

Les eaux urbaines

Vers un métabolisme circulaire à l'échelle du quartier

Micky Gerardi

Enoncé théorique de master
EPFL ENAC SAR
Janvier 2022

Les eaux urbaines Vers un métabolisme circulaire à l'échelle du quartier

Micky GERARDI

Directeur pédagogique : Emmanuel Rey
Professeur : Marilyne Andersen
Maître EPFL : Sara Formery



2022 Micky Gerardi

Ce document est mis à disposition selon les termes de Licence Creative Commons Attribution (CC BY <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Vous pouvez utiliser, distribuer et reproduire le matériel par tous les moyens et tous les formats, à condition de créditer l'auteur de l'oeuvre. Les contenus provenant de sources externes ne sont pas soumis à la License CC BY et leur utilisation nécessite l'autorisation de leurs auteurs.

Table des matières

<i>0. Table des matières</i>	<i>3</i>
<i>1. Thématique</i>	<i>7</i>
<i>2. Contexte</i>	<i>11</i>
2.1. Le climat – Un système dérèglé	13
2.2. Concept de durabilité	16
2.2.1. Mobilité (ou Transition modale)	17
2.2.2. Eau et espaces verts	18
2.3. Les villes suisses face au climat de demain	19
2.3.1. Anticiper la hausse de la température et les vagues de chaleur en milieu urbain	19
2.3.1. Anticiper l'augmentation des crues et des précipitations extrêmes en milieu urbain	21
2.4. Synthèse	23
<i>3. Les réseaux d'eau de nos villes</i>	<i>25</i>
3.1. Cycle de l'eau – grand cycle	26
3.2. Cycle de l'eau urbain – petit cycle	27
3.3. Avant le quartier	27
3.4. Dans le quartier	30

3.5. Après le quartier	31	5. Les ressources d'eau domestique	61
3.6. L'eau de pluie et de cours d'eau	35	5.1. Recycler et valoriser les eaux usées	63
3.7. Le métabolisme urbain (du point de vue de l'eau)	37	5.2. Exemple de système	64
3.8. Les limites du système face au climat	38	5.3. Conditions de déploiement	66
3.9. Vers un métabolisme urbain circulaire	39	5.4. Synthèse	68
3.10. Synthèse, un système qui doit évoluer	40		
4. L'eau naturellement présente sur site	43	6. Hypothèses projectuelles	71
4.1. Eau, nature et culture	44	7. Synthèse	75
4.2. Sortir l'eau de pluie de nos réseaux	46	8. Bibliographie	79
4.3. Quelques ouvrages alternatifs	48		
4.4. Une trame bleue complète	53		
4.5. Les défis d'un quartier résilient	54		
4.6. La culture urbaine du risque, un potentiel de récit	56		
4.7. Synthèse	58		

1. Thématique

La ville n'existe pas sans eau. Toutefois, on en a perdu la lecture dans les tissus urbains. La technification de la gestion de l'eau a permis aussi bien le pompage dans les cours d'eau et les nappes que l'évacuation de l'eau de pluie et de l'eau usée dans les réseaux. Sous nos pieds, l'eau circule en tuyau et suit les trajectoires que nos canalisations lui imposent. La ville a réduit l'eau à un produit de consommation que l'on importe, consomme puis exporte.

Cet énoncé cherche à synthétiser le métabolisme urbain du point de vue de l'eau et questionner les limites de nos réseaux d'eau actuels. Il vise à mettre en évidence l'irrationalité de certains processus de gestion du point de vue de la durabilité, et présente les difficultés d'adaptation que nos réseaux d'eau rencontreront face aux enjeux climatiques.

De cette analyse à grande échelle, cet énoncé vise à dégager des solutions intégrées à l'échelle du quartier qui permettent de valoriser la ressource d'eau en milieu urbain. Deux leviers d'action se dégagent de la recherche. Réintégrer l'eau de pluie et des cours d'eau dans des quartiers perméables et recycler les eaux usées à l'échelle du quartier. Ces deux solutions, si généralisées à l'échelle de la ville, modifient profondément le métabolisme urbain et notre rapport à l'eau en prônant une attitude moins consumériste et plus respectueuse de l'environnement.

2. Contexte

En 1997 déjà, Richard Rogers s'intéressait à la question climatique :

« La survie de la société a toujours dépendu de la préservation de l'équilibre entre trois variables : La population, les ressources et l'environnement. La négation de ce principe a eu des conséquences désastreuses et fatales pour des civilisations antérieures. Comme elles, nous sommes aussi soumis aux lois de la survie mais, contrairement à elles, nous sommes la première civilisation à l'échelle mondiale et, de ce fait, la première à devoir faire face, au même moment et à travers le monde entier, à la fois une augmentation de la population, à une diminution des ressources naturelles et à l'usure de l'environnement.

Au-dessus de nos têtes, au moment même où j'écris ces lignes, quelque quatre cents satellites, équipés d'instruments de mesures climatiques. [...] Les satellites sont les témoins de l'amorce d'une catastrophe environnementale d'une ampleur que l'humanité n'a encore jamais affrontée. Nous ne connaissons pas encore clairement les conséquences à long terme de nos niveaux de consommation actuels, mais au regard de l'incertitude des scientifiques quant à leurs effets précis, je soutiens que nous devons appliquer le « principe de précaution » et nous assurer que les actions seront engagées pour assurer la survie de l'espèce sur cette planète. Que ce soient nos villes qui génèrent cette crise environnementale est une révélation atroce, surtout pour un architecte. [...] L'ironie veut que notre modèle d'habitat – les villes – soit le plus grand prédateur de l'écosystème et la pire menace pour la survie de l'humanité sur la planète. »¹

Aujourd'hui, au-dessus de nos têtes gravitent quelques 4500 satellites opérationnels selon l'UCS Satellite Database². Leur précision comme nos connaissances de la situation climatique ont considérablement augmenté, mais le métabolisme de nos villes s'est-il adapté en conséquence ?

¹ Rogers et Gumuchdjan, 1997, Des villes durables pour une petite planète

² Union of concerned scientists, 2021, Satellite Database | Union of Concerned Scientists

2.1. Le climat – Un système dérèglé

Depuis la révolution industrielle du 18^{ème} siècle, les émissions de gaz à effet de serre dues à l'activité humaine n'ont cessé de croître de façon exponentielle. La combustion d'énergies fossiles pour la production d'énergie est le principal facteur d'émission. D'autres facteurs contribuent aussi d'une manière importante aux émissions de gaz à effet de serre, notamment : la production industrielle, la déforestation, l'agriculture intensive et autres. Ces gaz à effet de serre, retenus dans l'atmosphère, empêchent une partie de la chaleur rayonnante du soleil de s'échapper dans l'espace. Conséquemment, la planète se réchauffe.

Comme stipulé dans le rapport du GIEC de 2021³, l'influence humaine a sans équivoque contribué au réchauffement de l'atmosphère, de l'océan et de la terre. Par rapport à la température moyenne mondiale, l'augmentation de la température sur les terres émergées équivaut environ au double.

L'ampleur des changements récents et l'état actuel de nombreux aspects du système climatique sont sans précédent depuis des siècles voire des milliers d'années. Selon le GIEC⁴, le taux de concentration de CO₂ dans l'atmosphère est plus élevé qu'il ne l'a jamais été ces deux derniers millions d'années.

Il serait donc plus juste de parler de dérèglement climatique que de changement climatique, compte tenu du fait que cette situation est liée à un dérèglement anthropique et non pas aux fluctuations naturelles du climat.

³ Masson-Delmotte, et al., 2021, Climate Change 2021 The Physical Science Basis

⁴ ibidem

L'augmentation de la température moyenne mondiale pose un problème majeur quant à la stabilité climatique car une trop forte augmentation va entraîner des boucles de rétroaction climatique. Ces dernières risquent de nous faire franchir un point de basculement qui modifiera l'état et l'évolution du système climatique, sans qu'une intervention humaine puisse y remédier.

Afin d'explicitier le propos, voici l'exemple donné par la climatologue Professeure Martine Rebetez lors du forum InnoClimat 2021 à Montreux :

« Les régions gelées contiennent beaucoup de méthane en profondeur. Si vous augmentez la température, vous allez faire fondre ces zones qui sont gelées en profondeur et vous allez libérer du méthane. Ce méthane va réchauffer les températures et contribuer à faire fondre encore plus les zones gelées et émettre encore plus de méthane. C'est ce que l'on appelle des boucles de rétroaction où il n'est plus possible d'arrêter le système. Même si ensuite les humains n'émettent plus de gaz à effet de serre, le système sera engagé dans un processus auquel on ne pourra plus mettre un terme. »⁵

Dépasser les valeurs seuils de réchauffement de 1.5 °C à 2.0 °C augmente le risque de franchir un point de non-retour et est donc un enjeu majeur pour protéger les générations futures, comme l'a expliqué la Professeure Julia Steinberger lors du Forum Grosselin 2021.⁶

L'Accord de Paris, s'étant tenu en décembre 2015 au Bourget, est un traité international sur le réchauffement climatique, ayant pour objectif de réduire les émissions de gaz à effet de serre afin de limiter le réchauffement à un niveau bien inférieur à 2°C, de préférence 1,5°C, d'ici la seconde moitié du 21ème siècle.⁷

Cependant, l'augmentation de la température moyenne mondiale a déjà atteint 1,2° et notre vitesse de réduction des émissions est largement insuffisante par rapport aux objectifs fixés à l'Accord de Paris. Selon la climatologue Martine Rebetez :

« [...] pour avoir un peu plus de 80% de chance de rester à 1.5°C, il faudrait, y compris 2020, 2021, ne pas émettre plus de 300 gigatonnes de CO2 [au total selon les objectifs fixés à l'accord de Paris] et pour rester en dessous de 2°C, c'est plutôt 900[gigatonnes]. Or il se trouve qu'actuellement nous émettons plus de 40 gigatonnes par année donc de ce calcul qui vient d'être publié il faut déjà déduire près d'une centaine que nous avons émis en 2020 et 2021. Donc il nous reste à peu près 200 à 700 gigatonnes à émettre de CO2 jusqu'à atteindre ces seuils de température que nous ne voulons pas dépasser. Donc vous faites le multiple en divisant par 40 [ou] 50 et vous voyez qu'il nous reste en fait quelques années au bout desquelles il faudrait arriver à 0 [émissions]. C'est pour ça, en fait, que l'urgence est énorme aujourd'hui. [...] Mais aujourd'hui on est vraiment face au mur, on a presque plus de marge de manœuvre. [...] »⁸

Sachant que le cumul de gaz à effet de serre reste dans l'atmosphère pendant une durée pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines d'années, lutter contre le réchauffement climatique est donc avant tout un problème d'anticipation. Le système climatique ayant beaucoup d'inertie, il faut agir dans les plus brefs délais pour atténuer au maximum les émissions de gaz à effet de serre afin d'éviter le pire à l'horizon 2100 et plus.

5 Rebetez, 2021, Forum InnoClimat

6 Steinberger, 2021, Forum Grosselin - Face au changement climatique, Quels quartiers pour demain ?

7 United Nations, 2021, Nationally Determined Contributions under the Paris Agreement

8 Rebetez, 2021, Forum InnoClimat

2.2. Concept de durabilité

La durabilité, bien qu'étant une notion large, peut être définie par le principe d'améliorer la performance de différents domaines lorsque certains principes ne semblent pas pertinents, qu'ils soient d'ordre spatial, technique ou socioculturel. Il ne s'agit donc pas d'une simple approche purement scientifique basée sur l'efficacité énergétique, mais également de la prise en considération de notions plus subjectives d'ordre culturel et émotionnel. C'est au travers du juste équilibre d'interopérabilité de nombreux aspects tels que la forme urbaine, l'énergie, la valorisation des ressources, la mobilité, l'écologie et la cohésion sociale que l'on parle de durabilité.

La définition de l'écologiste urbain Herbert Girardet synthétise bien la vocation de la durabilité dans notre contexte :

« Une «ville durable» permet à tous ses habitants de satisfaire leurs propres besoins et d'améliorer leur bien-être sans porter atteinte au monde naturel ni mettre en danger les conditions de vie d'autres personnes, aujourd'hui ou à l'avenir. »⁹

Face à notre actuelle et future situation climatique, la durabilité au sens large apparaît comme une nécessité pour assurer un développement en adéquation avec les enjeux auxquels nos sociétés font face. Une approche plus holistique, pertinente et multiscalair de nos villes, de nos quartiers et bâtiments doit permettre d'assurer la qualité de vie sur le long terme.

⁹ Girardet, 2000, CITIES, PEOPLE, PLANET

2.2.1 Transition modale en ville

La mobilité individuelle motorisée a joué un rôle majeur dans la construction et l'organisation de nos villes. De la planification des espaces au choix des matériaux utilisés comme revêtements de sol, elle participe à la définition du tissu urbain. La voiture impose certaines dimensions aux rues et occupe une place importante pour le stationnement. Face aux enjeux climatiques, son utilisation doit évoluer. C'est tout particulièrement valable en ville où la voiture joue un rôle central dans la production de chaleur anthropique qui contribue à l'aggravement du phénomène d'îlot de chaleur.

Comme il nous l'est expliqué dans Plan climat vaudois – 1ère génération : « À l'échelle du territoire vaudois, la mobilité représente plus de 40% des émissions de GES, dont l'essentiel provient de la mobilité individuelle motorisée. Une réduction de ces émissions passe nécessairement par un report modal de grande ampleur vers les transports publics et la mobilité douce, une transition énergétique des véhicules individuels et la disponibilité de services permettant d'optimiser la mobilité. »¹⁰

Bien que le report modal soit hors du champ d'étude de cet énoncé théorique, il est important de comprendre que l'imperméabilité des tissus urbains actuels est en bonne partie liée à l'utilisation extensive de la mobilité individuelle motorisée. Une politique active de report modal ouvre la possibilité de planifier un tissu urbain beaucoup plus perméable avec tous les potentiels de développement durable y relatifs.

