

GESTION DES EAUX DES AMÉNAGEMENTS URBAINS EN BUREAU D'ÉTUDE VRD



Emma AZEAU

Promotion 57

3 Janvier 2018 – 4 Juillet 2018

Table des matières

Table des matières	2
Résumé.....	4
Abstract	5
Remerciements	6
I. Introduction.....	7
II. Principe généraux de la gestion des eaux usées et des eaux pluviales en France.....	8
1) Définition et grands principes	8
a) Assainissement des eaux usées (EU) et des eaux pluviales (EP)	8
b) Gestion alternative des eaux pluviales.....	8
2) Gouvernance	10
a) Collectivités territoriales	10
b) Les départements.....	10
c) Rôle de l'Etat et de l'Europe.....	11
III. Contexte du stage.....	12
1) Le bureau d'études techniques VRD : acteur de premier plan dans la gestion des eaux	12
2) Déroulement général du stage.....	13
3) 1 ^{er} projet : Concours pour un lycée des métiers du bâtiment à Longoni, Mayotte	14
4) 2 ^{eme} projet : Conception d'une halte routière à Voisenon, Seine-et-Marne	16
5) 3 ^{eme} projet : Concours pour le réaménagement de la gare routière du Château de Vincennes à Vincennes, Val de Marne.....	19
IV. L'eau, un perturbateur du projet d'aménagement.....	22
1) Le risque d'inondation.....	22
a) L'action sur la cause de l'inondation	22
b) La non-exposition au risque d'inondation et l'adaptation au risque d'inondation	23
c) Vers une ville éponge ?	27
2) Pollution des zones naturelles	28
V. L'eau, de plus en plus considérée comme une ressource nécessaire, quel que soit le site d'implantation.....	32
1) Eaux usées : une ressource cachée ?	32
2) Les eaux de surface et les eaux souterraines.....	34
3) L'eau de pluie	35
4) Une gestion de la ressource à organiser différemment ?	36
VI. Apports du stage et difficultés rencontrées.....	38
1) Une ouverture riche sur le monde professionnel	38

2)	Difficultés rencontrées	38
a)	Une petite structure.....	38
b)	Des outils techniques parfois complexes ou limités	39
c)	Des projets multi-acteurs	39
VII.	CONCLUSION	40
VIII.	GLOSSAIRE	41
IX.	Bibliographie.....	43
X.	ANNEXES.....	46
1)	ANNEXE N°1 – PPRI PARIS	46
2)	ANNEXE N°2 : Calcul du volume de rétention, Voisenon	48
3)	Annexe n° 3: Dimensionnement des surfaces nécessaires pour la phytoépuration des eaux usées.....	50
4)	Annexe n° : Plan des réseaux projet du projet de Mayotte	55
	55

Résumé

La gestion des eaux en ville, et particulièrement la gestion des eaux usées et des eaux pluviales, est une composante clé de l'aménagement urbain, et ce depuis tout temps.

Chaque projet urbain possède des caractéristiques propres (un climat, une topographie, une limite parcellaire ...) qui influent sur un choix de gestion plutôt qu'un autre. A ces caractéristiques s'ajoutent certains effets du changement climatique : la raréfaction de la ressource en eau et l'apparition d'évènements pluvieux extrêmes de plus en plus nombreux, ainsi que le développement d'une réglementation de plus en plus contraignante.

C'est dans ce contexte que prennent place le concours pour le lycée des métiers du bâtiment de Longoni (Mayotte), la conception d'une halte routière à Voisenon (Seine et Marne) et le concours pour une éco-station bus à Vincennes (Val de Marne). Ces trois projets, différents de par leur programmation et leur région d'implantation, révèlent pourtant que l'eau peut endosser à la fois un rôle de perturbateur du projet d'aménagement mais aussi un rôle de ressource à préserver. Ainsi, deux des principaux risques auxquels étaient confrontés ces constructions étaient le phénomène d'inondation et le phénomène de pollution des eaux. Les parti-prenantes du projet, et notamment l'ingénieur d'étude VRD, peuvent alors apporter des solutions techniques à ces contraintes en jouant directement sur les causes du risque (déviation de cours d'eau) mais aussi en adaptant leur projet au phénomène (sacrifice d'espace en terrains inondables par exemple). L'eau constitue aussi une ressource rare qu'il convient de préserver au maximum. Trouver des alternatives à l'utilisation d'eau potable lorsqu'elle n'est pas nécessaire devient alors un enjeu majeur de gestion des eaux. Le travail effectué sur les trois projets montre que la réutilisation de l'eau pluviale pour les WC ou le nettoyage des sols peut constituer une solution intéressante si les contraintes de couts et de stockage sont prises en compte dès les premières phases du projet. Une autre option possible, très novatrice, s'appuie sur la réutilisation des eaux usées épurées (par phyto-épuration par exemple) afin de les réinjecter dans un circuit d'eau non potable. De manière générale, permettre l'usage d'une eau non potable venant de multiples origines semblent une solution pérenne et efficiente de préservation de la ressource en eau potable.

Enfin, les principes abordés à travers ces projets, tels que l'assainissement à la parcelle ou la gestion de l'eau pluviale au plus proche de son « lieu d'impact », soulèvent la question de l'échelle à laquelle la gestion des eaux devrait se faire. Les modes de gestion actuels qui consistent à rejeter la majorité des eaux au réseau pour l'évacuer loin de la ville, ne devraient peut-être plus constituer la norme. Une gestion plus locale, moins systématique, prenant en compte les spécificités du lieu d'implantation du projet et des moyens disponibles permettrait de réduire les risques liés à l'eau et de tirer le meilleur parti de la ressource. C'est le travail de l'ingénieur en génie urbain que d'analyser ces différents facteurs et de proposer des solutions optimales et durables.

Thesaurus : Assainissement, Développement Durable, Gestion alternative de l'eau pluviale, Gestion des eaux, Gestion du risque d'inondation, Haute Qualité Environnementale, Pollution de l'eau, Phyto-épuration, Urbanisme durable

Abstract

Water management in cities, including both of used-water (gray and black) and rainwater, has been a critical component of urban planning since the time of the ancient Romans.

Each urban project contains specificities such as: a unique climate, topography, or defined perimeter, which ultimately influence the most suitable water management strategy for the site. Furthermore, effects of climate change including: water scarcity or heavier precipitation events have demanded policy changes including stricter regulations for urban planners.

Within this modern context have emerged three nation-wide urban planning competitions: including the development of the high-school “trades building” in Longoni (Mayotte), the conception of a bus station in Voisenon (Seine et Marne), and the development of an eco-friendly bus station in Vincennes (Val de Marne). These three projects, different in their provisioning of space and region of implantation reveal that water can act as a double-edged sword: both as a resource essential to life while also a hindrance in urban planning. With regards to the latter, two major risks emerged from each of these projects including: flooding risks and the pollution of waters. The projects’ stakeholders, specifically the utilities engineers (VRD) brought forth technical strategies to address these risks by treating the root cause (deviation of water bodies) as well as adapting the project to a specific condition (the sacrifice of space as floodable terrain). However, water also comprises a valuable resource for human needs. Thus, developing alternative strategies to save potable water from usage in the water network when unnecessary remains equally important in water management. Each of the three projects demonstrate that the reuse of rainwater for toiletries or ground-washing are valuable solutions when costs constraints (including for water storage) are considered within the first few phases of the project. Another innovative solution lies in the reuse of treated wastewater through phytoremediation to re-introduce this water into the non-potable circuit. In general, using non-potable water from diverse sources represents a durable and efficient solution which preserves potable water.

In conclusion, the principals encountered through these projects, including water treatment on-site or the management of rainwater closest to its “impact zone” bring forth the question of scaling water management strategies. Current water treatment methods, including sending water in treatment sites far away from the city should no longer be the norm. A more local and less systematic water management approach considering the available resources would reduce water-related risks and optimize the use of resources. This is the role of urban engineers, who analyze the project’s environment and constraints to propose optimal and sustainable engineering solutions.

Thesaurus: sustainable development, alternative rainwater treatment, water management, flooding-risk management, HQE, water pollution, phyto-remediation, sustainable urbanism.

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier l'ensemble de l'équipe d'Ateve Ingénierie pour le chaleureux accueil qui m'a été réservé tout au long de ce stage. Plus particulièrement, merci à M. Emmanuelidis de m'avoir fait confiance en me confiant des projets passionnants mais aussi à M. Amdjar qui m'a épaulée et donné de précieuses informations sur la gestion des eaux, à Paris notamment. Merci aussi à Mlle Lif, sans qui ce stage n'aurait pas été possible.

Je voudrais également témoigner ma reconnaissance à M. Bartholus qui m'a gentiment reçue à la Direction de l'Urbanisme et avec qui j'ai été en contact durant les 6 mois du TFE. J'ai beaucoup appris de nos échanges et de ses conseils.

Enfin, merci à mes proches de m'avoir soutenue dans l'écriture de ce rapport, particulièrement ma mère et mon compagnon.

I. Introduction

A l'EIVP, le stage de fin d'étude conclut la formation théorique apportée par l'école et est le moyen de comprendre, sur le terrain, le rôle de l'ingénieur en génie urbain. J'ai choisi d'effectuer ce stage à ATEVE Ingénierie, bureau d'études techniques VRD (Voirie et Réseaux Divers) situé à Paris, pour son expérience dans la gestion alternative des eaux et sa démarche de projets HQE (Haute Qualité Environnementale). Après un semestre effectué à la Boston University en « sustainable urban planning », il me semblait pertinent d'intégrer une structure pour laquelle la valeur « environnementale » était au cœur de la réflexion. La question de l'eau dans la ville et la gestion des déplacements urbains sont pour moi deux paramètres clés dans l'élaboration de territoires plus durables. Ainsi, la position stratégique qu'ATEVE a, en tant que support technique à la construction, est un atout pour appréhender de manière concrète la gestion des VRD et de l'eau plus particulièrement.

La relation eau-urbanisme est fondamentale et historique. En effet, l'implantation des villes et leur développement ont, en grande majorité, été déterminés par la ressource en eau. Les villes prospères étaient notamment situées près d'une source abondante, pour abreuver les habitants, irriguer les champs, rendre la cité hygiénique ou encore commercer, par le biais des mers et rivières. Les aménagements urbains, qu'ils consistent en la création de nouveaux espaces de vie ou la modification de structures existantes, prennent en compte l'eau sous ses différentes formes : eau pluviale, eau potable, eaux « viciées » à évacuer... Mais les effets du changement climatique obligent les territoires à s'adapter. Nécessairement, la gestion des eaux doit évoluer pour faire face à l'intensification des aléas naturels, s'adapter aux usages futurs ainsi qu'aux fluctuations de population. Le « rapport à l'eau » doit être repensé car l'évolution du climat n'entraîne pas seulement une raréfaction de la ressource mais provoque aussi l'apparition d'événements pluvieux extrêmes dans certaines régions, dont les conséquences sont difficiles à prévoir. Ainsi, j'ai souhaité analyser dans ce rapport **en quoi les caractéristiques du site d'implantation d'un projet d'aménagement, et en particulier le climat, peuvent influencer sur la gestion des eaux usées et des eaux pluviales. Est-ce que les choix de gestion que nous avons faits dans un contexte tropical humide peuvent inspirer une gestion plus efficace de l'eau en climat tempéré (et inversement) ?** Au cours de ce stage j'ai eu l'occasion de travailler sur trois projets en particulier, prenant place dans deux zones géographiques très différentes: un concours pour la création du lycée des métiers du bâtiment à Longoni (Mayotte), la conception d'une gare routière à Voisenon (Seine et Marne) et un concours pour une « éco-gare routière » à Vincennes (Val de Marne). L'analyse reposera donc sur ces trois exemples concrets mais aussi sur l'étude de la gestion des eaux de la ville de Paris, ville dense et peu perméable, sur mes connaissances, lectures et recherches personnelles.

Les régions d'implantation étudiées correspondent à deux types de climat : un climat tropical humide à Mayotte et un climat tempéré avec des influences océaniques pour l'Île de France. Paris est cependant confrontée au phénomène d'îlot de chaleur urbain^{*1}, provoquant une hausse de 2,5°C en moyenne, par rapport aux températures du reste de la région. Ainsi, le climat parisien se caractérise notamment par des températures élevées (entre 21°C et 32°C) variant faiblement au cours de la journée et de l'année. Les précipitations sont très importantes (1500mm de pluie par an sur l'île) et on peut distinguer deux saisons : la saison chaude et pluvieuse (décembre à mars) et la saison fraîche et sèche (de juin à septembre). L'Île de France quant à elle a une température moyenne de 11°C et est une des régions les plus sèches de France (600mm de précipitation en moyenne).

¹ * : Les mots marqués de ce symbole sont définis dans le glossaire

II. Principe généraux de la gestion des eaux usées et des eaux pluviales en France

1) Définition et grands principes

Une définition de la gestion des eaux communément donnée est la planification et la mise en œuvre de moyens (techniques, juridiques, organisationnels...) pour contrôler la quantité et la qualité de l'eau. Deux grandes « familles » de gestion se dessinent alors : l'acheminement d'eau, qu'elle soit potable ou non, vers la ville et l'assainissement des eaux viciées.

a) Assainissement des eaux usées (EU) et des eaux pluviales (EP)

On peut distinguer deux types de réseau d'assainissement selon qu'il collecte à la fois les EU et les EP, il s'agit alors d'un réseau unitaire, ou qu'il soit composé de deux systèmes collectant séparément les EU et les EP, il s'agit dans ce cas d'un réseau séparatif. Les EU sont toujours envoyées en station d'épuration tandis que les EP, dans le cas d'un réseau séparatif, peuvent être rejetées directement dans le milieu naturel, envoyées en station d'épuration mais avec un débit limité ou encore prétraitées avant rejet. L'intérêt du réseau séparatif est de ne pas « surcharger » la station d'épuration en cas de fortes pluies et d'éviter la pollution issue du processus de déversoir d'orage (relargage d'une partie des eaux viciées en cas de forte pluie dans le milieu naturel afin de soulager le réseau). Cependant, le réseau séparatif est plus coûteux à la mise en place et peut entraîner un problème de curage du réseau unitaire des eaux usées.

L'assainissement consiste en la collecte, le transport (égouts) et l'éventuel traitement des EU et des EP d'une ville, avant leur rejet dans le milieu naturel.

Concernant la station d'épuration, son but n'est pas de rendre l'eau potable mais de la rendre « acceptable » pour le milieu récepteur. Un ensemble de procédés sont appliqués aux eaux arrivant afin de les débarrasser de leur charge polluante. L'eau est notamment filtrée de plus en plus finement, traitée biologiquement et chimiquement. Enfin, il existe un assainissement dit collectif, utilisé dans les zones d'habitat concentré et qui utilise la station d'épuration, mais aussi un assainissement non collectif qui traite les eaux directement sur place. Ce dernier est principalement utilisé dans les zones d'habitat dispersé où les coûts de raccordement au réseau seraient trop élevés.

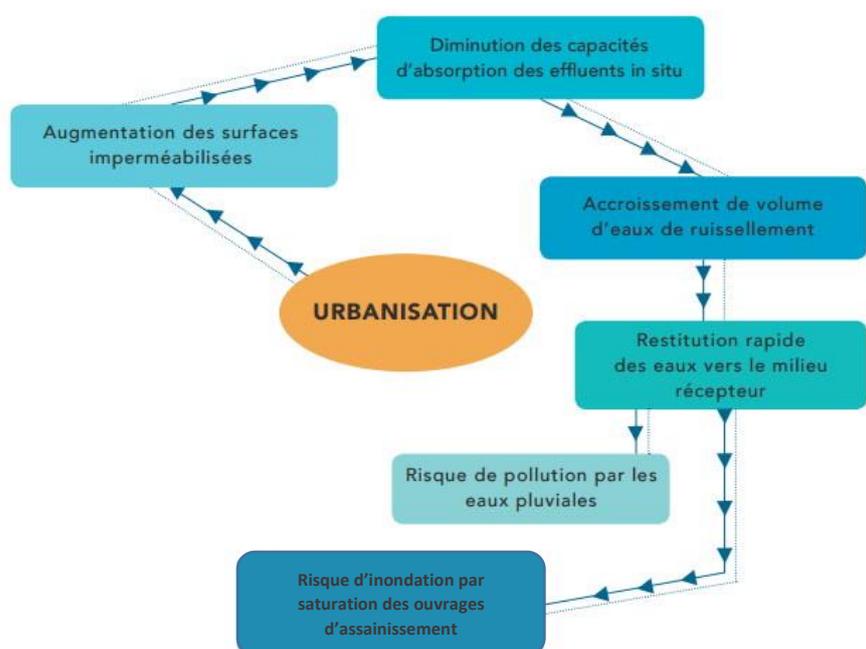
b) Gestion alternative des eaux pluviales

Deux cycles de l'eau peuvent être considérés. Le « grand cycle de l'eau » correspond aux déplacements de l'eau à l'échelle de la planète. Il est composé de : l'évaporation, la précipitation, l'infiltration, le ruissellement en surface et le retour de l'eau aux grandes masses d'eau (océans, lacs...) par les cours d'eau. Il s'agit d'un cycle perpétuel qui peut être perturbé par l'activité humaine. Le « petit cycle de l'eau » quant à lui, fut créé par l'homme au XIX^{ème} siècle afin de capter l'eau, la traiter si nécessaire pour la rendre potable, mais aussi mettre en place un système d'assainissement pour la gérer une fois souillée et la rejeter au milieu récepteur après épuration. Il s'agit donc d'un cycle artificiel dont le but est à la fois de pouvoir disposer à volonté d'une eau potable mais aussi de préserver les cours d'eau et d'éviter tout problème d'insalubrité. Ce cycle anthropique intègre historiquement les eaux pluviales dans sa gestion.

Cependant, les expansions urbaines successives provoquent notamment l'imperméabilisation des sols, ce qui engendre des dysfonctionnements du réseau d'assainissement. En effet, l'eau

s'infiltrant moins facilement dans le sol, elle arrive plus rapidement et en plus grande quantité aux avaloirs de collecte du réseau. Le réseau saturé peut alors provoquer des inondations par débordements, des rejets d'eau unitaire dans le milieu récepteur ou des baisses de la qualité d'épuration.

Afin de pallier ces dysfonctionnements, les autorités environnementales et de nombreuses collectivités ont alors décidé de réintégrer la gestion de l'eau pluviale dans le grand cycle de l'eau. C'est le but des techniques alternatives de gestion de l'eau pluviale, alternatives au rejet à l'égout.



