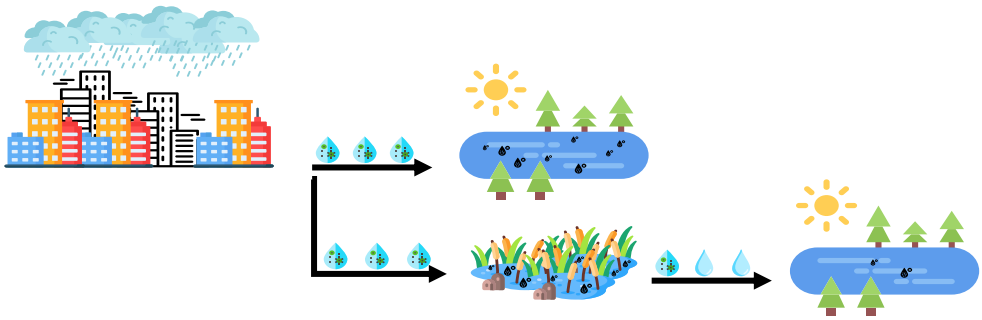


Figure 4 : Schéma du concept du projet |Laïs Jeanneret, Flaticon.com

5.1.1 Volumes pour la qualité de l'eau

De manière générale, le dimensionnement des zones humides en milieu urbain consiste principalement à garantir une protection contre les crues en aménageant par exemple des bassins de rétention ou des îlots d'agréments. Néanmoins, il est possible de dimensionner un ouvrage d'utilité publique permettant également d'améliorer la qualité des eaux de ruissellement avant leur rejet dans le milieu récepteur.

La Figure 5 explique de cette faisabilité technique. L'étang est caractérisé par la présence de deux bassins connectés (*forebay* et *micropool*) et par une stratification en fonction du service de régulation visé (efficacité qualitative et/ou hydraulique). La première particularité n'est pas obligatoire bien que privilégiée. La seconde va être l'objet principal de ce travail.

La conception d'une ZHE est caractérisée par le dimensionnement des deux premiers niveaux portant sur la qualité des eaux (**WQ_v**, the Water Quality volume – le volume de la qualité de l'eau) ainsi que le dimensionnement contre les petites crues (**Cp_v**, Channel protection volume – le volume de protection pour les milieux récepteurs).

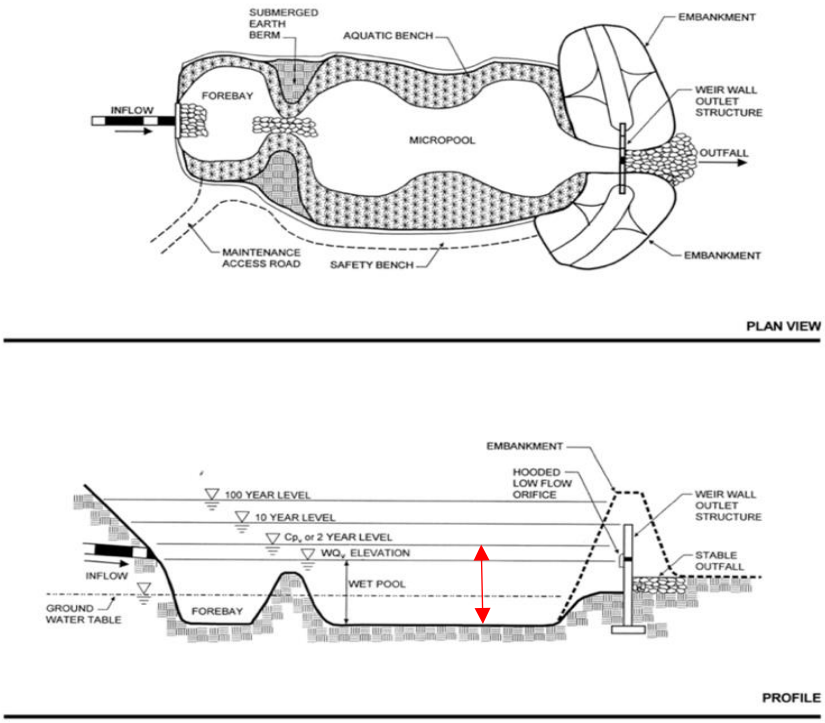


Figure 5 : Stratification de l'étang en fonction de son service de régulation | Maryland Department of the Environment

Le WQ_v est défini comme étant la quantité des eaux de ruissellement issue de la moyenne annuelle des précipitations qui devraient être captées puis traitées afin de garantir l'élimination de la majorité de la pollution des eaux pluviales. Le volume recommandé doit pouvoir recueillir 90% des précipitations ayant eu lieu sur une période donnée (Comprehensive Environmental Inc. et New Hampshire Departement of Environmental Services 2008). Ce pourcentage correspond au rendement hydraulique. Le volume correspondant à la qualité de l'eau est défini de la manière suivante :

$$WQ_v = Cr \cdot A \cdot P$$

Avec

Cr : Coefficient de ruissellement [-]

A : Surface du bassin versant [ha]

P : Lame précipitée atteinte ou dépassée les 90% du temps selon un catalogue annuel des précipitations [mm]

Le Cp_v, l'étage supérieur au WQ_v, doit également être pris en compte. En effet, ce critère a pour objectif de limiter la dégradation des milieux récepteurs. Cela consiste notamment à les protéger de l'érosion et de la sédimentation associée dues à l'urbanisation du bassin versant. Il est déterminé en fonction du débit de pointe d'une crue ayant un temps de retour de deux ans (Comprehensive Environmental Inc. et New Hampshire Departement of Environmental Services 2008).

La contrainte du système est la suivante : l'orifice de sortie associée à ce niveau de l'étang est limité au débit d'une crue similaire provenant du bassin versant de la zone d'étude n'ayant pas subi d'urbanisation (Gironás et al. 2009).Le schéma suivant illustre ces propos.

Figure 6 : Schéma du dimensionnement du Cpv | Laïs Jeanneret

La Figure 7 expose un exemple de dimensionnement d'un étang où la fonction épuratrice est mise en avant. Trois éléments principaux ressortent.

1. Comme évoqué précédemment, on observe la stratification de l'étang en fonction du service de régulation visé.
2. Plusieurs organes de contrôle tels que des orifices et un déversoir sont considérés (n°1 à 4). C'est-à-dire que pour chaque objectif de dimensionnement, un organe de contrôle lui est associé.

   Etant donné que cette étude se concentre sur le WQ_v et sur le Cp_v, leurs volumes respectifs sont donc régulés par deux orifices spécifiques et distincts. Les orifices n°1 et n°2 n'ont pas les mêmes dimensions étant donné que ces volumes ne répondent pas à un but commun. Il en résulte que le WQ_v se déverse par le fond du bassin (orifice n°1) tandis que le Cp_v se vide par une sortie au-dessus du WQ_v (orifice n°2).

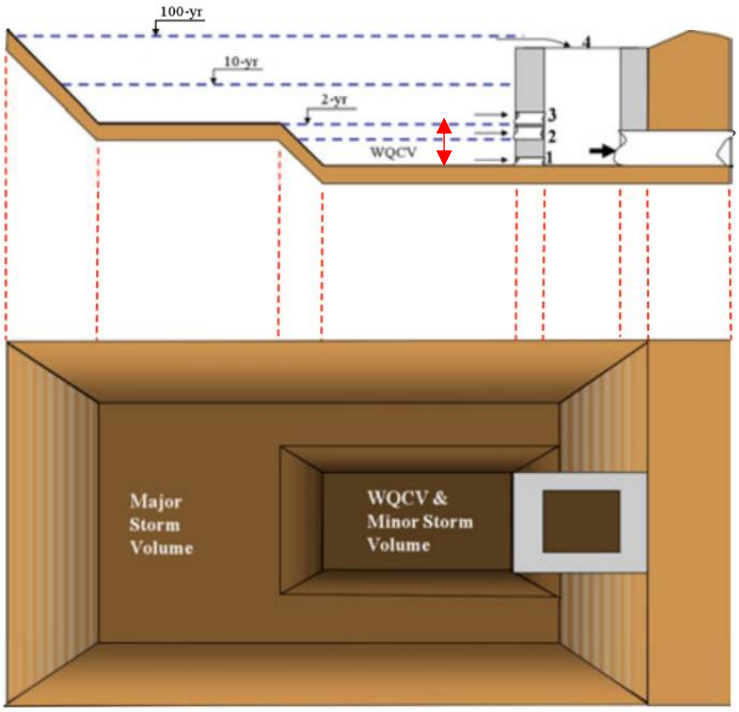


Figure 7 : Exemple de dimensionnement d'une ZHE | SWMM

L'orifice n°1 doit garantir un temps de séjour maximal pour éliminer la charge polluante tandis l'orifice n°2 doit assurer le déversement d'une petite crue sans dépasser la contrainte liée au débit de rejet maximal (débit pré-urbanisation).

Au-delà du caractère de protection, les crues ayant un temps de retour de deux ans peuvent, en partie, être incorporées aux objectifs relatifs de la qualité des eaux étant donné qu'elles ont lieu périodiquement et peuvent contenir des charges polluantes plus importantes. Cependant, certaines limites apparaissent. Si le bassin qui les réceptionnent est relativement vide, alors une partie de leur volume va correspondre au WQ_v (1). Le cas échéant, une partie voire la totalité de la crue ne pourra pas être traitée et donc être directement déversé dans le cours d'eau (2).

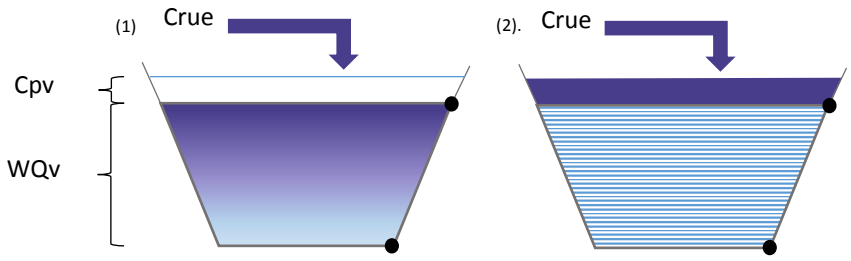


Figure 8 : Schéma explicatif pour le traitement total ou partiel des eaux issues des petites crues | Laïs Jeanneret

3. La morphologie du bassin n'est pas uniquement représentée par une fosse. Plusieurs étages se dessinent. Cela peut notamment avoir une influence sur le temps de séjour et l'établissement d'un écosystème.

5.1.2 Temps de séjour (T_s)

Une ZHE en tant qu'entité de traitement naturel est principalement caractérisée par sa capacité à temporiser les eaux avant leur rejet. Le principe relève du bon sens ; c'est-à-dire que plus le temps de séjour sera long plus il sera possible d'abattre la charge polluante. Les différentes recommandations afin de déterminer et d'évaluer le temps de séjour d'un bassin est présenté selon le schéma suivant (SETRA 1997).

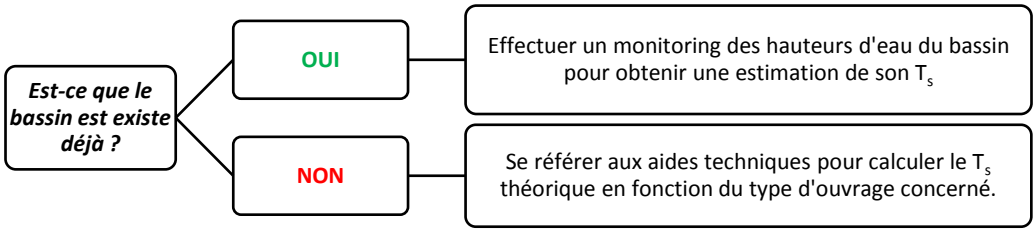


Figure 9 : Recommandation pour la détermination du Ts | Laïs Jeanneret

En fonction du type de bassin à dimensionner, des nuances peuvent apparaître pour l'évaluation du temps de séjour (SETRA 1997). Ce travail considère les ZHE comme un bassin en eau possédant un volume plus ou moins permanent. Le Tableau 2 associe un temps de séjour à un rendement d'abattement de la charge polluante pour des bassins permanents. Comme on peut le constater, il est recommandé d'avoir au minimum un temps de séjour de 24 heures pour éliminer au moins 80% des MES (Matières solides En Suspension).

Tableau 2 : Rendement épuratoire de bassins permanents pour un même temps de séjour |SETRA

T_s [h]	MES [%]	Phosphore total [%]	Azote total [%]	DCO [%]	Métaux [%]
6 à 12	60-80	20-40	20-40	20-40	40-60
24	80-100	60-80	40-60	40-60	60-80
48	90-100	80-90	60-70	60-80	80-90

En complément de ce qui précède, le tableau suivant met en avant les rendements concernant la pollution chronique en MES et la pondération associée à d'autres polluants. Ceci résulte du fait que certains contaminants dépendent directement des MES. Afin de tenir compte de cette particularité, une pondération est appliquée.

Tableau 3 : pondération en fonction des MES en charge annuelle pour un même temps de séjour | SETRA

Paramètres de pollution	MES	DCO	DBO_5	NTK	Métaux	Chlorures
Coefficient de pondération	1	0.85	0.85	0.65	1	0

5.1.2.1 Optimisation du temps de séjour

Etant donné que l'efficacité épuratoire d'une ZHE est dépendante d'un T_s, des réflexions quant à son optimisation peuvent survenir. Le chapitre 5.1.1 *Volumes pour la qualité de l'eau* introduisait la notion du WQ_v qui est régulé par un orifice. Ce dernier doit notamment être suffisamment petit pour satisfaire les recommandations liées au temps de séjour pour éliminer au maximum la charge polluante. En complément au dimensionnement des paramètres hydrauliques du système de traitement naturel, il est possible d'augmenter le T_s en travaillant sur la topographie de l'étang, en particulier son fond. L'étude de Conn et Fiedler (2006) confirme cette affirmation. Il est donc recommandé d'avoir un tracé sinueux au fond de notre étang pour augmenter le T_s au lieu de permettre directement au flux d'eau de rejoindre les orifices de sorties. La Figure 10 illustre ces propos.

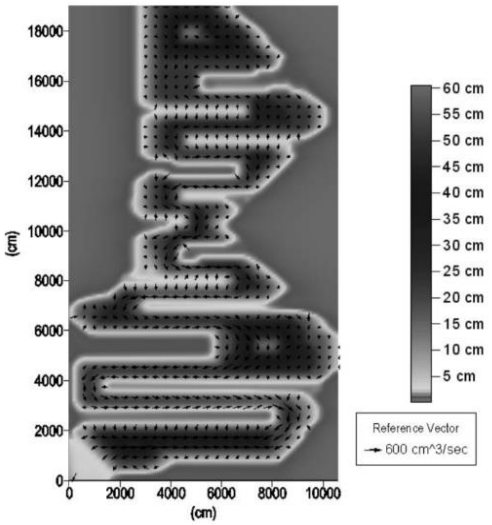


Figure 10 : Parcours sinueux pour augmenter le T_s | Conn et Fiedler 2006

5.1.3 Aménagement, biodiversité et qualité de l'eau

Comme vu précédemment, le dimensionnement d'une ZHE ne correspond pas à l'image d'un bassin amorphe. Plusieurs niveaux se dessinent ce qui permet notamment une ouverture pour la valorisation de la biodiversité. Bien que les surfaces disponibles en milieu urbain soient restreintes, l'aménagement d'une ZHE doit posséder des caractéristiques favorisant le développement d'espèces animales et végétales. Les recommandations, non-exhaustives, qui sont décrites ci-après ont été choisies du fait qu'elles lient trois aspects à prendre en compte pour une ZHE : son aménagement, la valorisation de la biodiversité ainsi que la qualité des eaux.

<u>Les berges</u>

Il convient d'aménager des berges avec des pentes douces dans le but d'offrir un espace de développement à une biocénose, où différentes relations entres les espèces animales et végétales peuvent avoir lieu. (Frossard et al. 2015). Au-delà de la valorisation de la biodiversité, il s'agit également d'avoir un impact sur la qualité de l'eau. L'implantation de la végétation et leur interaction avec des microorganismes peuvent également faciliter la dégradation biologique de polluants organiques. Cela se passe au niveau de la rhizosphère de la plante et ce processus se nomme la phytostimulation ou rhizodégradation (Pilon-Smits 2005). Le chapitre suivant explique le principe de phytoremédiation.

<u>L'étanchéité</u>

Lorsqu'une étanchéité doit être mise en place, il convient de privilégier une étanchéité naturelle (type argile) au lieu d'une étanchéité artificielle (type bâche) (Frossard et al. 2015). Cependant, une étanchéité naturelle telle que de l'argile peut subir de l'infiltration. Bien que certains polluants métalliques puissent adsorber aux particules argileuses, il se peut qu'une partie passe au travers (Ghayaza et al. 2010). La pollution se déplace donc d'un compartiment à un autre dans l'environnement.

L'entretien

Pour garantir à la fois le bon fonctionnement de la ZHE et l'établissement de la biodiversité sur le long terme ainsi que d'éviter le phénomène d'atterrissement, il est nécessaire d'entretenir ce système de traitement naturel de manière occasionnelle selon les références du manuel (Frossard et al. 2015).

5.1.4 Phytoremédiation

Certains organismes vivants, par exemple les vers de terres, les daphnies, les poissons ou encore les végétaux, sont utilisés en laboratoire afin de rendre compte de l'écotoxicité d'une substance au sein d'un milieu tel que les sols ou les eaux. Cela permet d'identifier l'effet des substances sur ces organismes et leur environnement, ainsi que d'établir des solutions adéquates pour supprimer, le cas échéant, réduire l'utilisation de ces substances.

Il est également possible d'observer directement la présence de polluants dans l'environnement. Un exemple commun est l'eutrophisation des eaux superficielles (cf. Figure 11). Ce phénomène a lieu lorsqu'un nutriment s'accumule et se retrouve en excès dans un milieu aquatique (exemple du phosphate présent dans les engrais utilisés dans l'agriculture et dans les poudres à lessive). Cela crée une déstabilisation biochimique du milieu par une forte croissance d'algues et de plantes aquatiques si importante qu'elle provoque sa désoxygénation du milieu. Ceci peut engendrer la mort de multiples organismes vivants dépendants d'oxygène.

Figure 11 : Exemple d'eutrophisation | Ecotoxicologie.fr

Les déséquilibres biochimiques peuvent être abordés par l'intermédiaire d'espèces végétales capable d'absorber certains polluants, et ainsi permettre une épuration naturelle d'un milieu. On parle de phytoépuration. Ce processus est parfois utilisé pour décontaminer les sols des sites pollués. C'est dans une démarche similaire qu'il convient d'utiliser des macrophytes pour la création une ZHE. Ils regroupent de nombreux intérêts et répondent de manière diversifiée au type de polluants en fonction de l'espèce exposée (Guittonny-Philippe et al. 2014).

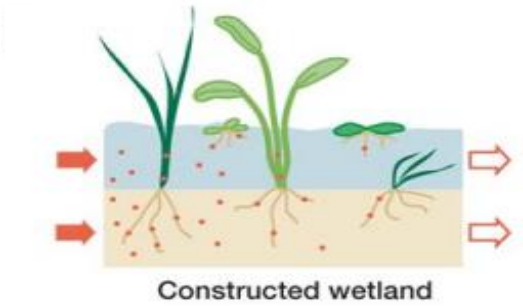


Figure 12 : Bioaccumulation de la charge polluante par les végétaux | Pilon-Smits 2005

Ils fonctionnent tout simplement comme des filtres dans les étangs. Les végétaux croissent en puisant les nutriments présents dans leur environnement par le biais de leur système racinaire. C'est de la même manière que ceux-ci vont absorber les polluants. La Figure 12 expose le procédé. La charge polluante, représentée par les points rouges, est accumulée dans les cellules végétales. Etant donné que certains polluants ne peuvent pas être dégradés, comme les métaux lourds, on parle de bioaccumulation (Pilon-Smits 2005). Cela veut dire que les plantes peuvent potentiellement posséder des concentrations importantes d'une substance dans leur organisme.

La capacité de certaines macrophytes à accumuler des métaux lourds est étudiée depuis quelques années. Il en ressort notamment que les végétaux présentés dans le Tableau 4 bénéficient particulièrement de ces fonctions de bioaccumulation et sont donc couramment utilisées dans les systèmes de traitement naturels. Parmi les macrophytes cités ci-dessous, on peut distinguer les plantes hydrophytes (totalement immergées ou presque) des plantes hélophytes (dont les bases des tiges sont non immergées) (Boutin 2014). Chaque partie de la plante possède des fonctions au sein de l'étang qui lui est propre, selon la Figure 13 ci-dessous (Boutin 2014).

En revanche, une partie de ces plantes ne sont pas indigènes et peuvent dès lors être invasives. Afin de garantir une phytoremédiation et la conservation de la biodiversité, il est recommandé d'établir une évaluation des capacités de bioaccumulation de la végétation autochtone (Guittonny-Philippe et al. 2014).

