

*Synthèse de projet de Master***Identification du potentiel de déconnexion des eaux pluviales du bâti existant. Exemple d'application sur un bassin versant du canton de Genève****Rédaction**

Daniel Alvarez*

SupervisionFrédéric Bachmann¹, Luca Rossi, Giovanni De Cesare²

Affiliations¹ Office cantonal de l'eau, République et Canton de Genève, 1211 Genève 8, Suisse² Laboratoire Plateforme de Constructions Hydraulique, EPFL, CH-1015 Lausanne, Suisse**Correspondance**

* Daniel_alvrz@outlook.com

RÉSUMÉ

Pour rendre la ville de demain durable et résiliente face aux changements climatiques, les eaux pluviales doivent être considérées et gérées comme une ressource et non plus comme un déchet. Cette adaptation inclut un changement des pratiques en matière d'évacuation des eaux et une revalorisation de ces dernières à la parcelle.

Ce travail propose une méthode permettant de comparer de façon systématique les solutions de déconnexion du bâti existant sur les parcelles privées et publiques aux solutions classiques de gestion des eaux pluviales par le réseau. Cette méthode se base sur les critères écologiques, techniques, financiers et politiques. Elle peut ainsi être utilisée comme un outil d'aide à la décision dans la planification globale de l'évacuation des eaux. La démarche proposée a été testée sur un bassin versant de la commune de Chêne-Bougeries (canton de Genève).

Les résultats obtenus permettent de mettre en évidence les avantages que pourraient offrir certains scénarios de déconnexion, notamment au niveau des parcelles privées, lorsqu'ils sont comparés aux mesures prévues par les plans standards d'évacuation des eaux. Il pourrait notamment être possible d'épargner à la commune une mise en séparatif lourde et coûteuse de son réseau à travers une gestion de l'eau à la parcelle.

MOTS CLÉS

Déconnexion, désimperméabilisation, infiltration, ruissellement, assainissement, eaux pluviales, bâti existant, modélisation

1 INTRODUCTION

Dans un futur proche, les milieux urbains devront devenir plus résilients face aux importantes variations imposées par les changements climatiques, c.-à-d. une alternance entre sécheresse et pluie intense (Lafforgue, 2022). Parallèlement, les eaux pluviales devront être considérées et gérées comme une ressource plutôt qu'un déchet pour que chacun puisse en tirer profit sur les plans sanitaires, écologiques, économiques, sociaux et sécuritaires. Les eaux de ruissellement ne doivent plus être acheminées systématiquement au réseau d'assainissement, mais faire l'objet d'une gestion plus locale et d'un cycle de l'eau plus proche de l'état naturel. L'une des solutions mise en place face à ce problème est la déconnexion des eaux pluviales.

La déconnexion des eaux pluviales consiste à ne pas déverser les eaux de ruissellement produites par les précipitations vers le réseau d'assainissement, que ce dernier soit unitaire ou séparatif. Cela doit toutefois être accompagné de mesures permettant de gérer localement les volumes d'eau déconnectés grâce à l'infiltration, le stockage et la rétention. Le terme de déconnexion englobe donc à la fois l'acte de déconnecter les eaux pluviales du réseau d'assainissement et les mesures de gestion des eaux qui l'accompagnent. Les avantages de cette méthode de gestion des eaux sont multiples : parmi eux, on compte la réduction des risques d'inondations, l'amélioration du régime d'écoulement des cours d'eau, la recharge des eaux souterraines, la fourniture de ressources en eau ou encore l'amélioration de la qualité de l'eau (Desmond O. Anim et al., 2019; Mitchell et al., 2007; Prudencio & Null, 2018).

Plusieurs études ont déjà montré que la déconnexion est capable de désengorger significativement un réseau d'assainissement urbain (Dellinger & Moronno, 2020; Fryd et al., 2013; Montoya-Coronado et al., 2022) et qu'elle peut même être envisagée comme une alternative aux structures de rétention telles que les bassins d'orage (Sylvie Luneau, 2022). La déconnexion est aussi une alternative économiquement intéressante vis-à-vis des méthodes plus classiques de gestion des eaux pluviales par le réseau. Par mesures

"classique" il faut entendre ici le fait de résoudre les problèmes dans le réseau en modifiant ce dernier sans toutefois envisager de s'en passer, partiellement ou totalement. La commune suisse d'Ostermundigen propose par exemple des subventions aux propriétaires prenant des mesures de déconnexion de leurs parcelles afin d'éviter une extension coûteuse de son réseau d'assainissement (Beat Jordi, 2013). L'application des méthodes de déconnexion concerne toutefois principalement les nouvelles constructions, car il est relativement aisé de planifier des mesures lors de la construction de nouveaux quartiers ou de nouveaux bâtiments. Adapter des territoires existants à une gestion alternative des eaux est, en revanche, nettement plus complexe.

En Suisse, bien que la législation donne la priorité à l'infiltration dans le cadre de l'évacuation des eaux non polluées, la mise en séparatif reste une solution souvent envisagée face aux problèmes de déversements et de surcharge des réseaux unitaires dans les espaces urbains existants. Lorsqu'une gestion quantitative et qualitative est nécessaire, des volumes de rétention et de traitement sont respectivement utilisés. Bien que cette solution règle les problèmes de déversement dans les milieux naturels et de surcharge du réseau, elle ne permet pas toujours de répondre aux problématiques de risques d'inondation ou encore de stress hydraulique généré sur les cours d'eau récepteurs. En effet, avec le principe de gestion de l'eau par le réseau, l'ensemble des volumes ruisselés sont déplacés vers l'exutoire des bassins versants au lieu d'être gérés localement. À l'aval, ces volumes s'additionnent et deviennent très importants. De plus, l'eau est évacuée des parcelles sans qu'aucun avantage n'en soit tiré.

Finalement, il n'existe encore aucune méthode comparant de manière systématique les solutions de



Figure 1 – Un exemple de déconnexion sur une parcelle privée de la commune de Chêne-Bourg (GE).

déconnexion aux solutions classiques de gestion des eaux pluviales par le réseau. Les projets pilotes présentés dans la littérature sont généralement sélectionnés parce qu'ils se prêtent à la gestion de l'eau à la parcelle, mais dans certains cas, le choix d'un recours à de telles méthodes peut s'avérer plus délicat.

Ce travail a ainsi pour objectif de proposer un outil d'aide à la planification destiné aux secteurs bâtis dont le système d'assainissement ne répond plus aux exigences légales. Cet outil permet d'évaluer divers nouveaux scénarios de gestion des eaux pluviales et de sélectionner le plus approprié au cas étudié tout en tenant compte des problématiques actuelles liées à l'eau et au climat. Les scénarios sont à la fois comparés sur les plans techniques, écologiques, politiques et financiers.

Le second objectif de cette étude est de mettre en avant le potentiel des méthodes de déconnexion sur les secteurs bâtis présentant un faible taux d'infiltration. Le présent travail propose une comparaison de scénarios de gestion par le réseau à des scénarios de déconnexion des eaux pluviales appliqués à un bassin versant ayant un taux d'infiltration faible à moyen.

