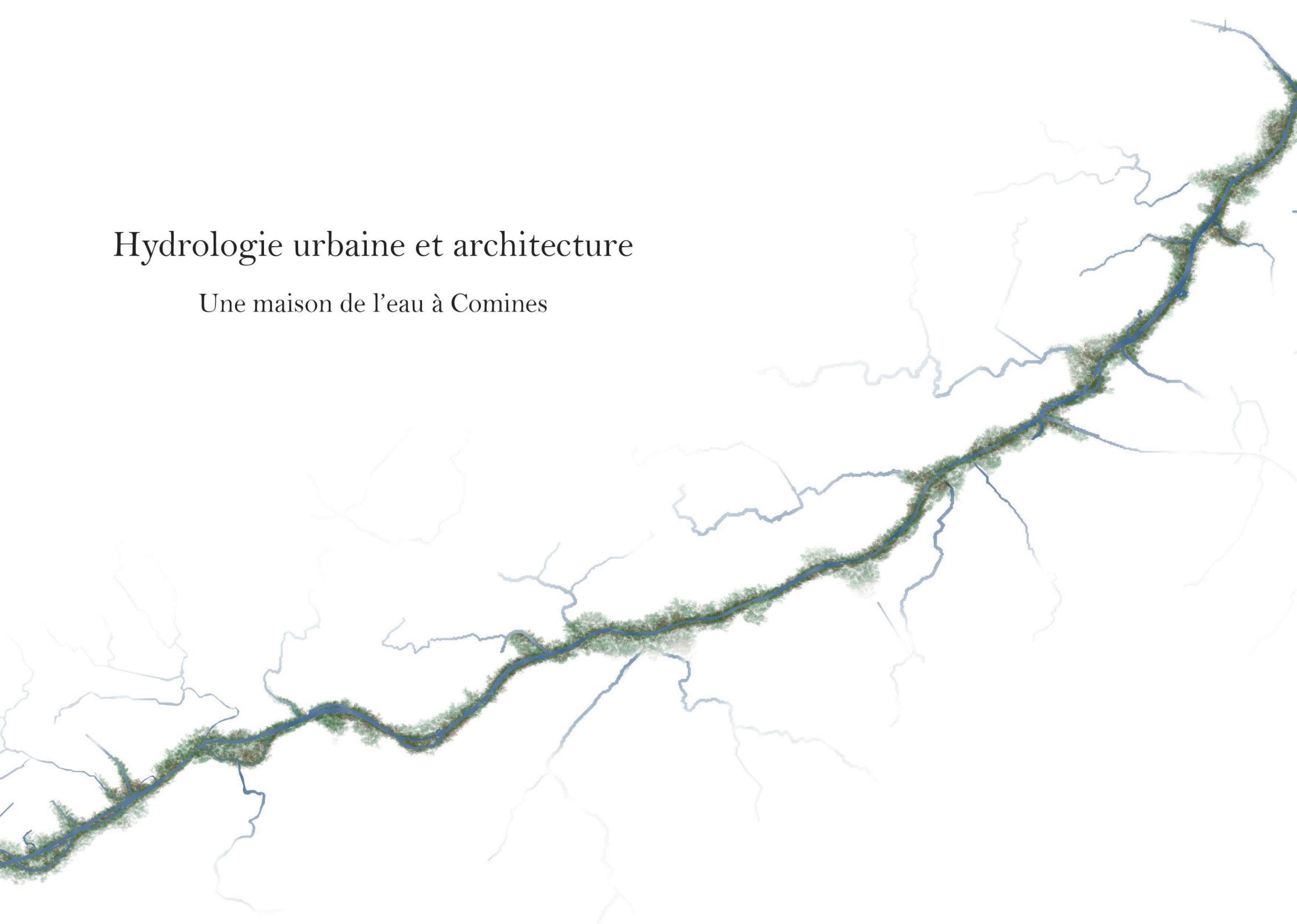


# Hydrologie urbaine et architecture

Une maison de l'eau à Comines



Université Catholique de Louvain  
Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme  
LOCI Tournai

# Hydrologie urbaine et architecture

Une maison de l'eau à Comines

Chloé Dailly

En vue de l'obtention du diplôme d'architecte

Référent:  
Monsieur Henry Pouillon

Expert:  
Monsieur Drozd Christophe

Atelier de recherche en et sur l'architecture:  
Monsieur Eric Van Overstraeten  
Monsieur Pierre Accarain  
Monsieur Quentin Wilbaux

Année Académique 2018 - 2019





Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon promoteur, Monsieur Henry Pouillon. Je le remercie pour le temps qu'il a consacré à m'apporter les méthodes indispensables à la conduite de mes recherches et ses précieux conseils pour la rédaction de mon mémoire.

J'adresse mes sincères remerciements à mes professeurs de projet, Messieurs Eric Van Overstraeten, Pierre Accarain et Quentin Wilbaux, de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé pendant la réalisation de mon projet.

Je tiens à remercier tout spécialement Monsieur Christophe Drozd, Directeur de Sourcéo à Lille, qui a bien voulu être mon mentor et me faire profiter de son expertise pendant toute la durée de mon projet.

Je désire aussi remercier Monsieur Stéphane Vanmarcke, responsable de la station d'épuration de la Commune de Comines, pour m'avoir donné la chance de profiter d'une présentation personnalisée et détaillée de ses installations.

Je remercie tous mes camarades et amis étudiants de la Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale de d'urbanisme LOCI de Tournai, qui par leurs soutiens moraux, leurs conseils et sens critiques ont guidés mes réflexions.

Et enfin je remercie mes parents, Bernard et Thérèse, et ainsi que mon frère Thomas, pour leurs encouragements et leurs soutiens inestimables ... ils ont toujours été là pour moi.

## TABLE DES MATIERES

---

Avant propos - Le château d'eau .....	4
Introduction .....	6
<b>La gestion de l'eau à l'échelle d'un territoire</b> .....	<b>8</b>
<b>I - La gestion de l'eau en France</b> .....	<b>8</b>
1.1 - La gestion de l'eau en France de l'échelle nationale à des actions locales. ....	8
1.2 - La mise en place du SAGE pour la gestion de la Lys .....	10
<b>II - La gestion de l'eau en Belgique</b> .....	<b>10</b>
2.1 - La gestion de l'eau à l'échelle de la Wallonie .....	10
2.2 - La mise en place d'un PASH pour la gestion de la zone l'Escaut / la Lys .....	11
<b>III - Impact des activités humaines sur la qualité de l'eau</b> .....	<b>12</b>
<b>IV - La gestion de l'eau sur les Communes de Comines</b> .....	<b>14</b>
<b>L'eau de pluie - Une nouvelle ressource</b> .....	<b>16</b>
<b>I - L'urbanisation et l'hydrologie - première cause du ruissellement</b> .....	<b>16</b>
1.1 - Le cycle hydrologique - la perméabilité des sols .....	16
1.2 - La gestion des eaux de ruissellement en milieu urbain .....	18
1.3 - La pollution des eaux de ruissellement .....	19
1.4 - Etude de cas - Le parc de Saint-Ouen Les Docks .....	20
1.5 - Etude de l'expansion urbaine des Communes de Comines .....	22
1.6 - Le Choix du site à l'échelle des Communes de Comines .....	30
<b>II - Le cycle de l'eau</b> .....	<b>34</b>
2.1 - Capturer, traiter, stocker et distribuer l'eau, un cycle caché .....	34
2.2 - Un nouveau cycle naturel qui intègre les eaux de pluie .....	36
<b>Capter</b> .....	<b>36</b>
a - Capturer le ruissellement à la source .....	
b - Capturer le ruissellement par un réseau .....	
c - Capturer le ruissellement en aval .....	
d - Mise en place d'un système de captage des eaux de pluie sur les Communes de Comines .....	

<b>Traiter</b> .....	<b>40</b>
<i>a - Traiter à l'échelle du paysage par filière naturelle</i>	
<i>b - Traiter à l'échelle d'un bâtiment</i>	
<b>Stocker</b> .....	<b>56</b>
<i>a - Tout d'abord un peu d'histoire</i>	
<i>b - Les différentes typologies de châteaux d'eau qui ont marqué l'histoire</i>	
<i>c - Fonctionnement d'un château d'eau</i>	
<i>d - Polémique sur l'esthétique des châteaux d'eau</i>	
<i>e - Châteaux d'eau de type «Hennebiques» dans les Hauts de France</i>	
<i>f - Le projet «Château d'eau»</i>	
<b>Distibuer</b> .....	<b>76</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>78</b>
<b>La maison de l'eau en images</b> .....	<b>80</b>
<b>Annexe 1: La station d'épuration de Comines</b> .....	<b>90</b>
<b>Annexe 2: Analyse patrimoniale du pont situé zone des «Bas-Près»</b> .....	<b>91</b>
<b>Annexe 3: Extrait de «L'Atelier Public de Paysage n° 10»</b> .....	<b>92</b>
<b>Annexe 4: Coûts d'investissement pour les bassins de lagunage</b> .....	<b>93</b>
<b>Annexe 5: Etude de cas - Bassins de lagunage sur la Commune de Méze</b> .....	<b>94</b>
<b>Annexe 6: Fiches synthétique des critères de potabilisation</b> .....	<b>95</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>96</b>
<b>Webographie</b> .....	<b>97</b>
<b>Abréviations</b> .....	<b>98</b>
<b>Notes</b> .....	<b>99</b>

## AVANT PROPOS : CHATEAU D'EAU

*Issu du latin « castellum » le « château d'eau » est une expression typiquement française qui entre dans le langage courant au début du XVIIIe siècle.<sup>1</sup>*

Les châteaux d'eau sont des réservoirs d'eau dont la fonction est de distribuer l'eau pour servir différents besoins d'ordre domestique, agricole ou encore industriel. En général l'eau des châteaux d'eau est pompée soit depuis des lacs de surface ou depuis les nappes phréatiques ou encore prélevée à partir de stations d'épuration pour pouvoir ensuite être redistribuée par des réseaux de canalisations complexes selon les besoins des utilisateurs.

Lorsque le relief géologique le permet le réservoir d'eau peut simplement être posé au sol voire même semi-enterré tout en garantissant la pression nécessaire dans les canalisations de distribution d'eau ; par contre lorsque le relief géologique ne le permet pas il faut placer le réservoir d'eau en haut d'une tour.

D'ailleurs dans les pays voisins on les appelle communément des « tours d'eau » comme « torre de aqua » en Espagne, « water toren » en Hollande, « torre del l'acqua » en Italie ...

Alors pourquoi en français cherche-t-on à embellir ces réservoirs d'eau en leur attribuant un nom plus prestigieux comme « château » ? Comme si on chercherait à masquer leur fonction première pour leur donner une notion plus noble ...

Les châteaux d'eau sont devenus incontournables de nos paysages ruraux et urbains. Ils sont surtout devenus des points de repères pour les promeneurs, les automobilistes, les pilotes d'avion et quelques fois mêmes des capitaines de bateau tels des phares lorsqu'ils sont côtiers.

Il est extrêmement difficile d'en faire un recensement. Si on se concentre sur une période de l'histoire comprise entre le début du XVIIIe siècle à nos jours, beaucoup ont été construits, transformés, abandonnés, remplacés et quelques fois détruits selon l'évolution démographique.

En France en 1995 Jean-Yves Jouannais (critique d'art, conservateur de musée et écrivain Français, né le 17 août 1964 à Montluçon) a tenté un inventaire en répertoriant 26 975 châteaux d'eau pour une capacité totale de 8 025 167 m<sup>3</sup> d'eau mais sans différencier les réservoirs surélevés de ceux posés au sol ou semi-enterrés.<sup>2</sup>



*Il dira à l'issue de cet inventaire « que l'on connaît plus précisément la population des baleines de par les océans du monde que celle des châteaux d'eau en France ».<sup>2</sup>*

Il existe une association en France qui continue à essayer de recenser les châteaux d'eau en lançant régulièrement des appels aux villages, villes, agglomérations ... pour qu'ils leur communiquent toutes les informations qu'ils peuvent à leur sujet.<sup>3</sup>

Selon Jean-Yves Jouannais enfin, il arrive qu'à l'appellation de « châteaux d'eau » on aurait souvent tendance à associer des mots et des images plus ou moins négatives comme, « oublié », « détruit pendant la guerre », « dont la laideur approche le sublime », « qui de loin ressemble à des cochers abandonnés » ...<sup>4</sup>

A l'origine de mes recherches pour mes Travaux de Fin d'Etudes je me suis intéressée à la question de la préservation du patrimoine de ces « châteaux » (ceux de type Hennebique auxquels un chapitre sera consacré dans ce mémoire) et aux fonctions nouvelles que l'on pourrait leur apporter ; de nouvelles fonctions contemporaines des problématiques de la protection environnementale ; et c'est ainsi que mes recherches se sont orientées vers l'eau ; le cycle de l'eau et ses filières de traitement ...



## INTRODUCTION

La planète bleue, la terre, est essentiellement composée d'eau avec 70% de sa surface recouverte de mers et d'océans. Mais seulement 3% de cette eau est douce !

70% de cette eau douce est concentrée dans les glaciers situés dans les pôles Nord et Sud. 29% proviennent des nappes phréatiques et moins de 1% des rivières et des lacs.

Par le réchauffement climatique les glaciers fondent et se déversent dans les océans et les nappes phréatiques. Cependant, le niveau de ces nappes diminue fortement à cause de l'intensification de l'urbanisation qui imperméabilise les sols, alors que dans le même temps la consommation en eau douce augmente considérablement.

Phénomène aggravant, les eaux de pluie qui ne peuvent plus directement nourrir les nappes phréatiques en s'infiltrant par les sols naturels, vont ruisseler et accumuler les pollutions présentes sur les zones urbaines devenues imperméables, avant de finalement s'infiltrer dans les sols ou se déverser dans les lacs et les rivières.

Le ruissellement des eaux de pluie déséquilibre également le cycle hydrologique avec une diminution importante de son évaporation.

Ainsi, la gestion des eaux de pluie devient en enjeu crucial.

En Région Lilloise par exemple le PLU (Plan Local d'Urbanisme), en cours d'approbation, va prévoir la sanctuarisation des zones d'infiltration et de captage des eaux de pluie dans la nappe phréatique en interdisant toute nouvelle urbanisation ; les communes concernées ont décidé de s'appeler « les gardiennes de l'eau » et travaillent sur un projet de territoire. A l'opposée, un réseau complexe d'acheminement des eaux de ruissellement vers les stations d'épuration est nécessaire. Des bassins d'orages (20 à 40 000m<sup>3</sup>) doivent être créés pour lutter contre les inondations et la pollution.

Pour la deuxième année consécutive, en Juillet 2018 et très récemment en Avril 2019, Michel Lalonde Préfet de la Région des Hauts-de-France limite les consommations en eau en plaçant la Région en vigilance sécheresse parce que les nappes phréatiques de la Région atteignent des niveaux historiquement bas jusqu'à plus de 1,50m au-dessous des niveaux habituels à ces périodes de l'année.

Et pour la première fois dans cette Région, Le Torrent d'Esnes un petit cours d'eau situé dans le Cambrésis, est déjà à sec dès le printemps ! ce qui laisse supposer que les débits d'étiage des cours d'eau de la Région sont plus faibles qu'ils ne devraient l'être.



*Graphique sur la répartition de l'eau douce sur Terre\**





Graphique sur le pourcentage de ruissellement en zones urbaine et naturelle

Pour faire face au besoin croissant d'eau, la Métropole Européenne de Lille a participé à la mise en place d'un système de traitement d'eau en provenance de la Lys, mais s'agissant d'un cours d'eau son niveau diminue parfois fortement en période d'étiage, elle se penche donc activement à la recherche de nouvelles ressources en eau.

En plus de l'enjeu quantitatif, la dégradation de la qualité de l'eau est une autre préoccupation ! En effet, les activités anthropiques génèrent des polluants véhiculés par les eaux de ruissellement jusqu'aux nappes phréatiques ou ils se concentrent ... Certains forages dans les nappes phréatiques les plus vulnérables ont même parfois dû être tout simplement abandonnés parce que trop contaminés par les pesticides en provenance des agricultures intensives ou des polluants issus des industries, ou parce qu'il était impossible de protéger les terrains qui les entourent.

De façon inéluctable nous sommes lancés dans une course contre la montre ; avec d'un côté des experts, conscients d'une possible proche pénurie d'eau douce, et qui ne cessent de chercher des solutions alternatives à la production d'eau potable ; et de l'autre côté, des consommateurs, qui consomment de façon inconsciente l'eau douce comme si elle était une ressource infinie.

Mon mémoire se compose de deux parties principales ; une première partie abordera des notions générales autour du thème de la gestion de l'eau à différentes échelles territoriales ; et une deuxième partie proposera une réponse urbanistique et architecturale avec la mise en place de solutions alternatives à la captation, la production d'eau douce et à sa réintroduction dans le circuit de distribution d'eau potable, tout en créant un espace ludique ouvert au public autour d'un parcours de sensibilisation sur la thématique de l'importance de l'eau.

L'eau n'a pas de frontière ! Pour la mise en place de mon projet d'études et après de nombreuses recherches je me suis intéressée à la Commune de Comines. Ou devrais-je dire aux Communes de Comines puisqu'il existe en fait deux Communes de Comines, Comines France et Comines Belgique, limitrophes. La frontière entre les pays est matérialisée par la Lys.

Les étapes d'intégration de mon projet sur la Commune de Comines seront progressivement abordées selon la même chronologie du cycle de traitement de l'eau qui structure mon mémoire ; avec la dernière étape : celle de « distribuer », que je n'aborderai que très brièvement dans ce mémoire, mais qui cependant a nourrie mes réflexions pour élaborer des réponses architecturales et urbaines complémentaires dans le cadre d'un cycle de traitement de l'eau cette fois globalisé.

Je conclurai mon mémoire par le partage de mon expérience vécue au travers du développement de mes travaux de fin d'études.



# LA GESTION DE L'EAU A L'ECHELLE D'UN TERRITOIRE

## I - La gestion de l'eau en France

### 1.1 - La gestion de l'eau en France à l'échelle nationale

A partir du milieu du XX<sup>ème</sup> siècle l'évolution démographique croît de façon exponentielle ; le développement économique s'accompagne de la concentration de l'industrialisation dans des zones urbaines de plus en plus denses. Pour nourrir la population on fait de plus en plus appel à l'agriculture intensive.

Les besoins en eau suivent ces évolutions alors que dans le même temps les pollutions liées aux activités industrielles et à la pratique de la culture intensive menacent la qualité de l'eau potable. L'eau devient un enjeu majeur et c'est en 1964 qu'apparaît la première loi pour gérer la politique de l'eau en France.

Cette loi prévoit le découpage de la France en 8 districts hydrographiques en fonction de la répartition des grands bassins et des grands fleuves comme la Seine, la Loire, le Rhin ou encore les rivières du nord de la métropole. Ces districts sont vus comme des territoires administratifs de gestion de l'eau. On compte également 5 districts hydrographiques en outre-mer.

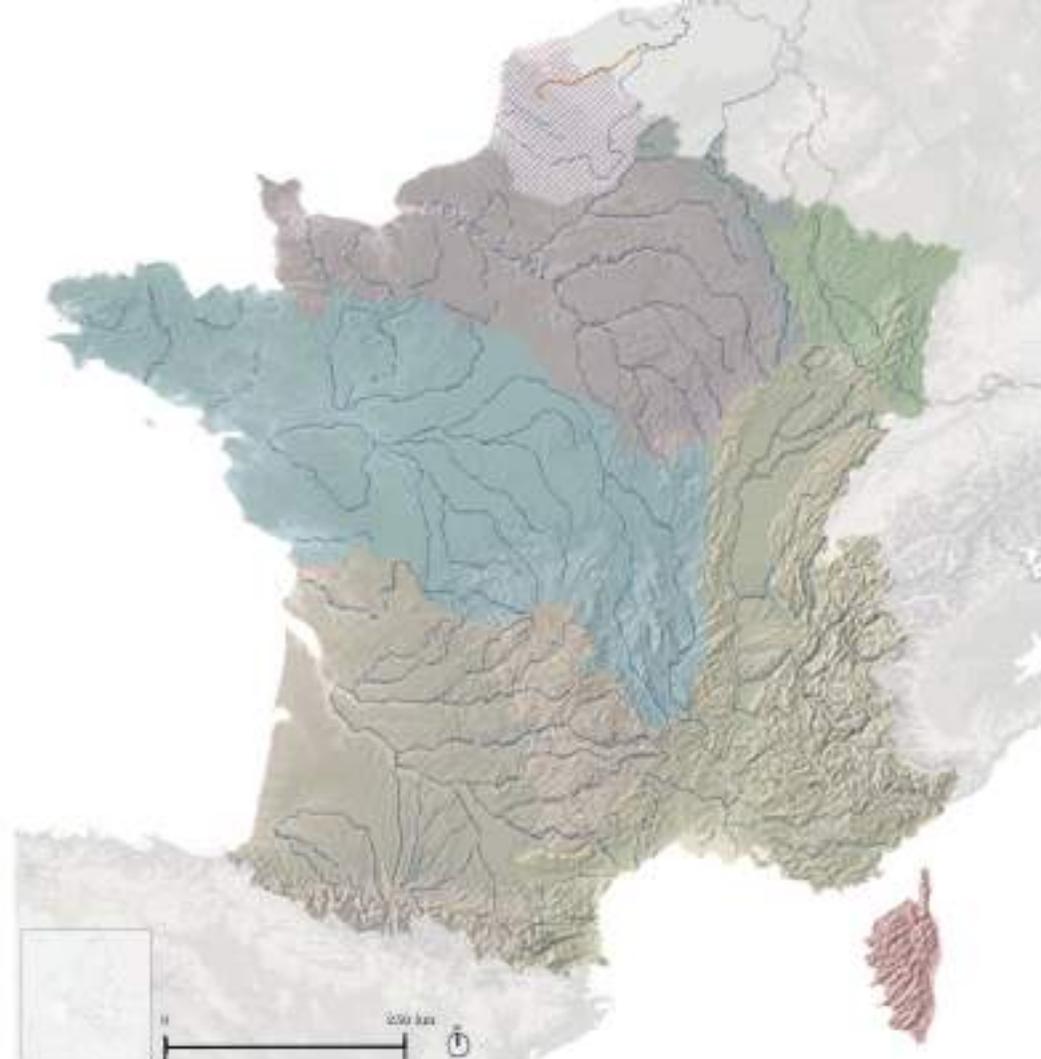
Un district hydrographique est administré par 3 acteurs majeurs.

Le premier : **le comité de bassin**, est formé d'élus, de représentants de l'administration territoriale et de représentants des usagers des secteurs privés, industriels et agricoles. Ensemble ils définissent la politique de gestion de l'eau, des actions à mettre en place pour la répartir de façon équitable entre les différents besoins de consommation et les dispositifs à mettre en place pour lutter contre les sources de pollution.

La seconde : **l'agence de l'eau**, établit les grilles de facturation, collecte les redevances payées par tous les consommateurs et redistribue les fonds à l'ensemble des acteurs du cycle de l'eau (stations de pompage, stations d'épuration et de potabilisation, circuits de distribution ...).

L'ensemble étant placé sous la tutelle d'un troisième acteur : **le Préfet**, coordinateur de bassin, qui s'assure de la bonne mise en place de la politique de gestion de l'eau défini pour son district.

En 1992, une seconde loi sur le développement économique et la gestion de l'eau sera mise en application. L'objectif de cette loi est d'assurer la mise en œuvre de plans d'action pour préserver les écosystèmes aquatiques, avec la mise en place de solutions de régénération de la ressource et de se protéger contre les inondations.



La division de la France en 8 districts hydrographiques

#### Légende:

- |   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|  | L'escant, La Somme et les cours d'eau côtiers de la Manche et de la Mer du Nord                  |  | Le Rhône et les cours d'eau côtiers méditerranéen |
|  | La Seine et les cours d'eau côtiers normands   |  | Le Rhin   |
|  | La Loire et les cours d'eau Côtiers Vendéens et breton   |  | La corse  |
|  | L'adour, la Garonne, la Dordogne, la Charente et les cours d'eau côtiers charentais et aquitains |  | La sambre et la Meuse                             |



Carte du SAGE de la Lys

Légende: qualité du réseau en 2003



Aménagements paysagers prévus à Deûlemont pour protéger les zones de captage.

Dorénavant chaque bassin possède son SDAGE, un Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux géré par le Comité de bassin à l'échelle de son district. Plus localement des zones plus spécifiques peuvent être gérées par des SAGE, Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux. Un SDAGE peut couvrir plusieurs SAGE.

L'Union Européenne s'empare du problème de la gestion de la qualité des eaux à l'échelle européenne et adopte en 2000 la DCE : Directive Cadre Eau, obligeant les états membres à mettre en place une politique de planification pour la reconquête de la qualité chimique, biologique et physique des lacs, rivières et eaux souterraines.

Il faudra attendre néanmoins 9 ans pour qu'en 2009 les états membres valident une loi de programmation de cette DCE avec pour chacun des états des premières échéances définies et attendues en 2015.

La même année en 2009 en France, la loi de programmation de la DCE à l'échelle européenne est renforcée par le Grenelle de l'environnement qui globalise les plans d'action de protection environnementale à l'échelle nationale. Aujourd'hui chaque SDAGE répond aux objectifs de la DCE et du Grenelle de l'environnement.

C'est ainsi que sont aujourd'hui créés des parcs ou des zones naturelles de filtrage entre les zones d'exploitation agricole et les zones de captage des eaux pour lutter contre les pollutions d'origine agricole.<sup>3</sup>

Un exemple concret de la mise en application de ces lois programmatiques est l'ensemble des initiatives réalisées autour du Parc de la Deûle inscrites dans la trame bleue et verte de l'Eurométropole Lille - Kortrijk - Tournai ; au travers d'un GECT Groupement Européen de Coopération Territoriale de 152 communes belges et françaises pour aider à la bonne entente des deux pays transfrontaliers.<sup>6</sup>

Le parc de la Deûle a été redessiné pour protéger les zones de captage autour du fleuve sur une étendue de 400 hectares au sud de la métropole lilloise. C'est en 1995 qu'un collectif d'architectes paysagistes-urbanistes, agronomes, forestiers et écologues se réunit autour de Jacques Simon (Paysagiste DPLG) du cabinet JNC international<sup>7</sup> pour réfléchir à la mise en place « d'une nature retrouvée à Santes et Haubourdin, d'une nature domestiquée à Wavrin et d'une nature rêvée aux jardins Mosaïque à Houplin Ancoisne ». Le parc de la Deûle a été vainqueur en 2006 du grand prix national du paysage et en 2009 vainqueur du prix du paysage du conseil de l'Europe.

## 1.2 - La mise en place d'un SAGE pour la gestion de la Lys

Côté France, suite aux inondations des hivers 1993/94 et 1994/95 qui ont touché environ 50 communes qui ont été déclarées sinistrées par des arrêtés « catastrophe naturelle »<sup>8</sup> et conformément à la loi de 1992, les élus locaux ont pris la décision de signer un schéma d'aménagement et de gestion des eaux pour le bassin versant de la Lys.

Celui-ci regroupe 225 communes (175 dans le Pas de Calais et 50 dans le Nord) il est donc également concerné par le SDAGE du bassin Artois-Picardie de 2009.<sup>9</sup>

La source de la Lys se trouve à Lisbourg en Artois ; longue de 198 km elle parcourt 85 km en France pour venir ensuite matérialiser la frontière franco-belge sur 25 km puis parcourir les 88 km restants en Belgique pour venir enfin se jeter dans l'Escaut à Gand en Flandre.<sup>8</sup>

Dans le but de tendre vers un partage équilibré de l'eau entre les différents usagers et la préservation des milieux aquatiques comme le demandent la loi de 1992 et le SDAGE de 2009, un SAGE pour la création d'un espace d'échanges et de concertation autour de la problématique de la gestion de l'eau au sein du bassin versant de la Lys depuis Lisbourg et Armentières est approuvé par la commission locale de l'eau par arrêté préfectoral après enquête publique en aout 2010.<sup>9</sup>

Les quatre plus gros enjeux pour le SAGE de la Lys sont la gestion qualitative des eaux, la gestion et protection des milieux aquatiques, la gestion quantitative de la ressource en eau et pour finir la gestion des risques.<sup>8</sup> Mais les prérogatives de ce SAGE s'arrêtent à la frontière.

## II - La gestion de l'eau en Belgique

### 2.1 - La gestion de l'eau à l'échelle de la Wallonie

C'est un peu plus tard en 1999 qu'en Belgique la Région Wallonne met en place une SPGE<sup>10</sup> Société publique de Gestion de l'Eau, avec pour objectif d'assurer la coordination et le financement du secteur de l'eau.

Avec d'autres acteurs elles ont essentiellement en charge l'assainissement des eaux usées avec la gestion de pas loin de 437 stations d'épuration et de la protection des captages. Leurs missions principales sont : la collecte et le traitement des eaux usées



*La division de la Belgique par des limites orohydrographiques*

Légende:

	Disctriect de l'Escaut
	Disctriect de la Meuse
	Disctriect de l'Oise
	Disctriect du Rhin



Le PASH pour la zone l'Escaut / La lys<sup>8</sup>

Légende:

	Assainissement collectif		réseau en construction		réseau à réaliser		réseau existant	
	Assainissement autonome							Collecteur sous pression
	Assainissement transitoire							Egout sous pression
								Collecteur gravitaire

qui aboutissent dans une station d'épuration, la protection des ressources hydriques dont les captages et les zones de baignade, la participation à l'élaboration des plans de gestion, la coordination du secteur de l'eau et la valorisation de la ressource et pour finir le financement intégral de l'ensemble de ces missions.

La Wallonie adoptera le 13 septembre 2001 le même principe de diviser la Région en fonction des grands cours d'eau pour une meilleure gestion de l'eau en mettant en place des limites orohydrographiques. On compte quatre districts hydrographiques à l'échelle internationale avec l'Escaut, la Meuse, le Rhin et la Seine. Dans chacun des districts on retrouve des sous-bassins à l'échelle nationale qui garde le nom du fleuve de la zone délimitée, comme le sous-bassin Escaut-Lys dans le District de l'Escaut par exemple.

A l'échelle de la Région, le PCGE : Plan Communal Général d'Egouttage a été remplacé par un PASH : Plan d'Assainissement par Sous-bassin Hydrographique. Celui-ci permet de clarifier l'appartenance de chaque parcelle à une zone d'assainissement définie ; régime d'assainissement collectifs<sup>11</sup> ou régime d'assainissement autonome<sup>12</sup> et d'autres zones en transition<sup>13</sup>.

La SPGE a confié la réalisation de cette carte à l'OAA : Organismes d'Assainissement Agréés.

## 2.2 - La mise en place d'un PASH pour la gestion de zone l'Escaut / la Lys

Chaque PASH est composé d'une carte accompagnée d'un dossier détaillé qui déterminent les modes d'assainissement pour chaque habitation en Wallonie. Le Gouvernement Wallon les a tous approuvés entre 2005 et 2006 et sont donc en application aujourd'hui.

Le sous-bassin l'Escaut-Lys fait partie du DHI : District Hydrographique International de l'Escaut. Il s'étend sur 766 km<sup>2</sup> pour 226 297 habitants.

Sur la carte du PASH ci-dessous, on observe l'étendue de l'assainissement collectif à Comines Belgique en prenant connaissance du réseau d'égouttage qui part jusqu'à la station d'épuration. Tous les éléments en rapport avec le réseau d'eau y sont présents. Ainsi donc, même si à l'échelle européenne la prise de conscience de l'importance de la préservation de nos ressources naturelles et de l'eau en particulier a été plus tardive, nos administrations nationale française et belge se sont plus rapidement mobilisées autour de ces questions pour mettre en place les mesures nécessaires. Mais attardons-nous maintenant à comprendre qui sont ces consommateurs pas toujours conscients de la rareté des eaux douces et les pollutions qu'ils génèrent par leurs activités.

### III - Impact des activités humaines sur la qualité de l'eau

La quantité d'eau douce disponible dans le monde atteint des niveaux critiques. En 1950 la population mondiale était de 2,5 milliards d'habitants avec un volume d'eau douce disponible et renouvelable de 17 000m<sup>3</sup> d'eau par habitant. En 1995 pour presque 6 milliards d'habitants le volume d'eau douce disponible et renouvelable était réduit à 7500m<sup>3</sup> par habitant. Avec une projection de 8,5 milliards d'habitants à l'horizon de 2025 la quantité disponible par habitant se réduirait encore à 5100m<sup>3</sup>.<sup>12</sup>

L'utilisation de l'eau potable est classée en 3 grands domaines, le domestique qui n'utilise que 15% de la ressource (consommation moyenne journalière : 6 à 10 litres pour une chasse d'eau, 60 à 80 litres pour une douche, 24 litres pour la cuisine, 1,5 litres pour la boisson...)<sup>16</sup>, l'agriculture qui est le plus gros consommateur avec 67% d'utilisation de la ressource (on a besoin de 14000 litres d'eau pour 1kg de bœuf, 1500 litres pour produire 1kg de blé, 400 litres pour produire 1kg de maïs...) et enfin l'industrie qui en moyenne consomme 20% de la ressource (la fabrication d'un jeans consomme 10 000 litres d'eau potable et 5000 litres pour un T-shirt, ce qui correspond à 70 douches)<sup>17</sup>.

En France en 2004 on a prélevé des nappes phréatiques et des eaux de surface environ 34 milliards de m<sup>3</sup> ; 19 milliards de m<sup>3</sup> ont été utilisés pour refroidir les centrales qui produisent de l'électricité ; 4,7 milliards de m<sup>3</sup> pour irriguer nos exploitations agricoles ; 6 milliards m<sup>3</sup> ont été consommés par nos industries ; et enfin 4,45 milliards pour la consommation en eau potable. Par ailleurs nous perdons beaucoup d'eau dans nos circuits de distribution ; on estime une perte de l'ordre de 10%.

