

Un Pari(s) tombé à l'eau?

Rendre le système unitaire à nouveau viable

D7 - Paris ville hydraulique : redessiner la ville avec l'eau

Enseignants : J. Coulais, A. Alehashemi, L. Dimitriadi



Alexandre Bava
Charles Haskell
Ambre Le Moigne
Mira Mezher



INTRODUCTION

Notre contact à l'eau dans la capitale est stérile. L'eau arrive par un robinet et ressort par un tuyau : c'est tout. Aussi vite qu'elle apparait elle est directement considérée comme usée et à traiter. De plus, l'eau pluviale que l'on entend sur nos toitures est éloignée de notre quotidien, toujours, retenue dans des gouttières décollant vers des égouts.

Premièrement, dans la capitale le réseau des eaux usées convoie vers les stations d'épuration les eaux des habitations et des industries et les eaux pluviales (eaux considérée comme polluée dès son contact avec la ville). On parle de système unitaire qui amènent ces deux natures d'eaux vers les stations d'épuration de la région. Ces stations d'épuration ont pour mission de dépolluer ces eaux non pas de les rendre potable avant leur rejet dans les rivières et cours d'eau.

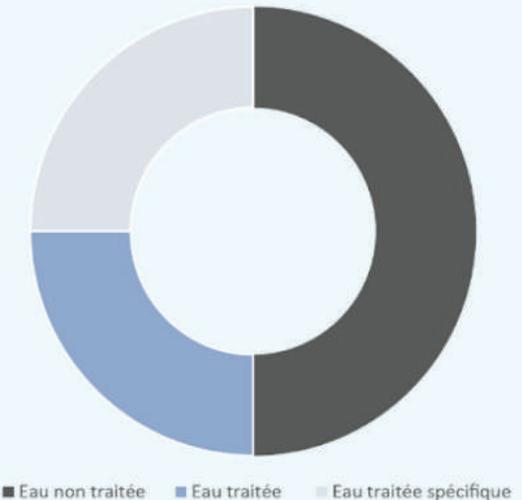
Cet enchaînement de gestion et transport peut paraître aux premiers abords infaillible, mais dès que l'on y prête attention différentes problématiques jaillissent. En effet, la conjoncture actuelle pousse à penser que ce traitement va devenir dans un certain temps obsolète puisqu'on assiste à certains endroits un surplus d'eau par rapport au potentiel de gestion. En surface, la ville est devenue une entité presque entièrement imperméable par les revêtement employés, les édifices et les voies de communication qui ne permettent plus l'infiltration de l'eau de pluie vers les nappes phréatiques. L'eau se retrouvant alors en surface est dirigée vers les égouts pour être traitée.

En souterrain, ce réseau d'égouts est non loin d'être infaillible puisque lorsqu'il est soumis à des phénomènes de forts apports en eau il devient sursollicité et rejette par des déversoirs l'eau usée directement vers la Seine. Une pollution directe est donc effectuée par l'incapacité du système à faire face au volume d'eau à traiter. En aval, les stations d'épurations sont soumises à une tension constante par un volume d'eau à traiter toujours plus important et lors d'un épisode de fortes pluies par exemple pour éviter d'endommager les infrastructures les vannes d'eaux usées sont ouvertes afin de déverser l'eau directement dans les cours d'eaux sans les traiter (1/3 à la moitié de l'année). Deuxièmement, un autre problème peut être soulevé : le recyclage des eaux pluviales à Paris. En effet, un voile occulte son accès les citoyens n'ont pas conscience de son potentiel. L'eau pluviale est récupérée à petite échelle pour arroser les plantes de la ville mais cela reste minime. Cette eau pourrait être plus accessible et plus démocratisée dans les habitats. Ainsi, la gestion des eaux usées et pluviales ont des limites à l'heure actuelle et nos recherches se concentrent sur des possibles solutions à différents instants du cycle de l'eau dans la ville suivant différentes typologies.

Notre réflexion est de diminuer le volume d'eau entrant en agissant sur l'eau pluviale en faisant de Paris une Sponge City. Le travail se diviserait en typologie (suivant le zonage Paris-Pluie) pour qu'à chaque zone, un éventail d'intervention soit combiné pour favoriser au mieux l'infiltration des eaux dans le sol.

1/Le système unitaire est-il obsolète ?

Traitements des eaux



Problématique :

Comment redessiner Paris pour que le système unitaire soit plus efficace ?

La problématique choisie convoque plusieurs enjeux concernant à la fois la présence de l'eau et sa gestion dans la ville, mais aussi l'urbanisation et les sols. Ces enjeux se retrouvent dans toutes les villes du monde, mais ils sont d'une plus grande importance encore à Paris.

La ville de Paris a hérité son système d'assainissement de la rénovation d'Eugène Belgrand sous la direction du baron Hausmann. Ce système nommé le "tout à l'égout", porte bien son nom : en effet, il s'agit d'un système unitaire, où toutes les eaux "indésirables" sont transitées dans la même canalisation. Concrètement, cela implique que les eaux de pluie et les eaux pluviales se retrouvent mélangées aux eaux usées, les eaux grises. Aujourd'hui, ce réseau est une particularité pour Paris, car les autres villes sont dotées d'un système plus contemporain, un système séparatif, qui distingue les eaux pluviales des eaux grises. Depuis les années 2000, les opérations d'assainissement de nouvelles régions urbaines priorisent le système séparatif qui est devenu la norme, pour des questions d'écologie et d'économie mais aussi de performance : ce système prime aujourd'hui car il permet la valorisation de l'eau de pluie, la réduction de la dimension des stations d'épuration, la réduction des rejets d'eau non traitée dans la nature durant les périodes de pluie forte, la réduction du diamètre des tuyaux d'évacuation, son seul désavantage étant les erreurs possibles lors du branchement au réseau.

Le système unitaire de Paris est d'une faible performance par rapport aux quantités d'eaux qui sont captées par ses canalisations. Comme il récupère les eaux usées mais aussi les eaux pluviales, les périodes de fortes précipitations sont critiques pour le réseau, qui se retrouve avec une quantité d'eau supérieure à sa capacité de traitement : il est donc en sursaturation durant les fortes pluies. Afin de remédier à ce problème, et empêcher l'endommagement des canalisations, le système unitaire de Paris est doté de deversoirs d'orages, des trappes permettant d'évacuer en urgence le surplus d'eau non traitée à l'extérieur du réseau. Les deversoirs d'orages sont localisés autour de la Seine, et sont au nombre de 9 pour Paris : ils déversent donc le surplus d'eau vers la Seine, et vont donc polluer le fleuve petit à petit, et renforcer les crues (1 à 3 millions de m³ par an). Selon les chiffres ci-dessus, la majorité des eaux rejetées dans la Seine depuis le système des deversoirs d'orage sont des eaux issues de la pluie.

Système faible par rapport au apports d'eau

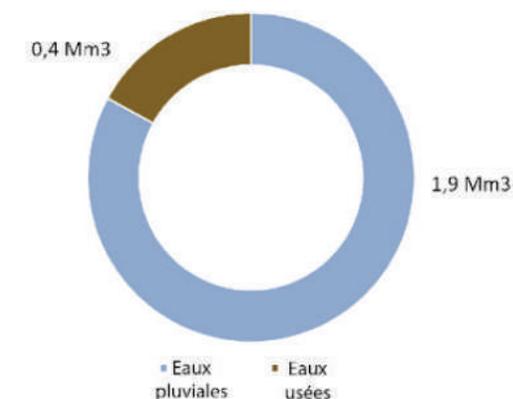


- Déversement sans traitement
- Rejets après traitement By Pass
- Rejets après traitement complet
- Rejets après traitement spécifique

40% d'eau usées rejetée sans traitement pour

45% d'eau ENTIEREMENT traitée

Nature des eaux déversées dans la Seine, 2013



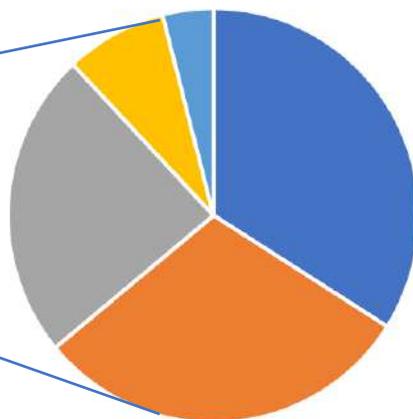
5/6 des eaux rejetées par déversoir sont de nature Pluviale

Surface de chaussée pour tout Paris



■ chaussée ■ autre

Matériaux de chaussée

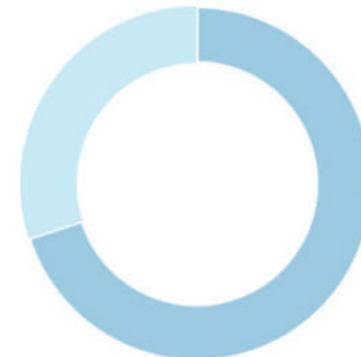


■ Pavés ■ Enrobé ■ Asphalte ■ Béton ■ Autres

De plus, une très grande portions des eaux rejetées par le système d'assainissement ne sont pas traitées, et risquant donc fortement de polluer les milieux naturels où elles sont expulsées : 40% d'eau non traitée pour 45% d'eau traitée. Au niveau des stations d'épuration, le problème est le même : lorsque les stations reçoivent une trop grande quantité d'eau, et se retrouvent dans l'incapacité de les traitées, elles rejettent des eaux non traitées ou partiellement traitée, dans le milieu naturel le plus proche. Elles polluent ainsi leur environnement proche et nuisent à la vie des écosystèmes naturels qui les entourent.