Tableau 4 : Plantes bioaccumulatrices de métaux lourds | Guittonny-Philippe et al. 2014

Plantes flottantes	Métaux lourds
La fougère asiatique *Azolla pinnata*	Baryum, Cadmium, Chrome, Cobalt, Cuivre, Fer, Manganèse, Mercure, Nickel, Plomb, Titane, Zinc
La jacinthe d'eau *Eichhornia crassipes*	
Les deux lentilles cosmopolites *Lemna minor* et *Spirodela polyrhiza*	
La laitue d'eau tropicale *Pistia stratiotes*	
La salvinie sud-américaine *Salvinia herzogii*	
Bioaccumulateurs aquatiques	
Le roseau hélophyte *Typha latifolia*	
hydrophytes cosmopolites	
le cornifle *Ceratophyllum demersum*	
Hydrilla verticillata	
les potamots *Potamogeton crispus et Potamogeton pectinatus*	

Partie des plantes	Rôle	LAG	FPRv	FPRh
Partie aérienne	Atténuation de la lumière, réduction de la photosynthèse dans les eaux	x		
	Influence du microclimat, isolation (hiver ou été)	x	x	x
	Réduction de la vitesse du vent et du risque de remise en suspension des sédiments	x		
	Évapotranspiration estivale	x	x	x
	Aspect esthétique positif du système	En été		
	Stockage d'éléments nutritifs	En cycle végétatif		
Partie immergée	Réduction de la vitesse du courant et augmentation du taux de sédimentation, réduction du risque de remise en suspension	x		x
	Production d'oxygène photosynthétique	x		x
	Absorption des éléments nutritifs	x		x
	Augmentation de surface de fixation du périphyton	x		x
Racines et rhizomes dans les sédiments ou les dépôts de surface	Stabilisation de la surface des sédiments, réduction de l'érosion	x		
	Prévention du colmatage dans les systèmes à écoulements verticaux, effet de filtre des gros déchets		x	
	Augmentation de surface de contact pour les développements bactériens		x	x
	Libération d'oxygène augmentant la nitrification et la dégradation bactérienne	x	x	x
	Absorption des éléments nutritifs	x	x	x
	Production d'antibiotiques, de phytometallophores* et de phytochélatines*	x	x	x

LAG : lagune à macrophytes ; FPRv : filtre planté de roseaux à écoulement vertical ; FPRh : filtre planté de roseaux à écoulement horizontal.
*exsudats racinaires assurant la tolérance des plantes aux ions métalliques.

Figure 13 : Principales fonctions des macrophytes dans les marais artificiels | Boutin 2014

La phytoremédiation peut contribuer à éliminer la charge polluante pour la création d'une ZHE. Elle complète ainsi les exigences relatives au dimensionnement assurant la qualité des eaux. Toutefois, l'entretien de ces végétaux engendre des biodéchets. Etant donné que ceux-ci peuvent être chargés, à des concentrations variables, en métaux lourds (polluants non dégradables) leur élimination ne doit pas suivre une filière de recyclage et de valorisation des déchets verts. Ceci a notamment pour but de ne pas contaminer d'autres compartiments de l'environnement.

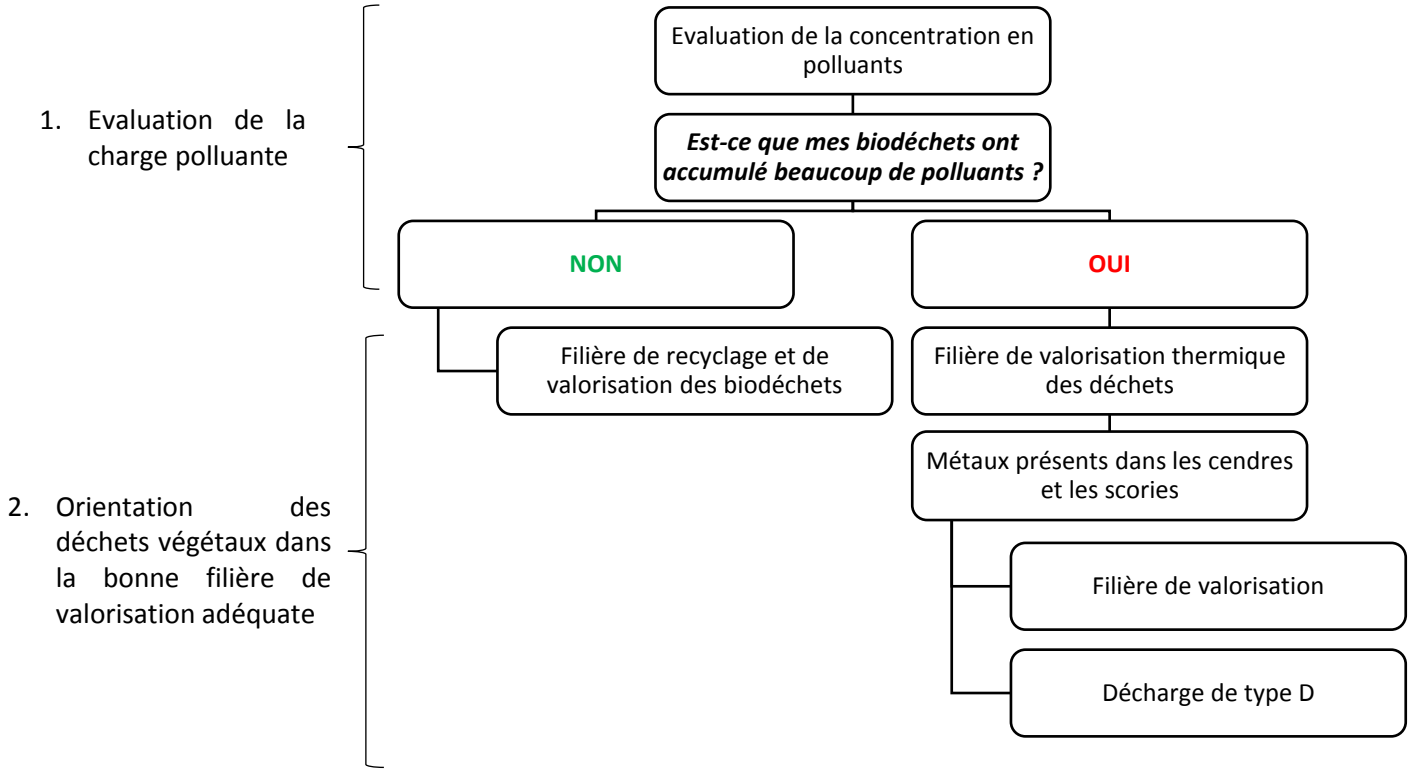
L'ordonnance fédérale sur la limitation et l'élimination des déchets (OLED, RS 814.600) renseigne sur les principes concernant la valorisation et l'élimination des biodéchets (art. 14 OLED) :

« [1]*Les biodéchets doivent faire l'objet d'une valorisation matière ou d'une méthanisation, pour autant:*

a. qu'ils s'y prêtent compte tenu de leurs caractéristiques et en particulier de leur teneur en nutriments et en polluants;
b. qu'ils aient été collectés séparément, et
c. que leur valorisation ne soit pas interdite par d'autres dispositions du droit fédéral.

[2]*Les biodéchets qui ne doivent pas être valorisés selon l'al. 1 doivent, dans la mesure de ce qui est possible et judicieux, faire l'objet d'une valorisation purement énergétique ou d'un traitement thermique dans des installations appropriées. Il convient ce faisant d'exploiter leur potentiel énergétique*. »

Au vu des éléments précédents, la marche à suivre pour l'élimination de la végétation de la ZHE est proposée ci-dessous.



5.1.5 Synthèse

Une ZHE est un système de traitement naturel suivant des mécanismes *low tech,* des eaux chargées en polluants. Son principe est simple. Bien que ce procédé comporte de nombreux avantages, il possède tout autant d'inconvénients. Le Tableau 5 présenté ci-dessous en énumère les principaux (Hunter s. d.).

Tableau 5 : Avantages et inconvénients principaux de la ZHE

Avantages	Inconvénients
Optimisation de la qualité des eaux de ruissellement avant leur rejet dans les milieux récepteurs.	Si des conditions d'anaérobie se développent, les polluants qui auront été auparavant captés peuvent être relâchés.
Possibilité de capter des crues caractérisées par des temps de retour faibles à élevés.	Potentiel impact sur les nappes phréatiques ou inversement en cas de contact et de contamination de l'un ou de l'autre flux hydrique.
Capacité à réguler des fonctions autres que la régulation de la qualité des eaux telles que la valorisation de la biodiversité, la création d'un espace d'agrément, la rétention des eaux, etc.	Laps de temps long (près de trois ans) entre la mise en place de la ZHE et l'obtention de rendements souhaités. La capacité de traitement est dépendante de son dimensionnement hydraulique et de son aménagement.
Diversités typologique et morphologique des ZHE.	Apport de flux d'eaux de ruissellement régulier.
Réaménagement possible de bassins existants tels que les bassins de rétention pour créer une ZHE.	Demande en surface importante.

L'implantation d'une ZHE ou le réaménagement d'une zone humide existante en vue d'en faire une ZHE comporte certaines contraintes, notamment en milieu urbain. Il s'agit notamment d'identifier à la fois les attributs hydrauliques du bassin ainsi que le besoin en traitement. Les éléments suivants constituent la base sur laquelle se repose l'appréciation d'une ZHE (Hunter s. d.).

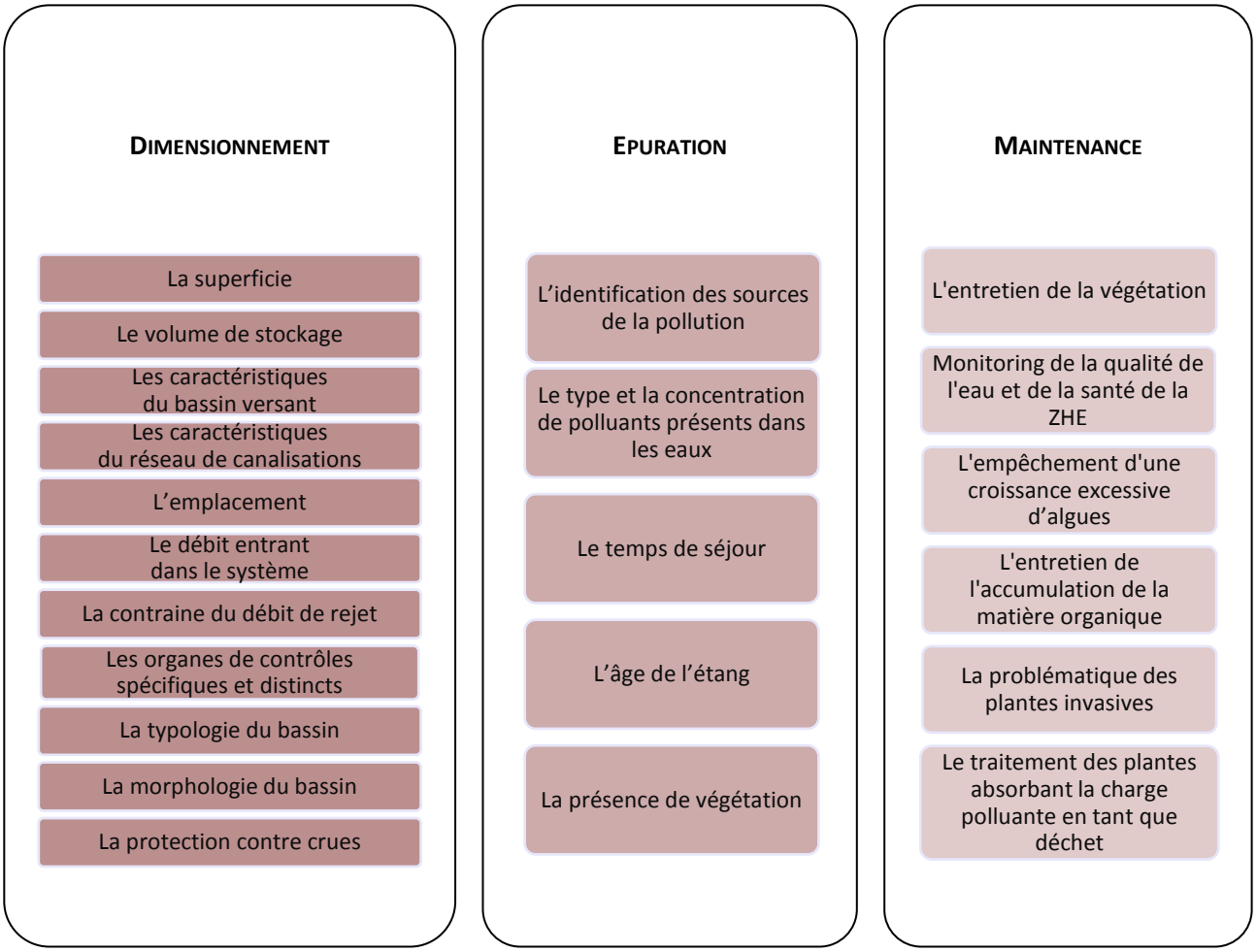


Figure 15 : Eléments d'appréciation d'une ZHE | Laïs Jeanneret

TROISIÈME PARTIE | ETUDE DE CAS

6. ETUDE DE CAS

6.1 Méthodologie

Afin d'étudier la pertinence d'implanter des zones humides en milieu urbain pour assurer une épuration naturelle des eaux pluviales, le présent travail porte sur l'analyse d'un étang du canton de Genève. Ce chapitre établi un diagnostic de son état actuel ainsi que de son potentiel épuratoire.

Le projet CONFORTO a répertorié un certain nombre d'étangs en se basant sur un ensemble de critères (1. à 4.) dont l'efficacité hydraulique qui est la thématique centrale de ce travail. Une inspection de la liste des étangs retenus ou potentiellement retenus a été réalisée afin de déterminer lesquels répondent aux conditions présentées ci-après, ordonnés selon le degré d'importance. Cette étape a été réalisée avec le système d'information géographique du canton de Genève (SITG). L'annexe 1 présente les résultats de l'ensemble des étangs recensés.

1. Présence d'un raccordement au réseau de canalisations des eaux pluviales ;
2. Existence d'ouvrage hydraulique d'utilité public ;
3. Facilité d'identifier le milieu récepteur à proximité immédiate de l'étang ;

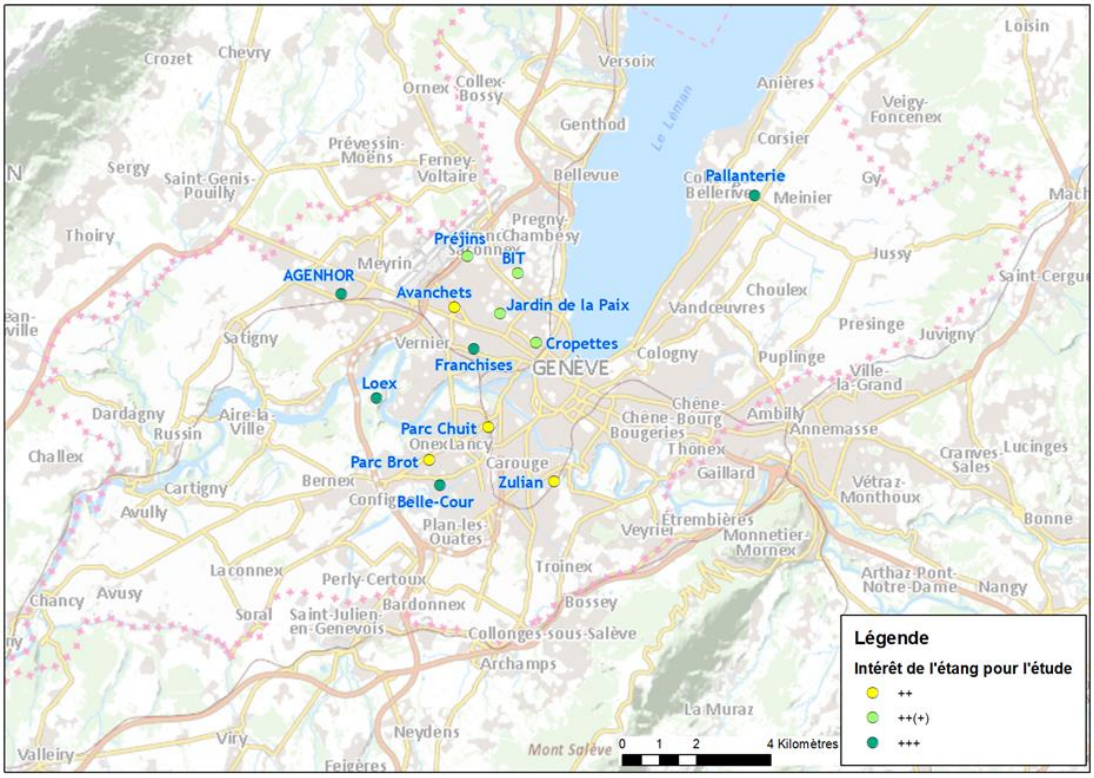


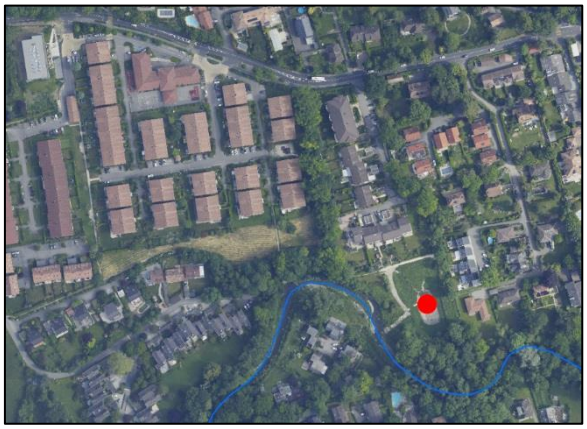
Figure 16 : Recensement des étangs du projet CONFORTO | CONFORTO

Il ressort que les étangs Belle-cour et Parc Brot satisfont les conditions précitées. Par manque de temps et en fonction des données à disposition ainsi que de l'intérêt de ces étangs pour le projet CONFORTO, ce chapitre s'intéresse uniquement à l'étang Belle-cour, dans le but d'établir un diagnostic complet. Il renseigne sur les caractéristiques existantes de l'étang sélectionné. Il indique à la fois les paramètres hydrauliques, l'aménagement dudit étang ainsi que le degré d'atteintes portées aux eaux.

Le SITG ainsi que les données du projet CONFORTO ont été utilisés pour déterminer les éléments relatifs aux paramètres hydrauliques et à l'aménagement du bassin. Une visite de terrain, en date du 31 mars 2021, a également été organisée afin de compléter les informations. Concernant le degré de la pollution des eaux, celui-ci a été estimé selon les principes de la directive de la VSA.

6.2 Etang Belle-cour | Trévisan

6.2.1 Diagnostic



L'étang Belle-cour se situe dans la commune d'Onex (GE) en zone d'affection 4B (zone rurale / villages, hameaux) englobant principalement des maisons d'habitation. Il fait partie du projet de régulation des eaux pluviales du bassin versant de L'Aire (Etienne 2018).

L'étang Belle-cour est en réalité un bassin de rétention. Un bassin de rétention sert de stockage provisoire pour les eaux pluviales et de ruissellement. Il permet de ne pas surcharger la capacité hydraulique du réseau de canalisations et de garantir le respect du débit de rejet maximal autorisé dans le milieu récepteur. Cet ouvrage d'utilité publique a été créé à la suite des fortes intempéries de 2013 où pas moins de 94 [L/m²] se sont abattus à Genève (RTS 2013).

6.2.1.1 Evaluation de l'aménagement

Bien qu'il s'agisse d'un bassin de rétention, son aménagement n'a pas été créé de manière artificielle en imaginant l'implantation d'une fosse réceptionnant et évacuant les flux hydriques. L'étang Belle-cour renvoie un aspect naturel, intégré de l'environnement et valorisant la biodiversité par l'intégration d'espèces végétales au sein même d'un ouvrage de régulation d'utilité public. Il a été conçu avec des matériaux naturels. L'étanchéité a été élaborée à partir d'une épaisse couche d'argile. Cette dernière laisse toutefois le passage des eaux dans le sol par infiltration. Les berges sont stabilisées par des caissons formés de rondins en mélèze. Ceux-ci ont été garnis avec du compost et des nattes géotextiles naturelles en coco afin d'éviter l'érosion de ce dernier (Commune d'Onex s. d.). Que ce soit de manière directe ou indirecte, l'ensemble des éléments naturels qui structurent et habitent ce bassin de rétention ont potentiellement une influence sur la qualité des eaux. La Figure 18 présente une vue d'ensemble de l'aménagement dudit étang.

Figure 18 : Etang Belle-cour | Laïs Jeanneret, 31.03.2021

6.2.1.1.1 Topographie du bassin

La Figure 19 présente le modèle numérique de terrain (MNT) du bassin de rétention. Comme on peut le constater, les eaux de ruissellement entrant sont directement dirigées, de manière rectiligne, vers le fond du bassin (tracés bleus).