Certes en France et en Belgique nous ne sommes pas encore en pénurie d'eau mais nous arrivons bientôt à la limite du manque de ressource. En effet certaines villes observent leurs châteaux d'eau presque à sec et n'arrivent plus à assurer les besoins en consommation de leurs habitants comme à Flavigny-sur-Ozerain, en Côte d'or.

Ce village de France très touristique voit sa population doubler l'été et la municipalité a dû prendre la décision en août 2017 de couper le réseau d'eau entre 18h et 8h pour faire des économies et laisser au château d'eau le temps de se remplir.<sup>18</sup>

Ce fut un grand bouleversement pour les habitants, ils ont ainsi pris conscience du risque de pénurie d'eau et ont dû s'obliger à changer leur mode de vie en s'équipant par exemple de récupérateurs d'eau de pluie ; sur ces changements de mode de vie une mère de famille témoigne « on remplit une bouteille d'eau pour la nuit, on se lave avant, on s'organise autrement et sincèrement, c'est quelque chose qui peut se faire ».<sup>18</sup>

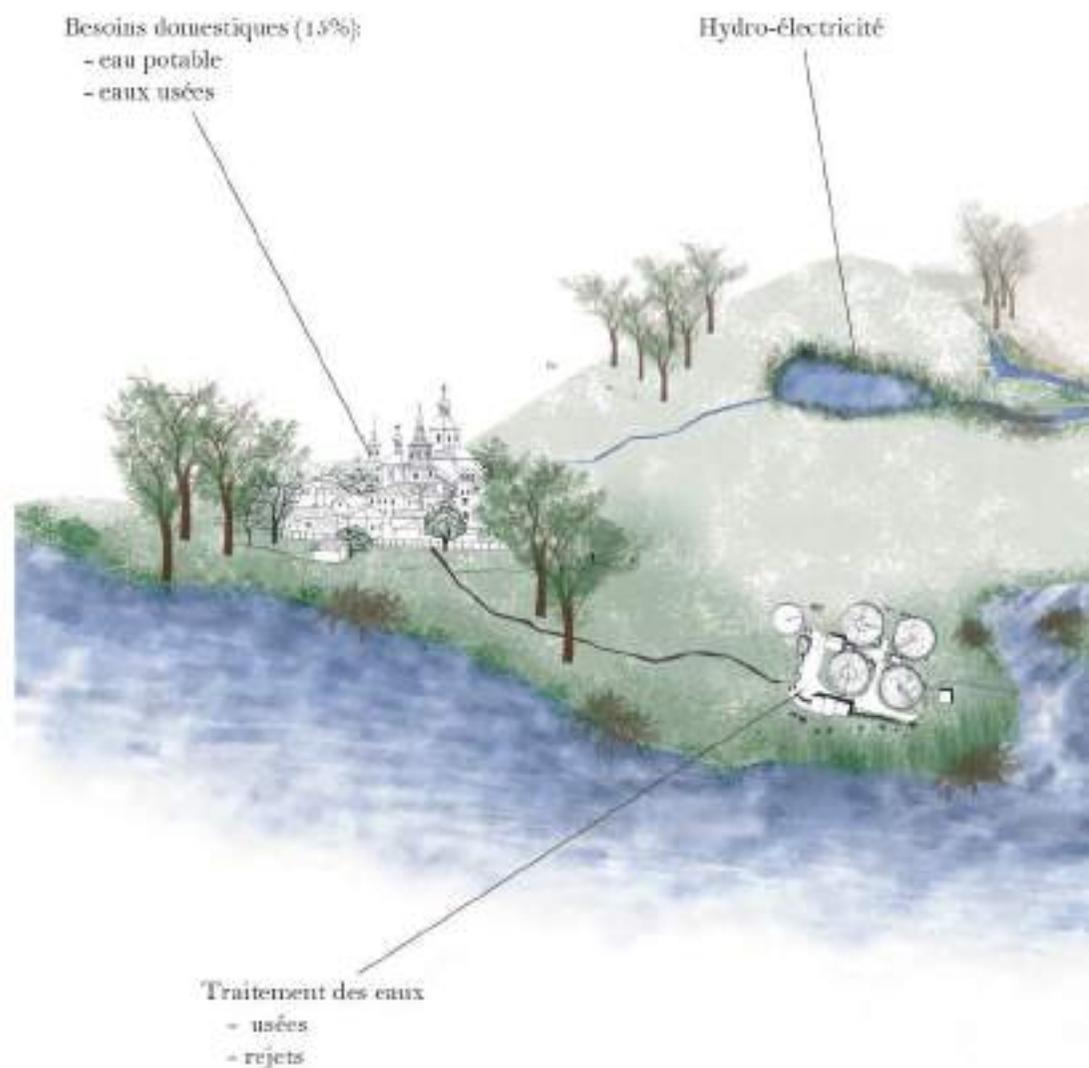
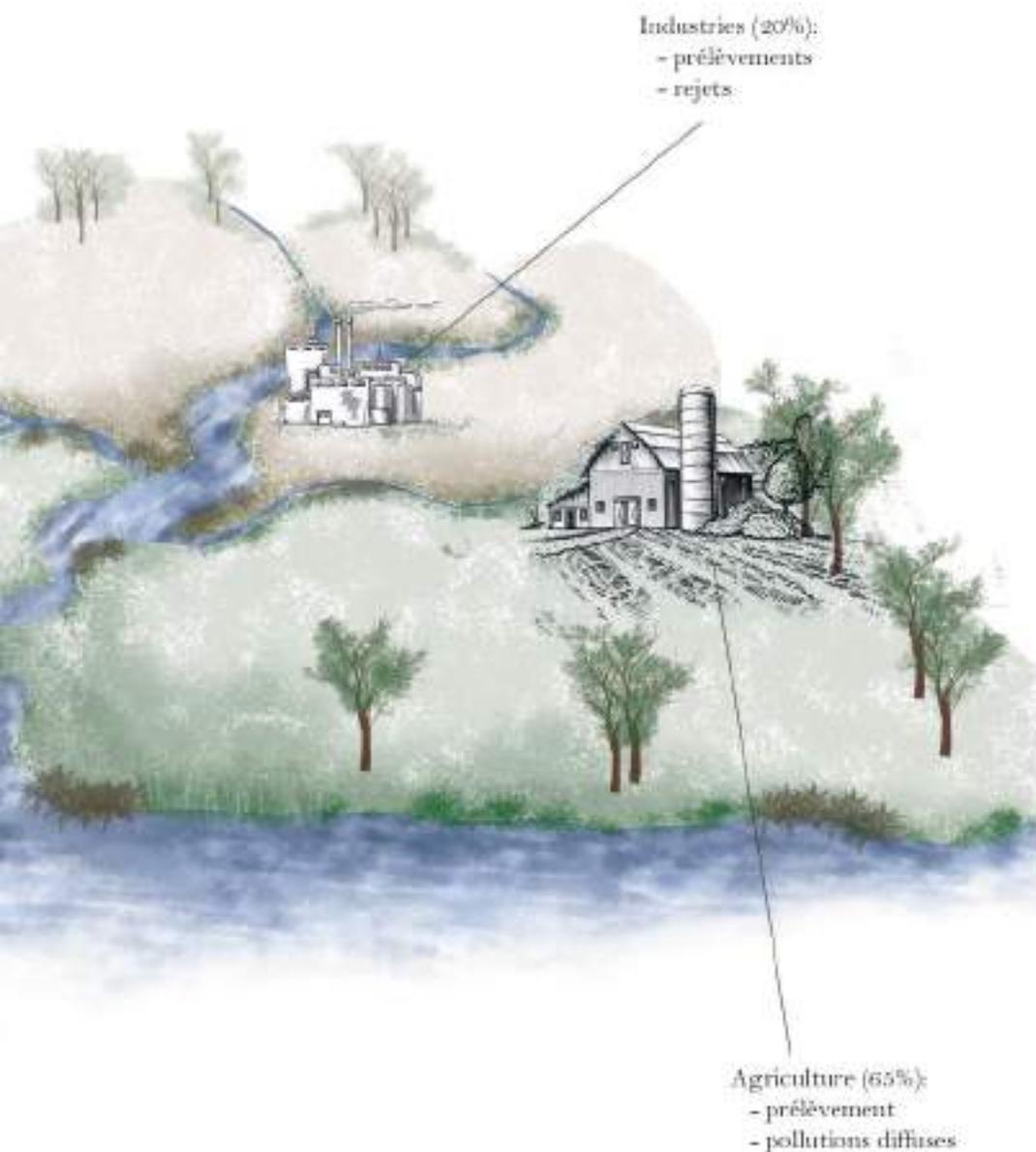


Schéma sur la répartition et l'utilisation de l'eau



Mais l'augmentation des besoins en eau et la sécheresse ne sont malheureusement pas les seuls phénomènes aggravant la rareté de la ressource ; les niveaux de pollution de l'eau deviennent de plus en plus inquiétants ; plus de 20% des eaux de surface sont sérieusement menacés<sup>19</sup> et notamment par les pratiques agricoles, les décharges et rejets industriels ou urbains.

Ainsi, l'eau reste la première cause de mortalité dans le monde avec 4 millions de décès par an selon l'OMS : Organisation Mondiale pour la Santé. Selon un rapport commun OMS-UNICEF de 2008 près d'1 milliard de personnes n'ont tout simplement pas accès à l'eau potable dans le monde et plus de 2 milliards de personnes ne disposent pas d'un assainissement adéquat<sup>20</sup>. Alors que dans le même temps en France et en Belgique la consommation moyenne est de 165 litres par jour et par habitant.

La surexploitation, la pollution, la destruction des écosystèmes et le changement climatique induits par l'homme sont des menaces pour l'eau contre lesquelles l'union européenne se mobilise car dans la mesure où les changements climatiques vont aggraver les situations, une bonne gestion de l'eau est plus que jamais une des conditions du développement durable humain, qui passe par des enjeux comme l'accès à tous de l'eau potable et à l'assainissement des eaux usées, préserver les ressources et les milieux aquatiques ...

#### IV - La gestion de l'eau sur les Communes de Comines

La Lys matérialise la frontière entre les Comines belge et française sur une distance de 25 km dont on analysera l'évolution du tracé au fil des siècles au travers de l'analyse des cartes un peu plus loin dans ce mémoire.

La station d'épuration des deux Comines se trouve du côté Français de la frontière et est située juste derrière un ancien bras mort de la Lys alors qu'elle est administrativement gérée par l'Intercommunale IPALLE Wallonne qui met en place la gestion de l'eau sur l'ensemble d'un secteur qui couvre la Wallonie Picarde et le Sud Hainaut (représentant 30 Communes pour 395 000 habitants).

L'IPALLE est fondée en 1976 avec pour mission de gérer les stations de pompage, d'épuration et de collecte des eaux usées de la zone dont elle a la charge. D'ailleurs sur la Commune de Comines on compte 14 stations de pompage. Les eaux de pompage sont ensuite traitées et potabilisées dans l'usine de potabilisation de Moulin Le Comte.<sup>77</sup>

La Commune de Comines a mis en place des réseaux d'égouttage avec une collecte séparée entre les eaux usées domestiques et les eaux pluviales ; mais le paradoxe c'est qu'elles sont mélangées à l'entrée de la station d'épuration pour suivre la même filière de traitement.

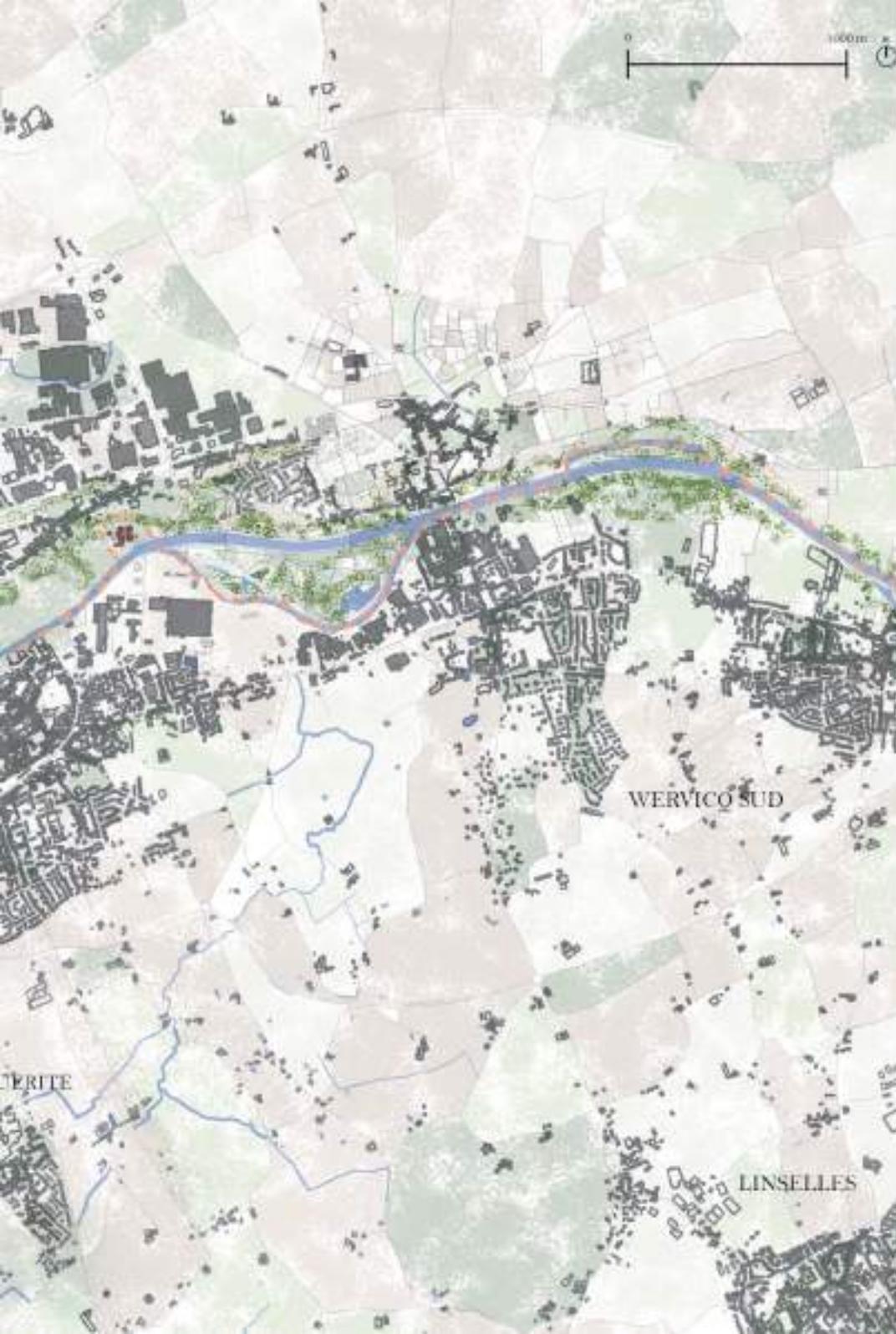
J'ai eu la chance de rencontrer Stéphane Vanmarche, ingénieur responsable de la station d'épuration de la Commune de Comines, qui m'a fait une visite complète des installations et expliqué de façon très détaillée les étapes de traitement [voir annexe 1].

La station d'épuration récupère les eaux usées en provenance du quartier de Sainte Marguerite à Comines, Wervicq-Sud et Linselles côté France et de Comines Warneton côté Belgique. Bien que certains sites industriels situés sur la Commune de Comines (principalement installés côté Belgique) possèdent leur propre système de traitement de leurs eaux usées, la station d'épuration récupère néanmoins les eaux usées des activités industrielles.

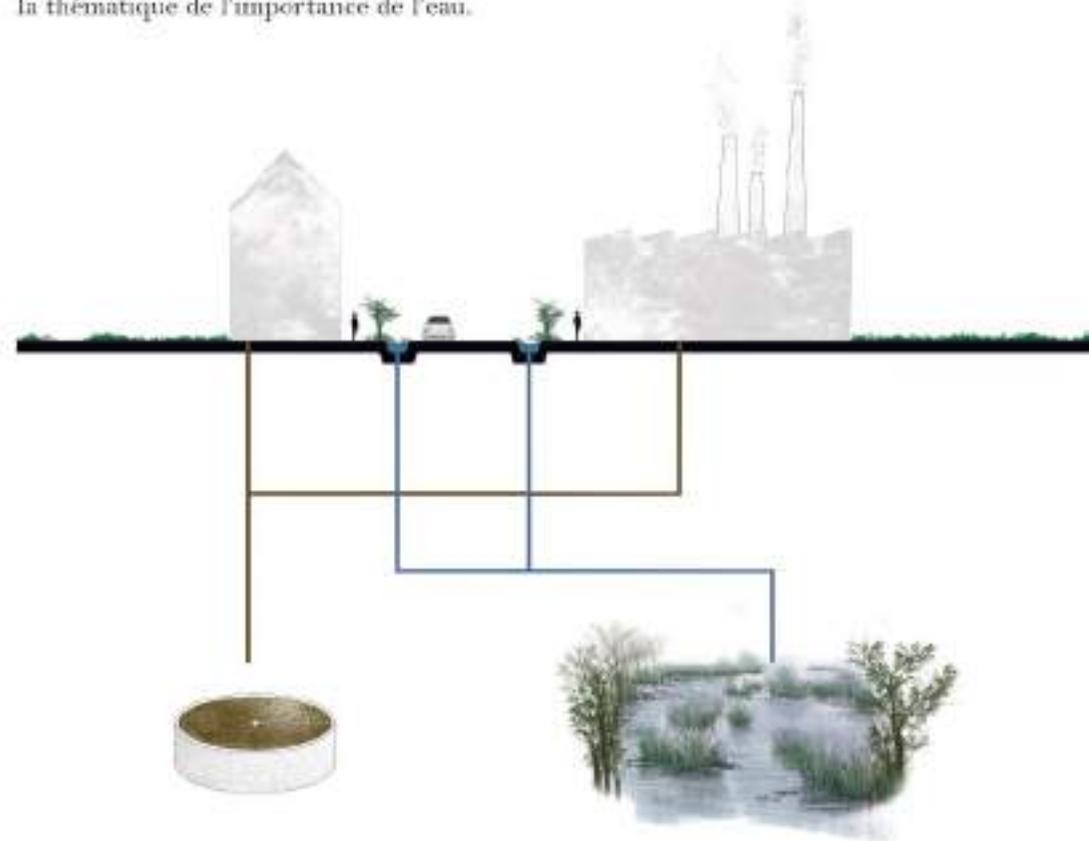
Elle est dimensionnée pour traiter les eaux usées de l'équivalent de 40 000 EH Equivalent Habitant avec un débit de 2 400 m<sup>3</sup> par heure pour une consommation moyenne de 150 litres par jour et par habitant.

Dans la station d'épuration il a été installé un bassin d'orage qui fait tampon en cas de très fortes précipitations avec un déversement des eaux de pluie vers la Lys en cas de surcharge du bassin.





L'idée du Projet est de détourner les eaux pluviales de ruissellement et du réseau pluvial strict pour qu'elles puissent être traitées par un système de filtration écologique naturel par le réaménagement d'une zone paysagère aujourd'hui abandonnée tout en créant un espace ludique ouvert au public autour d'un parcours de sensibilisation sur la thématique de l'importance de l'eau.



*Schéma illustrant la séparation souhaitée entre les eaux pluviales et les eaux usées*

Légende:

- COMINES Communes reliées à la station d'épuration de Comines
- Frontière Franco-Belge
-  Station d'épuration de Comines

*Plan des Communes de Comines*

## L'EAU DE PLUIE - UNE NOUVELLE RESSOURCE

### I - L'urbanisation et l'hydrologie - première cause du ruissellement

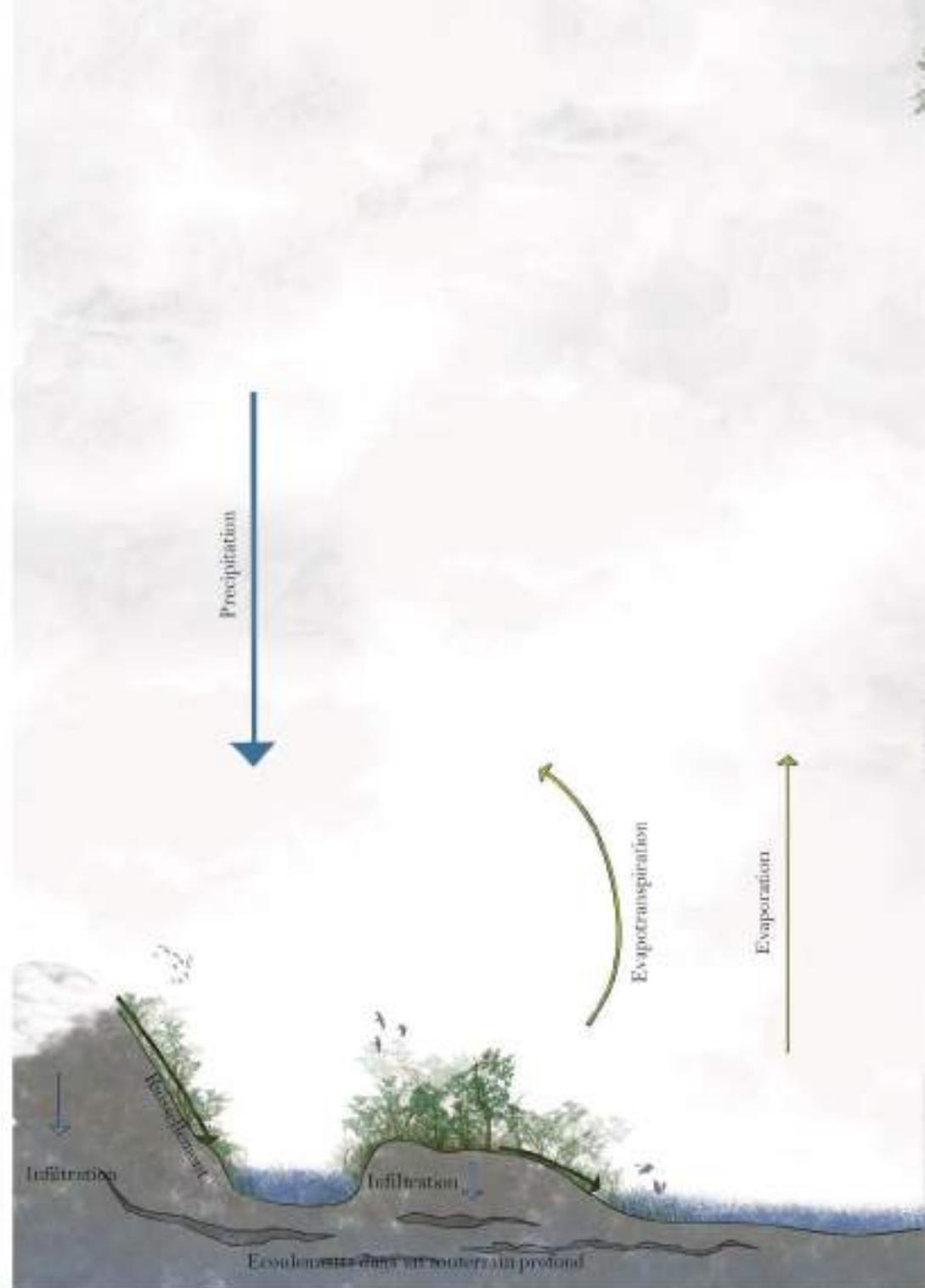
Entre le XVIII<sup>e</sup> siècle et le XIX<sup>e</sup> siècle le monde s'est progressivement transformé d'un monde très longtemps resté agricole en un monde devenu très rapidement industriel. Les populations plutôt clairsemées sur de vastes territoires de campagnes commencent à se concentrer dans des villes. Le monde s'urbanise ! Au milieu du XX<sup>e</sup> siècle seulement 30% de la population mondiale vivait dans les villes et les projections démographiques estiment que d'ici à 2050 70% de la population mondiale sera concentrée dans de grands centres urbains.<sup>22</sup>

Les concentrations urbaines doivent faire face à une augmentation importante de nuisances : saturation du trafic routier, augmentation des gaz à effet de serre, pollution atmosphérique, augmentation de la production des déchets et imperméabilisation des sols de plus en plus bétonnés et goudronnés ; autant de facteurs qui viennent perturber le cycle hydrologique naturel.

#### 1.1 - Le cycle hydrologique - la perméabilité des sols

Lors des précipitations les eaux de pluie empruntent des chemins variés pour atteindre les nappes phréatiques, soit en pénétrant directement les sols selon leur perméabilité et les taux de densification urbaine, soit par ruissellement avec le risque d'être chargées par la pollution des sols, soit elles retournent dans l'atmosphère par évaporation.

Pour analyser les phénomènes hydrologiques du cycle de l'eau on distingue 3 types de perméabilité des sols avec, des sols perméables, des sols semi-perméables et des sols imperméables.<sup>23</sup>



Le cycle hydrologique

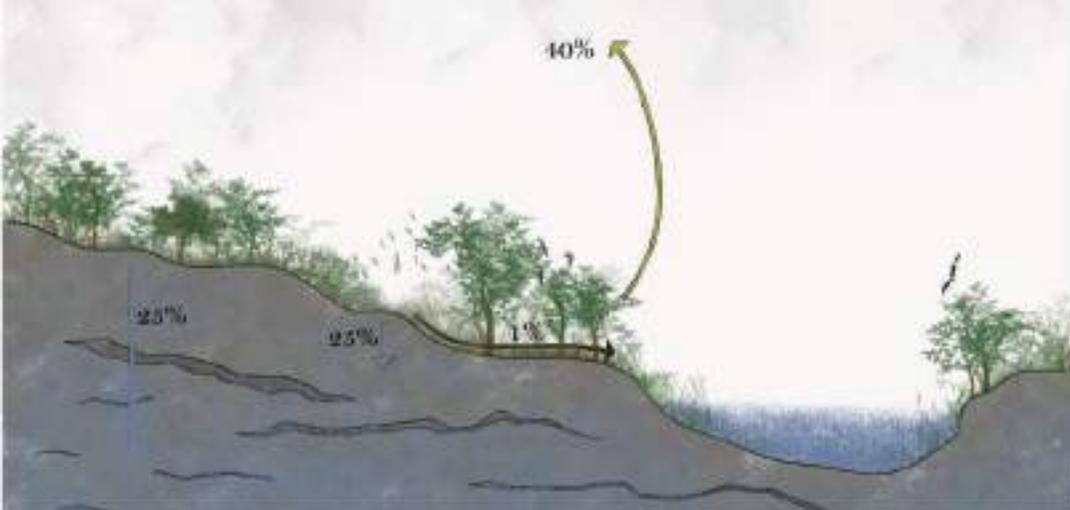


Figure 1 : Cycle hydrologique d'un sol perméable

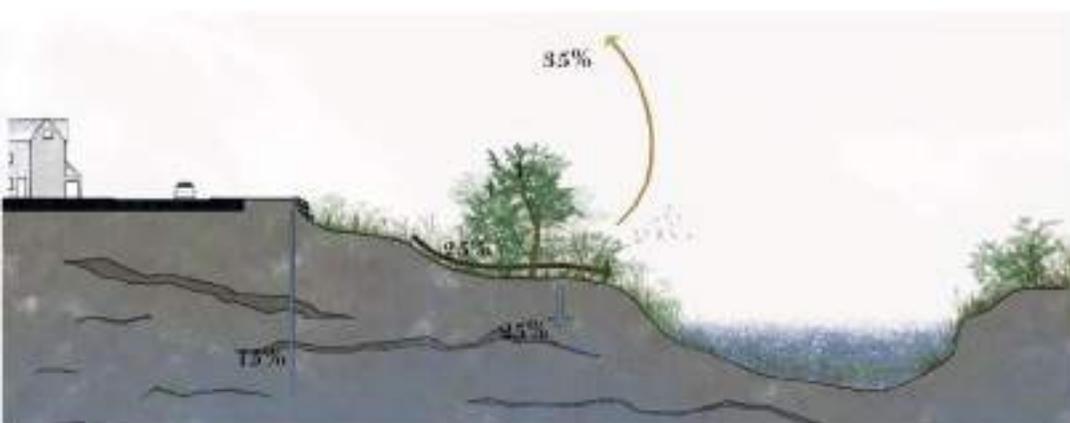


Figure 2 : Cycle hydrologique d'un sol semi perméable

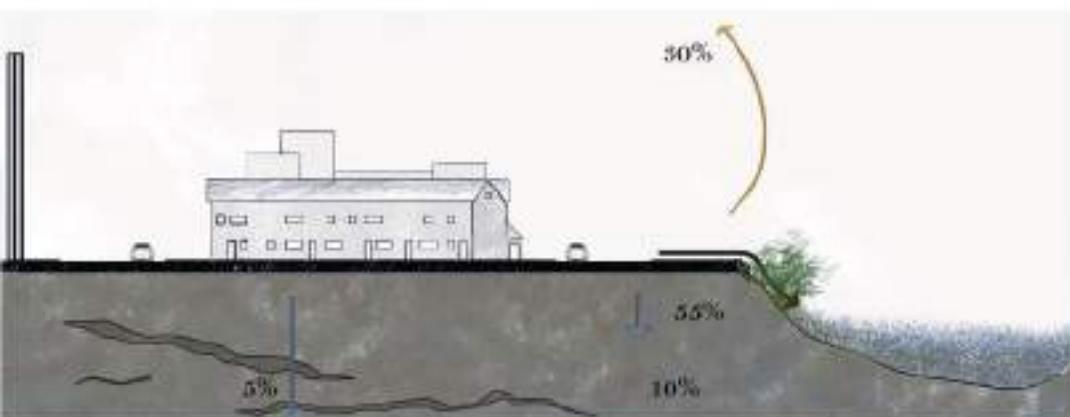


Figure 3 : Cycle hydrologique d'un sol imperméable

### Sol perméable:

Dans les zones naturelles les sols perméables permettent aux eaux de pluie de s'infiltrer facilement jusqu'aux nappes phréatiques. Le taux de pénétration est variable en fonction de la composition des sols. Un sol plutôt sableux sera plus poreux et filtrant alors qu'un sol argileux le sera beaucoup moins.

En fonction de la nature du sol on estime le taux de pénétration de l'eau de l'ordre de 50% dont 25% atteindront les nappes phréatiques. Grâce aux dénivelés des sols l'eau peut aussi ruisseler entre les arbres et la végétation basse jusqu'aux cours d'eau. C'est ce qu'on appelle les eaux de ruissellement qui sur les sols naturels sont de l'ordre de 1%. La végétation consomme elle aussi une partie de cette eau de pluie qui sera ensuite restituée par évaporation à l'atmosphère pour environ 40%.

### Sol semi perméable:

Dans les centres urbains à densité moyenne les sols deviennent imperméables avec des surfaces couvertes en  $m^2$  qui peuvent varier de 20 à 30%.

En conséquence la pénétration des eaux de pluie dans les sols diminue mais reste encore à des niveaux acceptables de l'ordre de 40% dont un peu moins de la moitié jusqu'aux nappes phréatiques. Le taux des eaux de ruissellement augmente à 25% et le taux d'évaporation à 35%.

### Sol imperméable:

Mais ce sont dans les centres urbains à très forte densité avec des surfaces couvertes qui peuvent atteindre 75% de  $m^2$  que les choses se compliquent.

Cette fois le taux de pénétration des eaux de pluie dans les sols est considérablement réduit pour ne plus atteindre que 15% avec seulement 5% jusqu'aux nappes phréatiques. Par contre les eaux de ruissellement augmentent considérablement jusqu'à 55% et le taux d'évaporation n'est plus que de 30%.

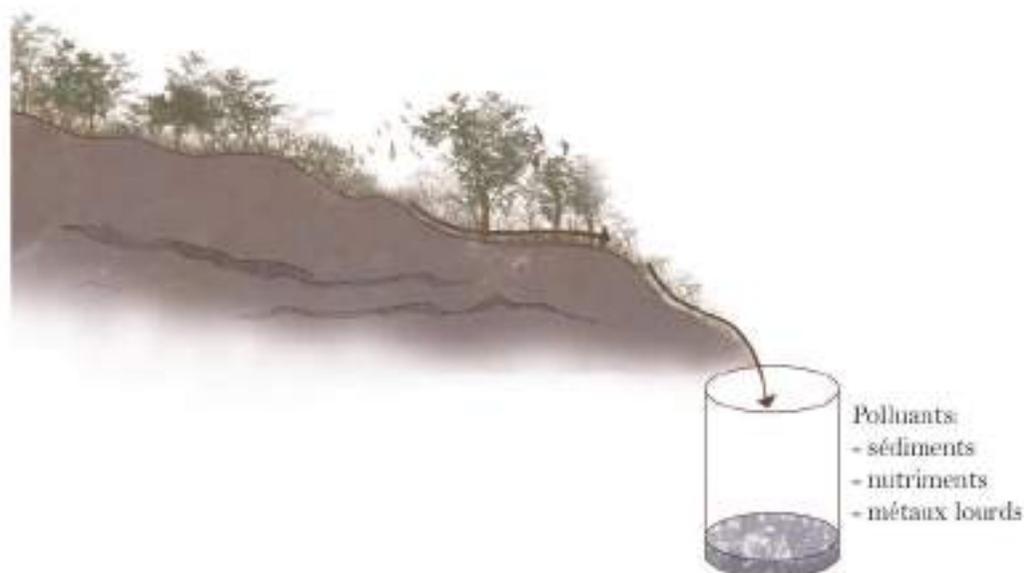
Comme nous venons de le constater la concentration de l'urbanisation à un impact direct sur l'augmentation des eaux de ruissellement.

Cependant il arrive également qu'en cas de très fortes pluies les sols perméables soient saturés en eau ne pouvant ainsi plus les absorber et ainsi augmenter les phénomènes de ruissellement jusqu'à créer des inondations lorsque les lacs, rivières et plans d'eau voisins finissent eux aussi par être saturés.