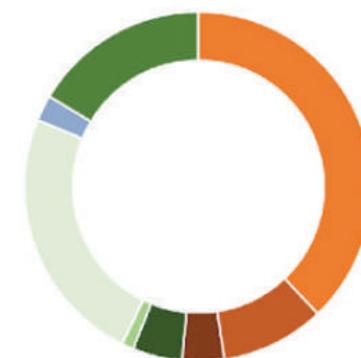
Dans un second temps, l'urbanisation de la ville de Paris est aussi un enjeu primordial de la question que nous avons décidé de traiter. La présence de l'eau dans la ville est directement en relation avec la qualité et la nature des sols urbains : premièrement, Paris est une ville très imperméabilisée où les eaux en surface ruissellent, et stagnent, car elles n'arrivent pas à s'infiltrer dans les sols. Les matériaux de revêtement de chaussée les plus courant étant les pavés, l'asphalte et l'enrobé, les sols de Paris sont à 75% imperméables. L'artificialisation croissante des sols réduit de plus en plus les quantité d'eaux infiltrées dans les sols perméables, et vont donc augmenter les deversements d'eaux polluées dans la nature par les deversoirs d'orage. Enfin, l'intervention sur le site de la ville de Paris est un défi complexe, notamment à cause de la densité du bâti dans le tissu urbain : hypothétiquement, il n y aurais que 20% d'espaces libres sur Paris, qui pourraient donc potentiellement accueillir des infrastructures permettant de réduire la quantité d'eau entrante dans les égouts (filtration, recolté, réintroduction au réseau, etc).

Nature et occupation des sols



■ Sols imperméables ■ Sols perméables

3/4 des sols sont
Imperméables



■ Habitat et activités diverses ■ Equipements publics divers
■ Domaine ferroviaire ■ Terrains de sports découverts
■ Cimetières ■ Voiries, talus plantés, ilots et quais
■ Seine et canaux ■ Espaces verts et bois

1/5 d'espaces "libres"

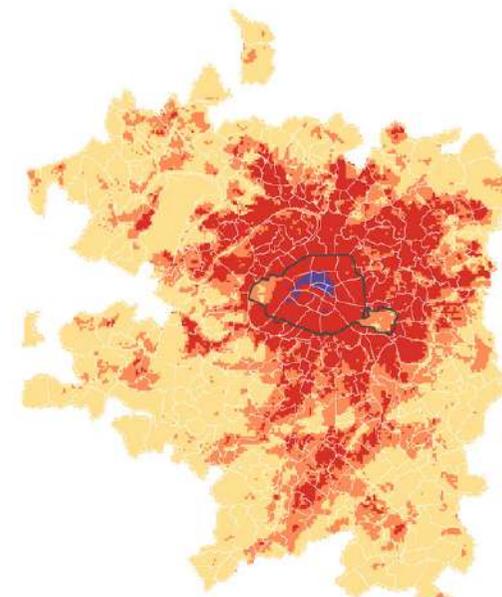
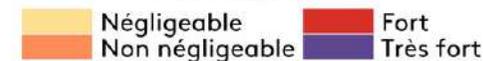
L'imperméabilisation des sols empêche donc l'infiltration des eaux de surface au sein de la ville de Paris. ce phénomène, couplé à l'artificialisation croissante des sols va engendrer un réchauffement du centre de Paris, là où la densité de bâti est la plus importante pour la capitale. Ce processus de réchauffement urbain est une conséquence du réchauffement climatique, mais aussi des matériaux de revêtement utilisés pour la construction des bâtiments et des chaussées.

La présence de la végétation et de l'eau dans la ville ne se résume pas uniquement à celle d'un atout paysager, mais elle permet d'assurer le fonctionnement du cycle naturel de l'eau, et ainsi de réguler les températures de l'air et des sols. Dans les nouveaux éco-quartier, comme Clichy- Batignoles les espaces végétalisés tels que les parcs, et les bassins d'eau pluviale sont priorités car ils jouent le rôle de climatiseurs urbains. L'ombre des arbres et la présence à proximité de l'eau, enclenchent le processus d'évapotranspiration, soit l'évaporation de l'eau et la transpiration des végétaux, qui humidifient l'air, le rendant ainsi plus frais. Ces stratégies d'aménagement sont aujourd'hui conscientes de cette question de réchauffement climatique, et espèrent prévenir les épisodes de canicules à Paris en encourageant la mise en place de ces "climatiseurs" urbains. A Clichy-Batignoles, l'évapotranspiration est assurée par les bassin et les vaporisateurs d'eau dans les parcs, ainsi que la végétation sur les toitures et en façades des bâtiments.

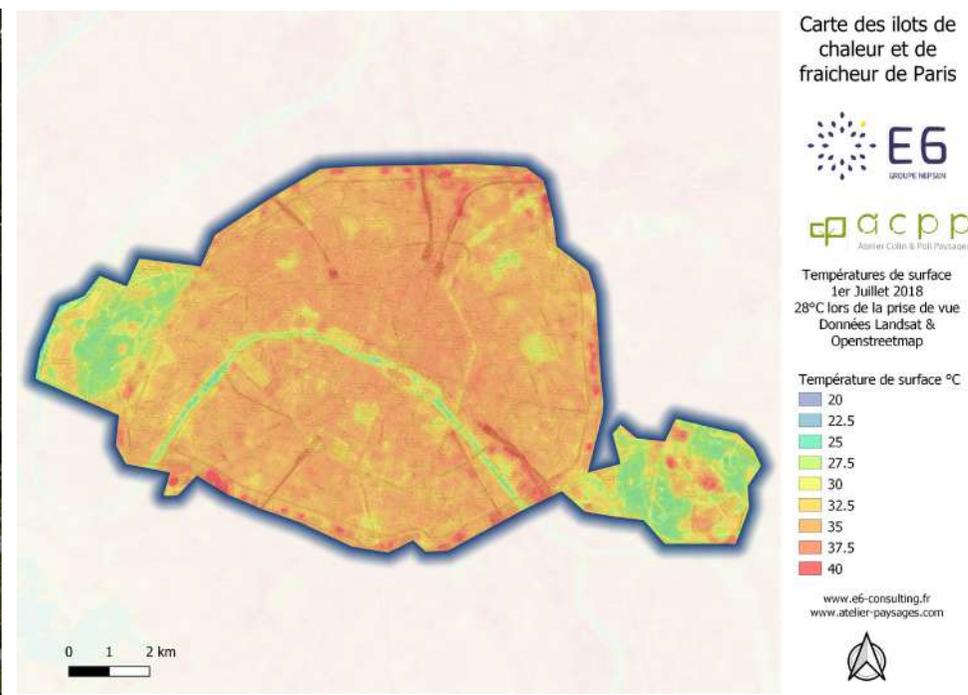
La perméabilisation des sols et la valorisation de la présence de l'eau dans la ville sont donc des enjeux intéressants et des solutions possibles au réchauffement urbain à Paris.

L'îlot de chaleur à Paris

Par intensité



Photographie de l'éco-quartier de Clichy Batignoles

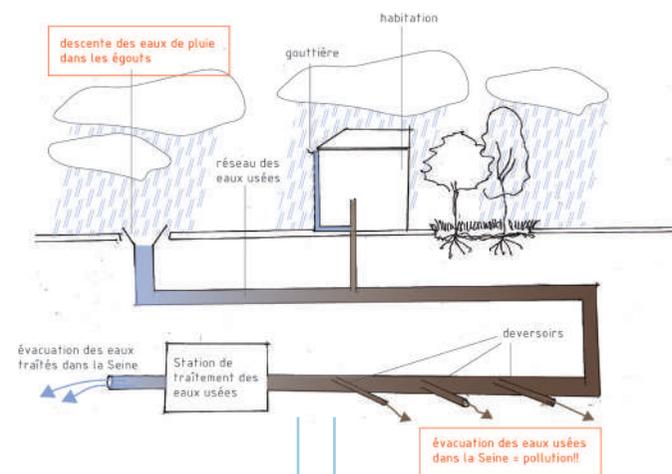
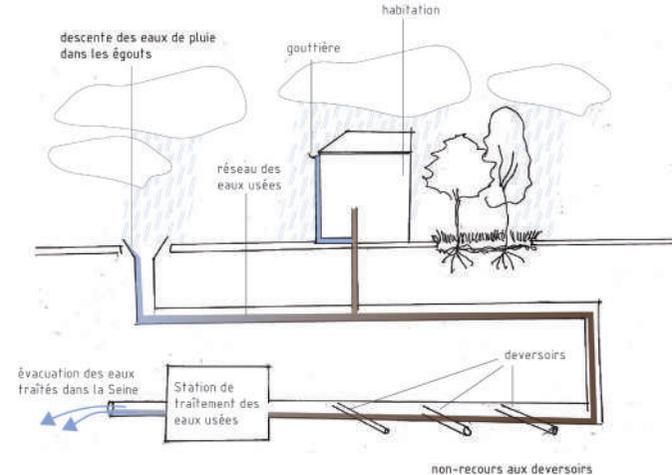


Notre stratégie tente de convoquer tous ces enjeux, afin d'explorer le panel de solutions possibles permettant de réduire la saturation du système d'assainissement parisien. Nos points d'attaques sont donc en amont et en aval du système d'évacuation unitaire.