Celui-ci pourrait être encore optimisé en construisant un parcours sinueux depuis l'entrée des eaux de ruissellement jusqu'au fond du bassin et ainsi ralentir leur déversement via l'organe de contrôle et avoir une influence sur le temps de séjour.

Le MNT ainsi que la Figure 18 précédente permettent d'évaluer la pente des berges. Celles situées au Nord-Est sont caractérisées par une forte pente en comparaison à celles se trouvant au Sud-Ouest où une pente plus douce a été aménagée. On peut émettre l'hypothèse que cela permet de protéger les habitations à proximité immédiate du site contre des risques d'inondations en cas de forte crues.

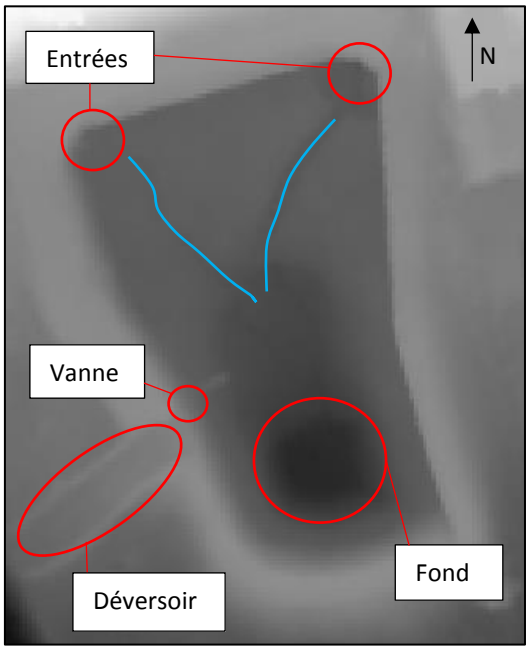


Figure 19 : MNT de l'étang Belle-cour | Swisstopo

6.2.1.1.2 Végétation

Toujours en référence à la Figure 18, on distingue que presque l'ensemble de l'étang est végétalisé. Selon les informations placardées in situ par la commune (Commune d'Onex s. d.) les talus ont été végétalisés de la manière suivante : au Nord des buissons, au Sud-Est des plants forestiers et à l'Ouest de la prairie buissonnante. La partie de l'étang pouvant être émergée regroupe des plantes hydrophiles telles que les laîches (supposé) et les roseaux. La Figure 20 ci-dessous montre l'état de la végétation lors de la visite de terrain du 31 mars 2021.

Figure 20 : Etat de la végétation de l'étang Belle-cour | Laïs Jeanneret, 31.03.2021

6.2.1.2 Evaluation des paramètres hydrauliques

6.2.1.2.1 Conception

L'annexe 2 présente une vue d'ensemble de la situation et des caractéristiques de l'étang Belle-cour. Cet ouvrage capte une partie des eaux pluviales du bassin versant de L'Aire, correspondant à une surface d'environ 16.3 [ha]. Cela comporte la zone d'habitations où 200 bâtiments et surfaces couvertes sont raccordés ainsi qu'une partie du tronçon de la route du Grand-Lancy. Les collecteurs réceptionnent à la fois les eaux pluviales et les eaux de drainages du quartier d'habitations.

En termes de dimensionnement, ce bassin possède une surface totale d'environ 2'000 m², une surface potentiellement inondée en permanence d'environ 550 m² et un volume de près de 2'000 m³. Un mètre sépare le fond de l'étang et la sortie vers l'exutoire. Le milieu récepteur du déversement de cet étang est la rivière L'Aire. Cette dernière est sensible aux rejets des eaux pluviales. Dès lors, le débit de rejet maximal autorisé du bassin de rétention est de 5 [L/s/ha] pour une pluie ayant un temps de retour de 10 ans (SITG). Le bassin de rétention est régulé par une vanne ainsi qu'un déversoir (cf. Figure 21).

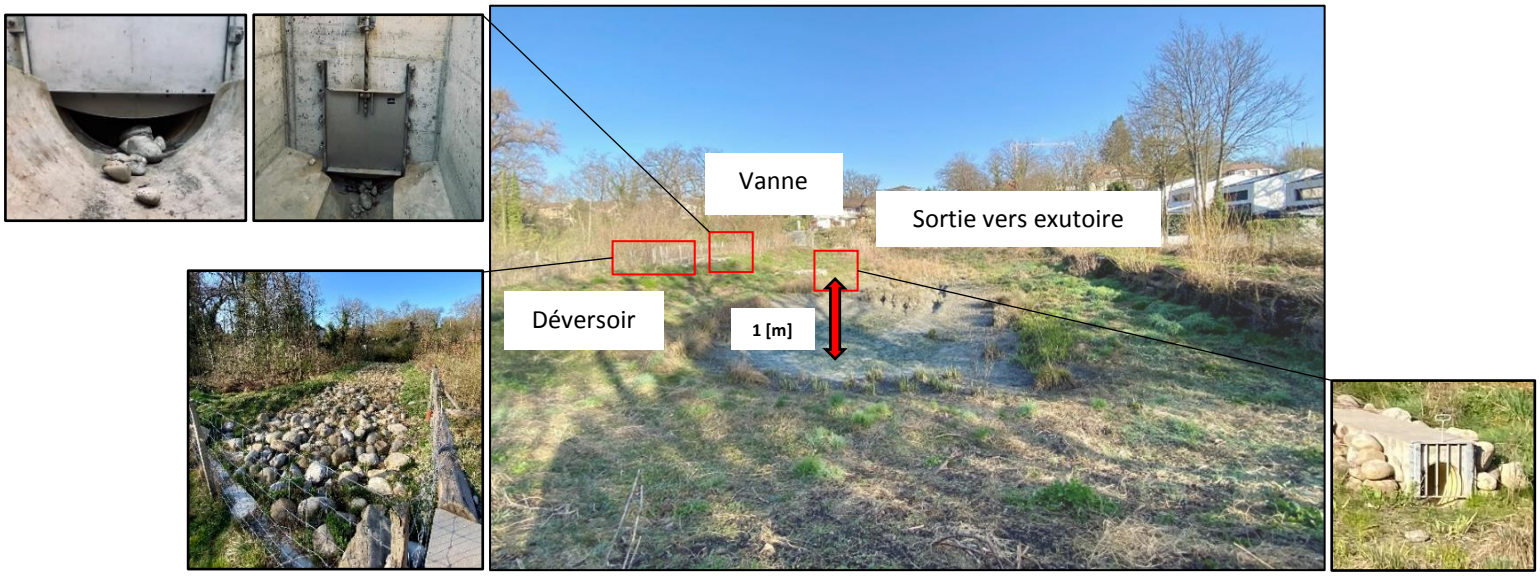


Figure 21 : Etang Belle-cour et ses caractéristiques | Laïs Jeanneret, visite du 31.03.21

6.2.1.2.2 Capacités hydrauliques

Afin d'analyser et d'évaluer les capacités hydrauliques de l'étang Belle-cour, une modélisation de celui-ci a été effectuée avec le logiciel *SWMM* (Storm Water Management Model). La Figure 22, présentée ci-dessous, expose les différents éléments tels que les sous bassins versants de L'Aire (en fonction de leur degré d'imperméabilité du sol), le bassin de rétention, l'orifice en tant qu'organe de contrôle ainsi que le déversoir.

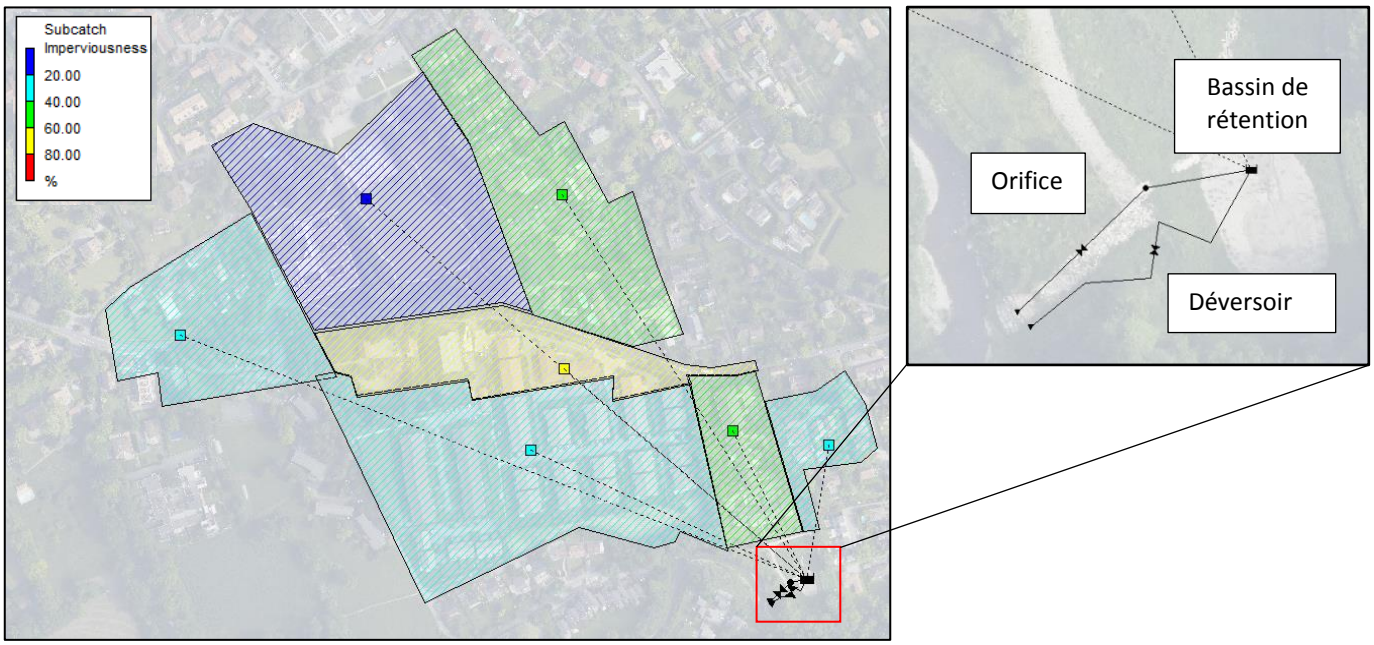


Figure 22 : Situation du projet et caractéristiques du bassin de rétention | SWMM

Afin d'évaluer la qualité de la modélisation, une simulation de l'étang Belle-cour a été effectuée sur une période d'une trentaine d'année (pluies de Chevrier de 1989 à 2020). Celle-ci a ensuite été comparée aux valeurs mesurées durant les mois de mars à septembre 2020. Comme le montre la Figure 23 ci-dessous, on

observe des tendances similaires entres les données mesurées et les données modélisées. On peut dès lors considérer que la modélisation est satisfaisante dans le cadre de cette étude.

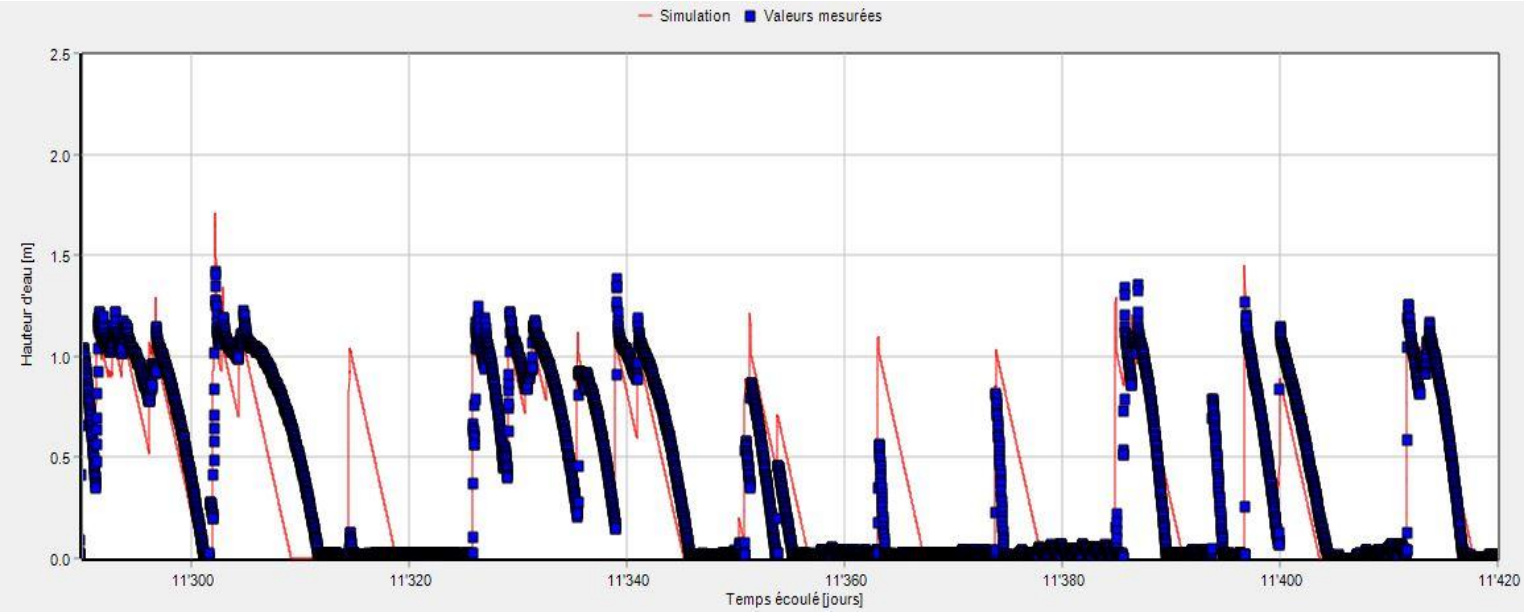


Figure 23 : Modélisation de l'étang Belle-Cour, réponse du bassin du bassin de rétention, en rouge la modélisation, en bleu les valeurs mesurées | SWMM

Avant d'entamer l'évaluation des capacités épuratrices de l'étang Belle-cour, une analyse de son fonctionnement actuel, en tant que bassin de rétention, a été établi selon les résultats de la simulation. Il s'agit notamment d'observer les débits de pointe entrants, les volumes générés ainsi que le respect du débit de rejet maximal de 5 [L/s] (crue ayant un temps de retour de 10 ans) par la vanne de contrôle.

Les statistiques des débits de pointes entrants provenant des résultats de la simulation dénombrent 1'812 événements. Un événement est caractérisé par des précipitations générant un débit supérieur à 0.1 [L/s] séparé d'au moins 24 heures d'un autre événement. Les débits minimal et maximal observés sont respectivement d'environ 0.1 [L/s] et 1'331 [L/s]. Le graphique présenté ci-dessous expose les temps de retour associés aux débits de pointe entrants. On observe que les trois valeurs maximales sont caractérisées par des temps de retour de 64 ans, 21 ans et 13 ans. La majorité des débits de pointe entrants provient de petites crues ayant un temps de retour inférieur à de 2 ans.

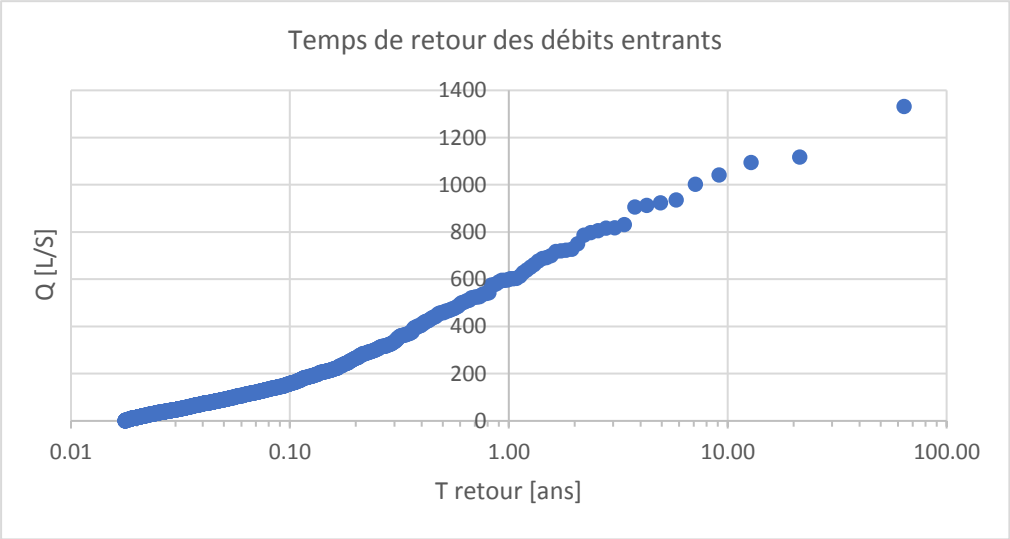


Figure 24 : Graphique des temps de retour des débits de pointe entrants | Laïs Jeanneret, SWMM

La démarche a été appliquée de manière identique concernant les volumes générés par les débits de pointe. Les volumes minimal et maximal générés sont respectivement d'environ 62 litres et plus de 13 millions de litres. Le graphique présenté ci-après expose les temps de retour associés aux volumes générés par les débits de pointe. Les trois valeurs maximales possèdent des temps de retour similaire aux débits de pointe (64 ans, 21 ans et 13 ans). La majorité des volumes générés provient également de petites crues qui sont caractérisées par des temps de retour inférieur de 2 ans.

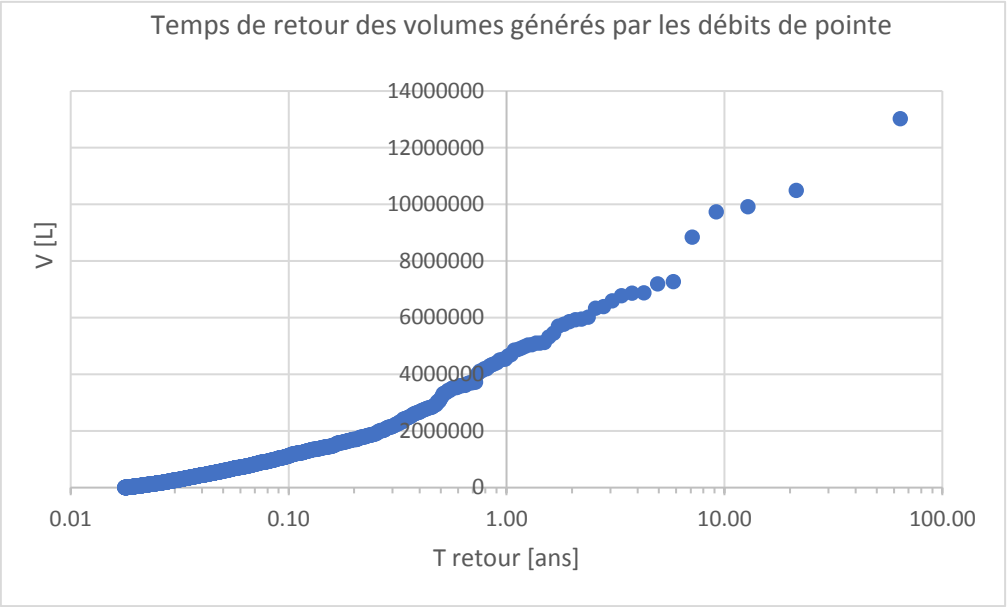


Figure 25 : Graphique des temps de retour des volumes générés par les débits de pointe entrants | Laïs Jeanneret, SWMM

Afin d'avoir une vue d'ensemble des éléments précédents, le graphique suivant met en relation les débits de pointe entrants en fonction des volumes générés.