¹⁰ DES, DGE, et DGE-ARC, 2020, Stratégie du Conseil d'État vaudois pour la protection du climat
Plan climat vaudois – 1ère génération

2.2.2 Eau et espaces verts

L'eau est un vecteur du développement des villes et joue un rôle multiple permettant l'essor des activités humaines. Bien qu'elle fût historiquement au centre du développement urbain, l'eau a été chassée, dans un premier temps, pour lutter contre l'insalubrité puis, pour embrasser le progrès du transport individuel motorisé en imperméabilisant les sols de la ville. La technification de nos réseaux d'eau a favorisé la surconsommation d'eau potable et la dévalorisation des ressources d'eaux usées et d'eaux de pluie au prix d'une forte dépense énergétique pour les traiter qui, dans notre contexte, est questionnable.

L'eau est pourtant un levier essentiel à la continuité écologique des territoires. Elle est nécessaire à la croissance d'espaces naturels en milieu urbain, qui sont des composants importants du développement durable en vue, non seulement de leur capacité à dépolluer l'air et capter le CO₂, mais aussi de leur qualité esthétique. Rendre les villes plus perméables et plus vertes permet aussi de réduire la proportion de surface minérale en donnant de la place à la nature qui par l'évapotranspiration de ses végétaux et son rôle d'ombrage urbain permet de rafraîchir la température. En plus de cette vertu, les espaces verts absorbent l'eau sur site et présentent la potentialité de désaturer les réseaux d'évacuation des eaux.

Une gestion durable des eaux urbaines permet non seulement, de garantir un approvisionnement adapté aux besoins en assurant la qualité paysagère, mais aussi la réduction de l'empreinte écologique en améliorant la santé des cours d'eau et en développant les espaces verts. De plus, ceci crée des paysages résistants aux catastrophes naturelles et à la variabilité du climat.

2.3 Les villes suisses face au climat de demain

Le plan climat vaudois résume bien le bilan de notre future situation à l'échelle de la Suisse :

« En général, la majorité des enjeux identifiés sont connus et déjà partiellement pris en considération dans les politiques sectorielles (ex. crue, sécheresse, canicule, incendie, etc.). Néanmoins, les mesures en place sont souvent insuffisantes pour répondre pleinement à l'évolution de l'ampleur, de la fréquence, et de l'intensité de ces phénomènes dans le cadre des changements climatiques »¹¹

Les deux prochains sous-chapitres présentent les deux enjeux principaux liés à la gestion de l'eau urbaine et nous permettent d'établir le contexte dans lequel nos villes doivent évoluer.

2.3.1 Anticiper la hausse de la température et les vagues de chaleur en milieu urbain

Comme il est mentionné dans la publication de l'Office fédéral de l'environnement¹², l'Europe centrale, dont la Suisse, compte parmi les régions dans le monde où le nombre de jours tropicaux a le plus augmenté ces dernières décennies.

Le dérèglement climatique intensifiera l'augmentation des durées et intensités des fortes chaleurs en Suisse. Il y a eu plus de trois fois plus de vagues de chaleur ces 30 dernières années que durant les 42 précédentes¹³. La progression du réchauffement montre, selon les modélisations de MétéoSuisse¹⁴ que les vagues de chaleur pourront se produire chaque

11 DES, DGE, et DGE-ARC, 2020, Stratégie du Conseil d'État vaudois pour la protection du climat
Plan climat vaudois – 1ère génération

12 Office fédéral de l'environnement OFEV, 2018, Quand la ville surchauffe, Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques.

13 Perrin, 2020, Rafraîchissement urbain et confort d'été.

14 Office fédéral de l'environnement OFEV, 2018, Quand la ville surchauffe, Bases pour un développement

année dès le milieu du siècle. En cette même période, le climat des villes des régions tempérées correspondra au climat des villes actuellement situées 1000km plus au sud.

En milieu urbain, le ressenti en est d'autant plus important par l'effet d'îlot de chaleur. Cet effet consiste en une élévation localisée de la température qui est le résultat de nombreux facteurs. Parmi ces facteurs, nous comptons : l'absorption du rayonnement solaire incident par les nombreux espaces imperméabilisés, le manque d'espaces verts, l'activité humaine, la mauvaise circulation de l'air en raison de la composition spatiale de l'environnement qui renferme la chaleur et, finalement, la présence de matériaux absorbant la chaleur au lieu de la réfléchir.

Comme le montre le rapport de M.Ragettli et M. Rösli sur les effets de la chaleur en Suisse et l'importance des mesures de prévention¹⁵, il existe une corrélation entre la hausse des températures et la mortalité. Lorsque la température s'élève, c'est la santé de la population qui est impactée. C'est particulièrement valable pour les plus de 75 ans.

Les villes n'ont jamais hébergé autant de personnes. Il est pourtant prédit que la croissance démographique suisse s'opèrera en ville. Entre l'immigration et l'exode rurale, la densification des milieux urbains fera passer la proportion d'habitants vivant en ville de 55% à 70% d'ici 2050 selon l'OFS¹⁶. Ces facteurs couplés au vieillissement de la population¹⁷ accentueront l'importance des risques liés au confort estival urbain à l'horizon 2050.

15 Ragettli et Rösli, 2020, Effets de la chaleur sur la santé en Suisse et importance des mesures de prévention

16 OFS, 2020, Evolution de la population de 2020 à 2050: croissance, vieillissement et concentration autour des grandes villes

17 Kohli, Babel et Deplazes, 2020, Les scénarios de l'évolution de la population de la Suisse et des cantons 2020-2050

2.3.2 Anticiper l'augmentation des crues et des précipitations extrêmes en milieu urbain

Bien que les quantités d'eau disponible en Suisse d'ici 2100 vont rester stables selon la commission suisse d'hydrologie¹⁸, la répartition des précipitations au cours de l'année va changer.

Près de 40% de l'eau s'écoulant en suisse est issue de la fonte des neiges. Avec le changement climatique, cette part va passer à 25% d'ici 2085. Ce phénomène est dû au réchauffement climatique. Un degré de plus représente un rehaussement de 150m de l'altitude à laquelle la neige chute. Cela induit une plus grande part d'écoulement direct alors que le stockage d'eau sous forme neigeuse diminue. Conséquemment, les pics de débit des rivières dus à la fonte des neiges se font toujours plus tôt au printemps et tendent ensuite à s'estomper. On s'attend ainsi à une baisse considérable des précipitations estivales d'environ 20% d'ici 2085 alors que les précipitations hivernales devraient augmenter.

Ces effets combinés augmenteront l'irrégularité des débits et modifieront la fréquence des crues qui augmentera en période hivernale, alors que la fréquence et la sévérité des périodes d'étiage augmentera en période estivale à cause de la recrudescence d'étés caniculaires.

La problématique des précipitations extrêmes est également un phénomène tendanciellement en augmentation depuis plusieurs années, tant en termes de fréquence que de magnitude. Cela a aussi par extension un impact sur le coût des dommages dans le cadre d'inondations urbaines.

Compte tenu de l'évolution de la situation climatique, il est prévu que ces changements de fréquence et de magnitude s'amplifient à l'avenir.

¹⁹Le contexte urbain crée des conditions favorables à l'intensification des précipitations urbaines, bien que les raisons exactes de cet effet ne soient pas encore clairement connues.

Que ce soit au sujet des précipitations fluviales ou pluviales, B. Shaerfli nous confirme :

« We have sufficient quantitative evidence for climate change adaptation »²⁰

Mais de nombreuses stratégies d'adaptation sont possibles, comme de continuer à développer nos réseaux d'évacuation d'eau actuels, de les modifier ou encore de les repenser.

2.4 Synthèse, focus sur la ressource « eau urbaine »

L'action concernant une problématique telle que le dérèglement climatique nécessite une réponse qui satisfera deux temporalités distinctes. Immédiatement, il est impératif de réduire et optimiser nos émissions de gaz à effet de serre dans une optique d'atténuation (action sur la cause) en repensant nos réseaux d'eau. D'ici quelques décennies, nos villes devront être adaptées à faire face à un nouveau climat (action sur les conséquences) et être résilientes. Cependant, il serait faux de considérer ces deux temporalités comme distinctes. Elles sont liées et l'évolution de la gestion de l'eau urbaine doit permettre d'apporter une réponse intégrant les enjeux actuels comme futurs. La politique de report modal permettant de concevoir un tissu urbain plus perméable, de nouveaux potentiels de développement durable ouvrent la possibilité de concilier urbanité, eau et nature.

¹⁹ Schaepli et Peleg, 2021, Water Resources in Switzerland: What Is at Stake?

²⁰ ibidem

3. Les réseaux d'eau de nos villes

*Synthèse du métabolisme des eaux
urbaines autour du quartier*

3.1 Cycle de l'eau – grand cycle

Le grand cycle de l'eau se compose d'une série de transformations et déplacements de l'eau sous différentes formes en différents lieux et se répète indéfiniment grâce à l'énergie solaire. C'est un parcours entre les grands réservoirs qui emmagasinent l'eau dans ses différents états : pour la forme liquide, il y a les océans, les lacs, les cours d'eau et les nappes d'eaux souterraines ; pour la forme solide, il y a les glaciers ; pour l'état gazeux, il y a les zones humides et l'atmosphère.

Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau s'évapore à la surface des océans, des lacs et des rivières. Elle s'évapore également par la terre par le phénomène d'évapotranspiration qui est la somme de l'évaporation physique directe à partir des surfaces d'eau libre, des sols nus et de la transpiration des végétaux. Transportée ensuite dans l'atmosphère, la vapeur d'eau se condense sous l'effet d'une baisse de température et retombe par le biais de précipitations sur les océans et les continents où elle ruisselle et s'infiltré dans le sol sous forme d'eau ou se stocke sous forme de neige. Un peu moins de la moitié des précipitations va servir à recharger les nappes souterraines. L'eau qui ne s'infiltré pas directement dans les sols ruisselle le long des pentes de son environnement pour ensuite se jeter dans les rivières et lacs. Durant son cycle, l'eau va passer dans différents réservoirs (cours d'eau, nappe, lacs, glaciers) et y rester des durées de temps variables avant de reprendre son voyage vers les mers et océans. L'essentielle partie de l'eau douce provient des glaciers et secondairement des nappes et des eaux de surface.

3.2 Cycle de l'eau urbain – petit cycle

Contrairement au grand cycle de l'eau, le petit cycle de l'eau est artificiel. J. Marsalek²¹ nous explique qu'il est assuré grâce à un ensemble d'infrastructure et d'acteurs publics et privés qui assurent la mission d'alimenter les communes en eau potable ainsi que d'assurer l'assainissement des eaux usées. Le petit cycle de l'eau prend l'eau au grand cycle de l'eau en amont pour ensuite la restituer en aval une fois cette eau utilisée ou consommée. Il est à noter que le petit cycle de l'eau est considéré comme un cycle fermé, bien qu'une partie de l'eau sorte du système en cours de route en s'évaporant ou s'infiltrant (par exemple) dans son environnement. L'eau de pluie et des cours d'eau fait aussi partie intégrante de la gestion de l'eau urbaine, compte tenu du fait que leur évacuation et leurs excès sont aussi gérés par le système de drainage des villes.

3.3 Avant le quartier

Comme nous l'explique S. Schriver-Mazzuoli²², l'eau est d'abord pompée de son milieu naturel. Les stations de pompage d'eau font des captages d'eau de surface ou d'eau souterraine. L'eau de surface comprend les lacs, étangs, barrages et cours d'eau de tout type. L'eau souterraine représente les nappes phréatiques qui sont de faible profondeur et perméables avec le sol alors que les nappes profondes sont plus enfoncées, stockées au-dessus d'une couche totalement imperméable et ont une eau plus propre, voir directement potable.

²¹ Marsalek, 2008, Urban water cycle processes and interactions.

²² Schriver-Mazzuoli, 2012, La gestion durable de l'eau.

Pour tout type de captage d'eau, il doit être assuré que le milieu naturel se recharge suffisamment vite afin d'éviter qu'une surexploitation ne vide la source d'eau à cause d'un débit de pompage trop élevé. Aujourd'hui chaque site de pompage fait l'objet de nombreuses réglementations pour protéger la quantité et la qualité de l'eau de la réserve (aquifère, lac, rivière) ainsi que son environnement à courte, moyenne et longue étendue comprenant parfois tout son bassin versant.

L'eau pompée est ensuite acheminée jusqu'à une station de traitement où, en fonction de la qualité de l'eau prélevée, différents niveaux de traitement vont être effectués afin d'assurer sa potabilité. La répartition et la taille des stations de traitement d'eau, ainsi que son réseau de distribution, peut être très variable en fonction de la disponibilité et du potentiel d'exploitation des sources d'eau de l'environnement. Afin de cerner l'échelle que peut avoir un tel réseau, voici l'exemple donné par S. Schriver-Mazzuoli :

« [...] La moitié des débits d'eau [traités sur l'ensemble du territoire français] sont produits par 2% des stations d'épuration de grande capacité. A titre d'exemple, l'usine de traitement d'eau potable de Morsang créée en 1970 sur une réserve étendue de 20 ha dispose d'une capacité de traitement de 255 000 m³ /j. Elle fonctionne 24h/24h et alimente en eau 145 communes (environ 1 million d'habitants) à l'aide d'un réseau de 3848km [...] »²³

L'eau rendue potable va ensuite être acheminée puis stockée dans les premiers réservoirs d'eau qui se situent proche de la station de traitement d'eau. Dans le réseau de canalisations, d'autres réservoirs intermédiaires sont disposés proche des points de consommation. Compte tenu de la variabilité du débit de consommation des utilisateurs d'eau, il est nécessaire d'avoir une marge de réserve afin de s'adapter aux heures de pic de consommation. Les réservoirs d'eau potable prennent la forme de châteaux d'eau ou de bâches enterrées.