En amont, il est envisageable de **réduire la quantité d'eau pluviale entrant dans les tuyaux des égouts**, et ainsi permettre au réseau de fonctionner de manière efficace, sans avoir à recourir aux deversoirs de la Seine pour évacuer le surplus d'eau pluviale. On évite ainsi de polluer les milieux naturels, comme expliqué précédemment. Dans ce volet de notre processus, il existe plusieurs manières d'intervenir sur la gestion des eaux pluviales : stocker, collecter, infiltrer, distribuer, absorber, ralentir, rediriger, réintroduire au réseau, et ainsi de suite.

En aval, certaines solutions proposent **d'améliorer la qualité des eaux rejetées dans la Seine** et dans les milieux naturels, en les purifiant avec une infrastructure distincte, différente de celle des stations d'épurations de Paris : la solution principale est la phytoépuration, par exemple, qui consiste à épurer les eaux grâce à une combinaison de certaines espèces de plantes et de bactéries.

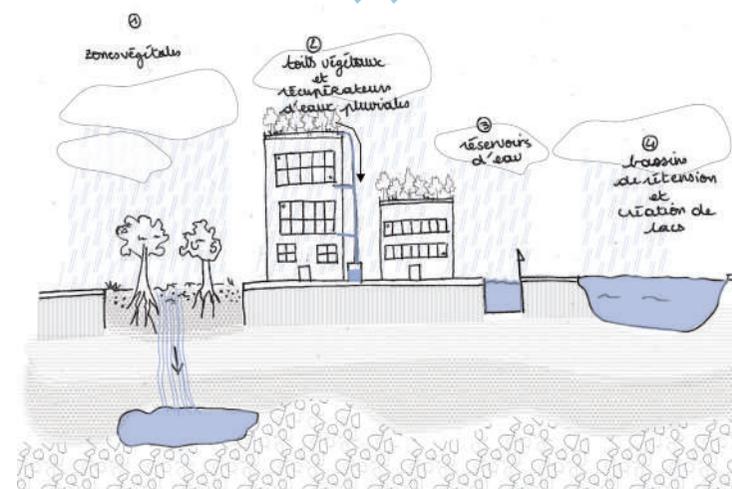
Les solutions existantes explorées ont pour but d'être combinables et déclinables selon les sites choisis et leurs caractéristiques : topographie, localisation, surface disponible, etc. Pour cela, nous avons cherché à comprendre les différents notions concernant la gestion de l'eau pluviale dans la ville, à savoir la mesure de perméabilité des sols, et le Zonage Pluvial du Plan Paris Pluie, qui consiste à valoriser une partie de l'eau pluviale entrant dans le réseau des égouts.



① En amont, diminuer le volume d'eau entrant dans le système
Perméabiliser la ville (stocker, infiltrer, distribuer) : gestion eaux pluviales

Créer des fontaines à eaux pluviales traitées (fleuristes, Lavage auto)

② En aval, Abaisser la toxicité des eaux rejetées
Epurier avec les plantes (phytoépuration) les eaux usées avant qu'elles soient rejetées



Le Zonage Pluvial, Plan Paris Pluie

Qu'est-ce que le zonage pluvial ?

Division du territoire parisien selon ses capacités d'absorption de son sol et de son sous-sol et de son réseau d'assainissement

4 catégories

	zone verte	objectif : aucun rejet vers le réseau d'assainissement : abattement volumique de pluie de référence 16mm
	zone jaune	objectif : infiltration des 12 premier mm de pluie et rejet vers le réseau de la pluie restante de 4 mm
	zone orange	objectif : infiltration des 8 premier mm de pluie et rejet vers le réseau de la pluie restante de 8 mm
	zone rouge	objectif : infiltration des 4 premier mm de pluie et rejet vers le réseau de la pluie restante de 12 mm

le calcul de dimensionnement de la lame d'eau
et des infrastructures à implanter

$$V_{(L)} = S(\text{refu})_{(m^2)} \times H(p)_{(mm)}$$

Le volume de pluie minimum à abattre toutes les 24 heures (V) est le produit de la surface de référence unitaire (Srefu) par la hauteur de pluie à abattre prescrite (Hp) dans la zone où se situe le projet.

Exemple : pour une Srefu de 150 m² située dans la zone orange,
le volume minimum de pluie à abattre sur place toutes les 24 heures sera de :
150 x 8 = 1 200 litres

➡ Plus un terrain est imperméable plus les infiltrations sont minimales et plus les interventions sont à réaliser

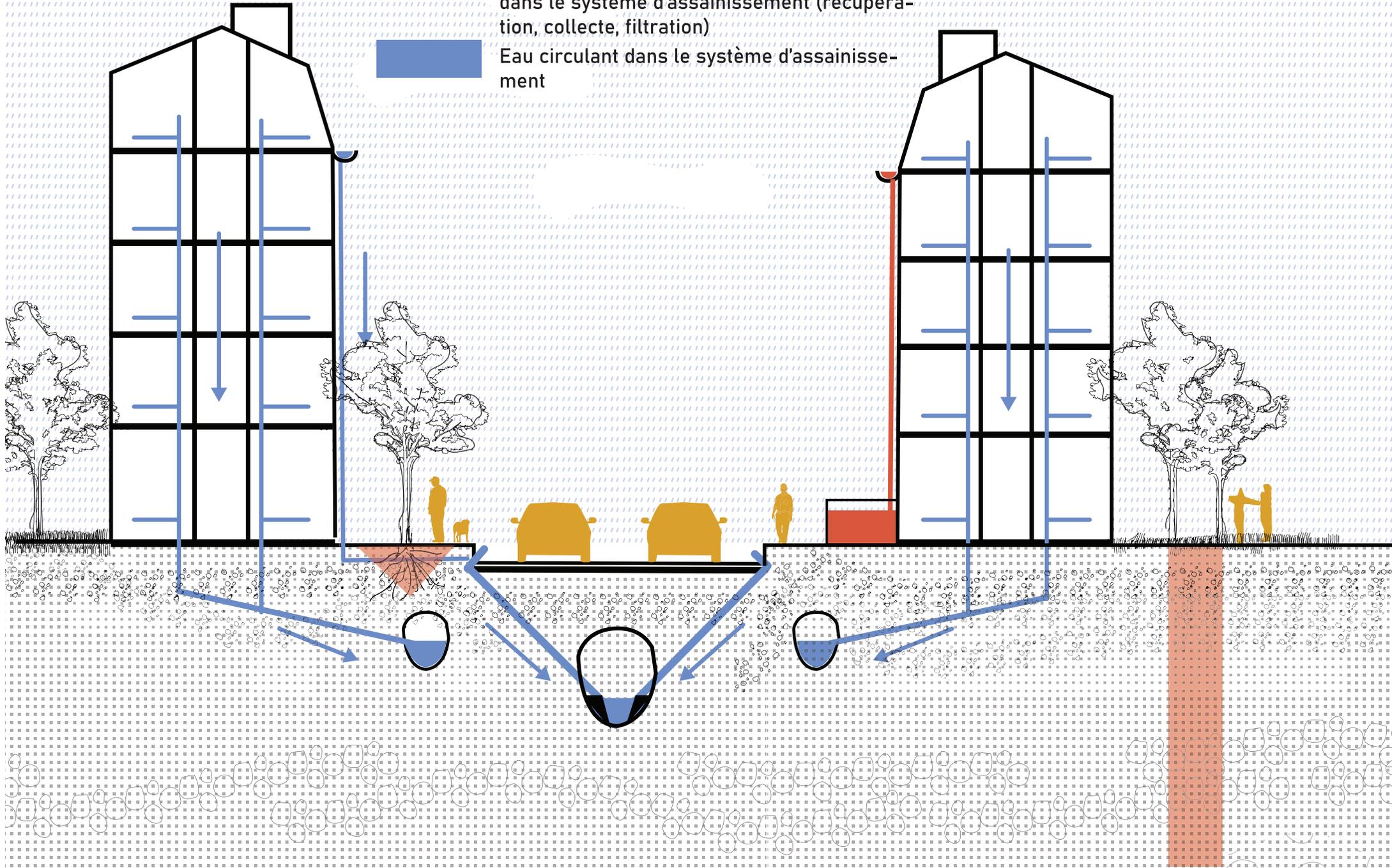
Schéma explicatif de la notion d'abattement de l'eau de pluie ou pluviale, utilisée dans les documents du Zonage Pluvial



Eau abattue : toute eau qui ne descend pas dans le système d'assainissement (récupération, collecte, filtration)



Eau circulant dans le système d'assainissement



Infiltrations oui, mais comment le mesurer ?

Par le coefficient K qui détermine la vitesse de percolation et la capacité de rétention d'un sol.
Cela calcule la quantité d'eau absorbée en un temps en m/s



Plus un terrain est perméable plus le coefficient K est élevé.