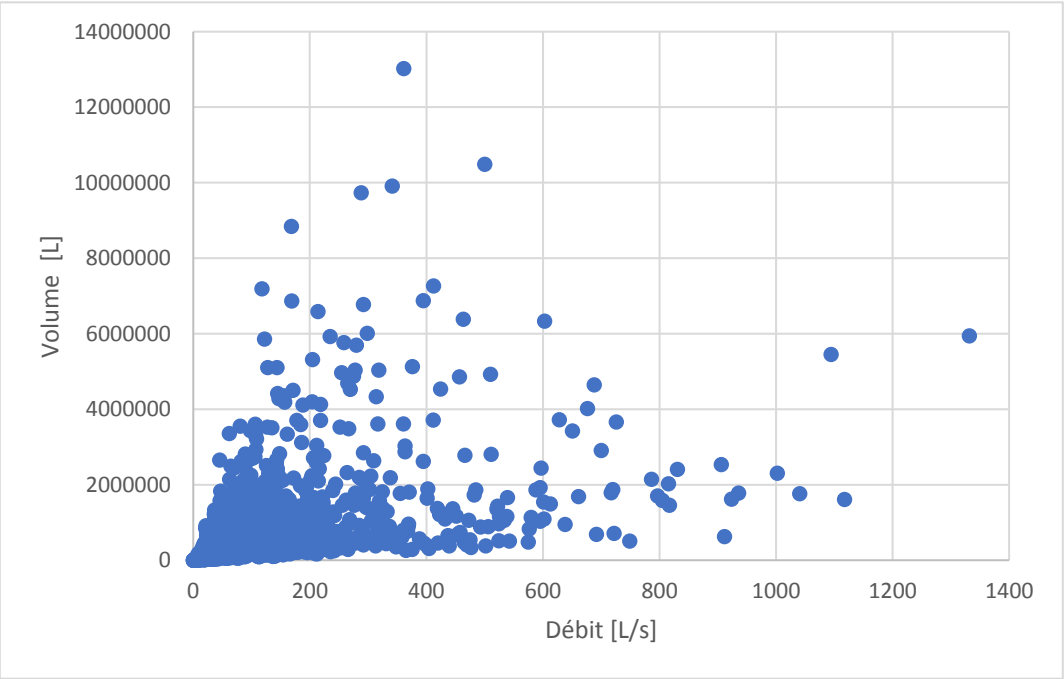
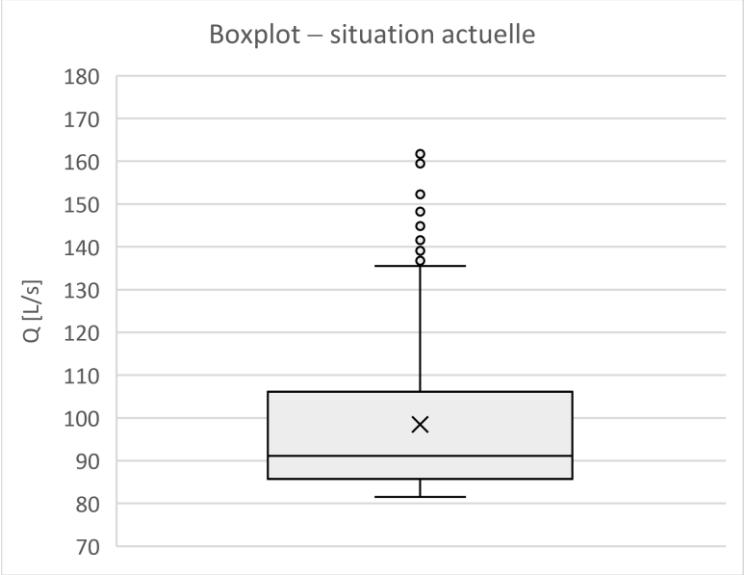


Figure 26 : Graphique associant les débits de pointe entrants avec les volumes générés | Laïs Jeanneret, SWMM

Le débit de rejet maximal autorisé pour la vanne de contrôle est de 5 [L/s/ha] (soit 81.5 [L/s] pour une zone d'étude de 16.3 [ha]) pour une crue ayant un temps de retour de 10 ans, c'est-à-dire que l'organe de contrôle ne devrait pas dépasser plus de 3 fois le débit de rejet maximal autorisé, soit 1 fois tous les 10 ans. Sur une période de simulation de 32 ans, 472 événements ont été recensés. Un événement est défini pour un débit limité à celui du rejet maximal autorisé, soit de 81.5 [L/s], séparé d'au moins 24 heures. Les débits minimal et maximal observés à l'exutoire sont respectivement d'environ 82 [L/s] et 162 [L/s]. Le boxplot de la Figure 27 présente la distribution des débits sortants. Cela permet notamment de constater que la majorité des débits sortants sont inférieurs à 90 [L/s], soit un débit supérieur d'environ 10% au débit de rejet maximal autorisé. Au vu de ce qui précède, le débit de rejet maximal n'est pas respecté.



Le déversoir n'a pas été utilisé durant la période d'observation. Aucune donnée n'a dès lors pu être exploitée pour l'appréciation de son fonctionnement.

Comme évoqué au chapitre 5.1.1 *Volumes pour la qualité de l'eau*, trois paramètres sont indispensables pour garantir le dimensionnement d'un étang ayant pour fonction la gestion de la qualité des eaux. Pour rappel, il s'agit du Water Quality Volume WQ_v, du volume assurant les petites crues Cp_v (temps de retour de 2 ans) ainsi que du temps de séjour T_s.

Concernant le temps de séjour, celui-ci peut être évalué en observant le graphique de la Figure 23 (et annexe 9). On peut l'estimer entre cinq à quinze jours. Il est variable en fonction des précipitations. De plus le graphique permet de constater que la plupart des hauteurs d'eau mesurées et calculées par la simulation atteignent en moyenne 1 à 1.5 [m]. Comme évoqué précédemment, la sortie pour l'exutoire se situe à un mètre au-dessus du fond de l'étang. De ce fait, il en résulte que l'évacuation des eaux ne se fait pas uniquement par la sortie vers l'exutoire. Les eaux sont directement infiltrées dans le sol. Ceci informe sur le fait que l'étanchéité du fond de l'étang n'est pas complète, ou que d'autres processus ont lieu.

Pour garantir une épuration des eaux de l'étang Belle-cour, Le WQ_v doit pouvoir cumuler le 90% du volume total issu des précipitations. Ce volume est évalué en fonction des résultats et des statistiques pouvant être extraits de la simulation. Le Tableau 6 associe le volume nécessaire assurant le WQ_v en fonction du rendement hydraulique. Pour admettre que ledit étang soit considéré en tant qu'entité de traitement naturel, celui-ci doit posséder une capacité de volume estimé à plus de 1'500 m³, ce qui représente près de 80% de la capacité de l'étang. Cependant, afin de garantir un temps de séjour suffisant et permettre la dégradation des polluants, il est nécessaire de ne considérer que le volume sous l'exutoire du bassin actuel comme pouvant être un WQ_v. Le volume de ce stockage WQ_v s'élèverait à moins de 100 m³, correspondant uniquement à 6% du WQ_v recommandé. Ainsi, le bassin de rétention est sous-dimensionné pour assurer la fonction épuratrice des eaux de ruissellement. Son dimensionnement actuel n'est évidemment pas conforme, et cela peut s'expliquer par le fait qu'il s'agit initialement d'un bassin de rétention et non d'une ZHE. Le graphique présenté à la Figure 28 appuie le constat du sous-dimensionnement.

Tableau 6 : Evaluation du rendement hydraulique

Rendement hydraulique [%]	Volume [m³]	Temps de retour [mois]
50	363	0.4
60	500	0.5
70	702	0.7
80	1006	1.1
90	1585	2.1
99	5457	19.7

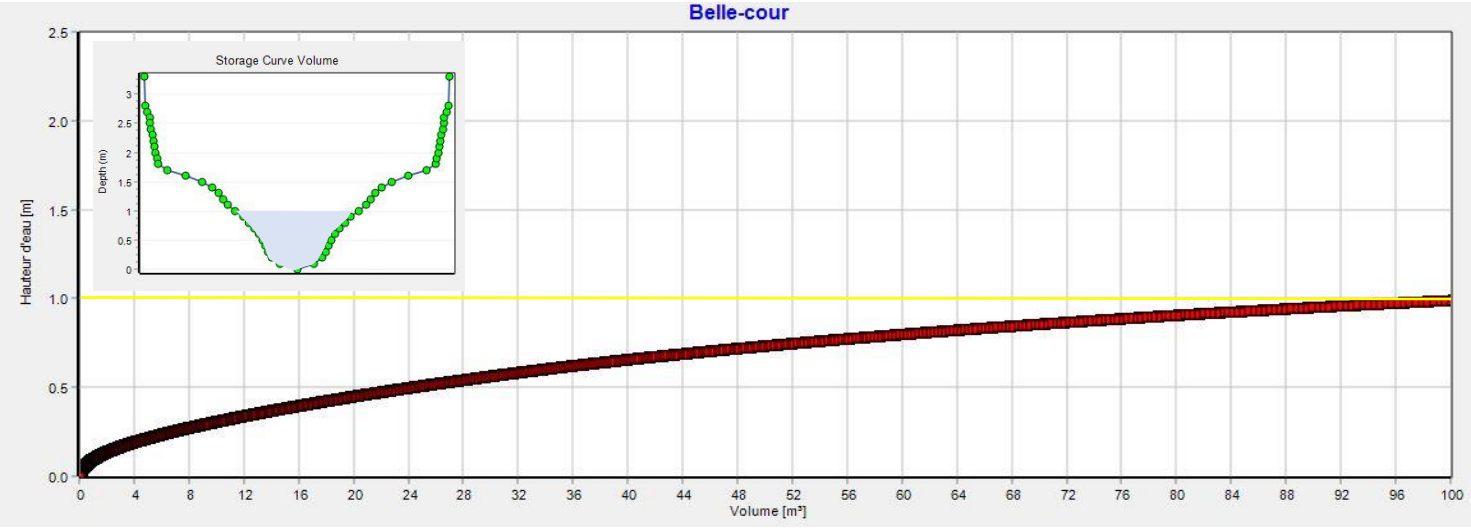


Figure 28 : Capacité hydraulique de l'étang Belle-cour | SWMM

6.2.1.3 Evaluation du degré d'atteintes portées aux eaux

L'appréciation s'appuie sur la directive *Gestion des eaux urbaines par temps de pluie* de la VSA. Elle distingue trois sources de pollution à savoir : les routes, les toitures et les façades ainsi que les places et les surfaces de circulation. Seuls les critères ayant un impact ont été reportés.

L'évaluation de la pollution provenant de la chaussée se base sur un système de points de pollution (PP) telle qu'en dessous de 5 PP celle-ci sera faible, entre 5 et 14 PP elle sera moyenne et au-delà de 14 PP on la considérera comme étant élevée. La fréquence du trafic est déterminante pour le degré de la pollution. Ses PP se calculent selon la formule présentée ci-dessous. La note finale fluctue de quelques PP en fonction de la part du trafic poids lourds, de la pente ainsi que de la localisation du tronçon étudié (intérieur d'une localité).

$$PP = \frac{TJM}{1000}$$

Avec

TJM : Trafic journalier moyen

Selon les données disponibles du SITG, le calcul prend en compte le trafic journalier moyen des jours ouvrables (TJMO). L'annexe 3 présente le TJMO des différents tronçons de la route du Grand-Lancy. La moyenne de ces valeurs a été utilisée dans cette évaluation. Actuellement, il n'existe aucune donnée relative à la part de trafic poids lourds du tronçon en question. En effet, aucun comptage n'a été effectué car la route n'est pas soumise à l'ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs (OPAM, RS 814.012) (cf annexe 4).

Contrairement aux routes, l'évaluation des deux autres sources de pollution que sont les toitures et les façades ainsi que les surfaces de circulations ne possède pas un système de notation mais repose sur le degré de la pollution variant d'un critère à l'autre.

Selon le Tableau 7, présenté ci-dessous, la classification des toitures et des façades sollicite la connaissance de nombreux éléments spécifiques propres aux matériaux de construction.

Tableau 7 : Evaluation de la pollution des eaux de ruissellement sur les toitures et les façades | Selon Tableau B6 de la Directive VSA

Provenance	Classe de pollution	Remarques
Toits végétalisés ou recouverts de gravier sans matériaux contenant des pesticides. Toits ou façades faits essentiellement de matériaux inertes avec une faible part de dispositifs en Pb, Cu, Zn et Sn.	*Faible*	Part des dispositifs en Pb, Cu, Zn et Sn ne doit pas excéder 5% de la surface de contact totale de la pluie.
Toits ou façades faits essentiellement de matériaux inertes avec des parts légèrement plus importantes de dispositifs en plomb, cuivre, zinc et étain **sans revêtement**.	*Moyenne*	Part des dispositifs en Pb, Cu, Zn et Sn se situent entre 5% et 10% de la surface de contact totale de la pluie.
Toits ou façades avec des parts plus importantes de surfaces métalliques : **avec revêtement**. **sans revêtement**.	*Moyenne* *Elevée*	• Le classement dépend de la surface des dispositifs en Pb, Cu, Zn et Sn avec revêtements entrant en contact avec la pluie. • Considérés comme parts plus élevées par installation/rejet : o Infiltration : > 50 m² o Rejet eaux superficielles : > 500 m²
Toits ou façades comprenant des matériaux contenant des pesticides.	*Moyenne (faible à élevée)*	• Les matériaux visés sont les revêtements qui contiennent des pesticides lessivables. • D'une manière générale, ces matériaux sont à considérer dans la classe de pollution « moyenne ». Il est possible de leur attribuer la classe de pollution « faible » si celle-ci peut être attestée de façon crédible par le fabricant. • Ces matériaux comprennent par exemple les bandes bitumineuses dont la résistance aux racines est obtenue à l'aide de produits de protection chimiques. La charge en polluants des eaux de ruissellement s'écoulant sur de telles bandes est faible à élevée.
Terrasses, balcons, toitures-terrasses.	*Elevée*	• Les terrasses, balcons et toitures-terrasses sont nettoyés régulièrement. Les eaux polluées, qui sont mélangées à des produits de nettoyage et à de la saleté, sont évacuées par la canalisation pluviale. • Elles peuvent être affectés à la classe d'exposition « moyenne » uniquement si l'accumulation de contamination causée par l'utilisation ou le nettoyage générant des eaux usées peuvent être exclues définitivement.

Comme évoqué précédemment, le périmètre d'étude comprend 200 bâtiments et surfaces couvertes. Leurs emprises s'étalent sur plus de deux hectares. Seul deux bâtiments possèdent une toiture plate recouverte de gravier. Leurs surfaces représentent environ 14% de l'emprise totale. Bien qu'à priori et selon le Tableau 7 le degré de pollution des eaux de ruissellement de ces toitures est faible, aucune donnée ne permet d'assurer

l'absence d'utilisation de pesticides et de revêtement. De ce fait, les raccordements de canalisations aux alentours de ces bâtiments jusqu'au bassin de rétention sont conservés dans le cadre de ce travail.

Des lacunes apparaissent également au sujet de la part de surface métalliques ainsi que de la présence ou non de revêtement. Afin de déterminer le degré de pollution provenant des toitures et des façades, le principe du *worst case scenario* – scénario le plus défavorable – a été employé. Il a donc été considéré que les toitures et les façades possèdent une part importante de surfaces métalliques et sans revêtement. Il en va de même concernant la présence de pesticides pour les matériaux des toits et des façades.

L'appréciation du degré de pollution des eaux de ruissellement sur les places et les surfaces de circulation s'est basée sur l'analyse d'une orthographie de la zone d'étude.

Le Tableau 8 présente l'évaluation de la pollution des eaux de ruissellement provenant des diverses surfaces qui se déversent dans le bassin de rétention.

Tableau 8 : Synthèse de l'évaluation des eaux de ruissellement selon le principe du scénario le plus défavorable et la directive VSA

ROUTE	Pollution de base	TJMO	PP
	Fréquences du trafic	7'729	7.5
	Critères	Part poids lourds	PP
	Part de trafic lourd	Pas de données	-
	Pente	< 8 [%]	0
	Tronçon de route à l'intérieur d'une localité	Non	0
	Total		7.5
			pollution moyenne

Nb bâtiments : 199 | Surface totale [m²] : 23171.7		
TOITURES & FACADES	Critères	Degré de la pollution
	Toits ou façades avec des parts plus importantes de surfaces métalliques sans revêtement	Elevé
	Présence de pesticides	Moyen
	Terrasses, balcons, toitures-terrasses	Elevé

PLACES & SURFACES DE CIRCULATION	Critères	Degré de la pollution
	Présence de chemins pédestres, cyclables, forestiers et ruraux, quais	Faible
	Présence de voies d'accès, avant-places, places de parc avec faible passage, y compris surfaces de manœuvre et de circulation associées	Faible

Au vu de ce qui précède, la pollution provient principalement de la route ainsi que des toitures et des façades. Bien que la pollution ne soit pas quantifiable, il subsiste des risques d'impact envers le milieu récepteur. L'étape suivante consiste à déterminer dans quelle mesure le déversement des eaux de ruissellement dans la rivière L'Aire est admissible. Le quotient de déversement spécifique V_s et le degré de pollution des sources renseignent à ce sujet.

Etant donné que le degré de la pollution est faible pour les places et les surfaces de circulation, la détermination du quotient de déversement spécifique considère la route de Grand-Lancy ainsi que les toitures et les façades. Les éléments suivants découlent des principes de la directive de la VSA.

Route du Grand-Lancy

Surface de chaussée raccordée A_e	0.23	[ha]
Coefficient d'écoulement Ψ du béton/asphalte (selon la norme VSS SN 640 353)	0.90	
Surface réduite d'évacuation des eaux $A_{e\ réd.} = A_e \cdot \Psi$	0.21	[ha]
Intensité de pluie i pour la région du Plateau avec T = 1, t = 10 min selon SN 640 350	166.00	[L/s/ha]
Débit des eaux de ruissellement $Q_e = A_{e\ réd.} \cdot I$	34.36	[L/s]
Débit d'étiage du cours d'eau Q_{347} (selon SITG)	45.00	[L/s]
Nature du lit du cours d'eau (selon SITG)	*Pierres naturelles*	
Facteur de correction pour la nature du lit f_s	1.00	
Facteur de correction pour le type de cours d'eau f_g	1.00	
Résultats		
Quotient hydraulique de déversement $V = Q_{347}/Q_e$	1.31	
→ Quotient de déversement spécifique du cours d'eau pour appréciation de la charge en polluants $V_s = V \cdot f_g$	**1.31**	

Toitures et façades

Surface de toits plats avec gravier A_{e1}	0.31	[ha]
Coefficient de ruissellement Ψ_1 (selon la norme SN 592 000)	0.80	
Surface réduite d'évacuation des eaux $A_{e1\ réd.} = A_{e1} \cdot \Psi_1$	0.25	[ha]
Surface de toits inclinés A_{e2}	2.00	[ha]
Coefficient de ruissellement Ψ_2 (selon la norme SN 592 000)	1.00	
Surface réduite d'évacuation des eaux $A_{e2\ réd.} = A_{e2} \cdot \Psi_2$	2.00	[ha]
Intensité de pluie i pour la région du Plateau avec T = 1, t = 10 min selon SN 640 350	166.00	[L/s/ha]
Débit des eaux de ruissellement $Q_e = A_{e\ réd.\ tot} \cdot I$	373.17	[L/s]
Débit d'étiage du cours d'eau Q_{347} (selon SITG)	45.00	[L/s]
Nature du lit du cours d'eau (selon SITG)	*Pierres naturelles*	
Facteur de correction pour la nature du lit f_s	1.00	
Facteur de correction pour le type de cours d'eau f_g	2.00	
Résultats		
Quotient hydraulique de déversement $V = Q_{347}/Q_e$	0.12	
→ Quotient de déversement spécifique du cours d'eau pour appréciation de la charge en polluants $V_s = V \cdot f_g$	**0.12**	

L'interprétation des résultats des quotients de déversement spécifique et des degrés de la pollution des sources se fait grâce au Tableau 9. Le croisement de ces paramètres d'évaluation de la qualité des eaux de ruissellement permet de caractériser le besoin d'une installation de traitement. Une synthèse des informations est présentée ci-dessous afin de permettre une meilleure lecture dudit tableau.

Route du Grand-Lancy	$V_s > 1$	Pollution moyenne
Toitures et façades	$V_s < 1$	Pollution moyenne à élevée

Cependant, les résultats portant sur les toitures et les façades doivent être nuancés. En effet, l'évaluation de la pollution des eaux de ruissellement provenant de ces sources se base sur le principe du scénario le plus défavorable. Comme nous pouvons le constater à la lecture du tableau ci-dessous, la variation d'un degré de pollution moyen à élevé a pour conséquence de passer d'une admissibilité au déversement dans le milieu récepteur à la mise en place d'une installation de traitement élevé.

Tableau 9 : Admissibilité du déversement d'eau de ruissellement dans des eaux superficielles compte tenu de la charge polluante | Selon la directive VSA

Type de milieu récepteur	Quotient de déversement spécifique	Type de surface à drainer | Classe de pollution					
		Toitures et façades			Routes, places et surfaces de circulation		
		Faible	*Moyenne*	*Elevée*	*Faible*	*Moyenne*	*Elevée*
Cours d'eau	$Vs > 1$	+	+	$B_{standard}$	+	+	$B_{standard}$
	$Vs < 1$	+	+	$B_{élevé}$	+	$B_{standard}$	$B_{élevé}$
		+	+	$B_{standard}$	+	+	$B_{standard}$

+	Déversement admissible
$B_{standard}$	Nécessité d'une installation de traitement niveau « standard » ou « élevé »
$B_{élevé}$	Nécessité d'une installation de traitement niveau « élevé »

Exigence	Degrés d'efficacité exigés			
	Charge hydraulique	MES	Métaux lourds	Pesticides
Standard	≥ 90%	≥ 80%	≥ 70%	≥ 70%
Elevé	≥ 90%	≥ 90%	≥ 90%	≥ 90%

6.2.2 Synthèse

Le Tableau 11 récapitule l'ensemble des informations principales du diagnostic de l'étang Belle-cour. Il compare l'état actuel aux recommandations pour assurer une dépollution de ses eaux.