Cycle des eaux de pluie, Syndicat Intercommunal du Bassin d'Arcachon

Ces techniques alternatives peuvent comporter d'autres avantages tels que la captation du CO2 ou la réduction de l'effet de chaleur urbain s'il s'agit de solutions végétalisées à ciel ouvert, ou encore la création d'aménités récréatives ou paysagères. Enfin, ces solutions peuvent être accompagnées d'un cadre réglementaire comme le règlement d'assainissement ou le zonage d'assainissement. De même, le zonage pluvial de la Mairie de Paris, annexé au Plan Local d'Urbanisme de la ville, impose des objectifs minimaux de gestion des eaux pluviales pour les travaux urbains : un abattement volumique des eaux pluviales sur le terrain (selon la zone du projet urbain) et une régulation du débit de fuite de 10L/s/ha en amont des zones de débordement potentiel.

Concernant ces techniques alternatives, elles peuvent être classées en deux groupes : les dispositifs ayant une fonction d'infiltration et/ou rétention et les dispositifs complémentaires.

Quelques exemples de dispositifs :

Dispositifs ayant une fonction d'infiltration et/ou rétention	Dispositifs complémentaires
Noues	Toitures végétalisées

Fossés	Filtres plantés de roseaux
Tranchées drainantes	Récupération des eaux de pluie pour un usage domestique
Puits d'infiltration	
Chaussées à structure réservoir	
Toits stockants	
Bassin de rétention enterré	

2) Gouvernance

a) Collectivités territoriales

En France, comme l'indique le Code général des collectivités territoriales, ce sont les collectivités territoriales ou leur regroupement qui sont responsables de l'organisation de l'adduction d'eau potable et de l'assainissement. Elles rendent un service public et peuvent déléguer cette compétence à la communauté d'agglomération ou à un syndicat de communes. Compte tenu de l'organisation en réseau, le domaine de l'eau et de l'assainissement est un secteur privilégié de coopération entre communes. Concernant la gestion du service, il peut être réalisé par la commune même, en régie, ou délégué à une entreprise privée, selon un contrat particulier (d'affermage, de concession, de gérance ou de régie intéressée). Les trois principales entreprises pour la gestion de l'eau potable en France sont La Générale des eaux-Vivendi, Suez-Lyonnaise des eaux et SAUR international (Groupe Bouygues). Pour l'assainissement, le plus gros acteur français privé est Véolia Eau-Compagnie générale des eaux. Cependant, dans tous les cas, le maire est responsable juridiquement de la qualité des services et du tarif de l'eau dans sa commune.

Paris possède une régie communale Eau de Paris pour assurer l'adduction d'eau potable, tandis que l'Ile-de-France abrite le plus grand syndicat intercommunal de France, le SEDIF (Syndicat des Eaux d'Ile de France) auquel adhèrent 152 communes franciliennes. L'organisation de l'assainissement collectif en l'Ile-de-France est gérée par le SIAAP (Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne).

A Mayotte, les 17 communes de l'île ont délégué leur compétence eau et assainissement au SIEAM (Syndicat Intercommunal d'Eau et d'Assainissement de Mayotte).

Néanmoins, cette organisation peut être amenée à évoluer prochainement. En effet, fin 2016, Mayotte a connu une grave pénurie d'eau. Le réseau d'eau potable mahorais est alimenté pour l'essentiel par deux retenues collinaires, qui, par manque de précipitation fin décembre, ont été quasiment vides. Cela a provoqué un vent de panique, obligé des écoles à fermer et un « plan d'urgence eau » a été mis en place pour trouver une solution. Le Césem (Conseil économique, social et environnemental) a émis un rapport sur cette situation et conseillé le retour à une gestion municipale du service public, les communes étant plus à même « d'identifier les ressources disponibles inexploitées et d'en différencier les usages » (CESEM).

b) Les départements

Les départements ont un rôle de support et d'assistance à l'équipement des communes en accordant, par exemple, des subventions pour le financement d'équipement. Ils participent également au SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux). En application de la loi sur l'eau de 1992, le territoire français a été découpé en six bassins

hydrologiques* dont les six comités de bassin ont élaboré puis adopté six SDAGE, en 1996. Le SDAGE, piloté par un Conseil de Bassin et financé par les agences de l'eau, définit de grandes orientations, des objectifs de qualité et de quantité des eaux à obtenir pour chaque masse d'eau du bassin, et des dispositifs et aménagements à mettre en place pour atteindre ces objectifs.

Le SDAGE se décline au niveau plus local en un SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) qui permet de tenir compte des spécificités du territoire.

A un niveau local, la police de l'eau règlemente les travaux, activités ou ouvrages pouvant exercer une pression sur les milieux aquatiques. Pour cela, elle instruit les dossiers de déclaration ou d'autorisation des opérations pouvant modifier l'écoulement des eaux, leurs rejets, leurs dépôts...

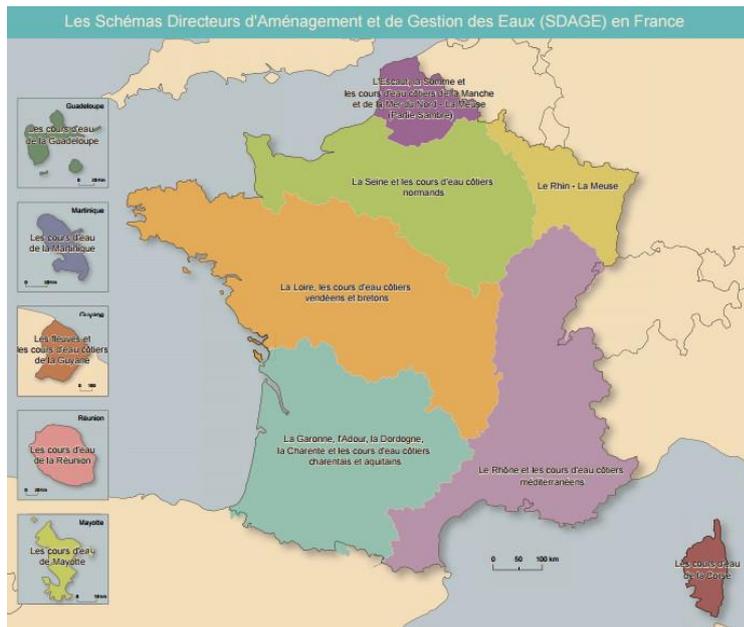


Schéma des bassins français

c) Rôle de l'Etat et de l'Europe

Malgré les nombreuses compétences transmises aux collectivités territoriales depuis les lois de décentralisation de 1982 et 1983, l'Etat garde un rôle central dans la politique de l'eau. En effet, il permet de garder une cohérence nationale en matière de gestion du domaine de l'eau, de nombreux acteurs étatiques intervenant encore à l'échelle locale, et traduit en loi française les directives européennes. Ainsi, la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) fixe un cadre européen en matière de gestion des eaux, car de nombreux cours d'eau (Rhin, Rhône...) traversent plusieurs pays. La DCE a pour objectif de préserver et restaurer les eaux superficielles et souterraines. La France, pour répondre à ce cadre communautaire, gère l'eau par un découpage du territoire en grands bassins hydrographiques, comme mentionné précédemment, par le biais de la loi sur l'eau de 1992 et de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006.

III. Contexte du stage

1) Le bureau d'études techniques VRD : acteur de premier plan dans la gestion des eaux

Un bureau d'études techniques (BET) VRD (Voirie et Réseaux Divers) est un des acteurs de la Maitrise d'œuvre (MOE) et apporte son soutien technique à l'architecte ou au paysagiste, souvent mandataire du projet d'aménagement, qui dirige l'équipe de MOE. Le BET VRD intervient à différentes phases du projet d'aménagement urbain (pré-étude, conception, esquisses, Avant-Projet, Phase PRO, Consultation des Entreprises, Suivi de Chantier...). Il peut également, comme ATEVE Ingénierie, être Assistant Maitrise d'Ouvrage (AMO) pour certains projets (rédaction de dossiers réglementaires ou de demande de subvention notamment).

Ainsi, Ateve Ingénierie (Aménagement- Traitement des Eaux- Voirie et Réseaux divers- Environnement) fut fondé par M. Emmanuelidis, ingénieur des mines de Douai, en 2001 et se compose aujourd'hui de trois chefs de projet et d'un chargé d'étude.

Ateve réalise depuis plus de 17 ans de nombreuses missions de MOE, d'AMO et de conseil avec la volonté constante de proposer des solutions à Haute Qualité Environnementale. Son action peut alors s'effectuer à différentes phases temporelles du projet, des phases d'études initiales aux phases d'exécution. Ce bureau d'étude ne se limite pas à la construction de chaussée ou de réseaux enterrés mais conçoit aussi des aménagements plus durables, ayant moins d'impacts négatifs sur l'environnement, et pensés dès les phases amont du projet. Par exemple, Ateve a été précurseur dans la gestion alternative des eaux pluviales (création de noues, de bassins de rétention, de chaussées réservoirs...), dans la mise en place de fontainerie écologique permettant de diminuer les phénomènes d'ilots de chaleur urbain ou encore dans le développement de la biodiversité en ville. Ateve attache également une grande importance à la diminution du bilan carbone des projets et privilégie l'utilisation de matériaux recyclés ou recyclables pour les aménagements extérieurs.



Réalisation de la place du marché à Château Landon. Ateve a notamment réutilisé de nombreux matériaux locaux tels que les pavés grés sciés ou les bordures calcaires du site, et réalisé un aménagement qualitatif, accessible aux PMR.



Concours pour le réaménagement et l'extension d'un parc de 2ha à Pantin. Ateve a proposé l'utilisation des eaux pluviales pour le lavage de la voirie, ou l'équilibre déblais-remblais dans le nivellement, pour limiter l'apport ou l'évacuation des terres du site.

Un BET VRD participe donc concrètement à la gestion des eaux d'un projet. En effet, il dimensionne, dessine, organise les aménagements de gestion des eaux, en accord avec le cadre réglementaire et les désirs de la Maitrise d'Ouvrage (MOA). Il participe aussi à la rédaction de dossiers réglementaires, tels que les « dossiers loi sur l'eau », dès lors que le projet réalisé a un impact direct ou indirect sur le milieu aquatique. Il a, enfin, un rôle de support technique auprès des différentes parties prenantes du projet et peut orienter l'équipe sur l'adoption d'une variante technique plutôt qu'une autre.

2) Déroulement général du stage

J'ai rejoint les équipes d'Ateve Ingénierie pour une durée de 6 mois afin de comprendre concrètement quel était le travail d'un ingénieur d'étude VRD et comment la volonté de préserver l'environnement impactait ce travail.

Durant les premières semaines de mon stage, j'ai d'abord assisté les chefs de projet sur différentes parties de leurs missions. J'ai ainsi pu aborder les diverses phases régies par la loi MOP* telles que l'élaboration de plans de réseaux, de démolition ou de revêtement en phase APS (Avant-Projet Sommaire), l'élaboration de CCTP (Cahiers des Clauses Techniques Particulières) ainsi que la réalisation d'estimations financières des parties VRD des projets en phase PRO (Projet), ou encore l'analyse des offres des entreprises après rédaction de DCE (Dossier de Consultation des Entreprises) par Ateve ou par la MOA.

J'ai, au fur et à mesure de l'avancée du stage, pu gagner en autonomie sur certaines de ces étapes et me suis vu confier la gestion de certains aspects des projets. Par exemple, j'ai réalisé la conception paysagère d'un projet de réhabilitation de parkings à Saint Mammès (Seine-et-Marne). Il s'agissait d'intégrer des massifs arborés et des noues plantées (principe de phytoremédiation*) dans ces nouveaux parkings, d'élaborer des notices techniques et de réaliser les plans paysagers sur Autocad, le CCTP et l'estimation de cette partie du projet.

Enfin, j'ai pu mener certaines missions en autonomie complète, sous le contrôle final de M. Emmanuelidis, telles que l'élaboration du PAVE (Plan d'accessibilité de la voirie et des espaces publics) pour la commune de Voisenon ou la conception de la halte routière du collège de la commune.

Pour le rapport de stage TFE, j'ai choisi de décrire en particulier trois projets sur lesquels j'ai dû travailler dès les phases de conception et qui reflètent bien les problématiques de gestion des eaux auxquelles peut être confronté un bureau d'étude VRD HQE tel qu'Ateve.

3) 1^{er} projet : Concours pour un lycée des métiers du bâtiment à Longoni, Mayotte

En janvier 2018, le Ministère de l'éducation nationale et le Ministère de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation lancent un concours de maîtrise d'œuvre pour la création d'un lycée des métiers du bâtiment, d'un internat de la réussite et d'une cuisine centrale dans le village de Longoni, au Nord de Mayotte. Ce projet s'intègre dans la création d'une ZAC (Zone d'Aménagement Concerté) qui comprendra des habitations, des commerces, de nouvelles voies de circulation et qui vise à dynamiser la commune de Longoni. Ateve Ingénierie intègre une équipe menée par Encore Heureux, l'agence d'architecture mandataire, et composée d'une dizaine de bureaux d'étude situés à Paris ou à la Réunion tels que EVP Ingénierie (bureau d'étude structure) ou Albert & Co (conseiller en développement durable). Le projet qui doit être réalisé est encadré par un programme très strict qui fixe notamment des objectifs chiffrés en terme de consommation d'énergie, de production d'énergie renouvelable (70% de l'énergie consommée par les installations doit être produite sur site, à partir de panneaux photovoltaïques), de confort thermique (les bâtiments doivent être construits en suivant une conception bioclimatique) ou de recyclage des eaux de pluie (les toilettes doivent être alimentées avec une eau non potable). Cette précision dans le programme est due au fait que le projet doit devenir le symbole du développement durable à Mayotte. En effet, les constructions éco-durables sont rares sur l'île, alors que la Réunion, sa « voisine », fait parfois figure de référence sur ces sujets. La maîtrise d'ouvrage du projet est portée par le Vice-Rectorat de Mayotte, assisté par la DEAL (Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) de Mayotte qui intervient en tant que conducteur de l'opération. Concernant la parcelle de 51672 m² allouée au projet, elle accumule les contraintes. Bien que bénéficiant de remarquables qualités paysagères (faune et flore luxuriante dont certaines espèces sont protégées), le terrain est handicapé par sa topographie et les aléas environnementaux auxquels il est soumis. La topographie tout d'abord : de fortes pentes, pouvant parfois atteindre 40 à 50%, occupent tout le sud du site avec un dénivelé d'une quinzaine de mètres et une butte qui occupe le centre de la parcelle. De plus, le risque de glissement de terrain est très présent, notamment sur les flancs de la butte, auquel s'ajoute le risque sismique. Enfin, une grande partie du terrain est situé en zone inondable.

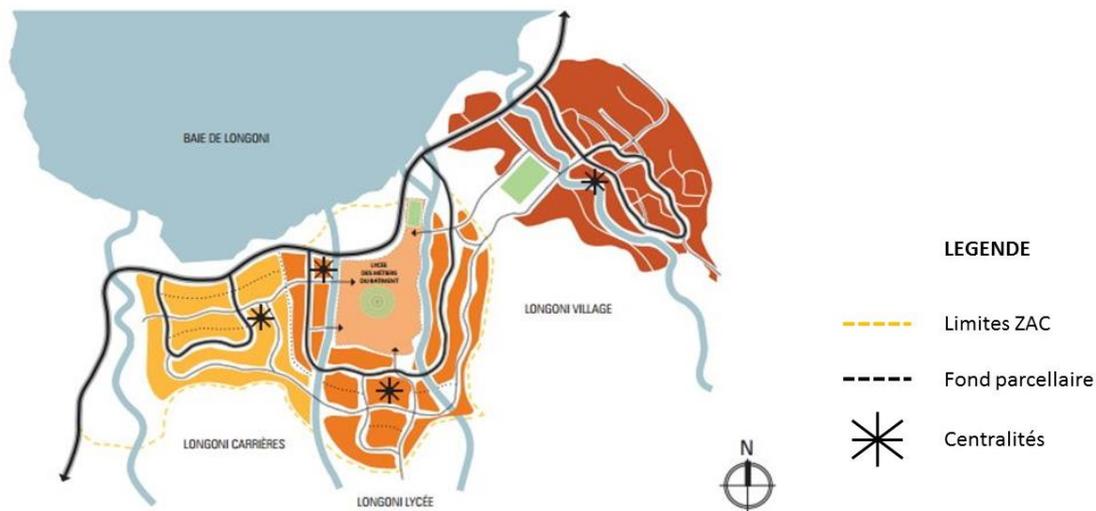
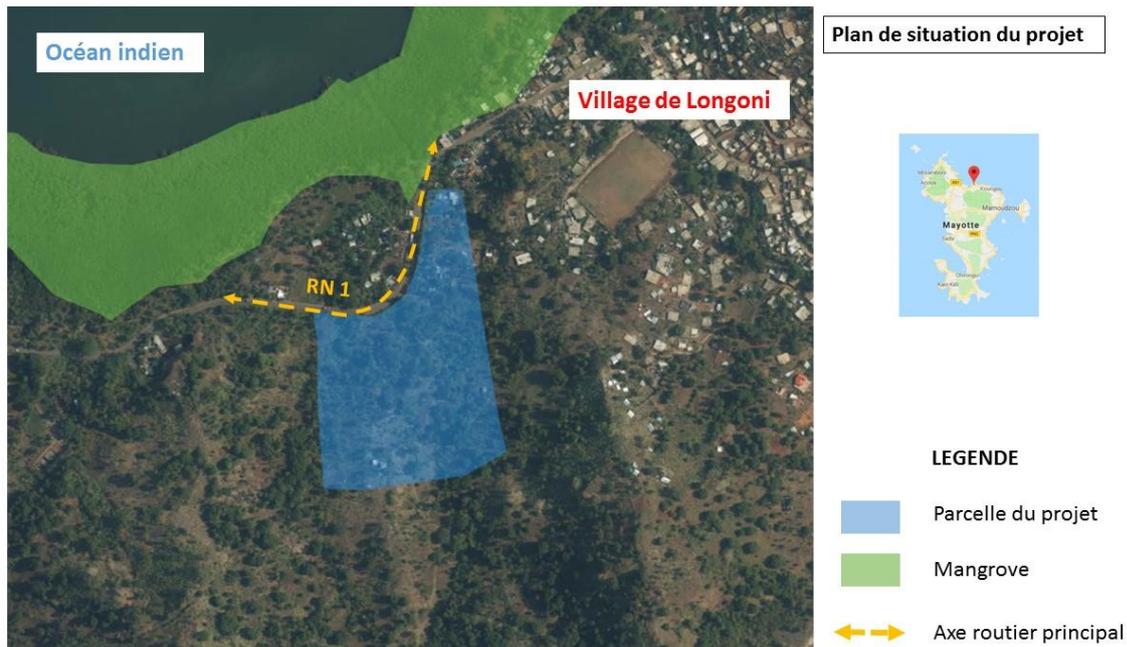


Schéma de conception : Scénario de développement de Longoni, Encore Heureux Architectes

Ma mission sur ce projet a été effectuée en binôme avec le chargé d'étude d'Ateve Ingénierie et en collaboration avec M. Emmanuelidis. Nous devons proposer des principes de gestion des eaux écologiques ainsi que l'ensemble des aménagements extérieurs, dimensionner et chiffrer les solutions retenues par l'équipe et dessiner un plan des réseaux et du revêtement. Ces deux plans ont principalement servi de support aux architectes pour leurs rendus visuels finaux, mais nous les avons également joints aux notes techniques du concours afin d'expliquer notre démarche. Bien entendu, cette mission s'est effectuée en plusieurs « étapes » de validation car nous devons, par exemple, tenir compte des choix architecturaux pour l'implantation des ouvrages hydrauliques ou pour l'aménagement des espaces extérieurs. Nous avons également conçu la gare de bus (15 bus scolaires) et le « dépose minute » pour les parents, à l'extérieur de la parcelle, comme le programme l'exigeait.