## 1.2 - La gestion des eaux de ruissellement en milieu urbain

En milieu urbain et sur les zones couvertes, les eaux de pluie tombent soit sur les toitures des bâtiments ou des maisons individuelles, soit sur les voiries. Les eaux de pluie sont ensuite acheminées par le réseau d'assainissement vers les stations d'épuration. Dans les réseaux d'assainissement les plus récents il y a une séparation entre les récupérations des eaux de pluie et celles des eaux usées domestiques. Mais pour les réseaux anciens ce n'est pas toujours le cas et les stations d'épuration doivent indifféremment filtrer et traiter l'ensemble des eaux qui y sont acheminées.

L'accroissement démographique et la densification des zones urbaines saturent les systèmes d'assainissement qui doivent régulièrement être réadaptés par des extensions régulières de la performance de filtration des stations d'épuration avec les contraintes budgétaires que cela implique.



*Volume de ruissellement en milieu naturel*



*Volume de ruissellement en milieu semi-péremable  
(50% de sols perméables)*

### 1.3 - La pollution des eaux de ruissèlement

Au-delà du fait que le ruissellement ne permet plus d'alimenter les nappes phréatiques il est plus à craindre encore de la pollution des eaux chargées par les polluants présents sur les sols.

On y retrouve différents types de polluants :

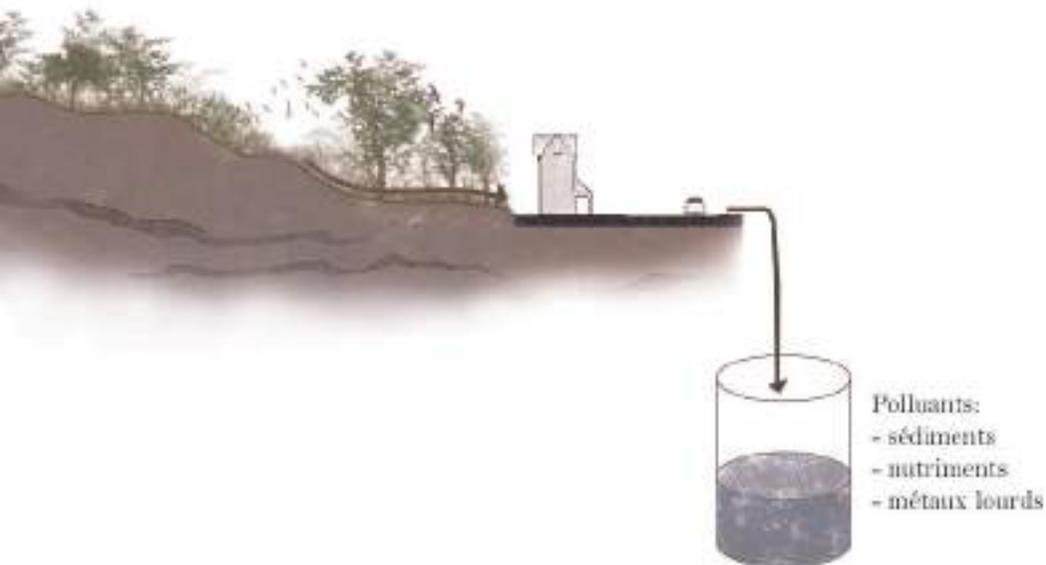
- Les déchets produits par l'homme comme le sel utilisé sur les routes en hiver.
- De l'azote et du phosphore présents dans les engrais et les détergents qui favorisent le développement des algues et ainsi le phénomène d'eutrophisation : diminution de la lumière et de l'oxygène dans l'eau.
- Des métaux lourds provenant des gaz d'échappement et des hydrocarbures.

Ces polluants augmentent la toxicité des eaux ruisselées et pénalisent le développement de la biodiversité de la faune et de la flore.

De plus, mal maîtrisées, les eaux de ruissellement et surtout en cas de très fortes pluies, peuvent éroder les sols cultivés (plus suffisamment arborés) et les berges des cours d'eau dont les débits d'eau viendraient à grossir et ainsi charrier une quantité importante de déchets végétaux qui à terme pourraient provoquer des inondations.

Les Communes doivent donc attacher une importance à la maîtrise de leur système d'assainissement et notamment dans leurs PLU : Plan Local d'Urbanisme.

Dans le cadre de ce TFE je me suis intéressée au parc de Saint-Ouen Les Docks à Paris qui a été implanté en collaboration avec la ZAC : Zone d'Aménagement Concerté. Ce parc récupère et traite les eaux de pluie des toitures de la ZAC et des rues alentours dans le but de les traiter pour les rejeter dans la Seine.



*Volume de ruissellement en milieu semi-pérmeable  
(70% de sols perméables)*



*Volume de ruissellement en milieu imperméable  
(10% de sols perméables)*

## 1.4 - Etude de cas - Le parc de Saint-Ouen Les Docks

Saint-Ouen, situé sur la rive droite de la Seine, est une commune française de la Région Ile de France qui en 2016 comptait 49 664 habitants avec une densité de 11 523 hab. au km<sup>2</sup> avec un taux de logements sociaux de 45,5%.

La ville lance en 2010 un programme d'implantation d'un écoquartier d'une centaine d'hectares sur une ancienne friche industrielle située en bordure de Seine<sup>21</sup>, le programme s'appelle : Saint-Ouen Les Docks. L'objectif est de créer une surface plancher de près de 900 000 m<sup>2</sup> à réaliser d'ici à 2025 avec la création de logements, de bureaux, de commerces en rez-de-chaussée d'immeubles, d'équipements publics (crèches, écoles, gymnases ...). Mais surtout avec l'implantation d'un parc de 12ha. en bord de Seine pour la mise place d'un système de traitement des eaux de pluie du quartier écoresponsable.

La ville de Sain Ouen missionne la Société Séquano Aménagement en tant que maître d'œuvre. L'aménagement du parc est confié à l'Agence Ter, Paysagiste et Urbaniste à Paris et ainsi qu'au bureau d'études techniques BERIM situé à Pantin.

L'objectif qui leur est confié est de créer un aménagement paysagé qui gère toutes les eaux pluviales puis de les traiter par des méthodes de filtration naturelles de type lagunage dans le but de les rejeter dans la Seine avec un objectif de qualité de « Bon état écologique ».

On observe sur la carte des zones à risque d'inondations de la ville de Saint-Ouen, que la friche industrielle à rénover avec la création d'un parc, était en réalité une zone à fort risque d'inondation, avec en cas de fortes pluies la possibilité de voir par endroits la Seine sortir de son lit. La ville a donc mis en place une politique pour la gestion des eaux de pluie afin d'éviter ce risque d'inondation et de pollution des eaux de la Seine. Sachant que la pluviométrie parisienne peut atteindre 700 à 900 mm par m<sup>2</sup> et par an.

Pour le parc les enjeux sont les suivants : le respect du plan de prévention des risques d'inondation, gérer les ressources en eaux de pluie, favoriser les biodiversités animale et végétale, l'usage de matériaux recyclables et pour finir favoriser des constructions à basse consommation énergétique en utilisant des énergies renouvelables.

L'ensemble des installations est aujourd'hui administré par l'établissement public territorial de la Commune et se compose de 9000 m<sup>2</sup> de pelouse, 5 000 m<sup>2</sup> de prairie, 2 000 m<sup>2</sup> de zones de jeux et d'un grand bassin de 10 600 m<sup>2</sup>.

Une serre pédagogique de 1 400 m<sup>2</sup> est installée le long des bassins et des jardins potagers à usage privatif ainsi que des parcours de sensibilisation du public aux traitements naturels des eaux y ont été aménagés.



Carte des aléas d'inondation de Saint-Ouen<sup>21</sup>



1 - Aire de jeux



2 - Serres pédagogiques



3 - Les potagés



*Plan du parc des Docks*



*4 - Plan du parc de Docks*

*5 - Toitures vertes*

*6 - Les sous-paysagères*

Les eaux de pluie collectées sur l'ensemble de la zone sont stockées dans un premier grand bassin de 1 300 m<sup>3</sup> en passant par une chute en cascade pour assurer une première aération des eaux. Les eaux circulent ensuite au travers de jardins filtrants pour obtenir une première qualité d'eau qui pourra être utilisée pour l'arrosage des jardins potagers et de l'ensemble des surfaces végétales du parc qui représentent environ 32 000 m<sup>2</sup>. Les eaux rejetées par la serre sont également filtrées par le même principe de jardins filtrants. Les eaux sont ensuite dirigées vers un dernier bassin afin d'être une dernière fois filtrées jusqu'à un état écologique satisfaisant pour pouvoir être rejetées dans la Seine.<sup>44</sup>

Cette étude de cas d'un parc situé en bord de Seine pour la mise place d'un système de traitement des eaux de pluie ouvre d'excellentes perspectives sur la façon dont nous pourrions appliquer les principes sur la zone paysagère non aménagée située sur la Commune de Comines ...

**Légende:**

-  Délimitation de la zone du parc des Docks
-  Aléas d'inondation faible ( $H < 1m$ )
-  Aléas d'inondation forts ( $1m < H < 2m$ )
-  Aléas d'inondation très forts ( $H > 2m$ )

### 1.5 - Etudes de l'expansion urbaine des Communes de Comines

L'étude de l'expansion urbaine de la Commune de Comines repose sur une étude historique des cartes des 2 Communes en France et en Belgique. L'idée est de mettre en opposition la diminution des zones occupées par l'eau avec l'expansion des zones urbaines sur le tracé des 2 Communes.



*Plan de Jacques de Deventer, vers l'an 1541, sous Charles-Quint*

Comines se développe perpendiculairement à la Lys en laissant des espaces naturels s'installer autour du fleuve. Le grand bassin avec la double écluse au centre vient tout juste d'être creusé. La ville est quasiment entourée d'eau en plus des écluses on y retrouve une série de moulins et de ponts.

Légende pour l'ensemble des cartes et plans:

-  La Lys
-  Industries et Ateliers
-  château d'eau
-  voie de chemin de fer





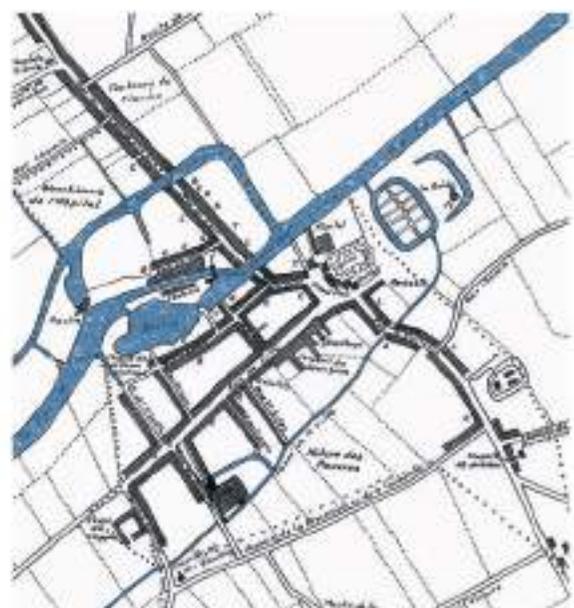
Gravure de l'architecte P. Lepoivre - restitution du village de la ville au XVII<sup>e</sup> siècle.<sup>20</sup>

Les premières zones urbaines apparaissent du côté inférieur de la Lys là où le sol est relativement plat et appropriable facilement. On commence à apercevoir la disparition de certains canaux qui sont asséchés pour permettre la construction des habitations. Cependant leurs traces restent visibles car le tracé des routes suit celui des canaux disparus.



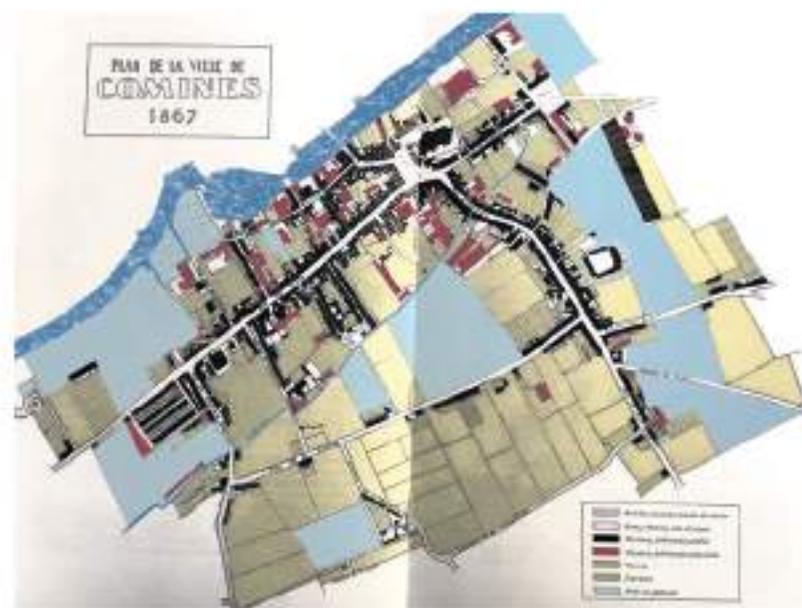
Vue de Comines à vol d'oiseau vers 1650<sup>22</sup>

Une île s'est dessinée entre le bassin et la Lys que l'on nomme « le Fort de Comines », elle commande les deux pont-levis et les deux moulins à barres. On l'appelait aussi la terre des pêcheurs. Aujourd'hui il ne reste plus aucun des bâtiments présents sur cette vue, seul le tracé des rues et de certains anciens cours d'eau se reconnaissent encore. Tout le reste s'est évanoui au souffle de la poudre, dans la fumée des incendies, ou sous la pioche des démolisseurs.



Plan de Comines ville au XVIII<sup>e</sup> siècle<sup>23</sup>

La ville déborde la limite de la Morte Lys, vers 1720. Après les occupations des Français en 1658 et 1668, le château a été détruit et la langue française prend le relais du flamand. D'après André Schoonheere « *Comines devient française à partir de 1713* »<sup>24</sup>. Nous pouvons voir également apparaître la diminution du bassin central qui prend beaucoup moins d'importance que les années précédentes.



Carte de la ville de Comines au XIX<sup>e</sup> siècle - le début de l'installation des entreprises dans le centre-ville<sup>24</sup>

Tout au long de la révolution industrielle, les entreprises se sont principalement installées autour de la Lys car elles satisfaisaient leurs besoins en eau pour leurs productions. La qualité de l'eau de la Lys et notamment très appréciée par les producteurs de textile. « *Avant la première guerre mondiale, on comptait 8000 habitants et 10000 ouvriers à Comines. Les entreprises avaient pris une place considérable.* » Source : monsieur Francis Hasbrouck, le 27 février 2018.



Papier à lettre d'établissement industriel tissage Jean-Baptiste d'Ennetières (1905)<sup>25</sup>



Photo du château d'eau



*Plan de Comines qui montre la place des entreprises dans le centre, avant la 1ère guerre mondiale<sup>25</sup>*

On note une massification de la population urbaine et une concentration des industries au détriment des espaces occupés précédemment par des bras de la Lys. La superficie du bassin central continue de diminuer et il n'y a plus que le bras principal de la Lys qui traverse Comines. On note le tracé d'une voie de chemin de fer qui traverse la Lys au niveau d'une zone non aménagée (peut-être inondable ?) les deux gares se trouvant au centre des deux communes.

On remarque également la construction d'un petit château d'eau en béton de type Hennebique au sud de Comines, proche de la voie de chemin de fer dans le but d'alimenter le train à vapeur, on commence à prendre conscience du besoin de stocker l'eau.



*Pont reliant les deux Comines<sup>27</sup>*



*Plan de Comines en 1917, pendant la 1ère guerre mondiale<sup>28</sup>*

L'expansion des deux Communes continue de progresser, en France en se concentrant autour des berges de la Lys, en Belgique en s'éloignant des berges probablement pour s'écartier des zones humides.

Le bassin d'eau au centre des Communes disparaît totalement ! Ne laissant plus la place qu'à des habitations et des industries.



*Place de Comines en 1918<sup>29</sup>*

1930

1950

1994



*Plan de Comines en 1950<sup>1</sup>*

On note une concentration urbaine côté France qui continue à s'intensifier sur les bords de la Lys. Le bras mort de la Lys est toujours visible. Le bras de la Lys est d'une largeur égale sur toute la traversée de la ville.

On voit apparaître un nouveau château d'eau de type Hennebique pour le stockage et l'alimentation en eau potable des habitations.



*Vue satellite des deux Comines<sup>2</sup>*

La largeur du bras navigable de la Lys a été doublé pour permettre le passage de péniches à grosse capacité de transport. Le développement des industries côté Belgique s'intensifie.

Les bras morts de la Lys ont été comblés pour faciliter l'expansion urbaine.



*Reconstruction de comine  
en 1930<sup>3</sup>*



*Pont levé après reconstruction<sup>4</sup>*



*Photo du château  
d'eau*



*Zones industrielles réparties sur la Commune de Comines*

L'expansion des zones urbaines et industrielles (textiles, transformation de béton et d'acier) augmente la surface couverte des sols les rendant imperméables.

A travers les époques beaucoup de ponts (on en a compté jusqu'à 7) et écluses qui permettaient de franchir les différents bras de la Lys ont disparu (voir la carte des années 1916-1917 de la frise).

L'analyse de la chronologie des étapes de l'expansion urbaine de la ville a mis en évidence deux stratégies, la première côté France s'est concentrée sur les bords de la Lys et en occupant les zones plutôt plates et facilement appropriables, la seconde côté Belgique en s'éloignant des bords de la Lys sur des zones avec des reliefs plus accidentés pour sans doute s'éloigner des zones humides et inondables.

On constate à travers l'étude de ces cartes qu'une zone paysagère inondable n'a jamais été exploitée et encore aujourd'hui les habitations qui l'entourent lui tournent le dos.

D'ailleurs, c'est au centre de cette étendue humide que passait la première voie de chemin de fer de Comines qui traversait la Lys pour relier la Commune Française et la Commune Belge.

Aujourd'hui il reste deux traces de cette ligne historique. La première se matérialise en Belgique par une voie piétonne végétale qui a été dessinée le long de cette voie, appelée « Rue du chemin de fer ». La deuxième est une trace patrimoniale, se trouvant sur la zone humide.

Lorsque le chemin de fer a été créé en 1876 un pont à culées ouvertes avait été mis en place pour enjamber un bras de rivière de la Lys [voir annexe 2] au milieu de cette zone paysagère (cf. photo « Reconstruction de Comines en 1930 »).

La superficie du bassin central de la Lys a progressivement disparu pour ne plus laisser qu'un simple trait d'eau visible. On note cependant qu'il existe encore quelques bras morts en eau et en particulier « la morte Lys » qui est un bras mort sous-terrain.

Les Communes de Comines sont implantées dans un relief en forme de cuvette dont les versants s'orientent vers la Lys qui, en cas de fortes pluies, sont sujets à de forts ruissellements symbolisés en jaune, orange ou rouge en fonction de leur intensité pouvant provoquer des inondations, symbolisées par les nuances de bleu sur la carte ci-après.



*Photos de la morte-Lys qui se jette dans la Lys - avril 2019*

Légende:

 Trace de l'ancien bras mort, aujourd'hui enterré

*Zoom sur la morte-Lys*





*Zoom sur la zone inondable - Les Bar-Près*

**Légende:**

-  Trace de l'ancienne voie de chemin de fer
-  Pont - patrimoine historique du parc
-  Ruissellement faible
-  Ruissellement moyen
-  Ruissellement fort
-  Aïës d'incendations

*Photos du pont à culées ouvertes*



## 1.6 - Le choix du site à l'échelle des Communes de Comines

### La trame bleue et verte de l'Eurométropole

Le choix du site s'appuie sur une analyse du programme « Le parc bleu » de l'Eurométropole de Lille, Courtrai et Tournai<sup>2</sup>. Ce programme consiste en l'aménagement de zones vertes, parcs, ou réserves naturelles et de la réappropriation des friches autour de la Deûle et de la Lys. Le programme prévoit notamment la création de voies de circulation réservées aux vélos qui suivent les cours d'eau. Ces parcours peuvent avoir des thèmes différents, touristiques ou historiques, traversant les trois villes et s'affranchissant de la frontière entre la Belgique et la France.

Comme on peut le voir sur ce plan de nombreux projets ont déjà été implantés le long de la Lys et le plus souvent dans des zones inondables. Cela va de réserves naturelles servant de stockage d'eau de pluie inaccessibles au public jusqu'à des parcs mettant en scène des zones de filtration des eaux de pluie par traitement paysagé.

Je propose donc d'inscrire l'aménagement de la zone paysagère inondable aujourd'hui abandonnée et proche des zones d'activités commerciale et industrielle des communes de Comines dans le cadre des trames verte et bleu du programme « Le parc bleu ».

A partir de cette échelle on peut commencer à s'intéresser à la façon dont on peut traiter le captage des eaux de pluie pour leur filtration dans des bassins aménagés. Mais auparavant interrogeons-nous sur les objectifs de filtration ...

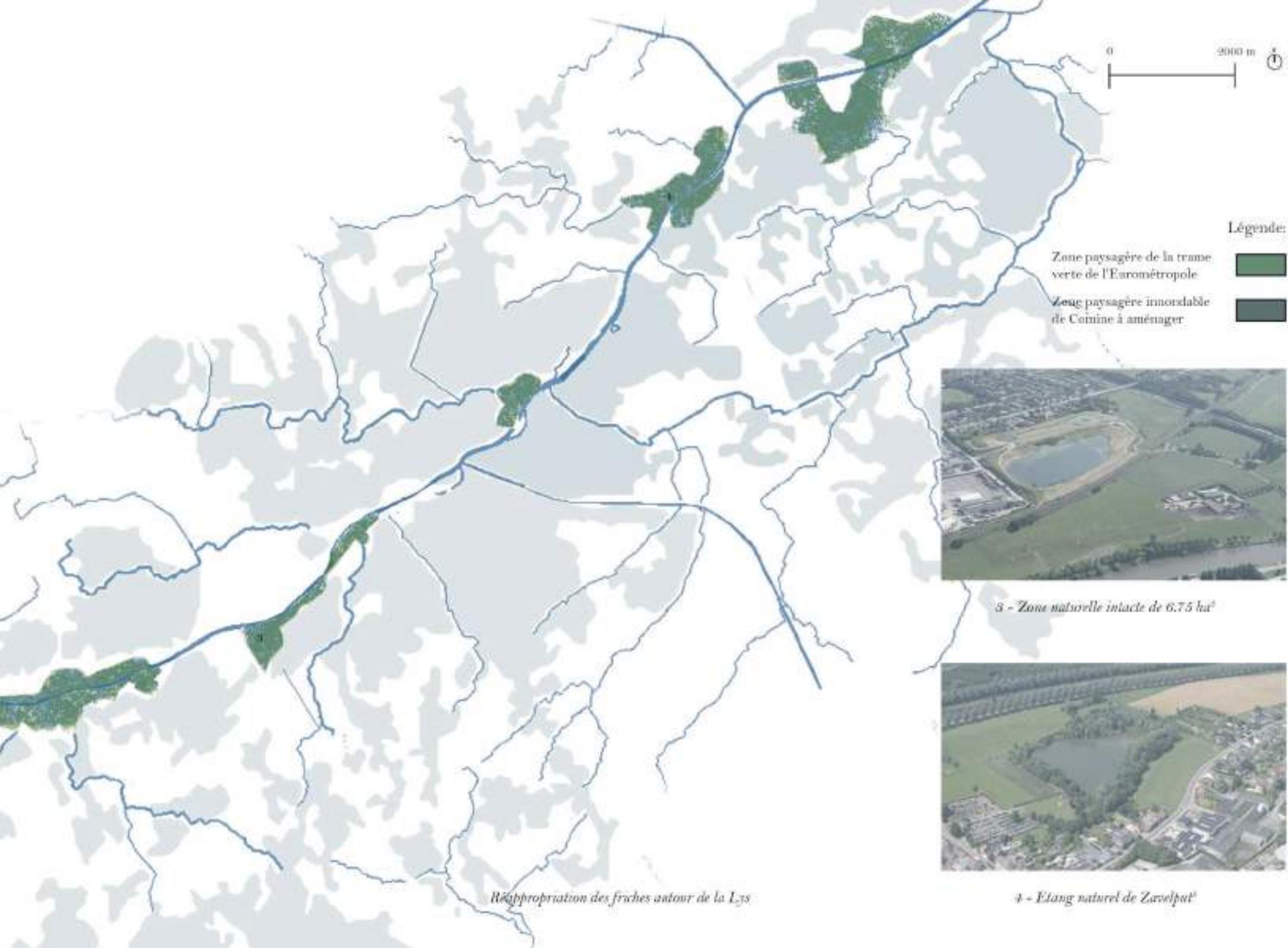


1 - Zone paysagère humide, Les Bat-Près à Comines



2 - Zone humide aménagée en parc public à Wervicq





### *L'eau de pluie dans les zones industrielles et commerciales*

La ville s'étend sur une superficie de 7 700 000 m<sup>2</sup>, les deux zones industrielles couvrent 214 000 m<sup>2</sup> dans le centre-ville d'une superficie d'environ 1 100 000 m<sup>2</sup>, soit près de 20%. La surface des toitures des bâtiments industriels est de l'ordre de 557 500 m<sup>2</sup>. (Chiffres que j'ai calculé et estimé à partir du plan AutoCAD).

Comment pourrait-on récupérer cette quantité d'eau et la réintégrer dans le circuit de distribution d'eau potable ?

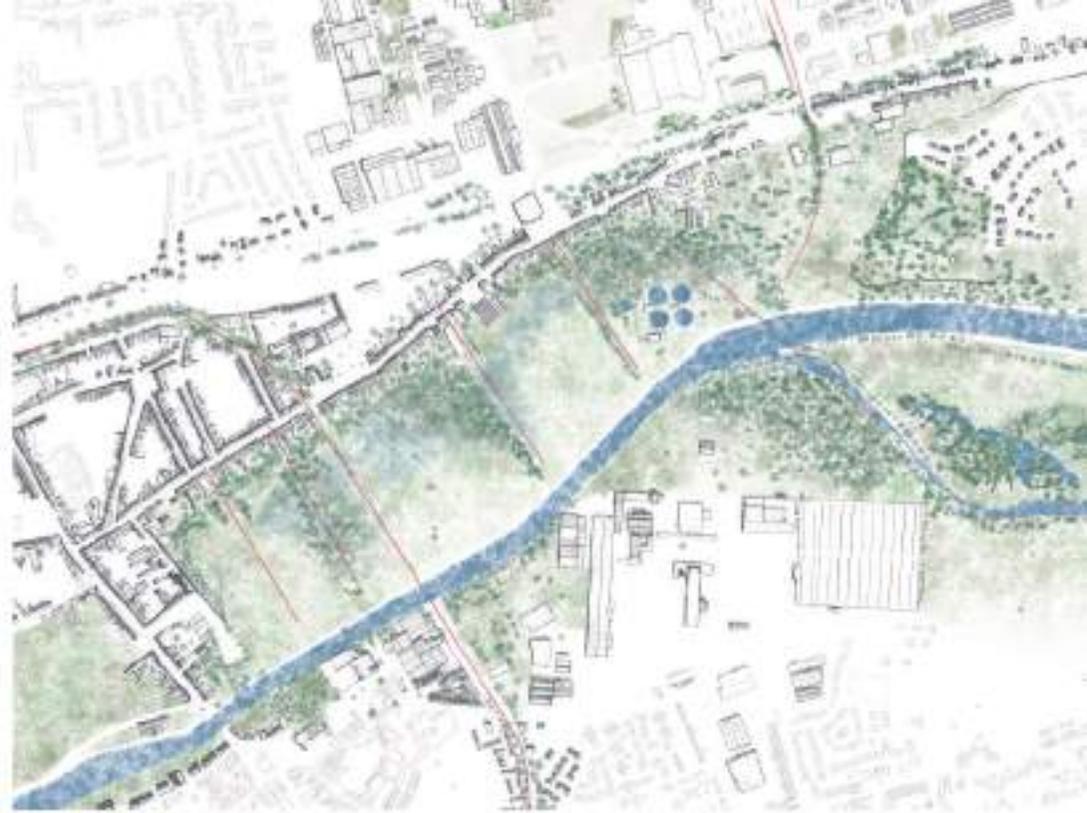
En France, il existe bien déjà des parcs aménagés ou des réserves naturelles dans lesquels ont été intégrées des solutions de traitement naturel des eaux de pluie pour permettre leur dépollution avec des niveaux de qualité suffisants pour pouvoir les renvoyer dans les nappes phréatiques ou les rivières (avec le risque dans ce cas de les polluer de nouveau avec les rejets de l'agriculture ou des industries). Il est possible de reprendre l'exemple du parc de Deulémont créé pour protéger les champs captant irremplaçables au sud de Lille et pour renforcer la trame verte et bleue de l'Eurorégion, comme cité auparavant. En effet il possède des bassins d'orage qui traitent l'eau par décantation dans le but de la dépolluer pour la réinfiltrer dans les nappes phréatiques de manière naturelle [voir annexe 3].

Par contre ces eaux ainsi traitées ne sont jamais réutilisées ; ne serait-ce que pour être redirigées vers les exploitations agricoles ou les industries qui n'ont pas systématiquement besoin de consommer de l'eau potable pour leurs activités ; ou encore moins potabilisées pour pouvoir être réintroduites dans les circuits de distribution d'eau potable.

L'idée pour ce projet à Comines est de venir capter toutes ces eaux pour la diriger vers une zone naturelle, dans le but d'en faire un parc où elle serait traitée par de multiples procédés naturels jusqu'à la potabilisation.



*Plan des zones industrielles et commerciales de Comines*



*Zoom sur l'espace paysager inondable - recherche des possibilités pour ouvrir cet espace au public et y amener l'eau de pluie*

**Légende:**

Limites établies dans le PLU:

- P.A.E. de Comines Warneton
- P.A. une nouvelle énergie
- Z.A. de Wervicq Sud

## II - Le cycle de l'eau

### 2.1 - Capturer, traiter, stocker et distribuer l'eau, un cycle caché

Ouvrir un robinet pour faire couler de l'eau. Un geste devenu tellement banal qu'on ne prend pas conscience de toutes les étapes par lesquelles l'eau doit passer pour sortir du robinet propre à la consommation nettoyée de toutes impuretés et traces de pollution.

L'eau est une ressource naturelle qui se renouvelle par un cycle permanent d'évaporation et de précipitation.

L'eau est stockée sur terre dans différents réservoirs naturels (les océans, les lacs en surface ou sous-terrain, les rivières, les glaciers) ; par l'effet du soleil l'eau s'évapore dans l'atmosphère ; et lorsque l'atmosphère est saturée l'eau est renvoyée sur terre sous forme de précipitations.

Au cours de son histoire l'homme est intervenu dans ce cycle hygrométrique naturel en développant des méthodes de transport et de stockage de l'eau depuis ces réservoirs naturels jusqu'au plus près de ses besoins pour sa propre consommation.

On peut classer ces méthodes de transport et de stockage de l'eau en plusieurs étapes :

#### - **Le captage:**

L'eau est captée mécaniquement par l'homme à partir de différents réservoirs naturels comme les lacs et les rivières ou les nappes phréatiques (ou nappes aquifères) pour être stockée une première fois dans des réservoirs de stockage.

Même si on peut supposer que l'eau captée des nappes phréatiques est en principe une eau pure toutes les eaux captées sont sans exception traitées.

#### - **Le traitement par station de potabilisation:**

Après captation l'eau ne peut pas être directement consommée. Elle doit subir des traitements par filtration pour la débarrasser de toutes les substances organiques ou bactéries qui pourraient être dangereuses pour la santé publique.



*Le cycle domestique de l'eau*

Une fois traitée l'eau est à nouveau stockée dans des réservoirs de surface et prête à être transportée vers les consommateurs.

#### **- Le transport:**

Les distances entre les stations d'épuration vers les consommateurs peuvent parfois être de plusieurs kilomètres. L'eau est propulsée par des turbines à des vitesses de l'ordre de 1m par seconde pour garantir un bon débit et une bonne pression. Cependant il n'est pas possible de garantir en permanence un même débit et une même pression selon les demandes de consommation.

Il faut donc passer par un système de stockage intermédiaire entre les stations d'épuration et les consommateurs : les châteaux d'eau !

#### **- Le château d'eau:**

Le château d'eau est une sorte de réservoir tampon intermédiaire entre les stations d'épuration et les consommateurs.

Il arrive que des châteaux d'eau soient directement alimentés par des nappes phréatiques via ses propres pompes de relevage mais dans ce cas ils devront disposer de leur propre système de traitement.

Par la force de gravité selon le principe des vases communicants le château d'eau permet de garantir le maintien d'un bon débit et d'une bonne pression jusqu'au robinet du consommateur au travers d'un réseau de canalisations très complexe.

#### **- Les eaux usées traitées par station d'épuration:**

Après avoir été utilisées les eaux usées repartent par d'autres canalisations jusqu'aux stations d'épurations pour être à nouveau retraitées.

Après traitement l'eau repart soit vers le réseau de distribution pour être à nouveau directement consommée soit elle est rejetée vers les océans, les lacs ou les rivières pour repartir dans le cycle hydrométrique naturel.



## 2.2 - Le nouveau cycle naturel qui intègre les eaux de pluie

### CAPTER

Il existe plusieurs méthodes pour capter les eaux de ruissellement, soit directement depuis la source, soit à partir du réseau routier ou par le creusement de bassins. Ce sont des méthodes naturelles et durables qui permettent d'éviter l'érosion des sols et la pollution des nappes phréatiques en réduisant le risque de contamination par des polluants domestiques.

#### a - Capter le ruissellement à la source

##### - LE JARDIN DE PLUIE :

Les jardins de pluie sont installés au niveau du sol, aux abords des bâtiments, le long des trottoirs, des parkings ou encore pour habiller les ronds-points ...

Les jardins de pluie sont réalisés en léger creux pour permettre aux eaux captées de tout à la fois ruisseler et de s'infiltrer dans les sols plantés de végétaux. Les végétaux sont choisis selon leur capacité à favoriser la bio-rétention.