Tableau 10 : Synthèse du diagnostic de l'étang Belle-cour

Critères	Résultats du diagnostic	Recommandations	Evaluation/Remarques
Paramètres hydrauliques			
Débit de rejet maximal autorisé	472 événements ont été recensés dépassant la contrainte Débit minimal : 81.0543 [L/s] Débit maximal : 161.705 [L/s]	5 [L/s/ha] 81.5 [L/s/ha]	Mauvais
Temps de séjour	Entre 5 à 15 jours	< 24 heures	Très bon
WQ_v [m³]	100	~ 1600	Sous-dimensionné
Cp_v	Bassin de rétention Contrainte actuelle : 5 [L/s/ha] pour une crue ayant un temps de retour de 10 ans.	Contrainte de débit de rejet : 5 [L/s/ha] pour une crue ayant un temps de retour de 2 ans.	Contraintes définies en fonction de temps de retour différents et pas respectées.
Aménagement, biodiversité et qualité de l'eau			
Aménagement	Type aménagement naturel	Type aménagement naturel	Très bon
Typologie	Forme de bassin amorphe Parcours uniforme de l'eau depuis l'entrée dans l'étang jusqu'à son déversement au travers de la vanne.	Forme de bassin hétérogène Parcours sinueux au fond de l'étang notamment pour augmenter davantage le temps de séjour.	Satisfaisant
Berges	Fortes pentes au Nord-Est (protection des habitations en cas de fortes crues) Pentes au Sud-Ouest plus douces.	Pente douce	Bon
Végétation favorable à la phytoépuration	Oui	cf. 5.1.4 *Phytoremédiation*	Bon
Estimation degré de pollution des eaux	Moyenne à élevée	Potentiellement la mise en place d'une installation de traitement élevé.	

6.2.3 Proposition et comparaison de conceptions hydrauliques

6.2.3.1 Dimensionnement

Le chapitre 6.2.2 *Synthèse* résume le diagnostic de l'étang Belle-cour. L'évaluation de son dimensionnement pour la fonction épuratoire peut être qualifiée de mauvais voire inexistante, notamment du fait que le bassin ne possède pas la capacité recommandée pour le WQ_v. On constate également que l'ouvrage ne respecte pas les limites en matière de débit de rejet. En fonction des différents éléments du diagnostic, il semblerait donc que l'ensemble du bassin soit dysfonctionnel.

Cependant, les temps de séjours observés dépassent les valeurs recommandées et la végétation présente dans la zone d'étude pourrait potentiellement jouer un rôle dans l'élimination de la pollution. Des analyses d'efficacité de dépollution actuellement en cours par les membres du projet CONFORTO, permettront de se positionner davantage sur son efficacité épuratoire malgré son sous-dimensionnement déterminé ici.

Ce chapitre propose deux dimensionnements de l'étang Belle-cour. Ils ont été dénommé simplement de la manière suivante : la variante A et la variante B. Elles suivent une conception dite « idéale » en termes de fonctionnement hydraulique.

Les bassins des deux variantes ont été simplifiés à une forme rectangulaire. Ils ont été dimensionnés avec le logiciel SWMM, en partant de quelques caractéristiques de l'état actuel du bassin de rétention mais en modifiant quelques paramètres de sorte à garantir à la fois une épuration des eaux et une protection contre les crues. Les éléments présentés ci-dessous ont notamment été considérés.

<u>Volume de la qualité de l'eau | WQ_v</u>

Comme observé précédemment, l'eau recueillie par l'étang Belle-cour s'infiltre dans le sol tant que la hauteur d'eau n'atteint pas la vanne de contrôle. Dès lors, il a été décidé de garder cette caractéristique du lieu pour l'évacuation du WQ_v dans son intégralité (variante A) ou en partie (variante B).

<u>Volume de stockage des petites crues pour la protection des milieux récepteurs | Cp_v</u>

Une simulation *pré-urbanisation* des sous bassins versants de L'Aire a permis de quantifier le débit de rejet maximal autorisé pour les petites crues selon les exigences de dimensionnement d'un étang en tant qu'entité de traitement (cf. 5.1.1 *Volumes pour la qualité de l'eau*). Ce débit s'élève de 5 [L/s/ha] pour une pluie ayant un temps de retour de 2 ans.

Afin de comparer avec les limitations actuelles en vigueur dans le canton de Genève, le débit issu d'une crue ayant un temps de retour de 10 ans, selon une situation pré-urbanisation, a également été relevé. Ce dernier vaut de 7 [L/s/ha].

<u>Volumes et déversoir de stockage supplémentaires</u>

Afin de compléter le modèle de bassin exposé au chapitre 5.1.1 *Volumes pour la qualité de l'eau* (cf. Figure 7) un orifice a été placé au-dessus du niveau du Cp_v pour les crues ayant des temps de retour de 10 ans, ainsi qu'un déversoir en cas de grandes crues.

<u>Augmentation de la surface de l'étang</u>

Dans les deux variantes, il a été décidé d'augmenter la surface de l'étang Belle-cour et par conséquent les capacités de stockage.

En effet, la contrainte du temps de séjour impose au système de traitement naturel à temporiser au minimum 24 heures le volume de la qualité des eaux pour permettre une élimination de la charge polluante. Lors du diagnostic de l'état actuel du bassin de rétention, le temps de séjour pouvait varier entre 5 à 15 jours. Etant donné que la vidange du bassin peut prendre plus de temps que les recommandations, le WQ_v doit être majoré afin de garantir sa fonction épuratrice et de ne pas avoir d'influence sur les orifices de contrôle des crues.

Les variantes sont décrites ci-après :

Variante A

Le dimensionnement de la variante A conserve quelques paramètres provenant de l'état actuel de l'étang. Il est défini par les éléments suivants :

- La surface de l'étang a été augmentée et s'élève à 3'500 [m²], soit près de 60% de surface supplémentaire.
- Un orifice de contrôle a été ajouté. L'un correspondant au Cp_v et le deuxième pour les crues ayant un temps de retour de 10 ans.
- Le déversoir actuel a été conservé en l'état.

Variante B

Quant à la variante B, son dimensionnement suit les critères suivants :

- La surface de l'étang s'étale sur 2'500 [m²], soit près de 20% en plus par rapport à la surface actuelle.
- L'orifice actuel est retiré. Trois orifices sont placés. Le premier a été placé au fonds du bassin pour réguler le WQ_v. Les deux autres orifices fonctionnent pour la régulation des crues.
- Le déversoir a été conservé en l'état.

Plusieurs itérations de simulation, pour chacune des variantes, ont été effectuées jusqu'à l'obtention du résultat souhaité. Le Tableau 12 ci-dessous résume l'ensemble des caractéristiques de l'état actuel et des variantes en termes de dimensionnement.

Tableau 11 : Caractéristiques de dimensionnement de l'état actuel et des variantes A et B

Situation	Surface [m²]	Crue	Organe de contrôle	Dimensionnement	Hauteur orifice/déversoir [m]
Etat actuel	2'000	T = 10 ans	Vanne de contrôle	hauteur : 12 [cm] Largeur : 38 [cm]	1
		T = 100 ans	Déversoir	hauteur : 40 [cm] Largeur : 5 [m]	2.5
Variante A	3'500	T = 2 ans	Vanne de contrôle	Idem que la situation actuelle	1
		T = 10 ans	Orifice n°2	Circulaire : 25 [cm]	1.3
		T = 100 ans	Déversoir	Idem que la situation actuelle	2.5
Variante B	2'500	WQ_v	Orifice WQ_v	Circulaire : 5 [cm]	0.3
		T = 2 ans	Vanne de contrôle	Idem que la situation actuelle	1.5
		T = 10 ans	Orifice n°2	Circulaire : 40 [cm]	1.8
		T = 100 ans	Déversoir	Idem que la situation actuelle	2.5

Les Figures 29 à 31 suivantes schématisent les dimensionnements de l'étang en son état actuel et des deux variantes. Les volumes inscrits dans les figures représentent la quantité d'eau pouvant être stockée telle que la première tranche de volume correspond au WQ_v, la deuxième au Cp_v et la dernière aux crues ayant des temps de retour de 10 ans. La détermination des hauteurs d'eau associées à un temps de retour a été effectué par le biais des statistiques provenant des différentes simulations avec le logiciel SWMM (cf. annexe 8).

Etat actuel

Le schéma de la situation actuelle permet de constater des hauteurs d'eau relativement élevées pour des crues possédant des petits temps de retour. De ce fait, la vanne de contrôle peut fortement être sollicitée.

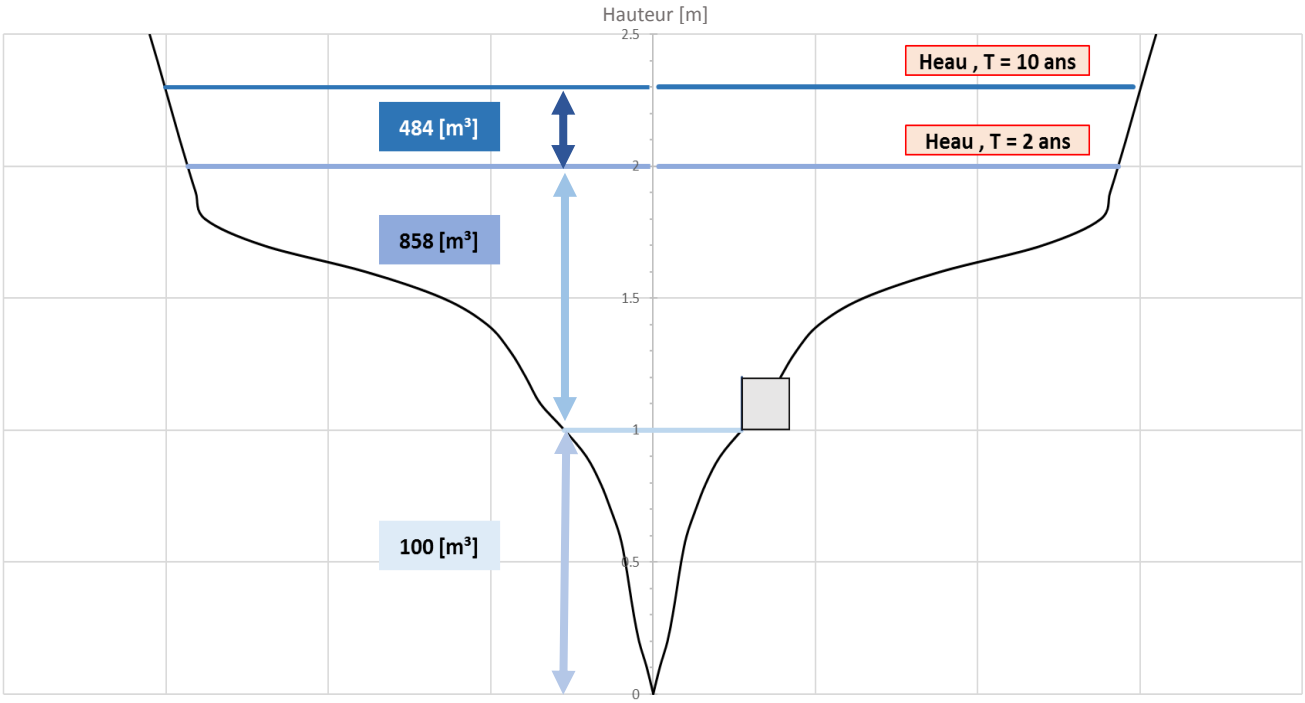
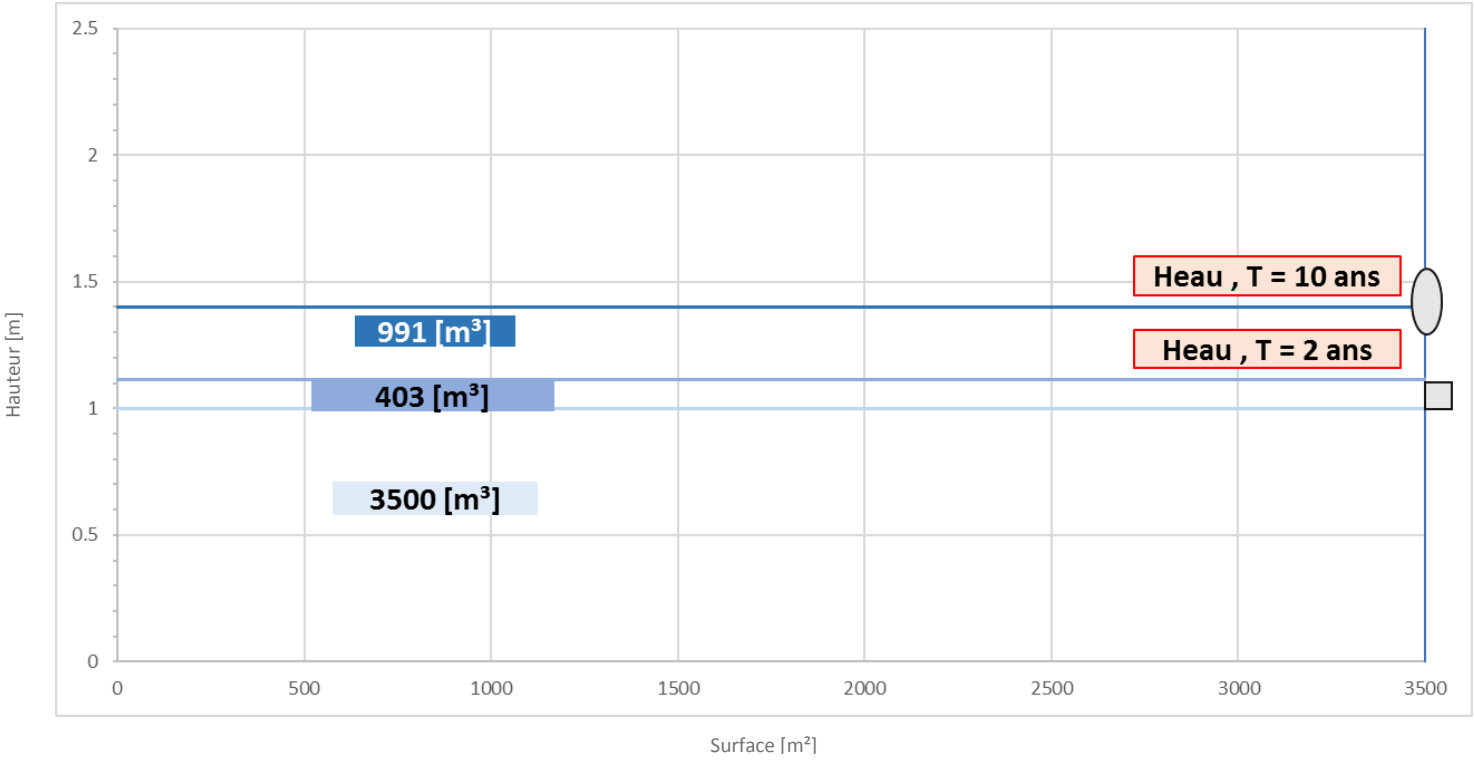


Figure 29 : Schéma du dimensionnement de l'état actuel | Laïs Jeanneret

Variante A

Le bassin de la variante A est caractérisé par une grande surface. D'après le schéma ci-dessous, on constate que l'emplacement des orifices de régulation semble corréler avec les hauteurs d'eau associées au même temps de retour. On remarque également que la majorité du volume est stockée au niveau du WQ_v.



Variante B

Le bassin de la variante B est caractérisé non seulement par une surface plus restreinte que la variante A, mais il possède également un orifice de contrôle du WQ_v, situé au fond du bassin. L'emplacement de la vanne de contrôle a été changé. Elle se trouve donc à 1.5 [m]. De manière similaire à la variante A, on constate que l'emplacement des orifices de régulation semble corréler avec les hauteurs d'eau associées au même temps de retour. La majorité du volume est également stockée au niveau du WQ_v.

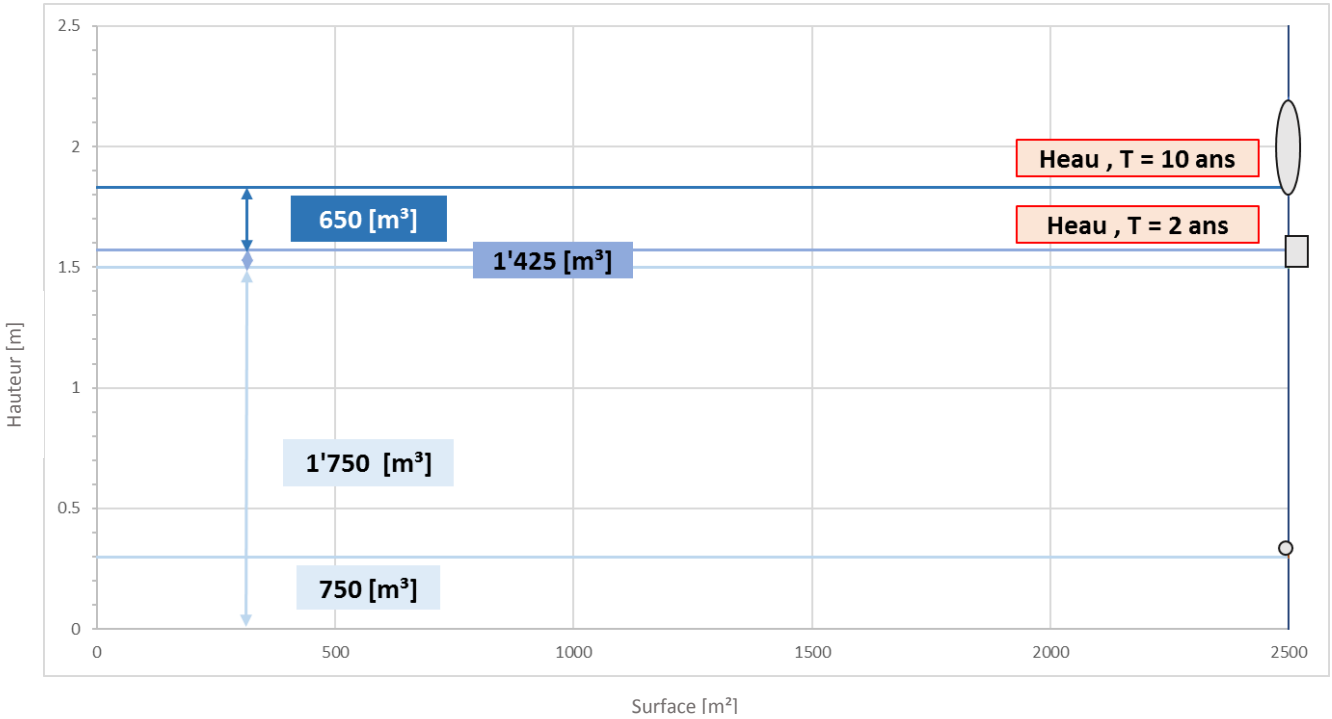


Figure 31 : Schéma du dimensionnement de la variante B | Laïs Jeanneret

6.2.3.2 Synthèse des résultats

6.2.3.2.1 Volumes de la qualité des eaux et protection pour les petites crues

Les variantes A et B respectent le dimensionnement recommandé pour la conception d'un système de traitement épuratoire. Elles sont toutes les deux caractérisées par une stratification de leur bassin en fonction du service de régulation visé. Il en résulte que les objectifs concernant les volumes de la qualité de l'eau et de la protection contre les crues sont atteints. Le Tableau 13 ci-dessous regroupe les tranches de volume issues des différents ouvrages.

Tableau 12 : Résumé des volumes de l'état actuel et des variantes

T_s	WQ_v [m³]	Cp_v [m³]	Crue, T = 10 ans [m³]	Total [m³]	Capacité [m³]
Etat actuel	100	858	484	1'442	2'000
Variante A	3'500	403	991	4'894	8'750
Variante B	2'500	1'425	650	4'575	6'250

L'étang Belle-cour doit admettre une capacité de WQ_v estimé à plus de 1'500 [m³] pour être considéré en tant qu'entité de traitement naturel. Les variantes A et B répondent à ce critère et possèdent même un volume supérieur afin d'équilibrer le temps de vidange et l'arrivée de nouvelles précipitations.

Le Tableau 14 regroupant les caractéristiques de l'étang Belle-cour ainsi que des variantes A et B, renseigne, entre autres, sur le fonctionnement et l'utilisation des organes de contrôles. Il en ressort que les variantes A et B respectent les débits de rejet maximal autorisés dans la rivière L'Aire pré- et post-urbanisation.

Néanmoins, une critique du fonctionnement des variantes peut être relevée. Comme il est possible de l'observer dans le Tableau 14, les orifices des crues ayant des temps de retour de 10 ans n'ont pas été mis en charge lors des simulations. On peut émettre l'hypothèse que ceux-ci ont soit été surdimensionnés, soit ont mal été placés. Dans tous les cas, il en résulte qu'au lieu de limiter le débit de rejet à l'exutoire, celui-ci s'écoule sans être temporisé. Ceci qui explique notamment le non-dépassement des débits de rejet maximal autorisés.