L'eau de ces réservoirs remplit également une fonction de réserve en cas d'incendie conséquent ou de rupture d'adduction. Idéalement, les réservoirs d'eau se situent en hauteur des villes afin que l'eau circule dans les canalisations sous l'effet de la pression induite par le dénivelé. On parle alors d'adduction gravitaire. Quand la topographie du terrain et la disponibilité des sources d'eau ne permettent pas d'exploiter la gravité pour l'écoulement de l'eau, des surpresseurs connectés au réseau électrique sont utilisés pour assurer la pression et donc l'écoulement de l'eau dans le réseau. On parle alors de réseau par refoulement.

Le réseau public de canalisations se compose de trois types de réseaux principaux. Le réseau primaire de canalisations transporte l'eau sous pression jusqu'aux réservoirs intermédiaires et le réseau secondaire part de ces réservoirs intermédiaires afin d'aller chercher les bâtiments environnants. Ces deux réseaux sont publics et passent généralement sous les rues ou trottoirs des tissus urbains. La structure du réseau peut être celle d'une arborescence, où les diamètres deviennent plus petits à chaque division des tuyaux mais est vulnérable aux fuites. Dans le cas contraire, une structure du réseau en forme de maillage permet d'éviter ce problème en ayant la capacité de fournir l'eau de plusieurs côtés mais est plus onéreuse car elle nécessite plus de longueur de tuyaux.

²³ Schriver-Mazzuoli, 2012, La gestion durable de l'eau.

3.4 Dans le quartier

Les conduites locales de plus petits diamètres viennent se connecter au réseau secondaire pour amener l'eau aux parcelles privées. Dans le cadre d'une construction nouvelle, le raccordement des conduites locales au réseau secondaire est planifié séparément de la planification générale du réseau de distribution d'eau.

L'ensemble des types d'eaux consommées par les ménages constitue les eaux domestiques²⁴. Une première ramification de l'eau potable se fait en séparant l'eau froide sanitaire (EFS) de l'eau chaude sanitaire (ECS) qui entre dans le système de production d'eau chaude du bâtiment (chauffe-eau, chaudière)²⁵. Ces deux types d'eaux vont se raccorder aux différentes installations d'exploitation d'eau et être consommés. Leurs consommations changeant la composition de l'eau, on les dénomme alors les eaux usées domestiques qui se décomposent en trois types d'eaux : l'eau jaune contenant l'urine, l'eau noire contenant les matières fécales et l'eau grise qui contient les divers produits et contaminants liés à l'utilisation des éviers, des lavabos, des machines à laver, des lave-vaisselles et des douches. L'ensemble de ces différentes eaux usées se rejoint en un collecteur principal et part dans le réseau d'évacuation des eaux usées de la ville. L'eau de pluie, collectée sur les toitures et sur la parcelle, peut être infiltrée en toiture ou dans le sol et/ou évacuée dans le réseau d'évacuation des eaux. En fonction du système d'évacuation des eaux, elle sera ou non mélangée aux eaux usées de la ville.

²⁴ Calianno et al., 2017, Quantifier les usages de l'eau

²⁵ Renaud, 2014, Branchements: Eau potable et assainissement

3.5 Après le quartier

L'assainissement des eaux usées consiste en la collecte des eaux usées, leur cheminement et leur purification en station d'épuration avant de les rejeter en milieu naturel pour réintégrer le grand cycle de l'eau. Les eaux usées comprennent les eaux domestiques, pluviales, industrielles et agricoles provenant de l'élevage. En cas de crue, une partie du surplus d'eau des cours d'eau peut aussi rejoindre le réseau. Concernant les eaux industrielles, si l'eau évacuée par les utilisateurs est considérée trop polluée, ils sont tenus de la purifier complètement avant de la restituer en milieu naturel, ou partiellement avant de se raccorder au réseau d'évacuation des eaux usées publiques.

Il existe deux stratégies de réseau d'évacuation des eaux usées. La première est analogue à un réseau en arborescence de distribution d'eau potable et fonctionne en réseau unitaire ; c'est-à-dire que tous les types d'eau y sont mélangés et transportés ensemble jusqu'à la station d'épuration. La deuxième se fait par réseau séparatif qui évacue en parallèle l'eau de pluie et les autres types d'eau.

Un réseau unitaire nécessitant des infrastructures moindres est avantageux économiquement par rapport à un réseau séparatif. Il a cependant le désavantage d'être bien plus sensible aux problèmes liés aux surverses d'orage. De ce fait, il est nécessaire de pouvoir stocker momentanément l'eau dans des déservoirs afin de temporiser la surcharge du système.

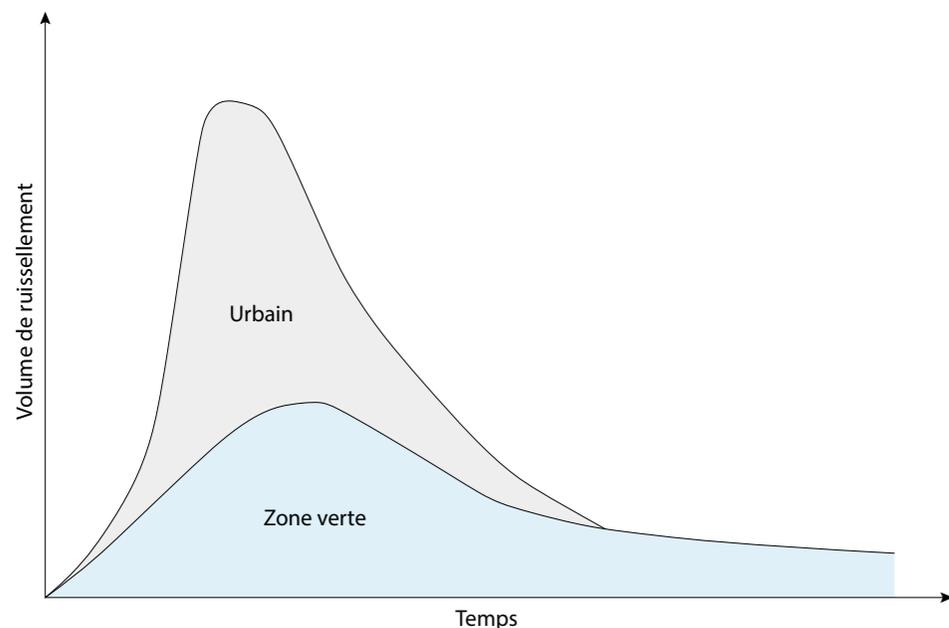


Fig. 1: S. Bell, 2018, *Urban water sustainability*

Par ailleurs, des apports soudains et anormalement élevés d'eau affectent la qualité de traitement de l'eau à la station d'épuration. C'est pourquoi les réseaux unitaires sont régulièrement équipés régulièrement de déservois. Mais si ces derniers saturent, ils vont dévier l'excédent d'effluents dans des milieux récepteurs, qui si eux aussi saturent, vont créer des inondations. Ainsi l'eau non traitée peut resurgir à la surface.

Un réseau séparatif a pour principal avantage de réduire la charge d'eau à traiter en station d'épuration mais est plus onéreux car il nécessite presque un doublement des infrastructures. C'est le type de réseau qui est souvent privilégié de nos jours. Bien que le réseau d'eau de pluie soit séparé des autres eaux, il nécessite néanmoins aussi des systèmes de retenue d'eau pouvant faire tampon en cas de surverses d'orages, et présente des risques similaires en cas de saturation du système. L'eau de pluie peut être traitée ou non en fonction de son degré de contamination dû à son écoulement sur des surfaces minérales urbaines.

Comme l'explique A. Goonetilleke²⁶, la pollution émise par les poussières des véhicules et les déchets urbains sont les principaux contaminants de l'eau lors de son ruissellement. Ces derniers, couplés à la distance d'écoulement sur des sols imperméables, sont les principaux facteurs déterminant la nécessité de traiter l'eau avant de la restituer en milieu naturel. Limiter le degré d'imperméabilité des sols est donc important afin de rentabiliser ce système séparatif. De ce fait, des plans de zonage pluvial doivent être intégrés au plan d'occupation de sol des villes. Cependant, les centres-villes largement imperméables et plus généralement la densification des milieux urbains complexifient l'utilisation rationnelle de ce type de réseau²⁷.

Les eaux usées sont ensuite canalisées jusqu'en station d'épuration. En amont de la station sont disposés des bassins d'orage ou de stockage qui remplissent la même fonction que les déservois.

À ce stade de leur parcours, ces eaux usées sont un mélange d'eaux urbaines, industrielles ou domestiques. Elles contiennent donc de nombreux polluants et nécessitent un traitement complexe en plusieurs étapes successives mettant en jeu de nombreux processus physiques, mécaniques, biologiques et chimiques. Une fois les traitements effectués, l'eau nettoyée est réintégrée dans le grand cycle de l'eau en se déversant dans un cours d'eau. Bien que nettoyée, cette eau n'est pas de qualité suffisante pour être potable mais est de qualité suffisante pour assurer la protection de l'environnement.

²⁶ Goonetilleke, 2014, Sustainable urban water environment.

²⁷ Mailhot et Duchesne, 2005, Impacts et enjeux liés aux changements climatiques en matière de gestion des eaux en milieu urbain

Le traitement des eaux produit également des déchets dont du sable, des huiles et principalement des boues qui sont essentiellement constituées de matière organique animale, végétale et minérale. Ces boues ont des vertus fertilisantes mais compte tenu du fait qu'elles ont été mélangées à de nombreux types d'eau avant d'arriver en station d'épuration, elles peuvent contenir des métaux, des traces de produits toxiques, des résidus médicamenteux ou autres micropolluants.

Comme expliqué par J. Marsalek²⁸, il est donc complexe d'assurer leur utilisation en agriculture car leur qualité ne dépend pas du type de traitement effectué mais de leur origine qui est variable. Ces boues présentent aussi un potentiel de transformation partielle en biogaz, créant ainsi de l'énergie à partir de ces déchets en plus de réduire la masse de boues. Sinon, elles sont la majeure partie du temps incinérées avec ou sans les ordures ménagères.

3.6 L'eau de pluie et de cours d'eau

Comme l'explique Sarah Bell²⁹, l'évacuation de l'eau de pluie qui tombe sur les toits, les rues et les surfaces dures des villes est un service d'infrastructure essentiel, mais il modifie profondément les relations entre les villes et la nature. La manière dont cette eau est gérée et rejetée dans l'environnement a des implications importantes pour la qualité de vie en ville car les eaux de pluie de ruissellement sont une source majeure de pollution dans les villes. Les systèmes de drainage urbain sont majoritairement dominés par l'ingénierie lourde dont la fonction première est d'évacuer l'eau aussi rapidement que possible pour éviter les inondations.

Les changements du régime de ruissellement représentent l'un des impacts les plus significatifs de l'urbanisation, en augmentant les volumes de ruissellement en raison de la réduction de l'infiltration de l'eau et de l'évapotranspiration des eaux de pluie à cause de l'imperméabilité des sols.

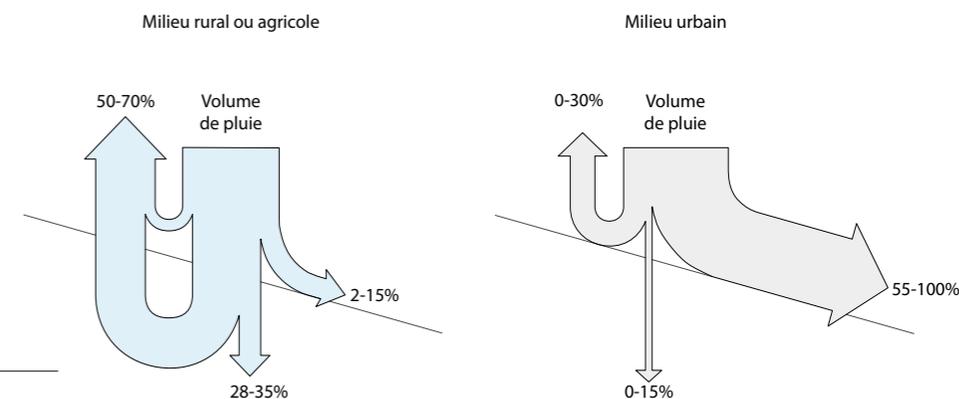


Fig. 2: V. Elmer, 2011, *Water, neighborhoods and urban design*

Comme nous l'explique J. Marsalek³⁰, les inondations fluviales sont des événements hydrologiques naturels caractérisés par des débits et des niveaux d'eau élevés entraînant l'inondation des terres adjacentes au cours d'eau. On distingue deux types d'inondations dans les zones urbaines : celles qui sont générées par des débits d'eau trop importants venant en amont du bassin versant et celles qui sont générées localement par des précipitations de forte intensité. On parle alors de crue.