Tableau montrant la perméabilité de différents matériaux de sols

Perméabilité K (m/s)	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Type de sol	Gravier sans sable ni élément fin			Sables avec gravier, sable grossier à sable fin		Sable très fin, limon grossier à limon argileux			Argile limoneuse à argile homogène		
Possibilités d'infiltration	Excellentes			Bonnes		moyennes à faibles			Faibles à nulles		

Espaces végétalisés infiltrants+Fosses d'arbres : $K < 10^{-7}$ m/s

Espaces végétalisés infiltrants+Fosses d'arbres+Espace public inondable+Revêtements perméables : 10^{-7} m/s $< K < 10^{-5}$ m/s

Pavés filtrant/enherbés : capacité d'infiltration de l'ordre de $K = 2 \times 10^{-5}$ m/s.

Espaces végétalisés infiltrants+Fosses d'arbres+Chaussée à structure réservoir+Structures d'infiltration enterrées+Espace public inondable+Revêtements perméables : 10^{-5} m/s $< K < 10^{-2}$ m/s

Pavés en béton à joints élargis/ Pavés en béton avec ouvertures de drainage/ Pavés en béton poreux : $K > 5,4 \times 10^{-4}$ m/s.

Espaces végétalisés infiltrants+Fosses d'arbres+Chaussée à structure réservoir+Structures d'infiltration enterrées+Espace public inondable+Revêtements perméables : $K > 10^{-2}$ m/s

Infiltrations oui, mais comment le mesurer ?

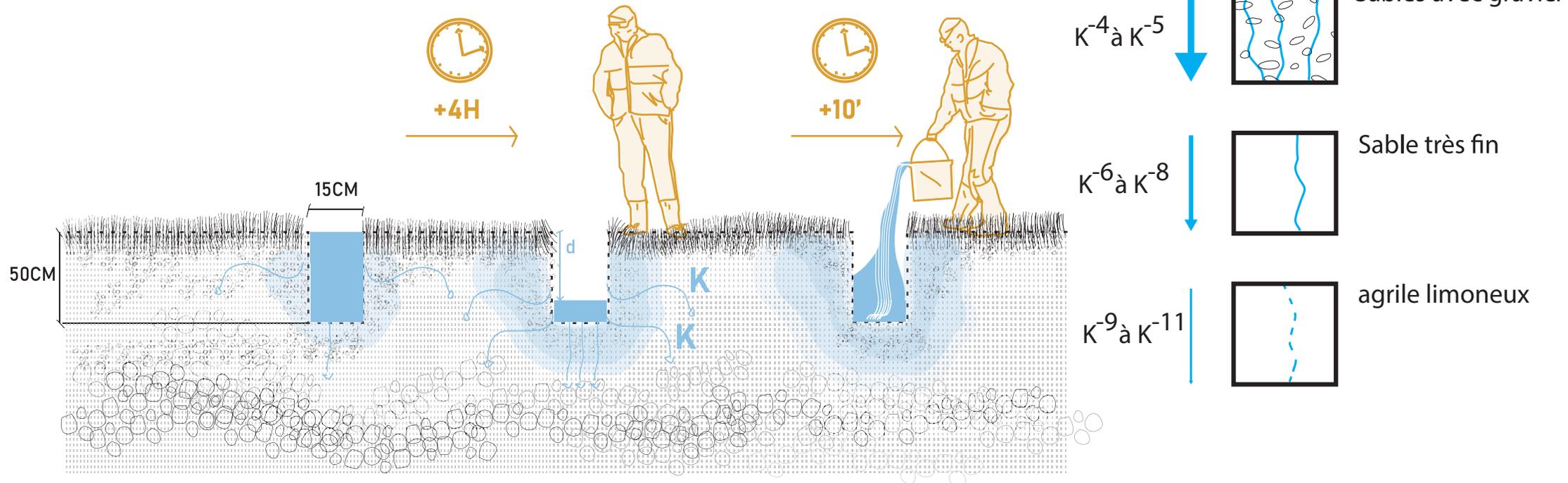
Par le coefficient K qui détermine la vitesse de percolation et la capacité de rétention d'un sol. Cela calcule la quantité d'eau absorbée en un temps en m/s

⇒ Plus un terrain est perméable plus le coefficient K est élevé.

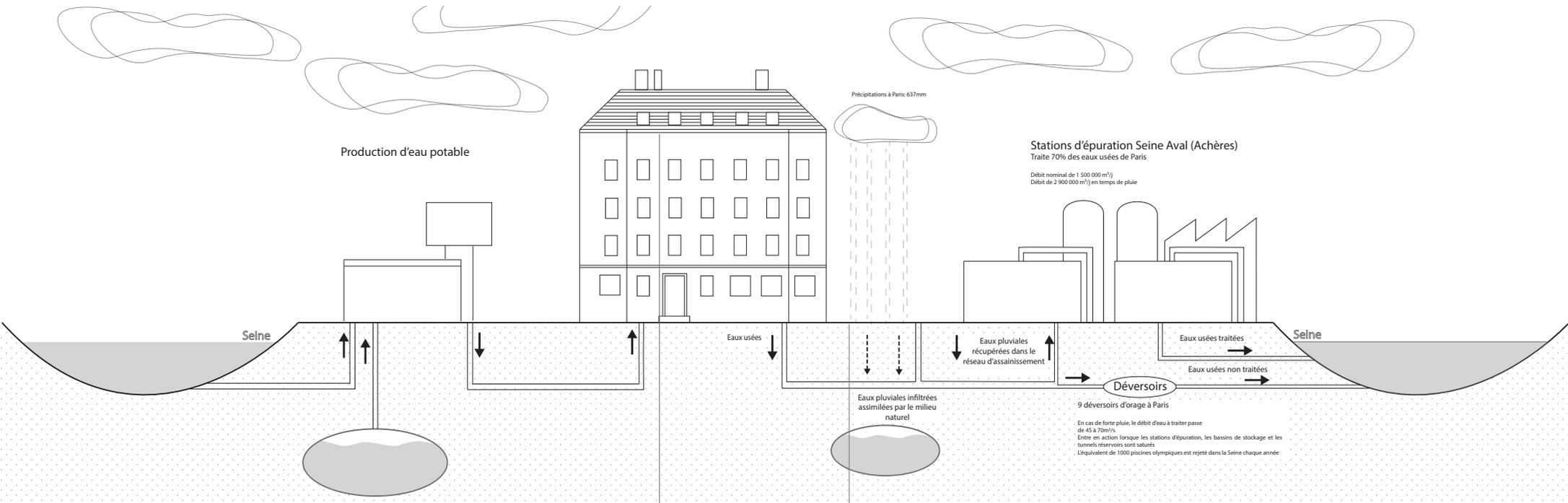
Méthode Porchet

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la perméabilité d'un sol. La méthode Porchet consiste à creuser un trou dans le sol d'environ 50CM de profondeur et 15CM de diamètre. Il faut ensuite remplir cette cavité de plusieurs dizaines de centimètres d'eau, en faisant en sorte de maintenir un niveau constant, pendant 4 heures afin de saturer le sol.

On mesure la baisse de niveau de l'eau, puis on évalue pendant 10 minutes la quantité nécessaire pour continuer à maintenir un niveau constant. On obtient ainsi, en recréant les conditions de saturation du sol, les capacités d'infiltration du sol, et ainsi le coefficient de perméabilité K (m/s).



SITUATION EXISTANTE



Stations d'épuration Seine Aval (Achères)
 Traite 70% des eaux usées de Paris
 Débit nominal de 1 500 000 m³/j
 Débit de 2 900 000 m³/j en temps de pluie

9 déversoirs d'orage à Paris
 En cas de forte pluie, le débit d'eau à traiter passe de 45 à 70m³/s
 Entre en action lorsque les stations d'épuration, les bassins de stockage et les tunnels réservoirs sont saturés
 L'équivalent de 1000 piscines olympiques est rejeté dans la Seine chaque année