6.2.3.2.2 Temps de séjour

Le Tableau 14 compare les différents temps de séjour qui ont été observés sur une même période (lors de la campagne de mesure des hauteurs d'eau et la semaine du 01 octobre 1993 provoquant des volumes d'eau importants pour l'état actuel). Les graphiques de l'annexe 8 montrent l'évolution des hauteurs d'eau au cours du temps selon les événements précités et pour chacun des dimensionnements.

Il en résulte, que l'étang Belle-cour en son état actuel possède des T_s supérieurs aux variantes A et B. En effet leur dimensionnement considère des surfaces plus grandes, ayant un impact direct sur les hauteurs d'eau qui se voient réduites.

La variante A conserve en partie certains paramètres de l'étang actuel, notamment le positionnement de la vanne à une hauteur de 1 [m]. Cette configuration impose au bassin d'offrir une surface élevée pour assurer le WQ_v. La surface de l'étang s'élève donc à 3'500 [m²] contre environ 1'160 [m²] de l'état actuel. Le raisonnement est identique concernant la diminution des hauteurs d'eau de la variante B. Les détails de la répartition de la surface de l'étang actuel sont présents à l'annexe 10.

Cependant, la diminution des hauteurs d'eau a une influence sur le T_s. Il varie de quelques heures à quatre voire cinq jours. La recommandation de temps de séjour de 24 heures n'est pas assurée de façon systématique. Ceci peut avoir dès lors un effet sur l'efficacité épuratoire du système bien qu'il possède les critères de dimensionnement adéquats.

Au vu de ce qui précède, les variantes A et B peuvent encore être améliorées pour atteindre la conception idéale de l'étang Belle-cour en tant que système de traitement naturel contre l'élimination de la pollution. Les résultats permettent également de mettre en évidence la difficulté d'atteindre l'équilibre adéquat qui permet d'optimiser l'ensemble des critères analysés.

Tableau 13 : Synthèse comparative des résultats des simulations

Situation	Temps de séjour (Comparaison sur la même période)	**Temps de retour [ans]**	Organe de contrôle	Débit [L/s]			Volume généré [L]			Nb de dépassement du débit de rejet maximal autorisé		Respect du débit de rejet maximal autorisé
				Minimal	Maximal	Moyenne	Minimal	Maximal	Moyenne	Pré-urbanisation	canton de Genève	
Etat actuel	5 à 15 jours	T = 10	Vanne	0.202	161.705	55.224	329.732	12’585’641	696'993.049	85	472	Non
		T = 100	Déversoir									
Variante A	de quelques heures à 4 jours (assez variable sur l'ensemble des données)	T = 2	Vanne	1.035	100.824	54.198	4'854.308	6'463'141.000	1'366'809.069	13	-	Oui
		T = 10	Orifice n°2	1.220	52.133	35.872	1'536.647	727'904.313	289'771.717	0	0	Oui
		T = 100	Déversoir									
Variante B	de quelques heures à 6 jours (assez variable sur l'ensemble des donnée)	WQ_v	**Orifice WQ_v**	0.034	0.153	3'841'748.750	311.474	3'841'748.750	467'170.327			
		T = 2	Vanne	1.240	131.904	80.634	6'112.514	5'637'996.500	1'173'506.555	14	**-**	Oui
		T = 10	Orifice n°2	14.390	36.260	23.038	28'875.563	204'044.359	96'972.493	0	0	Oui
		T = 100	Déversoir									

Limitation	Temps de retour	Débit [L/s/ha]	Débit [L/s]	Nb de dépassements autorisés
Pré-urbanisation	2	5	81.5	15
	10	7	114	3
Canton de Genève	10	5	81.5	3

6.2.3.3 Recommandation de variante

Les variantes A et B sont pertinentes car elles mettent en avant la multifonctionnalité que peut détenir un étang selon une perspective purement hydraulique. Elles remplissent à la fois une fonction épuratrice et une fonction de régulation des crues.

Bien que les variantes ne soient pas parfaitement conçues et nécessitent encore certaines améliorations afin de consolider leur efficacité, le mode de conception de la variante B semble davantage réalisable pour assurer la fonction épuratrice de l'étang Belle-cour mais aussi pour garantir le respect du débit de rejet maximal autorisé. Il s'agit notamment :

- d'augmenter sensiblement la surface du bassin ;
- de rehausser la vanne ;
- d'ajouter deux nouveaux organes de contrôle ;
  - → Pour le WQ_v ;
  - → Pour les crues ayant un temps de retour de 10 ans ;
- de conserver, dans la mesure du possible, un temps de séjour supérieur à 24 heures.

6.2.3.4 Limites de la conception et améliorations possibles

Cependant, les éléments précédents exposent uniquement un point de vue de conception hydraulique. D'autres paramètres doivent également être pris en compte pour optimiser le fonctionnement global du système tels que l' aménagement et la topographie du fond de l'ouvrage.

De plus, ces conceptions n'ont pas pris en compte l'implantation d'espèces végétales pouvant avoir un effet sur l'efficacité épuratoire du système, permettant notamment à l'étang de devenir une ZHE offrant des services écosystémiques supplémentaires tels que la valorisation de la biodiversité par l'établissement d'espèces animales et végétales.

7. CONCLUSION

L'urbanisation est un phénomène inéluctable qui permet à une région de se développer à la fois sur des aspects économiques et sociaux. La problématique réside dans le fait que cela se produit souvent au détriment des ressources naturelles qui sont pour la plupart limitées et non-renouvelables. Une dégradation de l'environnement se constate par une atteinte à l'équilibre des écosystèmes, aux cycles biogéochimiques (cycles de l'eau, du carbone, d'azote, du phosphore etc.) ou encore aux organismes vivants, y compris la santé humaine. Cependant et depuis quelques années, on observe une prise de conscience *verte* relativement démocratisée au sein de la population amenant ainsi ses membres et les politiques à s'unir pour éduquer, informer et agir afin de trouver des alternatives pour orienter la croissance urbaine vers un développement durable.

Ce travail de Bachelor a étudié la question d'implanter des étangs en milieu urbain ou d'apporter des modifications à ceux déjà existants pour réduire la pollution des eaux de ruissellement urbaines qui sont déversées plus loin dans des récepteurs sensibles comme les lacs et les rivières. Un diagnostic a été effectué sur l'étang Belle-cour, situé dans le canton de Genève et qui a pour fonction initiale d'être un bassin de rétention. Cette évaluation renseigne sur :

1. La possibilité pour l'étang de posséder une fonction épuratrice en évaluant le degré de pollution des eaux de ruissellement s'y déversant.
2. Les capacités hydrauliques du bassin de rétention pour déterminer si ce dernier possède un dimensionnement adéquat pour être une ZHE, le cas échéant, de proposer un dimensionnement adapté.

Les éléments suivants sont les points principaux ressortant de cette étude :

- L'ouvrage a été conçu avec des matériaux naturels. La totalité de sa surface est végétalisée ce qui favorise un développement de la biodiversité, et lui confère donc un potentiel caractère épuratoire.
- Les eaux de ruissellement de la zone urbaine étudiée peuvent être polluées. L'appréciation du degré de la pollution a été effectuée selon la directive VSA. L'évaluation comprend trois sources de pollution à savoir : les routes, les toitures et les façades ainsi que les places et les surfaces de circulation. Il en résulte que les eaux de ruissellement provenant de la route du Grand-Lancy sont moyennement polluées. Cependant, leur déversement dans L'Aire est admissible. L'évaluation des toitures et des façades ainsi que des places et des surfaces de circulation s'est basée sur le principe du scénario le plus défavorable. L'appréciation du degré de la pollution de ce scénario est variable (degré de pollution moyen à élevé). Cela a pour conséquence d'admettre un déversement dans le milieu récepteur (degré moyen) ou d'imposer la mise en place d'une installation de traitement élevé (degré élevé).
- L'étang Belle-cour en son état actuel est sous-dimensionné pour posséder la fonction épuratrice. Il en ressort également un dysfonctionnement du bassin par le fait que la contrainte cantonale de débit de rejet maximal n'est pas respectée.
- En conciliant les paramètres hydrauliques pour le dimensionnement d'un système de traitement naturel ainsi que des caractéristiques de l'étang Belle-cour, il a été possible d'imaginer deux dimensionnements de ZHE, à savoir les variantes A et B. Bien que ces dernières aient été simplifiées par une forme rectangulaire et qu'elles peuvent encore être optimisées, elles offrent des pistes de réflexion quant à la faisabilité hydraulique d'améliorer la qualité des eaux alimentant un bassin de rétention.

Au-delà de considérer la faisabilité technique de dimensionner des ZHE en milieu urbain pour pallier aux problèmes de pollutions des eaux de surfaces, il s'agit également d'un moyen pour intégrer à nouveau la nature dans l'espace bâti non seulement pour améliorer la qualité de vie de la population mais également de permettre une nouvelle dynamique pour l'établissement d'espèces animales et végétales.

Pour conclure, et selon les dires de M. Ralph Nader, avocat et homme politique américain « *car la pollution, ce crime feutré, par produits interposés, n'est pas un phénomène inéluctable. Derrière chaque atteinte à notre vie, il y a des hommes, un système, une carence de l'état* » (Ralph Nader 1972). Nous sommes responsables de la pollution, de la dégradation de l'environnement et donc des effets néfastes dont notre santé peut en être affectée. Il est dès lors de notre responsabilité de les préserver et de diminuer nos impacts afin de les préserver.

8. LIMITES

Evaluation du degré d'atteintes portées aux eaux

Une évaluation précise du degré de la pollution des eaux de ruissellement issues des toitures et des façades demande une connaissance spécifique des matériaux utilisés pour la construction des bâtiments de la zone d'étude. Ces données n'ont pas été disponibles. Raison pour laquelle, le principe du scénario le plus défavorable a été appliqué. Cependant, ce scénario ne permet pas de se positionner sur une évaluation précise du degré de la pollution. Ceci a un impact direct dans la détermination de la nécessité de traiter les eaux de ruissellement avant leur déversement.

Visite de l'étang Belle-cour du 31 mars 2021

La visite de l'étang Belle-cour a principalement eu lieu pour vérifier la véracité des données géoréférencées par le SITG. Les mesures qui ont été prises ont servi pour la modélisation du bassin avec le logiciel SWMM. Dès lors, une évaluation précise de la biodiversité et des éléments s'y référant n'a pas pu être effectuée.

Phytoremédiation et paramètre du temps de séjour

La phytoremédiation a été développée comme un moyen de dépolluer de manière naturelle étant donné que le site actuel est entièrement végétalisé et que potentiellement les espèces végétales peuvent avoir un rôle épurateur. Cette technique n'est pas exhaustive sur les possibilités de dépollution. Il en va de même concernant le temps de séjour.

Temps imparti

Dans le temps imparti pour l'élaboration de ce travail de Bachelor, il n'a pas été possible de concevoir, sous forme de fiche, une synthèse de tous les critères permettant d'attribuer une appréciation qualitative à un étang.

9. BIBLIOGRAPHIE

Badilatti, Marco. 2003. « Comment freiner le bétonnage ? » *Magazine environnement*, 2003.

Baumgartner, Daniel, Reto Flury, Natalie Muff, Silvia Oppliger, et Elias Winz. 2019. « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie ». Édité par VSA.

Boutin, Catherine. 2014. « Des macrophytes pour épurer les eaux ? », 4.

C.I.EAU. s. d. « Quelles sont les ressources en eau dans le Monde ? » Centre d'Information sur l'eau. Consulté le 1 mars 2021. https://www.cieau.com/connaitre-leau/les-ressources-en-france-et-dans-le-monde/ou-en-sont-les-ressources-en-eau-dans-le-monde/.

Commune d'Onex. s. d. « Le bassin de rétention de Belle-cour / Trévisans ». Consulté le 31 mars 2021.

Comprehensive Environmental Inc., et New Hampshire Departement of Environmental Services. 2008. « Stormwater Manual » 2 (décembre): 220.

Conn, Ruel Michel, et Fritz. R Fiedler. 2006. « Increasing Hydraulic Residence Time in Constructed Stormwater Treatment Wetlands with Designed Bottom Topography ». *Water Environment Research* 78 (13): 10.

Damon, Julien. 2016. « Peuplement, migrations, urbanisation ». *Population Avenir* n° 728 (3): 4‑7. https://www.cairn.info/revue-population-et-avenir-2016-3-page-4.htm?contenu=article.

DDTM, Direction Départementale des Territoires et de l'Hérault. 2014. « Guide méthodologique pour la gestion des eaux pluviales dans les projets d'aménagement. Tome 2 : Méthodes d'investigation et dimensionnement ».

Etienne, Laura. 2018. « Une inauguration au bord de l'eau », octobre 2018. https://www.cera.ch/content/medias/201810_onexMag_trevisans.pdf.

« Eutrophisation des milieux aquatiques ». 2012. Ecotoxicologie.fr. 10 janvier 2012. https://ecotoxicologie.fr/eutrophisation-milieux-aquatiques.

« Flaticon ». s. d. Flaticon. https://www.flaticon.com/search?word=house.

Frossard, Pierre-André, Beat Oertli, Christiane Ilg, Victor Bovy, Olga Beguin, Mathieu Chevalier, et Eliane Demierre. 2015. « Manuel de gestion. Recommandation pour la gestion des mares urbaines pour favoriser la biodiversité ». http://campus.hesge.ch/mareurbaine/VERSION_PDF/Marville_fiches_techniques_version_basse_resolution.pdf.

Ghayaza, Mariem, Lydie Le Forestier, Fabrice Muller, et Fabien Veillon. 2010. « Interaction argiles-polluants métalliques dans le cadre des centres de stockage de déchets: Expériences d'infiltration sous pression et en batch d'une smectite de référence SWy-2 avec des solutions de zinc », 9.

Gironás, Jorge, Larry A. Roesner, Jennifer Davis, Departement of Civil and Environmental Engineering, et Colorado State University. 2009. « Storm Water Management Model. Applications Manual. »

Grotzinger, John P., et Thomas H. Jordan. 2014. *Understanding Earth*. Seventh edition.

Guittonny-Philippe, Anna, Véronique Masotti, Isabelle Laffont-Schwob, David Delmail, et Julien Viglione. 2014. « Potentiels d'utilisation des macrophytes pour réduire l'impact des industries sur les milieux aquatiques européens ». *Sciences Eaux Territoires* Numéro 15 (3): 74‑77. https://www.cairn.info/revue-sciences-eaux-et-territoires-2014-3-page-74.htm.

Hunter, Goeff. s. d. « Constructed Wetlands: Design, Construction and Maintenance Considerations ». Consulté le 24 mars 2021.

Maryland Department of the Environment. s. d. « Performance Criteria for Urban BMP Design », 48.

Oertli, Beat, Zsolt Vecsernyés, Reto Camponovo, David Consuegra, Peter Gallinelli, Victor Guillot, Eliane Demierre, Samuel Roth, Marine Decrey, et Ulysse Beytrison. s. d. « Des bassins aquatiques urbains multi- usages pour un meilleur confort de vie », 2. Consulté le 1 mars 2021.

OFS, Office fédéral de la satistique. 2004. « Utilisation et couverture du sol ». 2004. https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/statistiken/raum-umwelt/bodennutzung-bedeckung.html.

OFS, Office fédéral de la statistique. 2020. « Un regard au-delà des villes-centres - Statistiques des villes suisses 2020 | Communiqué de presse ». Office fédéral de la statistique. 12 mai 2020. /content/bfs/fr/home/statistiken/kataloge-datenbanken/grafiken.assetdetail.12767389.html.

Pilon-Smits, Elizabeth. 2005. « PHYTOREMEDIATION », 27.

Ralph Nader. 1972. *Le rapport NADER : le festin empoisonné*. Ed. Spéciales.

RAMSAR. 1971. « RS 0.451.45 - Convention du 2 février 1971 relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau ». 1971. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1976/1139_1139_1139/fr.

———. 2018. « Perspectives mondiales des zones humides. L'état mondial des zones humides et de leurs services à l'humanité ». https://static1.squarespace.com/static/5b256c78e17ba335ea89fe1f/t/5b9ffd8e032be41de53e998e/1537211835843/Ramsar+GWO_FRENCH_WEB.pdf.

———. s. d. « Les zones humides : pourquoi s'en soucier ? » Consulté le 5 mars 2021. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ramsar_factsheet_wetland-care_1fr.pdf.

« RS 700 - Loi fédérale du 22 juin 1979 sur l'aménagement du territoire (Loi sur l'aménagement du territoire, LAT) ». s. d. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1979/1573_1573_1573/fr.

« RS 814.01 - Loi fédérale du 7 octobre 1983 sur la protection de l'environnement (Loi sur la protection de l'environnement, LPE) ». s. d. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1984/1122_1122_1122/fr.

« RS 814.20 - Loi fédérale du 24 janvier 1991 sur la protection des eaux (LEaux) ». s. d. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1992/1860_1860_1860/fr.

« RS 814.201 - Ordonnance du 28 octobre 1998 sur la protection des eaux (OEaux) ». s. d. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1998/2863_2863_2863/fr.

« RS 814.600 - Ordonnance du 4 décembre 2015 sur la limitation et l'élimination des déchets (Ordonnance sur les déchets, OLED) ». s. d. Consulté le 17 avril 2021. https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2015/891/fr.

RTS. 2013. « Des inondations en Suisse après les fortes pluies tombées depuis dimanche ». InfoSport. rts.ch. 29 juillet 2013. https://www.rts.ch/info/suisse/5098797-des-inondations-en-suisse-apres-les-fortes-pluies-tombees-depuis-dimanche.html.

SCNAT. 2017. « 90% des étangs de Suisse ont disparu en deux siècles ». 5 septembre 2017. https://scnat.ch/fr/id/pAwbX.

———. s. d. « Qualité des eaux et état écomorphologique des cours d'eau ». Consulté le 8 avril 2021. https://sciencesnaturelles.ch/fr/id/Vc4Ui.

SETRA, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes. 1997. « L'eau et la route. Dispositifs de traitement des eaux pluviales. » 7 (décembre): 172.

« SITG | Le territoire genevois à la carte ». s. d. https://ge.ch/sitg/.

« Urban Stormwater Runoff ». s. d. Consulté le 22 avril 2021. https://megamanual.geosyntec.com/npsmanual/default.aspx.

« water cycle | Definition, Steps, Diagram, & Facts | Britannica ». s. d. https://www.britannica.com/science/water-cycle.