Dans les zones urbaines, des catastrophes peuvent se produire et entraîner des pertes de vies humaines ou encore engendrer des dégâts matériels si la crue provoque des inondations. Les villes se protègent donc de ces risques en s'équipant d'aménagements tels que des digues, des zones d'expansion de crue ou des reboisements de protection. Si le cours d'eau a un petit débit, il peut aussi être couvert par le tissu urbain et passer sous la ville en tant qu'infrastructure du système d'eau urbain. Cette démarche a pour double objectif de gérer les risques de crue mais également de libérer de l'espace pour le développement urbain, en particulier pour la construction de routes.

3.7 Le métabolisme urbain (du point de vue de l'eau)

Le grand cycle de l'eau régit l'eau sur la planète depuis des milliards d'années en la faisant sans cesse circuler, sous toutes ses formes, d'un réservoir naturel à l'autre. Comme son nom l'indique, le grand cycle de l'eau est cyclique.

Contrairement à ce que son nom indique, le petit cycle de l'eau n'est pas cyclique. En effet, le modèle d'infrastructure de nos réseaux d'eau est linéaire. Les villes traitent l'eau comme un produit consommable puis jetable. L'eau entre dans le réseau, est consommée sans distinction d'usage puis disparaît dans le réseau pour être traitée comme un déchet qui peine à être valorisé, compte tenu du brassage des différents types d'eau de diverses provenances. Les apports d'eau de pluie et de rivière sont également évacués aussi vite que possible et sont considérés comme un danger et une importante source de pollution et non pas comme une ressource.

Du point de vue de l'eau, le métabolisme urbain de nos villes est loin d'être optimisé ou durable. Si l'on regarde les entrants et les sortants, il apparaît clairement que la gestion de l'eau suit le modèle du tout-réseau avec pour exception une faible partie de l'eau de pluie qui s'infiltre dans les sols de la ville. L'approvisionnement continu en eau propre dans toute la ville a été essentiel pour assurer la santé publique depuis des centaines d'années. Cependant, en termes de durabilité, certains usages de l'eau sont très peu rationnels et discutables ; comme utiliser de l'eau potable pour nos lieux d'aisance ou salir l'eau de pluie par son ruissellement sur les routes et dans nos systèmes d'évacuation d'eau pour ensuite devoir la nettoyer.

3.8 Les limites du système face au climat

Les réserves d'eau vont diminuer à l'échelle mondiale et la réduction de nos émissions de gaz à effet de serre est d'importance capitale. Dans une optique d'atténuation des émissions, la forte dépense énergétique et la lourde charge technique que représentent le captage, la préparation et le transport de l'eau potable ainsi que le nettoyage des eaux usées doit évoluer. L'eau et l'énergie étant deux ressources intrinsèquement liées³¹, optimiser la gestion de l'eau signifie faire des économies d'énergie et réduire les coûts et émissions liés à la gestion de l'eau en plus de protéger le cycle hydrologique.

L'actuelle imperméabilité des villes modifie le cycle naturel de l'eau et mettra en péril la santé de ses habitants à cause de l'augmentation des durées et intensités des vagues de chaleur qui amplifieront le phénomène d'îlot de chaleur. Rendre les villes plus perméables et plus vertes permet de réduire la proportion de surface absorbante en donnant de la place à la nature qui par l'évapotranspiration de ses végétaux et son rôle d'ombrage urbain permet de rafraîchir la température. Cette mesure à elle seule ne suffit pas à régler la question du confort urbain estival, mais va de pair avec l'ensemble des autres solutions durables (morphologie urbaine, parcours de fraîcheur, brises thermiques, etc) qui se situent hors du champ d'étude de cet énoncé théorique.

L'augmentation des fréquences et magnitudes des crues et précipitations extrêmes représente également un enjeu de taille. Les deux types de réseaux d'évacuation des eaux usées montrent des difficultés à gérer efficacement l'eau de pluie par sa nature inconstante. Pour s'adapter au changement climatique, continuer à développer les réseaux d'évacuation d'eau dans leur forme actuelle nécessite de les redimensionner et de les déployer sur l'ensemble du territoire urbain. Une telle approche serait onéreuse et intensifierait les problèmes liés à la pollution de l'eau de ruissellement et de surcharges ponctuelles des stations d'épuration,

31 Guerassimoff et Maïzi, 2011, Eau et énergie: Destins croisés

sans pour autant garantir l'efficacité du réseau d'évacuation d'eau. Si une inondation survient à la suite d'une surcharge du système, les dégâts et coûts des dommages seront importants.

Comme nous l'explique A.Goonetilleke³², une gestion appropriée du ruissellement des eaux pluviales urbaines et du débit des cours d'eau a des ramifications socio-économiques et environnementales importantes. Redonner de la place à la nature en ville pour infiltrer l'eau sur site est une solution plus durable qui permet de soulager les réseaux d'évacuation en luttant contre les problèmes de pollution relatifs à l'évacuation de l'eau de ruissellement et de surcharges ponctuelles des stations d'épurations.

3.9 Vers un métabolisme urbain circulaire

Le changement climatique va modifier le métabolisme urbain de nos villes suisses. Dans ce contexte, le concept de durabilité doit favoriser l'intelligence d'exploitation et de recyclage des ressources d'eau. Une approche qui tend vers un métabolisme urbain circulaire est nécessaire pour s'adapter aux enjeux que le changement climatique profile. Passer d'un métabolisme urbain linéaire à un métabolisme circulaire implique de valoriser les ressources sur site, comme garder les ressources d'eau, faire une utilisation plus rationnelle de chaque type d'eau et les recycler au possible avant de les mélanger dans le réseau d'évacuation des eaux usées. Une telle approche est par extension multiscalaire, par là il est entendu que la ville ne doit pas s'occuper de la gestion de l'eau seule mais que chaque bâtiment, ensemble bâti ou quartier doit prendre en compte ces différentes ressources d'eau et en faire un usage rationnel et intelligent.

32 Goonetilleke, 2014, Sustainable urban water environment.

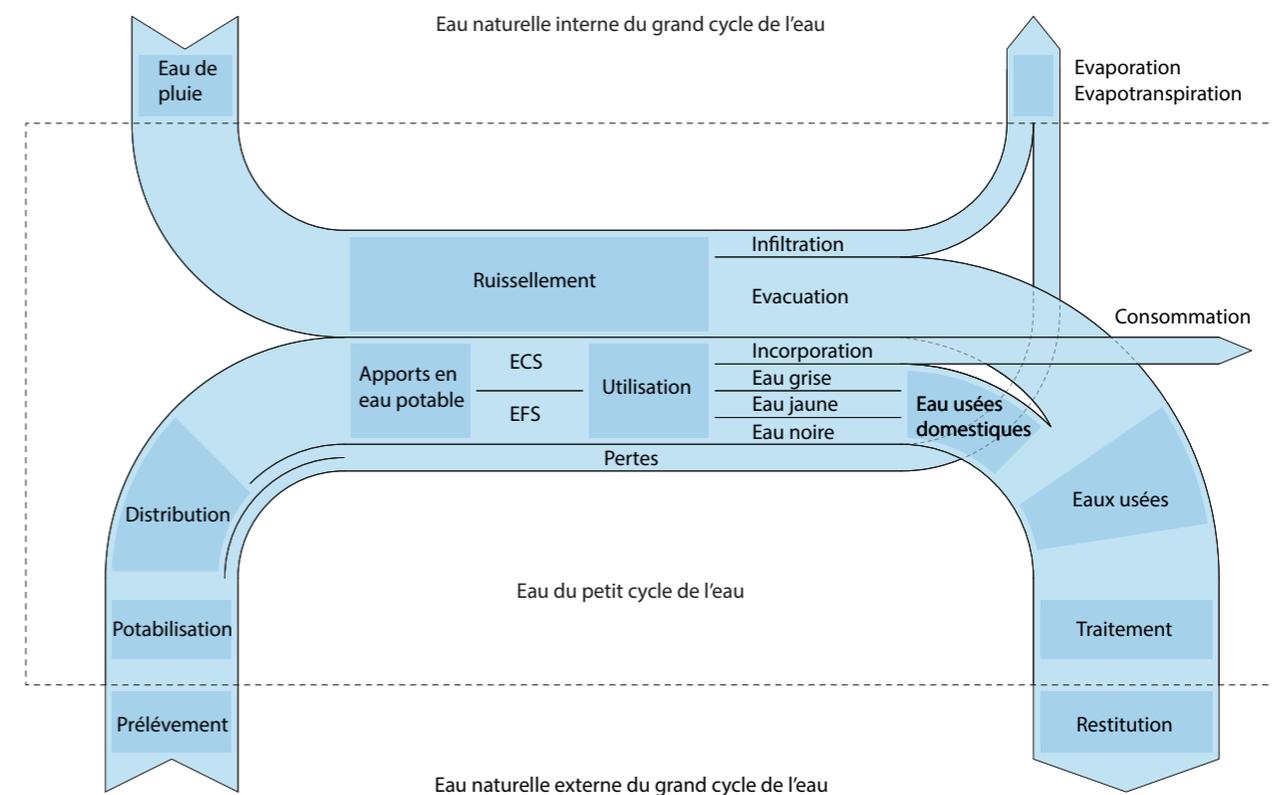
3.10 Synthèse, un système qui doit évoluer

Métaboliquement, le modèle d'infrastructure de nos réseaux d'eau est linéaire. Si l'on regarde les entrants et les sortants, il apparaît clairement que nos réseaux d'eau suivent la logique du tout-réseau. On déploie une grande quantité d'énergie pour traiter et amener l'eau potable, pour ensuite la consommer sans distinction d'usage et s'en débarrasser dans nos réseaux d'évacuation où, du fait de leur brassage, ces différents types d'eau peinent à être valorisés et nécessitent également une forte dépense énergétique pour leur traitement.

Face au changement climatique, le métabolisme de nos villes doit évoluer pour permettre d'atténuer les émissions et s'adapter au climat futur. Si continuer à développer les réseaux d'eau des villes dans leur forme actuelle pourrait permettre de s'adapter à l'augmentation des précipitations extrêmes, une telle approche serait onéreuse car elle nécessiterait de redimensionner l'ensemble du système d'évacuation des eaux de pluie et augmenterait la dépense énergétique pour leur traitement, en plus d'aggraver les problèmes de pollution relatifs au ruissellement d'eau de pluie. Une telle réponse ne permet pas de réduire efficacement nos dépenses énergétiques et, de ce fait, ne constitue pas une réponse satisfaisante face au double enjeu d'atténuation et d'adaptation.

En termes de durabilité, l'actuel système de gestion de l'eau de nos villes présente de nombreuses faiblesses et mérite la requalification de certains usages de l'eau. Réintégrer l'eau et la nature sont des solutions durables qui permettent de lutter contre l'effet d'îlot de chaleur et d'infiltrer l'eau de pluie sur site tout en désaturant les réseaux d'évacuations d'eau et réduisant la dépense énergétique y relative.

Une approche qui tend vers un métabolisme circulaire est une matrice complexe entre les activités humaines et l'environnement. Planifier une ville durable nécessite une meilleure intégration de la relation entre les citoyens, les ressources d'eaux urbaines, la nature, la mobilité, la production d'énergie et son impact, tant sur l'environnement local que sur la terre .



4. L'eau naturellement présente sur site

4.1 Eau, nature et culture

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, notre rapport à l'eau est celui d'une société basée sur la technique. Son mode de fonctionnement est consumériste et ne valorise pas la ressource sur site. Notre rapport à l'eau se calque sur un mode de domination de l'eau et de la nature. On tente constamment de la maîtriser et on se préoccupe uniquement de sa quantité et de sa qualité.

Compte tenu des enjeux climatiques et des nombreux problèmes liés à notre mode de gestion d'eau, une volonté de changement de mentalité semble toutefois émerger dans notre culture. Un tel changement d'approche ne peut s'opérer réellement que si notre rapport à l'eau évolue. V. Mahaut nous en dit plus³³ :

« [...] nous faisons l'hypothèse qu'une évolution culturelle en matière d'eau est en cours dans nos sociétés occidentales contemporaines, mais que les moyens d'actions proposés aujourd'hui restent encore trop cloisonnés dans un mode de pensée périmé : les procédés mis en œuvre sont encore sous l'emprise d'une attitude héritée du passé et ne donnent pas encore toute l'envergure dont ils sont capables. [...]. Les méthodes qu'elle propose sont dans la même lignée que celles qui l'ont entraînée lentement vers la crise. Cependant, au sein de ces réactions, apparaissent de nouvelles pistes qui soutiennent un basculement possible. Par conséquent, les solutions ne sont peut-être pas à trouver dans les logiques d'actions proposées, mais à lire entre les lignes, dans les changements de mentalités que suggèrent de nouveaux choix techniques. A première vue, ceux-ci ne semblent pas être coordonnés entre eux mais ils sont pourtant capables d'offrir un autre mode de rapport à la nature. Nous postulons que la révolution environnementale nécessaire au devenir de l'humanité ne sera possible que si un changement de mentalité dans le rapport à la nature a lieu. »

³³ Mahaut, 2009, L'eau et la ville, le temps de la réconciliation

La révolution environnementale peut se traduire par une approche écosystémique où la nature n'est pas périphérique à la ville ou un événement ponctuel, mais fait partie intégrante de son urbanisme et y est une composante morphogénératrice. Accompagnant l'idée que le développement du tissu urbain se perméabilise, nos quartiers ne doivent plus contraindre la nature et l'eau mais apprendre à vivre avec en tirant parti de ses services écologiques. Cela implique d'accorder une place centrale aux processus naturels, c'est-à-dire de ne pas considérer la nature comme un support passif des réalisations techniques mais de lui donner au contraire le premier rôle. Par-là, on n'entend pas de valoriser les parcs et les jardins, mais de reconsidérer le tissu même de nos quartiers où la nature y reprend ses droits et joue un rôle actif dans le métabolisme urbain. L'homme ne doit pas être spectateur mais intégrer des pratiques en tant que parties prenantes aux processus naturels que le quartier donne à voir. On parle donc d'une symbiose entre urbanité, nature et eau, et non pas d'une réintégration artificielle. V. Mahaut nous synthétise³⁴ :

« L'eau est une nature à l'œuvre qui contient en puissance le germe de l'organique, de la vie qui éclot par elle-même. Elle rythme et fait partie intégrante du climat, rencontre la terre et s'y mêle. Tel serait donc un des enjeux, sinon l'enjeu, de la gestion de l'eau dans la conception architecturale et l'aménagement du territoire aujourd'hui en Occident : retrouver le sens d'un devenir pour la ville en ralliant ses multiples échelles et dimensions par l'exercice de la corporéité. »

Rallier les multiples échelles, c'est de ne plus considérer la grande échelle du tout-réseau comme principale solution, mais de considérer l'échelle du quartier comme la plus appropriée pour gérer l'eau de pluie. L'échelle de la ville est celle des grandes infrastructures et de la planification générale. Celle du bâtiment est trop restrictive pour permettre un aménagement cohérent du vide. Celle du quartier est le juste intermédiaire permettant une gestion intégrée de l'eau pluviale.

