



HAL
open science

Enjeux de désimperméabilisation des sols urbains et interdisciplinarité hydrologie paysage dans le projet d'aménagement

Anaëlle Huet

► **To cite this version:**

Anaëlle Huet. Enjeux de désimperméabilisation des sols urbains et interdisciplinarité hydrologie paysage dans le projet d'aménagement. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-02384909

HAL Id: dumas-02384909

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02384909>

Submitted on 28 Nov 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

Année universitaire : 2018 - 2019

Spécialité :

Paysage

Spécialisation (et option éventuelle) :

Projet de paysage, Site et Territoire

Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Enjeux de désimperméabilisation des sols urbains et interdisciplinarité hydrologie paysage dans le projet d'aménagement

Par : Anaëlle HUET

Soutenu à Angers le 26/09/2019

Devant le jury composé de :

Président : Patrice CANNAVO

Autres membres du jury (Nom, Qualité)

Maître de stage : Victor CHARREAU

Enseignant référent : Nathalie CARCAUD

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation
«Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France»
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Table des matières

Liste des figures	2
Glossaire	3
Introduction	4
1. L'eau dans la ville: d'un passé tumultueux à une gestion hydraulique et paysagère problématique	7
1.1 Historique de l'eau dans la ville	7
1.1.1 Histoire de la gestion de l'eau en ville	8
1.1.2 Évolutions législatives influentes pour les domaines de l'eau et du paysage	9
1.2 Etat des lieux de la gestion de l'eau	10
1.2.1 Urbanisation grandissante et conséquences du changement climatique	10
1.2.2 Des pollutions urbaines concentrées	12
1.2.3 Une consommation d'eau propre excessive pour un réseau complexe	13
1.3 Etat des lieux des pratiques d'aménagement paysager urbain et leur rapport à l'eau	14
1.3.1 Des approches dépassées	14
1.3.2 Les conséquences du changement climatique : un défi pour les projets de paysage	14
1.3.3 Les rapports rompus des habitants à l'eau	15
2. La gestion des eaux à ciel ouvert et la désimperméabilisation des sols comme solutions aux défis hydrauliques et paysagers	17
2.1 La désimperméabilisation et la création d'espaces végétalisés comme nouveau système de gestion de l'eau en ville	17
2.1.2 Prévention des inondations	17
2.1.2 Diminution des pollutions	18
2.1.3. Diminution de la consommation	19
2.2 La gestion de l'eau à ciel ouvert créatrice d'aménagements paysagers pertinents	20
2.2.1 Changement d'approche de l'aménagement urbain	20
2.2.2 Adaptation au changement climatique : opportunité de lutte contre les sécheresses	21
2.2.3 Un lien recréé entre eau et habitants	22
2.3 Nouvelles approches d'aménagements urbaines : quelles dynamiques entre les acteurs ?	22
2.3.1 Politiques de l'eau et filières de gestion des espaces	22
2.3.2 La gestion de l'eau en second plan du projet	23
2.3.3 Approche techniciste	23
3. L'articulation de l'hydrologie et du paysage	25
3.1 Définition des disciplines	25
3.1.1 Pluridisciplinarité du paysage	25
3.1.2 Hydraulique et hydrologie	26
3.2 Méthode de travail et bénéfices pour le projet	26
3.2.1 L'eau au cœur du projet pour rassembler les disciplines	26
3.2.2 Coordonner les disciplines	27
3.2.3 Coordonner les acteurs	28
3.3 Cas d'étude au sein de l'agence ATM	29
3.3.1 Présentation du projet	29
3.3.2 Démarche de travail	30
Conclusion	32
Bibliographie	34
Sitographie	35

Liste des figures

- Figure 1 : Proposition d'aménagement de gestion de l'eau à ciel ouvert - Jardin de l'Ars (OLM, 2016) - p5
- Figure 2 : Frise historique de la perception et de la gestion de l'eau en ville (Dournel & Sajaloli, 2012) - p7
- Figure 3 : Fonctionnement des réseaux unitaire et séparatif (WikiTP, 2019) - p8
- Figure 4 : Degree of soil sealing accross Europe (European commission, 2012) - p10
- Figure 5 : Scénarios d'évolution des sécheresses en France (Météo France, 2019) - p11
- Figure 6 : Sources diffuses des polluants minéraux et organiques en milieu urbain (Andrieu *et al.*, 2017) - p12
- Figure 7 : Inondations dans le val de Marne (Christophe Archambault, 2018) - p13
- Figure 8 : Forêt souffrant de la sécheresse (François Faucon, 2019) - p15
- Figure 9 : Rivière urbaine enterrée : La Bièvre (Delcampe, 2019) - p16
- Figure 10 : Rivière urbaine enterrée : La Bièvre (Wikipedia, 2019) - p16
- Figure 11 : Bassin de retenue (Catalogue sinthylène, 2017) - p18
- Figure 12 : Chaussée-réservoir (Maëlle Ancelle, 2015) - p18
- Figure 13 : Schéma fonctionnel du filtre planté (Sandrine Cabrit-Leclerc, 2010) - p19
- Figure 14 : Placette inondable [1] - p20
- Figure 15 : Place inondable [4] - p21
- Figure 16 : Processus de production du projet de paysage (Leger-Smith, 2014) - p25
- Figure 17. Caniveau à grille à supprimer et remplacer par une gestion à ciel ouvert (ATM, 2018) - p29
- Figure 18. Plan de l'aménagement du parvis du stade Roger Fréville à Pierrefitte-sur-Seine (ATM, 2019) - p31

Glossaire

Changement climatique : Phénomène d'augmentation des températures moyennes océaniques et atmosphériques, induit par la quantité de chaleur piégée à la surface terrestre, du fait des émissions de gaz à effet de serre.

Conurbation : Ensemble urbain constitué de plusieurs noyaux urbains dont les banlieues finissent par se rejoindre.

CLE ou Commission Locale de l'Eau : Organe de pilotage des Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)

Développement durable : Idée que les sociétés humaines doivent vivre et répondre à leurs besoins sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. Façon d'organiser la société de manière à lui permettre d'exister sur le long terme.

EPCI ou Etablissement Public de Coopération Intercommunale : Structure administrative regroupant plusieurs communes afin d'exercer leurs compétences en commun

Hydrologie : Étude des eaux, de leurs propriétés.

Hydraulique : Étude des propriétés mécaniques des liquides et des fluides.

Planification territoriale : Traduction d'une vision politique dans un projet de territoire, à plus ou moins long terme.

Îlot de chaleur urbain (ICU) : Élévations localisées des températures enregistrées en milieu urbain par rapport aux zones rurales ou forestières voisines ou par rapport aux températures moyennes régionales.

Réseau hydrographique : Ensemble des éléments naturels (rivières) ou artificiels (réseau), drainant un bassin versant.

SCoT ou Schéma de Cohérence Territoriale : Document d'urbanisme déterminant à l'échelle de plusieurs communes ou groupements de communes un projet de territoire.

Introduction

Le présent mémoire traite de la collaboration étroite entre paysagistes concepteurs et ingénieurs hydrologues lors de l'étude, la conception et le suivi de projets d'aménagement urbain. Les sujets de l'évolution des pratiques d'aménagement liée aux évolutions environnementales et sociétales ont fait l'objet de différentes recherches et analyses, parmi lesquelles certaines serviront les propos développés dans ce mémoire. Le constat global sert l'idée que les aménagements urbains tendent à retrouver un sens écologique et un cadre de vie 'vert', au travers de projets de revégétalisation et de désimperméabilisation des sols de plus en plus nombreux. Pour cela, la combinaison d'expertises de différentes disciplines est préférable, voire indispensable. Écologues, urbanistes, architectes, hydrologues et paysagistes participent à la création de l'espace urbain. Dans un souci d'amélioration technique et qualitative des projets d'aménagement, nous nous intéresserons aux projets de désimperméabilisation et de gestion de l'eau en ville, et plus particulièrement à l'apport d'une collaboration étroite entre paysagistes et ingénieurs hydrologues.

L'eau, la ville et leurs relations présentent d'innombrables aspects d'études. Pour commencer, l'eau forme les paysages et les villes. L'eau sculpte le matériau dur du sol et crée les paysages géographiques. La disponibilité de l'eau dicte la végétation qui s'y installe, et sa colonisation par les humains. Au départ, c'est bien l'eau, ses volumes et ses écoulements qui façonnent le paysage et conditionnent l'implantation des villes. L'eau est à la fois ressource, squelette et élément visuel et sonore du paysage. Un certain basculement s'opère lorsque l'homme s'affranchit de cette contrainte : il façonne, enfouit, canalise, détourne, prélève et rejette l'eau à sa guise. La prise en compte de l'eau, à la fois ressource et contrainte, dans l'aménagement oscille entre intransmissible (natura naturata) et élément incontrôlable (natura naturans). Cette différence de vision entre nature toute puissante et contrôle de la nature par l'homme est due à la dualité de la nature de l'eau, ressource indispensable et créatrice de vie d'une part, et source de processus naturels violents et imprévisibles de l'autre. L'eau a toujours été un élément central de l'aménagement urbain, cependant la vision des sociétés qui vont considérer l'eau alternativement comme ressource ou contrainte influence la formation des villes d'aujourd'hui. Le présent mémoire part du postulat qu'à toutes les échelles, l'eau est avant tout une ressource, avec sa part d'aléas imprévisibles. Cette approche est en accord et soutient une tendance actuelle dans l'aménagement des villes, visant un retour au naturel, une gestion plus douce et une reconnexion des habitants avec leurs cours d'eau. Cette vision est également complétée par une approche opérationnelle défendant l'interdisciplinarité, notamment entre les disciplines de l'hydrologie et du paysage. En effet, la part projet du paysage, et notamment le dessin et le dimensionnement des espaces urbains, permet de matérialiser les proportions entre l'homme et son environnement. Dans une approche liée à l'eau, paysagistes et hydrologues associent leurs compétences d'études, de dimensionnement et de technique pour créer des espaces de gestion de l'eau pertinents. Un dernier postulat de départ de ce mémoire est la nature indissociable des dimensions théoriques et pratiques (études et opérationnalité) du paysage et l'importance de l'interdisciplinarité dans la formation des villes en réflexion autour de l'eau.

La thématique de l'eau et la pluridisciplinarité (hydrologie, écologie, paysage) sont à la base de la création de l'agence Thierry Maytraud (ATM) promouvant la conception d'espaces urbains réfléchis pour et par l'eau dans la ville, tels que le projet du jardin de l'Ars (cf. figure 1) dont la partie gestion du projet a été confiée à l'agence. En réponse à des problématiques de la ressource en eau et de problématiques d'acteurs et de stratégies, l'interdisciplinarité posant la gestion de l'eau au centre intervient comme solution. L'agence propose la coordination des expertises et notamment l'alliance de l'eau, du végétal et du sol dans la conception du projet. "On développe des savoir-faire qui associent ces trois dimensions. Cela ne va pas sans difficulté puisqu'il s'agit de métiers à part entière, encore peu habitués à travailler ensemble. Mais nos interlocuteurs prennent conscience que, face à la nécessité d'adapter les villes au réchauffement climatique, l'eau de pluie est une ressource incontournable" (Thierry Maytraud, hydrologue et fondateur d'ATM). Lors de la conception, plusieurs disciplines s'allient dans l'objectif de produire des espaces pertinents : paysage, architecture, écologie, hydrologie et hydraulique.



Figure 1. Proposition d'aménagement de gestion de l'eau à ciel ouvert - Jardin de l'Ars (OLM, 2016).

On arrive aujourd'hui au constat d'un certain nombre de dysfonctionnements dans la gestion de la ressource en eau en France et ailleurs. Ces dysfonctionnements sont d'autant plus importants en milieu urbain et ont des conséquences d'une part sur les gestionnaires de l'eau qui doivent trouver des solutions, mais aussi sur les aménageurs qui doivent prendre en compte des préconisations et des réglementations, notamment les paysagistes dans leurs projets d'aménagement. De ce constat découle la problématique suivante :

Comment la désimperméabilisation des sols urbains permet de répondre aux grands enjeux paysagers et de gestion de l'eau actuels et en quoi une approche pluridisciplinaire mêlant paysage et hydrologie est-t-elle bénéfique pour les projets de désimperméabilisation des sols en milieu urbain ?