J'ai été personnellement en charge, en tant qu'ingénieur VRD de :

- Proposer des solutions techniques pour la gestion des eaux usées à la parcelle
- De dimensionner ces solutions après leur validation par l'ensemble de l'équipe
- Ecrire des notes techniques explicatives à inclure dans les documents du concours
- Dessiner les plans des réseaux sur Autocad, en suivant les règles de l'art et en favorisant les ouvrages aériens
- Donner un avis technique sur les revêtements et les structures de chaussées piétonnes, automobiles et poids-lourds, et proposer des alternatives au béton et au bitume
- Concevoir la halte routière des 15 bus, le dépose-minute et la piste cyclable, en vérifiant particulièrement les trajectoires des véhicules et en essayant d'optimiser l'espace dédié à la voirie
- Etre force de proposition pour d'autres aspects du projet tels que la gestion des eaux pluviales (stockage des eaux de toiture), les limitations du risque d'inondation (déviation du ru*) ou le choix des matériaux (briques en terre crue)
- De dimensionner le méthaniseur utilisant les eaux usées et les eaux de lave-vaisselle des cuisines pour produire du biogaz, alimentant en énergie la cuisine centrale du lycée (solution finalement non retenue par l'équipe)
- De contacter différents fournisseurs afin de vérifier la faisabilité technique et financière des choix proposés (ENERPRO, fabricant de méthaniseur en zone tropicale par exemple)
- Elaborer les estimations prévisionnelles pour l'ensemble de la partie VRD du concours

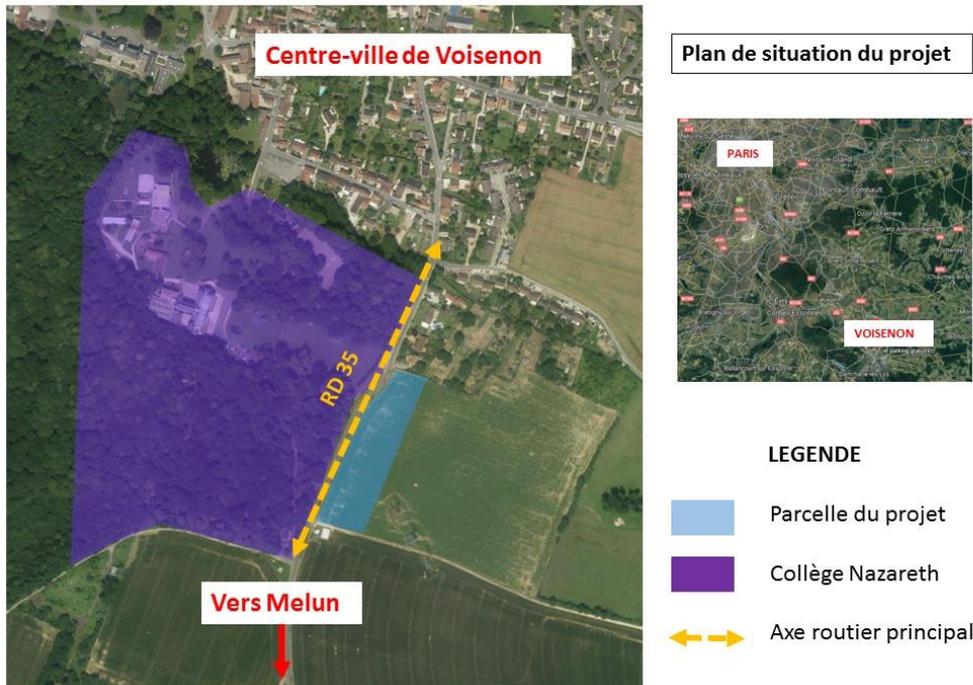
Les ressources que j'ai dû mobiliser afin d'être efficace durant les 3 mois du concours étaient notamment :

- Les cours sur les réseaux, les structures de voirie, la gestion des eaux de l'EIVP
- Les cours de la Boston University sur l'adaptation des projets d'aménagement au changement climatique (villes résilientes au risque d'inondation).
- Les recherches théoriques et pratiques sur l'assainissement non collectif, la méthanisation, les ressources et la législation mahoraise.

4) 2^{eme} projet : Conception d'une halte routière à Voisenon, Seine-et-Marne

En mars 2018, Ateve Ingénierie a été mandaté par la commune de Voisenon pour effectuer un diagnostic de l'état de ses voiries, de ses cheminements piétons et de l'accessibilité des PMR (Personnes à Mobilité Réduite) dans les différents points d'intérêt de la ville. Cette étude s'est conclue par l'élaboration d'un PAVE (Plan d'accessibilité de la voirie et des espaces publics), que j'ai réalisé, permettant de dresser le bilan des dysfonctionnements et de proposer des solutions. A la suite de ce PAVE, Voisenon a décidé de confier à Ateve la maîtrise d'œuvre complète de la réalisation d'une gare routière pour les bus du collège privé de Nazareth. En effet, un problème de sécurité routière avait été identifié par la ville et Ateve, problème lié au transport des élèves du collège, le matin et le soir. Les bus qui rentrent dans le centre-ville créent d'importantes congestions, bloquent certaines voies d'accès et obligent parfois les élèves

à circuler sur la voirie. Afin d'éviter cela, la création d'une gare routière a été décidée, sur une parcelle agricole appartenant à la mairie, située en entrée de village et en face du collège. Ainsi, les bus seront « canalisés » sur un périmètre délimité, hors centre-ville, et les élèves mis en sécurité.



La parcelle du projet ne possède pas de forte contrainte de nivellement (terrain plutôt plat) et n'est pas exposée à des risques particuliers (hors zones inondables). La difficulté de conception provient principalement de la gestion des flux des bus venant à la fois du centre-ville de Voisenon et de Melun, et repartant dans des directions opposées. Il s'agit de gérer des concentrations de poids lourds très importantes, pouvant atteindre 22 bus qui arrivent en même temps le matin pour déposer les élèves et le soir à la sortie des classes. Une aire d'attente pour ces bus a été proposée en complément des quais bus, afin d'éviter de créer un trop grand nombre de stationnement poids lourds, inutilisés dans la majeure partie de la journée. Afin de positionner la gare au plus près du collège, une déviation de la route départementale longeant actuellement le terrain du collège était nécessaire. Cela impose des contraintes de sécurité importantes (vérification des girations des bus, espacement minimal entre la nouvelle route départementale et la gare routière...). Enfin, Ateve étant très sensible à la préservation du milieu naturel environnant, nous avons intégré dans nos plans initiaux plusieurs solutions de gestion des eaux pluviales. La mairie de Voisenon n'avait émis aucune exigence à ce sujet, l'amélioration du trafic en centre-ville et la sécurité des collégiens étant ses deux priorités.



Plan des réseaux existants

LEGENDE

-  Réseau d'électricité (BT et HT)
-  Réseau d'eau potable
-  Réseau d'assainissement unitaire
-  Réseau de télécommunication
-  Limite de parcelle

Durant l'élaboration de la gare routière (qui n'est pas encore terminée au moment de la rédaction de ce rapport), j'ai dû :

- Rencontrer à de nombreuses reprises les acteurs du projet tels que les élus de Voisenon, le directeur du collège et son conseiller, les services du département et de la région, les transporteurs de bus. Il s'est d'abord agi de se mettre d'accord sur un nombre optimal de quais bus. Ces réunions permettent également de prendre en compte tous les avis des personnes impactées par la nouvelle halte routière, de vérifier la faisabilité de certaines propositions ou au contraire d'écartier des solutions trop contraignantes.
- Concevoir les emplacements de stationnement et l'aire d'attente des bus en vérifiant les girations
- Concevoir les cheminements piétons et cyclables
- Proposer les revêtements et les structures de chaussées piétonnes, cyclables et poids-lourds
- Effectuer les plans d'aménagement et de principe du projet
- Faire le dimensionnement grossier du bassin de rétention des eaux pluviales

- Elaborer des dossiers de subventions
- Effectuer un estimatif prévisionnel du projet

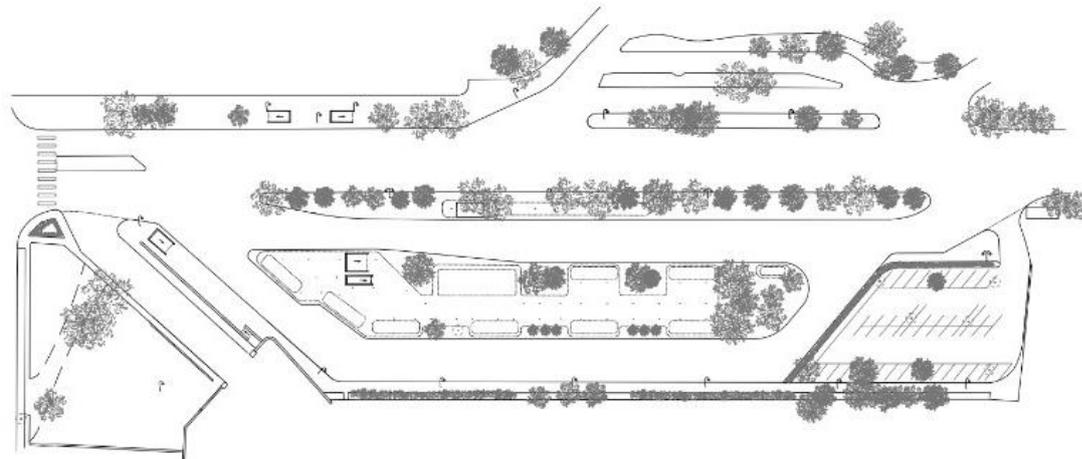
Les ressources que j'ai mobilisée étaient sensiblement similaires à celles du projet de Mayotte mise à part l'étude des flux des bus existants à Voisenon (pour évaluer comment la nouvelle halte routière impacterait leur cheminement).

5) 3^{ème} projet : Concours pour le réaménagement de la gare routière du Château de Vincennes à Vincennes, Val de Marne

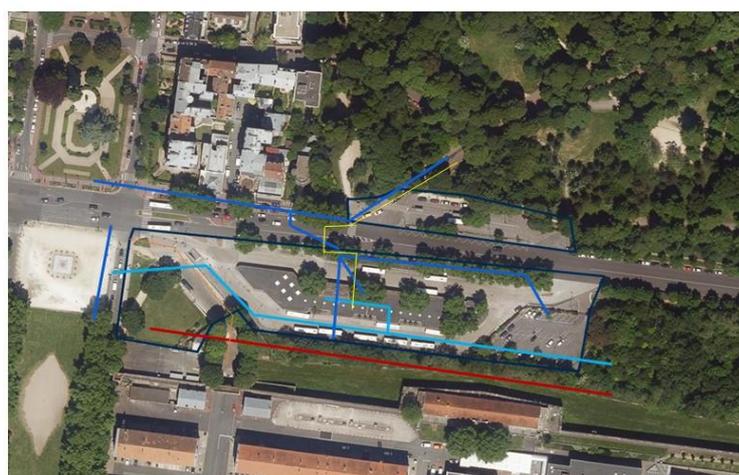
En juin 2018, la RATP lance un concours de maîtrise d'œuvre pour réaménager la gare routière de Vincennes. L'actuelle gare routière est en effet jugée peu à même d'accueillir de nouveaux modes de transport (autopartage notamment) ou de nouvelles lignes de bus. De plus, la RATP souhaite améliorer les conditions d'attente des voyageurs en proposant des services complémentaires (petits commerces, kiosque à journaux, expositions artistiques...) et une structure architecturale plus lumineuse et sécurisante. La RATP impose également que l'ensemble de l'ouvrage réponde à des critères environnementaux bien définis puisqu'il s'agit d'atteindre le niveau BREEAM* bespoke « Very Good ». Le réaménagement de l'actuelle gare routière doit permettre la création d'une véritable « éco-station de bus ». Ainsi, les principales contraintes de ce projet sont la nécessité d'accueillir de nombreux flux de bus (zone de régulation prévue pour 23 bus, zone de reprise de 4 bus et de dépose de 6 bus à bien différencier...) tout en répondant à des critères environnementaux très stricts (matériaux peu



polluants, ré-emploi de l'eau de pluie ...). L'agence d'architecture PROJECTILE a proposé à Ateve Ingénierie, à EVP (BET structure) et à Emma Blanc (paysagiste) de former une équipe pour participer à ce concours.



Plan de la gare de Vincennes existante, Projectile Architectes



Plan des réseaux existants

LEGENDE

- Réseau d'électricité (BT et HT)
- Réseau d'eau potable
- Réseau d'eaux usées
- Réseau d'eaux pluviales
- Réseau de télécommunication
- Limite de parcelle

J'ai tout d'abord travaillé en autonomie avec l'aide de M. Emmanuelidis, puis ai assisté Mlle Liff qui a repris l'affaire dans les dernières étapes du concours. J'ai ainsi pu :

- Participer à des réunions avec les architectes de Projectile et les autres bureaux d'étude afin de donner un avis technique sur les propositions d'aménagement faites
- Proposer les revêtements et les structures de chaussées piétonnes, cyclables et poids-lourds
- Contacter différents fournisseurs afin de proposer des revêtements innovants à mettre en place sur l'éco-station (Colas et Eurovia pour des revêtements phoniques, des enrobés à froid, Yprema pour mettre en place des matériaux recyclés dans les structures de voirie). La plupart des solutions ne convenaient pas pour des circulations intenses de poids-lourds.
- Vérifier l'ensemble des girations et proposer des modifications des plans aux architectes

- Dessiner les plans des réseaux dans les règles de l'art
- Elaborer les parties VRD de la notice technique
- Effectuer l'estimation prévisionnelle des parties VRD

Conclusion : Dans ce rapport de stage, je me focalise sur les trois projets que j'ai eu la chance de mener dès le début de leur conception (phase concours ou esquisse) puisque la gestion des eaux d'un projet d'aménagement urbain est bien souvent élaborée dès les phases de conception. Ainsi, il me semblait plus approprié de relater la mise en place des différentes stratégies de gestion des eaux auxquelles j'ai directement participé. Malheureusement, la durée du stage ne m'a pas permis d'aborder d'autres phases sur les trois projets sélectionnés, mais j'espère que dans le futur, les solutions que nous avons pu concevoir seront réalisées de la meilleure des manières possibles. De plus, j'ai choisi de décrire ces 6 mois sous l'angle d'une problématique générale (la gestion des eaux usées et pluviales en fonction du site et du climat) et tire certaines conclusions en fin de sous-chapitres. Cependant, je suis consciente que ces conclusions ne sont dégagées qu'à partir d'une faible expérience et qu'elles ne sauraient établir une règle générale. Elles me permettent néanmoins d'initier un débat, de proposer une analyse des similitudes et différences de gestion des eaux que j'ai pu rencontrer et de montrer comment, à mon avis, elles peuvent s'inspirer les unes des autres.

IV. L'eau, un perturbateur du projet d'aménagement

Lorsque l'on conçoit un projet urbain, une des premières étapes à effectuer est d'évaluer les différentes contraintes auxquelles devront faire face les installations. Bien souvent, l'eau constitue une menace qu'il faut anticiper dès la phase du concours ou de la conception.

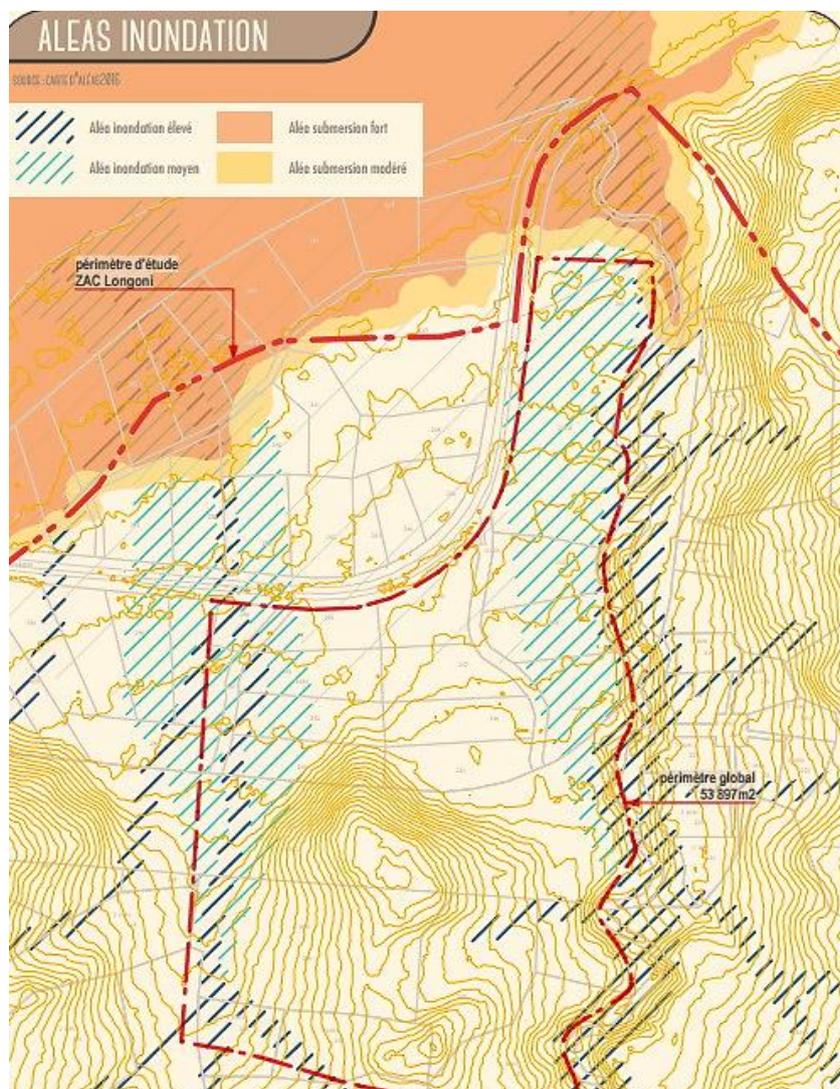
1) Le risque d'inondation

Pour les trois projets, le risque d'inondation est un des plus dangereux et des plus difficiles à maîtriser.