³⁴ Mahaut, 2009, L'eau et la ville, le temps de la réconciliation

4.2 Sortir l'eau de pluie de nos réseaux

Actuellement, l'acte d'infiltrer l'eau sur site est souvent qualifié de mesure compensatoire, parce qu'elle compense les dégâts causés par l'imperméabilité des surfaces à la qualité du sol. On parle aussi de mesure alternative, car elle met en œuvre une gestion de l'eau de pluie qui sort d'une conception de gestion classique. C'est pourtant le mécanisme d'évacuation d'eau le plus naturel, contrairement aux méthodes conventionnelles qui sont artificielles.

Comme l'expliquent C. Carré et J.C. Deutsch³⁵, la prise en compte des fonctionnalités d'une faune et d'une flore urbaines à gérer l'eau de pluie de ruissellement permet de la restituer dans le sol ou dans les cours d'eau sous une forme et une qualité acceptable. Ainsi, l'eau de pluie réintègre le grand cycle de l'eau sur site et donne au triptyque eau-sol-arbre le rôle de décharger nos systèmes d'évacuation d'eau, de rafraîchir l'environnement urbain et de dépolluer l'air et d'améliorer la qualité des sols. Au sujet de qualité des sols, construire un sous-sol perturbe la nappe phréatique et bloque les échanges de manière assez considérable. Dans une démarche de revalorisation de la qualité du sol, construire des sous-sols doit donc être évité.

Proposer des surfaces imperméables n'est pas pour autant à proscrire de manière absolue. Afin de répondre à certains objectifs fonctionnels, la composition programmatique du sol doit permettre d'acheminer l'eau de pluie des surfaces imperméables jusqu'à la pleine terre.

Une gestion intégrée et durable des eaux pluviales à l'échelle du quartier permet de dégager des solutions décentralisées, ce qui minimise le recours à des ouvrages centralisés. Une telle gestion peut se synthétiser en l'évacuation de l'eau des surfaces imperméables (toitures, cours d'école) par écoulement gravitaire jusqu'aux surfaces perméables. L'eau de pluie s'infiltré dans le terreplein, mais en cas d'orage et d'engorgement d'eau du sol, un système en réseau de rétention et de déviation de l'eau doit permettre de temporiser la surverse d'orage et de l'infiltrer progressivement dans le sol. L'ensemble de ces parcours constitue les chemins d'eau. Le bâtiment, la parcelle, l'espace public et le milieu naturel sont autant de terrains d'expression et de composition qui permettent de construire les chemins d'eau. Entre la qualité du sol, les débits d'eau de pluie, la qualité écologique et leur articulation dans une composition spatiale claire et cohérente, il apparaît évident que la coordination de ces différents points ne relève pas de l'architecture seule. Une équipe pluridisciplinaire doit permettre de dégager en amont du projet les différents enjeux spécifiques à chaque domaine pour assurer une cohabitation harmonieuse entre l'espace, l'eau et la nature.

4.3 Quelques ouvrages alternatifs

Ce sous-chapitre vise à présenter les principaux ouvrages d'un système en réseau³⁶ de rétention et de déviation de l'eau issue de la pluie et des crues. Il n'est cependant pas exhaustif, mais cherche à dégager la relation entre infiltrer l'eau et temporiser l'écoulement de l'eau. Ces ouvrages ne se suffisent en général pas à eux seuls et doivent travailler ensemble pour former un réseau efficient.

L'ouvrage le plus couramment utilisé est la noue³⁷. C'est une dépression du sol servant à la fois à la rétention, l'écoulement et l'infiltration des eaux pluviales. De faible profondeur, elles sont temporairement submersibles et possèdent des rives en pente douce. Elles sont le plus souvent aménagées en espace vert, mais ce n'est pas une règle absolue. De forme allongée, à rives parallèles ou non, sa forme peut suivre la topographie du site et se rétrécir en certains points clé.

Un réseau exclusivement composé de noues peut remplacer le réseau d'évacuation des eaux pluviales. Avec l'avantage d'une conception simple, un coût peu élevé et de sa qualité esthétique, la noue est l'ouvrage le plus simple à déployer. Cependant, son emprise au sol peut entrer en conflit avec les réseaux de la mobilité motorisée. Une variante de la noue est le fossé. Cet ouvrage remplit les mêmes fonctions mais possède un profil différent. Comparé à une noue, il a des pentes plus raides (souvent supérieures à 45°), une largeur plus étroite et est de plus grande profondeur. Cet ouvrage permet d'économiser de l'espace au détriment d'un accès plus difficile, d'un entretien moins aisé et d'une qualité esthétique inférieure.

³⁶ Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement, 2015, Milieux humides et aménagement urbain: Dix expériences innovantes

³⁷ Guide Bâtiment Durable, <https://www.guidébâtimentsdurables.brussels/fr/accueil.html?IDC=1506>, Consulté le 16/01/2022



Fig. 3: ©Boccaro, B. 2018. Noue

Le bassin sec est comparable à une noue élargie d'un point de vue hydraulique. On entend par là qu'il ne contient pas d'eau en temps sec mais se remplira et stockera l'eau de pluie en cas de surverse d'orage pour ensuite progressivement l'infiltrer dans le sol. Contrairement à la noue, il n'est pas un élément longitudinal mais ponctuel. Il a donc plus une fonction de réservoir. Il est souvent aménagé en espace vert, mais pas exclusivement. Son revêtement peut être végétal ou minéral. Son périmètre peut se constituer de pentes douces ou de parois minérales. En fonction de sa typologie, le bassin sec se qualifie de bassin d'orage mais peut également être un simple espace vert en pente. Le bassin sec constitue la plupart du temps le lieu final d'écoulement d'eau d'une succession d'ouvrages.

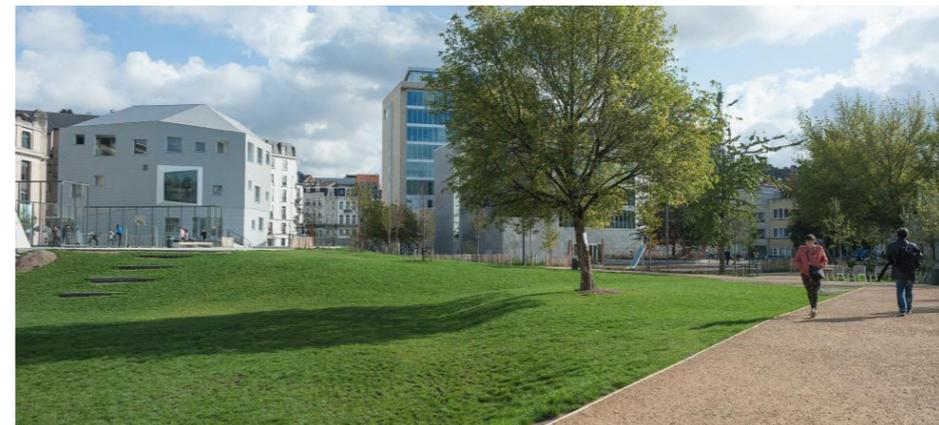


Fig. 4: ©Boccaro, B. 2018. Bassin sec

Le bassin en eau conserve tout le temps une quantité minimale d'eau. Son échelle est très variable, elle peut aller de la simple mare dans le jardin à un lac accueillant des activités. L'eau de pluie et de ruissellement sont déversées en période de pluie. Le niveau de son eau est donc variable.



Fig. 5: ©ATM. 2018.
Bassin en eau

Cette caractéristique est propice au développement de la biodiversité et implique qu'elle abritera toujours un écosystème aquatique dont l'équilibre dépend des variations de volume et de qualité des eaux pluviales. Ces bassins sont de ce fait sensibles à la qualité des eaux qui l'alimentent.

Un massif est une cavité dans le sol remplie d'une structure granulaire à forte porosité tel que des graviers, des galets ou des roches concassées. Ils sont la plupart du temps recouverts d'un revêtement selon leur usage superficiel. Le revêtement peut autant être minéral, par exemple des pavés, un enrobé bitumineux ou un béton poreux, que naturel avec une pelouse.

Cet ouvrage peut donc être disposé de façon discrète voir être invisible en adaptant son revêtement au contexte environnant. Le stockage de l'eau s'effectue dans les vides de la structure granulaire et ne déborde pas de la surface supérieure. L'eau est ensuite infiltrée dans le sol. Le massif peut se décliner en quatre variantes pour s'adapter aux situations courantes des environnements urbains.

Une tranchée est un massif linéaire et profond d'un à deux mètres. L'eau provient directement par ruissellement des surfaces imperméables adjacentes à la tranchée, comme par exemple le long d'une route.

Un parking poreux est un massif dont le revêtement de surface est poreux. L'eau de pluie s'y infiltre directement. N'étant pas autant perméable qu'un massif conventionnel, il ne gère que l'eau de pluie tombant sur sa propre surface mais n'est en général pas capable d'absorber l'eau de ruissellement périphérique.

Une chaussée réservoir est un massif linéaire disposé sous une voirie imperméable. Les eaux de ruissellement sont récoltées aux limites de la voirie et injectées dans le massif sous la route avec un système de dispersion d'eau.

Les toitures stockantes ont pour rôle de stocker temporairement un faible volume d'eau de pluie afin de réduire les débits de ruissellement au sol en période de surverse d'orage. Ces derniers peuvent être connectés à une citerne, qui est aussi un réservoir fermé destiné au stockage temporaire d'eau de pluie. Plusieurs types de citernes existent, dont la fonction est distincte selon l'usage fait de l'eau. Une citerne peut autant être maçonnée ou préfabriquée et se situer en toiture, dans le bâtiment ou sous le sol environnant. La citerne d'orage sert à temporiser les forts débits de ruissellement en cas de précipitations. La citerne de récupération permet d'utiliser l'eau de pluie pour d'autres usages tel que l'arrosage.



Fig. 6: ©Nobels, I. 2019.
Aménagement d'un parking poreux

4.4 Vers un maillage bleu complet

Une gestion intégrée et durable des eaux pluviales permet de gérer l'eau de pluie sur site. Mais cela ouvre également la possibilité de réintégrer la trame bleue³⁸ en donnant au quartier une proportion suffisante de sol de qualité pour accueillir les cours d'eau, leurs débords et des zones humides.

En plus de restaurer la qualité écologique du sol, des quartiers perméables peuvent ambitionner de participer à la restauration de la trame bleue dans sa grande échelle, de l'aval à l'amont. Les berges peuvent être aménagées par endroits, mais selon S. Rode³⁹, doivent en majeure partie être réservée à la biodiversité pour assurer le bon fonctionnement écologique du milieu. La végétation s'installe en fonction de la hauteur relative du sol, de l'eau et de la fréquence des submersions. Cela constitue le principe de nivellement, et c'est ce dernier qui régit la végétation et non pas un plan des plantations. L'épaisseur de la berge et sa flore impose de nouvelles règles de composition, tant en termes d'accessibilité que de rapport à l'eau dans l'élaboration de l'espace public. V. Mahut nous rajoute que⁴⁰ :

« L'idée n'est certainement pas de faire couler des rivières comme elles coulaient autrefois, mais de réinventer, profondément et de manière créative, le concept de rivière en zone urbaine. Ces nouvelles rivières urbaines ambitionnent de ré-imaginer le sol de la ville pour ré-installer un cycle naturel en réinterprétant les cycles d'origine. Loin d'une vision passéiste, les nouvelles rivières doivent traduire les nouveaux enjeux urbains tout en conciliant les différents usages de l'espace public. »

38 Lévêque, 2016, Quelles rivières pour demain? Réflexions sur l'écologie et la restauration des cours d'eau

39 Rode, 2017, Reconquérir les cours d'eau pour aménager la ville

40 Mahaut, 2009, L'eau et la ville, le temps de la réconciliation

4.5 Les défis d'un quartier résilient

Le terme de quartier résilient dépasse le cadre du risque d'inondation pour englober tous les types de catastrophe et d'enjeux. La vocation de la résilience réside en une qualité intrinsèque à la conception du quartier qui se manifeste au moment de l'incident pour limiter l'étendue des dégâts de l'évènement.