1.1 Cas d'étude

La méthodologie proposée dans le cadre de ce travail a été testée sur un secteur de la commune de Chêne-Bougeries, en périphérie de la ville de Genève. La commune comporte plusieurs bassins versants urbains dont les exutoires se situent le long de la Seymaz, rivière genevoise et affluent de l'Arve fortement impactée par l'urbanisation. Parmi ces bassins versants se trouve celui de la section est de la route de Chêne. Cette dernière est un axe structurant de la commune et relie le quartier des Eaux-Vives, situé en Ville de Genève, à la commune de Thônex en direction d'Annemasse (France). L'axe est également emprunté par les lignes des trams 12 et 17 des transports publics genevois (TPG). Le réseau d'assainissement relié à la portion est de la route de Chêne forme un bassin versant de 27 hectares qui sert ici de périmètre d'étude (figure 2).

Les parcelles de la zone abritent majoritairement des villas, mais également deux bâtiments plus importants (Clinique des Grangettes et École de Culture Générale Jean-Piaget), le centre historique de la commune au sud-ouest et l'école primaire de la commune dont la parcelle est presque entièrement imperméabilisée. En ce qui concerne les voies de circulation, la zone d'étude contient les tronçons de sept routes du domaine public communal ou cantonal. Un trafic important transite par la Route de Chêne, la

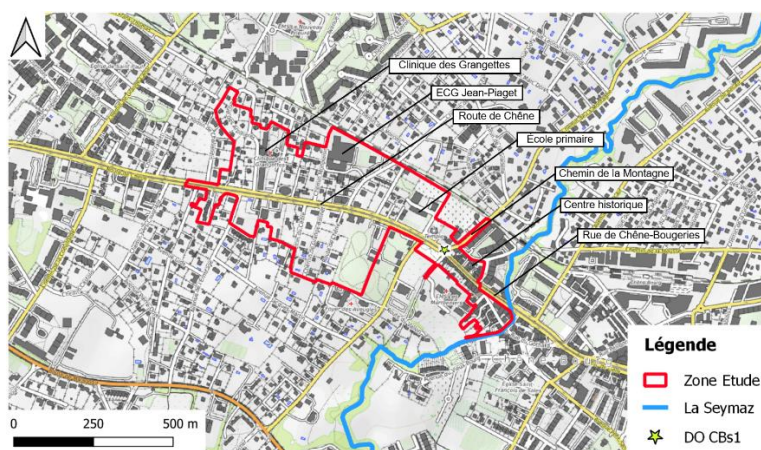


Figure 2 – Périmètre du cas d'étude.

Rue de Chêne-Bougeries et le Chemin de la Montagne dont les trafics journaliers moyens sont respectivement de 18'421, 18'318 et 5'600 véhicules par jour (SITG, s. d.). Selon le tableau B8 de la directive VSA « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie » (VSA, 2019), cette fréquentation fait entrer les deux premières routes en classe de pollution élevée et la troisième en classe de pollution moyenne. En plus d'être les plus fréquentées, la Route de Chêne et la Rue de Chêne-Bougeries sont des routes du domaine public cantonal situées sur un axe OPAM (Confédération suisse, 1991) et également sur un axe prévu pour la circulation des convois exceptionnels. Concernant la couverture du sol, la zone a un taux d'imperméabilisation de 52%. Le réseau d'assainissement est unitaire en amont du déversoir d'orage CBs1 (figure 2) et séparatif en aval. Un diagnostic hydraulique effectué (Commune de Chêne-Bougeries, 2010) montre que le réseau d'eaux mélangées (EM) actuel est sous-dimensionné sur plusieurs tronçons. Dans le cas d'une mise en séparatif du système d'assainissement de la zone, le réseau EM actuel ne pourrait donc pas être conservé pour faire office de réseau d'eaux pluviales (EP) au vu de son sous-dimensionnement. Les rejets du déversoir CBs1 se font dans la Seymaz et créent une zone d'accumulation de sédiments fins dont les concentrations en métaux lourds dépassent les exigences fixées par le VSA (Isaac Thury, 2017). Les eaux mélangées non déversées sont traitées à la station d'épuration (STEP) de Villette. Concernant la gestion des eaux pluviales, les nouvelles constructions de la zone doivent se soumettre à une contrainte de rejet égale à 10 l/s/ha pour un temps de retour de 20 ans. En ce qui concerne l'infiltration, l'extrémité ouest de la zone d'étude se situe au

droit de la nappe superficielle temporaire des Eaux-Vives-Chêne-Bougeries. Ce secteur présente une capacité d'infiltration allant de 2 à 10 l/min/m² (Commune de Chêne-Bougeries, 2010). La différence de hauteur séparant la surface et le niveau maximal de la nappe y est toutefois faible (de 1.5 à 2 mètres). La seconde moitié de la zone est située sur une zone peu perméable de moraine limono-argileuse présente à faible profondeur. La nappe y est profonde, mais la capacité d'infiltration ne dépasse pas 0.5 l/min/m². Finalement, au droit de certaines parcelles situées dans le centre historique de la commune, la nappe s'approche de la surface au vu de leur proximité avec la Seymaz.

En ce qui concerne la planification à l'état futur, la zone doit être sujette à plusieurs modifications. Premièrement, une mise en séparatif de la zone d'étude est prévue par le Schéma directeur de gestion des eaux du secteur (Commune de Chêne-Bougeries, 2010). De plus, cette mise en séparatif doit être couplée à des mesures de rétention ainsi qu'à des mesures de traitement centralisées des eaux de chaussée provenant de la route de Chêne. L'emplacement des bassins de rétention et de traitement n'est pas encore connu. Les dernières discussions ayant eu lieu entre le canton et la commune de Chêne-Bougeries suggèrent la création d'un bassin de traitement ainsi que d'un bassin de rétention à ciel ouvert sur une parcelle bordant la Seymaz et appartenant à la commune. La parcelle se situe en dehors de la zone d'étude et l'eau y serait acheminée par une nouvelle canalisation d'eaux pluviales (tir de micro-tunnelier). C'est cette variante qui a été considérée dans le cadre ce travail. Le projet de rénovation et de modification du réseau d'assainissement sera également couplé au réaménagement de la route de Chêne prévue à court terme dans le cadre de la mesure 36-1-17 du projet d'agglomération 2^{ème} génération du canton de Genève sur l'axe de développement Genève-Annemasse (OCT Genève, 2022). Ce réaménagement concerne notamment l'amélioration des aménagements cyclables ainsi que la réfection des voies du tram.

2 MÉTHODOLOGIE

La méthode proposée comporte trois étapes. La première consiste à analyser la nécessité de remplacer le système d'assainissement actuel, la deuxième à créer une série de scénarios illustrant les différentes solutions à comparer et la troisième à noter ces derniers grâce à une matrice d'évaluation.