Dans le cahier des charges de l'aménagement du parc de Saint-Ouen Les Docks il est par exemple indiqué qu'il doit être implantée une surface de jardins de pluie d'une surface minimale de 5 à 10% de la surface totale imperméabilisée.

##### - BANDE FILTRANTE :

La bande filtrante, est une zone tampon réalisée en pente douce recouverte d'herbes ou de plantes basses, généralement située en amont des jardins de pluie lorsqu'ils sont situés au niveau du sol, pour favoriser le ralentissement du ruissellement des eaux de pluie avant leur arrivée dans le jardin de pluie.

##### - LA CITERNE D'EAU DE PLUIE :

Dans des installations plus anciennes, lorsque la mise en place de jardins de pluie n'est plus envisageable, le moyen le plus simple de collecter les eaux de pluie est la mise en place de collecteurs d'eau de pluie. L'eau de pluie récupérée pourra permettre de réduire la consommation d'eau potable du réseau de distribution (eau des toilettes, eau d'arrosage des potagers ...); elle ne pourra pas être utilisée pour la consommation domestique.

##### - LES PUIXS ABSORBANTS :

Les eaux de pluie sont cette fois captées depuis les toitures des bâtiments et ramenées par un réseau de gouttières jusqu'à un puit enterré positionné au plus près des bâtiments. Le puit est constitué d'une succession de couches de gravas plus ou moins dense qui filtreront les eaux de pluies avant leur infiltration dans les sols.



*Jardin filtrant du Parc Nansen à Oslo\**



*Pavés filtrant pour une zone de parking\**



*Nones récoltant les eaux de pluie dans le quartier des Docks de Saint-Ouen*



*La réserve des marais du Nord, au Québec<sup>47</sup>*

#### - LES TOITURES VÉGÉTALES :

Dans les constructions les plus récentes il n'est plus rare de faire intégrer une toiture végétalisée. Au-delà de l'aspect esthétique, cela donne au projet une dimension durable soucieuse de la protection environnementale.

A la différence des jardins de pluie au niveau du sol, les toitures végétales sont plantées sur une plus faible épaisseur de substrat, avec l'utilisation de végétaux de plus faible hauteur.

Le poids des toitures végétales doit faire l'objet d'une attention particulière lors des calculs de structure des bâtiments.

#### - LE PAVAGE FILTRANT :

Le pavage filtrant est une alternative intéressante pour capter les eaux de pluie au niveau des trottoirs lorsque la création de jardins de pluie n'est pas envisageable. Les trottoirs sont alors réalisés avec des pavés ou d'asphalte poreux. Il existe aussi des dalles en forme de nid d'abeille que l'on peut combler de terre et de gazon pour encore un peu plus augmenter la perméabilité des trottoirs.

#### *b - Capter le ruissellement par un réseau.*

##### - LES NOUES :

Les noues sont des fossés engazonnés alignés le long des routes qui récupèrent les eaux de ruissellement qui s'y déversent.

Elles se classent en deux catégories :

- Les noues infiltrantes qui permettent aux eaux captées de directement pénétrer les sols
- Les noues de tamponnage qui permettent de transporter l'eau jusqu'à un lieu de stockage
- Il est bien-sûr possible de mixer les deux catégories selon la nature des sols

#### *c - Capter le ruissellement en aval*

##### - LES BASSINS DE RÉTENTION D'EAU :

Ce sont des bassins qui servent à retenir les eaux de ruissellement en cas de très fortes pluies pour éviter les inondations dans les bassins versants. Les polluants peuvent y être éliminés par des méthodes de décantation.

Ces bassins peuvent avoir des applications multifonctionnelles ; vides par exemple ils peuvent être utilisés comme skate-parks.

##### - LES MARAIS DE RÉTENTION D'EAU :

Ils ont la même fonction que les bassins de rétention d'eau mais ils sont végétalisés, permettant ainsi une pénétration des sols des eaux.

*d - Mise en place d'un nouveau système de captation des eaux de pluie sur la Commune de Comines*

Comme déjà calculé, avec une pluviométrie annuelle estimée à 700 litres par m<sup>2</sup> et par an sur les Communes de Comines on devrait être en mesure de capter 390 250 m<sup>3</sup> d'eau de pluie par an à partir des seules toitures des industries et des commerces des deux zones identifiées. En on pourrait également mettre en place des systèmes de captation des sols imperméables de ces mêmes zones qui représentent sur surface totale de 138 000 m<sup>2</sup>.

L'idée est de mixer l'ensemble des solutions citées auparavant pour capter un maximum d'eau de pluie et de ruissellement depuis les zones industrielles et commerciales de Comines pour les ramener vers la zone paysagère inondable sur laquelle sera implanté notre système de filtration naturel.

Les eaux de toiture sont captées par des collecteurs positionnés au pied de chaque bâtiment. L'ensemble des collecteurs sont connectés par des premières noues qui ramènent les eaux vers d'autres noues qui suivent les routes. Les eaux de pluie qui ruissent le long des routes pourront ainsi être captées par déversement dans ces noues. Le long de ces noues, à chaque fois que cela sera possible, si la surface disponible et la nature des sols le permettent, il sera installé des jardins de pluie végétalisés qui permettront ainsi de recréer des espaces verts entre les zones piétonnières et les routes de circulation automobiles.

Les noues qui circulent le long des routes sont ensuite toutes connectées à une noue primaire, plus profonde sur une hauteur de 1 m (pouvant accueillir une hauteur d'eau de 75 cm) et longue de 1 800 m circulant le long de la voie ferrée.

Cette noue primaire ramène toutes les eaux collectées à un premier bassin de rétention. Les dimensions de ce bassin de rétention seront calculées pour stocker un volume d'eau correspondant à 10 jours de fortes précipitations avec une capacité de 20 000 m<sup>3</sup> d'eau représentant une surface de 16 000 m<sup>2</sup> pour une profondeur de bassin de 2,5 m avec une hauteur d'eau de 1,2 m.

Le bassin de rétention est lui-même relié à une autre noue qui traverse tout le site sur une longueur de 850 m ; elle aussi avec une profondeur de 1 m pour une hauteur d'eau estimée à 75 cm.

Cette noue traversante permet de connecter les différents bassins de filtration entre eux. Elle permet entre autres par des systèmes de cloisonnement de pouvoir isoler un bassin des autres s'il venait à être contaminé et devait être nettoyé sans perturber





l'ensemble de la chaîne de filtration. Elle permet aussi de mettre en place un mécanisme alterné de filtration entre les bassins (entre périodes actives de filtration et périodes de repos).



*Coupe d'une noue paysagère dans la zone industrielle de Comines Belgique*

Légende:

-  Citernes d'eau de pluie
-  noues paysagères avec jardins de pluie
-  Bassins et murets de rétention d'eau

*Plan avec l'ensemble des techniques de captage*

## TRAITER

### a - Traiter à l'échelle du paysage par filière naturelle

#### - LE LAGUNAGE

Le lagunage est un traitement biologique d'eaux usées par des plantes et des bactéries.

La nature a heureusement à sa disposition des mécanismes biologiques qui lui permettent de se régénérer de façon totalement autonome comme par exemple la formation de compost par la dégradation de débris naturels ou encore la photosynthèse (synthèse d'éléments organiques par les plantes en absorbant énergie lumineuse et les gaz carboniques tout en rejetant de l'oxygène).

Les mares et les étangs sont ainsi de véritables micro-organismes vivants qui ont la faculté de dégrader les matières organiques produites par les hommes en les transformant en éléments minéraux. C'est ce qu'on appelle le phénomène d'autoépuration naturel ou encore le lagunage naturel.

C'est une technique qui est utilisée depuis l'antiquité pour favoriser l'élevage de poissons. Elle a d'abord été mise en place sans méthode particulière ni vérifications scientifiques. Elle a longtemps été utilisée en laissant simplement faire la nature.

C'est seulement à partir du début du XX<sup>ème</sup> siècle que les scientifiques ont commencé à s'intéresser à la compréhension scientifique du mécanisme de lagunage pour limiter les mauvaises odeurs et la prolifération des moustiques (quelles plantes utiliser, quelles dimensions des bassins ...).

En France la technique de lagunage apparaîtra vers les années 70, d'abord à l'échelle du particulier puis progressivement à l'échelle de la collectivité, pour être utilisée comme solution alternative et écologique de traitement des eaux usées plus respectueuse de l'environnement.



*Lagune du Cat mort - espace naturel à Louchats en Garonne  
parcours rythmé de belvédères entre les lagunes.<sup>29</sup>*



*Escalade le long des lagunes dans la Landes de Gascogne.<sup>29</sup>*



*Les lagunes de Harnes dans le Nord pas de Calais, créées sur une ancienne mine de charbon, dans le but d'épurer les eaux de pluie dans un parc de loisirs ouvert au public.<sup>22</sup>*



*Se balader entre marais, étang et lagunes au parc ornithologique du Teich, bâtie sur des marais, entre le delta de la Leyre et le bassin d'Arcachon.<sup>23</sup>*

### Fonctionnement :

Le principe de lagunage est de laisser les eaux usées s'écouler lentement au travers de plusieurs bassins successifs qui contiennent des plantes végétales choisies spécifiquement pour leurs capacités à absorber des matières organiques.

Comme dans la chaîne-alimentaire, des bactéries présentes dans les racines des plantes végétales vont absorber les matières organiques et rejeter des substances minérales et des gaz ; ce sont ces gaz qui peuvent être malodorants. On distingue 2 types de bactéries, des bactéries aérobies (qui ont besoin d'oxygène donc plus proche de la surface de l'eau), et des bactéries anaérobies (qui n'ont pas besoin d'oxygène donc plus présentes au fond des bassins).

Des tests scientifiques ont démontré que cette technique de lagunage permettait de pratiquement supprimer tous les germes pathogènes d'origine fécale (coliformes et streptocoques).

Les plantes végétales couramment utilisées sont des plantes d'eau comme par exemple des graminées aquatiques au feuillage vert souple (*Glyceria maxima*), du roseau (*Phragmites australis*) ou du jonc (*Scirpus Lacustris Albescens*). La jacinthe d'eau est une plante spécialement adaptée pour traiter des eaux chargées en métaux lourds. On peut également utiliser des algues ou des microalgues (phytoplanctons) ou encore du plancton animal (zooplancton). Les plantes sont choisies en fonction de leurs capacités d'absorption des organismes à traiter, de la taille des bassins et de la typologie du terrain.

Les bactéries présentes dans les racines des plantes absorbent les organismes à éliminer. Ce mécanisme provoque des gaz. Par la photosynthèse la partie des plantes en surface absorbe l'énergie lumineuse et les gaz pour rejeter de l'oxygène. L'oxygène rejeté dans l'atmosphère est aussitôt reconsumé par les bactéries aérobies (situées sous l'eau mais proche de la surface de l'eau). Le tout rappelant le cycle d'une chaîne alimentaire.

Au contraire des stations d'épuration la technique du lagunage permet une très bonne dépollution microbienne.

### Les étapes :

La technique de lagunage passe par 3 étapes et donc par 3 bassins successifs.

En tête du premier bassin on met en place un système de prétraitement avec :

- une filtration primaire, qui consiste à filtrer les plus gros déchets qui ne pourront pas être consommés par les bactéries, mais cela permet surtout de ne pas prendre le risque de boucher les canalisations des bassins de lagunage par des déchets trop volumineux ; en général ce premier filtrage se fait au travers d'un grillage placé en tête du dispositif ; les grillages peuvent être nettoyés manuellement ou mécaniquement ; on estime que ce premier filtrage permet de supprimer environ 25% de la charge organique,
- un dessablage, mais qui n'est pas nécessairement obligatoire ; tout dépend de la quantité de sable qui peut être charrié par les eaux de ruissellement,
- et un dégraissage, qui consiste à enlever les débris résiduels flottants.

Le premier bassin va permettre de diminuer la charge polluante organique grâce aux fameuses bactéries aérobies et anaérobies. La profondeur du bassin se situe entre 1 et 2m. et pour sa taille, le rapport longueur/largeur doit être inférieur à 3.

Le deuxième bassin assure la diminution des concentrations en azote et en phosphore. Ce qui permet de limiter le risque de prolifération des algues.

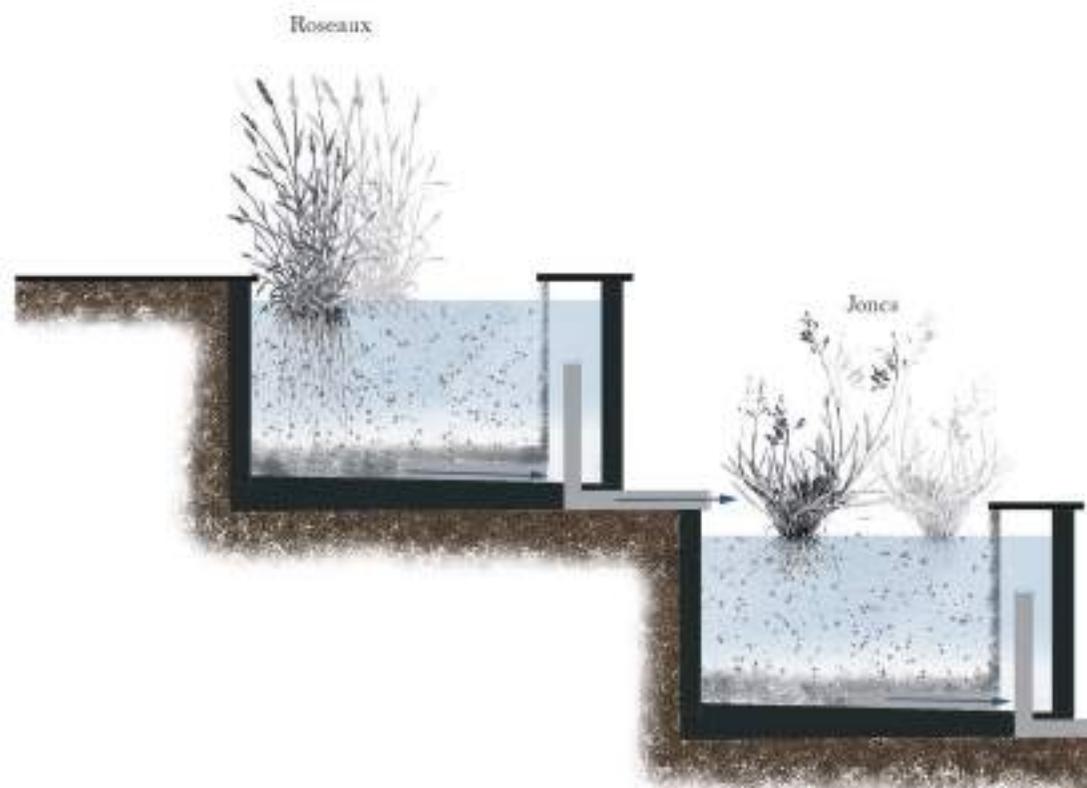
Le dernier bassin, qu'on appelle aussi le bassin de finition, permet le stockage de l'eau épurée et dans laquelle peut se développer la vie.

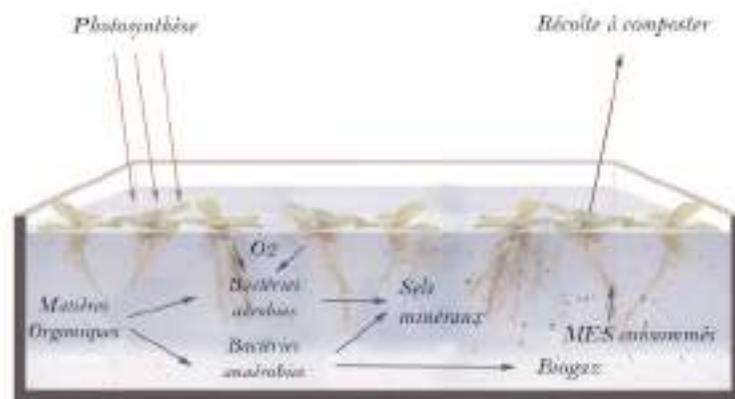
### Les avantages :

Une telle technique de filtration représente un grand intérêt économique. Les coûts d'investissement à mettre en œuvre sont plus faibles que l'installation d'une station d'épuration par exemple. De plus elle ne nécessite la consommation d'aucune énergie pour son fonctionnement. Et son exploitation très basique ne nécessite pas l'emploi de personnels hautement qualifiés si ce n'est d'ingénieurs spécialistes en traitement de l'eau.

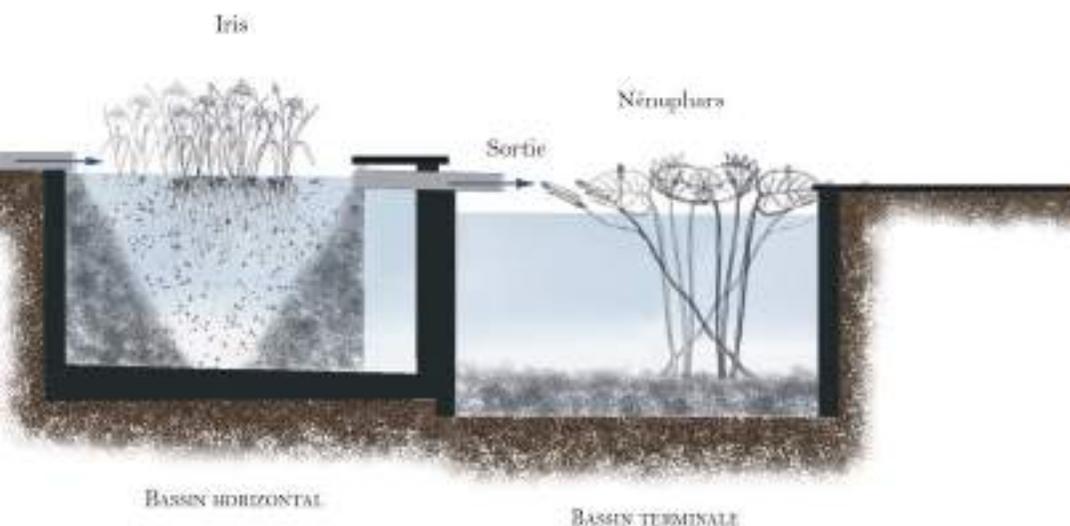
La taille moyenne des installations de traitement par lagunage recensées en France (Cemagref, 1986) est d'environ 5 500m<sup>2</sup> pour une capacité de 5 à 600 EH (Equivalent Habitants) pour des coûts d'investissement qui peuvent varier de 600 à 3000€HT/EH. [voir annexe 4].

D'un point de vu protection de l'environnement cette technique de filtration ne consomme pas de produits chimiques et ne produit pas de nuisances sonores ou olfactives ; elle permet de valoriser des sous-produits comme l'élevage de poissons ou de la biomasse planctonique ; l'eau ainsi traitée pourrait être directement utilisée pour la fertilisation et l'irrigation en agriculture.





Zoom sur le fonctionnement du lagunage à macrophytes



Système d'assainissement par succession de bassins à plantes aquatiques

### Les inconvénients :

La qualité de la filtration dépend des saisons.

Une végétation mal maîtrisée pourrait entraîner sa prolifération et déséquilibrer l'écosystème avec une augmentation excessive des algues qui entraînerait un appauvrissement en oxygène ; ce phénomène est appelé l'eutrophisation.

C'est pour cela qu'il est important de mettre en place un entretien régulier des bassins (2 à 4 fois par an pour supprimer le surplus des végétaux et les boues au fond des bassins) et un contrôle systématique de la qualité des eaux dans les bassins (taux d'oxygène, ph, taux de phosphate ...).

### Paramètres à considérer pour la mise en place d'une installation de lagunage :

- Le type de pollution à traiter : pollution sédentaire ou saisonnière
- Le volume d'eau à traiter
- Les facteurs climatiques : durée d'ensoleillement, direction des vents, pluviométrie
- Les caractéristiques du site pour l'implantation de la lagune : topographie, géologie, hydrologie (présence ou non de nappes phréatiques)
  - Destination des eaux traitées : zone de protection naturelle (flore et faune), baignade, pompage ou être redistribuées

La forme des bassins devra privilégier des formes hydrodynamiques en évitant les angles qui emprisonnent les déchets en privilégiant de faibles profondeurs (1 à 2m) pour laisser filtrer la lumière jusqu'au fond des bassins.

Il est préférable de rester à une distance raisonnable des habitations (il est recommandé une distance minimale de 100m) avec la création d'une zone tampon intermédiaire. Les digues doivent être d'une largeur minimale de 3m en alignement droit et plus encore dans les courbes.

La zone de lagunage doit rester accessible aux matériels d'entretien motorisés.

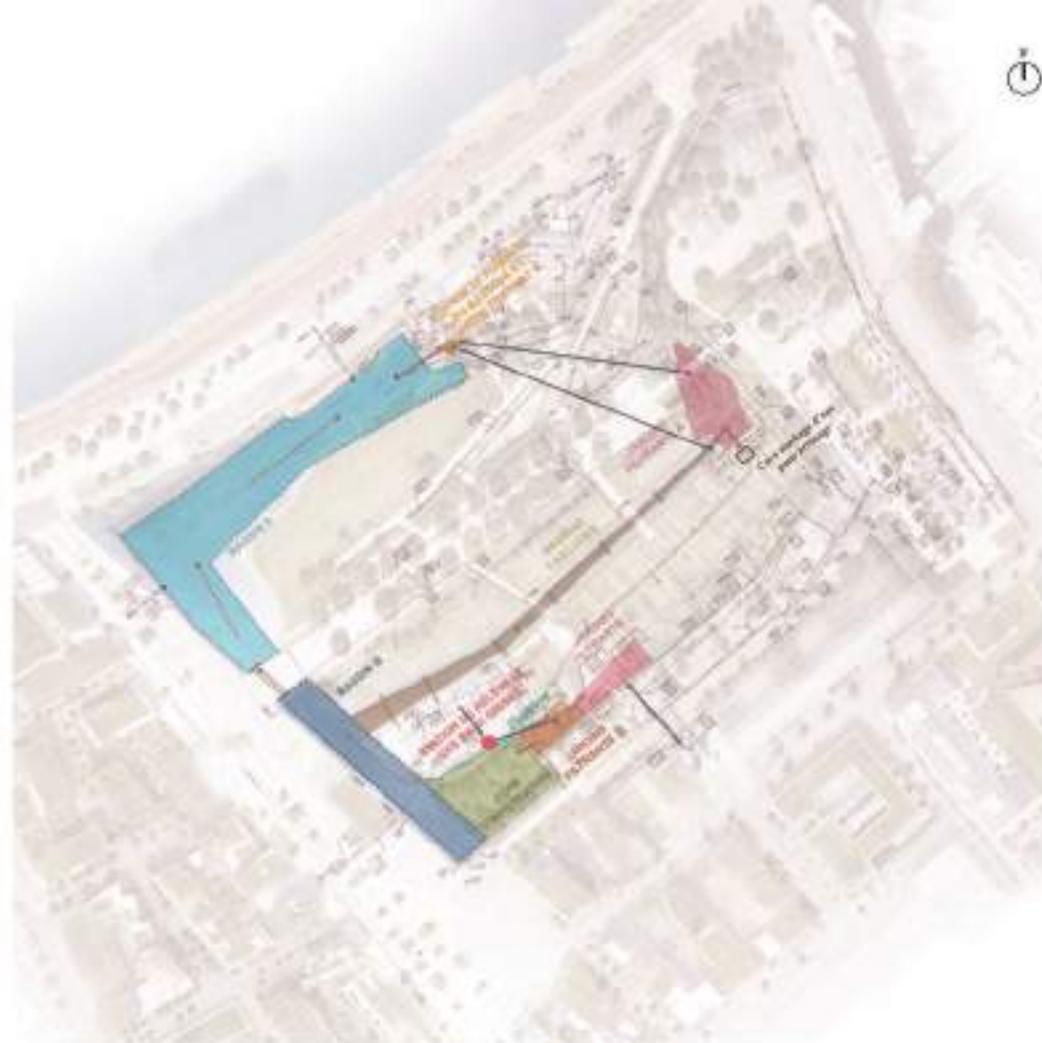
La taille moyenne des installations de traitement par lagunage recensées en France (Cemagref, 1986) est d'environ 5 500m<sup>2</sup> pour une capacité de 5 à 600 EH (Equivalent Habitants).

Lors de mes recherches je me suis intéressée à la mise en place du programme de filtration par bassin de lagunage sur les Communes de Mèze et Loupian au sein de la Communauté de Communes du Nord Bassin de Thau dans le département de l'Hérault [voir annexe 5].

La création de ces jardins de filtration répond à un cahier des charges qui s'inscrit dans une démarche écologique avec le respect de plusieurs principes fondamentaux comme :

- La garantie des résultats : le jardin filtrant est un site de traitement dont le choix des plantes et les dimensions sont déterminés pour traiter des polluants caractérisés et pour un volume d'eau défini.
- La création de zones paysagères : le jardin filtrant est conçu comme un jardin public avec des parcours pédagogiques mais en suivant des règles écologiques mettant la priorité sur les fonctions plutôt que sur la forme.
- Le respect de la biodiversité : par la création de sites favorables au développement de la faune et de la flore locales.
- Et dans une logique économique : par l'utilisation de techniques de réalisation simples et des coûts de fonctionnement faibles et maîtrisés qui ne nécessitent que des travaux d'entretien semblables à ceux d'un jardin.

Le parc de Saint-Ouen Les Docks possède trois filières de traitement.<sup>32</sup>



Plan du parc des Docks avec les trois filières de bassins de traitement

Légende:

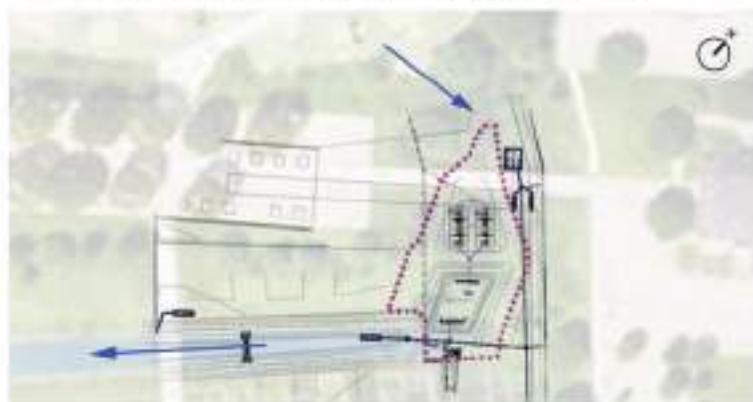
- Circulation d'eau naturelle (sortie)
- Circulation d'eau naturelle (surface)
- Circulation d'eausous pression (entrée)

### Les jardins filtrants A :

Les jardins de la zone A ont pour objectif de traiter les eaux du grand bassin de 13 000 m<sup>3</sup> pour obtenir des eaux avec une qualité suffisante pour l'arrosage des 32 000m<sup>2</sup> de prairies, potagers et jardins du parc. Ils se composent de deux filtres verticaux de 20m<sup>2</sup>, d'un filtre horizontal de 120m<sup>2</sup> et d'une cuve de stockage de 30 m<sup>3</sup>.

La circulation des eaux dans les filières de traitement verticale et horizontale est assurée par des pompes de façon alternée avec une rotation hebdomadaire par pilotage automatique. L'eau en sortie du filtre horizontal est mise à disposition pour l'arrosage du parc. En cas de surplus d'eau celle-ci déborde par un système de trop plein en forme de cascade vers les bassins suivants.

- La première étape de filtration verticale fonctionne en aérobie et au travers d'un filtre planté de roseaux sur du gravier de plusieurs granulométries différentes pour permettre d'abattre les matières organiques en suspension dans l'eau.
- L'eau est ensuite envoyée pour la deuxième étape de filtration dans le filtre horizontal d'une épaisseur d'environ 50 cm posée sur une géomembrane.

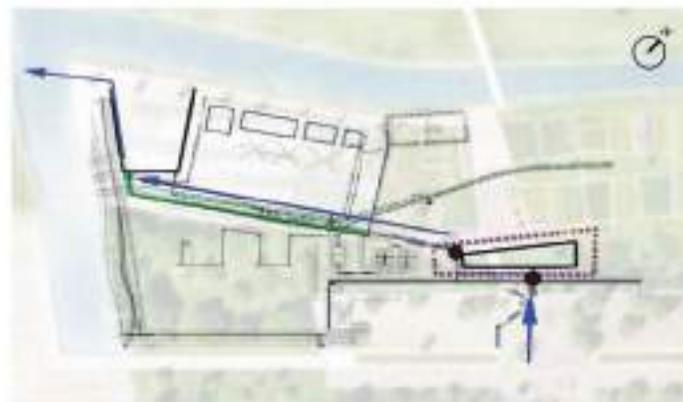


*Plan technique de la circulation des eaux du bassin filtrant A*

### Jardin filtrant B :

Les jardins filtrants de la zone B ont pour fonction de traiter les eaux usées (les eaux grises) rejetées par la serre pédagogique. Les eaux vannes (eaux usées domestiques) sont quant à elles renvoyées dans le circuit d'assainissement.

Les jardins filtrants de la zone B sont comme ceux de la zone A composés de deux filtres verticaux de 10m<sup>2</sup>, d'un filtre horizontal de 10m<sup>2</sup> mais cette fois complété d'une zone d'infiltration de 500 m<sup>2</sup>.



*Plan technique de la circulation des eaux du bassin filtrant B*

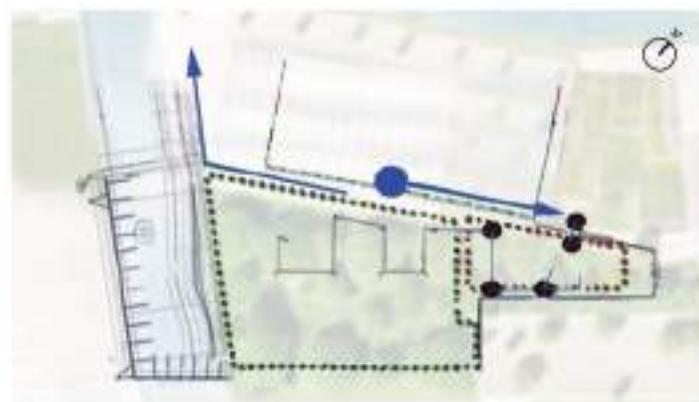


*Coupe technique de la circulation des eaux du bassin filtrant B (les deux premiers bassins sont les mêmes que ceux décrits dans la filtration A)*

### Les jardins filtrants C :

Les jardins filtrants de la zone C d'environ 225 m<sup>2</sup> servent à traiter les eaux de pluie drainées depuis toutes les toitures des nouveaux bâtiments construits sur le nouvel écoquartier. Les eaux traitées par ces jardins filtrants sont également envoyées vers le bassin principal de 13 000 m<sup>3</sup> par la « canette » (petit caniveau).

Le filtre de la zone C de 225 m<sup>2</sup> également appelé « filtre de piégeage » est réalisé avec un seul étage de filtration horizontal puisque les eaux captées en toiture des bâtiments sont prétraitées par des jardins terrasses.



*Plan technique de la circulation des eaux du bassin filtrant C.*



*Coupe technique de la circulation des eaux du bassin filtrant C.*

### *- La présence de métaux lourds dans les eaux de pluie du filtre C*

Les végétaux utilisés pour les installations de filtration par lagunage sont choisis en fonction de leurs capacités de filtration des organismes à traiter. Comme on l'a vu dans l'étude de cas des bassins de lagunage du parc de Saint-Ouen Les Docks on ne peut pas, uniquement par lagunage, éliminer tous les polluants et en particulier les métaux lourds (cf. § La pollution des eaux – une conséquence du ruissellement).

Il n'est pas facile de définir ce que sont les métaux lourds. Il n'en existe pas de définition chimique. Ils sont plutôt définis comme des particules métalliques avec une masse volumique supérieure à 4 ou 5000 Kg par m<sup>3</sup>. Les métaux principalement concernés sont le cadmium, le mercure, le zinc et le plomb, l'or ou encore le fer.<sup>23</sup>

Leurs effets sur la santé dépendent de leur concentration dans la chaîne alimentaire : en effet si certains sont toxiques pour l'homme comme le mercure ou le plomb, d'autres comme le fer ou l'or peuvent être à des taux très faibles être intégrés comme des oligo-éléments.

Il est donc nécessaire de compléter la filtration par lagunage par un procédé complémentaire pour obtenir une eau filtrée propre à la consommation par l'homme.

Mes recherches m'ont amené à m'intéresser à d'autres procédés de filtration par lagunage plus basés sur un principe similaire à la phyto-épuration avec l'utilisation de végétaux aquatiques de type macrophyte (principalement des roseaux) plantés sur un lit de sable ou de gravier.<sup>24</sup>

Le filtre à sable restant l'un des meilleurs principes de filtration des métaux lourds ...