Selon C. Carré et J.C. Deutsch⁴¹, le terme de résilience à l'inondation renvoie à la construction en zone inondable et à la réduction de la vulnérabilité face au risque d'inondation. Le risque peut être intégré dans le développement du projet pour légitimer la reconquête de certains territoires inondables ou à risques.

La pluie et les crues sont des phénomènes naturels contre lesquels il n'est pas possible de se protéger totalement. Il est donc question de degré de protection. On compare les coûts de construction aux coûts des dégâts qui seraient provoqués en cas d'inondation qui dépasserait les capacités protectrices de ces ouvrages. C'est donc la résultante d'un compromis entre l'efficacité de protection et l'investissement économique. Dans ce cadre, la résilience vise à vivre avec les inondations plutôt que de chercher à s'en protéger à tout prix. Cette règle n'est pas nouvelle, comme nous le rappelle F. Bonnet⁴² :

« L'architecture vernaculaire est déjà résiliente. »

La prise en compte de l'inondabilité a toujours été une contrainte à intégrer dans la démarche du projet architectural. Cependant, le développement urbain du tout-réseau a conduit les bâtiments à reposer sur l'évacuation des eaux de pluie de façon extensive. Cela a permis, entre autres, de mettre en valeur les activités au rez-de-chaussée avec des façades vitrées, mais au prix d'une dépendance au système d'évacuation d'eau actuel. De ce fait, reconsidérer le traitement du sol et la gestion de l'eau

du quartier implique aussi de revoir le rapport entre le rez-de-chaussée et l'espace public.

La résilience interroge donc la question du bâtiment⁴³, tant du point de vue de son enveloppe que de son fonctionnement, comme son alimentation en eau potable, son assainissement, l'énergie et son accessibilité. Plusieurs façons d'aborder la question sont possibles. Une première attitude consiste à libérer le rez-de-chaussée pour mettre hors eau l'ensemble de la construction. Bien qu'étant une solution efficace, cette solution est rarement adoptée en ville face à la densification des milieux urbains et des enjeux économiques y-associés.

Une autre attitude consiste alors à limiter les risques et les dégâts potentiels au rez-de-chaussée en adaptant le programme et le traitement de la façade. Cela pose cependant des questions quant à la position des blocs techniques qui peuvent être installés en toiture ou mis hors eau par l'imperméabilisation de certaines pièces grâce à des dispositifs architecturaux tels que des portes métalliques et revêtements étanches. Il est également possible de jouer sur l'altitude du rez-de-chaussée par rapport au niveau de la rue. En travaillant avec des pentes douces, il est possible de réduire drastiquement le degré de risque. Ce type de stratégie est d'autant plus plausible que la place du transport motorisé individuel diminue en ville.

⁴¹ Carré et Deutsch, 2015, L'eau dans la ville: une amie qui nous fait la guerre

⁴² Bonnet, 2015, Forum des transitions urbaines, Vivre avec le fleuve, l'exemple de Nantes

⁴³ Barsley, 2020, Retrofitting for Flood Resilience

4.6 La culture urbaine du risque, un potentiel de récit

Aujourd'hui, la culture face au risque renvoie à l'idée d'une responsabilité attribuée à l'Etat. Dans le cadre d'un projet architectural, le fin mot quant à la bonne gestion des potentiels risques de crue et de surverse d'orage leur incombe. C. Carré nous dit⁴⁴ :

« Le citoyen ne considère plus le risque comme une fatalité et exige que le gouvernement le protège, en particulier contre les inondations qui sont le risque le plus fréquent en France. »

Dans une perspective de réduction de la vulnérabilité face aux risques d'inondation pluviale ou fluviale, la culture du risque⁴⁵ renvoie aux leçons à tirer du passé, à la connaissance des risques actuels et à venir afin d'anticiper et de prévenir. Celle-ci doit permettre d'acquérir des règles de conduite et des réflexes, mais aussi de débattre des pratiques et des enjeux quant au développement du territoire. Il s'agit d'avoir une connaissance collective de la façon dont les villes se sont organisées pour lutter contre l'inondation sans reposer exclusivement sur la gestion de l'eau de pluie de nos réseaux mais aussi à l'échelle du quartier, de l'habitat, de l'individu. La culture du risque vise donc à intégrer tous les citoyens, tant en termes de connaissance que de comportement.

Une des barrières à la propagation de cette culture réside dans le fait que les infrastructures du tout-réseau sont discrètes, voir invisibles car enterrées. On n'expérimente pas au quotidien l'eau et ses aléas, rendant plus difficile sa compréhension. C. Carré complète⁴⁶ :

« On est encore assez loin d'un urbanisme qui soit en mesure de fonctionner en reproduisant un cycle de l'eau le plus naturel possible, où les habitants sachent prendre en charge sur la durée les dispositifs de stockage et d'infiltration. »

Rendre visible cette thématique par l'affirmation d'une qualité de nature urbaine invite à considérer les cours d'eau, les zones humides, les mares des jardins, les noues et jardins d'orage et plus généralement les chemins d'eau comme des éléments paysagers qui améliorent le cadre de vie urbain et offrent un potentiel de narratif de projet et d'identité du site. La réflexion d'un projet qui rend lisible l'importance de la préoccupation hydrique et la déclinaison poétique de ses aléas dans l'élaboration de l'espace permet de rendre visible le cycle de l'eau en ville.

Cette lisibilité de la place de l'eau dans le métabolisme urbain présente un potentiel de narratif à vocation sensibilisatrice de l'importance de la ressource d'eau et des écosystèmes. Si l'architecture et l'urbanisme sont le reflet de notre société, redonner sa place à l'eau, au sol et à la nature dans nos projets représente un puissant vecteur de changement de mentalité.

44 Carré et Deutsch, 2015, L'eau dans la ville: une amie qui nous fait la guerre

45 Blesius, 2013, Discours sur la culture du risque, entre approches négative et positive. Vers une éducation aux risques ?

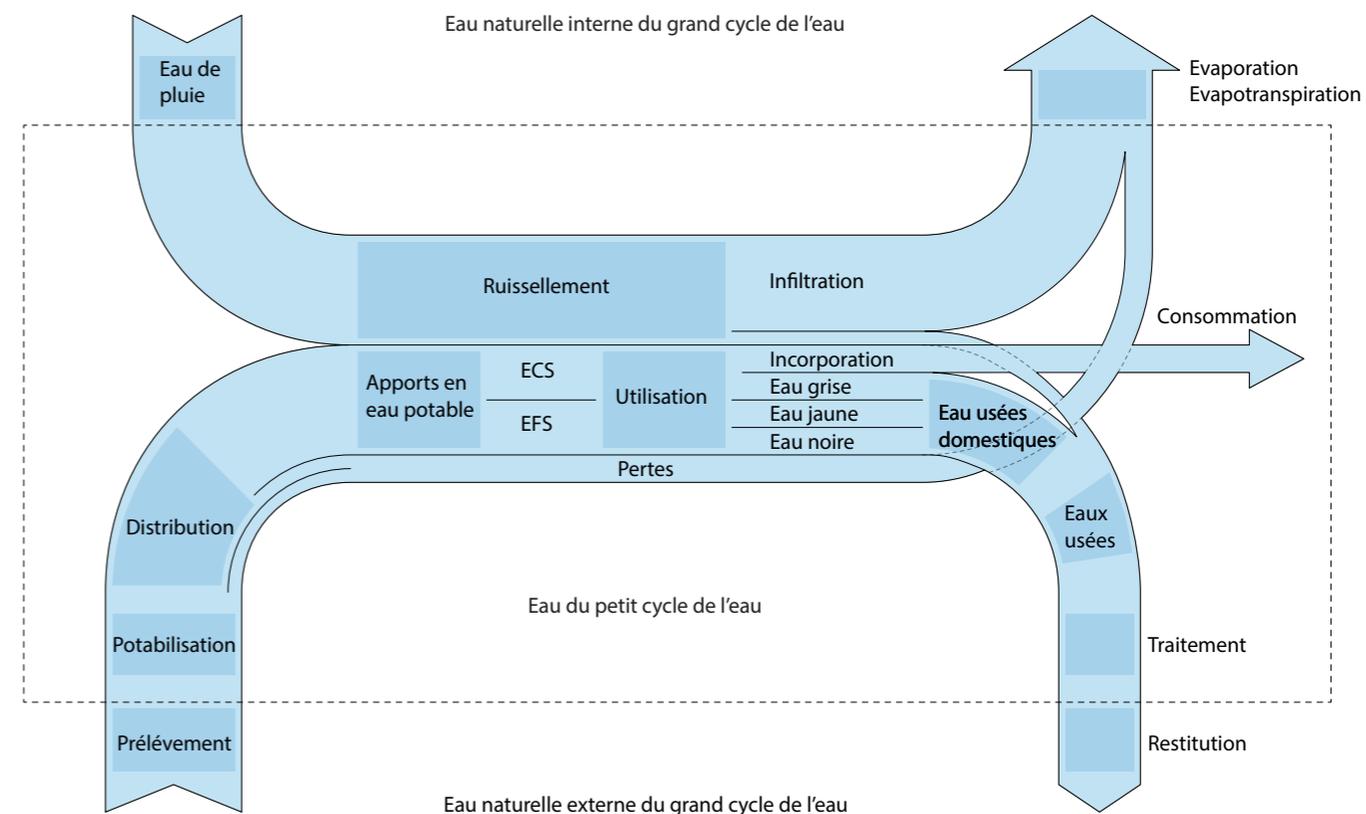
46 Carré et Deutsch, 2015, L'eau dans la ville: une amie qui nous fait la guerre

4.7 Synthèse

Requalifier le triptyque eau-sol-arbre comme acteur du métabolisme urbain permet de libérer nos réseaux d'évacuation d'eau de pluie en accordant aux processus naturels le rôle de gérer l'eau de pluie. Cette approche écosystémique réintègre le grand cycle de l'eau sur site. L'eau de pluie ne se salit pas par ruissellement sur des surfaces imperméables, mais est au contraire un vecteur de dépollution de l'air et d'amélioration de la qualité des sols.

Un système en réseau de rétention et de déviation de l'eau permet, par la combinaison de plusieurs types d'ouvrages, d'infiltrer l'eau sur site tout en rendant visible les fluctuations et les aléas de l'eau. Le déploiement d'un tel réseau permet de réintégrer la trame bleue et ses services écologiques grâce à la libération du sol. Une gestion intégrée des eaux de pluie, couplée à la restauration des cours d'eau et des milieux humides, questionne le rapport à la nature et à l'eau de nos quartiers. Cela nécessite de réinventer le sol de nos villes et de concilier les différents usages de l'espace public.

La conception du quartier doit être résiliente pour anticiper la recrudescence de précipitations extrêmes que le réchauffement climatique profile. Un quartier résilient qui n'enterre pas son eau et la valorise sur site offre un potentiel de narratif de projet qui s'inscrit dans la nécessité d'évolution des mentalités qu'impose le climat.



5. Les ressources d'eau domestique

5.1 Recycler et valoriser les eaux usées

La réutilisation de l'eau domestique s'inscrit dans la démarche de valorisation de la ressource d'eau, de la vision d'un métabolisme urbain cyclique et d'une économie circulaire. Ce chapitre se concentre plus spécifiquement sur la gestion des eaux grises, des eaux jaunes et des eaux noires.

Comme nous l'explique A. Larsen⁴⁷, un changement du système de gestion des eaux usées est nécessaire afin de résoudre les problèmes découlant de la croissance démographique mondiale, du développement urbain et du changement climatique. La séparation des eaux domestiques à la source est un concept prometteur pour une gestion efficace des eaux usées, mais un effort plus concerté est nécessaire de la part de la communauté internationale afin de développer des technologies compétitives et de surmonter la rigidité de la gestion actuelle du tout-réseau.

Il est nécessaire d'intensifier la recherche et le développement, non seulement dans le domaine de l'ingénierie, mais aussi en ce qui concerne les dimensions socio-économiques.

Chaque type d'eau domestique utilisée est composée de différentes ressources qui méritent d'être valorisées. Une distinction d'usage, de traitement et de recyclage de ces ressources ouvre la possibilité d'en extraire des nutriments (engrais et fertilisants), de produire de l'énergie et de réaliser de drastiques économies d'eau potable⁴⁸.

⁴⁷ Larsen, 2011, Redesigning Wastewater Infrastructure to Improve Resource Efficiency

⁴⁸ Doll et Congiu, 2022, Water Hub au NEST – valoriser les ressources grâce au traitement décentralisé des eaux usées

5.2 Exemple de système

Le WaterHub est un bâtiment construit par l'Eawag, institut fédéral suisse des sciences et technologies de l'eau, et fait de la recherche sur la séparation des eaux domestiques.

L. Keogh nous présente le système de gestion des eaux usées expérimenté en conditions réelles⁴⁹ ; les quatre types d'eau usée sont séparés à la source. Ces eaux domestiques usées sont les eaux grises légères, les eaux grises lourdes, les eaux jaunes et les eaux noires. Une distinction est faite entre l'eau grise légère, provenant des douches, des machines à laver et des lavabos, qui sont moins sales et l'eau grise lourde, provenant des éviers de cuisine et des lave-vaisselles, qui sont plus contaminées.

Ces deux types d'eau grise sont traités séparément, permettant ainsi de réutiliser l'eau grise légère pour la chasse d'eau, et potentiellement à l'avenir, pour les machines à laver et la douche. L'eau jaune est récoltée séparément de l'eau noire grâce à une géométrie de toilette spécifique qui permet, par l'effet de thèque, d'utiliser la tension superficielle pour séparer efficacement l'urine de l'eau de rinçage. L'urine est ensuite stockée dans un réservoir en sous-sol, pour ensuite être traitée puis transformée en engrais. L'eau noire peut quant à elle être déshydratée, traitée puis transformée en biopellets pour produire de l'énergie.