De cette problématique découlent des questions sous-jacentes : Comment l'eau peut (re)devenir le support du paysage ? Comment le paysage peut permettre de gérer l'eau ? Comment la co-conception des espaces par les hydrologues et les paysagistes permet la réalisation fonctionnelle de techniques alternatives de gestion de l'eau?

Le présent mémoire cherche à montrer l'apport bénéfique d'une relation entre métiers de gestion de l'eau et du paysage pour l'espace urbain à la fois dans sa conception, dans son utilisation, dans sa durée de vie et dans sa pertinence. L'aménagement paysager est proposé comme solution de gestion de l'eau et l'eau comme ressource pour l'espace urbain. Nous montrerons qu'une désimperméabilisation des sols, mêlée à une revégétalisation et à un stockage des eaux pluviales, est une solution sur plusieurs plans à ces dysfonctionnements. Dans un deuxième temps, nous étudierons les bénéfices obtenus par la coordination entre les professionnels de l'eau et ceux du paysage.

1. L'eau dans la ville: d'un passé tumultueux à une gestion hydraulique et paysagère problématique

1.1 Historique de l'eau dans la ville

L'eau a toujours été fondamentale à la création des paysages et à ses liens avec les sociétés humaines. Historiquement, l'écoulement de l'eau est un des facteurs créateurs de paysage les plus importants : c'est une composante visuelle et spatiale majeure des paysages. Elle est nécessaire à la survie humaine et au développement des activités anthropiques. De ce fait, les conditions hydrologiques conditionnent les formes urbaines. En effet, le réseau hydrographique étant à la fois un élément de relief et une ressource, les villes se retrouvent aux abords des fleuves et leurs voiries se plient au relief sculpté par l'eau. Les centres historiques des villes sont de fait les plus exposés aux risques d'inondation et la densité de population importante entraîne une concentration des problématiques de gestion. Ainsi, la protection contre les crues a toujours été un enjeu essentiel dans les villes, avec notamment comme moyens de lutte les endiguements et l'exhaussement de la ville. De la même manière, l'évacuation des eaux usées est depuis toujours une difficulté à surmonter. Elle est réalisée à toutes les époques via des systèmes de drains et de caniveaux. Ces systèmes de gestion de l'eau étaient historiquement basés sur une compréhension profonde de la géographie, de la topographie, de l'hydrologie, du climat et de l'écologie d'un site. Cependant, cette gestion de l'eau en ville a suivi une évolution à travers le temps, aussi bien dans son aspect politique et décisionnaire, que jusque dans la réalisation des ouvrages. La frise historique présentée ci-dessous (figure 2) présente les différents liens qu'entretiennent les villes avec leurs eaux au fil des siècles, tout en les replaçant dans un contexte historique globale, et montre l'évolution vers une relation à la fois de contrôle total des eaux et d'enfouissement et d'oubli de celles-ci.

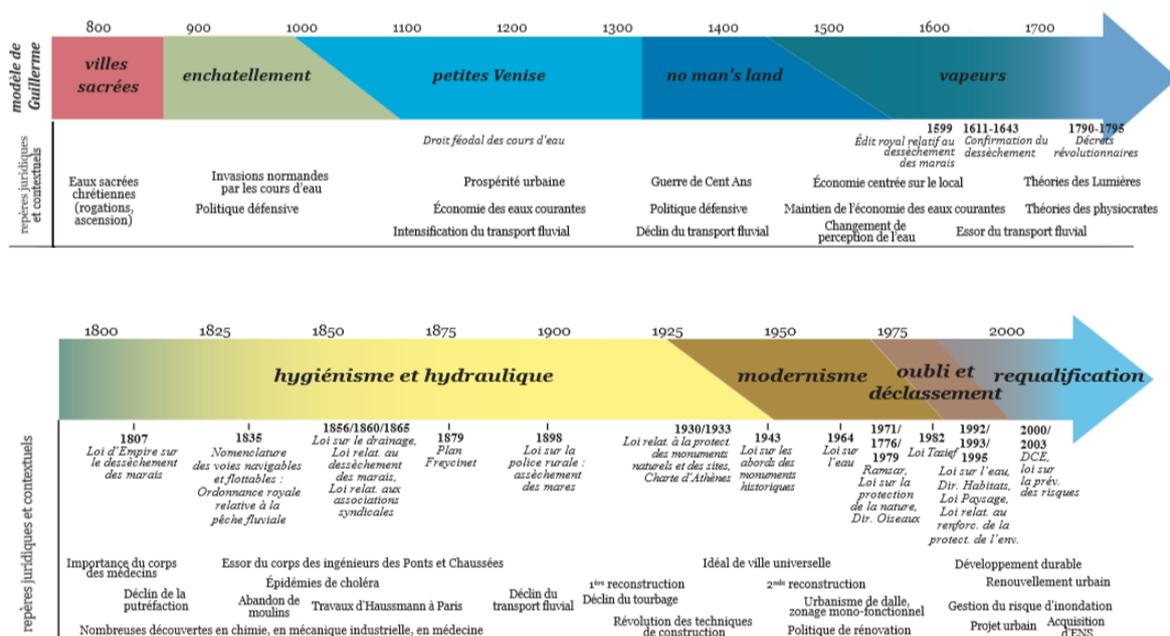


Figure 2. Frise historique de la perception et de la gestion de l'eau en ville (Dournel S. et Sajaloli B., 2012).

1.1.1 Histoire de la gestion de l'eau en ville

Jusqu'au XVIIIe siècle, les eaux sont gérées au travers d'un cycle où il n'existe pas de concept d'eaux usées, dans le sens où elles ne sont pas gérées techniquement : les rejets sont recyclés par les systèmes naturels, de manière plus ou moins efficace. Puis jusqu'au XIXème siècle, le progressif contrôle de l'eau se fait de manière exponentielle à travers le développement des ouvrages hydrauliques : c'est l'âge d'or de l'aménagement hydraulique. L'ingénierie hydraulique est alors une composante majeure de la planification territoriale. Du XIXème jusqu'à la moitié du XXe siècle, on observe le déclin des petits ouvrages hydrauliques amorcé par de grandes modifications apportées sur les milieux de ressources en eau. La deuxième vague d'urbanisation engendre la création des réseaux modernes, issus de ruisseaux peu à peu canalisés et couverts pour la création des réseaux d'assainissement primaires. Les rivières sont busées, canalisées ou enterrées, de façon accélérée par la croissance de la population urbaine. Les rues pavées sont goudronnées et l'eau est gérée en sous-sol. Le mouvement des hygiénistes définit à cette époque les principes fondateurs du réseau d'assainissement moderne : une circulation continue de l'eau pour alimenter les villes en eau propre et évacuer les eaux usées le plus loin et le plus rapidement possible. Ces principes répondent à des objectifs sanitaires et de réponse au risque d'inondations. Le réseau, alors unitaire, c'est-à-dire qu'il recueille à la fois les eaux usées et les eaux pluviales (cf. figure 3), est techniquement très simple et fonctionne de manière gravitaire. Ce système présente rapidement la problématique des rejets au milieu naturel et du coût de la gestion du réseau. Le concept hydraulique, en opposition avec le concept hygiéniste et apparaissant peu après, apporte les notions de ralentissement des écoulements et les bassins de retenue notamment, prenant en compte les quantités importantes d'eau à gérer avec l'augmentation de la population. En effet, au début du XXe siècle, l'épuration biologique des eaux usées contraint les volume d'eaux et leurs variations et ne permet pas le traitement de la totalité des eaux pluviales. Les systèmes en réseau unitaire aménagent des trop-pleins, les déversoirs d'orage, qui recueillent alors un mélange d'eaux usées et pluviales lors de fortes pluies.

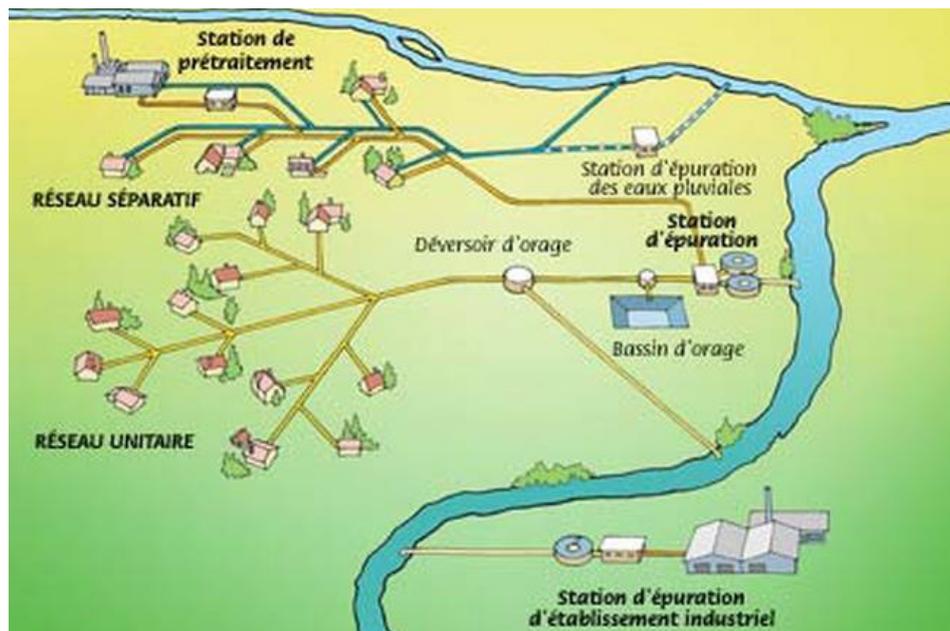


Figure 3. Fonctionnement des réseaux unitaire et séparatif (WikiTP, 2019).

Au même moment apparaît le système du réseau séparatif, qui recueille et traite séparément les eaux usées des eaux pluviales (cf. figure 3). Ces dernières ruissellent sur les surfaces pour se rejeter directement vers le milieu naturel. Ce système présente cependant de nombreuses défaillances liées à des erreurs de branchements entre les réseaux d'eaux usées et d'eaux pluviales.

Les premiers réseaux sont donc unitaires, c'est-à-dire qu'ils recueillent les eaux de pluie et les eaux usées, puis l'arrivée du réseau séparatif (1970) permet de séparer les eaux et leur traitement. De plus, l'imperméabilisation considérable des sols accompagnant une urbanisation importante entraîne le développement des réseaux secondaires et un prolongement des réseaux existants. Aujourd'hui, les infrastructures qui transportent les eaux potables, de pluie et usées sont centralisées et principalement invisibles, cependant on observe une augmentation des projets d'aménagement lié à l'eau, à son ralentissement et à sa visibilité : renaturation de cours d'eau, bassins de rétention, etc. (Chocat, 1997; Brun, 2009; Stokman, 2008; [2]).

1.1.2 Évolutions législatives influentes pour les domaines de l'eau et du paysage

Du côté législatif, les années 1990 marquent un tournant en France avec la fixation d'objectifs de qualité dans les cours d'eau, la création de six agences de bassin (une par grande unité hydrographique), la création des contrats de rivières, la loi sur l'eau de 1992, la mise en place des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) et des Schémas Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE), le transfert de responsabilité et de charge financière de la distribution d'eau potable et de la politique d'assainissement vers les localités, la poursuite des politiques d'adduction d'eau potable ainsi que la création des établissements publics territoriaux de bassin (EPTB) qui prolongent l'action des agences de l'eau sur le terrain en assurant une mission de maîtrise d'ouvrage et parfois de travaux. A l'international, des événements importants influent sur les pays participants en termes d'écologie et de gestion de l'eau : la déclaration de RIO sur le développement durable de 1992 et la conférence de Dublin sur la gestion intégrée des ressources en eau. Au niveau européen, la directive cadre de l'année 2000 impose aux états membres de parvenir à un bon état écologique des eaux d'ici 2015. En 2006, la loi française sur l'eau et les milieux aquatiques vise à remanier la politique de l'eau pour atteindre ces objectifs communautaires (Barraqué, 1995; Brun, 2009). Ces outils influencent et encadrent les demandes d'aménagements liés à la gestion de l'eau vers des projets plus écologiques et durables.