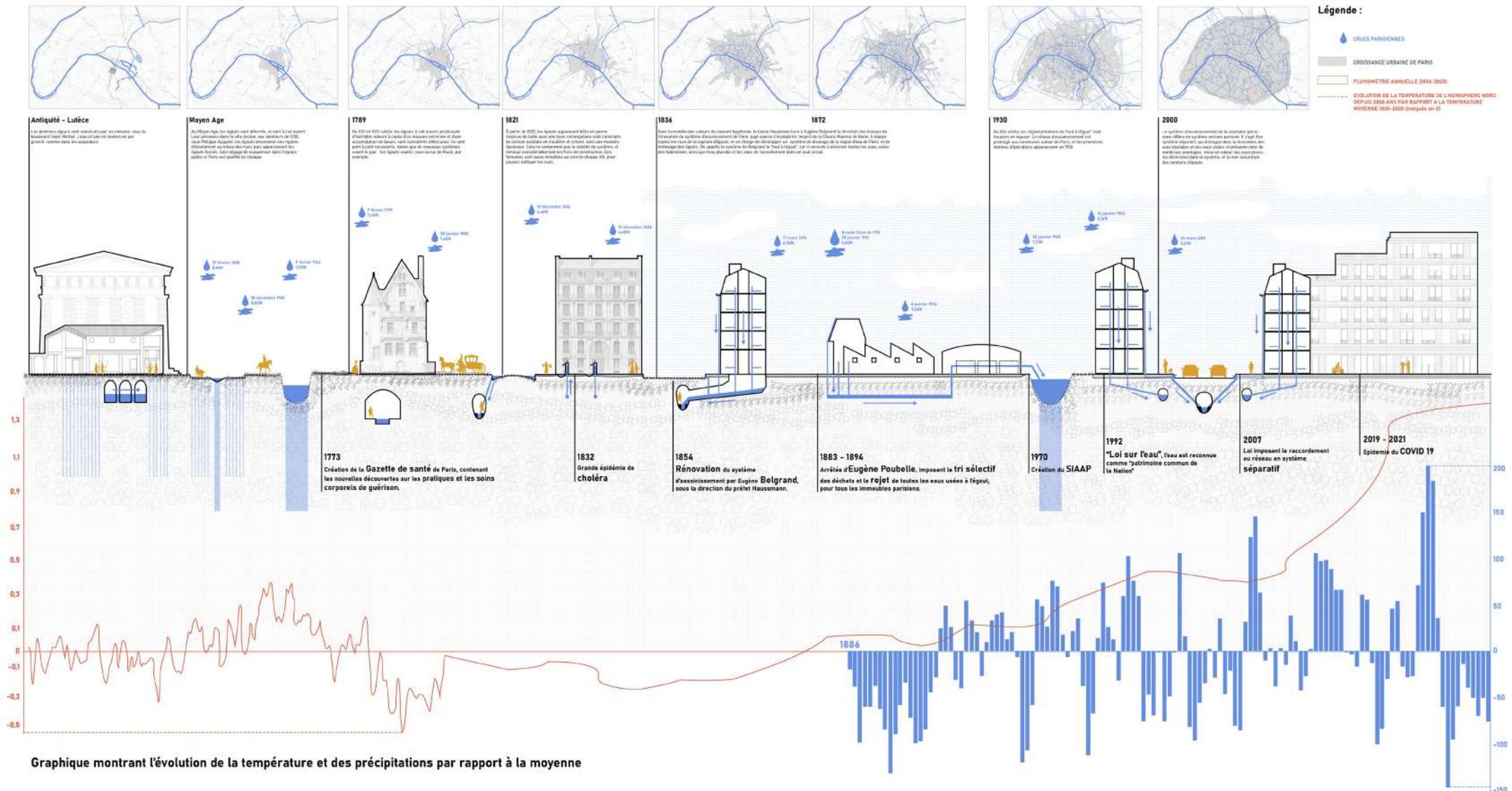
Systèmes de récupération des eaux pluviales

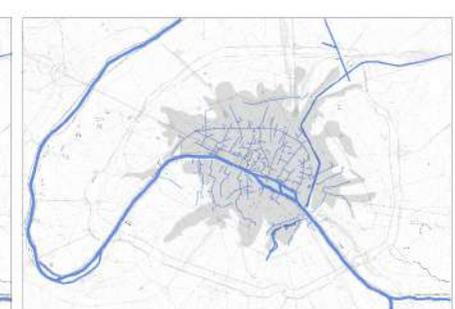
<p>Toitures végétalisées</p> <p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> Peu onéreux Facilité de mise en place Faible entretien Grande biodiversité Assure une protection thermique <p>Inconvénients</p> <ul style="list-style-type: none"> Bien gérer l'étanchéité Faible volume stocké 	<p>Tranchées drainantes</p> <p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> Peu onéreux Facilité de mise en place Faible emprise au sol <p>Inconvénients</p> <ul style="list-style-type: none"> Risque de colmatage 	<p>Puits de filtrations</p> <p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> Peu onéreux Facilité de mise en place Adapté aux faibles pluies récurrentes <p>Inconvénients</p> <ul style="list-style-type: none"> Rapidement saturé en cas de forte pluie 	<p>Noues d'infiltration et de rétention</p> <p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> Peu onéreux Facilité de mise en place Possibilité d'associer avec phytoépuration Grande biodiversité <p>Inconvénients</p> <ul style="list-style-type: none"> Emprise au sol Risque de débordement 	<p>Phytoépuration</p> <p>Avantages</p> <ul style="list-style-type: none"> Peu onéreux Facilité de mise en place Faible voire aucun entretien nécessaire Grande biodiversité <p>Inconvénients</p> <ul style="list-style-type: none"> Requiert une large surface Processus de filtration en plusieurs semaines
--	--	--	--	---

Schéma montrant le processus de distribution et d'assainissement des eaux selon le système unitaire, ainsi que les différentes interventions possible au sein du petit cycle de l'eau

Nous regardons vers le passé afin de comprendre comment le système d'assainissement a évolué au cours du temps : on comprend alors qu'il est intrinsèquement lié à la perception et à la pensée de la société (courant hygiéniste, lois, normes, épidémie), et qu'il transforme ainsi la présence visuelle et sensorielle de l'eau ainsi que sa gestion dans le tissu urbain. De l'infiltration et du ruissellement naturel jusqu'au système actuel sous forme de tuyaux, la gestion de cette eau souterraine dans la ville de Paris concerne aussi des enjeux écologiques et climatiques. La distribution et l'évacuation des eaux devient de plus en plus contrôlée et localisée (à l'intérieur des tuyaux), et les sols de plus en plus imperméabilisés, encouragés par l'étalement urbain de la capitale. Une gestion différente de l'eau dans Paris pourrait apporter des solutions à plusieurs problèmes actuels et futurs, tant la présence de l'eau est primordiale en ville.

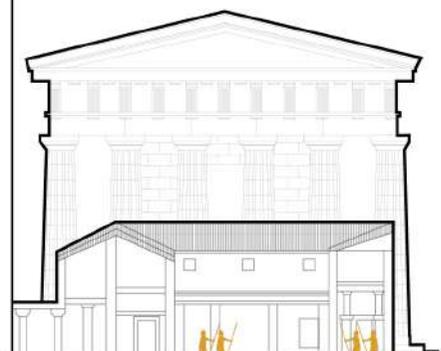
Timeline : Evolution des sols et du système d'assainissement parisien de Lutèce jusqu'à nos jours





Antiquité - Lutèce

Les premiers égouts sont construits par les romains, sous le boulevard Saint-Michel. L'eau circule en souterrain par gravité, comme dans les aqueducs.



Moyen Age

Au Moyen Age, les égouts sont déterrés, et sont à ciel ouvert. Leur présence dans la ville évolue: aux alentours de 1200, sous Philippe Auguste, les égouts deviennent des rigoles découlant au milieu des rues, puis apparaissent les égouts fossés. Cela dégage de la place dans l'espace public et Paris est qualifié de ctoaque.



1789

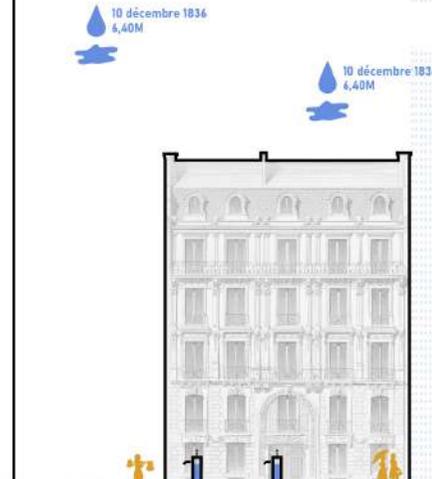
Au XVI et XVIII siècle, les égouts à ciel ouvert, produisant d'horribles odeurs à cause d'un mauvais entretien et d'une accumulation de boues, sont considérés défectueux. Ils sont petit à petit recouverts, tandis que de nouveaux systèmes voient le jour: les égouts voutés, sous la rue de Rivoli, par exemple.



1773
Création de la **Gazette de santé** de Paris, contenant les nouvelles découvertes sur les pratiques et les soins corporels de guérison.

1821

À partir de 1820, les égouts auparavant bâtis en pierre massive de taille avec une base rectangulaire sont construits de section ovoïdale en meulière et ciment, avec une moindre épaisseur. Cela ne compromet pas la solidité du système, et diminue considérablement les frais de construction. Des fontaines sont aussi installées au coin de chaque îlot, pour pouvoir nettoyer les rues.