Les causes d'inondation et les manières de réduire ce risque sont variables selon les régions et les types de projets. Nous avons rencontré notamment trois facteurs d'inondation distincts : les débordements des cours d'eau en période de fortes pluies, le ruissellement de l'eau sur le terrain et la submersion marine lors de fortes marées.

a) L'action sur la cause de l'inondation

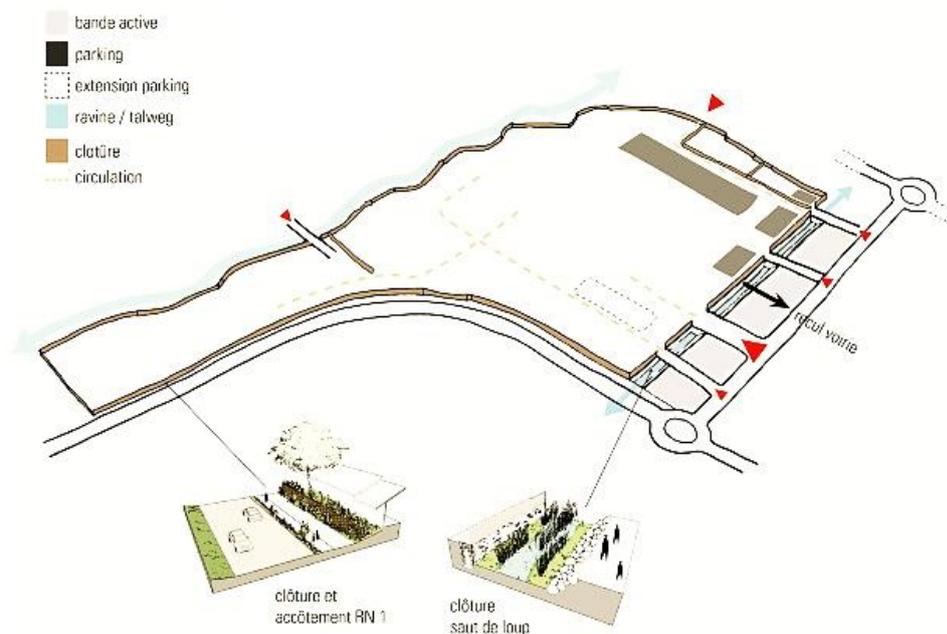
La parcelle de Mayotte est soumise à ces trois « sources » d'inondation et une grande partie du



Carte des phénomènes d'inondation sur la parcelle de Mayotte (talwegs en bleu à l'ouest et à l'est de la parcelle), programme du concours

terrain alloué au projet est situé en zone inondable. En effet, deux talwegs*, dont un permanent, longent à l'Est et à l'Ouest la parcelle. Les rives de ces talwegs sont inondables et des débordements sont habituels pendant la saison des pluies. De plus, le sol du site étant argileux, il infiltre peu l'eau de pluie, ce qui provoque un ruissellement important et fragilise les flancs de la butte. Les éboulements de terrain sont donc fréquents. Enfin, la mangrove, joyaux de la biodiversité mahoraise, vient inonder la partie nord de la parcelle en cas de fortes marées. Afin d'éviter que ces nuisances ne deviennent un danger pour les futurs bâtiments du lycée, il a fallu trouver des solutions sur deux volets en particulier: la limitation du phénomène d'inondation et l'adaptation des espaces

vis-à-vis de ce risque. Ainsi, pour le premier volet, nous avons proposé de dévier et de recalibrer le cours d'eau non permanent hors de la parcelle à l'Ouest. Le but était de limiter et de déplacer les inondations dues à ce ru à l'extérieur de l'enceinte du lycée. Grâce à cette opération, les cheminements piétons et la circulation routière seront préservées du risque d'inondation, quelle que soit l'intensité de la précipitation. En plus du recalibrage technique du talweg, nous avons voulu préserver la faune et la flore aquatique en proposant un enrochement du lit du ru en pierres naturelles. Les espèces pourront alors se redévelopper dans des conditions favorables. Le décalage du talweg a permis de « gagner » de l'espace sur l'emprise de la parcelle mais aussi de créer une « barrière » naturelle entre l'espace public et le lycée, le ru jouant le rôle d'une douve. La protection des abords du lycée contre d'éventuelles intrusions constituait une des exigences du programme, afin d'éviter les problèmes de délinquance.



Déplacement du ru sur le projet de Mayotte, Encore Heureux Architectes

Il est à noter que le choix de déplacement d'un cours d'eau, même un cours d'eau non permanent (qui n'est en eau que lors de la saison des pluies) va plutôt à l'encontre de la politique nationale en matière de gestion des eaux de surface. En effet, l'objectif est habituellement de ne pas perturber les écoulements naturels ou d'avoir un minimum d'impact sur le fonctionnement hydrologique naturel. La proposition de déplacement-recalibrage est un parti pris de concours qui nécessitera assurément l'accord de la police de l'eau dans les phases suivantes. De même, afin de perturber le moins possible les écosystèmes liés à ce ru, l'enrochement du lit du « nouveau » ruisseau et la plantation de graminées adaptées, devraient permettre une réadaptation des espèces présentes.

b) La non-exposition au risque d'inondation et l'adaptation au risque d'inondation

Débordement de cours d'eau

Paris est elle aussi confrontée au risque d'inondation dû aux débordements de son fleuve, la Seine, en cas de fortes pluies, comme les événements de l'hiver 2018 l'ont bien montré.

Cependant, contrairement au projet mahorais, il est difficilement envisageable de « recalibrer » le fleuve et encore moins de le dévier ! De plus, les crues importantes de la Seine ne résultent pas du ruissellement sur le territoire de la ville de Paris mais de phénomènes à plus vaste échelle (système climatique, bassins versants, réservoirs amont...). Cependant, la création du PPRI² (Plan de Prévention des Risques d'Inondation) parisien permet de gérer les risques liés au débordement du fleuve en maîtrisant l'urbanisation en zone inondable. L'objectif est de réduire la vulnérabilité des personnes et des biens. Le PPRI découpe le territoire parisien en zones plus ou moins exposées au risque d'inondation et fixe dans chaque zone des limites : interdiction de bâtir de nouvelles constructions ou d'imperméabiliser les sols (zone verte), contrôle des usages faits en rez-de-chaussée des bâtiments (zones verte, rouge et bleue) ... Ce type d'action réglementaire constitue plutôt une adaptation de l'urbanisme au risque d'inondation plutôt qu'une diminution de la cause de l'inondation. Nous pouvons d'ores et déjà remarquer que le risque peut être « traité » de trois manières : la non-exposition au risque (recherchée en priorité lors du projet d'aménagement), la réduction de la cause ou la réduction de son effet (ici, la crue de la Seine ne peut pas être évitée mais on peut réduire les dommages qu'elle génère). Le projet du lycée mahorais ou à une échelle plus importante, le projet de construction de la ZAC, pourrait bénéficier d'une action réglementaire complémentaire à l'action de réduction de l'inondation précédemment décrite.

Ruissellement de l'eau pluviale

Paris, en plus du risque de débordement de la Seine, est particulièrement sensible au ruissellement de l'eau pluviale. Ainsi, la capitale est une ville très dense, et est de fait fortement minéralisée et imperméabilisée par les revêtements des chaussées et les toitures. 70% des sols parisiens sont étanches à l'eau, Bois de Boulogne et de Vincennes exceptés. Cela n'est pas sans conséquence sur le risque d'inondation dû au ruissellement de l'eau de pluie. En effet, l'eau ne pouvant s'infiltrer dans le sol, elle ruisselle rapidement jusqu'aux avaloirs des réseaux d'assainissement. Les réseaux saturés peuvent alors inonder localement des parties du territoire. De la même manière qu'à Paris, le projet de l'éco-station bus de Vincennes prend place dans un contexte local fortement minéralisé, bien qu'on puisse distinguer la présence du bois de Vincennes à côté. Le projet en lui-même prévoit une forte imperméabilisation des surfaces car la circulation intense de poids lourds tout au long de la journée nécessite des revêtements de type bitumineux ou béton, non poreux. Il nous semblait donc important de traiter le risque d'inondation dû au ruissellement, mais l'espace disponible pour d'éventuels aménagements était extrêmement restreint. En effet, les architectes et nous-mêmes avons eu beaucoup de difficultés à intégrer l'ensemble du programme sur la parcelle et nous ne pouvions donc pas proposer de solutions consommatrices de foncier (ni noues, ni bassin d'infiltration). Ainsi, nous avons opté pour deux méthodes « économiques » (qui seront à affiner dans le futur si le projet est lauréat) permettant d'abattre* une pluie de 16mm de lame d'eau précipitée (autrement dit pour la région, une pluie de retour moyen de 6mois). Il est à noter que notre parcelle ne se situait dans aucune des zones définies par le Plan Pluie parisien « Paris pluie » (évoqué en IV.2)) puisque située à Vincennes et que cet abattement correspondait seulement à une volonté qu'avaient Ateve et l'équipe du concours. Les 16 premiers millimètres d'eau de pluie des voiries seront stockés provisoirement dans les canalisations EP créées (dont le diamètre sera adapté à la fonction de stockage) mais aussi partiellement sur les voiries bus (quelques centimètres d'eau sur les voiries bus pendant quelques minutes). Les cheminements piétons

² PPRI parisien en annexe

seront quant à eux toujours hors de l'eau. Les eaux stockées seront ensuite traitées par un séparateur à hydrocarbure* puis refoulée (grâce à une pompe) vers les espaces verts hors emprise des ouvrages enterrés existants, avant d'être infiltrées.

Pour cette éco-station nous avons donc proposé une limitation de l'inondation par ruissellement grâce au stockage du « surplus » d'eau, combiné à une solution « sacrificielle » d'espaces rendus inondables. Il s'agit, en quelque sorte, d'une adaptation de l'espace aménagé qui, en plus de sa fonction principale, peut également servir à restreindre le risque d'inondation dans une zone déterminée.

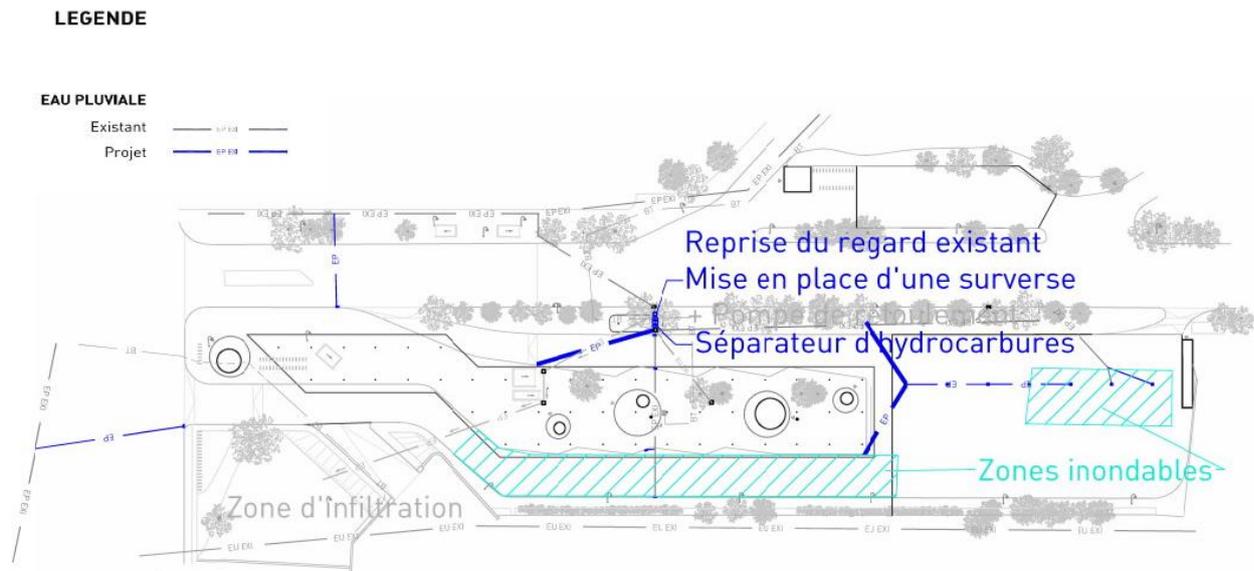
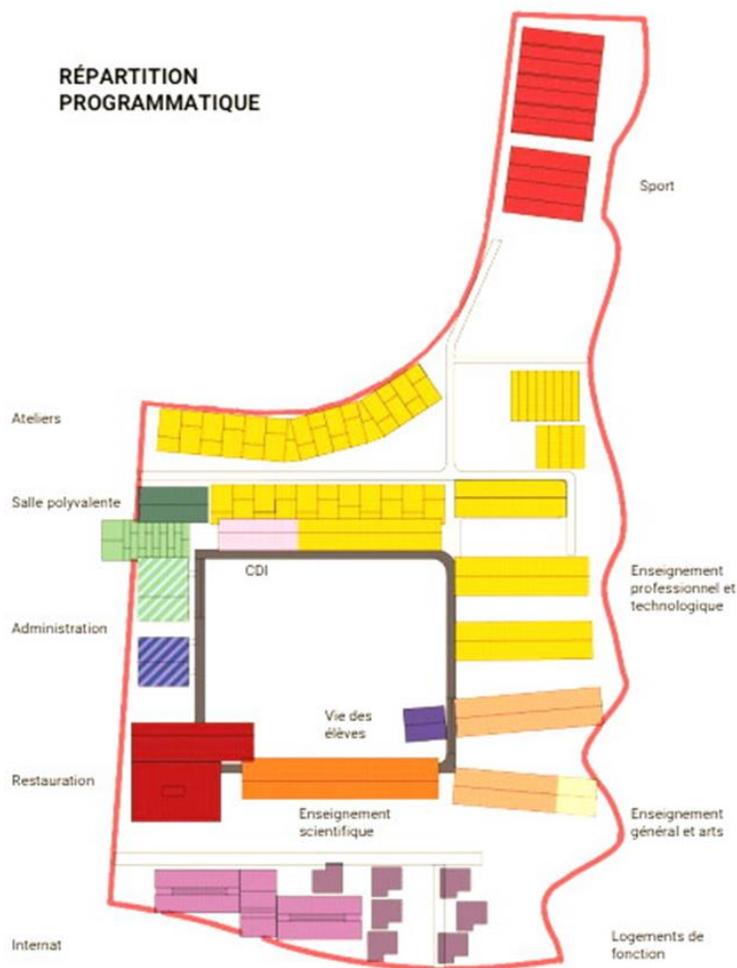


Schéma de principe de gestion des EP pour le projet de Vincennes (surdimensionnement de canalisations, création de zones inondable et d'une zone d'infiltration)

Le principe d'une adaptation de l'organisation des espaces au risque d'inondation a été également beaucoup utilisé pour le projet de Mayotte. En effet, tous les facteurs d'inondation ne peuvent pas être limités mais il est possible d'adapter la morphologie du bâtiment ou l'implantation des espaces pour limiter l'impact de l'inondation. Ainsi, les architectes ont prévu la construction de la majorité des salles de classe et des circulations piétonnes sur pilotis, et de laisser les zones au sol libres de toute construction. Nous leur avons conseillé de placer les espaces les moins vulnérables à l'eau dans les zones inondables. Les terrains sportifs sont donc localisés en nord de parcelle (submersion marine possible), les ateliers (construction rustique) et les zones de travaux pratiques extérieures à l'Est de la parcelle (possible débordement du talweg). Le risque dans ce type de traitement des espaces est de se retrouver avec une organisation chaotique de l'ensemble, ne reposant plus sur le confort des utilisateurs ou sur une vision esthétique, mais sur un évitement permanent du risque. Heureusement, grâce à un travail en équipe et une recherche commune de solution nous avons pu proposer au jury du concours un schéma d'aménagement confortable ET protégé.



Les ateliers sont tous regroupés à l'est et constituent un lien clair avec les pôles techniques correspondants. De même, il était logique de disposer les équipements sportifs en nord de parcelle indépendamment du risque d'inondation. En effet, cette partie du terrain étant fortement soumise au bruit de la Route Nationale il était difficilement envisageable d'y mettre l'internat (placé en fond de parcelle) ou les salles de classe.

De même, j'ai eu l'occasion d'étudier les effets du changement climatique sur la côte atlantique américaine. Boston, qui subit notamment une réelle menace d'inondation de sa zone côtière en raison de la montée du niveau de la mer, réfléchit actuellement à une stratégie complexe et de grande ampleur pour protéger son littoral. Les trois principaux axes d'adaptation que la ville propose sont :

- la surélévation du front de mer et des routes longeant le port,
- le déploiement massif de parcs et espaces verts entre le front de mer et les premiers bâtiments afin de créer une véritable zone tampon,
- la mise en place d'un zonage mixte obligeant les futures constructions à laisser le rez-de-chaussée libre de toute habitation

Le cas de Boston est intéressant car il s'agit des stratégies urbaines d'une ville dense et historique confrontée à une des problèmes du changement climatique : la hausse du niveau de la mer. De nombreuses villes en France et en Europe seront bientôt touchées par des problématiques similaires et il se peut que les manières de répondre aux enjeux de la montée des eaux soient assez semblables.

c) Vers une ville éponge ?

Afin d'éviter les inondations dues au ruissellement de l'eau de pluie, les principes de la ville-éponge sont de plus en plus étudiés lorsqu'un projet d'aménagement doit voir le jour. Ce terme renvoie aux techniques alternatives de gestion des eaux puisqu'il s'agit de « garder » l'eau où elle tombe (comme une éponge garde l'eau) plutôt que de la renvoyer au réseau. On peut également parler de gestion de l'eau à la source. La ville-éponge s'appuie sur deux méthodes de gestion de l'eau en particulier : la rétention puis rejet dans le réseau à débit différé ou la rétention-infiltration par le sol. Le dispositif de rétention dispose d'un volume suffisant pour pouvoir stocker une pluie d'une certaine intensité puis l'eau est rejetée au réseau avec un débit maîtrisé (afin de libérer le dispositif de rétention pour la prochaine pluie). Dans le cas de la

rétention-infiltration, l'eau est infiltrée par le sol. Ces concepts sont testés à grande échelle dans plusieurs villes asiatiques, qui souffrent d'importants problèmes d'inondation durant les périodes de mousson, à cause d'une sur-imperméabilisation du sol. Il paraît donc logique que les zones situées en climat tropical humide, comme Mayotte, soient aussi concernées par ce type de solution éponge, puisqu'elles aussi doivent faire face à des périodes de fortes précipitations. Mais il s'agit également de noter que les régions tempérées sont elles aussi de plus en plus soumises à des pluies violentes, assez inhabituelles. Le réchauffement climatique pourrait en être la cause, provoquant à la fois une « méditerranéisation » du

SCHÉMAS DE CONCEPTION RAPPORT AU SOL



Schéma du rapport au sol du projet, *Encore Heureux Architectes*

climat européen (températures globalement plus chaudes) et une augmentation de la fréquence de phénomènes extrêmes, telles que les pluies violentes.