2.1 Nécessité de mise en séparatif

La première étape consiste à évaluer la nécessité de remplacer le système unitaire par un système séparatif. La directive VSA « Gestion des eaux urbaines par temps de pluie » (VSA, 2019) est utilisée dans ce cadre. Une matrice de neuf critères pondérés est utilisée, comprenant les paramètres suivants : topographie, situation des eaux réceptrices, densité des constructions, place dans le coffre de route, infrastructures existantes (système d'évacuation des eaux, gestion des eaux unitaires et STEP) et type d'eaux usées (eaux claires parasites, eaux de ruissellement nécessitant un traitement). En fonction de la note obtenue grâce à la matrice, un remplacement du système unitaire en système séparatif est suggéré. L'utilisation de cet outil permet, dans un premier temps, d'évaluer la pertinence d'une modification du système d'assainissement déjà en place.

2.2 Élaboration des scénarios

La deuxième étape consiste à mettre en place différents scénarios. Trois scénarios sont considérés.

Le scénario *État actuel* doit être le plus fidèle possible au fonctionnement de la zone d'étude. Il fait office d'état de référence et est notamment utilisé pour valider le modèle hydrologique utilisé dans cette étude.

Le scénario *Méthode réseau* représente la zone d'étude telle qu'elle serait si des solutions de gestion des eaux pluviales « classiques » étaient mises en place. Ces solutions comprennent la transformation des réseaux unitaires en réseaux séparatifs et l'ajout de volumes de rétention et de traitement lorsque cela est nécessaire. En Suisse, ce scénario correspond généralement aux mesures prévues par les Plans généraux d'évacuation des eaux (PGEE) et les Plans régionaux d'évacuation des eaux (PREE).

Les scénarios *Déconnexion* représentent, quant à eux, le cœur du travail. Il s'agit de divers scénarios de gestion de l'eau à la parcelle. Dans ce cas, le réseau d'assainissement demeure inchangé (réseau unitaire). La seule intervention sur le réseau est sa réfection lorsque son état est trop mauvais. Deux scénarios de déconnexion sont proposés. Le premier est une déconnexion de l'espace public uniquement. Il est proposé comme première solution et est considéré comme étant le plus simple à mettre en œuvre, car il ne fait intervenir que les acteurs publics. Les parcelles publiques concernent principalement les voies de circulation et leurs abords. Le second scénario, le plus poussé, est une déconnexion à la fois des espaces publics et privés.

L'élaboration des scénarios de déconnexion suit les étapes suivantes :

- *Choix des événements à déconnecter* : en milieu urbain, l'ensemble des précipitations ne peut généralement pas être géré à la parcelle. Il est donc nécessaire de décider des événements à déconnecter. Cela peut s'exprimer soit par le choix d'un temps de retour (c.-à-d. déconnexion de tous les événements dont le temps de retour est inférieur ou égal), soit par le choix d'un nombre de millimètres à abattre (c.-à-d. abatement systématique des premiers millimètres de chaque pluie).
- *Choix du pourcentage de surface à déconnecter* : l'ensemble des surfaces imperméables ne peut pas systématiquement être déconnecté. Sur certaines parcelles, les conditions locales rendent les mesures trop lourdes ou trop coûteuses. Il est donc nécessaire de faire le choix de la surface à déconnecter.
- *Priorisation des parcelles* : lorsque la déconnexion n'est pas appliquée à l'ensemble des surfaces imperméables, il est nécessaire de prioriser les parcelles ayant le meilleur potentiel d'action (c.-à-d. sur lesquelles il est le plus aisé d'agir pour un même résultat). Ce potentiel dépend notamment du taux d'imperméabilité, du taux d'infiltration, de la présence ou non de nappes superficielles, ou encore du propriétaire de la parcelle.
- *Choix des mesures à prendre* : une fois les objectifs de déconnexion fixés et les parcelles sur lesquelles agir choisies, il est nécessaire de sélectionner les mesures permettant de les atteindre. Un catalogue de mesure est proposé (Alvarez, 2023).
- *Révision des objectifs* : finalement, si les mesures sélectionnées ne permettent pas d'atteindre les objectifs fixés, ces derniers doivent être revus à la baisse et les étapes précédentes doivent être répétées.

2.3 Critères d'évaluation des scénarios

Chaque scénario est noté grâce à une matrice d'évaluation prenant en entrée les six critères suivants : *impact environnemental, délai de mise en œuvre, faisabilité technique, coût, facteur politique et résilience face aux changements climatiques*. Pour chaque scénario, les six critères reçoivent un score entre 1 et 3 points. Plus les attentes des critères sont remplies, plus la note qui leur est attribuée est élevée. Le détail de l'attribution des points est donné en annexe. Chaque critère a également un poids, compris entre 1 et 3, ayant pour objectif de lui donner plus ou moins d'importance dans le calcul de la note finale. Les poids ont été ajustés en appliquant des scénarios fictifs à la matrice et en étudiant son comportement. Ils ont notamment été paramétrés pour que les scénarios peu durables, mais faciles à mettre en œuvre, ne soient pas favorisés au profit de ceux qui se montrent plus lourds à mettre en œuvre, mais

avantageux sur les plans environnementaux et de résilience face aux changements climatiques. Une note globale, comprise entre 12 et 36, est attribuée à chaque scénario en additionnant les scores pondérés des critères.

Critère	Évaluation		Poids
Impact environnemental	Impact fort 1	Impact faible 3	3
Délai de mise en œuvre	> 10 ans 1	< 5 ans 3	1
Faisabilité technique	Mesures peu courantes 1	Mesures maîtrisées 3	2
Coût	>30 CHF/m ² _{imperm} 1	<10 CHF/m ² _{imperm} 3	2
Facteur politique	Défavorable 1	Favorable 3	1
Résilience face aux changements climatiques	Mauvaise 1	Bonne 3	3

Table 1 – Matrice d'évaluation des scénarios.