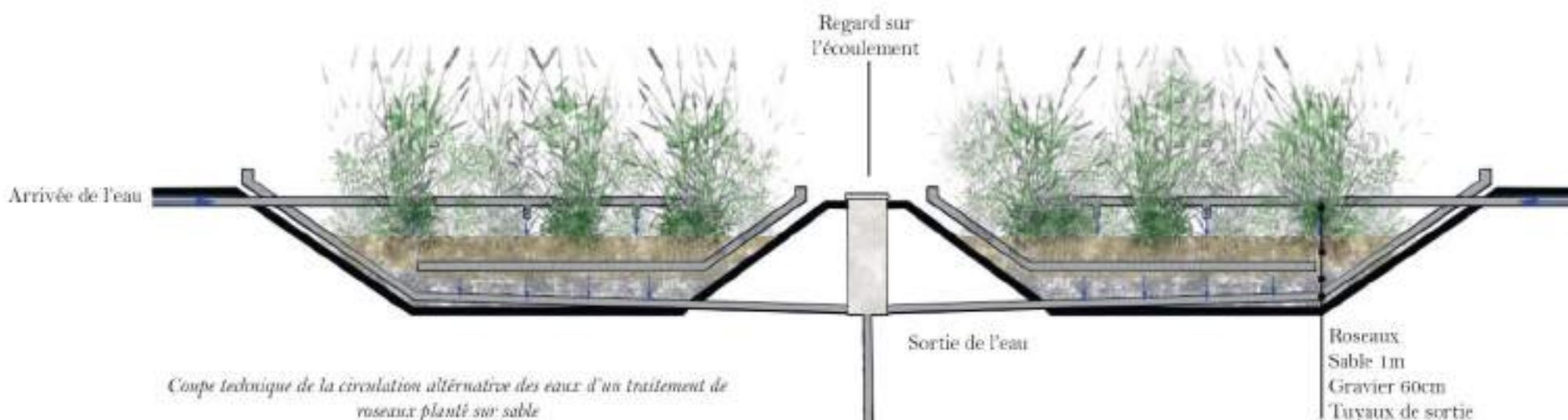
*Exemple d'installation d'un filtre à roseaux plantés sur sable de l'entreprise Aistep, constructeur de matériels pour stations de production d'eau potable et de traitement des eaux usées et pour les eaux pluviales.<sup>57</sup>*

Le processus de filtration reste identique à celui utilisé dans les bassins de lagunage avec la dégradation des matières organiques par des végétaux aquatiques, mais cette fois au lieu de faire transiter l'eau d'un bassin vers l'autre par trop plein, on fait évacuer l'eau par un trou situé au fond du bassin au travers d'un filtre à sable.<sup>56</sup>

Les matières organiques restent en suspension à la surface du filtre à sable et vont créer un dépôt qu'il faudra nettoyer manuellement ou attendre le temps de leur minéralisation. C'est la raison pour laquelle ce procédé de filtration nécessite d'implanter deux bassins qui fonctionneront en alternance avec des périodes de filtration et de repos de 3 à 4 jours.

La taille des bassins de filtration par filtre planté est déterminée en fonction des volumes d'eau à traiter. La superficie doit être de 1,2 à 1,5 m<sup>2</sup> par EH (Équivalent Habitant) et la profondeur maximale du bassin doit être de 0,6 m avec une pente de 10% entre l'amont et l'aval du fond du bassin. Avec ces dimensions le débit d'eau filtrée sera de 0,5 m<sup>3</sup> par m<sup>2</sup> et par heure avec 4 roseaux par m<sup>2</sup>.

Ce procédé de filtration reste efficace pour des volumes d'eau à traiter inférieur à 2000 EH ; au-delà le bassin filtrant devient trop complexe à maîtriser et sa rentabilité ne sera plus suffisante.<sup>57</sup>



*Coupe technique de la circulation alternative des eaux d'un traitement de roseaux planté sur sable*

- MISE EN PLACE À L'ÉCHELLE DU RÉSEAU D'ASSAINISSEMENT DES COMMUNES DE COMINES

Quel est le rôle de chacun de ces bassins de traitement ...

Le premier est un bassin de roseaux planté sur sable (A) avec une couche de sable d'environ 60cm. Ce substrat agit comme un filtre. Il contient plusieurs bactéries, algues, protozoïdes ... Ces micro-organismes aident à la filtration en éliminant les contaminants. Le filtre à sable s'avère être le meilleur traitement pour éliminer les métaux lourds présents dans l'eau de pluie et corriger la concentration des matières en suspension, le taux d'huile, de graisse et de DCO (Demande Chimique en Oxygène) et BDO5 (Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours). L'eau s'écoule ici par chemin vertical.

Les trois derniers bassins sont des bassins de lagunage (B) qui vont permettre d'éliminer les dernières matières en suspension par les plantes. L'eau s'écoule ici de manière horizontale par trop plein.

On compte en tout cinq branches de filtration qui dessinent le paysage, elles fonctionnent par deux en alternance, laissant les racines des plantes se reposer lorsque les autres filtrent l'eau.

Un premier bassin tampon de long de la Lys (C) récupère les eaux ainsi traitées. Ce bassin est offert à la ville sous forme de bassin de baignade aménagé en 3 profondeurs différentes.

Le fond du bassin est drainant, permettant l'absorption d'eau dans le sol pour l'alimentation de la nappe phréatique.

Le reste de l'eau traitée ainsi naturellement et les eaux traitées par la station d'épuration sont stockées dans un autre bassin tampon également situé le long de la Lys (D). Ce bassin n'est pas accessible au public. Pour le protéger des eaux de ruissellement et autres pollutions une noue (nettoyée tous les jours) est positionnée en amont. Ce bassin sera également entouré de végétation.

Cette eau propre va être pompée au niveau de cet ancien pont pour finir son traitement dans une émergence ou l'eau va être valorisée à sa juste valeur aux yeux du public.





Pour le traitement paysagé, l'idée est de venir ouvrir ce parc au reste de la ville. Ainsi, derrière chaque porosité de la façade (celles qui tournent le dos au site) se trouve une butte de terre qui reste au niveau 0 et qui traverse le parc. Ce sont des chemins pédagogiques sur l'histoire du parc, sa biodiversité, sa faune, sa flore et l'eau. Ceux-ci structurent le parc et les bassins de traitement. Ils ont été dessinés pour permettre des accès entre chaque bassin (E).

A la fin de ces chemins pédagogiques il y a des événements, des pavillons, qui viennent border le bassin final. Ce sont des pavillons d'activités mettant en avant l'interaction du public avec le parc.

Ces chemins sont réalisés d'un sol drainant qui absorbe l'eau de pluie (nid d'abeille avec gravier) pour éviter le ruissellement.

Dans le but également de permettre une meilleure interaction du public avec le parc, on retrouve un verger (F) entre les habitations et les bassins de traitement (il sert d'espace tampon). L'arrière des maisons a été retravaillée pour permettre un accès direct depuis leurs jardins au parc.

La haie de bocage (qui protège le verger du vent) permet de créer un sas entre les habitations et les bassins de traitement. Dans cette haie on y retrouve des blocs de compost ouverts aux habitants et aux déchets verts du parc ; il sera par la suite possible de vendre ce compost à une entreprise pour financer l'entretien des espaces verts du parc.

Enfin, le chemin de halage le long de la berge est conservé pour pouvoir être fréquenté par les promeneurs.

Légende:

- A - Bassin de traitement par roseaux planté sur sable
- B - 3 Bassins de lagunage
- C - Bassin de baignade avec 3 profondeurs
- D - Bassin final où l'eau sera pompée
- E - Chemins pédagogiques
- F - Vergès

*Plan du paysage avec les techniques de captage et de traitement*

CAPTER : NOUVEAU PAYSAGÈRE, JARDIN DE PLUIE

---

CAPTER : NOUVEAU PAYSAGÈRE, JARDIN DE PLUIE DANS LE VERROÏÉ

---

CAPTER : MARRAIS DE RETENTION

---



TRAITER : BASSIN DE BOISEAUX PLANTÉ SUR SABLE

TRAITER : BASSIN DE LAGUNAGE 1

TRAITER : BASSIN DE LAGUNAGE 2

TRAITER : BASSINS TERMINAL 3

LOISIR : BASSIN DE BAINAGE

0 60 m



## b - Traiter à l'échelle d'un bâtiment

### - QUE DISENT LES NORMES ?

Les normes qui qualifient une eau potable à la consommation sont établies par l'OMS : Organisation Mondiale de la Santé ou par l'Union Européenne.

L'eau potable à la consommation ne doit pas contenir de matières en suspension ou micro-organismes qui peuvent être toxiques pour la santé de l'homme avec des concentrations qui peuvent varier d'un pays à un autre au sein de la Communauté Européenne.<sup>29</sup>

Bien que cela puisse paraître secondaire la qualité de l'eau potable doit également répondre à des exigences de confort pour des utilisateurs qui se sont habitués au confort domestique.

En France les organismes de Santé Publique ont défini plus de 70 critères de qualité sanitaires et environnementaux pour mettre à disposition des consommateurs une eau sans risque pour leur santé (Article L1321-1 du code de Santé Publique [voir annexe 4]).

C'est ainsi que par « *arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments* » les organismes de Santé Publique interdisent que les eaux de pluies récupérées sur les toitures des bâtiments soient utilisées à des fins de consommation domestique.

Mais essayons de se projeter vers le futur quand il faudra trouver des alternatives pour faire face à la pénurie d'eau potable quand on sait que ces eaux de pluies récupérées par les toitures des bâtiments sont une ressource aujourd'hui inexploitée !

Le paradoxe c'est que dans le même temps on utilise des procédés mécaniques et donc consommateurs d'énergie pour venir pomper de l'eau dans des cours d'eau pour la potabiliser à des fins de consommation domestique ; regardons par exemple comment cela se passe en Région Parisienne ...

### - ETUDE DE CAS - POTABILISATION DES EAUX ISSUES DE LA SEINE

Pour produire son eau potable la Région Parisienne dispose dans un rayon de 150 kms de 102 points de pompage d'eau douce depuis la nappe phréatique et de 2 points de prélèvement d'eau de rivière depuis la Seine. L'eau de rivière prélevée de la Seine n'a évidemment pas le même niveau de qualité que celle prélevée depuis la nappe phréatique.

Pour traiter ces eaux de rivière il faut donc mettre en place un procédé de filtration spécifique.

1 - POMPAGE



2 - DÉGRILLEUR



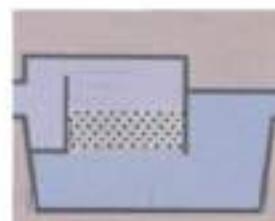
Enlever les grosses particules trouvant dans l'eau

3 - PRÉ-OZONATION



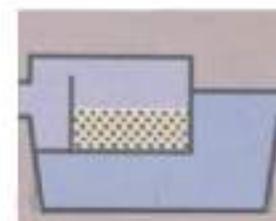
Casser les petites particules

4 - FILTRE DÉGROSSISSEURS



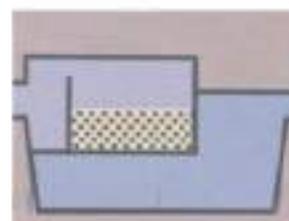
Élimine les matières en suspension par coagulation.

5 - FILTRE À SABLE



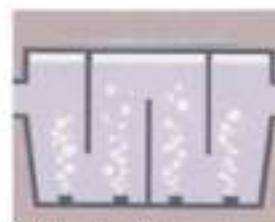
Retenir les matières en suspension plus petites.

6 - FILTRE BIOLOGIQUE



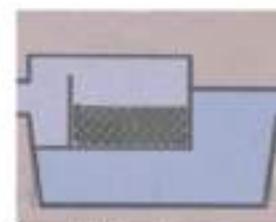
Clarifier l'eau sans l'utilisation de produit chimique

7 - OZONATION



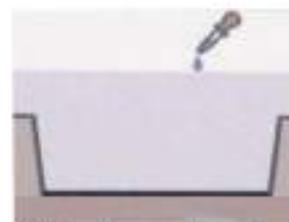
Éliminer bactéries et virus.

8 - FILTRE À CHARBON ACTIF



Retenir les derniers polluants

9 - UV - CHLORATION

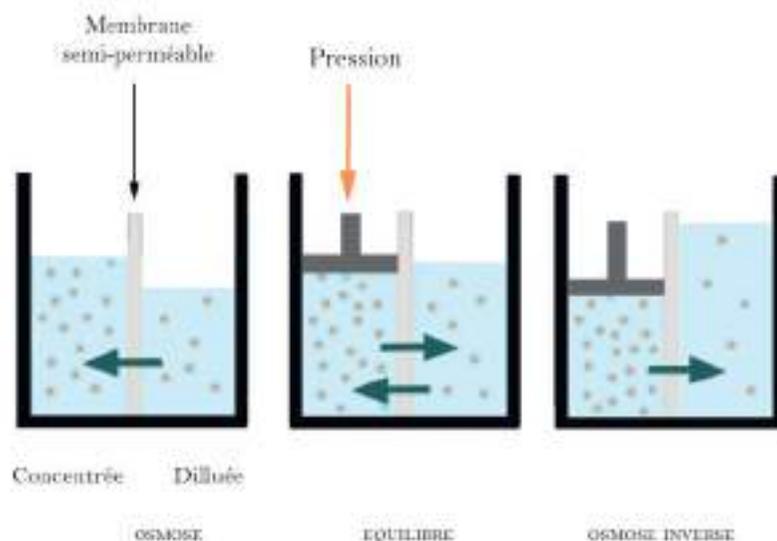


Éliminer les parasites et les bromates, et désinfecter l'eau. Le chlore empêche la prolifération des bactéries.

*Les étapes de traitement pour la potabilisation de la Seine<sup>29</sup>*



Les différents degrés de filtration<sup>(6)</sup>



Fonctionnement de l'osmose inverse

Les cinq premières étapes sont similaires au procédé de filtration par lagunage comme celui que l'on cherche à mettre en place à Comines. L'eau filtrée disponible à partir de cette étape ne peut être utilisée que pour de l'arrosage de culture.

Les quatre dernières étapes servent à la potabilisation de l'eau par ozonation (micro-filtration) et filtrage au travers d'un dernier filtre à charbons actifs (nanofiltration) pour éliminer les derniers polluants. Le traitement par ultra-violets et la chloration éliminent les derniers parasites et bactéries.

Regardons plus en détails le procédé de potabilisation et notamment par la technique de l'osmose inverse ...

#### - TECHNIQUES DE POTABILISATION - L'OSMOSE INVERSE

La technique de l'osmose consiste à équilibrer deux liquides séparés par une membrane filtrante ; ce qui signifie que si de l'eau contient des concentrations différentes des deux côtés de la membrane ces concentrations vont finir par s'équilibrer pour être équivalente des deux côtés.<sup>(6)</sup>

On peut inverser le processus, on parle alors d'osmose inverse, en forçant le passage de toutes les concentrations d'un même côté de la membrane et ainsi ne plus avoir que de l'eau pure de l'autre côté de la membrane. L'eau potable se trouve être au cœur des nombreuses recherches, ainsi il existe beaucoup de techniques qui ont des degrés de filtration différents.

Comme nous pouvons l'observer sur ce schéma, ce procédé descend jusqu'au plus petit degré de filtration, seules les molécules d'eau passe à travers les filtres d'osmose inverse, ne laissant passer ni les particules de sel ni les ions. Ce qui en fait l'un des meilleurs procédés de filtration.

C'est une technique qui a été mise au point par la NASA pour la production d'eau potable des astronautes lorsqu'ils partent pour des séjours longs dans l'espace. L'utilisation de cette technique est maintenant très répandue pour dessaliniser l'eau de mer.

Une qualité d'eau obtenue par filtration par lagunage dont le processus aurait été complété par une filtration plantée sur sable pourrait être ensuite potabilisée par un procédé d'osmose inverse. Mais dans ce cas l'eau pure obtenue par ce procédé de filtration devra être reminéralisée

- MISE EN PLACE DE CE PROCÉDÉ À L'ÉCHELLE DU BÂTIMENT - APPLICATION  
À COMINES

L'idée à cette échelle est de venir mettre en place un programme de sensibilisation sur le traitement de l'eau.

La maison de l'eau serait composée de sections de potabilisation par la méthode d'osmose inverse, visible par le public qui peut prendre conscience de l'importance de la quantité d'eau, et ainsi rendre la technique plus attractive. Puis de sections d'exposition et d'activité sur la thématique du nouveau réseau de l'eau de pluie comme nouvelle ressource complémentaire à notre circuit d'eau potable actuel. Et pour finir il sera aussi évoquée la notion de stockage avec un belvédère.

Intéressons-nous ici aux blocs de traitement de l'eau. Tout d'abord l'eau va être pompée du bassin final où sont stockées les eaux traitées par phyto épuration et par la station d'épuration. Nous retrouverons au sous-sol du bâtiment, une série de machines qui permettront le pompage de l'eau, des tests sur la qualité l'eau, un dernier filtrage de sécurité (pour enlever les particules qui pourraient bloquer l'osmose inverse).

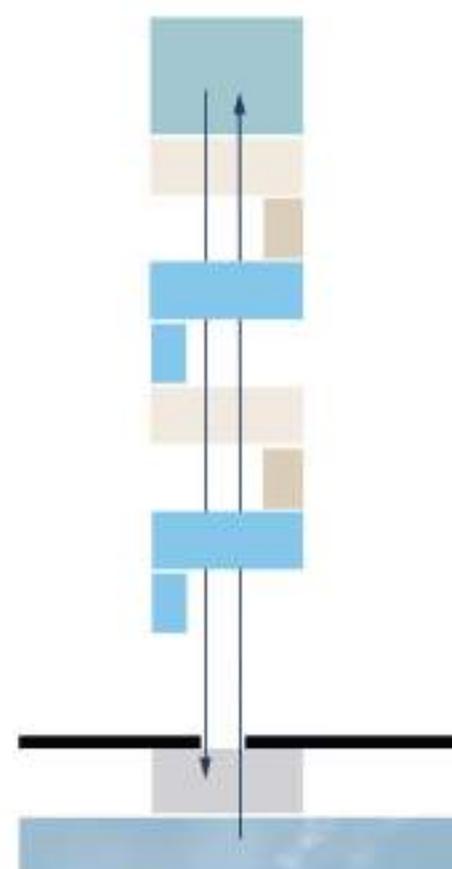
L'idée est que l'osmose inverse soit le procédé mis en valeur, l'eau va donc être pompée jusqu'à un premier bassin de la maison de l'eau. Celui-ci sera relié à un deuxième bassin par une pièce technique comportant les filtres d'osmose. Ces deux cuves font partie de l'architecture et leurs parties vitrées créer un événement lors du fonctionnement des machines pour que le public puisse comprendre le procédé avec la montée et la descente des eaux.

Après cette étape de traitement, l'eau va rejoindre grâce à des pompes un grand bassin qui surplombe le parc dans le but d'y être stockée et reminéralisée.

Sachant que l'eau de pluie est dure, avec un Ph d'environ 5.5, l'intégralité des bassins sont construits en béton fibré qui lui à un Ph de presque 12, ainsi le béton va rentrer dans le cycle du traitement de l'eau potable. Par phénomènes chimiques l'eau va tendre à devenir neutre avec un Ph à 7.

L'utilisation d'un béton fibré permet également d'éviter l'érosion des barres d'armature du béton armé.

Attardons-nous maintenant à la fonction de stockage qui prône en haut de la maison de l'eau et qui termine le cycle de traitement.



*Organisation programmatique du bâtiment*

Légende:

- |                                    |                                     |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| Bassin de stockage                 | Locaux techniques - tests           |
| Expositions et activités sur l'eau | Bassin où les eaux sont pompées     |
| Bassins d'osmose inverse           | Circulation de l'eau et des piétons |



*Variation du niveau de l'eau.<sup>88</sup>*

*Château d'eau sur la Tamise - Londres, Angleterre - Brooks Stacey Randall*

La géométrie de ce château d'eau est née de la rencontre entre les aspects architecturaux et des enjeux de la protection de la ressource en eau potable.

Le réservoir est fait de deux cylindres de verre qui entourent la colonne technique en leurs centres.

L'ensemble : la Thames Water Tower - la Tour de l'eau - située le long de la Tamise à Londres, est idéalement situé en plein cœur d'un centre urbain. Il offre ainsi une vue directe sur le niveau d'eau disponible en eau potable. Permettant aux riverains de prendre conscience de leur niveau de consommation.

Le réservoir est également scénarisé par un jeu de lumière qui offre d'autres perspectives la nuit tombée.



*Une boîte transparente sur une structure en béton armé.<sup>89</sup>*

*Château d'eau de Ghlin*

La géométrie de l'ensemble est née de la rencontre entre les aspects architecturaux et les techniques structurelles de l'ingénierie. La cuve d'une capacité de 2000m<sup>3</sup> est un cylindre métallique de 11m de hauteur simplement posée sur une dalle de béton précontraint de 20m de côté. La cuve est entourée d'un bardage transparent qui permet une vue à 360° du parc qu'il surplombe et y compris la nuit grâce à un système d'éclairage judicieusement disposé. L'ensemble a été imaginé par l'architecte avec la perspective de pouvoir être transformé pour remplir d'autres fonctions si la fonction château d'eau disparaissait. En effet, en retirant la cuve qui est simplement posée, on aurait alors à disposition un plateau de 20m<sup>2</sup> pour y accueillir un restaurant panoramique par exemple.

*a - Tout d'abord un peu d'histoire.*

Depuis l'origine des temps l'eau est une priorité. On en a besoin pour s'hydrater, cuisiner, se laver. Le corps humain est composé de 60% d'eau. L'eau : c'est la vie !

Au commencement, pour se ravitailler en eau, la norme était la « corvée du seau » assurée par des « porteurs d'eau » qui allaient chercher l'eau au point d'eau le plus proche. Puis, progressivement, les peuples se sont sédentarisés au plus près des points d'eau.

Mais la densification des populations autour des points d'eau a commencé à éloigner les lieux d'habitation des points d'eau.

On a donc commencé construire des canalisations qui amenaient l'eau des rivières vers des fontaines au plus près des habitations.



*L'incroyable réseau de tout-à-l'égout de Mohenjo\**

Sur le continent européen on a retrouvé des traces d'irrigation d'eau potable qui dateraient d'environ 7000 ans avant J-C faites de digues de sable ou de roches pour ainsi créer des canaux.

On retrouve les traces d'un réseau d'eau potable complexe fait de canalisations pour la distribution domestique, d'alimentation de bains publics ou de piscines privées qui daterait de plus de 3000 ans avant notre ère au Pakistan dans la ville de Mohenjo.



*L'aqueduc romain de Roquefavour<sup>18</sup>*



*Château d'eau de Pompé<sup>19</sup>*

On connaît la réputation des grands bâtisseurs romains. Ils sont sans doute les premiers à avoir appris à structurer et maîtriser la distribution de l'eau à la population de façon organisée. Ils ont construit des barrages pour créer des réservoirs d'eau et des aqueducs pour transporter l'eau en des points stratégiques dans les villes pour pouvoir ensuite distribuer l'eau au travers de jeux de canalisation, on a même retrouvé des canalisations d'évacuation des eaux usées.

Au II<sup>e</sup> siècle avant JC à Rome on recensait 200 châteaux d'eau qui alimentaient 1000 fontaines. Les châteaux d'eau n'étaient pas encore des tours mais des réservoirs posés au niveau du sol légèrement surélevés. Très souvent entourés d'une façade d'ornementation pleine de symboles de puissance, ils étaient synonymes de puissance et de richesse (cela devait se ressentir dans leurs architectures).

En l'an 100 après J-C Rome comptait 19 aqueducs pour 250 châteaux d'eau et 1352 fontaines.

C'est la distribution d'eau urbaine la plus impressionnante de l'antiquité. De nombreuses étapes dans la distribution de l'eau étaient assurées ; la décantation pour protéger l'eau des pollutions extérieures, les aqueducs qui transportaient l'eau sous pression vers des bassins de stockage ; la distribution des réservoirs ou des châteaux d'eau pour ensuite alimenter les fontaines<sup>20</sup>.

La fin de l'Empire Romain correspond à la fin de la période de l'Antiquité que l'on situe vers la fin du Ve siècle après J-C

Au gré de leurs conquêtes les Romains exporteront leurs méthodes de stockage et de distribution d'eau. Elles seront conservées jusqu'à la fin du moyen âge (Ve - XVe siècles).



*La fontaine de La Rochelle, « château d'eau de l'Arsenal »<sup>69</sup>*

C'est une période de l'histoire pendant laquelle l'Europe a connu d'importantes épidémies et en particulier de peste, de choléra et de fièvre Jaune.<sup>68</sup>

C'est vers la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle que les ingénieurs ont cherché des solutions pour mettre en sécurité sanitaire les réservoirs d'eau en les plaçant hors de portée en hauteur. Au début du XVIII<sup>e</sup> siècle ces réservoirs posés en hauteur se verront appelés « châteaux d'eau ».



*Châteaux d'eau de la gare de Nangis en Seine-et-Marne<sup>70</sup>*

#### L'essor de la population:

Jusqu'à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle l'évolution démographique reste relativement stable en Europe. A la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle l'Europe, Russie comprise, compte un peu moins de 200 millions d'habitants.

A partir du XIX<sup>e</sup> siècle grâce à la diminution des épidémies et un bon rendement agricole qui améliore l'alimentation on observe une accélération de la progression démographique en Europe. A la fin du XIX<sup>e</sup> siècle la population en Europe a plus que doublé et compte un peu plus de 400 millions d'habitants.

Le XIX<sup>e</sup> siècle est aussi un siècle de transition, marqué par le début de la mutation d'un monde jusqu'alors plutôt agricole vers un monde qui progressivement s'urbanise, grâce aux révolutions des technologies industrielles (période de l'histoire que l'on désigne aussi comme celle de la « révolution industrielle »).



*Château d'eau de l'usine Singer à Bonnières en Seine-et-Oise (aujourd'hui dans les Yvelines)<sup>11</sup>*

En France, la croissance de la population urbaine est en retard par rapport au reste de l'Europe et reste relativement lente jusque pendant les trente premières années du XIXe siècle, puis elle s'accélère ... on compte 6 millions d'habitants en 1831 ... et pratiquement le triple avec 15 millions d'habitants soixante ans plus tard en 1891 ...

La population urbaine française doublera encore pendant le XXe siècle en franchissant la barre des 30 millions d'habitants en 1981.

L'histoire des châteaux d'eau est intimement liée avec cet essor industriel et démographique qui concentrent des besoins en eau considérable notamment les usines pour refroidir les turbines et les moteurs et des gares pour alimenter les locomotives à vapeur. La distribution de l'eau devient un enjeu crucial.

*b - Les différentes typologies de châteaux d'eau qui ont marqué l'histoire*



*Château d'eau réalisé par l'ingénieur Edouard-Emile Leberf<sup>2</sup>*

Au début du XIXe siècle on utilise la force du vent grâce à des éoliennes, appelées : « éoliennes Bollée »<sup>20</sup> pour pomper l'eau des nappes phréatiques. L'éolienne est posée sur le château d'eau. La force mécanique de l'éolienne fait tourner une turbine qui produit de l'électricité pour faire fonctionner la pompe de relevage. La turbine et la pompe sont placées dans le bâtiment du réservoir.

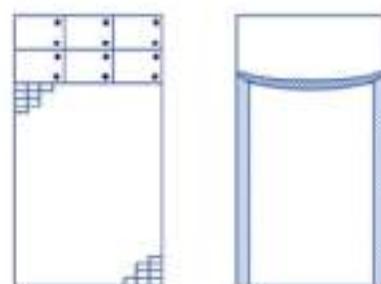
On trouve un bel exemple d'une éolienne Bollée posée sur un château d'eau situé à Pons - Charente Maritime (17) au lieu-dit « le clone ».

Réalisé en 1892, le château d'eau a été classé monument historique en 2006.



*Château d'eau de la gare de Lioran<sup>19</sup>*

Les châteaux d'eau d'aspect « turriforme » font leur apparition vers le milieu du XIXe siècle. Le terme « turriforme » signifie que le château d'eau a une forme de tour faite de briques et de pierres sur laquelle était posée une cuve à fond creux réalisée par un assemblage riveté de tôles d'acier. La cuve était souvent masquée par un bardage d'enveloppement en bois ou en maçonnerie et le tout couvert d'un toit.

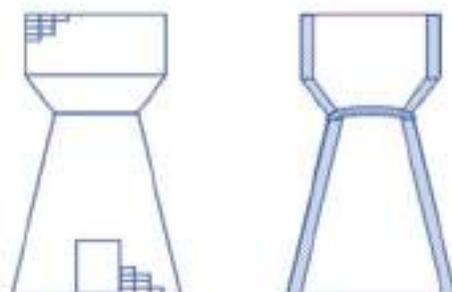


*Dessins de façade et coupe d'un château d'eau «turriforme»*



*Château d'eau de la ville de Domont<sup>22</sup>*

Un ingénieur des travaux public allemand Otto Intze (1843-1904) et professeur d'hydraulique, de génie civil et de science des matériaux à l'école des Mines d'Aix-la-Chapelle dépose en 1885 le brevet pour la conception d'une cuve qui concentre le poids de l'eau sur un couloir plus étroite que la cuve qui lui donne cette forme de bouchon de champagne.



*Dessins de façade et coupe d'un château d'eau «bouchon de champagne»*

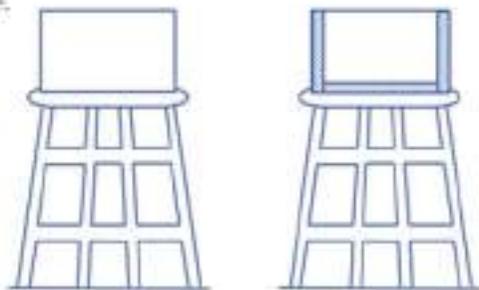


*Château d'eau de la ville de Zebruggé<sup>18</sup>*

François Hennebique (1842-1921) est un ingénieur français qui s'installe en Belgique à l'âge de 20 ans. En 1882 il est l'auteur d'un brevet qui s'appuie sur le concept du béton armé pour la création de poutres légères à haute résistance.

A la fin de la première guerre mondiale il fallait très vite reconstruire les châteaux d'eau qui ont été détruits. Le système Hennebique qui s'avère être une technique peu coûteuse et rapide à mettre en œuvre sera fréquemment utilisé pour la reconstruction des châteaux d'eau faits de simples cuves d'acier ou de béton à fond plat posées sur des structures de poutres légères.

Depuis beaucoup d'entre eux ont été détruits parce que bien souvent les cuves d'acier rouillaient et des fuites apparaissaient ; mais jamais à cause de la fragilité des structures. Il reste encore dans les Hauts de France et en Wallonie quelques châteaux d'eau de type Hennebique.



*Dessins de façade et coupe d'un château d'eau «hennebique»*



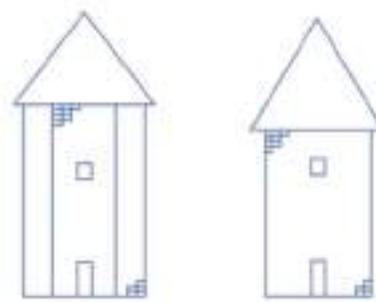
*Château d'eau de la Commune de Kalmhout<sup>19</sup>*



*Château d'eau situé à Etretat<sup>4</sup>*

A partir de 1940 l'esthétique des châteaux d'eau devient une vraie préoccupation. On essaie d'en masquer la fonctionnalité en cachant la cuve dans un étui et en lui redonnant une forme de tour.

Celle-ci est souvent de forme polygonale avec des arêtes marquées sur laquelle est posé un toit de forme conique ou orné d'un pavillon.

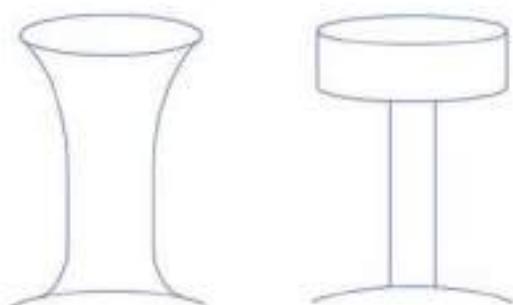


*Dessins de façades de chateau d'eau du début du XX<sup>e</sup> siècle*



*Château d'eau de la Commune de Chevroux\* Château d'eau de Sint-Amands (Anvers)\*\**

A partir de 1970 avec l'évolution des techniques de construction modernes et l'intervention des architectes les structures redevenaient apparentes et donnent libre cours à des formes plus complexes.



*Dessins de façades de chateau d'eau de la fin du XXè siècle*

### c - *Fonctionnement d'un château d'eau*

Le château d'eau exploite une force naturelle : la gravité, et un principe physique simple : celui des vases communicants.

Placé sur le point le plus haut de la zone qu'il distribue, il est capable d'alimenter les consommateurs sans avoir besoin d'autre forme d'énergie, du moment que leurs robinets soient à une altitude inférieure.

L'eau, soit en provenance des stations d'épuration, soit pompée dans la nappe phréatique, est amenée dans la cuve de stockage par la « conduite d'arrivée ».

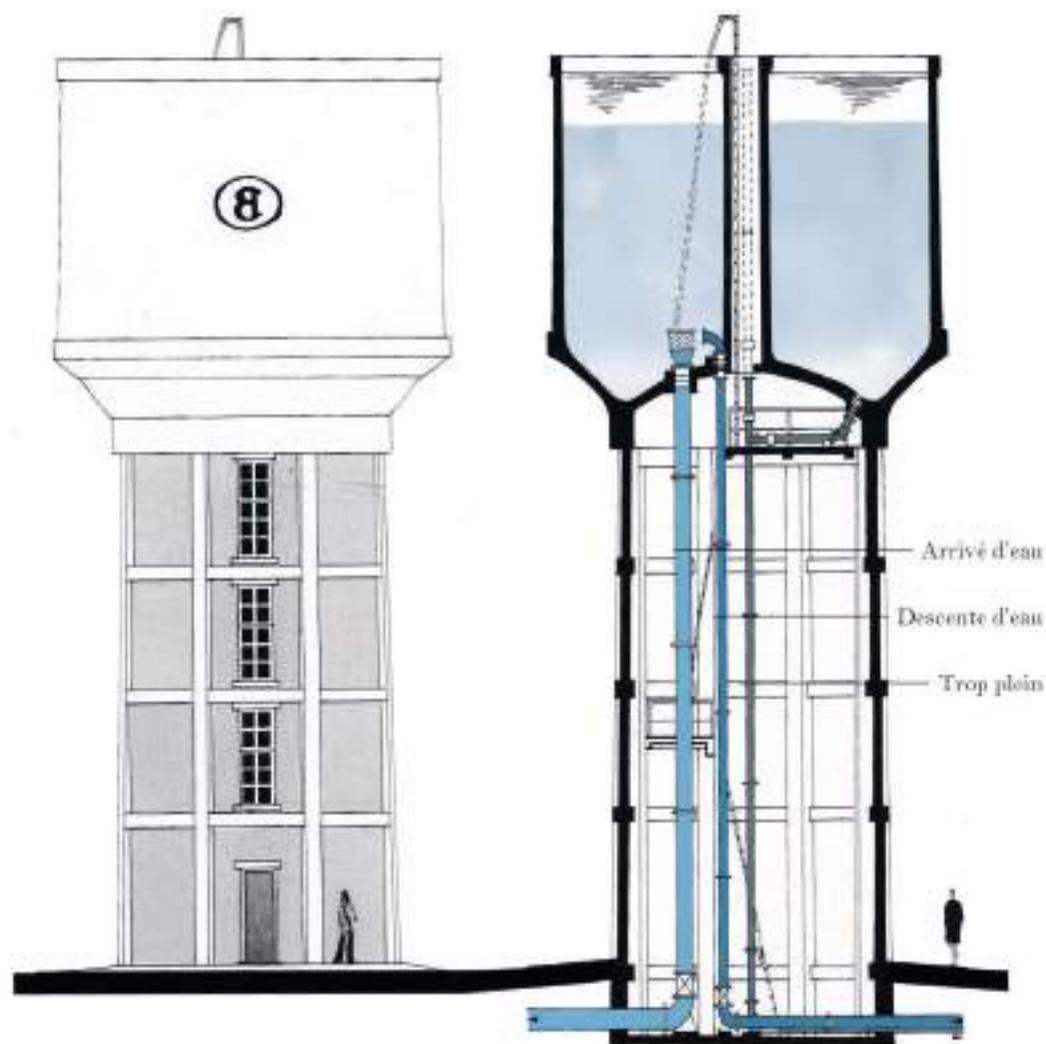
Un système de trop-plein par flotteur permet d'arrêter le remplissage lorsque la cuve est pleine.