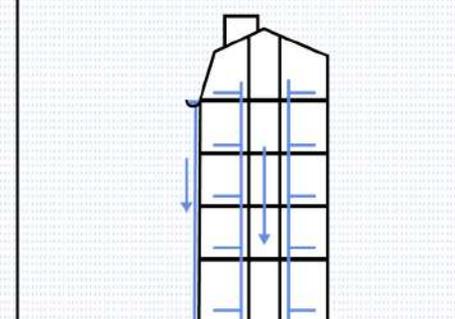


1832
Grande épidémie de **choléra**

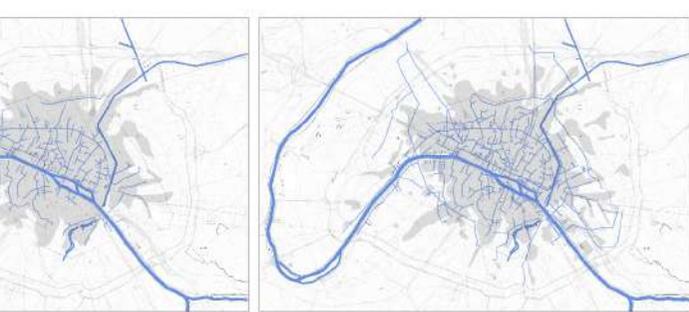
1836

Avec la montée des valeurs du courant hygiéniste, le baron Hausmann livre à Eugène Belgrand le projet de rénovation du système d'assainissement de Paris, jugé source d'insalubrité. Inspiré par toutes les rues de la capitale d'égouts, et se charge de développer un système de nettoyage des égouts. On appelle le système de Belgrand le "tout à l'égout", car il collecte les eaux usées des habitations, ainsi que l'eau pluviale et les eaux de ruissellement dans un seul et même réseau.

LE 10 DÉCEMBRE 1836, LA VILLE DE PARIS ADOpte UN NOUVEAU SYSTÈME D'ÉGOUTS. C'EST LE "TOUT À L'ÉGOUT".

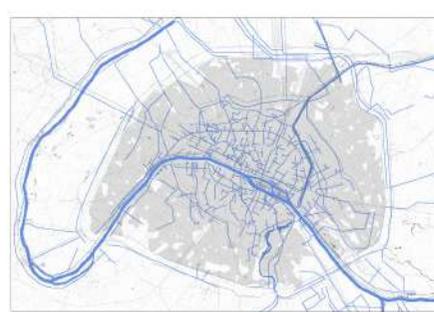


1854
Rénovation du système d'assainissement par Eugène **Belgrand**, sous la direction du préfet Haussmann.



1872

Le directeur hygiéniste, le baron Haussmann livre à Eugène Belgrand la direction des travaux de Paris, jugé source d'insalubrité. Inspiré de la Cloaca Maxima de Rome, il équipe Paris de collecteurs, et se charge de développer un système de drainage de la nappe d'eau de Paris, et de mettre en œuvre le système de Belgrand le "tout à l'égout", car il consiste à déverser toutes les eaux usées domestiques et les eaux de ruissellement dans un seul circuit.



1930

Au XXe siècle, les réglementations du "tout à l'égout" sont toujours en vigueur. Le réseau d'assainissement est prolongé aux communes autour de Paris, et les premières stations d'épurations apparaissent en 1930.

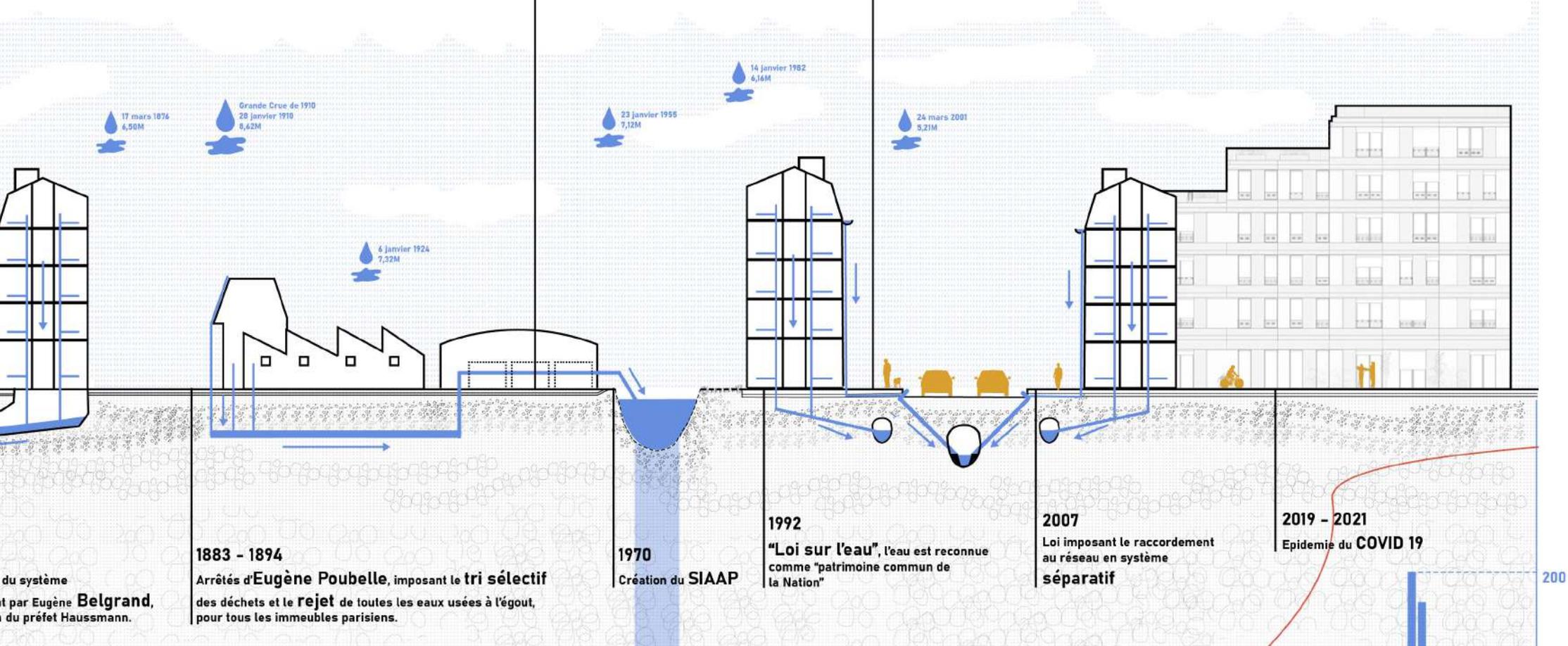


2000

Le système d'assainissement de la couronne parisienne diffère du système unitaire parisien. Il s'agit d'un système séparatif, qui distingue donc la descente des eaux pluviales et des eaux usées, et présente donc de nombreux avantages : mise en valeur des eaux pluviales déversées dans le système, et la non-saturation des conduits d'égouts.

Légende :

-  CRUES PARISIENNES
-  CROISSANCE URBAINE DE PARIS
-  PLUVIOMETRIE ANNUELLE (1886-2020)
-  EVOLUTION DE LA TEMPERATURE DE L'HEMISPHERE NORD DEPUIS 2000 ANS PAR RAPPORT A LA TEMPERATURE MOYENNE 1000-2000 (indiquée en 0)



Zoom sur la timeline

La situation existante montre bien qu'il existe plusieurs facteurs à considérer afin de répondre à la question des failles du système unitaire, ainsi que sa conception, sa présence et son expression au sein de l'espace urbain et des sols. Tout d'abord, où se situer dans le petit cycle de l'eau? En effet, il est possible de s'attaquer au surplus d'eau de pluie et de ruissellement pluvial avant son entrée dans les bouches des égoûts, afin de retarder et éviter la saturation du réseau, et ainsi interrompre les deversoirs dans leur déversement des eaux polluées vers la Seine. D'un autre côté, il existe une posture en aval du système d'assainissement, qui consiste à purifier l'eau polluée avant sa descente dans les courants naturels. Une autre question se pose : où se placer par rapport aux solutions existantes? Afin de comprendre l'envergure et le potentiel des dispositifs actuels permettant de répondre à la saturation du réseau d'assainissement, nous avons donc décidé de constituer une boîte à outils, contenant ces différentes solutions possibles, et de les analyser.

Phytoépuration :

La phytoépuration, ou filtre planté, est un système d'assainissement naturel basé sur la dégradation des particules organiques par les bactéries contenues dans les racines des plantes. Ces particules forment alors une boue facilement assimilable par le milieu naturel.

Un filtre planté se décompose en deux parties : les eaux usées traversent d'abord un bassin à filtration horizontale, par lequel les plus larges particules sont récupérées, puis un bassin à filtration verticale, où les particules plus fines sont dégradées.

Il s'agit d'une solution performante pour plusieurs raisons : ce système ne consomme pas d'énergie, est peu onéreux à installer et requiert peu d'entretien. Une simple vidange est nécessaire pour évacuer les boues qui se sont formées. Celles-ci peuvent ensuite servir d'engrais.

Cependant, la phytoépuration est une technique extensive, il faut compter entre 2 et 4m² de filtre par équivalent habitant (quantité d'eaux usées produites par un individu). Cette solution est autant répandue à l'échelle individuelle que collective. En effet, Veolia a par exemple développé une usine d'assainissement fonctionnant par phytoépuration appelée « Organica » et installée dans plusieurs pays (France, Hongrie, Chine,...).

Tranchée drainante :

Une tranchée drainante est peu onéreuse et facile à installer. Contrairement à la phytoépuration, elle a une faible empreinte au sol car c'est un système situé à la surface du sol. Constituée notamment de graviers entourant un tube en PVC. Le principal inconvénient est donc l'entretien du drain afin d'éviter tout colmatage. Les eaux pluviales sont accumulées puis lentement dispersées dans le milieu naturel.

Puit d'infiltration :

Plus adapté en cas de pluies récurrentes qu'une tranchée drainante, un puit d'infiltration fonctionne de manière équivalente, les eaux pluviales sont récupérées dans un puit en PVC entouré de graviers.