Ainsi, pour le projet de Mayotte, nous nous sommes efforcés de proposer des revêtements poreux pour les différents types de circulations dans l'enceinte du lycée. Nous avons notamment proposé une alternative au bitume pour les circulations VL (Véhicules Légers) et piétonnes: des pavés béton autobloquants à joint filtrant. Ces derniers sont carrossables, circulables par les PMR (Personnes à Mobilité Réduite) mais assurent également l'infiltration des eaux (relative infiltration du fait du sol argileux). Cela nous a permis d'atteindre un taux de 73% de surface perméable sur l'ensemble du site. Cependant, malgré tous nos efforts de recherche et d'analyse, nous n'avons pas réussi à trouver de solutions poreuses pour les circulations poids lourds. La route à l'Ouest de la parcelle et la gare routière seront extrêmement sollicitées par les bus et la chaussée exige donc un revêtement à la fois solide et durable. Nous n'avons pas identifié de matériau poreux conciliant ces deux contraintes. La construction sur pilotis de nombreux bâtiments du lycée qui laisse les espaces au sol naturels permet aussi, grâce à la végétation, d'infiltrer l'eau pluviale.



Construction sur pilotis de la coursive principale du projet mahorais, Encore Heureux Architectes

A Voisenon, les terres actuelles sont agricoles et ne sont pas en zone inondable. Néanmoins, la future mise en place de la chaussée, du parvis et des quais va provoquer un fort taux d'imperméabilisation des sols. Et, à nouveau, nous n'avons pas de solution poreuse pour les circulations poids lourds. Ainsi, nous voulions diminuer l'impact de notre projet en mettant en place un bassin de rétention³ qui permettra de collecter les eaux pluviales de la gare routière, pré-filtrées dans des noues, d'effectuer une rétention puis de les rejeter dans le réseau.

Conclusion : Le phénomène d'inondation peut constituer un risque réel pour le projet d'aménagement, quel que soit la région ou le climat d'implantation. Les solutions pour réduire ce risque sont nombreuses mais pourraient être classées en trois types : celles visant à éviter toute exposition au risque, celles visant à adapter le projet au risque et celles intervenant directement sur la cause de l'inondation. La mise en place d'un choix technique plutôt qu'un autre est fortement orientée par les contraintes propres au site (manque de place, aléa fort, présence ou non de bâtiments autour du projet). De plus, au vu des trois projets sur lesquels j'ai pu travailler, le principe de la ville-éponge est un procédé efficace qui tire parti des caractéristiques du site afin de maîtriser l'eau pour limiter l'inondation. L'ingénieur VRD doit alors savoir conseiller sur le choix d'une solution plutôt qu'une autre et doit être capable de la mettre en place, en gérant l'aspect technique, les coûts et la maintenance.

2) Pollution des zones naturelles

Les ouvrages urbains peuvent être source de pollution pour le milieu dans lequel ils s'insèrent mais doivent aussi parfois gérer la pollution déjà présente sur le site. Ces nuances dépendent bien entendu du contexte d'implantation, et les enjeux de protection varient en fonction des spécificités du site.

A Mayotte, le site est situé dans un milieu très naturel (mangrove, faune et flore rare, canyon...) qu'il est important de protéger. Le programme recommandait à ce propos des installations « frugales » afin d'avoir un impact très réduit sur l'écosystème actuel. De même, l'éco-station de Vincennes se doit de prendre en compte la présence du Bois de Vincennes tout proche, qui est une

³ Calcul du volume du bassin de rétention de Voisenon en annexe

zone naturelle et forestière. Quant à la halte routière de Voisenon, elle s'insère dans un cadre agricole qu'il ne faut bien évidemment pas polluer.



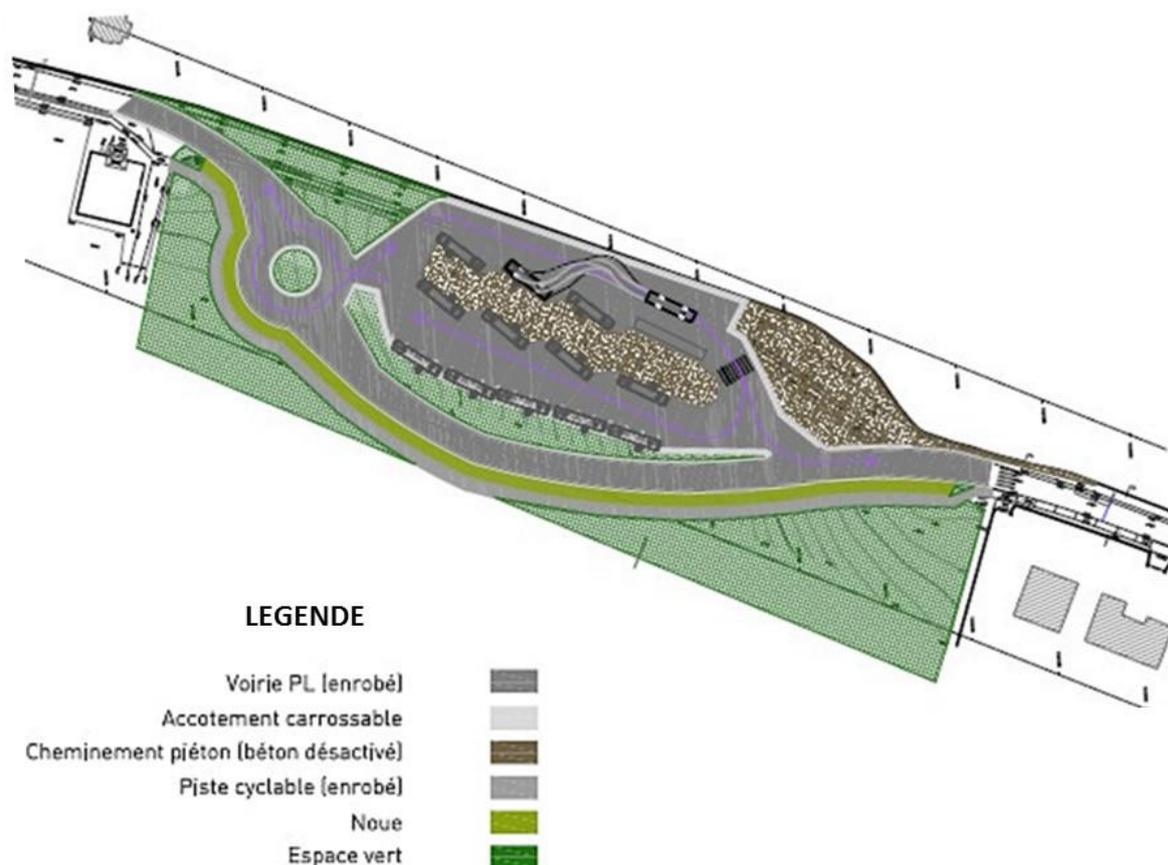
Exemple de noue plantée filtrante

Bien que les trois projets aient été pensés pour être les moins néfastes possibles pour l'environnement, le ruissellement de l'eau pluviale sur les voiries peut être une source importante de pollution pour le milieu récepteur. Afin de répondre à cet enjeu, la mise en place de noues filtrantes le long des axes circulés et des aires de stationnement peut constituer une solution intéressante et peu coûteuse. Les noues (fossé large de faible profondeur) filtrantes

permettent de retenir les polluants (hydrocarbures notamment) par phytoépuration puisque certaines espèces de plantes sont capables de fixer ces molécules. Les noues assurent aussi une filtration à travers les différentes couches de sol. Ainsi, pour le projet de Voisenon, nous avons proposé la mise en place de noues plantées, étanches grâce à une géo-membrane, qui assureront un pré-traitement de l'eau avant rejet dans le bassin de rétention puis dans le réseau. A Mayotte, comme il n'y a pas de réseau d'assainissement, l'eau circulant par les noues est directement rejetée dans le milieu naturel (canyon à l'Est et ru à l'Ouest). Le choix des pavés autobloquants à joints filtrants dans le projet mahorais, au niveau des circulations VL et des parkings notamment, assure aussi le traitement de l'eau qui s'infiltré puisque le lit de sable sur lequel les pavés sont posés fait office de piège à hydrocarbures. Ainsi, face aux problématiques de pollution par ruissellement de l'eau, des solutions esthétiques alliant filtration ou épuration par les plantes peuvent être proposées.



Exemple de pavés autobloquants à joints sable



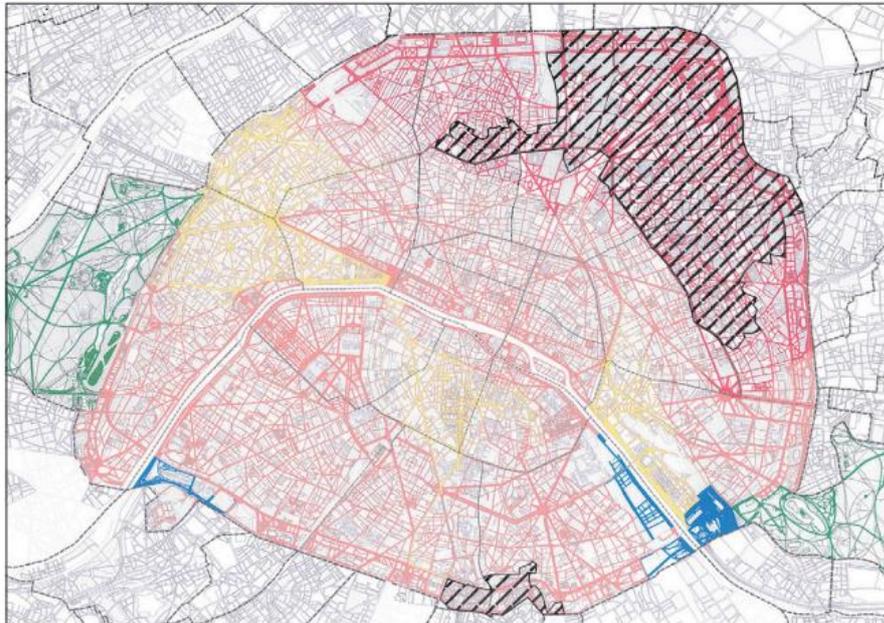
Esquisse de principe, projet de la halte routière de Voisenon

Cependant, bien que très efficaces, les noues sont consommatrices d'espace foncier. Il s'agit donc souvent d'expliquer clairement leur rôle et leur nécessité aux parties prenantes, afin qu'elles ne soient pas perçues comme un « gaspillage de terrain ». En milieu urbain dense, comme Paris l'est, il est souvent difficile de les implanter sans devoir empiéter sur d'autres usages (réduction de l'espace alloué au stationnement par exemple). La noue peut alors être traitée comme un ouvrage « décoratif » pour la ville puisqu'une noue plantée peut s'avérer être un embellissement prisé des citoyens, mettant en scène l'eau dans la cité.

Le ruissellement n'est pas le seul risque de pollution que l'eau fait courir au projet urbain. A Paris, la qualité de la Seine est régulièrement dégradée en période de forte pluie. Cela est dû au fait que la capitale possède un réseau d'assainissement de type unitaire, mélangeant à la fois les eaux usées et les eaux pluviales. En cas de fortes précipitations, le système est mis sous pression, déclenchant des déversoirs d'orage (sortes de vannes) qui rejettent une partie de l'eau dans le milieu naturel, la Seine. Pour améliorer la situation, il n'est pas envisageable de changer tout le réseau unitaire (datant d'Hausmann) en réseau séparatif, puisque cela constituerait un chantier énorme et très coûteux. On peut quand même noter qu'une ZAC située dans le sud-ouest parisien est équipée du seul réseau séparatif de la capitale, preuve qu'il est possible de mettre en place ce système pour les nouveaux projets, moins pour les zones très urbanisées ayant déjà un réseau fonctionnel. Néanmoins, il est possible de ne pas rejeter autant d'eau dans le réseau afin de ne pas « activer » les déversoirs d'orage. C'est la raison pour laquelle Paris a mis en place un Plan Pluie Paris, nommé plan ParisPluie, dont l'objectif principal est d'éviter le rejet systématique de l'eau de pluie

dans le réseau. La ville est découpée en zones et chaque zone est soumise, selon ses caractéristiques et possibilités d'infiltrations, à un taux d'abattement de l'eau pluviale (et parfois à un débit limité). Autrement dit, ces zones ont l'obligation d'infiltrer tout ou partie de l'eau pluviale tombant sur leur sol. Cela devrait permettre de ne pas surcharger inutilement le réseau.

Projet de plan de zonage d'assainissement pluvial de la Ville de Paris



Source: Mairie de Paris, Direction de la Propreté l'Eau (DPE) - avril 2014

Zone d'abattement

- Total**
 - Lame d'eau : pas de raccordement au réseau (bois parisiens)
 - Fraction minimale : abattement de 16 mm sur 100% de la surface
- Renforcé**
 - Lame d'eau : 12 mm
 - Fraction minimale : abattement de 16 mm sur 80% de la surface
- Normal**
 - Lame d'eau : 8 mm
 - Fraction minimale : abattement de 16 mm sur 55% de la surface

- Réduit**
 - Lame d'eau : 4 mm
 - Fraction minimale : abattement de 16 mm sur 30% de la surface

Zone de rejet vers le milieu naturel

- Les prescriptions sont spécifiques à chaque zone équipée ou non d'un réseau séparatif avec rejet en milieu naturel.

Zone complémentaire de stockage restitution des eaux pluviales

- Stockage avec restitution à 10 l/s/ha jusqu'à la pluie décennale. En dehors de cette zone, le stockage restitution est interdit.

Projet de plan de zonage pluviale pour Paris, schéma de l'APUR

Enfin, le milieu d'implantation du projet peut être pollué au départ. C'était le cas de la parcelle de Mayotte, régulièrement contaminée par une décharge sauvage et des voitures rouillées dont les polluants se diffusaient dans l'eau de ruissellement. Nous avons, en concertation avec les autres membres de l'équipe, décidé d'évacuer tous les déchets présents et de prévoir un plan de sensibilisation des élèves et des résidents sur la gestion des déchets.

Conclusion : A nouveau, des projets prenant place dans des sites très différents peuvent être concernés par le même type de problématique liée à l'eau et à la pollution. Les solutions que nous avons proposées étaient relativement semblables et consistaient à l'aménagement de structures paysagères filtrantes (noues), de revêtements filtrants (pavés à joints sable) ou la mise en place d'un séparateur à hydrocarbures. Seul le plan pluie parisien « ParisPluie » (et de manière générale les zonages pluviaux des municipalités) se distingue réellement puisqu'il constitue un zonage stratégique de limitation des rejets, et non d'un ouvrage limitant la pollution « directement ». Enfin, il peut être espéré la mise en place de contraintes de gestion des eaux pluviales pour la ZAC dans laquelle s'insère le projet mahorais. En effet, une station d'épuration est prévue dans le programme de la ZAC mais éviter le rejet systématique de l'eau pluviale au réseau permettrait de ne pas sur-dimensionner la station et de ne pas avoir à recourir à des déversoirs d'orage.

V. L'eau, de plus en plus considérée comme une ressource nécessaire, quel que soit le site d'implantation

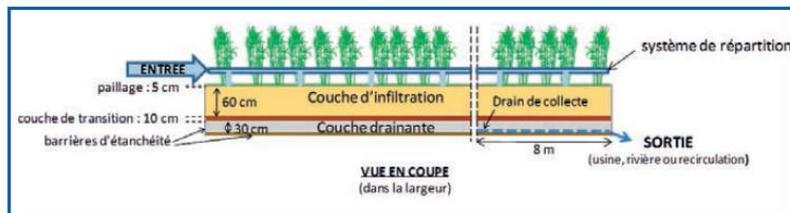
Dans les régions tropicales humides, l'eau est (sur)abondante durant certains mois de l'année tandis qu'elle peut devenir extrêmement rare pendant la période sèche. Elle constitue donc évidemment une ressource qu'il faut savoir bien gérer. A priori l'Ile de France, et de manière générale les régions tempérées, ne manquent pas d'eau. Néanmoins, comme nous l'avons précédemment décrit, le changement climatique pourrait entraîner une augmentation de la sécheresse et un stress hydrique important dans ces régions, ainsi que la multiplication de phénomènes extrêmes telles que les vagues de chaleur ou les précipitations violentes. A cela s'ajoute l'augmentation de la demande en avec l'accroissement global de la population. L'eau, est donc considérée de plus en plus comme une denrée rare à ne pas gaspiller. C'est pourquoi l'usage d'une eau non potable à la place de l'eau potable, lorsque cela est possible, constitue une solide solution de préservation de la ressource.

1) Eaux usées : une ressource cachée ?

Lorsque l'on pense à la réutilisation de l'eau, la première image qui vient en tête est le réemploi de l'eau pluviale (dont nous parlerons dans le prochain sous-chapitre). Les eaux usées sont quant à elles considérées comme fortement « polluées » et à évacuer absolument. Mais cette « pollution » peut, en fait, être la clé d'un recyclage, après épuration, de ces eaux. En effet, les EU sont fortement chargées en matière organique et peuvent ainsi constituer une base nutritive pour des plantes épuratrices.