Parallèlement le domaine du paysage se redéfinit au travers de la loi paysage de 1993 et de la convention Européenne du Paysage à Florence de 2000 inscrite à la législation française en 2006. Le concept de Landscape Urbanism, défini par Ian McHarg en 1969, place les sciences écologiques au centre de la conception urbaine. Suivi en 2010 par le concept d'Ecological Urbanism qui met en avant l'interdisciplinarité et la collaboration entre les spécialités. A l'échelle européenne, la directive cadre 2004/18/CE donne la possibilité d'intégrer les considérations environnementales dans les critères de sélection des marchés. "Un nouveau modèle de développement durable urbain est mis en place par les acteurs publics et privés. En témoignent la formation d'équipes de conception pluridisciplinaires faisant appel à divers spécialistes, l'apparition

de nouvelles voies de coopération professionnelle entre diverses expertises et des pratiques de conception innovantes ainsi que l'intégration d'un plus grand nombre d'acteurs ou la création de nouveaux outils." (Leger-Smith, 2014). Une nouvelle prise en compte des paramètres écologiques se dessine dans les domaines de l'hydraulique et du paysage, depuis les 30 dernières années.

Le fonctionnement hydrologique urbain passe désormais par un contrôle de l'eau. Ce système est hérité de l'histoire et des liens entre eaux et villes à travers le temps, menant à une gestion enterrée des cours d'eau. L'eau, à la base de la formation des paysages urbains et participant à l'identité des villes, a finalement en partie disparu des formes urbaines (Dournel & Sajaloli, 2012).

1.2 Etat des lieux de la gestion de l'eau

1.2.1 Urbanisation grandissante et conséquences du changement climatique

Un premier constat actuel est lié aux contraintes techniques subies et imposées par la gestion de l'eau en ville. Une augmentation de l'imperméabilisation des sols depuis la moitié du XXe siècle, entraîne une augmentation des volumes et des vitesses d'eau ruisselée. L'urbanisation grandissante et l'étalement urbain viennent avec un accroissement des surfaces et des revêtements imperméables. Ainsi, les métropoles ainsi que les grandes conurbations européennes atteignent des taux d'urbanisation dépassant les 90% de leurs surfaces totales (figure 4).

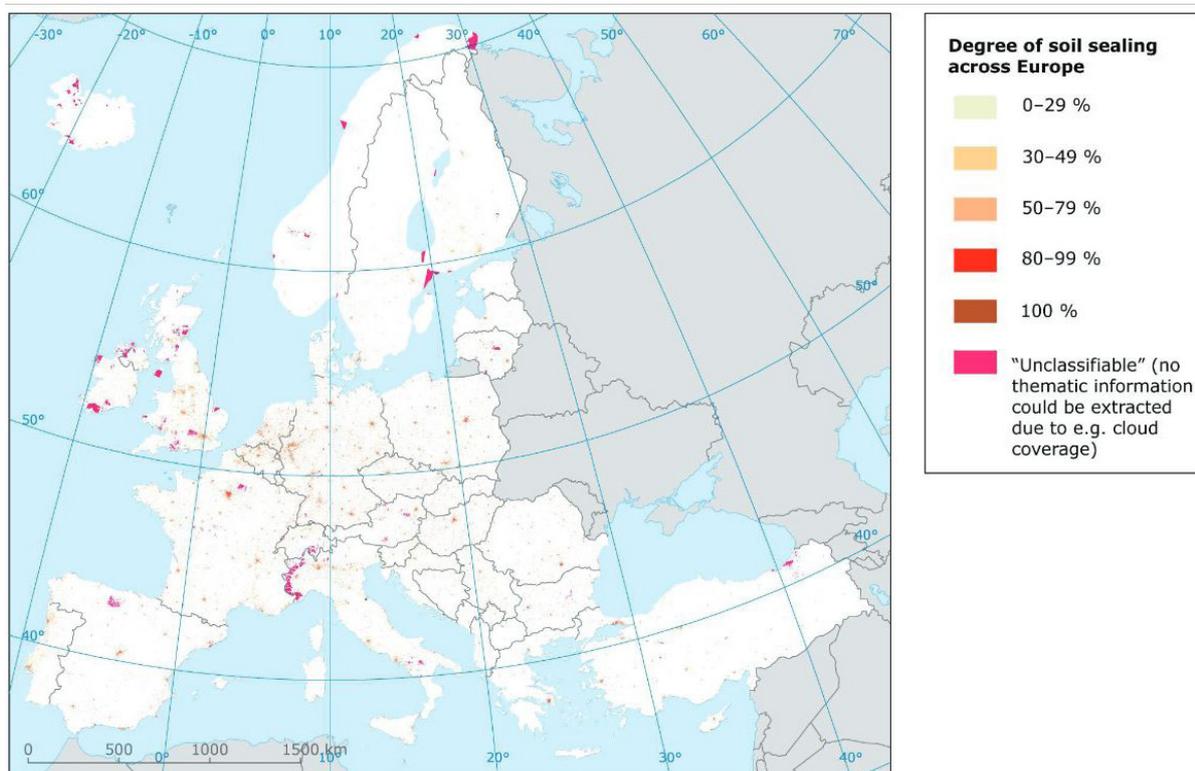


Figure 4. Degree of soil sealing across Europe (European commission, 2012).

Le réseau hydrographique naturel sinueux et peu pentu est remplacé par un réseau d'assainissement acheminant l'eau le plus directement et rapidement possible. Aussi, les aménagements urbains superposent un relief artificiel au relief naturel existant, augmentant d'autant plus le ruissellement de l'eau. Les aménagements se transforment en digues et canaux involontaires lors d'événements pluviaux. Cette concentration des eaux de pluies intensifie les conséquences constatées d'un changement climatique global, avec des pluies de plus en plus variables et des extrêmes atteints de plus en plus fréquemment, comme l'énoncent les prévisions de météo France : «Il est très probable que les vagues de chaleur seront plus fréquentes et dureront plus longtemps. [...] Les épisodes de précipitations extrêmes deviendront très probablement plus intenses et fréquents sur les continents des moyennes latitudes et dans les régions tropicales humides d'ici la fin de ce siècle.» [3]. Les prévisions de météo France prévoient, quelque soit le scénario retenue de développement des activités anthropiques et de mesures prise contre le changement climatique, une augmentation des risques de sécheresses prolongées sur l'ensemble du territoire français (figure 5).

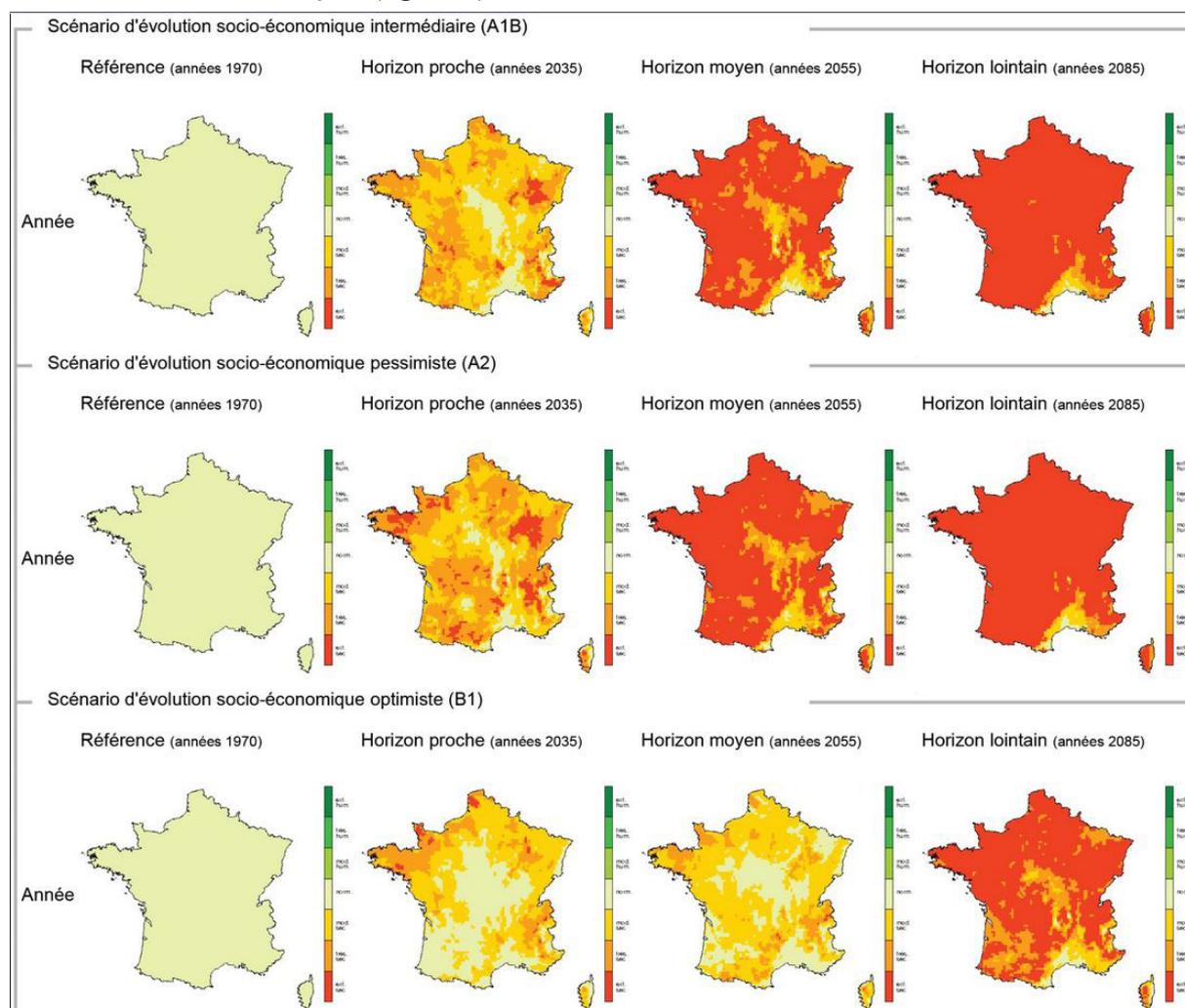


Figure 5. Scénarios d'évolution des sécheresses en France (Météo France, 2019).

Les villes se retrouvent face à des situations d'inondations et de périodes de sécheresses à gérer avec des systèmes ne fonctionnant bien qu'avec des débits seuils. Les niveaux d'eau des grands cours d'eau urbains tendent également à atteindre des extrêmes plus fréquemment. Les prédictions concernant les crues de la Seine notamment (prédictions pour 2046-2065) montrent des

débits encore plus bas lors des basses eaux, voire en dessous des seuils critiques des besoins en eau, et des variations d'autant plus importantes lors des hautes eaux, menant à une augmentation des évènements d'inondations. Les réponses des gestionnaires, basées sur des changements de seuils et d'objectifs et des contrôles opérationnel des réserves en eau, ne permettent pas dans les modèles de prédictions de s'adapter suffisamment pour conserver les conditions actuelles des réserves en eau : les conséquences du changement climatique ne peuvent être contrées par des solutions techniques et vont fortement impacter la consommation et le rapport des villes à l'eau (Dorchies *et al.*, 2016).

1.2.2 Des pollutions urbaines concentrées

A cela s'ajoutent les pollutions importantes générées par les villes, qui, au lieu de se répartir sur toute la surface de la ville, se concentrent dans le réseau du tout-tuyau, pour une pollution à l'exutoire très importante. Les pollutions en ville sont à la fois plus importantes qu'en milieu rural du fait de la concentration des activités polluantes et des ruissellements, et plus impactantes car elles se situent à proximité des populations les plus nombreuses (Chocat, 1997). Les traitements nécessaires au nettoyage et à la dépollution des eaux sont à la fois coûteux et contraignants en termes d'acheminements de l'eau et de rejets. De plus, les eaux pluviales en ville se retrouvent dans le réseaux d'assainissement public après le ruissellement sur de grandes surfaces polluées (chaussées et surfaces imperméabilisées), augmentant les volumes d'eau à traiter. Les eaux de ruissellement entraînent en effet avec elles les pollutions du trafic, des chaussées et des immeubles (cf. figure 6). Enfin, malgré ce système, des déversements accidentels d'eaux pollués ne sont pas écartés, entraînant la pollutions des eaux dans le milieu naturel.