10. ANNEXES

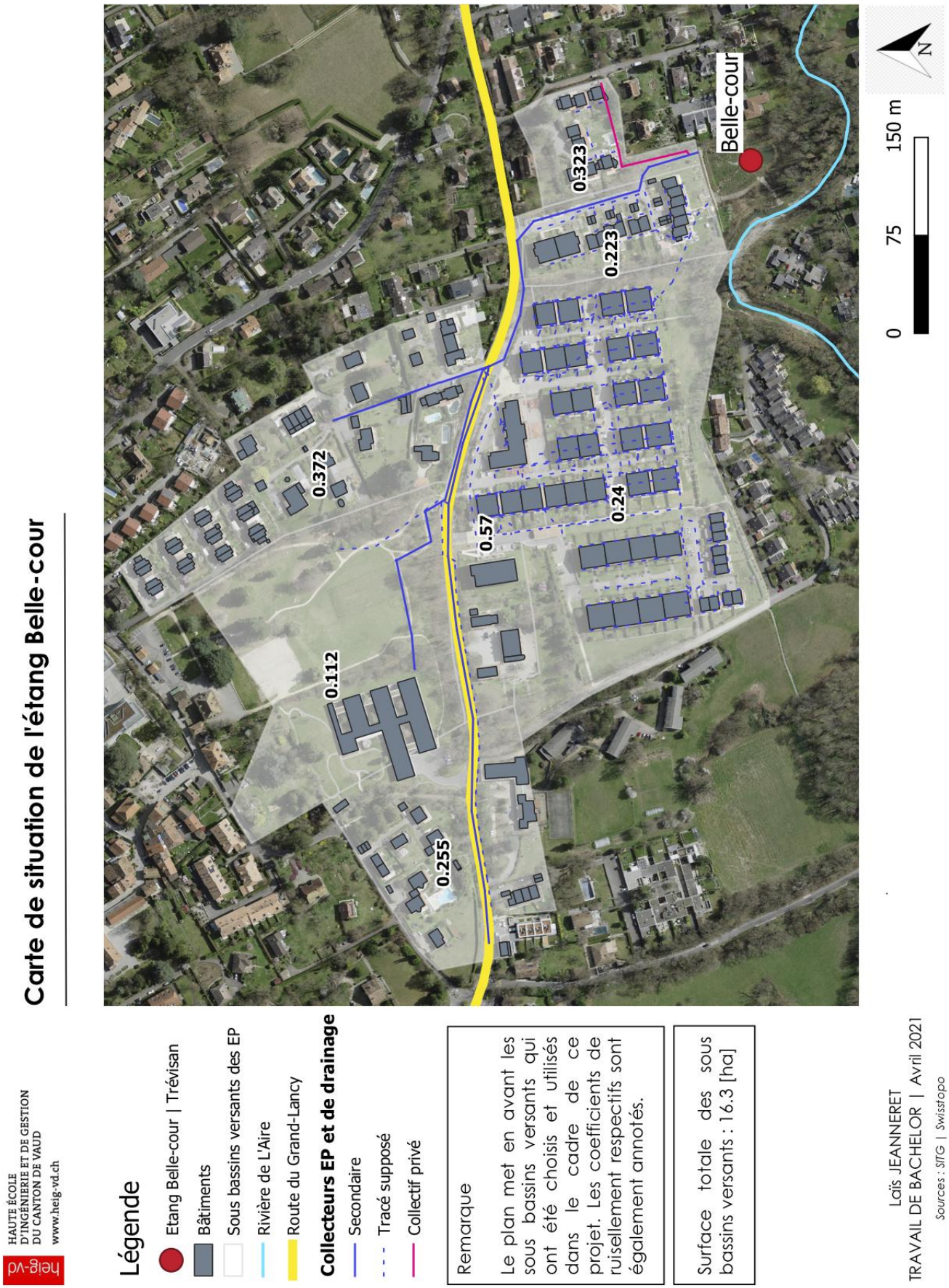
- *Annexe 1 | Résultats de l'ensemble des étangs recensés*
- *Annexe 2 | Carte de la zone d'étude de l'étang Belle-cour*
- *Annexe 3 | Carte du TJOM de la Route du Grand-Lancy*
- *Annexe 4 | E-mail de M. Pierre Philippe, Route du Grand-Lancy*
- *Annexe 5 |Caractéristiques des sous bassins versants de L'Aire*
- *Annexe 6 |Graphique de la simulation en fonction des précipitations*
- *Annexe 7 | Statistiques pré-urbanisation*
- *Annexe 8 | Données utilisées pour le schéma de l'étang Belle-cour et les variantes A et B*
- *Annexe 9 | Graphiques des hauteurs d'eau en fonction du temps selon l'état actuel et des variantes*
- *Annexe 10* | Répartition de la surface de l'étang actuel

10.1 Annexe 1 | Résultats de l'ensemble des étangs recensés

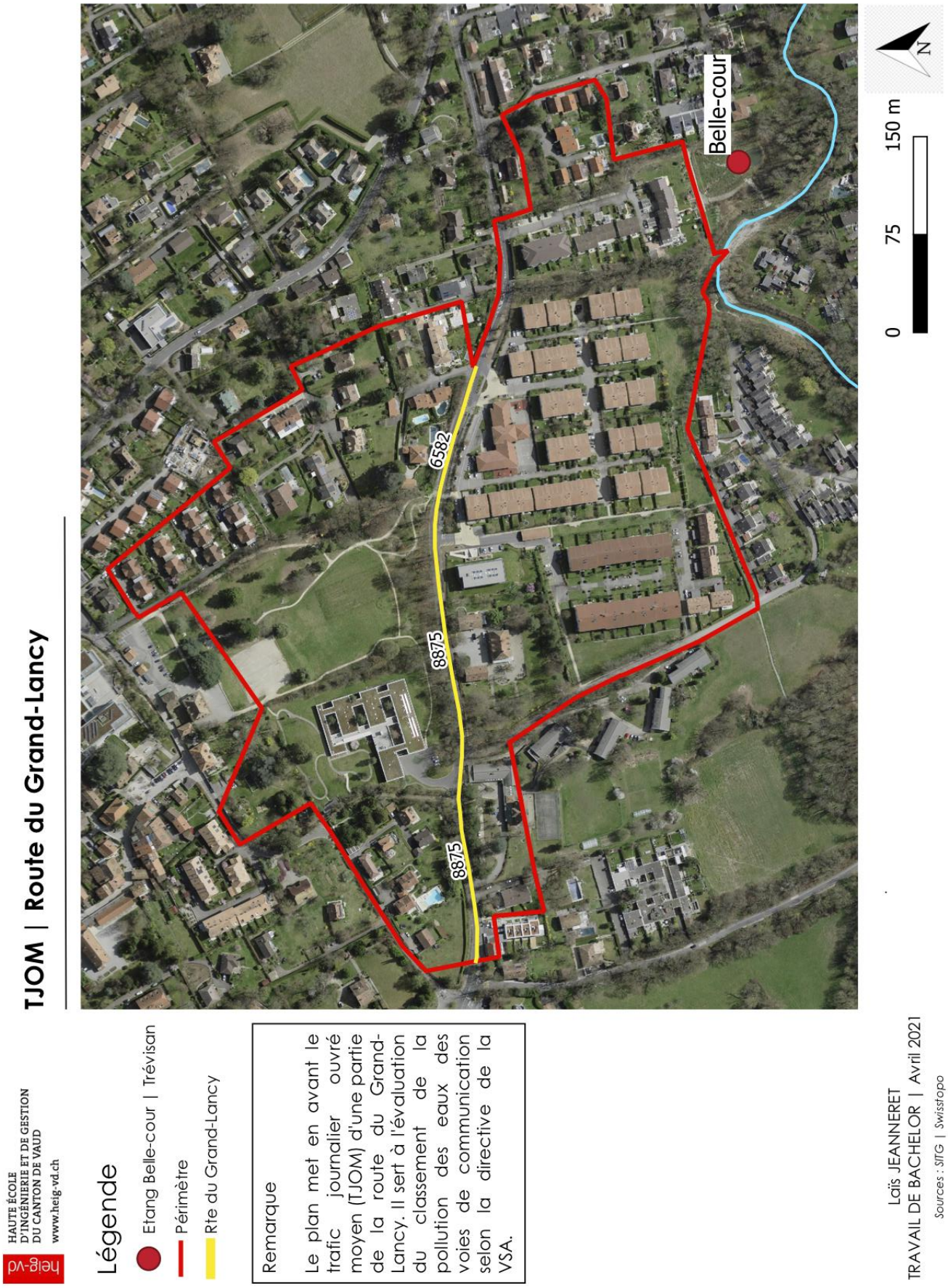
Aucune information ne figure concernant l'étang BIT. Ceci résulte du fait qu'il n'a malheureusement pas pu être précisément localisé sur le SITG.

Etang	Réception des eaux pluviales	Cours d'eau à proximité	Nappes eau souterraine	Zone d'affectation	Remarque
Agenhor	Non	Non	Principale	Zone de développement industriel et artisanal	-
Préjins	Non	Non	Temporaire	Zone de verdure	-
BIT					
Avanchets	Non	Non	-	Zone de développement 3	-
Jardin de la Paix	Non	Non	-	Zone de verdure	-
Pallanterie	Non	Non	Temporaire (en partie)	Zone de développement 4B	-
Cropettes	A confirmer	Non	Principale	Zone de verdure	-
Franchises	Non	Non	Principale	Zone de verdure	-
Zulian	Non	Nant de la Guingette (rayon : 300 [m])	Principale	Zone de verdure	-
Belle-cour	Oui	Rivière de L'Aire	Principale	Zone résidentielle	SITG : plan + données sur le BR
Parc Brot	Oui	Non	-	Zone de verdure	Bassin de rétention à proximité / trop plein / déversoir
Parc Chuit	Non	Non	-	Zone de développement 3	-
Loex		Non	Principale	Zone agricole	-

10.2 Annexe 2 | Cartes de la zone d'étude de l'étang Belle-cour



10.3 Annexe 3 | Carte du TJOM de la Route du Grand-Lancy



10.4 Annexe 4 | E-mail de M. Pierre Philippe, Route du Grand-Lancy

Philippe Pierre (DT) <pierre.philippe@etat.ge.ch>

Répondre à tous

mar. 16/03, 12:53

Cataldi Damien (DI) <damien.cataldi@etat.ge.ch>; Jeanneret Laïs; Steiner Yves (DI) <Yves.Steiner@etat.ge.ch>

Bonjour,

La route du Gd-Lancy n'est pas OPAM, nous n'avons malheureusement pas de comptage pour cet axe.

Avec mes cordiales salutations,

Pierre Philippe
Chef du secteur Etude de l'impact sur l'environnement

REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE
Département du territoire
Office cantonal de l'environnement
Service de l'environnement et des risques majeurs
12, Quai du Rhône
1205 Genève
Tél. +41 (0)22 388 70 40
Portable +41 (0)76 693 21 60
www.ge.ch/lc/opam
www.ge.ch/lc/eie-ees
Code d'acheminement interne: B 804 ER / SERMA
...

10.5 Annexe 5 | Caractéristiques des sous bassins versants de L'Aire

Commune : Onex

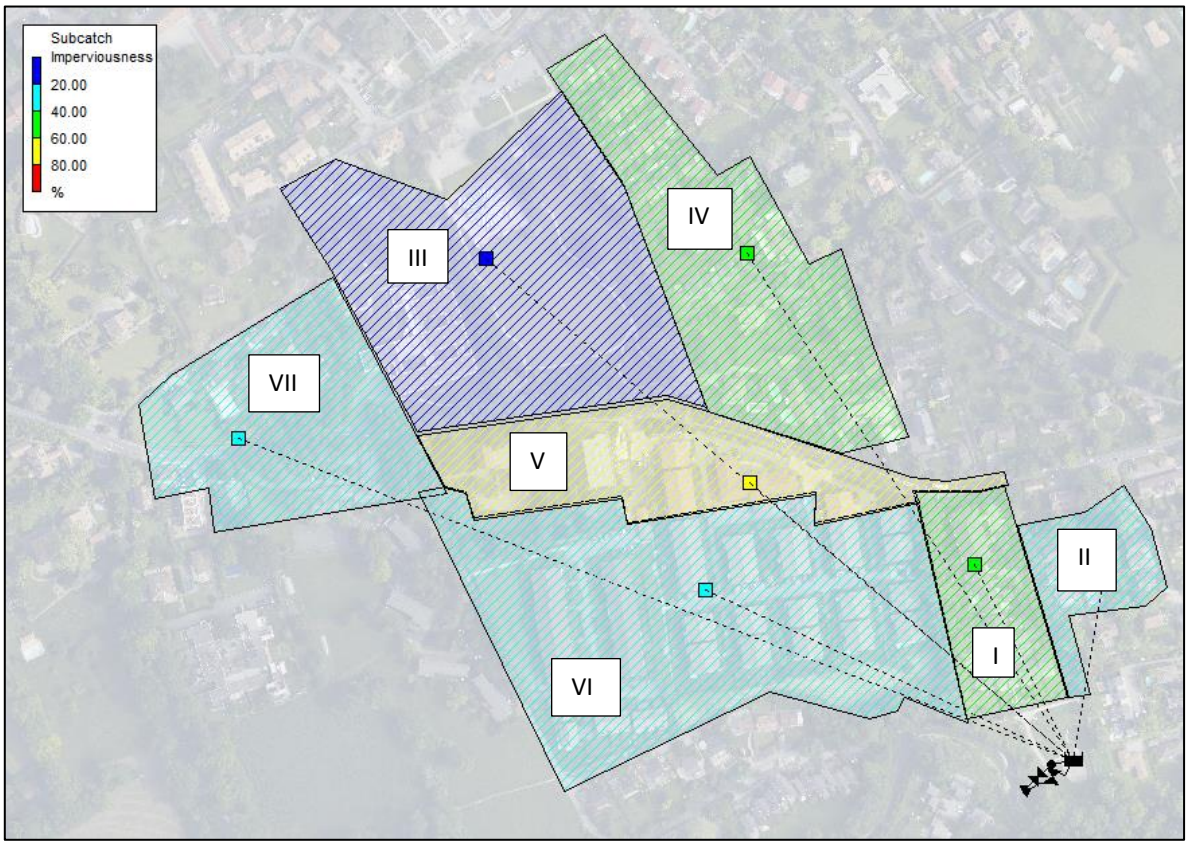
Contenu : eaux pluviales

Réseau : secondaire

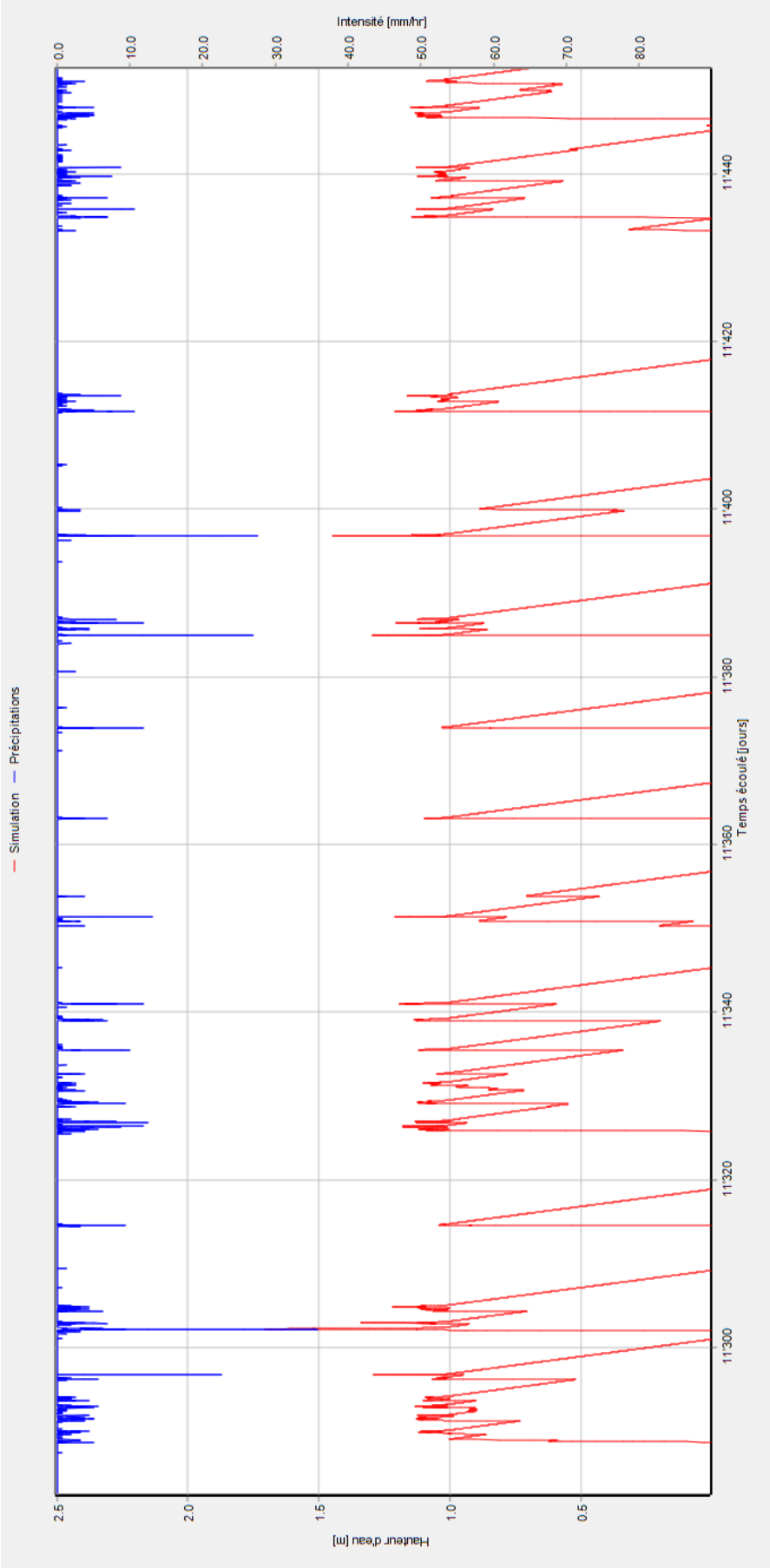
Système d'évacuation : séparatif

N° BV	Pente moyenne	Coefficient de ruissellement	Taux d'imperméabilisation [%] Pré	Taux d'imperméabilisation [%] Post	Surface [km²]
I	11.19	0.323	0.1	34.497	0.69
II	11.84	0.223		22.427	0.97
III	9.27	0.112		11.780	3.37
IV	7.77	0.372		40.358	2.69
V	5.71	0.570		60.736	1.78
VI	8.80	0.240		25.206	4.67
VII	10.19	0.255		26.667	2.13
			Total		16.31

Données introduites dans SWMM
N-Imperv : 0.015
N-Perv : 0.04
Dstore-Imperv : 1
Dstore-Perv : 5
CN : 70
Drying time : 1



10.6 Annexe 6 | Graphique de la simulation en fonction des précipitations



10.7 Annexe 7 | Statistiques pré-urbanisation

Bassin de rétention

Voici les statistiques des débits totaux entrants dans le bassin de rétention.

Sur une période de 32 ans, 1'627 événements ont été recensés.

Les débits minimal et maximal sont respectivement de 0.101 [L/s] et 537.966 [L/s].

L'ensemble de ces données ont servi afin de déterminer le débit de rejet maximal autorisé pour le Cpv.

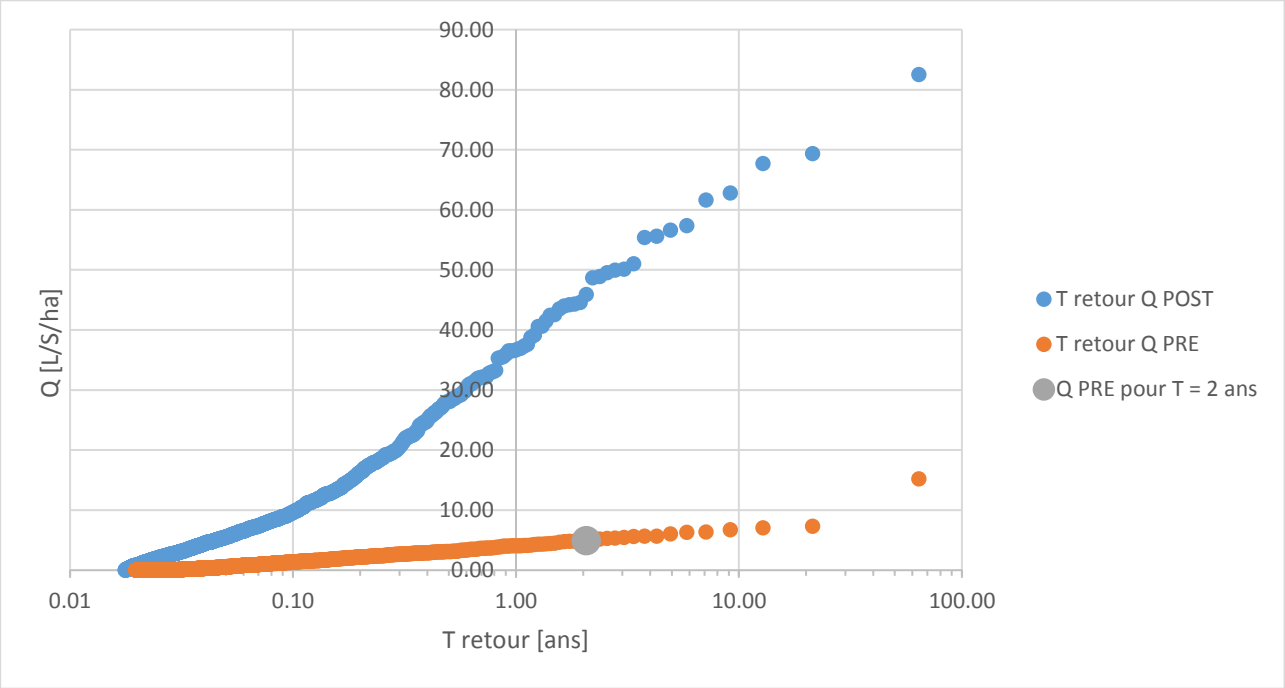
```
S U M M A R Y   S T A T I S T I C S
====================================
Object  ............... Node Belle-cour
Variable ............. Total Inflow  (LPS)
Event Period ......... Variable
Event Statistic ...... Peak  (LPS)
Event Threshold ...... Total Inflow > 0.1000  (LPS)
Event Threshold ...... Event Volume > 0.0000 (liters)
Event Threshold ...... Separation Time >= 24.0  (hr)
Period of Record ..... 06/01/1989 to 12/31/2020

Number of Events ..... 1627
Event Frequency*...... 0.074
Minimum Value ........ 0.101
Maximum Value ........ 537.966
Mean Value ........... 12.411
Std. Deviation ....... 47.067
Skewness Coeff. ...... 5.859

*Fraction of all reporting periods belonging to an event.
```

Débit de rejet maximal autorisé

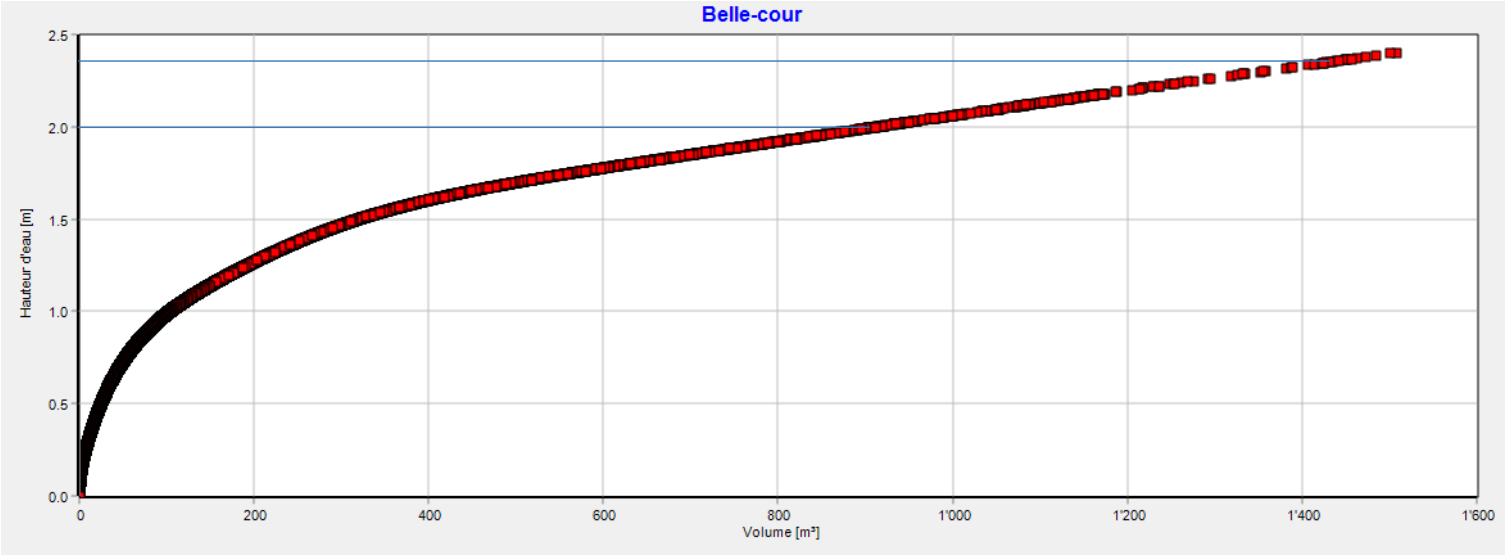
Le débit de rejet maximal autorisé pour le Cpv est de 5 [L/s/ha], soit 81.5 [L/s].