L'eau est ensuite distribuée par gravitation aux habitations via la « conduite de distribution ».

La hauteur entre la cuve du château d'eau et le robinet permet de déterminer la pression de l'eau au robinet ; on compte 1 bar par 10m d'altitude. Si la cuve du château d'eau est à 30m d'altitude de votre robinet vous aurez 3 bars de pression.

La dimension de la cuve est calculée pour une consommation d'eau de 24 heures en cas d'accident à la station d'épuration. Comme l'eau est stagnante dans la cuve cela permet une décantation des éventuelles impuretés et un mélange optimal avec des produits de traitement si elle est directement pompée d'une nappe phréatique.

Dans le cas où des réparations pourraient être nécessaires des vannes sont installées sur les deux conduites.



*La distribution d'eau dans un château d'eau<sup>61</sup>*

#### *d - Polémique sur l'esthétique des châteaux d'eau*

Par nature le château d'eau ne fait pas partie du domaine de l'art de bâtir mais plutôt du domaine de l'ingénierie. Les architectes ne s'y sont pas immédiatement intéressés. Cependant, à partir du milieu du XXe siècle, les châteaux d'eau prennent une part de plus en plus importante dans le paysage urbain de telle sorte que les architectes ne peuvent plus les ignorer. D'autant qu'à partir du milieu du XXe siècle les techniques de construction ont beaucoup évolué pour leur permettre de s'exprimer avec des formes très complexes.

Un château d'eau est en principe une sorte de repère visuel ; de fait, pour profiter de façon maximale du phénomène de la gravitation et donc garantir une bonne distribution de l'eau, le château d'eau est posé au point le plus haut du paysage rural ou urbain ; pendant longtemps pourtant l'inscription visuelle de ces ouvrages dans nos paysages ruraux et urbains est quelque fois à l'origine de polémiques.

On peut citer par exemple Auguste Perret (1870-1954)<sup>24</sup> : « Depuis un siècle, les châteaux d'eau, verrues de béton montées sur pied, défigurent le paysage et occupent, à côté des gares, des gazomètres et des silos à blé, une place de choix au musée des horreurs architecturales ».

Fort heureusement aujourd'hui les architectes ont le souci de mieux intégrer le château d'eau dans son environnement naturel ou bâti en lui donnant des formes assumées. L'objet est utilisé pour en faire un signal, une sculpture ou une peinture en trois dimensions, qui embellit le cadre de vie.

On reprend conscience de leur importance !

Un célèbre couple de photographes allemands, Bernd et Hilla Becher, font depuis les années 50 une véritable apologie des bâtiments industriels avec une large part aux châteaux d'eau auxquels ils ont dédié un ouvrage (cf image «water tower»)<sup>25</sup>

Les châteaux d'eau font dorénavant partis du patrimoine qu'il faut préserver. Beaucoup ont déjà fait l'objet de rénovation ou de réhabilitation.

Dans ce qui suit je propose une analyse stylistique architecturale des châteaux d'eau sur une période contemporaine comprise entre la fin du XIXe siècle et la fin du XXe siècle.



*«Water Towers, série prise entre 1970 et 2009. Photo Bernd and Hilla Becher. Courtesy of Sonnabend Gallery, NY.*

### - LA FONCTION DU CHÂTEAU D'EAU PLUTÔT QUE SA FORME

Fin des années 1800 les châteaux d'eau sont strictement fonctionnels avec des formes réduites à leur plus simple expression répondant à l'essentiel et construits avec des matériaux les moins coûteux comme la brique et l'acier.

Une forme simple et rustique qui se déploiera largement avec l'expansion des chemins de fer (cf photo «*Cuve en acier - Gare de Junglister au Luxembourg*»).

Cette silhouette familière qui montre la fonction à l'état brut sera conservée jusqu'à la fin de la traction à vapeur vers les années 1950-1960.

On trouve à peine une ou deux ouvertures comme sur cet exemple de celui de la gare de Charleroi (1896) faites de pierres bleues et un bandeau de raccord sous la cuve qui donne un vague rappel néo-classique comme celui utilisé à l'époque pour la construction des usines.

On ne retrouve pas le mouvement néo-gothique ou néo-médiéval dans les formes de châteaux d'eau construits à l'époque alors que ce sont des mouvements fortement utilisés vers la fin des années 1800 et notamment pour les bâtiments religieux ; pourtant le volume turriforme peut facilement renvoyer des images de «*château-fort*» avec une allusion au donjon dont on trouve cependant quelques rares contre-exemples comme ici à Bailleul dans le Nord (59).



*Cuve en acier - Gare de Junglister au Luxembourg (1920).<sup>66</sup>*



*Réservoir d'eau avec un bardage en bois.<sup>67</sup>*

### - LES PREMIERS HABILLAGES

Début des années 1900 jusqu'en 1920/30 avec une urbanisation en forte croissance les villes se transforment profondément ; néanmoins la forme des châteaux d'eau reste rustique avec les cuves laissées à ciel ouvert ; on commence à habiller les messthétiques cuves d'acier avec des bardages en bois pour leur donner une tournure plus acceptable. (Cf photo: «*Réservoir d'eau avec un bardage en bois.*»)

Plus tard les bardages en bois seront remplacés par une maçonnerie d'enveloppement qui permettra d'obtenir des formes cylindriques avec une physionomie plus cohérente entre le pied et la cuve tout en gardant un style néo-classique ou encore des formes en colombage en briques.



Château d'eau avec une cuve en acier entourée d'un bardage en briques vernissées<sup>66</sup>



Château d'eau construit selon le principe dit « du système Hennebique ».<sup>66</sup>  
A gauche: le château d'eau de Bondues - A droite le château d'eau de Masnières

L'utilisation de matériaux différents comme la brique vernissée et l'acier permet un effet chromatique qui traduit une prise en considération de l'impact paysager du château d'eau dans son environnement avec une dissimulation partielle de sa fonction. (Cf images: «Château d'eau avec une cuve en acier entourée d'un bardage en briques vernissées»)

#### - L'UTILISATION DU BÉTON ARMÉ

Dans la même période, le béton a fait l'objet de multiples expériences et recherches théoriques pendant près d'un demi-siècle avec un tournant au début des années 1900<sup>67</sup> à partir duquel les ingénieurs-concepteurs de châteaux d'eau ont commencé à rapidement faire évoluer leurs formes.

L'utilisation de ce matériau économique permettait de construire des pylônes faits d'une ossature de poteaux apparents de formes circulaires ou polygonales ; l'ensemble maintenu par des ceintures dans le plan horizontal en fonction de la hauteur du pylône.

Cette structure légère renvoie une image rationnelle avec une cuve qui semble simplement posée sur le pylône ; c'est cette image qui sera gardée pendant des décennies comme l'emblème du château d'eau. (Cf images: «Châteaux d'eau construits selon le principe dit « du système Hennebique »»)

Un peu plus tard cependant pour des raisons techniques mais également esthétiques on va commencer à remplir les interstices des ossatures en les maçonnant avec des briques. Cela ne change pas la volumétrie de l'ensemble mais on revient vers une image de colonne dont la base est rarement aménagée sur le plan architectural.

Ce modèle de châteaux d'eau était plus facile et moins coûteux à reproduire ; il faudra attendre l'après-guerre pour que l'on commence à repenser la forme des châteaux d'eau pour tenir compte de nouveaux paramètres de construction.

### - UNE INFLUENCE ART DÉCO

On note une influence art-déco avant la deuxième guerre mondiale en opposant l'image d'un volume cylindrique ou polygonale unique à une image plus marquée en séparant clairement les lignes verticales des pylônes à celles horizontales des cuves avec des effets décoratifs qui se combinent avec les effets structurels. (Cf images «Château d'eau de Overijse» et «Château d'eau de Cenon»)

### - MEILLEURE INSCRIPTION VISUELLE DANS L'ENVIRONNEMENT NATUREL

Après la seconde guerre mondiale une révision de l'état général des châteaux d'eau s'impose et très souvent il faut en reconstruire. Sans nécessairement changer les formes générales d'avant-guerre on va néanmoins commencer à privilégier des constructions qui s'inscrivent mieux dans leur environnement.

Dans les années 1950/60 le développement des pavillons individuels amorce un retour à la ruralité et en même temps un rejet d'une esthétique uniquement fonctionnaliste des châteaux d'eau.

Cette fois on ressent une prépondérance des architectes sur les ingénieurs-concepteurs qui reçoivent dorénavant des cahiers des charges qui imposent des plans types et des listes de matériaux à utiliser élaborés par les architectes ; le mot d'ordre est clair : il faut exclure les formes qui heurtent, ne plus agresser les paysages.

L'utilisation du béton est alors considérée comme une expression trop brutale de la fonction, on revient à une utilisation d'une maçonnerie de briques avec des proportions mieux étudiées entre le pied et la cuve.

Les spécificités et caractéristiques de la région commencent à être prises en compte en utilisant des pierres naturelles locales et des formes de toiture plus authentique à l'image de la région ; le château d'eau est dorénavant mieux inscrit dans son paysage naturel fait d'arbres et d'arbustes pour le fondre dans son environnement naturel.



*Château d'eau de Overijse\**



*Château d'eau de Cenon\**

#### - RETOUR EN FORCE DU BÉTON AVEC LE PRÉCONTRAIT

Les années 60 sont une période charnière entre un monde qui se termine et un nouveau qui commence. C'est une décennie pendant laquelle la créativité n'a cessé d'étonner par son audace et son inventivité.

C'est la décennie des grands projets : stades, aéroports, viaducs, salles de spectacles ; un moment de forte production pendant lequel les architectes et les ingénieurs-concepteurs font cause commune et portent une attention soutenue aussi bien aux tracés de la silhouette qu'aux subtilités de la mise en œuvre. (CF images: « Château d'eau de Les-Essarts-Le-Roi » et « Château d'eau de Valence »)

C'est ainsi qu'une meilleure maîtrise de la mise en œuvre du béton précontraint permet aux architectes de proposer des formes plus expressives par l'utilisation d'ellipses et arcs paraboliques réalisées par des voiles minces.

#### - UNE TENTATIVE D'EXPRESSION DIFFÉRENTE PAR L'ACIER

Dans cette même période des années 1960/75 on identifie une courte génération de châteaux d'eau en acier comme une véritable démonstration des capacités de l'ingénierie de l'époque ; mais majoritairement installée sur des terrains industriels ; en offrant une très grande compétitivité économique par comparaison aux solutions en béton

La précision des assemblages au millimètre renvoie une image de qualité supérieure aux autres solutions ; la finesse des pylônes met en valeur la sphéricité des cuves faites en aluminium dans lequel se projettent les reflets du ciel.



*Château d'eau de Les-Essarts-Le-Roi avec une structure hyperboloïde<sup>60</sup>*



*Château d'eau de Valence avec une structure hélicoïdale<sup>60</sup>*

- *FRANÇOIS HENNEBIQUE :*

François Hennebique est un autodidacte de la maçonnerie devenu chef de chantier sans avoir reçu de formation d'ingénieur. IL est français, né au milieu du XIXe siècle en 1842 dans le Pas-de-Calais à Neuville-Saint-Vaast, et est mort à Paris un peu après la première guerre mondiale en 1921.<sup>99</sup>

C'est à Courtrai en Belgique qu'il démarrera sa carrière d'entrepreneur de bâtiment en 1867 et y passera 20 ans.

Pendant sa carrière d'entrepreneur il va s'intéresser à l'alliance de fer et du béton mais d'abord avec l'idée de protéger le fer du feu.

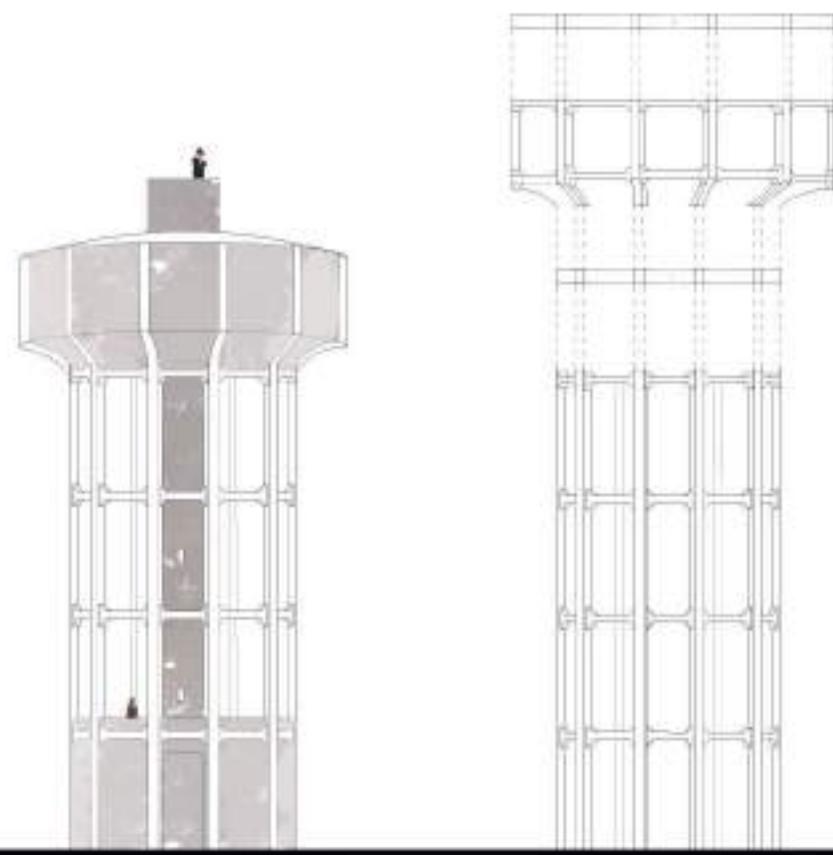
De retour en France il met au point en 1890 un système de construction associant le fer et le béton qui portera son nom « Le système Hennebique » ; en 1892 il dépose le brevet de « La poutre à étrier » dont le principe consiste à noyer une armature composée de fers ronds solidarises par des étriers dans une poutre faite de béton ; et Il créer en 1894 un bureau d'études « Bétons armés Hennebique ».

Avec une position de quasi-monopole et dans un marché mondial en pleine croissance avec d'importants programmes de modernisation des villes et d'aménagement de territoires, la simplicité du système Hennebique qui peut s'adapter à tous types de construction, va connaître une très forte croissance avec jusqu'à 30 agences et 160 concessions réparties dans le monde entier ; tous les calculs de structure sont centralisés au bureau d'études de Paris.

L'exposition universelle de 1900 à Paris apportera la consécration à François Hennebique et son béton armé. En 1906 les brevets de François Hennebique tombent dans le domaine public et l'usage du béton armé est réglementé en Europe (circulaire de 1906).

L'expansion des activités de François Hennebique va se prolonger jusqu'à la première guerre mondiale qui y mettra un coup d'arrêt. Après la première guerre mondiale les activités reprendront mais à une échelle beaucoup plus réduite. Ses fils prennent la relève à sa mort en 1921. Les activités de l'entreprise continuent de diminuer entre les deux guerres et après la seconde guerre mondiale elle n'exerce plus qu'en France.

Le bureau d'études François Hennebique sera dissout en 1967 après avoir traité près de 150 000 projets.



*Dessin de façade d'un château d'eau Hennebique*

*Une décomposition de la structure du château d'eau*

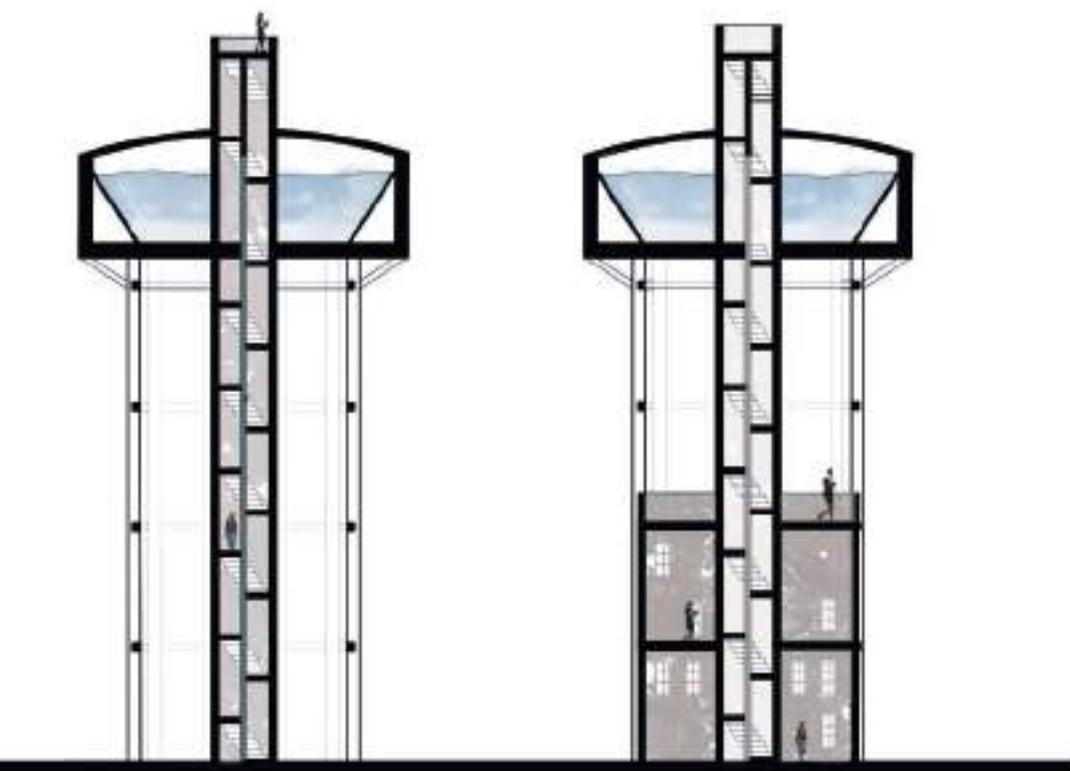
### - LE SYSTÈME HENNEBIQUE :

Le système de Hennebique est basé sur l'association de 3 fonctions : la pile porteuse, la poutre en T et la dalle.

Toutes faites de béton armé formant une seule structure formant un ensemble monolithique pour assurer une meilleure cohérence de l'ensemble et une meilleure résistance aux efforts.<sup>103</sup>

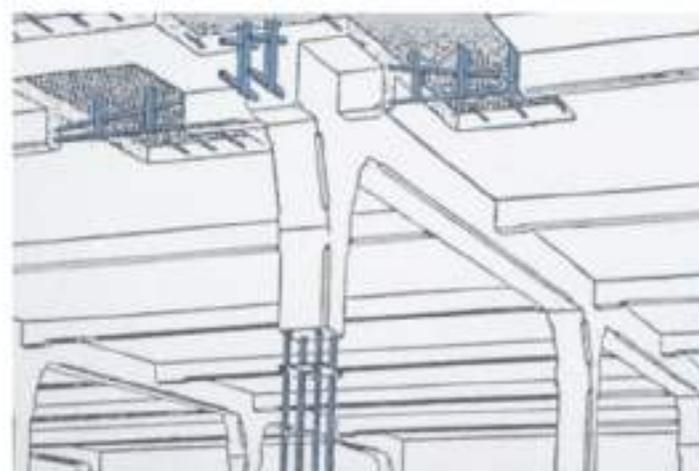
Peu coûteux et facile à mettre en œuvre le système Hennebique a été très employé pour la construction des châteaux d'eau dans le Nord de la France et en Belgique à partir de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle.

La structure des châteaux d'eau basée sur le principe Hennebique se décomposait de la façon suivante.



*La circulation piétonne et hydro-  
lique dans la colonne centrale du  
château d'eau*

*La couche extérieure de la  
structure est construite pour y  
accueillir les locaux techniques*



*Le système constructif de François Hennebique en béton armé<sup>103</sup>*

## f - Le projet « Château d'eau »

A cette échelle, pour le principe et la structure du château d'eau, je me suis inspirée des châteaux d'eau de François Hennebique.

Le projet conserve l'esprit « Hennebique » avec une structure de ce château d'eau finalement assez simple par un assemblage de colonnes verticales et de poutres horizontales qui portent une cuve. La subtilité se trouve dans l'épaisseur des éléments. Les colonnes verticales étant plus épaisses que les poutres horizontales, elles dynamisent le château d'eau, en accentuant sa hauteur.

En observant la structure des châteaux d'eau de Hennebique on constate un travail de superposition de couches. En fait il y en a trois. La première est destinée aux espaces techniques logeant les machines, celle au centre est réservée à la circulation aussi bien pour l'eau que pour les techniciens (tuyaux et escaliers), la dernière pour le stockage avec la cuve.

Cette idée de superposition de couches est conservée dans la conception de la maison de l'eau ; la structure est tramée et marque plus la verticalité. On a également une couche centrale réservée à la circulation. A la différence du château de François Hennebique, la maison de l'eau mise en place à Comines est composée d'une couche de circulation plus épaisse car celle-ci sera accessible au public avec des escaliers plus larges et un ascenseur au centre. Elle permettra également de mettre en avant la montée de l'eau jusqu'au stockage en hauteur qui devient un événement dans l'architecture.

Dans la couche périphérique on retrouve les bassins d'osmose inverse et des espaces d'exposition, le tout forme une maison de l'eau. Les bassins sont vitrés pour avoir une vision sur les différentes qualités de l'eau entre les différentes étapes de traitement. La circulation continue et passe au centre du bassin de stockage en plaçant le public au centre de celui-ci pour en apprécier le niveau.

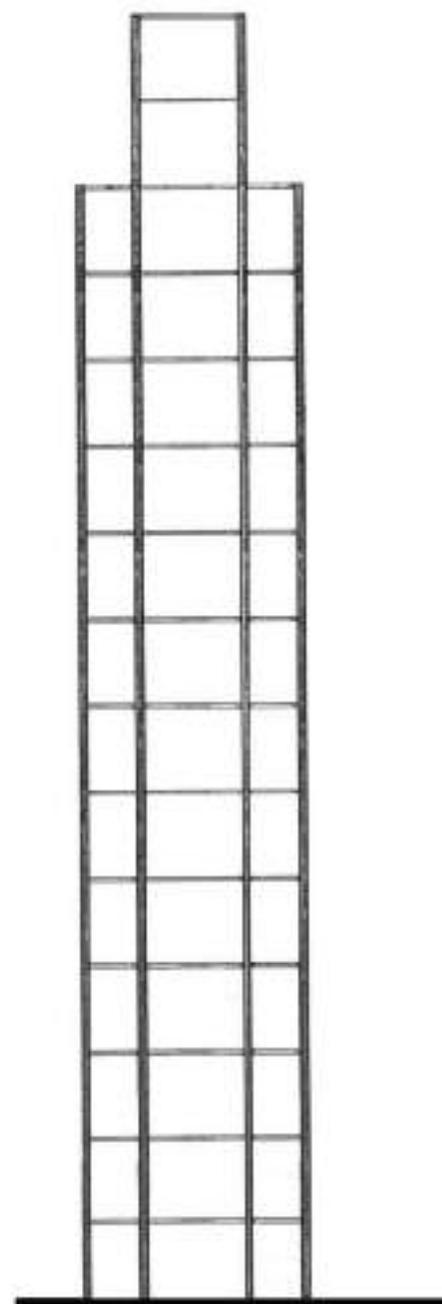
On accède aux espaces d'exposition par les toits terrasses du bâtiment. Ces toits terrasses sont tous en légère pente de 2% pour que l'eau de pluie s'écoule dans la direction de la végétation (à chaque coin du bâtiment). Cela montre une nouvelle utilisation de l'eau de pluie (l'irrigation) à l'échelle du bâti, l'eau est en partie utilisée par les végétaux et l'autre sera évaporée.

La fonction de château d'eau de la maison de l'eau forme la toiture du bâtiment mais également un signal dans la ville par son émergence à plus de 40 mètres au-dessus du sol. Cette grande hauteur va, en plus de créer un repère dans le paysage de Comines, permettre de distribuer l'eau potable aux consommateurs par le principe des vases communicants.

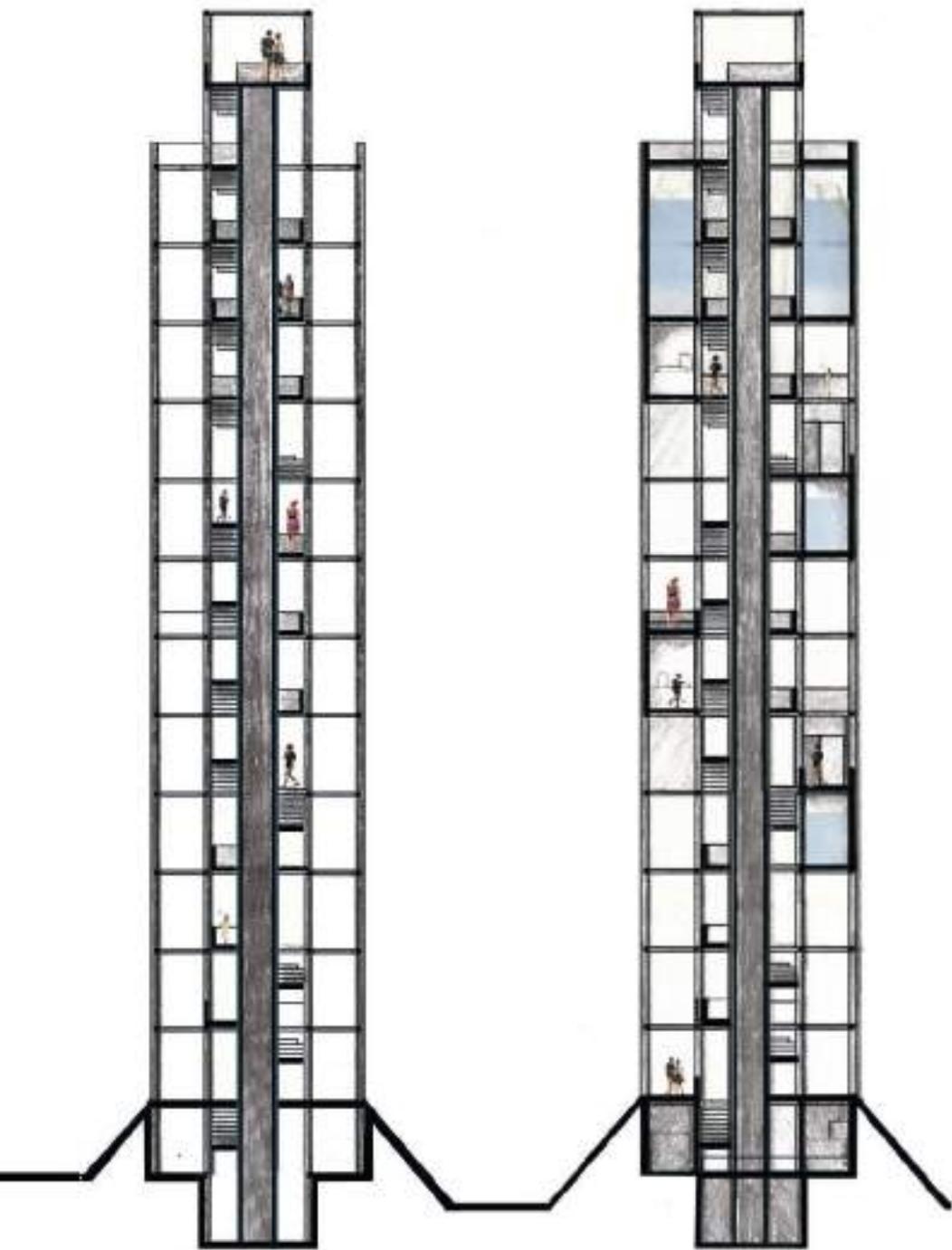
En parlant du transport de l'eau comment pourrait fonctionner la distribution de l'eau dans le projet ?



*Dessin de façade de la maison de l'eau*

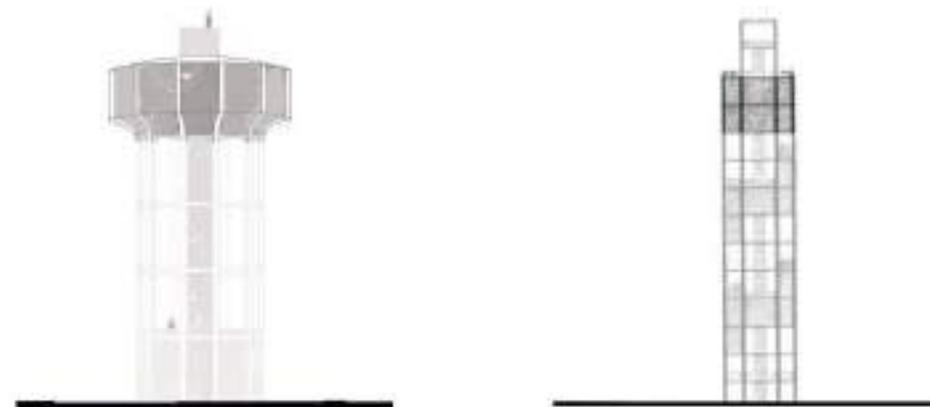


*Dessin de structure de la maison de l'eau*



*Coupe dans la circulation*

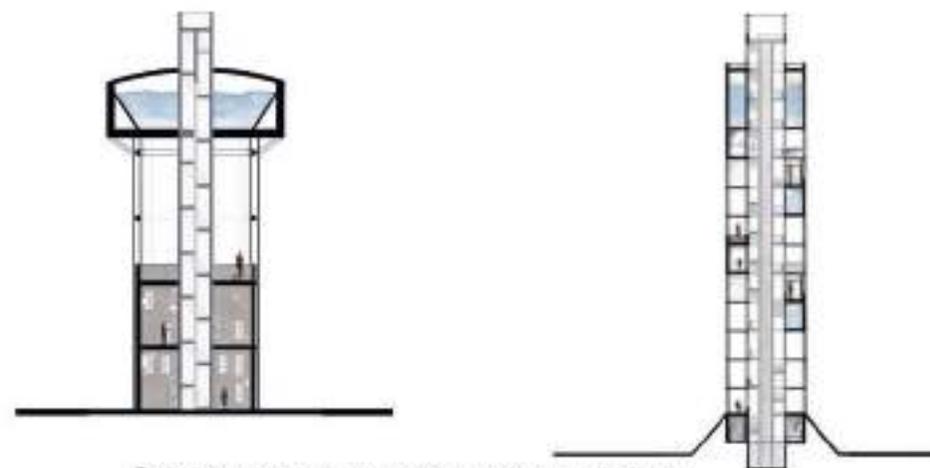
*Coupe finale de la maison de l'eau*



*LE RESERVOIR D'EAU - LE «CHAPEAU»*



*LA CIRCULATION DANS LA COUCHE CENTRALE*



*LES ESPACES HABITABLES DANS LA COUCHE PERIPHERIQUE*  
*Les 3 idées de François Hennebique qui ont guidé la conception de la maison de l'eau*



*Coupe de la maison de l'eau*

0 10 m



## DISTRIBUER

Dans ce nouveau cycle de l'eau, après avoir capté les eaux de pluie et de ruissellement, puis les avoir traité par un procédé de filtration naturel, et enfin les avoir potabilisé et stocké, il fallait de toute évidence poursuivre les travaux de recherche avec la mise en place d'une solution alternative architecturale pour réintégrer cette nouvelle ressource d'eau potable dans le circuit de distribution de la Commune de Comines.

L'intégration de cette fonction « distribuer » dans le projet s'inspire des méthodes qui avaient été employées par les bâtisseurs romains avec une réinterprétation architecturale des aqueducs bâtis pendant la période de l'Empire Romain.

Comme un autre rappel historique il était également intéressant d'inscrire ce nouvel aqueduc dans la trace de l'ancienne voie de chemin de fer qui traversait le site au début du siècle et qui a été supprimée depuis.

Du côté de Comines Belgique cette ancienne trace de la voie de chemin de fer a déjà fait l'objet d'un réaménagement paysager avec l'implantation d'un chemin vert bordé d'arbres ; la proposition du projet est donc d'aligner ce nouvel aqueduc sur ce chemin vert jusqu'à la maison de l'eau.

L'implantation de ce nouvel aqueduc sera également l'occasion de se réapproprier la valeur patrimoniale de l'ancien pont à oreilles qui hier soutenait la voie de chemin de fer.