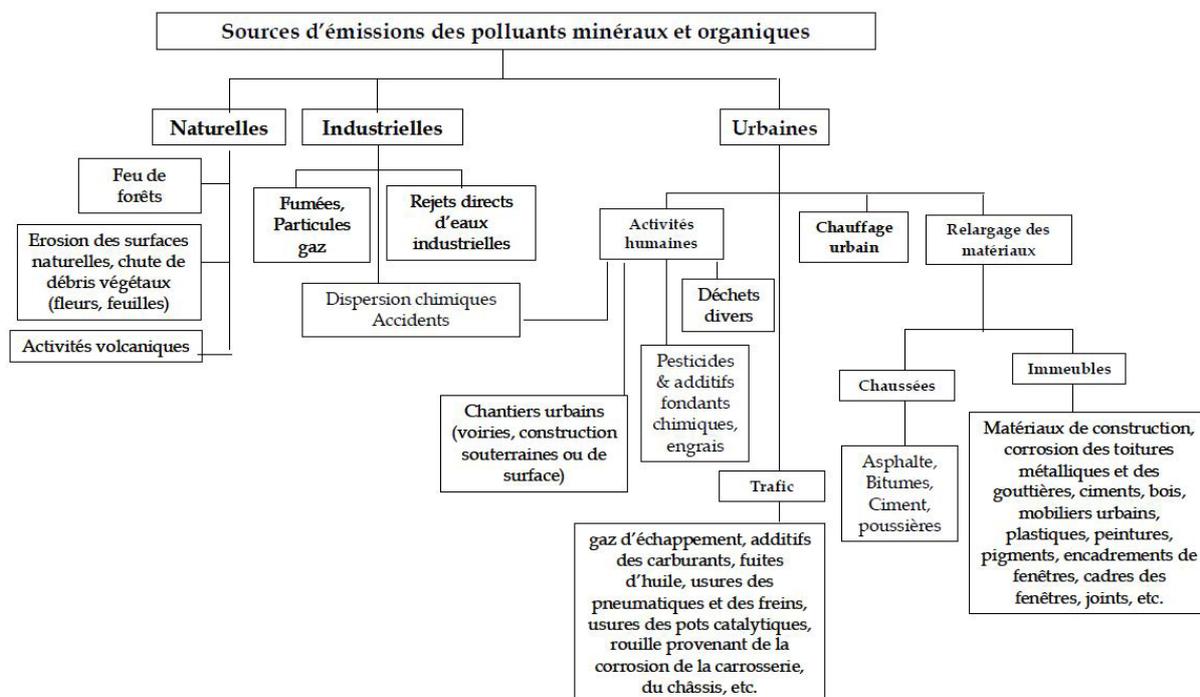


Figure 6. Sources diffuses des polluants minéraux et organiques en milieu urbain (Andrieu H. *et al.*, 2017)

1.2.3 Une consommation d'eau propre excessive pour un réseau complexe

Une troisième problématique liée à la gestion de l'eau en ville actuelle concerne la consommation d'eau, c'est-à-dire l'utilisation avec nécessité de traitement avant rejet. Cette consommation s'élève à 4000 millions de m³ annuels à l'échelle mondiale, soit le double de la consommation constatée en 1950. Ce bilan total est en augmentation, avec cependant une évolution de la consommation très déséquilibrée : en croissance rapide dans les pays en voie de développement et en croissance décélérée voire en stabilisation ou même en décroissance dans les pays les plus développés. En effet, la croissance urbaine est inégalement distribuée, avec une diminution ou une dé-densification dans les villes des pays développés. Néanmoins, partout les populations urbaines sont celles qui requièrent le plus d'eau. Cela mène à des problèmes en termes de gestion de l'eau : des systèmes incapables de fournir l'eau potable aux populations et/ou de recueillir et d'acheminer les eaux usées, d'autres systèmes sur-dimensionnés nécessitant un entretien et un coût plus importants. (Margat, 2000; Stokman, 2008). Les systèmes sous-dimensionnés entraînent l'augmentation des pollutions, due à l'incapacité de traiter toutes les eaux polluées. Les systèmes sur-dimensionnés nécessitent notamment une alimentation en eau propre afin d'éviter les eaux stagnantes dans les réseaux, augmentant la consommation. A cela s'ajoutent localement la complexité des réseaux unitaire et séparatif et de leurs branchements, ainsi qu'une connaissance du fonctionnement de ces réseaux très variable générant des dysfonctionnements importants. En cas de fortes pluies, les réseaux d'évacuations sont souvent mis en surcharge, provoquant des inondations sur les surfaces imperméables urbaines, phénomène récurrent dans



Figure 7. Inondations dans le val de Marne (Christophe Archambault, 2018)

les grandes villes et notamment en région parisienne (cf. figure 7).

Les systèmes de gestion des eaux en villes conçus par le passé posent aujourd'hui des problèmes techniques : "gestion calamiteuse des eaux pluviales, pertes en lignes des réseaux d'eaux usées, stations d'épuration défaillantes, débits minimums non respectés, destruction d'habitats fauniques et floristiques, débordements fréquents sur les réseaux, remontées de caniveaux, perte de la capacité d'épanchement naturel des cours d'eau de leurs trop-pleins en cas de crues etc." (Brun, 2009). Sur le plan environnemental, les conséquences du changement climatique se ressentent dès aujourd'hui. Les pluies moins prédictibles et avec de plus amples variations, entraînent des risques de sécheresses et d'inondations plus importants. Alors que les enjeux environnementaux se multiplient, les systèmes urbains de gestion de l'eau apparaissent obsolètes ; inondations, pollutions, sécheresses, coûts de gestion, etc. sont autant de problématiques auxquelles les villes doivent faire face actuellement.

1.3 Etat des lieux des pratiques d'aménagement paysager urbain et leur rapport à l'eau

1.3.1 Des approches dépassées

En termes de projets sur l'espace urbain, un premier constat porte sur deux approches utilisées par les aménageurs : l'approche 'camouflage' consistant à masquer les infrastructures et réseaux peu esthétiques et l'approche 'd'atténuation', qui met en place des lois et des mesures compensatoires pour limiter les effets néfastes des aménagements. Cette observation peut facilement être rapportée aux projets en lien avec l'eau. Sa gestion est souvent reléguée à une dimension purement technique, en enterré, laissant la surface libre pour un aménagement uniquement paysager. Cette approche de camouflage permet à l'aménageur une liberté quand à l'aménagement de l'espace, traitant l'eau comme un réseau supplémentaire, et supprimant les contraintes. L'autre approche est facilement identifiable dans les projets d'aménagements sur les cours d'eau ou les zones humides, limités et contraints à compenser les milieux impactés par les aménagements.

1.3.2 Les conséquences du changement climatique : un défi pour les projets de paysage

L'aménagement des villes fait aujourd'hui face à des enjeux conséquents liés au changement climatique. Entre autres, le phénomène d'îlots de chaleur urbains, phénomène d'élévation localisée des températures en ville, représente une préoccupation grandissante pour les grandes agglomérations. Les solutions de végétalisation pour faire face aux conséquences climatiques sont avérées et offrent aux paysagistes de nombreuses opportunités d'aménagement. Cependant, les sécheresses fréquentes et peu prédictibles peuvent transformer la végétalisation des villes en un vrai défi, comme l'ont montré les différents épisodes de chaleurs et de sécheresse



Figure 8. Forêt souffrant de la sécheresse (François Faucon, 2019)

intenses de cet été 2019.

Les arbres, à la durée de vie déjà réduite en ville par rapport aux arbres de forêts, souffrent d'autant plus des épisodes de sécheresses plus long et plus intenses, déjà dévastateurs dans les milieux ruraux (cf. figure 8).

Le plan réchauffement climatique de Paris prend en considération la possibilité de sécheresses prolongées à l'automne et de vagues de chaleurs en été. Parmi les problématiques soulevées et les solutions proposées, des tarifications et des traitements différenciés entre l'eau potable domestique et l'eau d'arrosage des parcs sont envisagés. Cependant la diminution de la demande en eau amène à une augmentation du coût de traitement et d'acheminement de l'eau pour les gestionnaires de l'eau, et donc à une augmentation du prix pour les usagers (Barraqué *et al.*, 2017).

1.3.3 Les rapports rompus des habitants à l'eau

En addition, sur le plan paysager, la perception de l'eau en ville et les rapports entre habitants et eau ont évolué vers une rupture quasi totale jusqu'à récemment ; le besoin de recréer du lien avec les cours d'eau se fait aujourd'hui ressentir. Par le passé, les formes de l'eau et de sa gestion dans les villes ont disparu du fait de l'augmentation rapide et intense de l'urbanisation et d'une gestion en tout-tuyau et en enterré. Les formes urbaines se densifient, les espaces ouverts et en eau disparaissent. De ce fait, les habitants des villes se retrouvent déconnectés des cours

d'eau enterrés sous les voirie comme l'a été la Bièvre à Paris (cf. figures 9 et 10).

L'aménagement paysager, défini voire limité à l'agencement de l'espace urbain en termes de matériau, mobilier et végétal, pourrait s'associer à la résolution de problèmes techniques. Ceci est d'autant plus vrai concernant la gestion de l'eau, étant données les connexions ayant toujours existé entre eau et paysage. C'est ce que défend A. Stokman dans sa thèse : "La profession de paysagiste devrait déplacer son focus actuel sur des aménagement privilégiés et coûteux vers le solutionnement de problématiques actuelles liées à l'urbanisation. La force du paysage est de relier les performances des processus naturels avec les stratégies d'aménagement urbain et d'ingénierie. Pour que le paysage devienne infrastructure, les concepteurs ont besoin de connaissances pratiques et avancées sur les systèmes écologiques et les infrastructures, et qu'ils osent coopérer avec les disciplines de l'ingénierie et de la conception urbaine." (Stokman, 2008).



Figure 9 et 10. Rivière urbaine enterrée : La Bièvre (Delcampe, 2019; Wikipedia, 2019).

2. La gestion des eaux à ciel ouvert et la désimperméabilisation des sols comme solutions aux défis hydrauliques et paysagers

La désimperméabilisation des sols consiste à limiter les surfaces de revêtements et de toitures imperméables. Pour cela, le réaménagement d'espaces existants favorise la suppression de surfaces imperméables au profit d'espaces en terre ou en revêtement perméables et l'aménagement de nouveaux projets prévoit la limitation de l'imperméabilisation. La désimperméabilisation des sols s'accompagne très souvent d'une revégétalisation de l'espace.

2.1 La désimperméabilisation et la création d'espaces végétalisés comme nouveau système de gestion de l'eau en ville

L'évolution des pratiques d'aménagements tend vers des projets moins imperméabilisés et plus végétalisés. Ces pratiques correspondent à la fois à une réponse aux demandes de villes plus vertes et à une gestion technique plus douce des espaces et notamment de l'eau. En effet, il apparaît que la désimperméabilisation des sols et la création d'espaces végétalisés offre une solution aux différents problèmes techniques évoqués précédemment.