2.4 Modélisation

Pour pouvoir remplir la matrice d'évaluation, l'impact environnemental qualitatif et quantitatif de chaque scénario doit être estimé. Pour l'état actuel de la zone, cette évaluation peut se faire sur la base d'observations sur le terrain. Pour les autres scénarios en revanche, lorsqu'il s'agit de prédictions, une modélisation est nécessaire. Dans le cadre de cette étude, le modèle SWMM (*Storm Water Management Model*) (US EPA, 2014) est utilisé comme outil d'appréciation pour l'évaluation de l'impact environnemental quantitatif et le modèle REBEKA (Rolf Fankhauser et al., 2004) peut être utilisé pour l'évaluation de l'impact environnemental qualitatif.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Nécessité de mise en séparatif

Le score obtenu en appliquant la méthode d'évaluation de la nécessité de mise en séparatif du VSA au bassin versant de la Route de Chêne est de 32 points. Cette valeur se situe à la limite de la fourchette suggérant la mise en séparatif du réseau d'assainissement actuel. Ce résultat est principalement influencé par la proximité de la zone avec la Seymaz (eaux réceptrices), par la faible densité de constructions (beaucoup de zone villa) et par l'impact des rejets d'eaux mélangées dans la Seymaz (Isaac Thury, 2017). Les résultats obtenus suggèrent donc une modification du réseau d'assainissement. Afin d'évaluer l'impact des mesures de déconnexion sur les résultats obtenus, l'exercice a été répété pour un scénario fictif de déconnexion. Dans ce dernier, le réseau est maintenu en unitaire et la majorité des eaux pluviales est infiltrée à la parcelle. Les déversements seraient ainsi réduits voire éliminés et, en considérant une déconnexion à grande échelle sur le bassin versant de la Seymaz, les eaux claires parasites seraient réduites. Le score obtenu dans ce cas est de 40 points et se situe cette fois-ci à la limite inférieure de la fourchette suggérant la conservation du système unitaire. Les résultats obtenus ne permettent pas de trancher de façon nette pour un type de système de gestion des eaux, mais ils montrent que la tendance au système séparatif peut être remise en question lors de la mise en place à grande échelle de mesures de gestion des eaux à la parcelle.

3.2 Évaluation des scénarios

Malgré la facilité que peut représenter la conservation de l'*état actuel* (peu coûteux, pas de complication technique et pas de délai de mise en œuvre), le scénario obtient la note de 22 à l'aide de la matrice développée dans ce travail (sur la fourchette de 12 à 36). Cela s'explique par un manque de résilience face au changement climatique lié au tout-tuyau et par un fort impact environnemental lié aux déversements d'eaux mélangées.

Dans le scénario *Méthode réseau*, la majorité des canalisations existantes sont remplacées et le réseau unitaire est transformé en réseau séparatif selon le concept de gestion des eaux du SDGE (Commune de Chêne-Bougeries, 2010). Les eaux usées continuent à être envoyées à la STEP de Villette, les eaux de pluie des parcelles situées en aval de l'actuel déversoir d'orage continuent à être déversées dans la Seymaz, mais les eaux de pluie des parcelles situées en amont sont envoyées vers un bassin de rétention à ciel ouvert d'un volume prévu de 1'350 m³. La liaison entre la Route de Chêne et le bassin de rétention se fait par le biais d'un nouveau collecteur d'eaux pluviales. Dans le bassin, l'évacuation de l'eau se fait de manière continue avec un débit équivalant à la contrainte de rejet imposée par le PGEE (10 l/s/ha). En plus du bassin de rétention, un bassin de traitement avec filtre à sable est prévu au vu de la classe de pollution des eaux de ruissellement de la Route de Chêne. Le scénario *Méthode réseau* a l'avantage d'avoir un faible impact sur l'environnement grâce aux mesures de rétention et de traitement mises en place. Toutefois, la mise en séparatif du réseau et la nécessité de faire appel à un micro-tunnelier augmentent fortement son coût d'investissement, estimé à 6.7 millions CHF. Il a également été considéré que le scénario n'est pas favorable sur le plan politique au vu de sa faible compatibilité avec la politique publique et du fait qu'il ne soit pas particulièrement porteur pour la commune. Le scénario *Méthode réseau* obtient ainsi la note de 24.

Le scénario proposant une *déconnexion de l'espace public* uniquement a été retiré des scénarios envisageables pour la zone d'étude, car les résultats obtenus ne montrent pas une diminution suffisante du volume d'eaux mélangées déversées dans le milieu récepteur. Ce dernier est diminué de seulement 6% par rapport à l'état actuel. Cela s'explique principalement par le fait que 80% des surfaces imperméables du bassin versant se situent sur les parcelles privées et non publiques.

Le scénario retenu est une *déconnexion à la fois des espaces publics et privés*. Sur le domaine privé, la faible imperméabilité des parcelles a permis de proposer des mesures pour déconnecter tous les événements de temps de retour inférieur ou égal à 2 ans (temps de retour pour lequel la contrainte de rejet doit être respectée sur la zone d'étude). Pour la majorité des parcelles, une solution de rétention et d'infiltration basée sur le concept de jardin de pluie a été proposée. Cette mesure peut être couplée à une végétalisation des grandes toitures plates et à une désimperméabilisation de la cour de l'école primaire de la commune. Sur le domaine public, en revanche, le taux d'imperméabilité est proche de 100% et la place est fortement limitée. Un abattement systématique des 8 premiers mm de pluie a plutôt été suggéré. Cela permet tout de même de déconnecter environ 80% du volume de précipitation annuel (Ville de Lancy, 2022). Pour la Route de Chêne, il a été proposé d'utiliser le coffre des futurs rails de tram végétalisés comme espace de rétention d'eau. Cette option doit toutefois faire l'objet d'une étude plus approfondie si elle venait à être envisagées. Sur les autres parcelles publiques, la déconnexion est

basée sur le principe de fosses de plantation végétalisées de type *fosse de Stockholm* (Björn Embrén & Britt-Marie Alvem, 2017). La déconnexion de l'entièreté des surfaces privées ayant été considérée comme peu réaliste sur les plans politique et technique, deux variantes du scénario de déconnexion ont été imaginées : une première avec 80% de surfaces privées déconnectées et une deuxième avec 60%. La variante retenue est la seconde, car elle permet d'obtenir des résultats sensiblement similaires à la première en termes d'impact environnemental tout en nécessitant une mise en place plus légère et moins coûteuse. En effet, lorsque les résultats du modèle sont évalués avec les précipitations d'une année standard (sélectionnée sur 30 ans de données), aucun déversement n'est observé pour les deux variantes. Pour l'année 2020 (année présentant les précipitations les plus intenses sur 30 ans), le volume déversé est de 163 m³ avec la première variante et de 260 m³ avec la deuxième. À titre de comparaison, dans l'état actuel, le volume moyen déversé est de 400 m³/an et de 1'395 m³ pour l'année 2020.

Le scénario *Déconnexion* a l'avantage d'avoir un faible impact sur le milieu récepteur, de proposer des mesures aidant la commune à être plus résiliente face aux changements climatiques et également d'être moins cher que le scénario *Méthode réseau* puisque le coût total a été estimé à 1.4 millions CHF. Ses principaux désavantages sont liés au fait qu'il nécessite une intervention sur 108 parcelles privées. Cela a pour conséquence de fortement augmenter le délai probable de mise en œuvre et également de soulever des oppositions chez les propriétaires privés. De plus, la faisabilité de la mesure proposée pour la Route de Chêne basée sur les voies de tram végétalisées reste encore à être approuvée. Sur le plan politique, malgré les oppositions qui peuvent être attendues, le scénario est porteur pour la commune grâce à son côté innovant et en accord complet avec la politique publique genevoise. La note obtenue en appliquant la matrice d'évaluation au scénario est de 29.