C'est les cas des bambous d'assainissement, que nous avons proposé d'installer pour le projet de Mayotte. J'étais en charge de trouver comment gérer les eaux usées, de la manière la plus adaptée possible, sur la parcelle mahoraise qui ne possède pas de réseau d'assainissement collectif. Une station d'épuration, prévue dans le cadre du développement de la ZAC de Longoni était toujours en cours d'étude et ne serait probablement construite que plusieurs années après la livraison du lycée. Nous souhaitions donc mettre en place une solution « immédiate » pour assainir les eaux usées, sans devoir attendre une éventuelle station d'épuration. J'ai ainsi mené plusieurs recherches sur l'assainissement non collectif et les différentes options de traitement des eaux usées à la parcelle. Cependant, je me suis rapidement rendue compte que la plupart des procédés (filtre compact, filtre à sable...) n'étaient pas compatibles avec la nécessaire frugalité du projet de Mayotte. En effet, ils demandaient une maintenance importante (changement des filtres réguliers, apport de sable neuf...), l'apport d'énergie électrique (pour les microstations et les pompes de relevage) et des coûts de matériaux trop élevés (à Mayotte, les produits du BTP tels que le sable sont en moyenne beaucoup plus chers qu'en métropole). Enfin, les problématiques de séisme et d'inondation rendaient difficile le choix de solution très « sophistiquées » et complexes. Une autre difficulté était l'échelle d'application usuelle de ces procédés (échelle de l'habitation de 1 à 5EH*) alors que notre projet comprenait les rejets d'EU de plus de 950 EH... Il a donc fallu extrapoler les notices techniques, mes cours de l'EIVP sur la gestion des eaux et les recommandations des fabricants, pour les adapter à l'ampleur de notre lycée. Une solution innovante, celle de la phytoépuration, et plus particulièrement de la phytoépuration par des bambous d'assainissement, a retenu mon attention. Les plantes phytoépuratrices comme le bambou ont la propriété d'épurer

les eaux usées grâce aux bactéries de leur système racinaire, et ne rejettent pas de boues d'épuration. Les EU sont directement traitées par les plantes, après passage des EU dans un dégrilleur (pour éliminer serviettes et lingettes notamment). L'atout de ce système est de permettre une épuration sans création de milieu humide, sans odeurs et permet de disposer d'une abondante

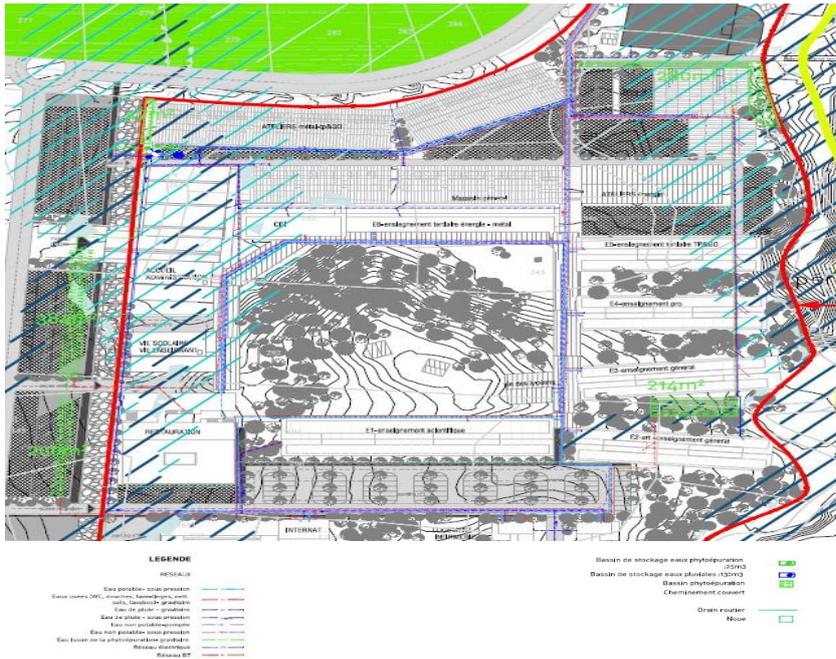


Vue en coupe du filtre planté de bambous, illustration de Phytorem

biomasse une fois les bambous coupés. Le bambou est une plante rustique particulièrement adaptée au climat tropical mahorais.

Ce procédé d'assainissement ayant été validé par les autres membres d'Ateve et nos partenaires de l'équipe concours, il m'a fallu ensuite dimensionner les surfaces de bambou nécessaires. J'ai basé mon étude sur le découpage en « bassins versants » du lycée (en attribuant à chaque bassin versant une surface de bambou) afin de ne pas avoir une immense zone de phytoépuration sur la parcelle. Les paysagistes et architectes souhaitaient avoir plusieurs zones plantées, réparties sur l'ensemble du terrain. La difficulté était ensuite d'évaluer la quantité d'eaux usées produite quotidiennement, sachant que les données du concours étaient très peu précises. Il m'a fallu poser de multiples hypothèses⁴ (usage des différents bâtiments, quantité d'eau consommé par habitant...) afin d'obtenir un litrage d'EU rejetées par jour, un nombre d'EH et une surface en m² de bambou. Enfin, de multiples réévaluation de ces surfaces ont été nécessaires, car certaines solutions qui impactaient directement la quantité d'EU rejetées ont été abandonnées ou modifiées au cours des étapes. Il s'agissait notamment de la création d'un méthaniseur (dont j'avais proposé l'implantation, fait l'étude, le dimensionnement et le chiffrage financier) pour collecter les eaux usées et celles des laves vaisselles, afin de produire du biogaz. Devant la nécessaire implantation d'un ouvrage massif en béton enterré, l'équipe a préféré choisir une solution plus « naturelle ». La phytoépuration qui, en plus d'être un système simple et rustique, constitue également une véritable barrière végétale au niveau de l'entrée ouest. Les zones plantées assurent un complément au ru et forment avec lui une véritable « clôture » naturelle. L'assainissement des EU par des bambous est encore une solution relativement novatrice, peu connue. En nous appuyant sur les études techniques déjà réalisées et nos recherches nous avons conçu un « schéma d'assainissement » à l'échelle de la parcelle et proposé la réutilisation des eaux traitées par phytoépuration pour l'alimentation des toilettes, en complément de l'eau pluviale. Une fois épurée l'eau sera stockée dans un réservoir puis mise sous pression afin d'alimenter les toilettes des bâtiments, situées en point haut par rapport au réservoir de stockage. Un apport d'eau pluviale sera effectué dans le cas où il y aurait un manque d'eau traitée par phytoépuration (en cas de forte chaleur, l'évapotranspiration peut entraîner une « perte » d'eau usée importante).

⁴ Dimensionnement des surfaces de bambous nécessaires pour la phytoépuration des eaux usées en annexe



Plan des réseaux du projet de Mayotte, en annexe

Cette solution bien que très innovante et efficace demande aussi beaucoup de surface : 1m²/EH en climat tropical où les bambous ont une croissance rapide et de 2 à 5m²/EH pour les zones à climat tempéré. Il semble dès lors peu probable qu'une ville dense utilise la phytoépuration pour valoriser ses EU et les réutiliser par la suite. Paris a néanmoins mis en place des systèmes d'assainissement non collectif aux Bois de Vincennes et de Boulogne, car peu d'EH étaient concernés.

Conclusion : Dans le cas de notre projet mahorais, l'assainissement des EU par les plantes présentait l'avantage de pouvoir s'affranchir de réseau d'assainissement (qui n'était de toute façon pas en place au moment du concours) mais aussi de pouvoir réutiliser l'eau en sortie d'épuration pour les WC. Dans le même esprit, certaines villes comme Madrid ou Barcelone ont décidé de mettre en place un réseau d'eaux « régénérées » alimenté par les eaux traitées récupérées en sortie de station d'épuration. Cependant, les EU peuvent être « valorisées » de bien d'autres manières. A Clichy-la-Garenne, par exemple, les calories contenues dans les EU d'une résidence de 224 logements sont récupérées pour chauffer de l'eau froide et produire de l'eau chaude sanitaire. Il s'agit ici d'une valorisation énergétique, tout comme le procédé de méthanisation à partir de la matière organique des EU que nous voulions mettre en place à Mayotte. Enfin, les EU peuvent également servir de fertilisant à usage agricole puisqu'elles sont riches en azote et phosphore.

2) Les eaux de surface et les eaux souterraines

La capitale française possède un patrimoine hydraulique exceptionnel puisqu'elle dispose d'un double réseau d'eau, datant du XIX^{ème} siècle, permettant à la fois la distribution d'eau potable mais aussi la distribution d'une eau non potable, sous pression. L'eau qui circule dans ce réseau d'ENP vient principalement de la Seine et du canal de l'Ourcq et est stockée dans des réservoirs d'ENP, après passage par un dégrilleur. Cette eau est utilisée à 99% pour des usages municipaux tels que l'arrosage des jardins, le nettoyage de la voirie, l'alimentation des lacs du Bois de Vincennes...

Néanmoins, l'utilisation d'eaux de surface telle que celles des cours d'eau, comme principale ressource peut poser un problème si la région est soumise à des périodes de stress hydrique. Pour Paris notamment, la ressource en eau du bassin Seine Normandie serait amenée à baisser d'ici 2050, comme le mentionne l'APUR. De plus, la Seine est soumise à des problèmes de pollution en période d'étiage, durant laquelle la concentration des polluants dans le fleuve est plus importante. Ainsi, d'autres sources d'approvisionnement sont envisagées par la capitale telles que les eaux d'exhaure* qui présentent l'avantage de volumes importants et en continu, et de systèmes techniques déjà en place. Des tests sur la qualité de ces eaux sont cependant nécessaires avant leur

éventuelle intégration dans le réseau ENP. L'objectif de la ville est, d'ici 2020, de mieux connaître son réseau d'ENP et de l'optimiser. Enfin, Paris voudrait permettre un accès plus large à l'ENP notamment pour le nettoyage des cours d'immeuble ou pour des industries diverses (blanchisseries, fleuristes...). Il pourrait s'agir pour ces nouveaux usagers d'une solution plus économique que l'eau potable.

3) L'eau de pluie

L'eau pluviale est une des eaux non potables la plus à même d'être réutilisées car elle est peu souillée avant de tomber sur le sol et, a priori, abondante. Cependant, dans les régions au climat tempéré la réutilisation de l'eau de pluie à l'échelle de la ville n'est pas aussi répandue que ce que l'on pourrait imaginer.

A Paris notamment, toutes les eaux y compris l'eau de pluie sont rejetées au réseau car il n'y a pas de réel « besoin » de retenir l'eau pour s'en servir (pour maîtriser le ruissellement oui, mais pas pour la recycler). En effet, la ressource en eau potable est abondante et pratique à utiliser grâce à un réseau efficace. De plus, la conception d'ouvrages de stockage, gourmands en espace, est difficilement compatible avec une ville qui manque de place. Enfin, il est difficile de dimensionner de tels ouvrages de stockage sachant qu'en région tempérée les précipitations sont plus abondantes en hiver alors que c'est aussi la période où on a le moins besoin d'eau... La législation autorise l'utilisation de l'eau pluviale de toitures inaccessibles à l'intérieur des bâtiments. Mais à Paris, la plupart des bâtiments sont très anciens et il serait coûteux de changer tout le système de réseau ou d'installer des réservoirs dans les cours ou sur les toitures. L'idée serait donc plutôt d'associer un second usage aux dispositifs de rétention de l'eau, qui luttent contre le ruissellement. Ainsi, les ouvrages de rétention qui sont par ailleurs peu sollicités dans le temps prennent la forme d'objets urbains tels que des noues plantées ou des zones paysagères végétalisées. Cela participe aussi à créer de la fraîcheur en ville et à diminuer l'effet de l'îlot de chaleur urbain. Bien entendu, il est toujours mieux de réfléchir à ce type d'aménagement en phase amont du projet.

A Mayotte, contrairement à Paris, récupérer l'eau de pluie était une des exigences principales du programme puisqu'il fallait absolument préserver la ressource en eau potable. Les difficultés pour nous (le chargé d'étude, M. Emmanuelidis et moi-même) étaient d'évaluer les usages que nous pouvions faire de cette eau de pluie et de dimensionner les volumes des ouvrages de stockage en fonction de la pluviométrie et du besoin en EP. Concernant les usages possibles, nous avons d'abord songé à utiliser l'eau pluviale des toitures inaccessibles pour l'ensemble de l'alimentation en eau du lycée, de l'internat et de la cuisine. En effet, j'avais effectué plusieurs recherches de procédés de potabilisation de l'eau de pluie à partir d'une machine (micro-filtration) fonctionnant à l'énergie solaire. Cependant, nous avons finalement décidé par soucis de facilité et de coût de nous raccorder directement au réseau d'eau potable de la commune. Ainsi, la décision de l'équipe fut de n'utiliser l'eau de pluie que pour les toilettes (en complément des eaux usées traitées par phytoépuration), les lave-linges et les processus d'atelier de travaux pratiques. Mon rôle, après le dimensionnement des ouvrages de stockage de l'EP par mon collègue, était de proposer une mise en place de l'ensemble du réseau afin qu'il soit le plus frugal et accessible possible, et de le dessiner sur des plans. La difficulté pour moi était de réfléchir à l'implantation d'un réseau de A à Z en prenant en compte la topographie notamment. Pour le projet mahorais, aucun réseau n'était en place, il s'agissait de penser à la gestion de l'eau depuis l'endroit où elle tombait, jusqu'à nos réservoirs de stockage puis de concevoir le circuit d'alimentation en eau non potable sous pression. J'ai ainsi proposé dès que cela était possible, de mettre en place un réseau à ciel ouvert avec un

écoulement gravitaire de l'EP dans des caniveaux minéraux (à l'est et à l'ouest de la parcelle). De même, j'ai profité de la coursive centrale sur pilotis pour faire passer les canalisations d'EP sous pression (servant aux toilettes et au process d'atelier) dans les mêmes emplacements que les autres réseaux sous pression, en conduites aériennes. Bien qu'inhabituel, cela permet notamment de libérer de l'espace au sol, sans détruire la végétation en place par des tranchées. Mon travail a été fortement aidé par les conseils du chargé d'étude et de M. Emmanuelidis. La disposition du réseau a été volontairement maillée afin de pouvoir intervenir sur certains points tout en continuant de pouvoir distribuer ou acheminer l'eau. Nous avons également décidé de stoker de l'eau pluviale dans des bâches incendie localisées en point haut (sur la butte de la parcelle) afin de permettre l'accès à une défense incendie sous pression si nécessaire. Enfin, la gestion des eaux de pluie se fait aussi grâce à la végétation qui a été conservées au maximum afin de rafraichir les espaces et de permettre une véritable mise en scène paysagère.

A Vincennes, face aux mêmes problématiques urbaines qu'à Paris mais dans le cadre de la création d'une halte routière, nous souhaitons également valoriser l'eau pluviale. Ainsi, en collaboration avec M. Emmanuelidis et une des chefs de projet d'Ateve, nous avons proposé à l'équipe la réutilisation des eaux pluviales des toitures inaccessibles dans les toilettes de la gare routière, pour le nettoyage des espaces de la gare et dans un circuit fermé de fontainerie écologique.

Conclusion : Comme nous l'avons vu, la volonté d'économiser l'eau potable devient une exigence de plus en plus importante quel que soit le climat. Cependant, les ouvrages de stockages ou les réseaux permettant une utilisation efficace de l'eau de pluie doivent être pensés le plus tôt possible, dès les phases de conception du projet.

4) Une gestion de la ressource à organiser différemment ?

La réutilisation d'eau non potable ou de manière plus générale la gestion des eaux ne se limite pas à ce que nous avons pu observer dans les divers projets. D'autres pistes de réflexion peuvent être envisagées.

- Ainsi, un changement d'échelle serait peut-être la clé d'une gestion des eaux en ville plus efficace. L'adduction d'eau potable ou l'assainissement des eaux usées devront peut-être se faire, comme c'est de plus en plus le cas pour l'énergie, à l'échelle de la parcelle voire de l'ilot pour éviter la mise en place d'infrastructures lourdes.
- La gestion des ouvrages alternatifs de gestion des eaux pluviales peut également être un point de difficulté. En effet, l'entretien d'un dispositif paysager servant également au stockage des EP peut être financé à la fois par le service de l'assainissement et par le service des espaces verts. Ces deux organismes n'ayant pas forcément la même organisation budgétaire ou les mêmes ressources, la maintenance de l'ouvrage peut alors être source de conflit...
- La relation citoyen-ouvrages de rétention des EP doit aussi être étudiée en amont des projets car ces ouvrages peuvent être « dangereux » (si la profondeur est importante et que le bassin est rempli d'eau) ou mal perçu par les résidents (l'inondation d'une surface, même planifiée par l'aménageur, peut être vue comme une nuisance ou un problème pour les habitants mal informés).
- Enfin, de manière plus générale et plus « locale », les bâtiments devraient être équipés systématiquement de matériel plus efficace et performant. Ainsi, il est intéressant de noter

que des toilettes « classiques » consomment en moyenne 12L d'eau à chaque chasse tandis que des toilettes efficaces n'en consomment que 3 à 4L... C'est ce type de matériel que nous avons préconisé pour le projet de Mayotte.

VI. Apports du stage et difficultés rencontrées

1) Une ouverture riche sur le monde professionnel

Intégrer Ateve Ingénierie pour 6 mois fut une expérience professionnelle très enrichissante. En effet, j'ai eu l'occasion de mettre en application les connaissances théoriques apprises à l'EIVP telles que la gestion des eaux, la gestion de la voirie, les aspects de la loi MOP, l'économie circulaire ou l'environnement. Je me suis également servie de la méthodologie de projet acquise à la Boston University et durant mes autres stages (stage E&R sur un nouveau matériau optique, stage en urbanisme à Shanghai) afin de proposer des solutions innovantes et adaptées aux missions qui m'ont été confiées. Ainsi, ce stage a consolidé « sur le terrain » des acquis théoriques mais m'a aussi fait découvrir des aspects du travail d'ingénieur auxquels je n'avais pas forcément été confrontée, tels que les relations avec les différents acteurs du projet. Ainsi, la richesse d'Atève est de permettre à ses ingénieurs et stagiaires une immersion rapide et intense dans le monde professionnel. En tant que stagiaire, et même si mon rôle initial était plutôt un rôle d'assistante aux chefs de projet, j'ai tout de suite été responsable de ce que je faisais et entraînée à prendre des décisions rapides et réfléchies. Par la suite, lorsque j'ai pu prendre en charge de manière plus autonome les trois projets précédemment décrits, il m'a fallu maîtriser les échanges techniques avec les équipes des concours (Mayotte et Vincennes), les relations avec les élus, responsables départementaux et régionaux (Voisenon) ou encore avec les fournisseurs pour proposer des matériaux adaptés techniquement et financièrement. J'ai pu prendre pleinement conscience de ma position d'ingénieur en conseillant ces différents acteurs et en m'efforçant de leur apporter un soutien analytique et technique.

Enfin, l'équipe d'Atève, toujours bienveillante, m'a montré l'importance de la rigueur et de la proactivité.

2) Difficultés rencontrées

a) Une petite structure

Travailler dans une petite structure présente beaucoup d'avantages. Par exemple, une relation amicale avec les collègues et le gérant de la société s'est établie dès le début du stage. De même, les bureaux d'Atève sont constitués d'une salle commune en « open space » ce qui permet un dialogue facile en cas de problèmes ou de questions. L'équipe est soudée car l'ensemble des employés communique aisément. Cependant, cette promiscuité peut également être gênante notamment lorsqu'une personne est en conversation téléphonique : tout le monde peut entendre ce qui se dit et être perturbé dans son travail. De même, compte tenu des moyens financiers plus limités que dans une grande structure, certaines ressources doivent être mutualisées. Le logiciel COVADIS, servant à tester la trajectoire des véhicules sur nos plans, était utilisable sur un seul ordinateur à la fois, ce qui posait problème lorsque deux personnes avaient à tester des girations en même temps. Une organisation du travail entre collègues est alors nécessaire mais la « priorisation » des projets peut s'avérer frustrante.