2.1.2 Prévention des inondations

Le stockage des eaux de ruissellement au plus proche de leur arrivée sur le sol urbain permet la prévention des événements d'inondation. Ce concept, énoncé dans l'historique de l'eau et la ville, considère que les eaux pluviales ayant peu ruisselé sont propres et met en place des techniques de stockage comme les bassins de retenue et les chaussées à structure-réservoir [2] (cf. figures 11 et 12). D'autres exemples d'espaces urbains à inondation maîtrisée proposent une gestion de l'eau reléguée au second plan, le premier étant occupé par l'espace public et ses usages. «Ces espaces publics, lieux de promenade qui ne sont en eaux que lorsqu'il a plu, permettent d'avoir une gestion "urbaine" des eaux pluviales alors que leur fonction peut ne pas être perceptible par temps sec.» (Piel *et al.*, 2010). Combinées avec une désimperméabilisation du sol et à une végétalisation, ces techniques peuvent stocker les eaux de pluies directement dans le substrat par une infiltration de l'eau dans le sol. La désimperméabilisation des sols permet dans un premier temps de réduire les ruissellements de l'eau, puisque celle-ci se disperse et s'infiltré directement dans la terre végétale.



LA CHAUSSEE A STRUCTURE RESERVOIR

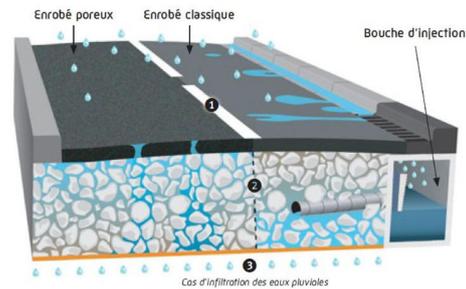


Figure 11 et 12. Bassin de retenue et chaussée-réservoir (Catalogue sinthylène, 2017; Maëlle Ancelle, 2015).

A l'échelle de la ville, la multiplication de la désimperméabilisation diminue les risques d'inondations, principalement dus à un volume d'eau conséquent apporté sur une faible durée que le réseau d'assainissement public ne permet pas d'évacuer. Les surfaces permettant le stockage et l'infiltration sur place ralentissent et retiennent l'eau, avant son rejet vers l'espace naturel. Les projets de désimperméabilisation permettent le respect des objectifs de prévention du risque d'inondation.

2.1.2 Diminution des pollutions

Les problématiques de pollutions en ville sont dues à diverses sources que la désimperméabilisation seule ne peut en aucun cas résoudre. Cependant, dans le cas de réseaux unitaires, la pollution, notamment en matières en suspension et hydrocarbures, observée à l'exutoire provient principalement du réseau lui-même. Les polluants, provenant des eaux usées et des chaussées, s'accumulent dans le réseau unitaire par temps sec, puis lors d'événements pluvieux, les polluants se concentrent à l'exutoire. Si une décantation des eaux permet d'atténuer ces pollutions, des techniques préventives et curatives sont à envisager (Gromaire-Mertz, 2000). Le simple fait de déconnecter les eaux pluviales des réseaux, qu'ils soient séparatifs ou unitaires, permet d'éviter le lessivage des hydrocarbures de chaussée vers le réseau. Elle constitue de ce fait une solution préventive qui vient s'ajouter aux mesures que l'on peut prendre sur les sources de polluants : en addition de la diminution des polluants (matériaux des bâtiments, utilisation des hydrocarbures ...), le stockage et l'infiltration des eaux de pluie sur site évite le passage par les réseaux unitaires, et donc la nécessité de traitement de l'ensemble des eaux de pluie. De plus, la création d'espaces de stockage de l'eau peut être complétée par la mise en place de systèmes d'assainissement écologique des rejets avec des filtres plantés, dont le principe est présenté par le schéma de la figure 13.

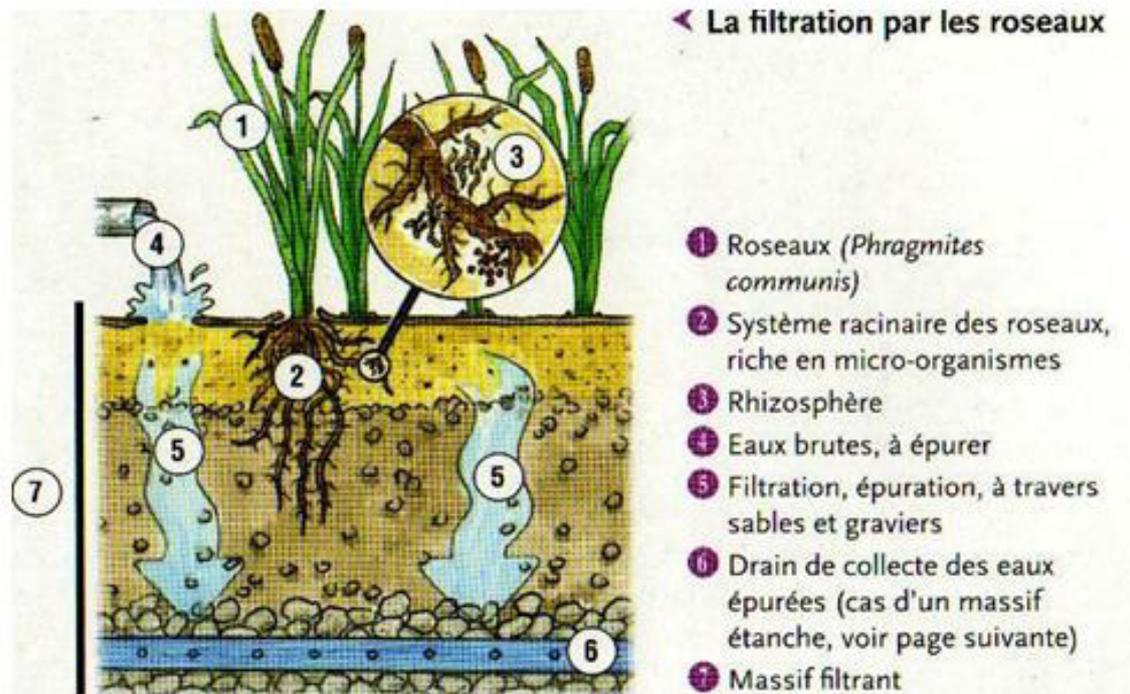


Figure 1 : La filtration par les roseaux

Figure 13. Schéma fonctionnel du filtre planté (CABRIT-LECLERC Sandrine, 2010).

2.1.3. Diminution de la consommation

Enfin, la désimperméabilisation des sols pour la réalisation de dispositifs de stockage-infiltration des eaux pluviales, combinée à une végétalisation permet de rentabiliser la ressource en eau. D'une part, l'alimentation en eau se fait directement par l'écoulement dirigé des pluies vers les espaces végétalisés, rendant inutile les apports extérieurs pour alimenter les végétaux. D'autre part, la végétation permet la régulation des apports d'eau par évapotranspiration. Cette manière d'aménager l'espace ne participe donc pas à l'augmentation de la consommation en eau observée actuellement et permet de réguler les événements pluviaux importants.

L'aménagement d'espaces urbains désimperméabilisés et végétalisés permet de réduire les risques d'inondations, de diminuer les pollutions et les volumes d'eau à traiter et de réduire les apports d'eau d'arrosage. Ces principes d'aménagements apparaissent comme solution à diverses problématiques de gestion rencontrées actuellement dans une multitude de contextes urbains. Les techniques alternatives de gestion des eaux de pluies permettent donc la résolution de problèmes techniques. Ce sont cependant également des concepts d'aménagement à part entière intégrés à l'urbanisation, qui offrent des opportunités d'aménagements urbain et paysagers (Piel *et al.*, 2010).

2.2 La gestion de l'eau à ciel ouvert créatrice d'aménagements paysagers pertinents

En complément du propos précédant, présentant l'aménagement d'espaces désimperméabilisés et végétalisés comme solution aux dysfonctionnements techniques de la gestion de l'eau, cette partie s'intéresse à la gestion alternative des eaux pluviales comme génératrice de trames urbaines et de paysage.

2.2.1 Changement d'approche de l'aménagement urbain

La généralisation de techniques de gestion de l'eau alternatives (bassins de retenue, filtres plantés, noues, etc.) pour parer aux dysfonctionnements de gestion actuels permettent en effet la création d'aménagements urbains et paysagers qualitatifs. On peut d'ailleurs constater la multiplication d'aménagements de noues paysagères dans les projets d'urbanisation depuis quelques années, dans le but de gérer les eaux pluviales à ciel ouvert. L'eau et ses contraintes, perçues par les aménageurs comme un énième réseau à enterrer, peuvent être mises à profit du projet. Ainsi, au lieu de camoufler la gestion de l'eau et d'atténuer les répercussions du projet sur l'espace naturel, l'eau naturellement présente peut être utilisée comme matériau urbain, participant à la texture des villes. L'eau représente alors un potentiel de végétalisation, de jeux de relief, de mouvement et de déminéralisation pour les aménagements. Le projet urbain prend alors forme à partir de la gestion des eaux pluviales. Les espaces inondables sont un des exemples de mise en scène de l'eau dans la ville, utilisant les eaux de pluie comme matériau (cf. figures 14 et 15).



Figure 14. Placette inondable [1].



Figure 15. Place inondable [4]

Les cheminements de l'eau, redécouverts, prennent aussi tout leur sens dans une démarche de trames bleue et verte, qui cherche à protéger et renforcer les liaisons aquatiques et végétales en milieu urbain. La gestion de l'eau à ciel ouvert représente une opportunité de créer des espaces naturels et des milieux écologiques en ville. En se rapprochant au mieux du cycle naturel de l'eau, l'aménagement permet la création d'espaces naturels et/ou végétalisés ralentissant l'eau (Chocat, 1997).

2.2.2 Adaptation au changement climatique : opportunité de lutte contre les sécheresses

La combinaison d'espace de gestion des eaux pluviales avec la création d'espaces végétalisés permet d'alimenter directement les végétaux en eau à chaque pluie, comme mentionné plus haut. Si cela permet de diminuer la consommation d'eau propre, c'est également un avantage notable pour la reprise et la survie des végétaux. En effet le stockage de l'eau dans des volumes perméables offre aux plantes, et notamment les arbres, de meilleures chances face aux épisodes secs, qui vont devenir plus fréquents et plus intenses. De plus, l'évaporation est plus importante pour une surface en eau que pour l'eau stockée dans un espace en pleine terre et d'autant moins importante pour un espace planté. L'eau stockée dans des espaces végétalisés est donc retenue par les racines et utilisée par les végétaux. Les espaces verts ne nécessitent plus d'arrosage et sont plus résistants aux sécheresses. Le végétal s'auto-régule en approvisionnement en eau et régule l'eau dans le sol.

Les épisodes de chaleur et de sécheresse posent également la question de lutte contre les îlots de chaleur urbain. Les différences de températures observées entre une rue sans arbres et imperméables et un parc arboré peuvent aller jusqu'à 7°C. Les végétaux, par le phénomène d'évapotranspiration, ne permettent pas seulement de réguler les eaux de pluies, mais permettent également de rafraîchir les villes. Cet effet est accru en présence d'un point d'eau à proximité. Agissant en véritable climatiseur naturel, les espaces végétalisés participent à un équilibre climatique au sein de la ville (Piel *et al.*, 2010).

2.2.3 Un lien recréé entre eau et habitants

Les projets de désimperméabilisation des sols, de revégétalisation mais surtout de gestion des eaux pluviales à ciel ouvert représentent une occasion de recréer du lien avec les habitants. La réouverture de cours d'eau canalisés et enterrés en sont le parfait exemple. Mais cette valorisation de l'eau et son retour dans le cycle urbain visible se fait à toutes les échelles d'aménagement. Le jeu de niveaux observés dans les espaces de stockage lors de pluies plus ou moins fortes et les différents cheminements empruntés par l'eau pour atteindre les espaces perméables permettent aux usagers de reprendre conscience de la présence de l'eau, de ses enjeux de gestion, de ses variations incontrôlables et des aménagements qui la contrôlent.

Ainsi, la gestion à ciel ouvert permet de créer des espaces multifonctionnels, dans le respect et la préservation de l'environnement, la prévention du risque d'inondation et l'embellissement du cadre de vie.