Critère	État actuel	État planifié	Déco. Public & privé	Poids
Impact environnemental	Fort	Faible	Faible	3
Délai de mise en œuvre	< 5 ans	5 < X < 10 ans	> 10 ans	1
Faisabilité technique	Bonne	Tech. relativ. courantes	Tech. peu courante	2
Coût	<10 CHF/m ² _{imperm}	>30 CHF/m ² _{imperm}	<10 CHF/m ² _{imperm}	2
Facteur politique	Ne répond pas aux exigences environnementales	Peu porteur et en désaccord avec la politique publique	Risque d'oppositions	1
Résilience face aux changements climatiques	Absente	Moyenne	Très bonne	3
NOTE	22	24	29	–

Table 2 - Synthèse des résultats de l'évaluation des scénarios. Rouge=1 pt, orange=2 pts, vert=3 pts.

3.3 La déconnexion comme alternative au réseau

D'après la méthodologie proposée, le scénario *Déconnexion* est le mieux adapté au cas d'étude malgré un taux d'imperméabilité à première vue défavorable. Comparé au scénario *Méthode réseau*, celui de déconnexion a l'avantage d'être moins coûteux, de présenter une meilleure résilience face aux changements climatiques et d'être plus intéressant sur le plan politique. Le scénario a également l'avantage considérable de ne pas nécessiter un changement de réseau. Les résultats de la modélisation montrent qu'en plus de réduire fortement les déversements, la déconnexion permet d'éviter la mise en charge du réseau sur les années standard (précipitations sélectionnées sur 30 ans). À titre de comparaison, avec les mêmes données de précipitations, la modélisation de l'état actuel montre dix mises en charges du réseau sur un an pour une durée cumulée de 13 heures. Le principal désavantage du scénario *Déconnexion* reste donc la nécessité d'intervenir sur plus de cent parcelles privées et donc d'obtenir l'accord de leurs propriétaires. Pour avancer dans ce sens, la sensibilisation de la population aux problématiques de gestion des eaux est un point clé.

Cette étude a également permis de constater que les leviers d'action sont répartis de manière très hétérogène sur la zone d'étude. La déconnexion est par exemple rendue compliquée sur certains secteurs, c'est notamment le cas des parcelles du centre historique de Chêne-Bougeries qui présentent un fort taux d'imperméabilité, une emprise importante des maisons au sol, une nappe proche de la surface et l'impossibilité d'intervenir sur certains bâtiments classés. Toute mesure prise sur ce secteur devra tenir compte de ces freins. Il faut également noter que le potentiel de déconnexion des espaces publics et privés diffère fortement. En effet, l'espace privé contient 80% des surfaces imperméables et

les parcelles qui le composent disposent de grandes surfaces perméables où des mesures de déconnexion peuvent aisément être mises en place. Au contraire, les mesures prises sur l'espace public sont souvent lourdes au vu du manque de place à disposition et ne diminuent que faiblement la charge dans le réseau. Cela est illustré dans la figure 3 montrant la répartition des volumes infiltrés et ruisselés sur une année moyenne pour chaque scénario. La déconnexion de l'espace public uniquement permet de gagner seulement 6% de volume infiltré par rapport à l'état actuel.

La matrice d'évaluation a été créée dans le but de pouvoir noter de façon systématique et objective les différents scénarios créés. Les critères choisis et les poids qui leur sont attribués ont toutefois un impact sur les résultats obtenus. Ces derniers peuvent donc faire l'objet d'une recalibration en fonction du cas étudié et de ses enjeux. Il est également important de préciser que la matrice est avant tout un outil de comparaison de variantes.

Au vu des très nombreux paramètres en jeu sur la zone d'étude, les scénarios proposés ont dû être simplifiés. La solution de déconnexion de la Route de Chêne devrait notamment être améliorée afin de prendre en compte les exigences de l'OPAM (Confédération suisse, 1991) : en cas d'accident d'un véhicule transportant des substances dangereuses, les liquides déversés doivent être évacués le plus rapidement possible vers un bassin de rétention et de traitement prévu à cet effet. Il peut s'avérer complexe de coupler la déconnexion des eaux pluviales à ce type de mesure. Les mesures de déconnexion ont également le désavantage d'avoir une emprise non négligeable en surface contrairement aux méthodes de gestion par le réseau. Cela peut mener à des conflits d'intérêts freinant leur réalisation. Par exemple, la végétalisation prévue le long de la Route de Chêne ne permet plus aux véhicules d'urgence d'emprunter la voie du tram. La présence d'une nappe superficielle temporaire au droit d'une partie de la zone d'étude doit aussi être prise en compte. Il est nécessaire de s'assurer que l'augmentation de l'infiltration ne provoque pas de risques de remontées de la nappe.

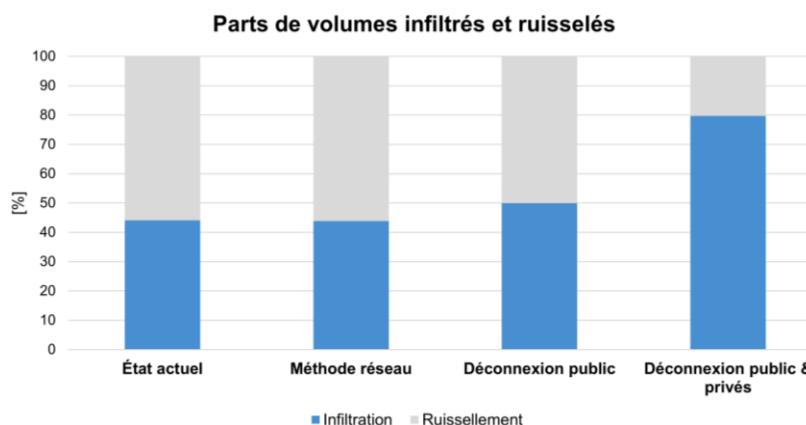


Figure 3 – Volumes infiltrés et ruisselés moyens obtenus sur SWMM.

3.4 Financement de la déconnexion à Genève

Les estimations faites dans le cadre de cette étude suggèrent que la déconnexion est économiquement avantageuse lorsqu'elle est comparée aux méthodes de gestion des eaux pluviales par le réseau. Cependant, le système de financement du réseau genevois ne permet pas aux communes et aux propriétaires privés de tirer suffisamment profit de ce bénéfice.

La discussion menée ci-dessous concerne les réseaux secondaires et privés genevois. Il n'est pas question du réseau primaire, qui est la propriété des Services industriels de Genève (SIG). Elle concerne également le bâti existant et non les nouvelles constructions, car les taxes sur la gestion des eaux pluviales de ces dernières sont différemment impactées par la déconnexion.