Enfin, la philosophie de l'entreprise est que les ingénieurs maîtrisent leur projet de A à Z. Pour ce faire, les différents plans (réseaux, revêtement, paysage...) sont à réaliser par eux, sans l'aide de projeteurs. Cela présente l'avantage, en effet, de comprendre précisément grâce au dessin informatique les problématiques liées au projet. Par exemple, pour le projet de l'éco-station bus de Vincennes, tracer nous-mêmes les réseaux a permis d'optimiser au maximum la longueur des canalisations en profitant de ce qui était existant tandis que pour le projet mahorais, c'est l'étude

fine de la topographie contraignante qui a « dicté » les aménagements PMR.. Néanmoins, cela nécessite également de consacrer beaucoup de temps à la réalisation de supports visuels, parfois répétitifs, plutôt qu'à la conception du projet en lui-même.

b) Des outils techniques parfois complexes ou limités

L'usage du logiciel AUTOCAD est quotidien chez Ateve. L'EIVP nous ayant formé à cet outil et ayant eu l'occasion de l'utiliser lors de mon stage en agence d'urbanisme à Shanghai, je n'ai pas eu d'inquiétude en débutant mon stage. Cependant, je me suis vite rendu compte qu'il me manquait beaucoup de connaissances pour rendre mon travail rapide et efficace. Ainsi, il m'a fallu pendant les premiers mois, demander constamment aux chefs de projet les « astuces » ou réglages qu'ils mettaient en œuvre pour pouvoir dessiner leur projet et réaliser les métrés – chiffrage* du projet.

Nous utilisons, comme précédemment mentionné, le logiciel COVADIS pour simuler les trajectoires des véhicules ou réaliser le nivellement des projets. Je ne l'avais jamais utilisé auparavant mais après que le chargé d'étude m'ait expliqué son fonctionnement, j'ai pu tester les voiries mises en place pour les trois projets décrits (et d'autres). Néanmoins, le logiciel est calibré pour simuler la trajectoire de véhicules allant à une vitesse de 35km/h maximum. Cela m'a posé problème pour le projet de Voisenon, car la route départementale que nous dévions pour insérer la gare routière au plus près du collège est pratiquée par des véhicules allant à 70km/h ! Le logiciel n'était donc plus d'aucune utilité pour réaliser le nouveau tracé de cette voie. J'ai donc recherché dans le guide CERTU les caractéristiques de ma future voirie (dévers de 2,5%, vitesse de 70km/h) et les rayons nécessaires à mettre en œuvre pour permettre la circulation en toute sécurité des véhicules.

c) Des projets multi-acteurs

J'ai personnellement trouvé passionnant de pouvoir rencontrer et échanger avec autant d'acteurs de projets d'aménagement. Cela permet de réellement se rendre compte des enjeux qui sont à la source du projet (mise en sécurité des élèves du collège à Voisenon, accueil de lycéens dans de bonnes conditions éducatives à Mayotte, transformation d'une gare routière en un espace agréable pour les voyageurs à Vincennes...) mais aussi de confronter notre point de vue avec celui d'autres techniciens (architectes ou conseillers techniques). Néanmoins, j'ai été notamment surprise par une chose au cours de ces 6mois : le statut de l'ingénieur est très cloisonné vis-à-vis de son collègue architecte. Chacun a son rôle, bien défini, et il est difficile d'y déroger. Par exemple, l'architecte étant responsable notamment de l'aspect esthétique et fonctionnel de la réalisation il est difficile pour l'ingénieur de proposer ses choix en la matière ! Je trouve dommage cette séparation esthétique-technique en deux catégories portées par deux corps de métier distincts...

VII. CONCLUSION

Les projets précédemment décrits, bien qu'ils ne dressent pas un bilan exhaustif de l'ensemble des types de gestion des eaux existants, permettent de dégager plusieurs axes de réflexion. Tout d'abord, les caractéristiques du lieu d'implantation des projets semblent influencer fortement les principes et dispositifs de gestion des eaux sélectionnés. L'exposition aux risques d'inondation ou de pollution, qui oblige à adapter les zones aménagées (ou à aménager), le manque d'espace, qui empêche une solution et en favorise une autre, ou encore l'absence de réseaux, qui entraînent à recycler l'eau au maximum, sont autant de contraintes ayant une influence déterminante sur le mode de gestion des eaux. Le climat du site et son incidence en termes de précipitation, oblige à gérer les eaux pluviales de manière adéquate. Par exemple, un projet d'aménagement en climat tropical humide (caractérisé par de gros écarts pluviométriques au cours de l'année) doit s'adapter aux risques d'inondation possibles et aux pénuries d'eau, tout en prenant en compte la biodiversité locale. De même, un aménagement développé en climat tempéré (pluviométrie répartie de manière homogène au cours de l'année) peut être soumis aux mêmes types de contrainte (inondation, sécheresse) qu'il faut savoir gérer. L'analyse des trois projets semble montrer que des solutions de gestion des eaux pluviales voire des eaux usées mises en place en climat tropical peuvent, dans certains cas, être implémentées en climat tempéré, si les autres caractéristiques du site le permettent. Pour Ateve en particulier, le projet mahorais et ses contraintes multiples ont permis aux équipes de réfléchir différemment à la gestion des eaux d'un site. Les choix techniques choisis, tels que la phytoépuration par les bambous d'assainissement, ont d'ailleurs inspiré d'autres projets par la suite (concours pour un musée archéologique situé en zone rurale, dont les EU seront entièrement épurées par des bambous).

D'ailleurs, parmi les caractéristiques d'un site, certaines sont connues dès le début des études. D'autres au contraire, telles que l'évolution du climat ou les fluctuations de population, n'auront un impact sur le projet que plusieurs années après sa réalisation. C'est pourquoi l'ingénieur en génie urbain doit être capable de comprendre les enjeux du présent et anticiper au mieux les aléas du futur.

Le mode de gestion des eaux d'un projet est également fortement lié aux différentes parti-prenantes qui interviennent. La MOA, d'un côté, doit être capable de donner les bonnes orientations de gestion dès le départ. Elle a pour rôle de fixer précisément les objectifs qui serviront de cadre au travail de la MOE. J'ai personnellement été agréablement surprise par le programme très directif du concours de Mayotte. Loin de brider les idées techniques et artistiques de la MOE, il m'a semblé être un excellent support à la réflexion et à l'innovation. La MOE d'un autre côté doit interpréter ces attentes et objectifs en proposant des solutions adaptées.

Ce stage m'a ainsi permis de comprendre qu'un ingénieur ne doit pas se contenter de ce qu'il sait mais devrait sans cesse se tenir informé de ce qui se fait de plus respectueux de l'environnement ou de plus efficace. J'ai trouvé passionnante la recherche de solution « innovante » (dans le sens où il s'agit de procédés nouveaux, peu connus et donc peu mis en place) pour les appliquer à un projet précis ayant ses problématiques propres. En discutant avec d'autres personnes (intéressées par l'urbanisme, l'écologie ou l'architecture) de la gestion alternative des eaux en milieu urbain, je me suis rendue compte qu'il s'agit pour beaucoup de personnes d'une volonté de plus en plus forte d'adapter les villes au changement climatique et de ne pas reproduire les vieux modèles du tout à l'égout. Ces différentes recherches m'ont donné envie d'en apprendre plus et, pourquoi pas, de sensibiliser à ces modes alternatifs urbains.

VIII. GLOSSAIRE

Ilot de chaleur urbain : Il s'agit d'un terme visant à décrire la spécificité du climat des villes par rapport au climat des zones rurales ou des villes en périphéries. Les villes, de par leur caractère artificiel, sont sujettes à des températures significativement plus élevées.

Bassin hydrographique : Il s'agit d'un territoire drainé par des eaux souterraines ou superficielles qui se déversent dans un collecteur principal (cours d'eau, lac) et délimité par une ligne de partage des eaux.

Loi MOP : Loi datant du 12 juillet 1985 et régissant les rapports entre la maîtrise d'ouvrage publique et la maîtrise d'œuvre privée lors d'une construction ordonnée par une entité publique. La loi MOP définit entre autre huit missions de base que le MOA peut confier au MOE, pour les constructions neuves (phase de diagnostic lors de projet de réhabilitation) :

- 1- Les études d'esquisses
- 2- Les études d'avant-projet sommaire et définit (APS et APD)
- 3- Les études de projet (PRO)
- 4- L'assistance de la MOA lors de la passation de contrat de travaux
- 5- Les études d'exécution ou l'étude de conformité au projet (VISA des études faites par l'entrepreneur)
- 6- La direction de l'exécution du contrat de travaux
- 7- L'ordonnancement, le pilotage et la coordination du chantier
- 8- L'assistance de la MOA lors de la réception des travaux et pendant la période de garantie de parfait achèvement

Phyto-remédiation : Il s'agit d'une technique de dépollution via les plantes grâce à leur interaction avec le sol et les microorganismes. La phytoremédiation peut concerner la dépollution de l'air, la dépollution des sols ou le traitement des eaux usées.

Ru : Un ru désigne un petit ruisseau, un ruisselet. Il s'agit d'un terme hydrologique décrivant un courant d'eau faible et de petite profondeur.

BREEAM: Building Research Establishment (BRE) Environmental Assessment Method est une méthode d'évaluation environnementale des bâtiments développée par le BRE, un organisme anglais de recherche privé. Méthode de calcul créée dans les années 1990, le référentiel BREEAM s'adapte en fonction de la région mais comprend notamment dix catégories de critères environnementaux (eau, déchets, matériaux, transport, bien-être, énergie, gestion, paysage et écologie, innovation, pollution).

Giration : Il s'agit du mouvement circulaire d'un objet et, dans notre cas, plus particulièrement d'un véhicule. De nombreux logiciels d'aide à la conception de voirie urbaine ont été développés pour modéliser la trajectoire des véhicules. Chez Ateve, il s'agit du logiciel « COVADIS », proposant une bibliothèque large de véhicules à tester.

Talweg : Ligne rejoignant l'ensemble des points les plus bas d'un cours d'eau ou d'une vallée.

Abattement : La notion « d'abattement volumique pluvial » correspond à un volume plus ou moins important d'eau pluviale tombé sur un terrain qui n'est pas rejeté au réseau d'assainissement.

Séparateur à hydrocarbures : Ouvrage destiné à pré-traiter par différence de densité les eaux de ruissellement chargées en hydrocarbures libres, avant rejet dans le réseau d'assainissement. Les hydrocarbures, liquides légers de densité 0.85, remontent à la surface tandis que les matières lourdes, de densité 1, décantent au fond du dispositif.

EH : Un Equivalent Habitant (EH) est une unité de mesure française principalement utilisée pour le dimensionnement des stations d'épuration. Il s'agit de la charge organique biodégradable ayant une demande biologique en oxygène en 5 jours (DB05) de 60g d'oxygène par jour. Un EH ne correspond pas forcément à un habitant d'un logement mais plutôt au volume équivalent d'eaux usées rejetées et à la charge de pollution contenue dans ces eaux.

Eaux d'exhaure : L'exhaure est le principe d'évacuation des eaux souterraines lors de la création d'une mine ou d'une carrière notamment. En effet, bien souvent les salles ou galeries des mines (ou carrières) s'enfoncent plus profondément que le plafond d'une nappe phréatique. Afin de permettre l'avancée de l'ouvrage minier et d'éviter tout affaissement, il convient de pomper ces eaux et de les évacuer. La réutilisation des eaux d'exhaure n'est pas évidente en raison de leur salinité et de leur dureté.

Métre-chiffrage : Technique qui permet, à partir d'un pré-dimensionnement, d'obtenir un estimatif des travaux, avant leur démarrage. Chez Ateve, après avoir tracé les plans projet sur Autocad, nous pouvons produire une estimation financière des travaux de VRD.

IX. Bibliographie

- Accès à l'eau potable et l'assainissement.* s.d. <http://www.ville-gentilly.fr/citoyennete/gentilly-sans-frontiere/cooperation-decentralisee-avec-duguwolowila/projet-eau-et-assainissement/acces-a-leau-potable-et-a-l-assainissement-definitions.htm>.
- Acteurs et gouvernance de la politique de l'eau.* 2017. <http://www.vie-publique.fr/politiques-publiques/politique-eau-qualite/acteurs-gouvernance/>.
- Assainissement non collectif : les solutions écologiques possibles.* s.d. <https://www.assainissement.com/assainissement-non-collectif-solutions-ecologiques/>.
- Blackmon, A, et al., «'Coastal Resilience and Solutions for East Boston and Charlestown' .» Final Report City of Boston, Boston, Octobre 2017.
- Bregnon, R, et al., «RÉCUPÉRATION ET UTILISATION DE L'EAU DE PLUIE, Informations et recommandations relatives à la réalisation de dispositifs utilisant les eaux issues de toitures et stockées in situ .» ASTEE, Décembre 2015.
- Chocat, B., «Etat de l'art sur la gestion urbaine des eaux pluviales et leur valorisation.» Convention ONEMA-OIEau 2008, Juillet 2008.
- Climat de Mayotte.* s.d. <http://www.meteofrance.yt/climat/description-du-climat>.
- CNRS. *En France, L'eau, un service local et public, souvent délégué à des sociétés privées.* s.d. https://www.cnrs.fr/cw/dossiers/doseau/decouv/france/07_eau.htm.
- «Comparaison des mesures alternatives pour la gestion des eaux de pluie à l'échelle de la parcelle.» Info Fiche Bâtiment Durable, Décembre 2010.
- «Dans les quartiers existants, formes urbaines et innovation dans la gestion de l'eau .» Observatoire parisien de l'eau « Paris sous la pluie », APUR ATM, Juillet 2016.
- Eau France, Assainissement .* s.d. <http://www.eaufrance.fr/s-informer/comprendre/l-eau-potable-et-l-assainissement/assainissement>.
- Eau France, Impacts sur le système hydraulique.* s.d. <http://www.eaufrance.fr/s-informer/comprendre/le-changement-climatique/impacts-sur-le-systeme>.
- Eau France, Les Bassins.* s.d. <http://www.eaufrance.fr/s-informer/comprendre/les-acteurs/les-acteurs-publics/les-bassins>.
- Eau non potable : de quoi parle-t-on ? .* s.d. <https://www.valdemarne.fr/newsletters/plan-bleu-du-val-de-marne/eau-non-potable-de-quoi-parle-t-on>.
- Foisil, J., « Plan de prévention des risques d'inondation du département de Paris révisé.» Direction de l'urbanisme, du logement et de l'équipement, Avril 2007.
- Gonzalez, JF., «Une organisation singulière des réseaux d'eau potable et d'assainissement en Ile-de-France .» Agreste, Septembre 2012.
- Guide sur la récupération et l'utilisation de l'eau de pluie.* s.d. <https://www.astee.org/production/guide-sur-la-recuperation-et-utilisation-de-leau-de-pluie/>.

L'eau et l'assainissement, Collectivités Locales. s.d. <https://www.collectivites-locales.gouv.fr/leau-et-l-assainissement>.

La directive cadre sur l'eau. s.d. <http://www.eaufrance.fr/s-informer/comprendre/la-politique-publique-de-l-eau/la-directive-cadre-sur-l-eau>.

La gestion de l'eau en ville : une évolution nécessaire. novembre 2013. <https://www.actu-environnement.com/ae/dossiers/ville-demain/eau.php>.

«La qualité de l'eau du robinet en France.» ARS et Ministère des Affaires Sociales et de la Santé, 2015.

La1ère. *Crise de l'eau à Mayotte : 17,3 millions d'euros engagés en 2017 pour le "plan eau",* . 2017. <https://la1ere.francetvinfo.fr/crise-eau-mayotte-173-millions-euros-engages-2017-plan-eau-507031.html>.

Le fonctionnement et les technologies des réseaux d'eau potable et d'assainissement des eaux usées. s.d. <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?p=reseaux-eau-fonctionnement-potable-assainissement>.

Le réseau parisien d'eau non potable, une alternative à l'eau potable pleine de ressource. s.d. <https://www.valdemarne.fr/newsletters/plan-bleu-du-val-de-marne/le-reseau-parisien-deau-non-potable-une-alternative-a-leau-potable-pleine-de-ressource>.

Leroy, M, et al., «Epuraton des eaux de ruissellement dans les noues de voirie : le rôle du sol et des plantes.» Novatech 2013, 2016.

Les Agences de l'eau Ministère de L'écologie, Les six agences de l'eau françaises sont des établissements publics du ministère chargé du développement durable. s.d. <http://www.lesagencesdeleau.fr/les-agences-de-leau/les-six-agences-de-leau-francaises/4>.

«Les Différents Filières d'assainissement non collectif.» Communauté de Commune du Pays de Camembert, s.d.

Les principes de base de l'épuration des eaux usées. s.d. <http://www.caue60.com/amenagement-paysager/eau-et-amenagements/les-principes-de-base-de-lepuration-des-eaux-usees/>.

Massiot, A., ««Le changement climatique provoque une accélération du cycle de l'eau.»» Libération.fr, Mars 2018.

Masson-Delmotte, V. «Pluies intenses et changement climatique, quel rapport ?» Theconversation.com, juin 2016.

Mayotte - Géographie & climat. Novembre 2016. <http://www.outre-mer.gouv.fr/mayotte-geographie-climat>.

Montginoul, Marielle. Rinaudo, Jean-Daniel. «Controlling households' drilling fever in France: An economic modeling approach. Ecological Economics, 71. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2011.08.018.» 2011.

Nezeys, A., «Un zonage pluvial pour Paris : réintégrer les eaux pluviales dans le grand cycle de l'eau.» Novatech 2013, 2013.

«Paris sous la Pluie : Le Plan Pluie de Paris .» Direction de la Propreté et de l'Eau, Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement Mairie de Paris, Juillet 2016.

«Plan d'Urgence Eau Mayotte.» Séminaire Inter-DOM AFB 2017, Mars 2017.

- Que signifie gestion de l'eau ?* . s.d. <https://www.aquaportail.com/definition-6671-gestion-de-l-eau.html>.
- Qu'est-ce qu'un SAGE ?* s.d. <http://www.gesteau.fr/presentation/sage>.
- Rol-Tanguy, F., «Etude sur le devenir du réseau d'eau non potable Partie 1 : Analyse et Diagnostic.» Atelier Parisien d'Urbanisme (APUR), Décembre 2010.
- Rozi, R., «Crise de l'eau : les vraies bonnes questions du CESEM.» Le Journal de Mayotte, Juin 2017.
- Sorrisseau, Yannick. *Gestion de l'eau : le regard de Laurent Damour, vice-président d'Angers Loire Métropole*. Juin 2017. https://www.villeintelligente-mag.fr/Gestion-de-l-eau-le-regard-de-Laurent-Damour-vice-president-d-Angers-Loire-Metropole_a240.html.
- . *La gestion de l'eau en France*. Mai 2017. https://www.villeintelligente-mag.fr/La-gestion-de-l-eau-en-France_a171.html.
- Toute une résidence de Clichy recycle la chaleur de ses eaux grises*. 2016. <https://www.batiactu.com/edito/reduire-la-consommation-energetique-de-60-44589.php>.
- Une épuration végétale pour un développement durable, Eco-Station Bambou Assainissement*. s.d. phytoem.fr.
- «Zonage d'assainissement de la Ville de Paris.» Direction de la propreté et de l'eau, Service technique de l'eau et de l'assainissement de la Ville de Paris, , Décembre 2016.