10.8 Annexe 8 | Données utilisées pour le schéma de l'étang Belle-cour et les variantes A et B

Etat actuel

Rank	Start Date	Event Duration (hours)	Event Peak (m3)	Exceedance Frequency (percent)	Return Period (years)
3	09/06/2013	386.3	1441.448	0.41	11.00
4	10/07/1997	266.2	1260.263	0.55	8.25
5	07/17/2009	330.0	1252.804	0.69	6.60
6	09/03/2008	336.5	1235.718	0.83	5.50
7	09/07/1993	292.7	1173.958	0.96	4.71
8	09/12/2015	344.8	1171.129	1.10	4.13
9	08/03/2004	638.7	1160.750	1.24	3.67
10	08/02/2007	105.3	1159.223	1.38	3.30
11	09/12/1997	113.5	1133.743	1.52	3.00
12	07/20/2007	196.0	1057.428	1.65	2.75
13	11/02/2002	842.8	1040.136	1.79	2.54
14	09/03/1998	403.7	1039.870	1.93	2.36
15	08/15/2003	155.5	964.905	2.07	2.20
16	07/05/1999	111.3	957.627	2.20	2.06
17	09/22/1993	791.3	939.475	2.34	1.94



Variante A

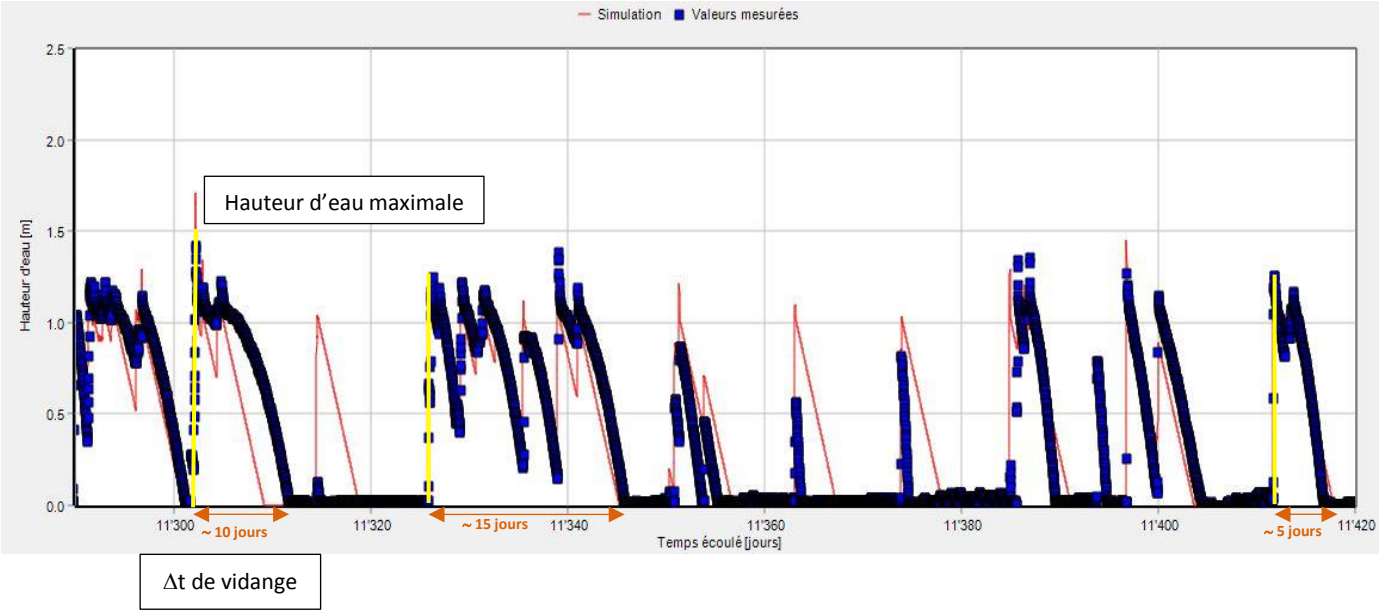
Rank	Start Date	Event Duration (hours)	Event Peak (m)	Exceedance Frequency (percent)	Return Period (years)
3	09/03/2008	172.2	1.398	0.65	11.00
4	10/17/2002	263.0	1.309	0.87	8.25
5	07/05/1996	167.2	1.263	1.09	6.60
6	10/06/1993	221.7	1.254	1.31	5.50
7	06/21/1997	161.3	1.230	1.53	4.71
8	09/07/2013	123.2	1.227	1.74	4.13
9	08/07/2007	140.2	1.225	1.96	3.67
10	07/17/2009	121.8	1.138	2.18	3.30
11	10/23/2020	179.5	1.137	2.40	3.00
12	10/25/2004	131.7	1.136	2.61	2.75
13	02/14/1990	167.7	1.130	2.83	2.54
14	11/27/2012	277.3	1.117	3.05	2.36
15	09/12/1995	132.0	1.116	3.27	2.20
16	09/04/1998	116.3	1.115	3.49	2.06
17	07/29/2013	106.8	1.101	3.70	1.94

Variante B

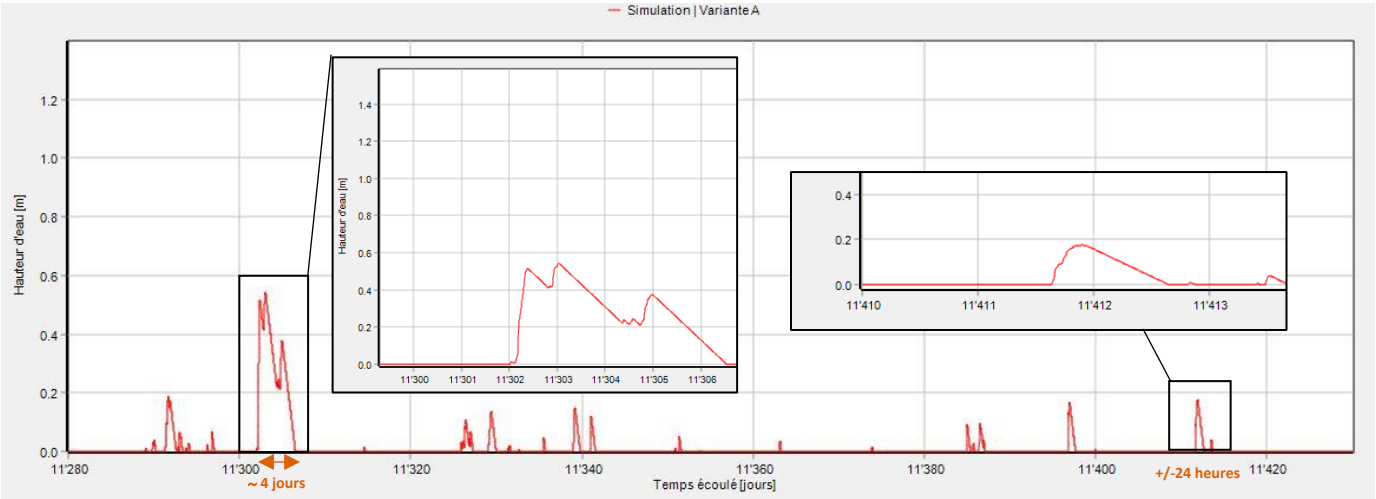
Rank	Start Date	Event Duration (hours)	Event Peak (m)	Exceedance Frequency (percent)	Return Period (years)
3	11/14/2002	155.0	1.834	0.44	11.00
4	10/06/1993	288.5	1.713	0.59	8.25
5	10/17/2002	262.8	1.685	0.73	6.60
6	07/05/1996	170.5	1.661	0.88	5.50
7	09/07/2013	125.5	1.648	1.02	4.71
8	08/07/2007	142.2	1.646	1.17	4.13
9	06/21/1997	166.5	1.641	1.32	3.67
10	10/22/2020	186.8	1.616	1.46	3.30
11	10/25/2004	133.8	1.594	1.61	3.00
12	07/17/2009	125.5	1.594	1.76	2.75
13	02/13/1990	173.5	1.593	1.90	2.54
14	03/02/2001	388.3	1.592	2.05	2.36
15	09/12/1995	135.2	1.577	2.20	2.20
16	05/01/2002	165.0	1.569	2.34	2.06

10.9 Annexe 9 | Graphiques des hauteurs d'eau en fonction du temps selon l'état actuel et des variantes

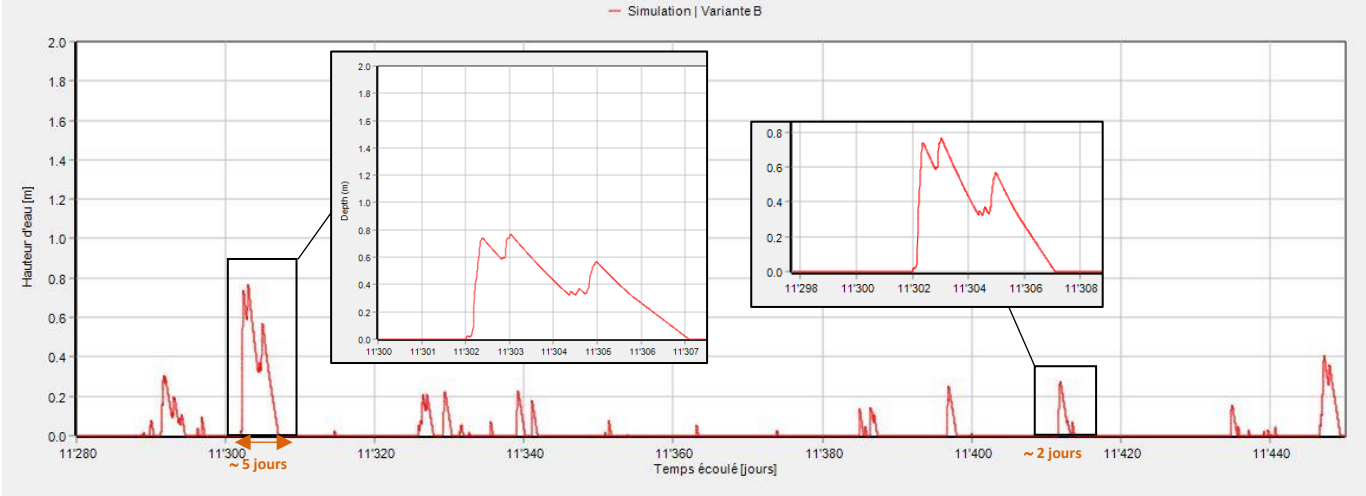
Etat actuel



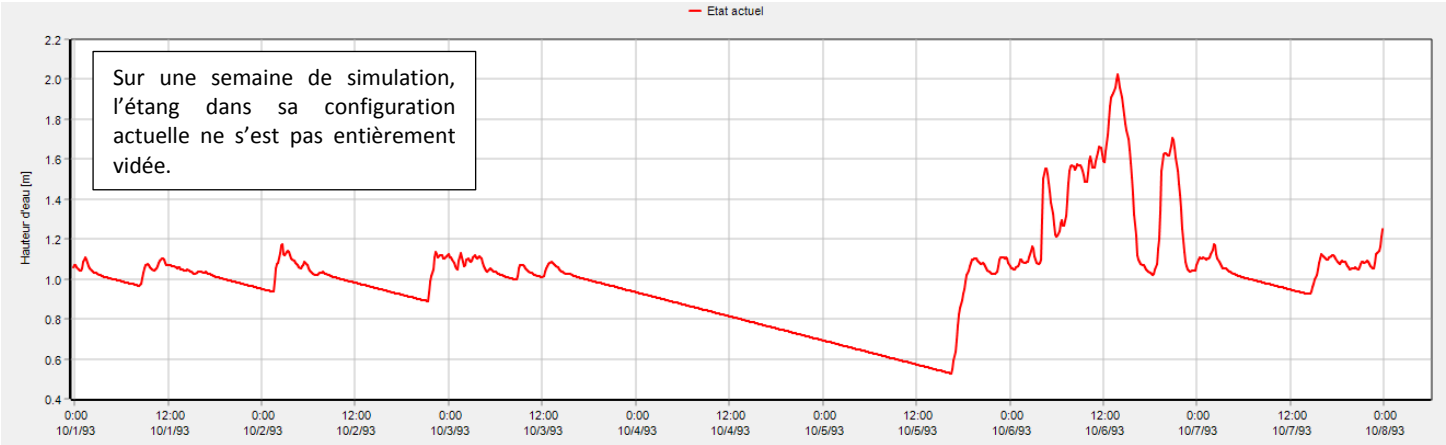
Variante A



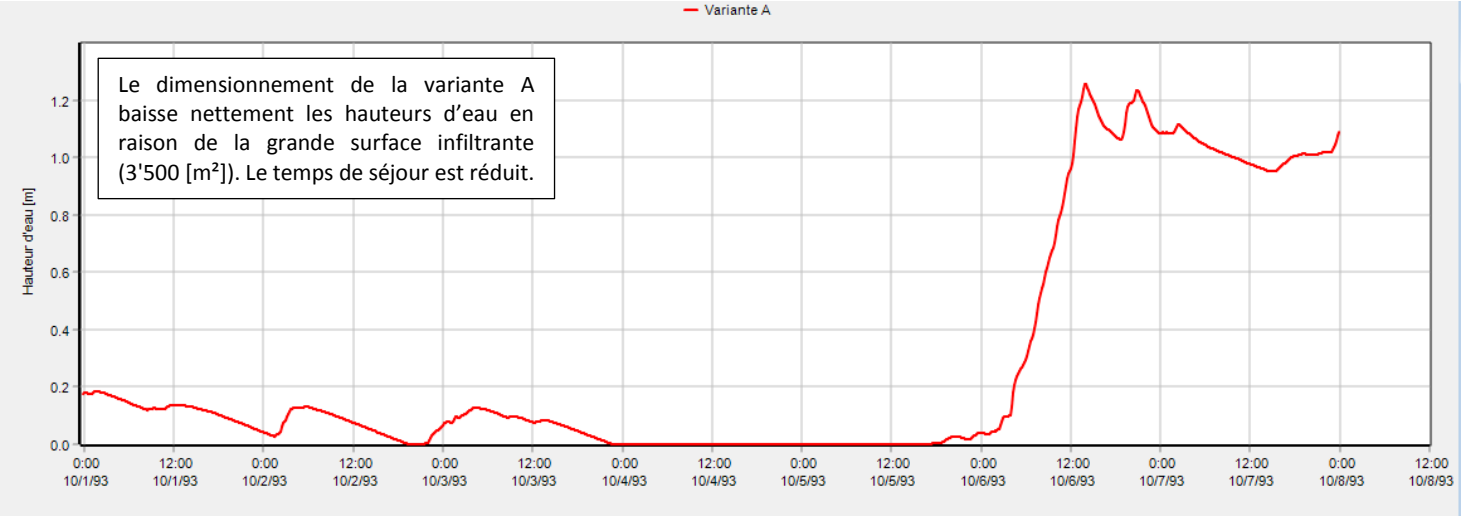
Variante B



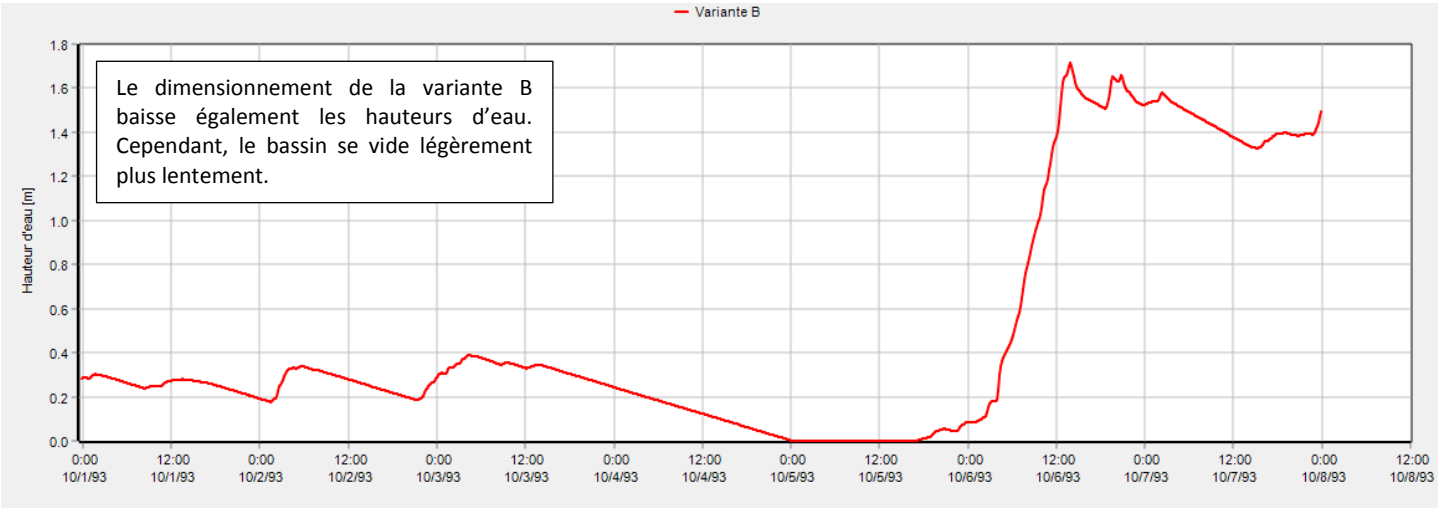
Etat actuel



Variante A



Variante B



10.10 Annexe 10 | Répartition de la surface totale de l'étang actuel

Les surfaces ont été déterminées avec le logiciel QGis. Sur la base d'un MNT, des courbes de niveau ont été extrapolées afin de pouvoir associer pour chaque altitude une surface correspondante.

Hauteur d'eau [m]	Altitude [m]	Surface par altitude [m²]
0.1	**387.1**	20
0.2	**387.2**	44
0.3	**387.3**	60
0.4	**387.4**	73
0.5	**387.5**	86
0.6	**387.6**	103
0.7	**387.7**	131
0.8	**387.8**	163
0.9	**387.9**	206
1	**388**	273
1.1	**388.1**	347
1.2	**388.2**	392
1.3	**388.3**	441
1.4	**388.4**	511
	388,5_a	*629*
	388,5_b	*18*
1.5	**388.5**	647
1.6	**388.6**	884
1.7	**388.7**	1199
1.8	**388.8**	1379
1.9	**388.9**	1408
2	**389**	1433
2.1	**389.1**	1457
2.2	**389.2**	1480
2.3	**389.3**	1503
2.4	**389.4**	1526
2.5	**389.5**	1550