Dans le système actuel de financement du réseau genevois (figure 4), les propriétaires privés financent les coûts liés à leur réseau (études et travaux) sur et en dehors de leur parcelle. Parallèlement, les coûts liés au réseau secondaire sont assurés par les communes dans un premier temps, puis remboursés par le fonds intercommunal d'assainissement (FIA) sur une durée allant de 1 à 40 ans (en fonction du type de zone à bâtir et de l'importance des travaux). Seuls les grilles et raccordements des voiries publiques sont financés par la commune, car ces éléments ne font pas partie du réseau secondaire. Le FIA, lui, tire ses fonds de taxes prélevées aux propriétaires privés et aux communes. Les propriétaires privés sont soumis à deux taxes : une taxe unique de raccordement au réseau, prélevée au moment de l'autorisation de construire, dépendant notamment de la surface réduite connectée, et une taxe annuelle d'utilisation du réseau calculée sur la base de la consommation d'eau potable. De leur côté, les communes payent une taxe annuelle d'utilisation du réseau pour les voiries publiques sur la base de la surface réduite connectée.

En ce qui concerne la déconnexion, dans l'état actuel, chaque acteur paie les mesures qu'il désire mettre en place sur sa parcelle. La commune supporte les coûts de déconnexion de l'espace public communal et le canton ceux de l'espace public cantonal. Chaque mètre carré déconnecté permet aux communes de diminuer la taxe annuelle d'utilisation du réseau de 25 centimes. Ce gain est toutefois insuffisant pour rentabiliser les mesures de déconnexion en un temps raisonnable (>100 ans). Parallèlement, les propriétaires privés supportent les coûts liés aux mesures prises sur leur terrain et leurs taxes demeurent inchangées. En effet, aucune rétrocession de la taxe unique de raccordement n'est prévue pour le bâti existant et la taxe annuelle d'utilisation est, quant à elle, calculée sur la base de la consommation d'eau potable. À moins de stocker l'eau pour la réutiliser (p. ex. pour l'arrosage), les propriétaires ne tirent aucun bénéfice financier de la déconnexion. Le FIA, en revanche, peut diminuer ses dépenses lorsque des mesures de déconnexion sont prises à grande échelle. Premièrement, il ne rembourse pas aux communes les mesures de déconnexion prises sur l'espace public. Certains projets pilotes de gestion des eaux pluviales à la parcelle ont été financés, mais il ne s'agit pas d'une procédure systématique. De plus, si les eaux pluviales ne sont plus envoyées vers le réseau, l'entretien de ce dernier est diminué et son redimensionnement ainsi que son extension peuvent parfois être évités (Beat Jordi, 2013; Sylvie Luneau, 2022).

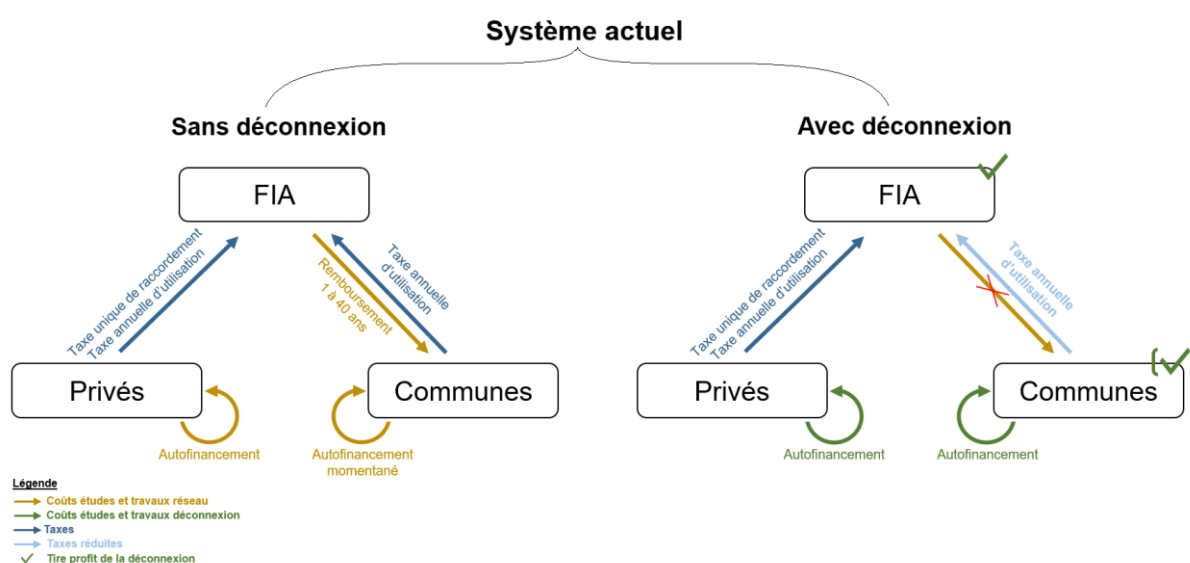


Figure 4 – Système de financement actuel des réseaux privés et secondaires sans et avec déconnexion.

Le schéma actuel de répartition des frais a plusieurs conséquences : premièrement, il dissuade (du moins n'incite pas) les propriétaires privés à agir sur leur parcelle, car aucune aide financière ne leur est apportée. Deuxièmement, il encourage les communes ayant des moyens limités à opter pour une mise en séparatif de leurs réseaux unitaires plutôt qu'à se tourner vers des mesures de déconnexion. En effet, même dans le cas où un scénario de déconnexion s'avérerait être moins onéreux qu'une mise en séparatif, le coût supporté par la municipalité à long terme est moins important si elle opte pour la deuxième solution puisqu'elle peut compter sur un remboursement du FIA. De plus, il est politiquement délicat pour une municipalité d'opter pour un scénario de déconnexion si ses habitants doivent financer eux-mêmes les mesures sur leurs parcelles. Finalement, en cas de déconnexion, le système actuel profite principalement au FIA et non aux acteurs prenant des mesures sur leur parcelle.

Afin que les bénéfices de la déconnexion soient mieux répartis entre les différents acteurs, un nouveau schéma de financement peut être imaginé. Dans ce dernier, les communes prendraient d'abord en charge les coûts de la déconnexion à la fois sur les parcelles privées et les voiries publiques. Elles se tourneraient ensuite vers le FIA pour un remboursement sur plusieurs années, comme elles le font actuellement pour le réseau secondaire. De son côté, le FIA diminuerait les taxes prélevées chez les propriétaires privés prenant des mesures sur leurs parcelles. Cela peut se traduire soit par une rétrocession partielle ou totale de la taxe unique de raccordement au réseau soit par une diminution de la taxe annuelle d'utilisation. Les communes, elles, continueraient de payer une taxe d'utilisation en fonction de la surface de voirie publique connectée. Pour que ce système soit à l'équilibre, les entrées et sorties du FIA doivent être mises à l'équilibre. Cela peut être fait en ajustant les taxes prélevées chez les privés et la part des coûts remboursés aux communes.