X. ANNEXES

1) ANNEXE N°1 – PPRI PARIS

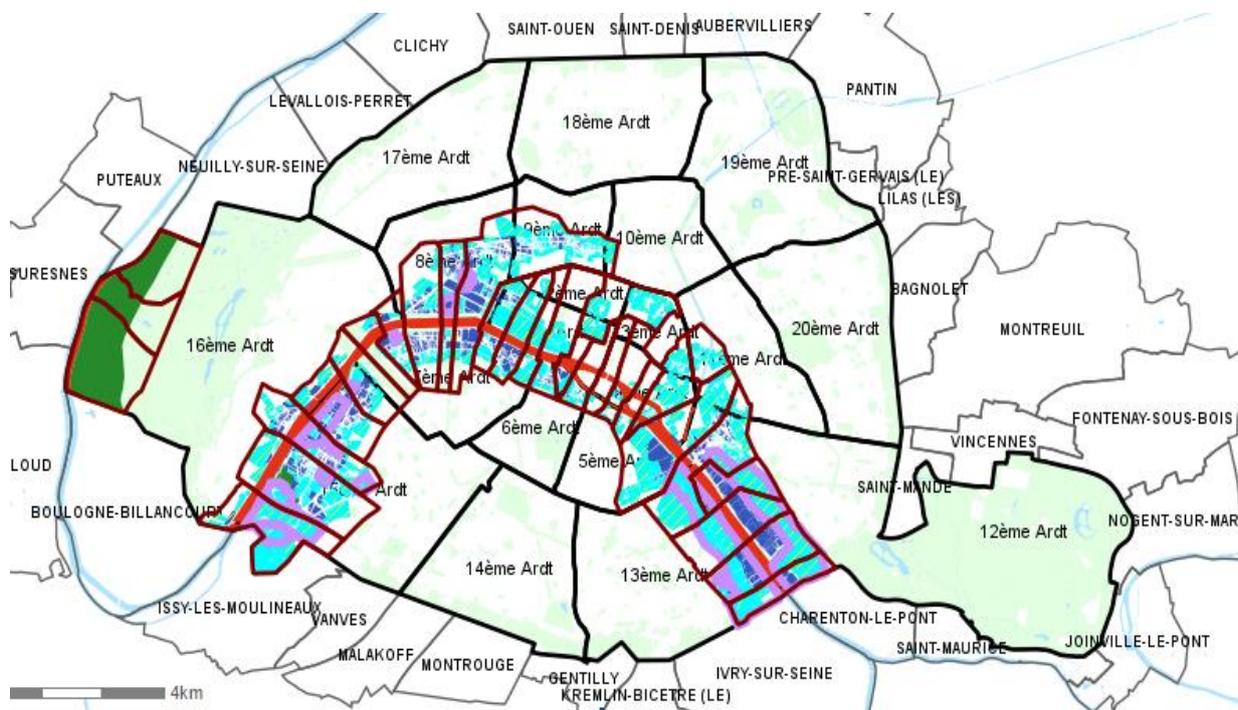
L'aléa retenu pour l'élaboration du PPRI de Paris est la crue de la Seine de janvier 1910, considérée comme une crue centennale (pouvant intervenir, en moyenne, une fois par tous les cent ans). Trois zones ont ensuite été définies : la zone verte d'expansion de la crue, la zone rouge d'écoulement de la crue et une zone bleue de centre urbain inondable.

La zone verte a pour objectif de stocker au maximum l'eau de la crue afin de diminuer son intensité. Elle doit donc être laissée au maximum libre de toute construction. A Paris, il s'agit notamment du Bois de Boulogne et du Parc André Citroën (l'inondation de ces zones naturelles ne provoquant pas trop de dégâts matériels).

La zone rouge correspond au lieu d'écoulement de la crue et doit donc être la moins encombrée possible pour permettre cet écoulement. Le lit de la Seine mais aussi certaines berges sont classés en zone rouge.

Enfin, la zone bleue où se situe l'ensemble des zones urbanisées inondables. Les règles fixées dans cette zone visent à réduire le risque (limitation de l'exposition directe des logements à l'inondation, préservation de l'environnement en évitant le stockage d'éléments dangereux en partie inondable des bâtiments, principes constructifs des nouvelles constructions pour éviter les dommages liés à l'inondation...).

CARTE



Légende

- Zonage PPRI de Paris
-  Zone bleu clair (incluse dans l'aléa)
 -  Zone bleu clair hachurée
 -  Zone bleu sombre (incluse dans l'aléa)
 -  Zone bleu sombre hachurée
 -  Zone rouge
 -  Zone verte

 Secteurs stratégiques pour le développement économique et soc

 Limites des cotes PHEC

 Limite des communes limitrophes

Source : PPRI de Paris

2) ANNEXE N°2 : Calcul du volume de rétention, Voisenon

Pour calculer le volume du bassin de rétention que nous souhaitons mettre en place à Voisenon, nous avons utilisé la méthode des pluies. Cette méthode repose sur :

- Le débit de fuite limité à **2 L/s/ha**, imposé par le SDASS (Schéma Départemental d'Assainissement) de Seine-et-Marne. L'aménageur peut également choisir de ne faire aucun rejet dans le réseau. A Voisenon, la qualité d'infiltration du sol étant faible (sol constitué d'argiles), le temps de vidange du bassin sans rejet au réseau équivaldrait à 165j... Nous avons donc choisi de nous conformer à un rejet à débit limité afin de diminuer ce temps de vidange.
- La période de retour de la pluie a été choisie à **10 ans** (pluie décennale, autrement dit, une pluie qui a, tous les ans, une chance sur 10 de se produire). Cette période de retour était également imposée par le SDASS mais nous aurions pu choisir un dimensionnement plus contraignant.
- La formule de Montana : $i = a \cdot t^{-b}$ avec i : l'intensité de la pluie et a, b : les coefficients de Montana, issus de résultats de statistique de pluies, sont donnés par une station météorologique de référence. Trois pas de temps, auxquels sont associés un couple (a,b) permettent une approximation plus précise. Pour la station météorologique d'Eaubonne nous avons : 6min à 30min, 30min à 24h et 24h à 96h.

Une fois ces paramètres définis, nous avons caractérisé notre bassin versant (surface sur laquelle l'ensemble des eaux qui y tombent convergent vers un même exutoir) constitué de la parcelle de notre projet. Pour ce bassin versant, nous avons déterminé le coefficient de ruissellement C_r , en fonction des différentes natures de revêtement, et la surface active S_a . Le coefficient de ruissellement est lié au taux d'imperméabilisation des surfaces.

Nous obtenons ainsi :

Nature surface	Surface S	C_r	Surface active (= $C_r \cdot S$)
Revêtements imperméables (voirie en enrobés et cheminements piétons en béton désactivé)	8960 m ²	0,3	864 m ²
Espaces verts	1200 m ²	0.9	360 m ²

Après cela, nous calculons l'intensité de la pluie pour chaque pas de temps. Ensuite, nous pouvons en déduire la hauteur d'eau maximale à stocker par notre bassin : $\Delta H = h_{\text{pluie}} - h_{\text{fuite}}$ avec ΔH en mm, $h_{\text{pluie}} = i \cdot t_{900\text{min}}$ et $h_{\text{fuite}} = Q_{\text{équivalent}} \cdot t_{900\text{min}}$

Nous « testons » ensuite pour chaque minute des pas de temps le volume de rétention : $V = \Delta H \cdot S_a \cdot 10$. Le volume de rétention retenu est le volume maximal.

	BV : Sous BV	10 ans	2,00 L/s/ha
--	---------------------	---------------	--------------------

Statistiques sur la période 1983 - 2008 de la station météo Eaubonne (95)

Formule des intensités - Méthode du renouvellement					
$i = a \cdot t^b$					
Coefficients Montana 10 ans - Caractéristiques du bassin versant					
Pluies de durée 6 min à 30 min		Pluies de durée 30 min à 24 h		Pluies de durée 24 h à 96 h	
a =	267,00	a =	591,00	a =	490,00
b =	0,50	b =	0,75	b =	0,73
Surface	1,02 ha	Q_{ruiss}	2,00 L/s/ha	Surface active	0,84 ha
C_{ruiss}	0,83	$Q_{\text{admission}}$	2,03E-03 m ³ /s	$Q_{\text{ruiss-infiltration 60s}}$	0,89 mm/h
$S_{\text{infiltration}}$	0,05 ha	$Q_{\text{infiltration}}$	4,77E-05 m ³ /s		
$V_{\text{infiltration}}$	1,00E-07 m/s	$Q_{\text{ruiss-infiltration}}$	2,08E-03 m ³ /s		
Résultats					

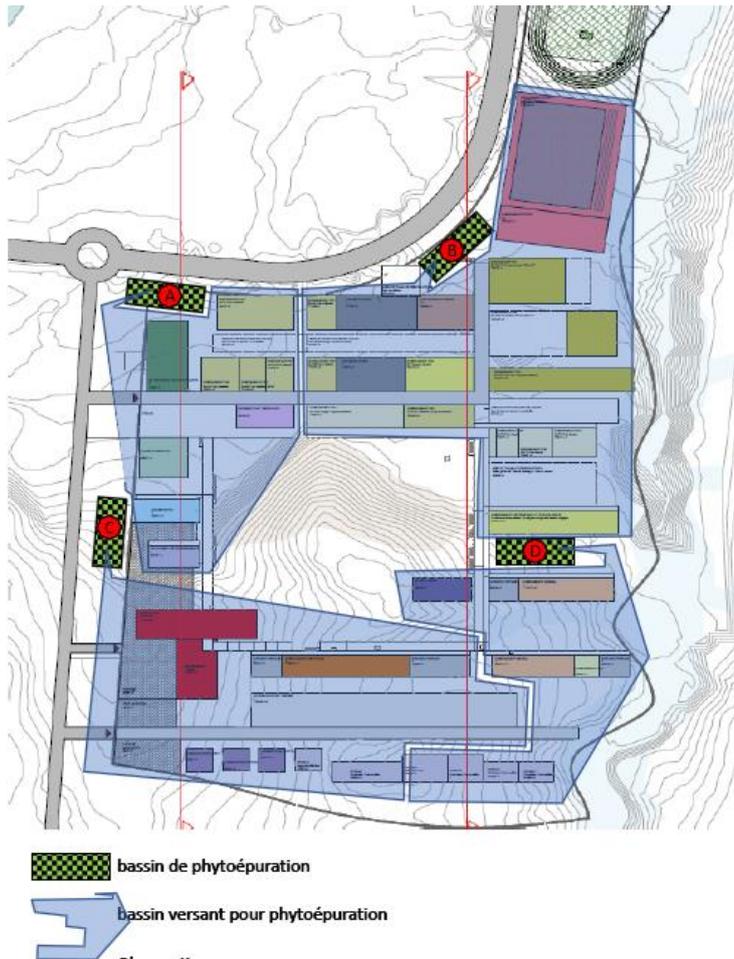
Volume à stocker	339,10 m³
Hauteur d'eau maximale à stocker	40,25 mm
Temps de vidange	45 h

A ATEVE, un tableur Excel permet d'effectuer ces calculs en entrant les données de départ.

3) Annexe n° 3: Dimensionnement des surfaces nécessaires pour la phytoépuration des eaux usées

1. Division de la parcelle en bassins versants

Afin de calculer la surface de plantation nécessaire, nous avons tout d'abord divisé l'ensemble du projet en bassins versants. En effet, nous aurions pu considérer que toutes les eaux usées seraient traitées par la même « parcelle » de bambou mais, d'un commun accord avec les architectes et les paysagistes, nous préférons avoir plusieurs « petites » surfaces de bambous réparties sur l'ensemble du terrain.



2. Hypothèses de départ

Types d'eaux traitées : Après plusieurs changements au cours des études sur la nature des eaux que nous souhaitons traiter par phytoépuration (seulement les eaux de douche et de lave-linge au début du concours pour envoyer les eaux noires, plus chargées en matière organique, dans le méthaniseur), nous avons finalement pris la décision de traiter l'ensemble des eaux usées du projet. Ainsi, cinq « types » de rejet ont été considérés :

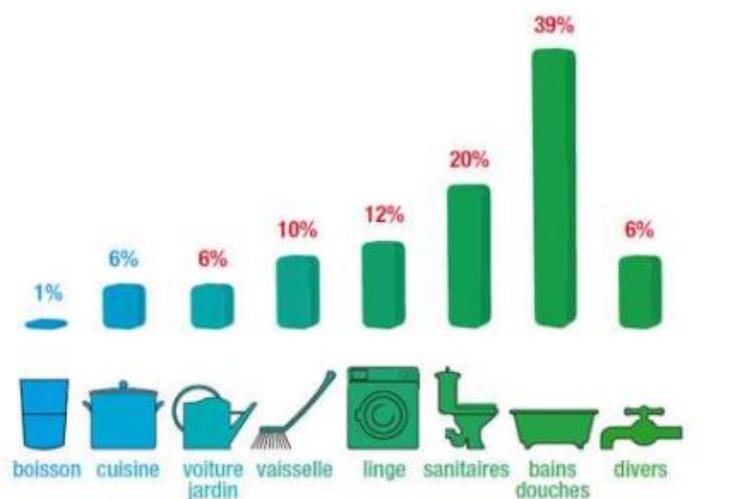
- Les eaux des WC
- Les eaux des douches
- Les eaux des lave-linges
- Les eaux d'usages divers tels que les lavabos

- Les eaux issues du nettoyage des sols (or sols des ateliers extérieurs)

Les eaux des cuisines sont calculées de manière particulière, dans le bassin versant correspondant (5230 repas par jour et une préconisation de 10L d'eau dépensée/repas donc un rejet de 52 300L/j).

Quantité d'eau rejetée par habitant : Pour mener à bien les calculs, plusieurs hypothèses ont été prises dont les principales sont les suivantes :

- A Mayotte, 1EH consomme 120L/j en moyenne (contre 150 à 130 L/j pour un EH en métropole)
- Nous considérons que la consommation d'eau potable (et donc le rejet d'eaux usées) suit les proportions suivantes :



- 1 élève externe = 0,33EH / 1 employé ou enseignant= 0,33EH / 1 élève interne= 1 EH (mais 2/3 de ses rejets effectués dans l'internat et 1/3 dans une salle de classe)

3. Hypothèses calculatoires :

Hypothèse 1 : Nous considérons que les élèves d'un pôle ou les employés d'un bâtiment rejettent leurs eaux usées (WC, lavabo...) dans le bassin versant où ils étudient/travaillent. Nous ne prenons pas en compte l'hypothèse selon laquelle un élève d'une classe X irait uriner dans une classe Y, par exemple.

Hypothèse 2 : Nous considérons qu'1EH à Mayotte consomme 120L/jour, comme précédemment mentionné. Nous le noterons EH(120L/j). Dans nos calculs, nous avons d'abord estimé le nombre d'EH(120L/j), ce que cela représente en nombre de litres rejetés par jour ($\text{nbrEH}(120\text{L/j}) * 120\text{L/j}$) puis converti ce litrage/jour en surface de bambou préconisée par le fabricant (donc conversion de ce rejet en EH(140L/j))

Hypothèse 3 : Pour les pôles dont les classes sont « coupées » en deux ou trois bassins versants, nous prenons pour hypothèse que le nombre d'élèves est proportionnel à la surface. (Ainsi, si 41% du pôle Energie est dans le bassin A, alors 40% des effectifs de ce pôle est aussi dans le bassin A). De même, nous considérerons que les enseignants d'un pôle sont proportionnels aux

surfaces, sachant que le nombre d'enseignants pour chaque pôle est proportionnel aux nombres d'élèves.

Hypothèse 4 : Pour des raisons de simplifications, nous avons considéré que 100% des élèves restait dans les salles d'enseignement scientifique, 100% des élèves de la section littéraire restait dans les salles

d'enseignement art et 100% des élèves des autres sections (économie et sociale et secondes) dans les salles d'enseignement général.

Hypothèse 5 : Nous avons considéré que les élèves du « pôle techniciens du bâtiment » faisaient partie du « pôle TP et GO » et que les élèves du « pôle bâtiment » faisaient partie du « pôle métallerie/peinture/enseignes/carreleur/installation sanitaire »

4. Calculs

Extrait des calculs faits pour 1 bassin versant

Bâtiment	Surface (m²)	Elèves	Employés/Enseignant	Douches	EH (120L/j)	L/j d'eaux rejetées	Surface de plantes nécessaires pour 2,5m	Surface de plantes nécessaires pour 1m²/EH(140L/j)
Pôle métallerie/peinture/enseignes/carreleurs	1000	119	10		42,7	3994,43616	71,32921714	28,53168686
Salle polyvalente	490					4 wc (dont 1 urinoir) et 4 lave-main		
Accueil	340		1			1 WC + 1 lave-main pour le gardien		
Documentation	460		5		1,65	154,44	2,757857143	1,103142857
Médico scolaire	100		2	1	0,66	61,776	1,103142857	0,441257143
Administration	440		16		5,28	494,208	8,825142857	3,530057143
Vie enseignants	300					2 WC + 2 lavabos		
Vie scolaire	300		23		6,9	645,84	11,53285714	4,613142857
Aires de travail ext./ Atelier	284							
Nettoyage du sol	3430					686	12,25	4,9
							107,7982171	43,11928686

Avec :

$$EH(120L/j) = (\text{nombre élèves} + \text{employés}) * 0.33$$

$$L/j \text{ d'eaux rejetées} = Eh(120L/j) * 120 * 78\%$$

$$\text{Surface de plantes nécessaires pour } 2,5m^2/Eh = (L/j \text{ d'eaux rejetées}/140) * 2,5$$

1. Résultats

	1m ² /EH(140L/j) préconisé	2m ² /EH(140L/j) préconisé	2,5m ² /EH(140L/j) préconisé		
	Surface de bambous ou roseaux nécessaire (m ²)	Surface de bambous ou roseaux nécessaire (m ²)	Surface de bambous ou roseaux nécessaire (m ²)	EH(120L/j)	EH(140L/j) équivalent
Bassin versant A	43	86	108	57	43
Bassin versant B	278	556	696	402	278
Bassin versant C	583	1166	1458	193	583
Bassin versant D	216	431	539	313	216
TOTAL	1120	2240	2800	965	1120

Nous avons considéré une « fourchette » de surface nécessaire de plantation comprise entre 1m²/EH(140L/j) et 2,5m²/EH(140L/j).

Surfaces nécessaires de Bambous ou roseaux pour la phyto-remédiation

(en prenant un ratio de 2 m² / EH (140l/j) soit 1,7 m² / EH (120l/j) pour les surfaces de bambous ou roseaux)

Bassin A : 86 m²

Bassin B : 556 m²

Bassin C : 1166 m²

Bassin D : 431 m²