2.3 Nouvelles approches d'aménagements urbaines : quelles dynamiques entre les acteurs ?

2.3.1 Politiques de l'eau et filières de gestion des espaces

Tels que présentés précédemment, la combinaison de la gestion de l'eau et de l'aménagement paysager au sein du projet pose la question de la rencontre entre les acteurs de l'aménagement urbain et les acteurs de gestion de l'eau. Cependant ce questionnement ne s'arrête pas à l'échelle du projet et implique des interférences entre politiques de l'eau et filières de gestion des espaces. Aujourd'hui, la protection des eaux passe par la protection des milieux, les politiques de l'eau visant à empêcher la dégradation des espaces liés à l'eau : abords de cours d'eau, milieux humides, champs d'expansion des crues, nappes phréatiques... Ces politiques se positionnent alors sur des questions de gestion des espaces, et notamment d'occupation des sols et d'urbanisation. Ceci pose des problèmes d'organisation entre acteurs de la gestion de l'eau et acteurs de la gestion des espaces (Narcy & Mermet, 2001). En effet, si par le passé les questions de gestion de l'eau, gérées en tout-tuyau, ne concernaient que peu d'acteurs, aujourd'hui on constate un «foisonnement d'acteurs et territoires s'en emparant : communes, EPCI, syndicats, CLE, district hydrographique, syndicat de SCOT» (Andrieu *et al.*, 2017). L'articulation des acteurs doit alors se faire à plusieurs niveaux. D'abord organisationnelle entre les services des collectivités et l'extérieur, puis au niveau des acteurs concepteurs et gestionnaires, ainsi qu'avec les citoyens.

Les politiques de gestion de l'eau rencontre également une difficulté de positionnement, entre une nature contrôlable et incontrôlable. Par exemple, les politiques de contrôle des crues et de protection des champs d'expansion des crues peuvent se retrouver en contradiction lorsqu'appliqués sur un même territoire. L'équilibre entre protection et aménagement semble instable et les instruments réglementaires parfois inadaptés à certains contextes.

2.3.2 La gestion de l'eau en second plan du projet

Lors du projet d'aménagement, la gestion de l'eau semble parfois subir les décisions de l'aménageur. La gestion de l'eau est en effet souvent reléguée à la résolution méthodique des contraintes d'aménagement imposées, la réduisant à un outil technique, réglementaire et économique : «Généralement, les problèmes liés à l'eau sont résolus par des ingénieurs de manière technique et préférentiellement invisible, de manière à ce qu'urbanistes et paysagistes gagnent la liberté d'une conception purement esthétique et spatiale - avec pour effet des conceptions arbitraires, interchangeables et des villes qui se ressemblent indépendamment de leur localisation» (Stokman, 2008).

Les gestionnaires de l'eau et ingénieurs hydrologues interviennent dans le projet parfois dans une approche purement techniques, en charge de la faisabilité et du respect des aspects réglementaires : débits limites, infiltration, volumes d'eau, etc. Cependant, cette méthode de travail va à l'encontre d'une gestion alternative des eaux pluviales fonctionnelle. Lors de la gestion de l'eau d'un aménagement urbain, cette approche peut mener à divers problèmes : la mauvaise prise en compte des enjeux techniques par l'aménageur, des aménagements hydraulique de second plan mal intégrés au projet, des dysfonctionnements techniques, voire le retour à une gestion de l'eau en enterré.

2.3.3 Approche techniciste

A l'inverse d'une approche par l'aménageur, le projet peut aussi être mené par une vue théorique de gestion de l'eau, sans prise en compte de l'intégration du projet dans l'espace urbain et public. Cette approche est peu souhaitable car elle favorise le développement d'aménagements uniformes, peu adaptés à leur environnement et transposable dans n'importe quelle ville (Leger-Smith, 2014). Les paysagistes interviennent parfois à la fin du projet, en tant que «garantie végétale». L'approche tout-tuyau ne laissant que peu de place pour les plantations dans le sol, cette démarche est contre-productive.

Ainsi, l'eau n'est plus à considérer comme une contrainte, mais comme une ressource pour la mise en valeur de la ville. L'eau comme élément de valorisation au travers d'activités, de patrimoine, de cadre de vie, cesse d'être considérée comme une menace ou un déchet. Paysagistes, urbanistes et architectes créent les aménagements dans leurs contextes urbains. C'est pourquoi les ingénieurs et techniciens hydrologues doivent travailler en étroite collaboration avec eux. En effet : «une approche purement technicienne de l'assainissement est devenue insuffisante

pour résoudre les problèmes posés par la gestion des eaux urbaines.” “[...] il apparaît nécessaire de proposer un nouveau concept, de type environnementaliste, permettant de reposer le problème de l’assainissement en s’appuyant sur [...] une liaison plus forte avec l’aménagement urbain” (Chocat, 1997).

Lors de la conception d’aménagement de gestion de l’eau en ville, les interactions entre acteurs sont inévitables. Les ingénieurs hydrologues se chargent des dimensions et de la technique, tandis que les aménageurs assurent les formes et les usages. Cette organisation en équipes mono-disciplinaires mène à une mise en concurrence pour les marchés et à des collaborations difficiles.

Si les discours rencontrés plaident, soit pour la meilleure prise en compte de la gestion de l’eau par les aménageurs, soit pour une plus grande considération de l’intégration paysagère, la suite de ce mémoire cherche à montrer comment le partage des responsabilités et l’étroite collaboration entre acteurs de l’hydraulique et du paysage permettent au travers de projets pertinents et fonctionnels de régler les problèmes liés à l’eau en milieu urbain. Du point de vue des gestionnaires de l’eau, la gestion alternative de l’eau doit mener à des externalités positives : esthétique, usages, végétal... A l’inverse, l’aménagement urbain doit utiliser l’eau comme une ressource.

3. L'ARTICULATION DE L'HYDROLOGIE ET DU PAYSAGE

3.1 Définition des disciplines

3.1.1 Pluridisciplinarité du paysage

Le paysage est à la fois un domaine d'étude et de perception, et en même temps une discipline d'aménagement et d'action sur l'environnement. Son concept a évolué, tout d'abord paysage conscient à travers ses représentations picturale, le paysage désigne ensuite l'art de la réalisation des jardins. Les aménagements de l'espace ne sont considérés dans le domaine du paysage que rétroactivement, à partir du XIX^{ème} siècle, et peuvent être considérés jusqu'à ce tournant, comme paysage inconscient. Dès lors, le paysage désigne à la fois la représentation et l'action d'aménager. "C'est un double processus technique et symbolique, fait d'aménagement et de relations, de gestes et de mesures, de comment et de pourquoi" (Mahaut, 2009). Au delà de ces deux aspects, c'est une discipline en elle-même pluridisciplinaire, aux domaines et échelles d'activités variés et aux limites rejoignant d'autres expertise (cf. figure 16) : "La notion même de paysage est donc multiple et fait appel à de nombreuses autres disciplines, comme la géographie, l'économie, l'écologie, la sociologie qui permettent d'approcher par divers angles les particularités matérielles et immatérielles du paysage" (Leger-Smith, 2014). Le projet de paysage c'est le dessin, l'aménagement de l'espace extérieur, mêlant usages, architecture, urbanisme, sols, etc. Le paysage dans le projet désigne également ce qui se rapporte au végétal. Le projet de paysage, domaine en lui-même pluridisciplinaire, passe également par une multitude d'acteurs et d'échelles, de l'étude et à l'opérationnalité.

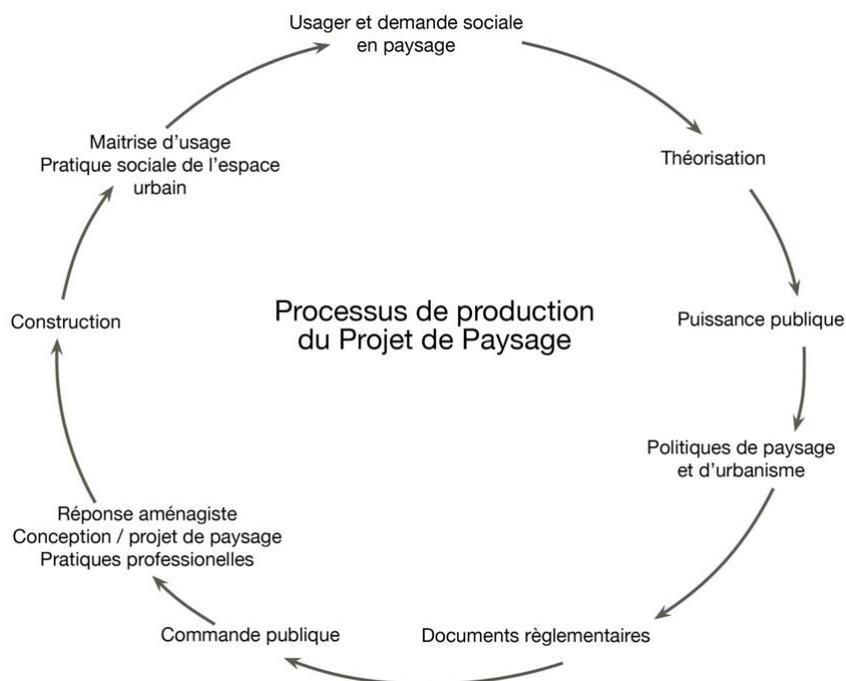


Figure 16. Processus de production du projet de paysage (Leger-Smith, 2014)

3.1.2 Hydraulique et hydrologie

L'étude et la gestion du cycle de l'eau peut se diviser entre hydrologie, l'étude de l'eau dans tous les aspects de son cycle et de ses propriétés, et hydraulique, l'étude de l'eau spécialisée sur son écoulement. Autrement dit, l'hydrologie s'intéresse aux systèmes hydrographiques, dans un objectif théorique d'étude de l'eau, tandis que l'hydraulique, à travers une connaissance des propriétés physiques et mécaniques de l'eau, sert au dimensionnement des ouvrages de gestion de l'eau.

L'hydrologie à strictement parler c'est l'étude des pluies, des précipitations, des bassins versants, des analyses statistiques, les études hydrographiques et l'élaboration de modèles. L'hydraulique correspond à la science de l'écoulement de l'eau. Le passage entre l'hydrologie et l'hydraulique correspond au passage au sol de l'eau.

Dans le projet, l'hydrologie et l'hydraulique s'intéressent à la façon dont l'eau va générer un paysage, des usages par rapport à des contraintes de climat, d'aménagement. L'hydrologie appliquée à la gestion des eaux pluviales correspond aux calculs de dimensionnement, aux volumes et aux débits.

3.2 Méthode de travail et bénéfiques pour le projet

3.2.1 L'eau au cœur du projet pour rassembler les disciplines

Les disciplines de l'hydrologie et du paysage se rencontrent lors de la création d'aménagements urbains liés à la gestion de l'eau. L'ingénieur hydrologue, en dimensionnant les ouvrages, dessine le rendu final qui s'intégrera plus ou moins bien à son contexte urbain. Le paysagiste ou l'aménageur, en créant un nouveau relief, des obstacles, des revêtements, participe à la gestion de l'eau de façon plus ou moins bénéfique. L'approche développée ici part de ce constat, que chaque acteurs d'une filière agit consciemment ou non sur l'autre, et propose de combiner les expertises au moment de la réflexion, de la conception et de la réalisation des projets d'aménagements liés à la gestion de l'eau.

L'eau se place alors au centre de l'aménagement. Tout en restant une contrainte, elle doit servir d'élément de structuration du paysage pour une gestion intégrée. Le projet se construit autour de la gestion de l'eau, prenant en compte ses enjeux et son contexte pour réaliser un aménagement hydrauliquement fonctionnel et pertinent dans l'espace public. L'eau intervient en tant que premier vecteur du projet, qui influence beaucoup le dessin. L'eau permet de redessiner le nivellement, d'alimenter le végétal, etc.