Cet aqueduc aura une double fonction, celle première de transporter l'eau bien-sûr, mais surtout, en étant équipé de passerelles piétonnières, celle de permettre aux visiteurs du parc d'avoir une vue surplombante large et étendue, sur l'ensemble du parc et de la Lys.

L'eau potable qui est stockée dans le réservoir supérieur de la maison de l'eau sera redistribuée par le principe des vases communicants vers les circuits de distribution des Communes de Comines belge et française.

L'idée à cette étape du projet est que l'eau potable sous-pression puisse être directement réintégrée dans le circuit de distribution du côté de Comines Belgique, alors que du côté de Comines France, l'eau potable sous-pression doit dans un premier temps circuler le long de l'aqueduc, avant de pouvoir être réintégrée au circuit de distribution.

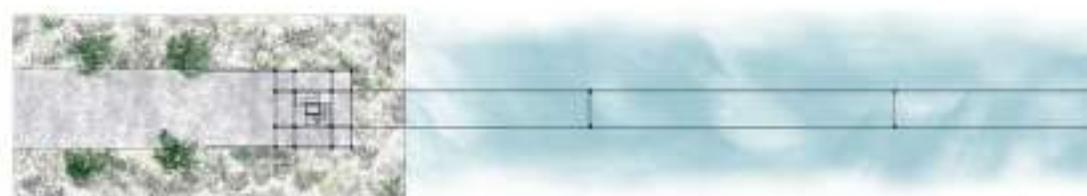
Cette dernière étape demanderait des travaux de recherche complémentaires pour bien en appréhender les contraintes techniques pour proposer des réponses architecturales et urbanistiques les plus pertinentes possibles ...



Plan R+2 - le premier bassin d'osmose inverse



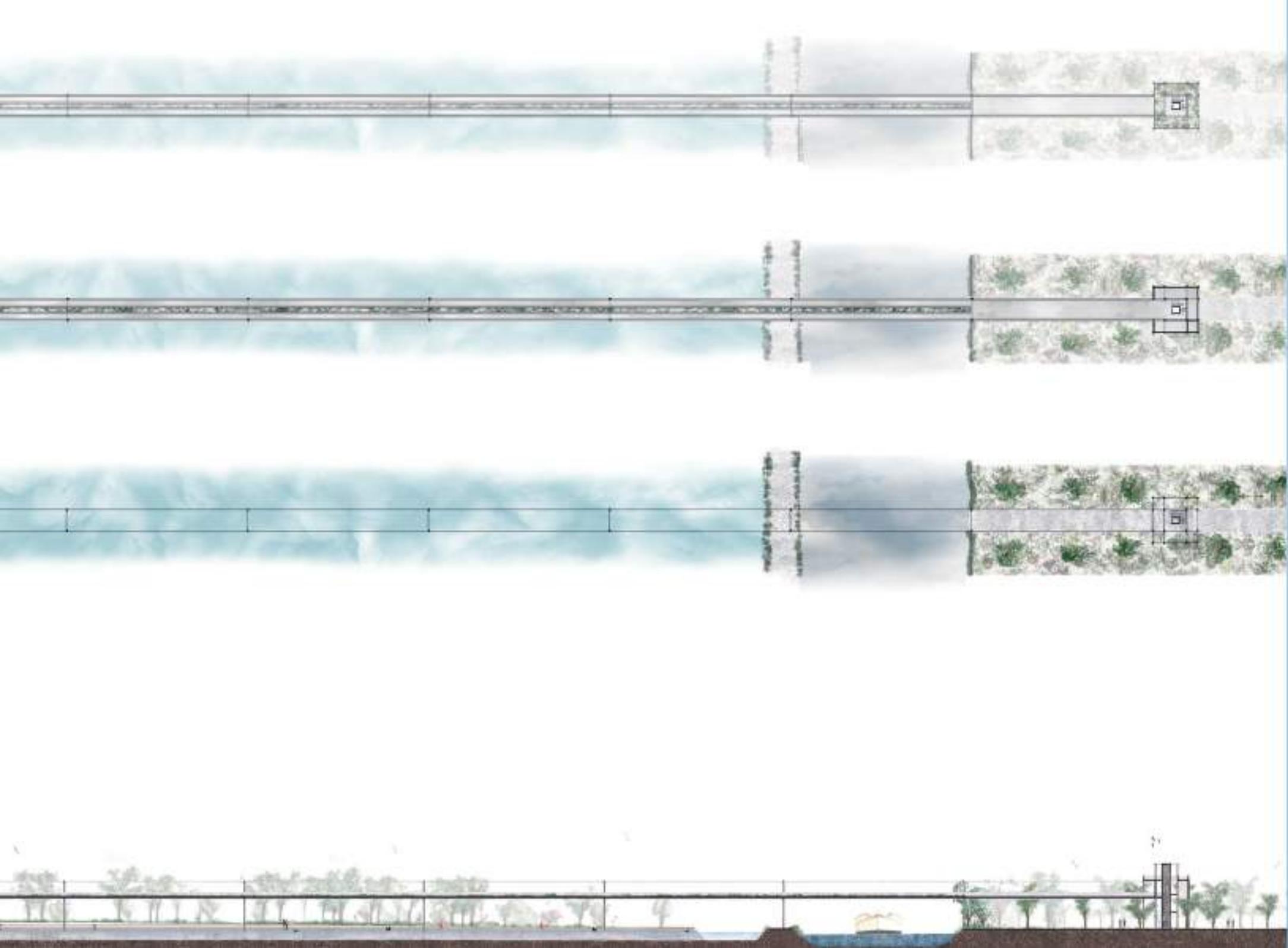
Plan de l'aqueduc



Plan de l'entrée



Coupe dans la maison de l'eau et son aqueduc qui distribue l'eau potable.



À l'origine de mes recherches pour mes Travaux de Fin d'Études je me suis intéressée à la question de la préservation du patrimoine des châteaux d'eau, en particulier ceux de type Hennebique pour leur structure et leur conception en béton armé, jugées très innovantes au début du XXe siècle, et tombées en désuétude avec la mise au point du béton précontraint à partir des années 60.

Au fur et à mesure de mes recherches j'ai progressivement pris conscience de l'appauvrissement de la ressource en eau douce. En effet, bien que 70% de la surface de la terre soit recouverte de mers d'océans de lacs et de rivières, seulement 3% de cette eau est douce. Cependant, la ressource en eau douce extraite des nappes phréatiques se raréfie en même temps que l'urbanisation se densifie, rendant de fait nos sols imperméables aux eaux de pluie.

Mais c'est surtout la qualité de la ressource en eau douce qui est mise en péril avec la concentration des polluants charriés par les eaux de ruissellement qui finalement alimentent les nappes phréatiques.

Le cycle hydrologique naturel est perturbé !

Le thème central de mon projet est de proposer une réponse architecturale et urbanistique aux enjeux de la préservation de la ressource en eau douce avec la création d'un cycle hydrologique alternatif.

Ce nouveau cycle hydrologique s'appuie sur un ensemble de solutions allant, de la captation des eaux de pluie et de ruissellement, de leur traitement par filtration naturelle de type lagunage, de leur potabilisation et jusqu'à leur stockage dans une maison de l'eau, avant de pouvoir être réintroduite dans le circuit de distribution d'eau potable.

L'ensemble s'inscrit dans l'aménagement d'un parc paysager avec la création d'un espace ludique ouvert au public autour d'un parcours de sensibilisation sur la thématique de l'importance de l'eau.

Le choix du site pour implanter le projet a été déterminé par une analyse cartographique territoriale à plusieurs échelles.

Comme l'eau n'a pas de frontière le projet a été implanté sur les Communes de Comines belge et française dont la Lys matérialise la frontière entre les deux pays.

Parce que même si à l'échelle territoriale, la Belgique et la France peuvent avoir leur propre politique de gestion de l'eau, à l'échelle de Communes transfrontalières comme à Comines, le cycle hydrologique devient un patrimoine commun qui convient de gérer de façon coordonnée ; ainsi par exemple, la seule station d'épuration implantée du côté français gère les eaux usées des deux côtés de la frontière.

La zone choisie pour installer le parc paysager est aujourd'hui une zone inondable non aménagée appelée la zone des « Bas-Près », située en contre-bas des versants de la Lys, et qui recèle également le dernier vestige d'une ligne de chemin de fer transfrontalière créée en 1876 pour relier Lille à Ypres finalement démantelée vers la fin des années 60. Ce vestige, un pont maçonné à culées ouvertes, fera l'objet d'une réhabilitation patrimoniale qui sera valorisée dans la globalité du projet.

Par nature un château d'eau ne fait à priori pas partie du domaine de l'art de bâtir mais plutôt du domaine de l'ingénierie avec l'application stricte de règles de conception des structures. Ainsi, cela a donc d'abord été une prérogative de l'ingénieur ; privilégier la fonction à la forme.

Les architectes ne s'y sont pas immédiatement intéressés.

Cependant, à partir du milieu du XXe siècle, les châteaux d'eau prennent une part de plus en plus importante dans le paysage urbain : les architectes ne peuvent plus les ignorer.

Pour la réalisation de ce projet il aura fallu faire interagir plusieurs disciplines, celle de l'architecture, du bâti et du paysage, avec celle de l'ingénieur-concepteur de structure et celle de l'hydrologue spécialiste des questions de traitement par filtrations naturelles.

L'eau dans sa matérialité peut par exemple apporter à la fois une réponse et une contrainte qui intéresseront l'hydrologue et l'ingénieur. En effet, le pH du béton peut entrer dans le processus de potabilisation de l'eau. Alors que pour éviter les phénomènes de corrosion des armatures aciers, l'eau pourra obliger l'ingénieur à préférer des méthodes de construction en béton fibré plutôt qu'en béton armé.

De même, la conception de la maison de l'eau est certes inspirée des concepts du système Hennebique qui associe trois fonctions de base de l'ingénierie des structures comme, la pile porteuse, la poutre et la dalle ; mais son architecture est organisée selon les étapes de potabilisation de l'eau imposée par l'hydrologue.

Enfin, par sa spatialité, à l'échelle du paysage, l'eau permet à l'architecte urbaniste d'ambiancer des espaces didactiques et pédagogiques, pour sensibiliser le public aux enjeux de la protection de la ressource. En revanche, ces espaces doivent respecter des règles précises d'aménagement des bassins de filtration, qui seront imposées par l'hydrologue pour garantir le résultat selon les charges à dépolluer, ainsi que de celles des ingénieurs du génie civil pour le dimensionnement et la réalisation des bassins en fonction des volumes d'eau à traiter.

Au cours de mes recherches, j'ai eu la chance de rencontrer et de débattre avec des ingénieurs et des acteurs de l'eau passionnés et passionnants, qui ont su par leurs approches pédagogiques me transmettre leurs savoirs et leurs visions pour que ce projet prenne corps.

En élaborant ce projet à leur contact j'ai surtout pris conscience que, certes un architecte devait orchestrer et mettre en scène des techniques d'ingénierie et des technologies pour délivrer son message architectural, mais en prenant toujours bien soin d'appréhender leurs limites de faisabilité.

Ils m'ont en tout cas offert une grande ouverture d'esprit sur les enjeux de protection environnementale dans la mise en place de projets architecturaux et urbanistiques ; j'espère avec ce projet leur apporter une réponse architecturale et urbanistique pertinente ; je suis en tout cas convaincue qu'il trouverait tout à fait sa place dans la Commune de Comines ...

Néanmoins, j'ai bien conscience que la dernière étape - celle « de distribuer » - du cycle hydrologique alternatif qui proposé dans ce projet n'a été abordée que très brièvement ; elle mériterait que nous y consacrons des recherches et [des] analyses plus approfondies pour affiner cette première réponse architecturale et urbanistique ...

Enfin, si on recontextualise plus largement la problématique de la rareté de la ressource en eau douce, celle-ci n'est pas uniquement liée à l'imperméabilisation des sols par la densification des zones urbaines, le développement de l'agriculture intensive dans les zones rurales est un autre facteur aggravant du cycle hydrologique naturel ...

Il serait intéressant de mener des recherches afin de trouver une nouvelle réponse architecturale et urbanistique pour un autre cycle hydrologique alternatif cette fois adapté aux zones rurales ...



*La zone verte «Les-Bas-Près» de Comines Belgique.*



*Une zone humide avec le pont à culées ouvertes.*



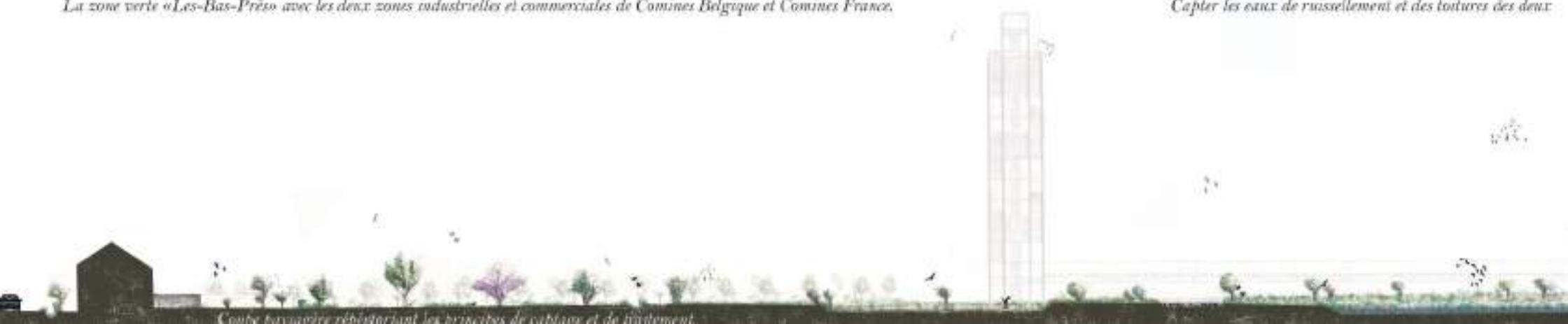




*La zone verte «Les-Bas-Près» avec les deux zones industrielles et commerciales de Comines Belgique et Comines France.*



*Capter les eaux de ruissellement et des toitures des deux*





*zones pour les amener dans l'espace vert «Les-Bas-Près».*



*Traitement des eaux pluviales dans le futur par public «Les-Bas-Près».*





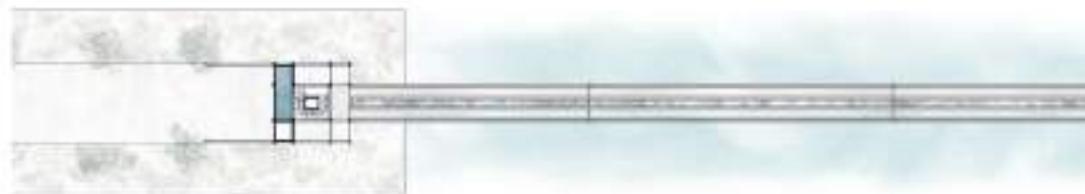
*Coupe de la maison de l'eau*

0 10 m





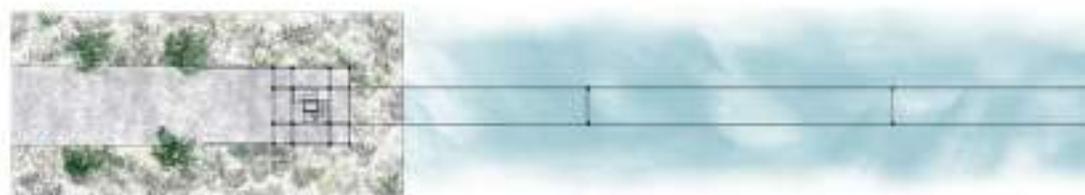
*Photo de maquette - la maison de l'eau et son aqueduc qui traverse la frontière.*



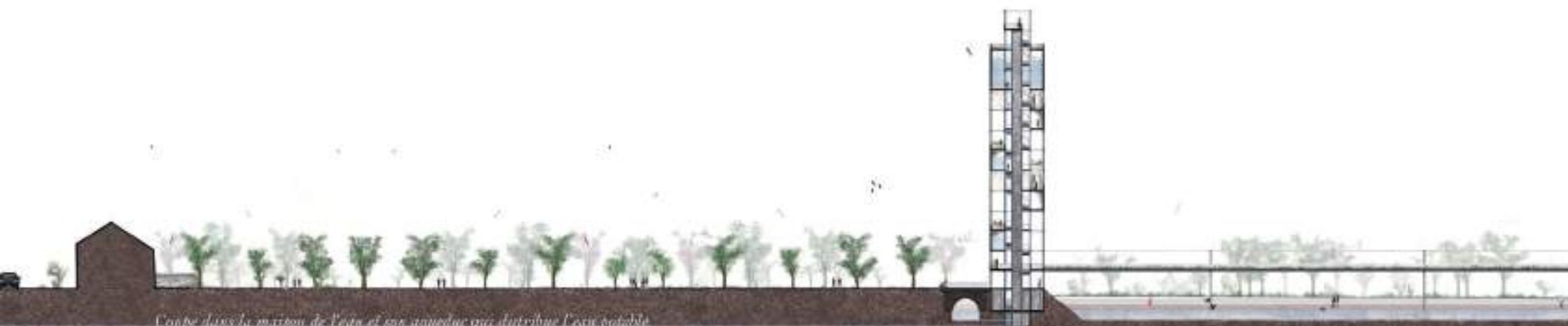
*Plan R+2 - le premier bassin d'osmose inverse.*



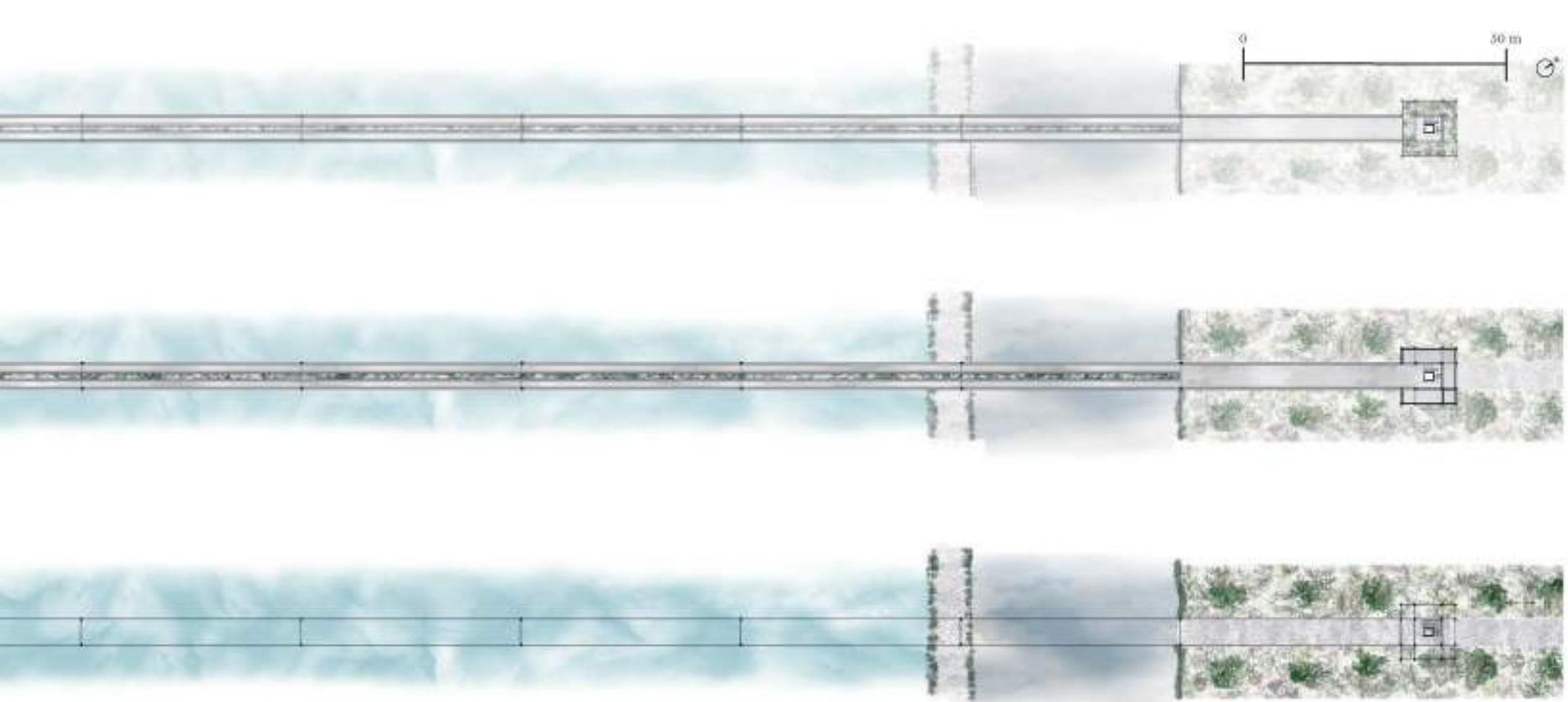
*Plan de l'aqueduc.*



*Plan de l'entrée.*



*Coupe dans la maison de l'eau et son aqueduc qui distribue l'eau potable.*





*Photo maquette - Chemin d'accès jusqu'à la maison de l'eau.*





*Photo maquette - la maison de l'eau à côté du pont à culées ouvertes*

## ANNEXE 1 : La station d'épuration de Comines

1 – Arrivées des usées Française et Belge

2 – Gros dégrilleur (grille de 5 cm) à 16m en dessous du sol (car l'eau venant de France doit passer en dessous de la Lys), l'eau est remontée par trois pompes.

3 – L'eau passe par une série de tests. D'abord on mesure le débit, pour analyser la différence de consommation Belge et Française. En ensuite un échantillon d'eau est prélevé tous les x m<sup>3</sup> pour être analysé par un chimiste pour tout éventuelle pollution accidentelle.

4 – Dégrilleur fin, composé de grilles en escaliers de 6 mm, les déchets remontent et sont stockés dans des conteneurs pour ensuite être traitées à leur tour.

5 – Dessableur et déshuileur, par le principe de décantation le sable tombe au fond pour ensuite être récolté alors que les graisses qui flottent à la surface vont être poussées dans un chenaille. Un mouvement latéral est mis en place dans ce bassin pour favoriser le déshuilage.

6 – Bassin d'orage, c'est à ce moment que lors de grosses pluies d'orage, le surplus d'eau pluviale va être stocké dans un bassin d'orage ou l'eau est traitée par décantation et repars ensuite à la Lys. Ce bassin à un débit de 1200 m<sup>3</sup>. Lorsque l'orage est terminé, l'eau part en traitement biologique.

7 – Local technique : des machines fournissent l'air au dessableur, il y a également trois surpresseurs et une cuve de stockage de chlorure de fer (FeCl<sub>3</sub>). Le chlorure de fer va ensuite être envoyé au bassin de traitement, il favorise la déphosphatations (c'est le seul produit chimique utiliser dans le cycle de traitement).

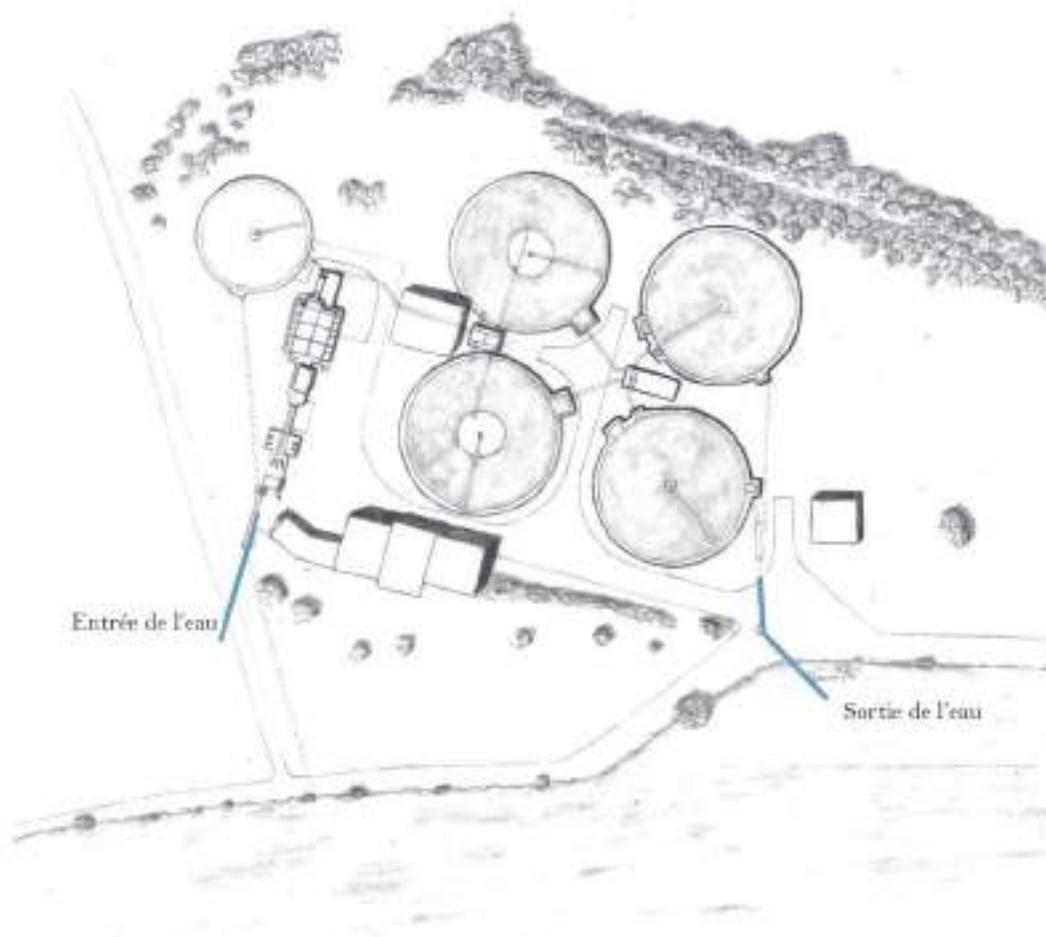
8 – L'ouvrage de répartition au centre distribue les eaux aux bassins de traitement biologique. Il permet un fonctionnement alternatif des deux bassins.

9 – Les bassins de traitement biologique : les micro-organismes se nourrissent de la pollution, il est important de créer un mouvement dans l'eau pour oxygéner les bactéries (4g et demie par Litre).

10 – Les bassin « Clarificateurs » : fonctionnent comme un filtre à roseaux, les bactéries descendent au fond du bassin et sont ramenées au centre pour être récupérées puis remit dans les bassins biologiques. Cela finalise la filtration.

11 – L'unité récepteur de boue de fosse septique, les boues passent par un dégrilleur, puis des pompes pour être dirigées vers le dégrilleur fin du début. (40 tonnes de boues par semaine sont pompées).

12 – Traitement des boues : les boues passent entre deux toiles où elles sont déshydratées, de la chaux est ensuite injectée pour l'emmenner en épandage agricole. Des polymères sont également injectés pour favoriser le lien entre les boues et pour son effet répulsif de l'eau.



Plan de la station d'épuration à Comines France.



*Photo du pont à culées ouvertes prise en mars 2019*



Le franchissement de la Lys pour relier Les Comines France et Belgique en 1876\*

En 1873 la France et la Belgique signe un protocole d'accord pour la création d'une ligne de chemin de fer internationale pour relier Lille à Ypres.

Cette ligne de chemin de fer sera inaugurée le 16 Juin 1876 à Comines à l'endroit même où elle enjambe la Lys.

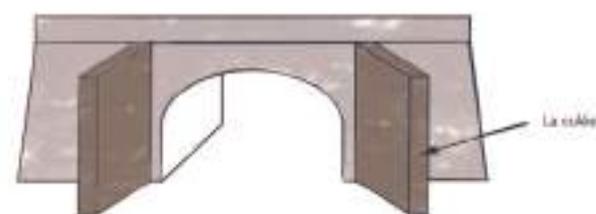
Le franchissement de la Lys pour relier les Comines française et belge avait nécessité la construction d'un pont métallique qui consistait à l'époque une véritable prouesse technique.

Le tablier du pont était construit assez haut pour laisser passer les péniches. L'arrivée de cette voie de chemin de fer permet à Comines de développer ses activités industrielles et marque le début de sa transformation urbaine.

La voie de chemin de fer a été désaffectée puis finalement détruite vers la fin des années 60.

Aujourd'hui, seul le pont situé sur la zone des « Bas-Près », qui permettait d'enjamber un bras de rivière de la Lys, reste le dernier vestige de cette voie de chemin de fer.

Ce pont est maçonné avec la partie inférieure du tablier en forme d'arche. Les culées sont maintenues par des murs de soutènement ouverts vers l'extérieur. On dit que ce sont des culées ouvertes (des culées sans murs de soutènement sont appelées des culées fermées). Ces murs de soutènement avaient une double fonction ; ils permettaient, d'une part de reprendre une partie des efforts verticaux au passage des trains, et d'autre part de maintenir les terres autour des culées.



*Les «culées» d'un pont à culées ouvertes*

## ANNEXE 3 : Le Parc de Deulémont

Partager la Deûle urbaine – Les enjeux d'un canal à grand gabarit dans un cœur métropolitain.<sup>91</sup>

ENS(AP) de Lille, avec la participation de l'Agence de Développement et d'Urbanisme de Lille Métropole et des Ports de Lille (2017-2018).

### Carte de la Deûle industrialisée

L'essor de l'urbanisation industrielle dans l'agglomération de Lille...

En France, la croissance de la population urbaine s'accélère à partir du milieu du XIXe siècle ; on compte 6 millions d'habitants en 1831 et pratiquement le triple avec 15 millions d'habitants soixante ans plus tard en 1891 (cf. § « L'essor de la population à partir du XIXe siècle »).

Ainsi, et comme on peut le constater à la lecture de cette carte, Lille et sa banlieue n'échappe pas à cette urbanisation industrielle.

On lit assez facilement l'étalement des Plateformes industrielles le long de la Deûle. D'abord au plus près du centre de Lille, puis progressivement vers les extérieurs au nord et au sud.

La densification de la population se concentre sur Lille accrochée à la Deûle et sa banlieue qui se déploie sur sa gauche.

On note également une densification péri-urbaine toujours le long de la Deûle synchronisée avec l'étalement des Plateformes industrielles.

### Carte des trames vertes, bleues et agricoles

La Deûle est un corridor biologique susceptible d'assurer le remaillage des espaces à caractère naturel de la métropole.

Cette carte schématise les 3 grandes composantes de la trame avec, les strates végétales, l'hydrographie et les espaces agricoles.

Le réaménagement des territoires associés au canal doit faire l'objet d'une réflexion efficace d'écologie du paysage.

### La carte des marais autour de la Deûle

Les zones représentées en vert correspondent aux surfaces à vocation paysagère.

Celles qui sont tramées sont des zones qui ont déjà fait l'objet d'un projet de réaménagement.

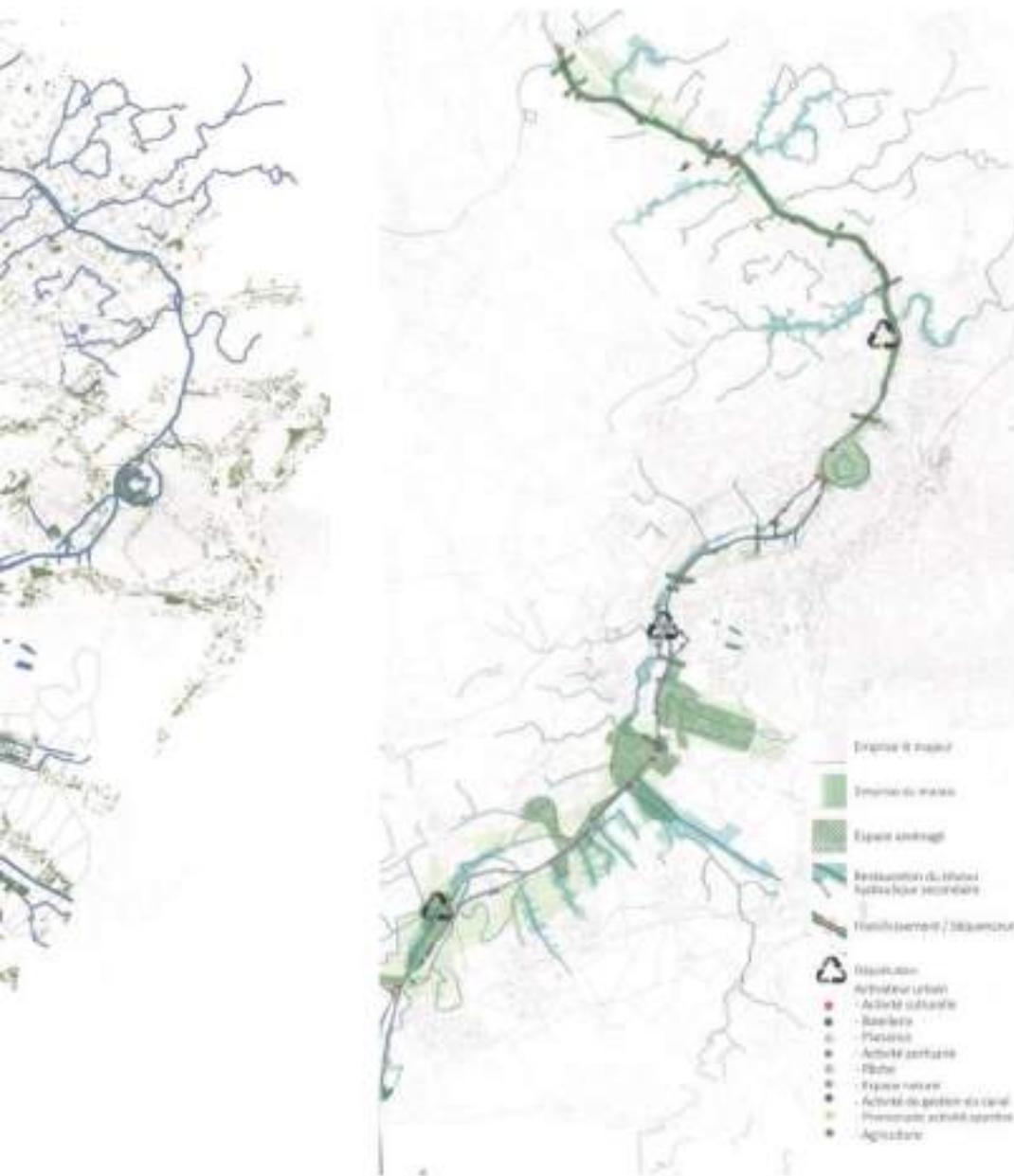
Les zones représentées en bleu sont celles qui doivent faire l'objet d'une reconquête organisée du réseau hydraulique secondaire par reprofilage des berges, de restauration de milieux humides.