Noue d'infiltration :

La noue d'infiltration représente sûrement le système le plus simple de favoriser la récupération des eaux pluviales et le rechargement des nappes phréatiques. Un simple mouvement de terre est nécessaire à son installation. Elle peut être engazonnée et plantée de diverses espèces végétales. Etant un milieu totalement naturel, aucun entretien n'est nécessaire. L'eau est stockée à l'air libre, ce qui permet de lutter contre les îlots de chaleur urbains. Si le terrain est peu propice à l'infiltration, la noue associée à un exutoire sert de bassin tampon et peut être reliée à un système de phytoépuration.

Toiture végétalisée :

Une toiture végétalisée est un système de récupération d'eaux pluviales plus complexe que les exemples cités ci-dessus mais reste peu onéreux, facile à installer et à entretenir. Elle est composée d'un substrat dont l'épaisseur varie en fonction des végétaux qui y sont plantés, il repose sur un filtre, un drain, puis une couche d'étanchéité, un pare-vapeur et un isolant, de manière à ne pas dégrader la structure portante. Selon la taille du substrat on distingue trois types de toitures végétalisées, de la moins à la plus épaisse on parle de toiture extensive, semi-extensive puis intensive.

Elle sert également de protection thermique pour le bâtiment sur lequel elle s'implante, que ce soit de manière horizontale ou verticale, on parle dès lors de « Living wall » ou « Mur biodiversitaire ».

Néanmoins, elle ne peut stocker qu'un volume d'eau relativement limité, il est donc recommandé d'en implanter sur de larges terrasses.

Reservoir :

Une des techniques les plus intuitives qui consiste simplement en la réalisation d'une cuve pouvant récupérer de l'eau de pluie. Les réservoirs sont alimentés en eau de pluie et peuvent être reliés en sortie à un autre système qui permettrait son prélèvement (arrosage) ou aux égouts.

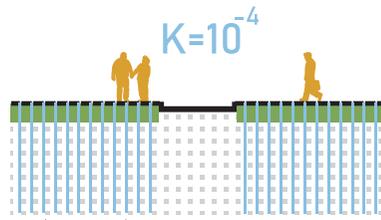
Fontaine d'eau de pluie :

Ces fontaines viendraient se greffer soit aux gouttières de bâtiments soit disposerait d'une toiture de récupération pour collecter puis redistribuer l'eau de pluie. Une filtration est réalisée en amont de son rejet par différents filtres (charbon, sable,...) pour que l'eau puisse être utilisée pour l'arrosage des jardins privés et des parcs publics.

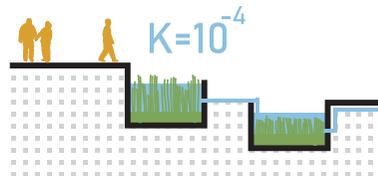
Ces solutions sont représentées sous formes de logos ou diagrammes, dans la page suivante, ainsi que leur coefficient de perméabilité : on visualise ainsi le "panel" total de typologie et de stratégies disponibles afin de répondre à la problématique du système d'assainissement et de la perméabilisation des sols urbains. Les solutions sont aussi dotées pour certaines d'une qualité paysagère, et rappellent l'importance de la présence de l'eau en ville.

BOITE A OUTILS

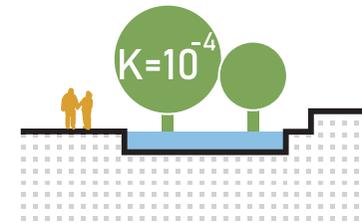
Ce document présente les différentes solutions existantes pour la gestion des eaux de pluie et pluviales dans un contexte urbain. Comme expliqué auparavant, ces solutions restent conceptuelles et exprimées sous forme de diagrammes : elles doivent donc se combiner et s'adapter aux différents sites où elles seront implantées, et présentent chacun des avantages et des inconvénients bien spécifiques. Ces solutions invoquent les actions de filtrer, diriger, récolter, retenir, conserver, utiliser, épurer, réintroduire, absorber l'eau. Sur les plus courantes sont indiqués les coefficients K de perméabilité respectif (dans la précision de l'ordre de grandeur) afin de pouvoir visualiser, de manière hypothétique, leur impact sur la perméabilisation des sols en ville. Une grande partie de ces solutions sont mentionnées dans le Plan Paris Pluie