Mettre automatiquement la commune à charge des coûts qui concernent les parcelles privées permet de faciliter les actions. Dans le cas contraire, si les propriétaires payaient la déconnexion eux-mêmes dans un premier temps, deux cas de figure se présenteraient à eux : soit, ils demanderaient un remboursement à la commune qui demanderait ensuite remboursement au FIA, mais ce système nécessiterait une lourde procédure administrative. Soit, ils demanderaient directement un remboursement au FIA, mais ce dernier devrait gérer un trop grand nombre de demandes. Ces deux possibilités n'ont donc pas été retenues. Le second avantage à déléguer les charges aux communes serait d'aider ces dernières à coordonner les mesures de déconnexion par secteur. Il s'agit là d'un point essentiel puisque le FIA n'a d'un intérêt au remboursement des mesures que si elles sont mutualisées et qu'elles permettent une diminution significative des charges dans le réseau. Pour que ce nouveau schéma de financement soit durable, les coûts de déconnexion ne doivent pas dépasser les coûts actuels de gestion par le réseau. Pour s'en assurer, une analyse détaillée du système doit encore être menée.

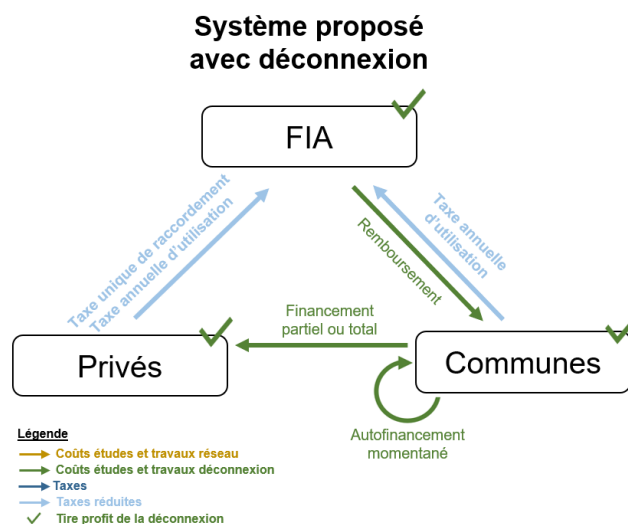


Figure 5 – Schéma proposé pour le financement de la déconnexion.

4 CONCLUSION

Cette étude montre que la déconnexion des eaux pluviales du bâti existant peut être une alternative intéressante aux méthodes classiques de gestion par le réseau. De plus, bien que la gestion des eaux à la parcelle soit facilitée sur les sols fortement perméables, elle ne doit pas être écartée systématiquement dans le cas contraire. À Genève, seul 2% du territoire présente une infiltration jugée comme étant bonne ($>10 \text{ l/min/m}^2$). Le reste de la surface présente soit une infiltration jugée comme étant mauvaise (64%), soit une infiltration à étudier au cas par cas (25%), soit une infiltration non admissible (9%). Il y a plusieurs années, ces données ont eu pour effet de freiner fortement les projets d'évacuation des eaux par infiltration à tous les niveaux de planification et à toutes les échelles. En réalité, malgré le faible taux d'infiltration de la zone d'étude, le scénario de déconnexion proposé peut s'avérer plus avantageux que le scénario de mise en séparatif grâce à son faible coût, son faible impact sur l'environnement et sa résilience face aux changements climatiques. Bien que certains points de la procédure doivent faire l'objet d'une analyse plus détaillée, ces résultats sont suffisants pour proposer de repenser la gestion des eaux pluviales du cas d'étude considéré.

Les résultats ont également montré qu'il est essentiel d'agir sur les parcelles privées pour assurer une déconnexion efficace et qu'une intervention sur l'espace public ne serait pas suffisante. Il est donc nécessaire d'impliquer les propriétaires privés et de les encourager à agir. Cela peut se faire dès à présent à travers une sensibilisation aux problématiques de gestion des eaux pluviales et par des incitations financières permettant aux propriétaires de rentabiliser leurs investissements dans la déconnexion (remboursement des frais et diminution des taxes).

Un point important à noter est que le scénario de déconnexion le plus poussé n'est pas toujours le plus avantageux. Dans le cas étudié, une déconnexion de 60% de l'espace privé peut être atteinte avec des moyens techniques et financiers limités. De plus, elle permet déjà de réduire fortement l'impact environnemental de la zone d'étude et d'avoir une bonne résilience face aux changements climatiques. Pousser cette déconnexion à 80% de l'espace privé augmente les coûts de manière importante et ne permet qu'une faible amélioration sur les plans environnementaux et d'adaptation aux changements climatiques. De plus, cela augmente le nombre de parcelles sur lesquelles il faudrait intervenir avec un risque accru d'opposition de la part des propriétaires. Il faut également noter que le potentiel de déconnexion est souvent réparti de manière hétérogène sur le terrain. Bien identifier ce potentiel permet d'optimiser les actions et d'obtenir les effets recherchés avec des moyens plus raisonnables.

Finalement, la méthode d'évaluation proposée et testée dans le cadre de ce travail a l'avantage d'être transposable à d'autres cas d'études et ainsi de pouvoir faire office d'outil d'aide à la décision pour la planification de la gestion des eaux.