Carte de la Deûle industrialisée<sup>91</sup>



Carte des trames vertes,



Les postes majeurs d'investissement pour la création de bassins de lagunage sont :

- Les études d'implantation du projet : Etudes topographique, géologique, hydrologique
- Les études des eaux à traiter et définition des objectifs de traitement à atteindre (destination de l'eau traitée : pour quel usage ?) avec des ingénieurs de l'eau et des experts en lagunage et plantes aquatiques
- Le terrassement des bassins
- L'étanchéité des bassins par géomembrane
- L'ensemble des équipements techniques (grilles de filtration, cloisons, noues, ...)
- La végétation aquatique nécessaire à la filtration
- Les aménagements paysagers autour des bassins
- Et enfin des bâtiments annexes pour les agents d'exploitation

En 2006, les Communes de Mèze et Loupian, Communauté de Communes du Nord Bassin de Thau dans le département de l'Hérault, ont missionné l'Agence Robin & Carbonneau « architecture et urbanisme » pour l'étude d'un nouveau Schéma Directeur d'Assainissement à horizon 2030.

Le rapport d'études de l'Agence publié en 2008 s'articule en trois parties, en commençant par un bilan du fonctionnement du système d'assainissement existant, la détermination des charges futures à traiter et les performances d'épuration qui pourraient être obtenues selon deux hypothèses : une simple extension de la station d'épuration existante ou la création de bassins de lagunage.

Le rapport a été adopté et inscrit au PLU (Plan Local d'Urbanisme) de la Communauté de Communes en 2017 avec la combinaison des deux hypothèses : extension de la station d'épuration et implantation du zone de lagunage.<sup>20</sup>

Pour le dimensionnement du nouveau système d'épuration il a d'abord fallu faire une projection à 2030 de l'évolution de la population de la Communauté de Communes. Un recensement de 2006 établit la population à environ 10 000 hab. sur la Commune de Mèze et à 2 000 hab. sur celle de Loupian avec une progression moyenne annuelle observée de 50 hab. par an. La projection de la population à horizon 2030 table sur une population d'environ 16 000 hab.

Il a ensuite fallu établir des scénarios possibles d'extension d'urbanisation sur les deux communes pour inscrire au POS (Plan d'Occupation des sols) les zones d'habitation qui auront été finalement définies. Le réseau actuel d'assainissement est organisé par 4 grands axes de collecte dont l'architecture devra être réorganisé pour intégrer ces futures zones urbaines et les ramener vers la future zone de traitement étendue et de lagunage.

Il a ensuite fallu déterminer les charges à traiter sachant que les eaux usées sont essentiellement domestiques car il n'y a pas d'industries implantées sur les Communes de Mèze et Loupian. En 2006 la consommation en eau domestique mesurée a été de 830 000m<sup>3</sup>. Il a été considéré une restitution en eaux usées de l'ordre de 80/85% du volume d'eau consommé, ce qui donne une consommation moyenne de 190 l/j par hab. et un volume d'eaux usées de 160 l/j rejeté par hab.

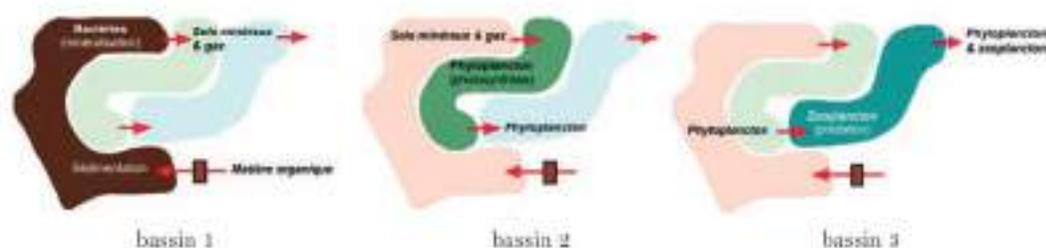
Et enfin il a également fallu calculer le volume d'eau de pluie à collecter sur une zone couvrant les 2 communes estimée à 75 000 m<sup>2</sup> d'ici à 2030. En 2006 il a été observé plusieurs pics de pluie avec des niveaux mesurés à 45 mm d'eau de pluie sur 96h sur une surface actuelle de 50 000 m<sup>2</sup> avec une baisse importante des niveaux d'eau au bout de 24h. Les calculs prévisionnels ont donné un volume de 1 380 m<sup>3</sup> d'eau à collecter par jour de pluie.

La station d'épuration actuelle des Communes de Mèze et Loupian a été implantée en 1980 sur le Site des Salins de Frontignan. Il a été installé à cet endroit de sorte d'éviter les nuisances avec le voisinage et les risques sanitaires mais également en prévision d'extensions possibles dans le futur.

La combinaison de l'extension de la station d'épuration avec la création d'un écosystème à son immédiate proximité a permis de donner une nouvelle dynamique au secteur orienté autour du lagunage par la mise en place d'un vaste plan d'eau favorable à l'observation d'espèces d'oiseaux ; ce qui a permis de redonner un caractère naturel aux lieux en bordure de l'étang de Thau.



Photo satellite des bassins de lagunage



Fonctionnement des trois bassins de lagunage



## BIBLIOGRAPHIE

- « Balade dans la France des châteaux d'eau »  
Christine et Guy Boutron  
Edité par leurs propres soins et disponible sur demande à christine.boutron@yahoo.fr, Mai 2018

- « Comines de siècle en siècle - Une double destinée »  
André Schoonheere  
Edité par les éditions « L'Harmattan », 1998

- « Comines 1916-1917 - La guerre se prolonge »  
Francis Hasbrouck et les Amis de Comines  
Edité par Les Amis de Comines et disponible à La Maison du Patrimoine de Comines

- « Comminum - Flandriae Oppidum Amacænissimum - Atlas Historique de Comines »  
André Schoonheere  
Dépôt légal 1964 - Disponible à La Maison du Patrimoine de Comines

- L'atelier Public de Paysage n°10 - Partager la Deûle urbaine - Les enjeux d'un canal à grand gabarit dans un cœur métropolitain »  
Journal édité par l'ENS(AP) Lille, avec la participation de l'Agence de Développement et d'Urbanisme de Lille Métropole et Ports de Lille, année scolaire 2017-2018

- « Le lagunage naturel, les leçons tirées de 15 ans de pratique en France »  
Jean-Michel Racault  
Edité par les Editions « QUAE GIE », Décembre 2000

- « La phytoépuration - Assainissement collectif et individuel »  
Aymeric et Guillaume Lagarin  
Edité par les éditions « Terre Vivante »

Karel Debaere et Bart Noels  
Edité par « Uitgever »

- « L'unité dans la diversité - La Belgique des châteaux d'eau »  
Wim Van Craenenbroeck (Anseau) & Lieve Viaene-Awouters (Crédit Communal de Belgique)  
Imprimé par les imprimeries « Blondé, Wolmmelgen », 1991

- « Les châteaux d'eau »  
Christine Boutron  
Edité par les éditions « Les Nouvelles Editions Sutton », Aout 2005

- « Prolégomènes à tout château d'eau »  
Jean-Yves Jouannais  
Edité par les éditions « Inventaire », Septembre 2001

- « Repenser l'urbanisme »  
Thierry Paquot  
Collection Archigraphie, Folio, 2017

- « XS : Grandes idées - Petites structures »  
Phillis Richardson  
Edité par les éditions « Thames & Hudson », 2002

- Service Public de l'Eau en France - <https://www.eaufrance.fr>
- Communauté des acteurs de gestion intégrée de l'eau - <https://www.gesteau.fr>
- Association des châteaux d'eau en France - <http://www.chateauxdeau.fr>
- L'Eurométropole - <http://fr.eurometropolis.eu>
- Programme d'aménagement du parc de la Deûle - <https://www.jardins-et-voyages.com>
- Société Publique de Gestion des Eaux en Belgique - <http://www.spge.be>
- SAGE de la Lys - <http://www.sage-lys.net>
- Programme d'aménagement de la ZAC Les Docks de Saint-Ouen - <http://docks-saintouen.fr>
- Filtration par lagunage sur le parc Les Docks de Saint-Ouen - <http://ww.phytores-tone.com>
- Guide technique pour la réalisation de filtres plantés - <https://epnac.irstea.fr>
- Définition d'une eau potable - <https://www.aquaportail.com>
- Définition de l'osmose inverse - <https://www.lennotech.fr>

## LISTES DES ABREVIATIONS

---

DCO : Demande Chimique en Oxygène

DCO5 : Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours

PLU : Plan Local d'Urbanisme

DCE : Directive Cadre Eau

DHI : District Hydrographique International

EH : Equivalent Habitant

GECT : Groupement Européen de Coopération Territoriale

OAA : Organisme d'Assainissement Agréé

OMS : Organisme Mondial pour la Santé

PASH : Plan d'Assainissement par Sous-bassin Hydrographique

PCGE : Plan Communal Général d'Égouttage

SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SGPE : Société publique de Gestion de l'Eau

ZAC : Zone d'Aménagement Concerté

<sup>1</sup> Définition tirée du livre : « Balade dans la France des châteaux d'eau » de Christine et Guy Boutron, Edité par leurs propres soins et disponible sur demande à christine.boutron@yahoo.fr, Mai 2018 - page 5.

<sup>2</sup> Tiré du livre « Prolégomènes à tout château d'eau » de Jean-Yves Jouannais, Edité par les éditions « Inventaire », Septembre 2001

<sup>3</sup> Le site internet de l'association des châteaux d'eau en France : <http://www.chateaux-deau.fr/> - consulté le 18 Octobre 2018

<sup>4</sup> Sauf mention contraire toutes, toutes les illustrations et photos sont de l'auteur.

<sup>5</sup> Il est possible de retrouver toute l'histoire de la gestion de l'eau en France avec ses grandes dates dans la vidéo disponible sur le site : <http://www.ffck.org/espaces-sites-et-itineraires/gestion-de-leau/> - Consulté le 4 Février 2019

<sup>6</sup> Eurométropole - Espace Bleu : <http://fr.eurometropolis.eu/nos-actions/espace-bleu.html> - consulté le 6 Février 2019

<sup>7</sup> JNC International : [http://www.jnc.be/fr/projets/categories/espaces\\_ruraux/pare\\_de\\_la\\_deule](http://www.jnc.be/fr/projets/categories/espaces_ruraux/pare_de_la_deule) - consulté le 6 Février 2019

<sup>8</sup> Programme d'aménagement du parc de la Deûle : <https://www.jardins-et-voyages.com/defi-2017/> - consulté le 8 Février 2019

<sup>9</sup> Tiré du site officiel de la SAGE de la Lys : <http://www.sage-lys.net/index.php/ct-memu-item-2> - Consulté le 8 Février 2019

<sup>10</sup> Tiré du site officiel de La Société Publique de Gestion des Eaux en Belgique : <http://www.spge.be> - Consulté le 10 Février 2019

<sup>11</sup> Zone à régime d'assainissement collectif : appelée auparavant « zone égouttage », c'est une zone dans laquelle il y a ou il y aura un réseau d'égouttage qui distribue les eaux récupérées à une station d'épuration. Tiré du site <http://www.spge.be/de/cartographie-des-pash.html?IDC=2017&IDD=311> - Consulté le 10 Février 2019

<sup>12</sup> Zone à régime d'assainissement autonome : précédemment nommée « zone d'épuration individuelle », c'est une zone dans laquelle les habitants assurent eux même l'épu-

ration des eaux usées qu'ils rejettent. Tiré du site <http://www.spge.be/de/cartographie-des-pash.html?IDC=2017&IDD=311> - Consulté le 10 Février 2019

<sup>13</sup> Les zones en transition, sont celles qui ne sont pas encore classées et donc aucun régime ne leur est accordé. Tiré du site <http://www.spge.be/de/cartographie-des-pash.html?IDC=2017&IDD=311> - Consulté le 10 Février 2019

<sup>14</sup> Carte PASH sur la zone Escaut / lys - dernière modification en 2015 - tirée du site : <http://www.spge.be/servlet/Repository?IDR=1097/> - Consulté le 18 Février 2019

<sup>15</sup> Source : rapport mondial pour le développement humain (PNUD) de 2016 - Tiré du site : <https://www.undp.org/content/undp/fr/home/librarypage/hdr/2016-human-development-report.html> - Consulté le 18 Février 2019

<sup>16</sup> Tiré du site : <https://www.energie-environnement.ch/economiser-l-eau/situer-sa-consommation-d-eau> - Consulté le 22 Février 2019

<sup>17</sup> Tiré du site : <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/cau-faut-il-litres-eau-produire> - Consulté le 26 Février 2019

<sup>18</sup> L'histoire de cette pénurie d'eau est tirée d'un article « Pénurie d'eau à Flavigny-sur-Ozerain le réseau coupé la nuit » rédigé par Jacky Page, France bleu bourgogne, publié le vendredi 25 août 2017 - Tiré du site : <https://www.francebleu.fr/infos/climat-environnement/penurie-d-eau-flavigny-sur-ozeraim-le-reseau-est-coupe-la-nuit-1503602771> - Consulté le 02 Mars 2019

<sup>19</sup> Tiré d'un rapport d'une « COMMUNICATION DE LA COMMISSION AU PARLEMENT EUROPÉEN, AU CONSEIL, AU COMITÉ ÉCONOMIQUE ET SOCIAL EUROPÉEN ET AU COMITÉ DES RÉGIONS - Plan d'action pour la sauvegarde des ressources en eau de l'Europe » - Tiré du site : <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM%3A2012%3A0673%3A-FIN%3AFR%3APDF> - Consulté le 03 Mars 2019

<sup>20</sup> Tiré d'un document d'information « l'Europe et l'eau » disponible en consultation sur le site de la Commission Européenne : [https://ec.europa.eu/france/sites/france/files/docs/body/expo04\\_europe\\_et\\_eau\\_fr.pdf](https://ec.europa.eu/france/sites/france/files/docs/body/expo04_europe_et_eau_fr.pdf) - Consulté le 03 Mars 2019

<sup>11</sup> Le SMAEL : Syndicat Mixte Pour L'adduction d'Eau de la Lys, a confié à SUEZ Environnement la gestion de son service de production d'eau potable à partir des eaux de la Lys dans son usine de traitement située au lieu-dit : Moulin de Comte, à Aire-Sur-La-Lys dans le Pas de Calais. Tiré du site : <http://www.smael.fr/> - Consulté le 05 Mars 2019

<sup>12</sup> Données issues d'un article « Enjeux économiques, sociaux et environnementaux de l'urbanisation du monde » écrit par Jacques Véron que l'on peut retrouver avec le lien suivant : <https://www.cairn.info/revue-mondes-en-developpement-2008-2-page-39.htm#> - Consulté le 08 Mars 2019

<sup>13</sup> Données issues du document : « La gestion durable des eaux de pluie - Guide des bonnes pratiques sur la planification territoriale et le développement durable » de Isabelle Boucher - Dépôt légal : 2010 Bibliothèque et Archives nationales du Québec - Disponible sur demande sur <https://www.mamh.gouvqc.ca/> - Consulté le 12 Mars 2019

<sup>14</sup> Tiré du site : <http://docks-saintouen.fr/le-projet-urbain/le-contexte/> - Consulté le 28 Mars 2019

<sup>15</sup> Carte d'analyse des zones inondables de la ville de Saint-Ouen <http://www.seine-saint-denis.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-paysage-risques-naturels-et-technologiques-bruit-nuisances-publicite/Les-risques-naturels-et-technologiques-en-Seine-Saint-Denis/Les-plans-de-prevention-des-risques-PPR-approuves/Les-plans-de-prevention-des-risques-d-inondation/Le-plan-de-prevention-des-risques-d-inondation-de-la-Seine> - Consulté le 28 Mars 2019

<sup>16</sup> Procédés de filtration mis en place par Phytorestore, Société fondée en 2004 par son actuel président Thierry Jacquet (Paysagiste INH) pour : La restauration paysagère et écologique des ressources (eau, sol, air, biodiversité) grâce aux plantes. Informations disponibles à l'adresse suivante : <http://www.phytorestore.com/fr/references/item/59-amenagement-du-parc-des-docks-de-saint-ouen.html/> - Consulté le 28 Mars 2019

<sup>17</sup> Carte issue du livre : « Communium - Flandriae Oppidum Amaceniissimum - Atlas Historique de Comines » d'André Schoonheere - Dépôt légal 1964 - Disponible à La

Maison du Patrimoine de Comines - page 8

<sup>18</sup> Carte issue du livre : ibidem - page 8

<sup>19</sup> Carte issue du livre : ibidem - page 10

<sup>20</sup> Carte issue du livre : ibidem - page 22

<sup>21</sup> Photo issue du livre « Comines de siècle en siècle - Une double destinée » de André Schoonheere - Edité par les éditions « L'Harmattan », 1998 - page 9

<sup>22</sup> Commentaire de M. André Schoonheere, Historien de la ville de Comines, lors de mon interview du 13 Mars 2019

<sup>23</sup> Carte issue du livre : « Communium - Flandriae Oppidum Amaceniissimum - Atlas Historique de Comines » d'André Schoonheere - Dépôt légal 1964 - Disponible à La Maison du Patrimoine de Comines - page 26

<sup>24</sup> Carte issue du livre : « Comines de siècle en siècle - Une double destinée » de André Schoonheere - Edité par les éditions « L'Harmattan », 1998 - page 32

<sup>25</sup> Photo issue du livre : ibidem - page 38

<sup>26</sup> Carte issue du livre : ibidem - page 40

<sup>27</sup> Photo issue du livre : ibidem - page 50

<sup>28</sup> Carte issue du livre : ibidem - page 101

<sup>29</sup> Photo issue du livre : ibidem - page 104

<sup>30</sup> Photo issue du livre : ibidem - page 109

<sup>31</sup> Carte issue du site : <http://geoportail.gouv.fr/> - consulté le 20 Mars 2019

<sup>32</sup> Photo issue du livre : « Communium - Flandriae Oppidum Amaceniissimum - Atlas Historique de Comines » d'André Schoonheere - Dépôt légal 1964 - Disponible à La Maison du Patrimoine de Comines - page 50

<sup>39</sup> Carte issue du site : <http://geoportail.gouv.fr/> - consulté le 20 Mars 2019

<sup>40</sup> Schéma : Le cycle domestique de l'eau - tirée du site : <https://www.eauxdeviennne.fr/espace-environnement/le-cycle-de-leau/> - Consulté le 23 Mars 2019

<sup>41</sup> Park Nansen à Oslo - Projet réalisé par les architectes Bjorbekk & Lindheim du cabinet d'architecture : Ramboll en 2008 - tiré du site : <http://ramboll.com/projects/germany/nansen-park> - Consulté le 24 Mars 2019

<sup>42</sup> Photo issue du guide : Planifications territoriales et développement durable 2009/2013 - Edité par : les Affaires municipales, Régions et Occupation du Territoire, Québec - consultable sur le site : [http://www.grobec.org/pdf/projets/conference\\_MAMROT.pdf](http://www.grobec.org/pdf/projets/conference_MAMROT.pdf) - consulté le 02 Avril 2019

<sup>43</sup> Photo prise par Gilbert Bochenk (2008) au 1001, chemin de la grande ligne, Stoneham, Province du Québec, Canada - Tirée du site : <https://fr.wikipedia.org/wiki/marais> - consulté le 22 Mars 2019

<sup>44</sup> Photo des lagunes du Gat Mort - Parc naturel régional des landes de Gascogne - issue du site : <http://parc-landes-de-gascogne.fr/Parc-Naturel-Regional-de-Gascogne/Le-parc-a-decouvrir/Les-incontournables/Les-lagunes> - Consulté le 22 Mars 2019

<sup>45</sup> Balades et randonnées dans les landes de Gascogne - photo tirée du site : <http://www.rando-landes-de-gascogne.com/itinéraires/930299-a-brocas-lecocalade-des-lagunes#infos> - consulté le 22 Mars 2019

<sup>46</sup> Création d'un jardin aquatique à une échelle régionale - Projet de François Xavier Mousquet, Paysagiste de Lille - Projet présenté lors de la Biennale « international de paysage barcelone » de 2006 - tiré du site : <http://www.architectes.cat/isrames/paisatge/fitxa/4006> - Consulté le 22 Mars 2019

<sup>47</sup> Parc ornithologique du Teich - Photo tirée du blog « Galactique » - Produit par Wordress Entries (RSS) en été 2013 - <http://www.hypertram.fr/2013/08/24/le-parc-ornithologique-de-teich> - Consulté le 22 Mars 2019

<sup>48</sup> Description du parc : <http://www.agenceter.com/projets/saint-ouen-parc-de-la-zac-des-docks/#> - Consulté le 04 Avril 2019

<sup>49</sup> Photo issue du site : [www.alistep.com/](http://www.alistep.com/) de l'Entreprise Alistep, Spécialiste du traitement des eaux - Chapitre : traitement des eaux usées - Consulté le 06 Avril 2019

<sup>50</sup> Définition des métaux lourds : <http://www.asef-asso.fr/production/les-metaux-lourds-la-synthese-de-lasef/> - Consulté le 08 Avril 2019

<sup>51</sup> Définition des filtres plantés : <https://wikiwater.fr/a20-les-filtres-plantés-de-> - Consulté le 09 Avril 2019

<sup>52</sup> Les filtres plantés : [https://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/08/Filtres\\_lagunes\\_association2007.pdf](https://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/08/Filtres_lagunes_association2007.pdf) - Consulté le 09 Avril 2019

<sup>53</sup> Guide technique pour la réalisation de filtres plantés : [https://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/08/20120516\\_ARPEguideFPR2006.pdf](https://epnac.irstea.fr/wp-content/uploads/2012/08/20120516_ARPEguideFPR2006.pdf) - Consulté le 09 Avril 2019

<sup>54</sup> Définition d'une eau potable : <https://www.aquaportail.com/definition-7160-eau-potable.html> - Consulté le 12 Avril 2019

<sup>55</sup> Description des moyens de production de l'eau potable à Paris - réalisé par des élèves du Lycée André Malraux pour un TPE « De l'eau sale à l'eau potable » - tirée du site : <http://tpe-eaupotable.e-monsite.com/pages/l-eau-potable-a-l-echelle-industrielle.html> - Consulté le 24 Avril 2019

<sup>56</sup> Définition de l'osmose inverse : <https://www.lenntech.fr/bibliotheque/osmose-inverse/osmose-inverse-definition.htm> - Consulté le 24 Avril 2019

<sup>57</sup> Technique de filtration - tirée du site : <http://tpe-jouaud-protain-ribac.e-monsite.com/pages/ii-la-potabilisation-de-l-eau.html> - consulté le 24 Avril 2019

<sup>58</sup> Photo tirée du livre : « XS : Grandes idées - Petites structures » de Phillis Richardson - Edité par les éditions « Thames & Hudson », 2002 - Page 149

<sup>59</sup> Photo du château d'eau de Ghlin - identifiée dans la base de données « Structurae » : base de données et galerie internationale d'ouvrage d'art et du génie civil - issue du site : <https://www.greisch.com/projet/chateau-eau-ghlin/> - consulté le 26 Avril 2019

<sup>88</sup> Cette photo représente les traces d'un réseau d'eau à Mohenjo-Daro au Pakistan a été trouvée sur le site KOREGOS « Architecture de terre et patrimoine mondial » : <http://www.koregos.org/fr/andre-stevens-architecture-de-terre-et-patrimoine-mondial/8566/> - Consulté le 05 Septembre 2018

<sup>89</sup> Aqueduc romain du XIXe siècle dans la ville de Aix. Aujourd'hui il est encore visible et une étude du tracé de l'aqueduc va être lancée. Photo prise par Alain Amblard et disponible sur son blog : <http://alainamblard13.canalblog.com/archives/2014/11/09/30924992.html> - Consulté le 05 Septembre 2018

<sup>90</sup> Tiré du livre « Les châteaux d'eau » de Christine Boutron - Edité par les éditions « Les Nouvelles Editions Sutton », Aout 2005

<sup>91</sup> Photo E. Pierrez - L'aqueduc de Gorze, Marc Heilig, archeographe, 2011. <https://archeographe.net/L-aqueduc-de-Gorze> - Consulté le 10 Septembre 2018

<sup>92</sup> En 1821 la fièvre Jaune touche Barcelone faisant plus de 20000 morts. La 4eme pandémie de choléra touche la Belgique en 1866 à Anvers faisant près de 5000 morts. Tiré du livre « Les châteaux d'eau » de Christine Boutron - Edité par les éditions « Les Nouvelles Editions Sutton », Aout 2005

<sup>93</sup> « Fontaine » du XVIIIe siècle, conçu par le maître-fontainier François Desse. Elle amène l'eau puisée dans le bassin de la Corderie par des pompes. Photo tirée du livre : ibidem - page 91

<sup>94</sup> Photo issue du livre : « Les châteaux d'eau » de Christine Boutron - Edité par les éditions « Les Nouvelles Editions Sutton », Aout 2005 - page 84

<sup>95</sup> Photo issue du livre : ibidem - page 93

<sup>96</sup> Du nom de Ernest-Sylvain Bollée (1814-1891) qui a déposé en 1868 le brevet de la « turbine à vent » qu'il nommera éolienne à partir de 1885 - tiré du site : [https://www.peault.fr/images/PDF/Journal\\_patrimoine/Peault\\_1\\_page7.pdf](https://www.peault.fr/images/PDF/Journal_patrimoine/Peault_1_page7.pdf) - Consulté le 12 Janvier 2019

<sup>97</sup> Photo tirée du site Wikipédia : [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89olienne\\_Boll%C3%A9#/media/File:Eoliennepons.JPG](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89olienne_Boll%C3%A9#/media/File:Eoliennepons.JPG) - Consulté le 18 Janvier 2019

<sup>98</sup> Photo issue du Livre : « Balade dans la France des châteaux d'eau » de Christine et Guy Boutron, Edité par leurs propres soins et disponible sur demande à [christine.boutron@yahoo.fr](mailto:christine.boutron@yahoo.fr), Mai 2018 - page 9

<sup>99</sup> Photo tirée du site : <http://www.histoire-domont.com/FV/images/Fontaines/Domont%20et%20les%20Fontaines%20-%20MAJaout2017.pdf> - Consulté le 12 Mai 2019

<sup>100</sup> Photo issue du Livre : L'unité dans la diversité - La Belgique des châteaux d'eau » de Wim Van Craenenbroeck & Lieve Viaene-Awouters - Imprimé par les imprimeries « Blondé, Wolmmelgen », 1991 - page 52

<sup>101</sup> Photo issue du Livre : ibidem - page 79

<sup>102</sup> Photo de Lafabrie A. (2012) tirée du site : [http://chateau.deau.free.fr/PagesPHPNew/affiche\\_select.php?cha=3544](http://chateau.deau.free.fr/PagesPHPNew/affiche_select.php?cha=3544) - Consulté le 12 Mai 2019

<sup>103</sup> Photo tirée du site : <http://www.leparisien.fr/espace-premium/seine-et-marne-77/grace-a-lui-20-000-habitants-vont-avoir-une-eau-potable-27-10-2016-6256581.php> - Consulté le 12 Mai 2019

<sup>104</sup> Photo issue du Livre : L'unité dans la diversité - La Belgique des châteaux d'eau » de Wim Van Craenenbroeck & Lieve Viaene-Awouters - Imprimé par les imprimeries « Blondé, Wolmmelgen », 1991 - page 131

<sup>105</sup> Coupe d'un château d'eau tirée du livre : ibidem - page 146

<sup>106</sup> Architecte français né en 1874, il a été l'un des premiers à se spécialiser dans le béton armé. Tiré du site Wikipédia : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Auguste\\_Perret](https://fr.wikipedia.org/wiki/Auguste_Perret) - Consulté le 18 Janvier 2019

<sup>107</sup> « Typologie » de Bernd et Hilla Becher, un catalogue de 2002-2004. Consultable sur le site : <http://www.laboiteverte.fr/bernd-et-hilla-becher/> - Consulté le 22 Janvier 2019

<sup>108</sup> Photo issue d'une banque d'images sur le site : <https://rail.lu/> - Consulté le 22 Janvier 2019

<sup>109</sup> Réservoir des eaux de la commune de La Croix en Brie de la Seine-et-Marne (77) -

Photo issue du Livre : « Balade dans la France des châteaux d'eau » de Christine et Guy Boutron, Edité par leurs propres soins et disponible sur demande à [christine.boutron@yahoo.fr](mailto:christine.boutron@yahoo.fr), Mai 2018 - page 63

<sup>88</sup> Réservoir des eaux de la commune de Braine-l'Alleud (Province du Brabant-Wallon) - Photos issues du Livre : L'unité dans la diversité - La Belgique des châteaux d'eau » de Wim Van Craenenbroeck & Lieve Viaene-Awouters - Imprimé par les imprimeries « Blondé, Wolmmelgen », 1991 - page 88

<sup>87</sup> En 1908 sort en France une circulaire ministérielle sur les armatures en béton pour les réservoirs. Tiré du site : <https://www.shf-lhb.org/articles/lhb/pdf/1907/07/lhb1907034.pdf> - Consulté le 18 Janvier 2019

<sup>86</sup> A gauche : Château d'eau de Bondues - A droite : Château d'eau de Masnières - Photos issues de la base de données du site : Association des châteaux d'eau en France - <http://www.chateauxdeau.fr> - Chapitre : Château d'eau des Hauts de France - Consulté en Mai 2018

<sup>85</sup> à gauche : Château d'eau de Overijse (Province du Brabant-Flamand) - Photo issue du Livre : L'unité dans la diversité - La Belgique des châteaux d'eau » de Wim Van Craenenbroeck & Lieve Viaene-Awouters - Imprimé par les imprimeries « Blondé, Wolmmelgen », 1991 - page 148  
à droite : Château d'eau de Cenon en Gironde (33) - Photo issue du site <https://www.ville-cenon.fr/ma-ville/histoire-de-la-ville/cartes-postales/> - Consulté le 05 Mai 2019

<sup>80</sup> Château d'eau situé à Les-Essart-Le-Roi (78 - Les Yvelines / Îles de France) - Photo issue du site : <https://structurae.info/ouvrages/chateau-d-eau-de-les-essarts-le-roi> - Consulté le 07 Mai 2019

<sup>79</sup> En 1969 est confié à l'Architecte André Gomis la réalisation d'un nouveau quartier à Valence (26 - Drôme) constitué de deux parties séparées par un grand parc au milieu duquel est projeté un château d'eau dont la conception est confiée au sculpteur et plasticien Grec Philolaos - Photo issue du site : <http://www.rhone-alpes.culture.gouv.fr/label/spip.php?article3> - Consulté le 10 Mai 2019

<sup>78</sup> D'après la fiche descriptive issue du site : [https://archiwebture.citedelarchitecture.fr/fonds/FRAPN02\\_BAH](https://archiwebture.citedelarchitecture.fr/fonds/FRAPN02_BAH) - Consulté le 12 Mai 2019

<sup>84</sup> Définition issue de l'encyclopédie Universalis : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/francois-hennebique/> - Consulté le 12 Mai 2019

<sup>83</sup> Carte postale de l'époque issue du site : <https://souslebellfroidecomines.wordpress.com/2018/06/15/le-chemin-de-fer-arrive-a-comines/> - Consulté le 12 Mai 2019

<sup>82</sup> Cartes extraites de « L'atelier Public de Paysage n°10 - Partager la Deûle urbaine - Les enjeux d'un canal à grand gabarit dans un cœur métropolitain » - Journal édité par l'ENS(AP) Lille, avec la participation de l'Agence de Développement et d'Urbanisme de Lille Métropole et Ports de Lille, année scolaire 2017-2018

<sup>81</sup> Synthèse réalisée à partir du PLU de la Commune de Mèze [https://www.ville-mezc.fr/pdf/PLU2017/8\\_PLU.pdf](https://www.ville-mezc.fr/pdf/PLU2017/8_PLU.pdf)

Mémoire imprimé et façonné chez Re projet

Re projet  
Rue du crampon, 8  
7500 Tournai  
+32 69 22 14 90



Parmi les grands débats sur le thème de la protection environnementale la préservation de la ressource en eau douce devient un enjeu vital. La ressource en eau douce extraite des nappes phréatiques se raréfie en même temps que l'urbanisation se densifie.

Le cycle hydrologique naturel est perturbé.

Le projet présenté dans ce mémoire est une proposition de réponse architecturale et urbanistique d'un cycle hydrologique alternatif qui s'inscrit dans une démarche durable.

Ce nouveau cycle hydrologique s'appuie sur un ensemble de solutions allant, de la captation des eaux de pluie et de ruissellement, de leur traitement par filtration naturelle de type lagunage, de leur potabilisation et jusqu'à leur stockage dans une maison de l'eau, avant de pouvoir être réintroduite dans le circuit de distribution d'eau potable

L'ensemble s'inscrit dans l'aménagement d'un parc paysager avec la création d'un espace ludique ouvert au public autour d'un parcours de sensibilisation sur la thématique de l'importance de l'eau.

Comment l'eau, peut faire interagir plusieurs disciplines, comme celle de l'architecte du bâti et du paysage, avec celle de l'ingénieur-concepteur de structure et celle de l'hydrologue spécialiste des questions de traitement par filtrations naturelles, pour élaborer une réponse la plus pertinente possible face à un tel enjeu ?