Il est aisé de rassembler les disciplines autour de la gestion de l'eau, puisque c'est ce qui les relie. D'une part, le paysage est très en lien avec l'eau qui en est une composant forte par les aménagements extérieurs, le sol, la biodiversité et le végétal. Il a également un impact fort sur l'eau et celle-ci redevient un élément du paysage plutôt que de se limiter à une contrainte ou une menace. D'autre part, les techniques alternatives de gestion de l'eau sont en vogue, dans un souci de protection de la ressource et de l'environnement. La gestion de l'eau est un domaine à forte demande et à fort potentiel d'innovation. Les disciplines de l'hydrologie et du paysage se rencontrent donc autour de la gestion de l'eau, tant dans la mise en place des politiques de l'eau, que dans la conception et la réalisation des aménagements, jusque dans la mise à contribution du citoyen et dans le cadre de vie. Ainsi, le paysage intervient en transformant des espaces techniques en espaces publics attractifs et visibles du public, tandis que l'hydrologie et l'hydraulique assurent une gestion fonctionnelle (Hautbois *et al.*, 2011).

L'approche pluridisciplinaire plaçant l'eau au cœur du projet permet de ramener les eaux à la surface, plutôt que de les enterrer, et de créer des systèmes écologiques et attractifs. L'eau est utilisée dans le projet d'une part comme ressource pour le végétal et d'autre part comme élément structurant de l'espace.

3.2.2 Coordonner les disciplines

Les tendances actuelles et l'évolution de la commande publique œuvrent en faveur d'une approche alternative et pluridisciplinaire du projet. Les aménageurs sont amenés à faire des choix plus écologiques et à respecter le contexte existant, notamment le cycle de l'eau. Pour cela, l'expertise en matière d'hydrologie est nécessaire pour la faisabilité du projet. La coordination des disciplines autour de la gestion de l'eau est donc facilitée par une prise de conscience écologique et un besoin de nature en ville en développement.

L'intérêt de la pluridisciplinarité se trouve notamment dans la prise en compte initiale à la fois des données techniques et d'un diagnostic paysagers. Plus cette prise en compte est complète, plus le projet final sera cohérent avec le site, les réglementations et les usagers. Les données et contraintes sont nombreuses et diverses : l'ensemble des documents de planification et de réglementation sur l'eau à l'échelle territoriale, les débits limites de rejets, la gestion des pluies exceptionnelles, le traitement des eaux, les dimensions sensible et esthétique, la topographie, les bassins versants, les écoulements, le végétal existant, le contexte urbain, etc. La prise en compte de l'ensemble des éléments du site permet d'éviter des erreurs d'aménagement. Un diagnostic de site complet, rassemblant plusieurs disciplines, mène donc à la conception de projets plus pertinents et fonctionnels (Leger-Smith, 2014).

La coordination des disciplines permet d'éviter les erreurs, mais aussi de limiter les projets homogènes, les solutions techniques transposables d'un site à l'autre sans intégration au contexte. Les contraintes techniques identifiées sont les lignes directrices qui permettent de construire le

projet. Les données sont analysées par les ingénieurs hydrologues pour fournir aux paysagistes les bases du projet d'aménagement. L'hydrologie peut alors être vue comme un outil dans la conception du projet, qui ajoute une composante dans l'aménagement. L'ajout d'une contrainte liée à l'eau permet aussi de diriger le projet dans un sens et de faciliter la conception. L'eau, qui reste une contrainte à gérer, apporte une multitude d'aspects pour le projet : des milieux, de la fraîcheur, des usages ...

2.3.3 Coordonner les acteurs

La collaboration étroite entre les deux disciplines permet des allers-retours entre les expertises. Ainsi, le gestionnaire de l'eau peut assurer le bon fonctionnement technique d'un aménagement et à l'inverse, l'aménageur permet la réflexion et l'intégration de l'aménagement dans la ville.

La rupture se dissipe, avec parfois des ingénieurs qui, au travers de choix de pentes et de dimensions, font des choix paysagers et des paysagistes qui, en dessinant les formes des bassins et des noues déterminent les aspects techniques de la gestion de l'eau. Ce recouvrement des professions, voire l'entremêlement parfois aux limites indéfinies entre les deux disciplines, était à la base de la problématique d'acteurs constatées. Cependant, ce qui rend ce chevauchement bénéfique pour le projet, c'est la sensibilisation des intervenants de l'aménagement et leur prise en considération de l'autre discipline, c'est-à-dire l'interdisciplinarité. (Eleb-Harlé *et al.*, 2005). La démarche de projet se fait en étroite collaboration entre le paysagiste et l'ingénieur hydrologue, permettant de trouver des solutions aux problèmes techniques en accord avec les particularités du site à aménager. «La complémentarité entre le paysagiste et l'ingénierie hydraulique est indispensable tout au long du processus de conception du projet : dès le diagnostic pour une compréhension globale du site, pendant le déroulement des études par des allers et retours constants qui permettent de faire des choix conciliant esthétique et technique, pour mettre au point des détails de qualité qui associent fonction et beauté.» (Larue & Da Silva, 2008).

En collaboration, l'hydrologue acquiert une autre dimension de travail, une réflexion sur le projet au-delà de ses aspects techniques. Le paysagiste, lui, doit raisonner par l'eau et ses écoulements, et prendre en compte le travail des hydrologues de calculs et de dimensionnement, pour fixer son projet en respectant les contraintes techniques.

Cette philosophie est à l'origine de la création de l'agence ATM proposant une approche pluridisciplinaire du projet au sein de la même agence. Paysagistes et hydrologues peuvent ainsi collaborer quotidiennement sur la création des espaces urbains. Cependant, la séparation des expertises au sein des structures n'est pas contraire à une approche pluridisciplinaire du projet. Les difficultés de collaboration observées dans le projet d'aménagement sont dues, non pas à un éloignement organisationnel et/ou géographique, mais à la sensibilisation des acteurs au travail interdisciplinaire et à leur connaissance et à la valeur qu'ils peuvent accorder à l'autre domaine d'expertise. Les difficultés peuvent aussi se retrouver dans des différences de vocabulaires, menant à des incompréhensions. Les problématiques rencontrés sont généralement dues à une intervention trop tardive de l'un ou l'autre domaine d'expertise : soit l'ingénierie technique n'est consultée qu'après la conception et doit contorsionner la gestion de l'eau à l'aménagement,

soit le paysagiste intervient à fin de projet, dans un but généralement de végétalisation, avec difficultés d'intégration des éléments de mobiliers ou de végétal, que ce soit dans la conception ou la réalisation et la suivi de projet. Finalement, le retour d'expérience montre la nécessité de pédagogie autour de cette approche décalée et pluridisciplinaire de la gestion de l'eau.

3.3 Cas d'étude au sein de l'agence ATM

3.3.1 Présentation du projet

Cette approche pluridisciplinaire se retrouve au sein de l'agence ATM lors de toutes les phases du projet d'aménagement. L'ingénieur hydrologue a pour mission principale les calculs de volumes et de débits des différentes pluies et le dimensionnement des ouvrages de stockage, tandis que le paysagiste se charge de l'agencement des éléments dans l'espace urbain, des choix esthétiques, du végétal, etc. Pourtant, les domaines se recoupent, le paysagiste pense d'abord à l'eau et à ses écoulements pour penser l'aménagement et l'ingénieur hydrologue anticipe les formes issues de ses calculs de dimensionnement. Récemment, une mission d'étude autour du remplacement des caniveaux à grilles (cf figure 17) d'une commune en est un exemple parlant. La commune souhaite supprimer ses caniveaux à grilles du fait d'un entretien trop contraignant et de dégradations sur les ouvrages. Les réglementations actuelles de limites de rejets et les aides financières proposées pour les projets de déconnexion des eaux pluviales des réseaux ont orienté la municipalité vers le choix d'une gestion à ciel ouvert sur les futurs aménagements. C'est en réponse à cette demande que l'agence ATM a réalisé une étude de diagnostic et de faisabilité sur une partie des caniveaux existants, présentant des contraintes particulières. L'objectif de l'étude était dans un premier temps de réaliser un diagnostic de site et de proposer des intentions d'aménagement pour remplacer les caniveaux à grille. Dans un second temps, les propositions sont arrêtées, détaillées techniquement et chiffrées.



Figure 17. Caniveau à grille à l'entrée du collège Pablo Neruda à Pierrefitte-sur-Seine (ATM, 2018)

3.3.2 Démarche de travail

Le déroulement d'une telle étude se fait par une collaboration étroite entre les domaines de l'hydrologie et du paysage. Dans un premier temps, le diagnostic est réalisé à la fois sur les aspects paysagers et sur le fonctionnement hydraulique existant. Le calcul des surfaces permet ensuite de connaître les volumes d'eau à recueillir pour les différentes intensités de pluies, à l'aide de coefficients de ruissellements correspondant à la perméabilité des surfaces prises en compte. Ce calcul des volumes permet d'estimer les dimensions des ouvrages de stockage à réaliser. Parallèlement sont étudiées les autres contraintes : réseaux, revêtements, accessibilité, limites de propriétés, contexte urbain, usages, volontés des élus, caractéristiques des sols en place... Commence alors un travail d'allers-retours entre le positionnement et l'intégration des ouvrages sur le site et leur taille qui doit être suffisante pour gérer les eaux de pluies d'une occurrence décidée au départ. Dans le cas du projet des caniveaux à grille, les pluies d'occurrence décennale devaient être gérées par les aménagements, impliquant des dimensions minimales importantes pour le stockage des eaux pluviales. Cependant les contraintes existantes limitent les possibilités de désimperméabilisation. Typiquement, les espaces décaissés de stockage ne peuvent se situer au dessus de réseaux enterrés ou alors respecter une très faible profondeur de décaissement. Pourtant la situation des espaces de stockage est dictée par la micro-topographie des sites laissant peu de possibilités, et les volumes des pluies imposent les profondeurs des ouvrages. De plus, les plantations permettant la végétalisation, et tous les avantages liés à celle-ci développés dans ce mémoire, nécessitent également des profondeurs à creuser. Ces contraintes allant les unes à l'encontre des autres, rendent parfois la tâche compliquée, mais de façon générale facilitent la prise de décision puisqu'il n'y a pas ou peu d'autre(s) solution(s). Elles rendent cependant la collaboration en hydrologie et paysage indispensable pour ne pas commettre d'erreurs, comme un sous-dimensionnement créant des problèmes techniques ou un sur-dimensionnement peu esthétique. La communication entre les acteurs est alors indispensable, les vocabulaires spécifiques liés aux connaissances spécialisées peuvent compliquer la compréhension. Le travail en équipes interdisciplinaires permet d'apprendre à traduire dans le langage de l'autre discipline les informations que l'on souhaite faire passer. C'est également un travail d'anticipation : déterminer les conséquences sur l'aménagement du résultat des calculs et prendre en compte les orientations souhaitées dans le dimensionnement.

L'étude réalisée pour la suppression et le remplacement des caniveaux à grille propose des solutions toujours à ciel ouvert, souvent désimperméabilisées et végétalisées, pour gérer les eaux de pluies jusqu'à la décennale sur site, comme sur le site du parvis d'un stade où une grande partie des sols sont désimperméabilisés pour créer des espaces de stockage (cf figure 18).