BIBLIOGRAPHIE

- Alvarez, D. (2023). Identification du potentiel de déconnexion des eaux pluviales du bâti existant. Exemple d'application sur un bassin versant du canton de Genève. Projet de Master.
- Beat Jordi. (2013). Alternative économique à l'augmentation de la capacité du réseau de canalisation. Aqua & Gas.
- Björn Embrén & Britt-Marie Alvm. (2017). Plant beds in Stockholm city – a handbook 2017. http://www.biochar.info/docs/urban/Planting_beds_in_Sweden_2017.pdf
- Commune de Chêne-Bougeries. (2010). Schéma directeur de gestion et d'évacuation des eaux, Périmètre Grange-Canal – Route de Chêne – Chêne-Bougeries Village, Version 3.0.
- Confédération suisse. (1991). RS 814.012—Ordonnance du 27 février 1991 sur la protection contre les accidents majeurs (Ordonnance sur les accidents majeurs, OPAM). https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1991/748_748_748/fr
- Dellinger, F., & Moronno, T. (2020). Stormwater management in suburb renovations : Case study in Grenoble, France. *Techniques Sciences Méthodes*, 71. <https://doi.org/10.36904/tsm/202003071>
- Desmond O. Anim, Tim D. Fletcher, Gregory B. Pasternack, Geoff J. Vietza, Hugh P. Duncan, & Matthew J. Burns. (2019). Can catchment-scale urban stormwater management measures benefit the stream hydraulic environment? *Journal of Environmental Management*, 233, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.023>
- Fryd, O., Backhaus, A., Birch, H., Fratini, C., Ingvertsen, S., Jeppesen, J., Panduro, T., Roldin, M., & Jensen, M. (2013). Water Sensitive Urban Design retrofits in Copenhagen—40% to the sewer, 60% to the city. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 67, 1945-1952. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.073>
- Isaac Thury. (2017). Identification de zones d'accumulation de sédiments fins à l'aval de canalisations de rejets pluviaux—Méthodologie et proposition de zones à étudier. EPFL.
- Lafforgue, M. (2022). Avant-propos : Impact du changement climatique et adaptation des modes de gestion locale de l'eau. *Techniques Sciences Méthodes*, 11-14. <https://doi.org/10.36904/tsm/202204011>
- Mitchell, V. G., Deletic, A., Fletcher, T. D., Hatt, B. E., & McCarthy, D. T. (2007). Achieving multiple benefits from stormwater harvesting. *Water Science and Technology*, 55(4), 135-144. <https://doi.org/10.2166/wst.2007.103>
- Montoya-Coronado, V., BRET, P., Molle, P., CASTEBRUNET, H., Tedoldi, D., & Lipeme Kouyi, G. (2022). Stratégies de déconnexion des eaux pluviales à l'échelle d'un bassin versant pour réduire les déversements—Catchment-scale stormwater disconnection strategies to mitigate combined sewer overflows (CSO). *Techniques Sciences Méthodes*, 27-37. <https://doi.org/10.36904/tsm/202204027>
- OCT Genève. (2022). Projet d'agglomération 2, Mesure 36-1-17, Aménagement entre le chemin de Grange-Canal et la route de Vallon—Provisoire.
- OFEV. (2021, octobre 4). Evacuation des eaux urbaines. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themen/thema-wasser/wasser-fachinformationen/massnahmen-zum-schutz-der-gewaesser/abwasserreinigung/siedlungsentwaesserung.html>
- Prudencio, L., & Null, S. E. (2018). Stormwater management and ecosystem services : A review. *Environmental Research Letters*, 13(3), 033002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaa81a>
- Rolf Fankhauser, Simon Kreikenbaum, Luca Rossi, & Wolfgang Rauch. (2004). REBEKA II - Un logiciel pour l'aide à la planification de mesures de protection par temps de pluie. http://www.rebeka.ch/storm/gwa_09_f.pdf
- SITG. (s. d.). Le territoire genevois à la carte. Consulté 30 septembre 2022, à l'adresse <https://ge.ch/sitg/>
- Sylvie Luneau. (2022, septembre 5). Déconnecter les eaux pluviales, une solution simple pour faire des économies. *Techni.Cités*. <https://www.lagazettedescommunes.com/818335/deconnecter-les-eaux-pluviales-une-solution-simple-pour-faire-des-economies/>
- US EPA, O. (2014, mai 21). Storm Water Management Model (SWMM) [Data and Tools]. <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- Ville de Lancy. (2022). Mise en séparatif du chemin du Salève-Sud, Étude d'avant-projet de valorisation et de gestion des eaux pluviales (Rapport intermédiaire, Approche hydrologique et prédimensionnement).
- VSA. (2019). Gestion des eaux urbaines par temps de pluie—Module complet. Association suisse des professionnels de la protection des eaux. <https://vsa.ch/fr/M%C3%A9diath%C3%A8que/gestion-des-eaux-urbaines-par-temps-de-pluie-module-complet/>

5 ANNEXE

Démarche détaillée pour l'attribution des points des critères de la matrice d'évaluation :

- Impact sur l'environnement** : l'impact environnemental d'un système de gestion des eaux sur un milieu récepteur concerne les plans qualitatifs et quantitatifs. Pour l'état actuel, les impacts environnementaux peuvent être évalués sur la base d'observations. En revanche, les autres scénarios doivent faire l'objet d'une modélisation (voir section 2.4). Les exigences qualitatives et quantitatives à respecter sont celles proposées par la directive VSA (VSA, 2019).
 - 1 pt = le scénario ne respecte ni les exigences qualitatives ni quantitatives du VSA
 - 2 pts = le scénario respecte les exigences qualitatives OU quantitatives du VSA
 - 3 pts = le scénario respecte les exigences qualitatives ET quantitatives du VSA
- Délai de mise en œuvre** : les fourchettes utilisées ici sont basées sur celles habituellement utilisées en Suisse (OFEV, 2021).
 - 1 pt = $T > 10$ ans (long terme)
 - 2 pts = $5 < T < 10$ ans (moyen terme)
 - 3 pts = $T < 5$ ans (court-moyen terme)
- Faisabilité technique** : la faisabilité technique est évaluée sur la base de la maîtrise des mesures prévues dans le scénario. Si plusieurs mesures sont prévues, la note la plus basse est retenue.
 - 1 pt = Les mesures proposées sont peu courantes et nécessitent une expertise
 - 2 pts = Les mesures proposées n'ont pas été mises en œuvre sur le canton, mais ont déjà été appliquées ailleurs et sont bien documentées
 - 3 pts = Les mesures proposées ont déjà été mises en œuvre et une expertise est présente
- Coût** : le coût considéré ici est le coût d'investissement, mais le coût de maintenance peut également être pris en compte. Puisque le coût dépend de la taille de la zone concernée, il est normalisé par la surface imperméable totale.
 - 1 pt = $\text{Coût} > 30 \text{ CHF/m}^2_{\text{imperméable}}$
 - 2 pts = $10 < \text{Coût} < 30 \text{ CHF/m}^2_{\text{imperméable}}$
 - 3 pts = $\text{Coût} < 10 \text{ CHF/m}^2_{\text{imperméable}}$
- Facteur politique** : le critère politique permet de tenir compte des freins ou, au contraire, des moteurs politiques pour la mise en place du scénario. Le nombre de points attribués dépend des trois conditions suivantes : 1) les enjeux politiques du scénario sont porteurs 2) le scénario est en accord avec la politique publique 3) aucune opposition forte n'est attendue.
 - 1 pt = 0 ou 1 critère rempli
 - 2 pts = 2 critères remplis
 - 3 pts = 3 critères remplis

Le premier point est attribué si les enjeux politiques du scénario sont porteurs pour celui qui désire le mettre en place. Le scénario doit donc répondre autant que possible aux attentes actuelles de la population. Le second point est attribué si le scénario est en accord avec la politique publique en cours : en Suisse, les documents de référence sont le Plan Directeur Cantonal (PDCn), les Plans Directeurs Communaux (PDCom) et le Plan Climat Cantonal (PCC). Le troisième point permet de tenir compte des conflits d'intérêts susceptibles d'empêcher la bonne mise en place du scénario. Si aucune opposition forte n'est attendue, un point est attribué.
- Résilience face aux changements climatiques** : la résilience face aux changements climatiques est évaluée sur la base de trois conditions à remplir tirées du Plan Climat Cantonal 2030 (PCC 2030). Ces trois conditions correspondent aux effets attendus lors de l'application du concept *Eau en Ville* du canton de Genève : 1) le scénario permet de préserver les ressources en eau 2) le scénario permet de réduire les dommages corporels ou matériels grâce à une réduction du ruissellement de surface et une meilleure gestion des inondations 3) le scénario permet d'améliorer la qualité de vie et le confort thermique en ville par le biais de zones de fraîcheur et d'accès à l'eau.
 - 1 pt = 0 ou 1 critère rempli
 - 2 pts = 2 critères remplis
 - 3 pts = 3 critères remplis