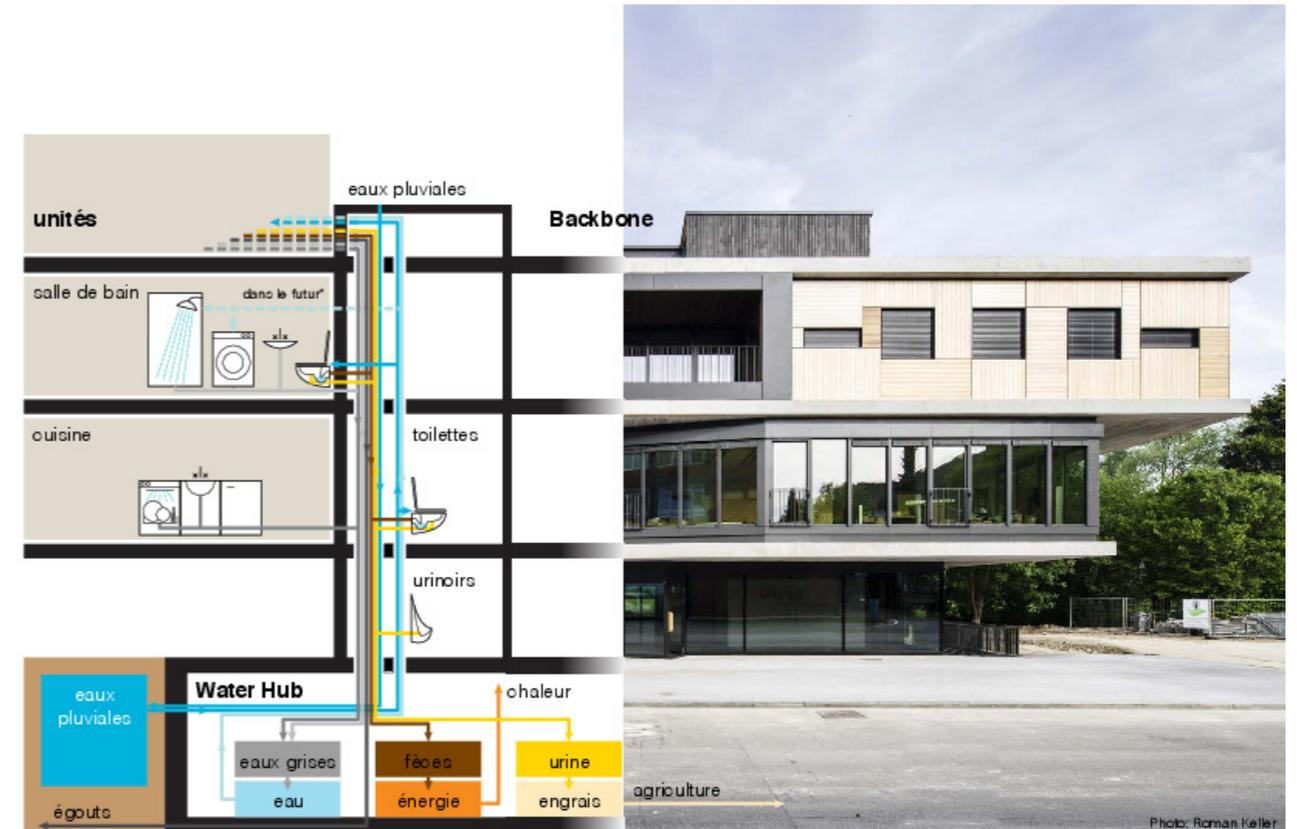


Fig. 7: ©Keller, R. et Eawag. 2018. Water Hub au NEST building

⁴⁹ Keogh, 2018, Flows of Science: Source Separation Technology at the Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology

5.3 Conditions de déploiement

Sara Bell nous contextualise⁵⁰ :

« La réutilisation de l'eau prend de nombreuses formes différentes, utilise de nombreuses technologies différentes et fonctionne à différentes échelles. Les différentes formes de réutilisation de l'eau ouvrent la voie à des systèmes d'infrastructure et à des technologies qui ne nécessitent pas les normes élevées de traitement requises pour l'eau potable, en particulier si la source d'eau pour ces utilisations est relativement propre, par rapport à la réutilisation d'eaux usées municipales hautement contaminées. »

La durabilité des différentes configurations de réutilisation de l'eau est jugée en termes de réduction de la demande de ressources en eau, d'impact environnemental local, d'acceptabilité sociale, de coût économique, de demande énergétique et de sécurité de la santé publique⁵¹. Le recyclage de l'eau peut être coûteux, risqué, énergivore et controversé en termes d'acceptation sociale. La réutilisation de l'eau peut réduire le prélèvement d'eau dans les bassins versants locaux, mais au prix d'une augmentation de la consommation d'énergie dans les villes ou les bâtiments. L'énergie et les matériaux incorporés dans les systèmes de réutilisation peuvent compromettre davantage la durabilité des villes et les efforts visant à réduire la consommation globale d'énergie.

De ce fait, la durabilité d'un système de gestion d'eau décentralisé dépend de l'échelle et de la technologie déployée. L'échelle de la ville, comme vu dans le chapitre 3, permet de déployer de grandes stations d'épuration, mais cela pose des problèmes quant au traitement des eaux usées de par leur brassage. A cette échelle, séparer les différentes eaux domestiques usées n'est pas vraisemblable car la démultiplication du réseau d'évacuation serait bien trop onéreuse. Contraint de traiter des eaux mélangées et polluées, le système du tout réseau en devient très énergivore. L'échelle du bâtiment peine à se justifier car le prix des installations, l'entretien et l'efficacité énergétique ne rendent pas le système viable économiquement.

Comme nous l'expliquent V. Elmer et H. Fraker⁵², l'échelle du quartier offre l'échelle intermédiaire qui peut rendre viable un système de gestion d'eau décentralisé. La mutualisation des bâtiments du quartier permet d'avoir un flux suffisamment important pour rentabiliser le système. L'échelle du quartier permet de produire l'énergie renouvelable nécessaire au fonctionnement de la station, sans pour autant créer un réseau d'évacuation des eaux domestiques démesurément grand. Bien que l'échelle du quartier soit propice au développement de systèmes alternatifs de traitement de l'eau, dans la majorité des cas, réseaux centralisés et systèmes alternatifs peuvent se combiner.

Ainsi, l'eau potable peut être économisée et les différentes ressources d'eau peuvent être valorisées sans remettre en question le modèle actuel de gestion de l'eau.

⁵⁰ Bell, 2018, Urban water sustainability.

⁵¹ Leflaive, 2009, Conditions de déploiement des systèmes d'eau urbains alternatifs

⁵² Elmer et Fraker, 2011, Water, Neighborhoods and Urban Design: Microuilities and the Fifth Infrastructure

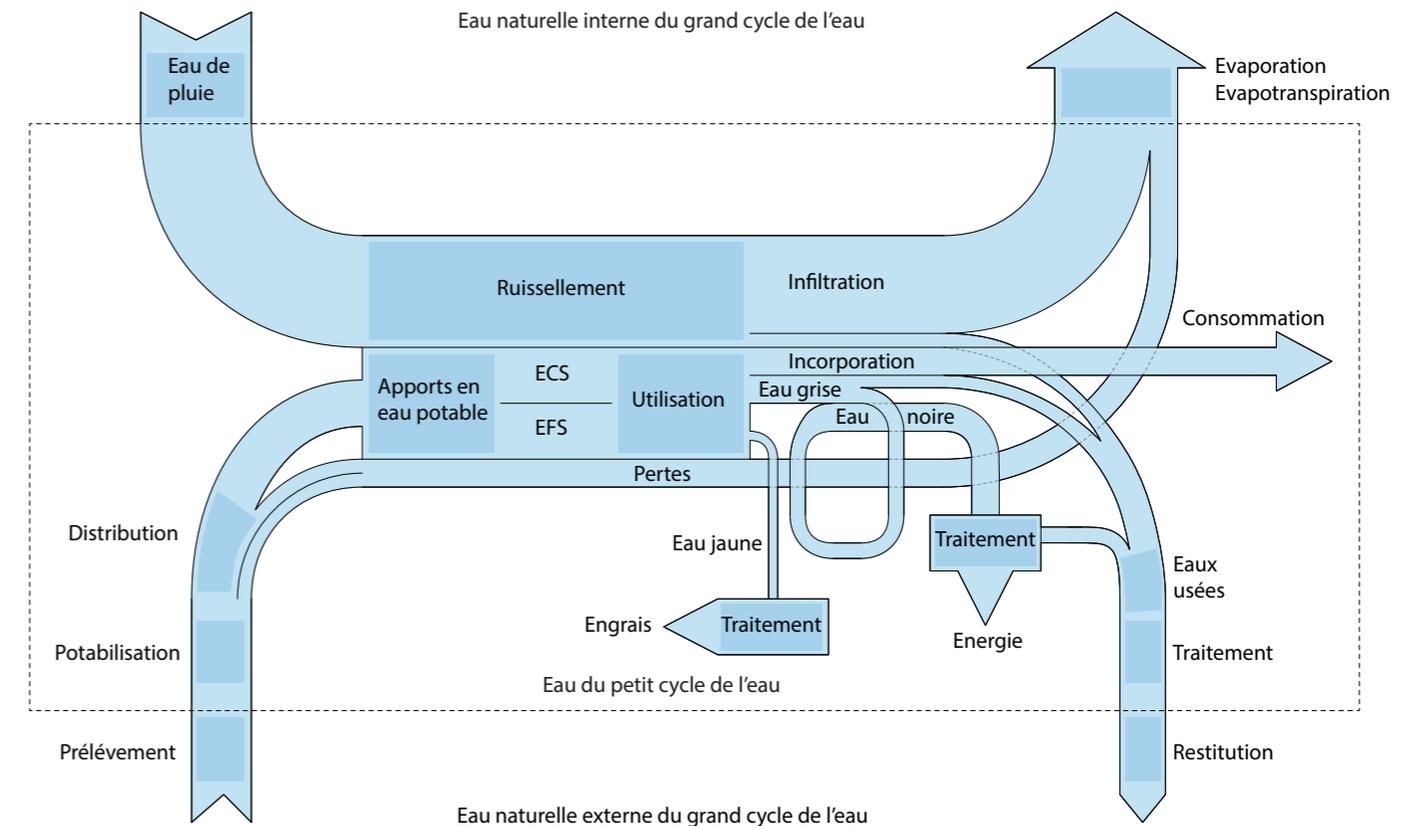
5.4 Synthèse

Sachant que le système de gestion d'eau du tout-réseau est dégénéré, un changement d'approche est nécessaire afin de résoudre les problèmes découlant de la croissance démographique, du développement urbain et du changement climatique.

Bien que la réutilisation des eaux domestiques usées doive encore faire ses preuves sur de nombreux plans, elle représente un fort potentiel d'alternative permettant de faire un usage plus rationnel de chaque type d'eau usée domestique. Ce type de gestion permet valoriser sur site les ressources que contiennent ces différentes eaux et permet de réaliser de grandes économies d'eau potable.

La juste échelle qui semble rendre possible une gestion alternative des eaux usées est celle du quartier. Cela pose donc la question de l'expression architecturale de ce type de système. Veut-on le rendre visible, au même titre que la gestion intégrée des eaux pluviales, ou doit-il être discret comme le reste de la technique du bâtiment ?

La réutilisation de l'eau domestique s'inscrit dans la vision d'un métabolisme urbain cyclique et d'une économie circulaire. Dans le cadre d'une approche écosystémique du tissu urbain, produire sur site des engrais et des fertilisants à partir des déchets organiques tend à réintégrer la place de l'homme, bien que de façon indirecte, dans le cycle de la nature et de l'eau.