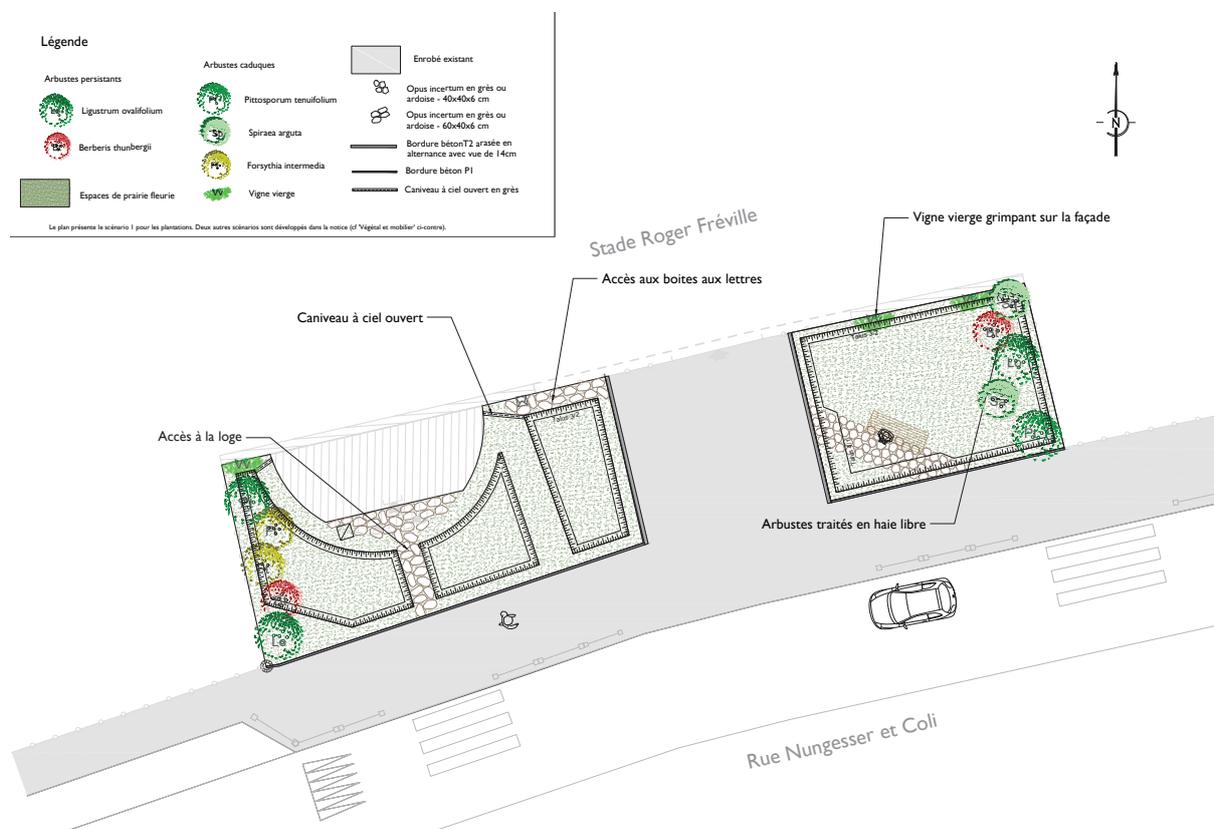


Figure 18. Plan de l'aménagement du parvis du stade Roger Fréville à Pierrefitte-sur-Seine (ATM, 2019)

Si les expertises sont généralement associées mais séparées (l'hydrologue reste hydrologue et le paysagiste reste paysagiste), l'échelle du projet du remplacement des caniveaux à grille m'a permis, en tant qu'ingénieur paysagiste, de réaliser une partie des calculs et des dimensionnements. Cette expérience dans l'autre domaine est essentielle pour mieux comprendre par la suite les questions d'hydrologie et d'hydraulique. Prend alors toute son importance la formation scientifique de base de l'ingénieur, qui lui permet de s'approprier les outils d'autres professions.

Conclusion

Les pratiques de l'aménagement de l'espace urbain, après avoir évolué dans un sens écologique vers une diminution des effets néfastes de l'homme sur l'environnement, se retrouvent aujourd'hui devant une tâche tout autre : la gestion des conséquences du réchauffement climatique. Certaines de ces conséquences arrivant bien plus tôt que prévu et/ou dans des proportions imprévisibles. Jusqu'ici dans une optique de lutte contre le réchauffement climatique, on se trouve aujourd'hui dans une position de gestion de ses conséquences, dont les effets sont extrêmement variables dans une fenêtre de temps courte et finalement peu prévisibles impliquant une adaptation quasi-instantanée des pratiques de l'aménagements aux recherches sur les changements environnementaux. Le travail interdisciplinaire, associant des expertises sur différentes disciplines de l'aménagement est une réponse à un environnement changeant rapidement et imprévisiblement.

Nous avons vu que les projets de désimperméabilisation des sols et de gestion de l'eau en milieu urbain sont bénéfiques en termes d'hydraulique et de paysage. Cependant la collaboration étroite entre professionnels de ces deux disciplines permet d'éviter qu'un des deux aspects soit négligé, voire oublié. Les erreurs de conception ou de réalisation mènent à des projets diminués, amoindris et peuvent être évitées par l'entremêlement des disciplines de l'eau et du paysage. Du diagnostic à la réalisation, la collaboration étroite est bénéfique, tant pour les acteurs qui en retirent une expérience et des connaissances élargies, que pour le projet délivré et pour les usagers du site.

Les enjeux de désimperméabilisation ne sont plus à démontrer : gestion des eaux de pluies et de ruissellements, pollutions, inondations. La désimperméabilisation des sols est prétexte à la végétalisation des espaces, le végétal tirant profit des espaces de stockage-infiltration. La relation est bénéfique pour les deux disciplines concernées de l'hydrologie et du paysage. Les expertises dans les deux domaines sont complémentaires lorsqu'il s'agit de projet de gestion de l'eau en ville, pour une superposition des aspects du projet : renforcement du lien entre habitants et eau au travers des usages et résolution de problèmes techniques liés à la gestion de l'eau.

Cependant l'approche présentée dans ce mémoire présente des limites. Si l'interdisciplinarité permet de réduire les risques d'erreurs et de conflits dans le projet, elle ne les évite pas systématiquement. Il est même inévitable et formateur pour un système de passer par les erreurs et les conflits afin d'évoluer vers des formes et des organisations de plus en plus adaptées. Ainsi, des projets peuvent présenter des «ratés» qui servent cependant d'expérience pour les acteurs de l'aménagement, à toutes les échelles du projet. De plus, les projets actuels modèles, considérés comme innovants et fonctionnels, seront à l'avenir probablement dysfonctionnants et obsolètes. L'aménagement de l'espace reste une discipline répondant aux besoins et aux connaissances d'une société à un moment donné de l'histoire.

Par ailleurs, la pluridisciplinarité ne s'arrête pas qu'aux disciplines de l'hydrologie et du paysage. Tous les domaines liés à l'aménagement urbains, à l'eau et à l'environnement touchent

à la gestion de l'eau en ville : paysagistes et hydrologues, mais aussi écologues, architectes, urbanistes, géographes... Une approche mêlant toutes ces expertises sera d'autant plus complète.

Dans le projet d'aménagement, les concepts de gestion de l'eau à ciel ouvert, de gestion des risques liés au réchauffement climatique, de diminution des impacts du projet sur l'environnement ne sont pas synonymes d'écologie. Les mêmes tendances de gestions alternatives et douces qui permettent aujourd'hui de mener de tels projets sont sources de confusion avec le concept de protection de l'environnement. Le projet d'aménagement ne peut avoir un impact nul sur l'environnement, et il n'est pas question ici d'écologie au sens politique. La notion même de projet est assez contradictoire avec l'écologie, il est seulement possible, dans l'état des connaissances et techniques actuelles, de réduire au minimum l'impact d'un projet sur le milieu. Cette confusion mène parfois à des pratiques de greenwashing dans les projets d'aménagements, où le végétal est mis en avant dans un objectif de publicité et d'acceptation du projet. Le projet de désimperméabilisation et de végétalisation reste bénéfique sur de nombreux points : amélioration du cadre de vie, diminution de la pollution de l'air, création d'espaces récréatifs, amélioration de la santé, régulation des îlots de chaleur urbains, etc.

Enfin, le paysage s'intègre parfaitement à l'approche pluridisciplinaire, mais pourtant ne peut se définir clairement. Il est difficile de ne pas réduire le paysagiste au végétal et au mobilier, lorsqu'il s'agit de répartir les domaines d'action de chaque discipline. Il est d'ailleurs plus facile de parler d'aménageur que de paysagiste concepteur. Ce contexte de travail peut sembler réducteur pour le paysagiste, mais est finalement enrichissant, puisque le paysagiste peut se former auprès des autres disciplines pour créer sa propre expertise multidisciplinaire, ou à l'inverse apporter une vision et une connaissance sur le paysage et l'aménagement auprès des acteurs des différentes disciplines.

Bibliographie

Andrieu H., Berthier E., Rodriguez F., Ruban V. _ Wery C. (2017). *Chapitre 5. Impact de l'urbanisation sur l'hydrologie urbaine et la gestion des eaux pluviales*, 70p.

Barraqué B. (1995). *Les politiques de l'eau en Europe*. Revue française de science politique, 45^e année, n°3, pp. 420-453.

Barraqué B., Isnard L. & Souriau J. (2017). *European urban water crisis : the management dimension*. La houille blanche, 2-2017, Société hydrotechnique de France, 8p.

Brun A. (2009). *Gestion de l'eau en France*. *Économie rurale*, 309, 6p. <http://journals.openedition.org/economierurale/259>

Chocat B. (1997). *Aménagement urbain et hydrologie*. La houille blanche, 7-1997, Société hydrotechnique de France, 8p.

Dorchies D. et al. (2016). *Climate change impacts on water resources and reservoir management in the Seine river basin (France)*. La houille blanche, 5-2016, Société hydrotechnique de France, 6p.

Dournel, S. & Sajaloli, B. (2012). Les milieux fluviaux et humides en ville, du déni à la reconnaissance de paysages urbains historiques. *Urban History Review*, 41, (1), 5–21.

Eleb-Harlé N. et al. (2005). *Hydrologie et paysages urbains en villes nouvelles - Morphologie et logiques de conception*. Ecole d'Architecture de Paris-Belleville, 118p.

European commission (2012). *Soil sealing - In-depth report*. Science for environment policy, DG environment news alert service, 41p.

Gromaire-Mertz M.C. (2000). *La pollution des eaux pluviales urbaines en réseau d'assainissement unitaire - Caractéristiques et origines*. La houille blanche, 2-2000, Société hydrotechnique de France, 5p.

Hautbois O., Menetrix C., Demiautte J.P. & Trincat A.M. (2011). - *Etude sur la gestion de l'eau dans les projets présentés à l'appel à projets EcoQuartiers 2009*. Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, Rapport, 5 – 178.

Larue D. & Da Silva J. (2008). *La complémentarité paysagiste et ingénierie hydraulique*. Atelier LD, GRAIE, 7^{ème} conférence Aménagement durable et eaux pluviales, 57-76.

Leger-Smith F.-A. (2014). *Evolution des pratiques des paysagistes face aux enjeux écologiques*

de la conception urbaine. Architecture, aménagement de l'espace, Université d'Angers, 289p.

Mahaut V. (2009). *L'eau et la ville, le temps de la réconciliation - Jardins d'orage & nouvelles rivières urbaines*. Thèse de doctorat, UCL, Ecole polytechnique de Louvain, Département AUCE, Unité ARCH, 430p.

Margat J. (2000). *Combien d'eau utilise-t-on ? Pour quoi faire ?* La houille blanche, 2-2000, Société hydrotechnique de France, 17p.

Narcy J.-B. & Mermet L. (2003). *Nouvelles justifications pour une gestion spatiale de l'eau*. Natures Sciences Sociétés, 11, 135-145.

Piel C., Pire M. & Maytraud T. (2010). *La maîtrise, le traitement et la récupération des eaux pluviales, supports d'une ville bioclimatique : 4 études de cas*. Novatech, 2010, 10p.

Stokman A. (2008). Water purificative landscapes - Constructed ecologies and contemporary urbanism. Kuitert, Wybe, Transforming with water. Proceedings of the 45th World Congress of the International Federation of Landscape Architects IFLA 2008, Blauwdruk/ Techne Press, Wageningen, 51-61.

Sitographie

[1] Dunmall G. (2018). *How to make a city waterproof*. The economist, [en ligne] disponible sur : <https://www.1843magazine.com/design/how-to-make-a-city-waterproof>

[2] Deutsch J.-C. (s.d.). *La qualité de l'eau et assainissement en France (annexes). Annexe 81 - LES RÉSEAUX UNITAIRES*, [en ligne] disponible sur : <http://www.senat.fr/rap/102-215-2/102-215-272.html>

[3] Météo France (2019). *Le climat - Projections climatiques : passer du global au local*, [en ligne] disponible sur : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/projections-climatiques>

[4] Pham D. (2009). *Waterpleinen: Recreating Rain Reservoirs as Dynamic Public Parks*. [en ligne] disponible sur : <https://inhabitat.com/waterpleinen-rain-reservoirs-a-dynamic-public-spaces/>