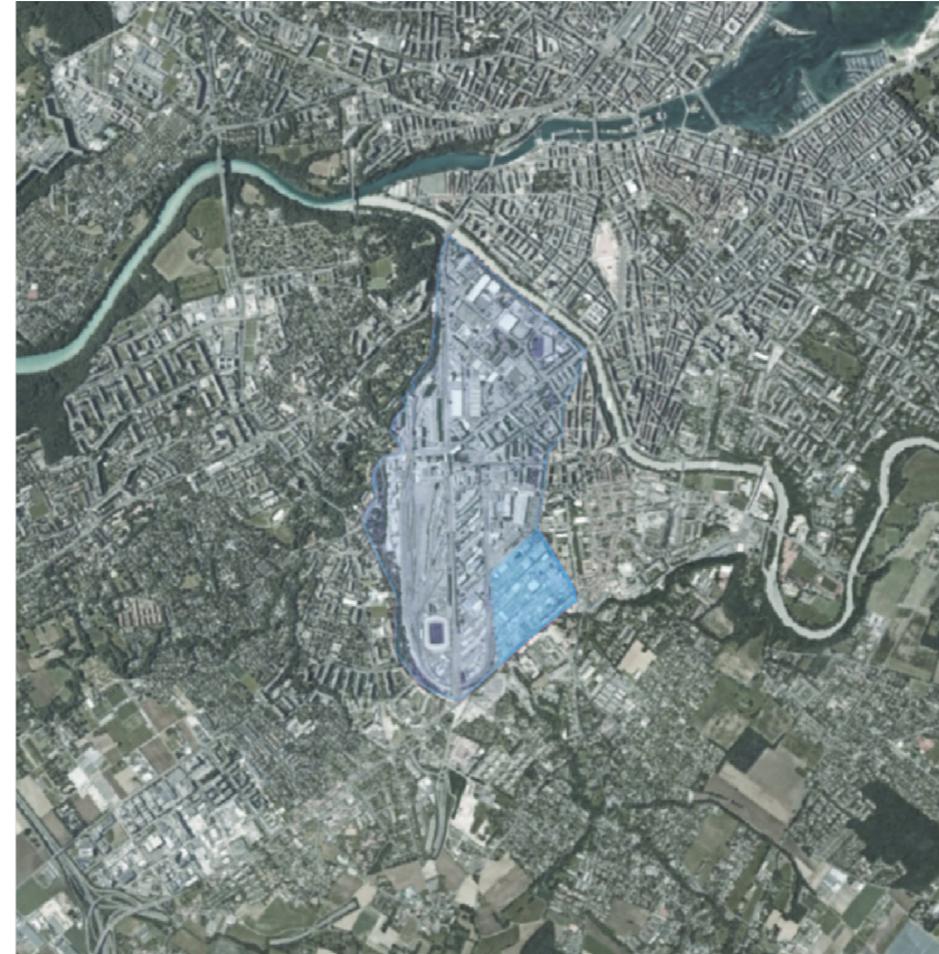


6. Hypothèses projectuelles

Le projet PAV (Praille Acacias Vernets) se situe sur les territoires des communes de Genève, Carrouge et Lancy. Proposant une grande opportunité de renouvellement urbain, il constitue aujourd'hui le territoire porteur de la transformation de l'agglomération genevoise. Il s'inscrit dans un cadre bénéficiant d'une excellente desserte, tant du point de vue des transports collectifs avec deux stations Léman Express et trois lignes de tram, que du point de vue du transport individuel motorisé avec la proximité d'une autoroute. L'objectif du projet est de construire des quartiers de forte densité avec des grandes formes urbaines. Il vise à favoriser une mixité fonctionnelle et sociale par une mutation progressive du tissu industriel actuellement en friche.

Le quartier de Grosselin prévoit d'accueillir des activités tertiaires, des entreprises et principalement du logement. Premièrement, le projet vise à perméabiliser le sol. La Drize, le cours d'eau qui traverse le quartier, est remise à ciel ouvert et les trames bleues et vertes y sont valorisées et intégrées dans le développement du projet.

Ce projet ambitionne d'être un modèle d'exemplarité du point de vue de l'environnement et s'inscrit parfaitement dans les thématiques étudiées dans cet énoncé.



7. Synthèse

L'action concernant une problématique telle que le dérèglement climatique nécessite une réponse qui satisfera deux temporalités distinctes. Immédiatement, il est impératif de réduire et optimiser nos émissions de gaz à effet de serre dans une optique d'atténuation en repensant nos réseaux d'eau. D'ici quelques décennies, nos villes devront être adaptées à faire face à un nouveau climat et être résilientes. Cependant, il serait faux de considérer ces deux temporalités comme distinctes. Elles sont liées et l'évolution de la gestion de l'eau urbaine doit permettre d'apporter une réponse intégrant les enjeux actuels comme futurs.

Métaboliquement, le modèle d'infrastructure de nos réseaux d'eau est linéaire. Si l'on regarde les entrants et les sortants, il apparaît clairement que nos réseaux d'eau suivent la logique du tout-réseau. On déploie une grande quantité d'énergie pour traiter et amener l'eau potable, pour ensuite la consommer sans distinction d'usage et s'en débarrasser dans nos réseaux d'évacuation où, du fait de leur brassage, ces différents types d'eau peinent à être valorisés et nécessitent également une forte dépense énergétique pour leur traitement. Si continuer à développer les réseaux d'eau des villes dans leur forme actuelle pourrait permettre de s'adapter à l'augmentation des précipitations extrêmes, une telle approche serait onéreuse car elle nécessiterait de redimensionner l'ensemble du système d'évacuation des eaux de pluie et augmenterait la dépense énergétique pour leur traitement, en plus d'aggraver les problèmes de pollution relatifs au ruissellement d'eau de pluie. Une telle réponse ne permet pas de réduire efficacement nos dépenses énergétiques et, de ce fait, ne constitue pas une piste d'action satisfaisante face au double enjeu d'atténuation et d'adaptation.

Une approche qui tend vers un métabolisme circulaire est une matrice complexe entre les activités humaines et l'environnement. Planifier une ville durable nécessite une meilleure intégration de la relation entre les citoyens, les ressources d'eaux urbaines, la nature, la mobilité, la production d'énergie et son impact sur l'environnement.

Comme premier levier d'action, requalifier le triptyque eau-sol-arbre comme acteur du métabolisme urbain permet de libérer nos réseaux d'évacuation d'eau de pluie en accordant aux processus naturels le rôle de gérer l'eau de pluie. Cette approche écosystémique réintègre le grand cycle de l'eau sur site. L'eau de pluie ne se salit pas par ruissellement sur des surfaces imperméables, mais est au contraire un vecteur de dépollution de l'air et d'amélioration de la qualité des sols. Un tel objectif s'achève par un système en réseau de rétention et de déviation de l'eau qui permet, par la combinaison de plusieurs types d'ouvrages, d'infiltrer l'eau sur site tout en rendant visible les fluctuations et les aléas de l'eau. Le déploiement d'un tel réseau permet de réintégrer la trame bleue et ses services écologiques grâce à la libération du sol. Une gestion intégrée des eaux de pluie, couplée à la restauration des cours d'eau et des milieux humides, questionne le rapport à la nature et à l'eau de nos quartiers. Cela nécessite de réinventer le sol de nos villes et de concilier les différents usages de l'espace public.

Comme deuxième levier d'action, les systèmes de réutilisation d'eau domestique usée permettent de faire un usage plus rationnel de chaque type d'eau usée domestique. Ce type de gestion permet de valoriser sur site les ressources que contiennent ces différentes eaux et permet de réaliser de grandes économies d'eau potable en la faisant recirculer dans le système pour des usages différenciés.

Chacun de ces deux leviers d'action permet de faire un meilleur usage de l'eau à l'échelle du quartier et offre ensemble un potentiel de narratif de projet qui s'inscrit dans la nécessité d'évolution des mentalités qu'impose le climat.

8. Bibliographie

Livres :

Barsley, Edward. *Retrofitting for Flood Resilience: A Guide to Building & Community Design*. London: RIBA Publishing, 2020.

Bell, Sarah. *Urban water sustainability: constructing infrastructure for cities and nature*. Earthscan studies in water resource management. London ; New York: Routledge, Taylor & Francis Group, 2018.

Blanc, Pascal, Bruno Schädler, et Académie suisse des sciences naturelles. *L'eau en Suisse - un aperçu*, 2013.

Carré, Catherine, et Jean-Claude Deutsch. *L'eau dans la ville: une amie qui nous fait la guerre*. Bibliothèque des territoires. La Tour d'Aigues: Éditions de l'Aube, 2015.

France, et Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (France), éd. *Milieus humides et aménagement urbain: dix expériences innovantes*. Collection Connaissances. Lyon: CEREMA, Direction technique Territoires et ville, 2015.

Goonetilleke, Ashantha, éd. *Sustainable urban water environment: climate, pollution and adaptation*. Cheltenham, UK: Edward Elgar, 2014.

Kohli, Raymond, Jacques Babel, et Jonas Deplazes. *Les scénarios de l'évolution de la population de la Suisse et des cantons 2020-2050*. Statistique de la Suisse. Neuchâtel: Office fédéral de la statistique (OFS), 2020.

Guerassimoff, Gilles, et Nadia Maïzi. *Eau et énergie: destins croisés*. Collection Développement durable. Paris: Mines-ParisTech, 2011.

Keogh, Luke. *Flows of Science: Source Separation Technology at the Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag)*. Dübendorf, Suisse: Eawag, 2018.

Lévêque, C. *Quelles rivières pour demain? réflexions sur l'écologie et la restauration des cours d'eau*. Versailles, France: Éditions Quæ, 2016.

Marsalek, J., éd. *Urban water cycle processes and interactions*. Urban water series - UNESCO ihp, v. 2. Paris, France : Leiden, The Netherlands: UNESCO Pub. ; Taylor & Francis, 2008.

Perrin, Guillaume. *Rafraîchissement urbain et confort d'été: lutter contre les canicules*. Malakoff: Dunod, 2020.

Renaud, Henri. *Branchements: eau potable & assainissement*. Maisons individuelles. Paris: Eyrolles, 2014.

Rogers, Richard, et Philip Gumuchdjan. *Des villes durables pour une petite planète*. Londres, 1997.

Schrivier-Mazzuoli, Louise. *La gestion durable de l'eau: ressources, qualité, organisation*. Collection Technique et ingénierie. Paris: Dunod, 2012.

Thèses :

Mahaut, Valérie. « L'eau et la ville, le temps de la réconciliation : jardins d'orage et nouvelles rivières urbaines ». UCL - Université Catholique de Louvain, 2009. <https://dial.uclouvain.be/pr/boreal/fr/object/boreal%3A27832>.

Articles :

Barles, Sabine, et Emma Thébaud. « Des réseaux aux écosystèmes : mutation contemporaine des infrastructures urbaines de l'eau en France ». *Tracés*. Revue de Sciences humaines, no 35 (4 décembre 2018): 117-36. <https://doi.org/10.4000/traces.8299>.

Blesius, Jean-Christophe. « Discours sur la culture du risque, entre approches négative et positive. Vers une éducation aux risques ? » *Géographie et cultures*, no 88 (1 décembre 2013): 249-65. <https://doi.org/10.4000/gc.3141>.

Larsen, Tove A. « Redesigning Wastewater Infrastructure to Improve Resource Efficiency ». *Water Science and Technology*, 2011, 2535-41. <https://doi.org/10.2166/wst.2011.502>.

Rode, Sylvain. « Reconquérir les cours d'eau pour aménager la ville ». *Cybergeo: European Journal of Geography*, 30 janvier 2017. <https://doi.org/10.4000/cybergeo.27933>.

Revues :

Calianno, Martin, Emmanuel Reynard, Marianne Milano, et Arnaud Buchs. « Quantifier les usages de l'eau, une clarification terminologique et conceptuelle pour lever les confusions ». *Vertigo : la revue électronique en sciences de l'environnement* 17, no 1 (2017). <https://www.erudit.org/fr/revues/vertigo/2017-v17-n1-vertigo04405/1057459ar/>.

Leflaive, Xavier. « Conditions de déploiement des systèmes d'eau urbains alternatifs ». *Flux* 7677, no 2 (30 octobre 2009): 62-70.

Mailhot, Alain, et Sophie Duchesne. « Impacts et enjeux liés aux changements climatiques en matière de gestion des eaux en milieu urbain ». *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, no Hors-série 2 (1 septembre 2005). <https://doi.org/10.4000/vertigo.1931>.

Documentation en ligne :

Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, et al. « Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* ». IPCC, octobre 2021. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.

DES, DGE, et DGE-ARC. « Stratégie du Conseil d'État vaudois pour la protection du climat - Plan climat vaudois – 1ère génération », juin 2020.

Office fédéral de l'environnement OFEV. *Quand la ville surchauffe, Bases pour un développement urbain adapté aux changements climatiques*. Berne, 2018.

OFS. « Evolution de la population de 2020 à 2050: croissance, vieillissement et concentration autour des grandes villes ». avril 2020.

Elmer, V., et H. Fraker. « Water, Neighborhoods and Urban Design: Microutilities and the Fifth Infrastructure ». 2011.

Girardet, Herbert. « CITIES, PEOPLE, PLANET », avril 2000. <http://cepd.cap.utah.edu/wp-content/uploads/sites/10/2018/08/Cities-people-planet-Girardet.pdf>.

Ragettli, Martina, et Martin Rössli. « Effets de la chaleur sur la santé en Suisse et importance des mesures de prévention ». Bâle, Aout 2020. <https://ghhin.org/wp-content/uploads/Rapport-Effets-de-la-chaleur-sur-la-sante%CC%81-en-Suisse-et-importance-des-mesures-de-pre%CC%81vention-Ragettli-X-Ro%CC%88o%CC%88sli-2020.pdf>.

United Nations. « Nationally Determined Contributions under the Paris Agreement ». Synthèse. Glasgow, novembre 2021. <https://unfccc.int/fr/processus-et-reunions/l-accord-de-paris/l-accord-de-paris>.

Site web :

Union of concerned scientists. « Satellite Database | Union of Concerned Scientists », septembre 2021. <https://www.ucsusa.org/resources/satellite-database>.

Doll, Carina, et Giuseppe Congiu. « Water Hub au NEST – valoriser les ressources grâce au traitement décentralisé des eaux usées ». Eawag Aquatic research, 2022. <https://www.eawag.ch/fr/departement/eng/projets/water-hub/>.

« Guide Bâtiment Durable ». Consulté le 16 janvier 2022. <http://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/accueil.html?IDC=1506>.

Conférences :

Bonnet, Frédéric. « Forum des transitions urbaines, Vivre avec le fleuve, l'exemple de Nantes ». Neuchâtel, septembre 2021.

Rebetez, Martine. « Forum InnoClimat ». Présenté à Pour la transition, mais comment, dans quels délais ?, Montreux, novembre 2021.

Schaefli, Bettina, et Nadav Peleg. Water Resources in Switzerland: What Is at Stake?, 2021. <https://www.youtube.com/watch?v=0u9C8vdA1JA>.

Steinberger, Julia. « Forum Grosselin - Face au changement climatique, Quels quartiers pour demain ? » Présenté à Penser un futur quartier à l'aune du changement climatique, Genève, octobre 2021.