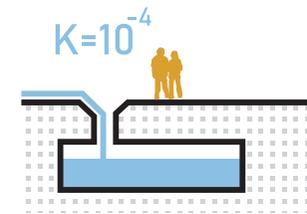
Pavés enherbés



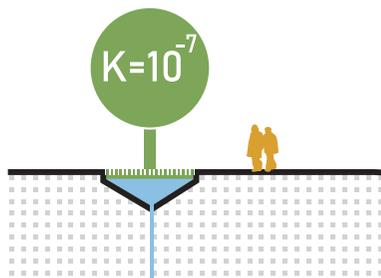
Phytoépuration



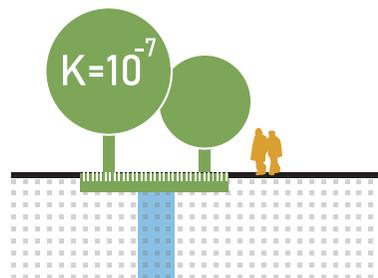
Water Square



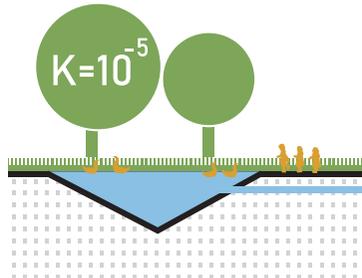
Fosse de filtration



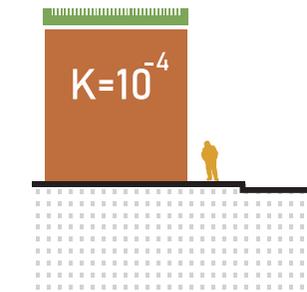
Fosse d'arbre



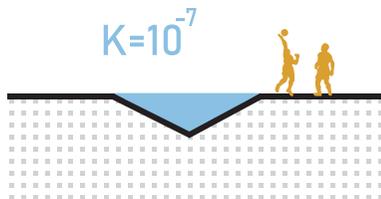
Espaces végétalisés infiltrants



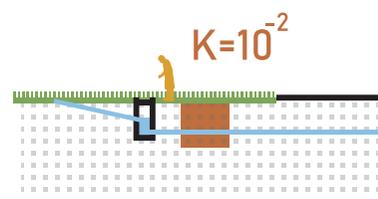
Bassin de rétention



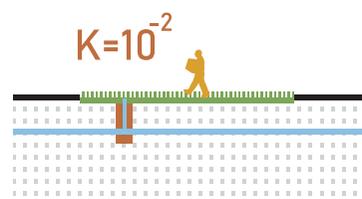
Toiture végétalisée



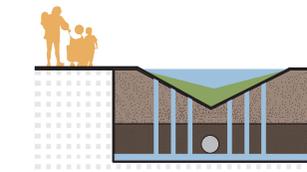
Noue



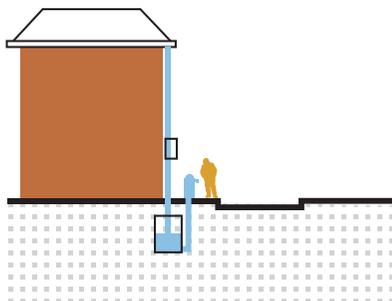
Puits de filtration



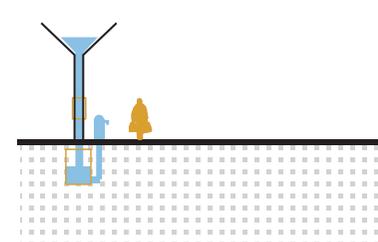
Tranchée drainante



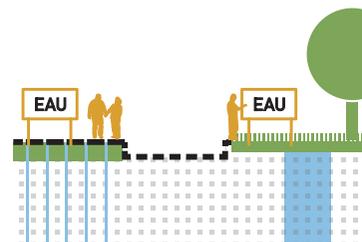
Noue drainante



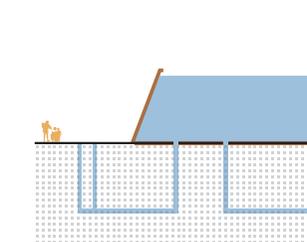
Fontaine d'eau pluviale privée



Fontaine de filtration d'eau de pluie



Parcours didactique



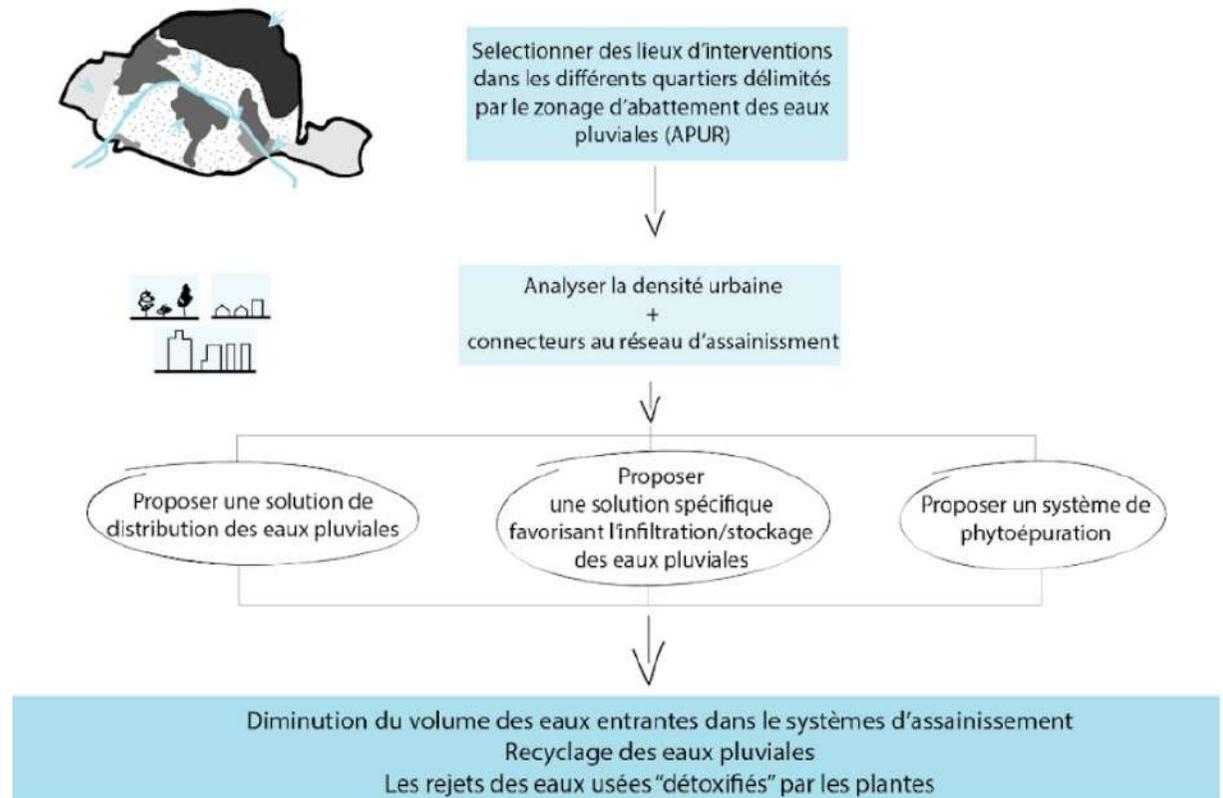
Réservoir

Notre stratégie consiste donc à établir dans un premier temps une panoplie de dispositifs de gestion des eaux pluviales et de pluie, qui peuvent agir comme des solutions aux problématiques du système d'assainissement unitaire saturé lors des périodes de fortes précipitations, mais aussi à celle de l'artificialisation croissante des sols en ville, induisant indirectement le réchauffement urbain et l'évacuation toujours plus importante de l'eau pluviale dans les égouts et plus loin l'évacuation des eaux usées et polluées dans les milieux naturels environnants.

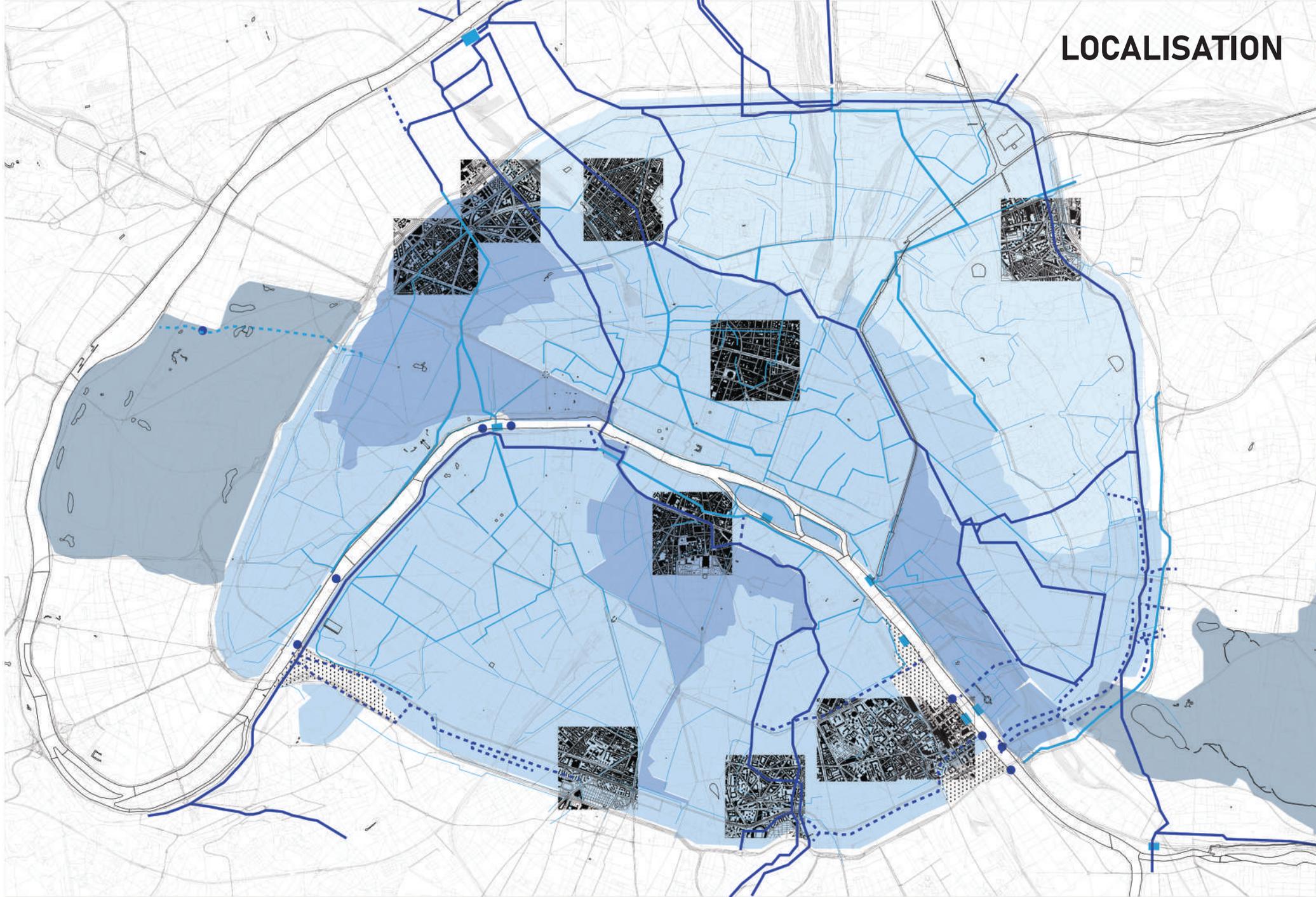
Pour ce faire nous avons commencé par comprendre comment le traitement de l'eau pluviale est envisagé pour Paris, en consultant les projets de Eau de Paris, et de la SIAAP, notamment celui du Plan Paris Pluie, qui vise à valoriser la présence de l'eau de pluie dans la ville en réduisant sa descente dans le réseau d'assainissement. A l'aide de ce Zonage Pluvial, nous redessinons la carte de Paris afin de déterminer des lieux intéressants sur lesquels nous pouvons insérer et mettre à l'épreuve les solutions exposées dans notre boîte à outils. Comme ces solutions interviennent sur l'espace urbain en surface, mais aussi dans la profondeur du sol et du sous-sol, il est important de les confronter à la réalité urbaine où elles vont se situer. Nous avons donc décidé de coupler le zonage pluvial à une lecture de la densité urbaines des différents sites sur Paris, notamment dans une comparaison entre les arrondissement du centre, où le bâti est très concentré, et les arrondissement à proximité du périphérique, où la densité de bâti est beaucoup moins importante, et où on retrouve une plus grande disponibilité d'espaces.

Ensuite, il s'agit tout simplement de proposer une combinaison de solutions et de dispositifs permettant d'abattre l'eau de pluie selon les objectifs du zonage pluvial, et donc l'empêcher de s'introduire dans les tuyaux d'assainissement. Ces solutions se déclinent dans la majorité des cas sous trois facettes : la redistribution des eaux pluviales, l'infiltration et/ou la collecte, et enfin la phytoépuration des eaux polluées et grises.

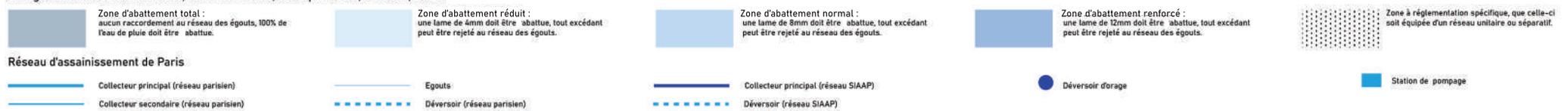
Ainsi, à travers la proposition de dispositifs sur les sites sélectionnés, nous espérons apprendre comment diminuer le volume des eaux entrantes dans le système d'assainissement, et ainsi prévenir sa saturation lors des saisons de précipitations accrues.



LOCALISATION



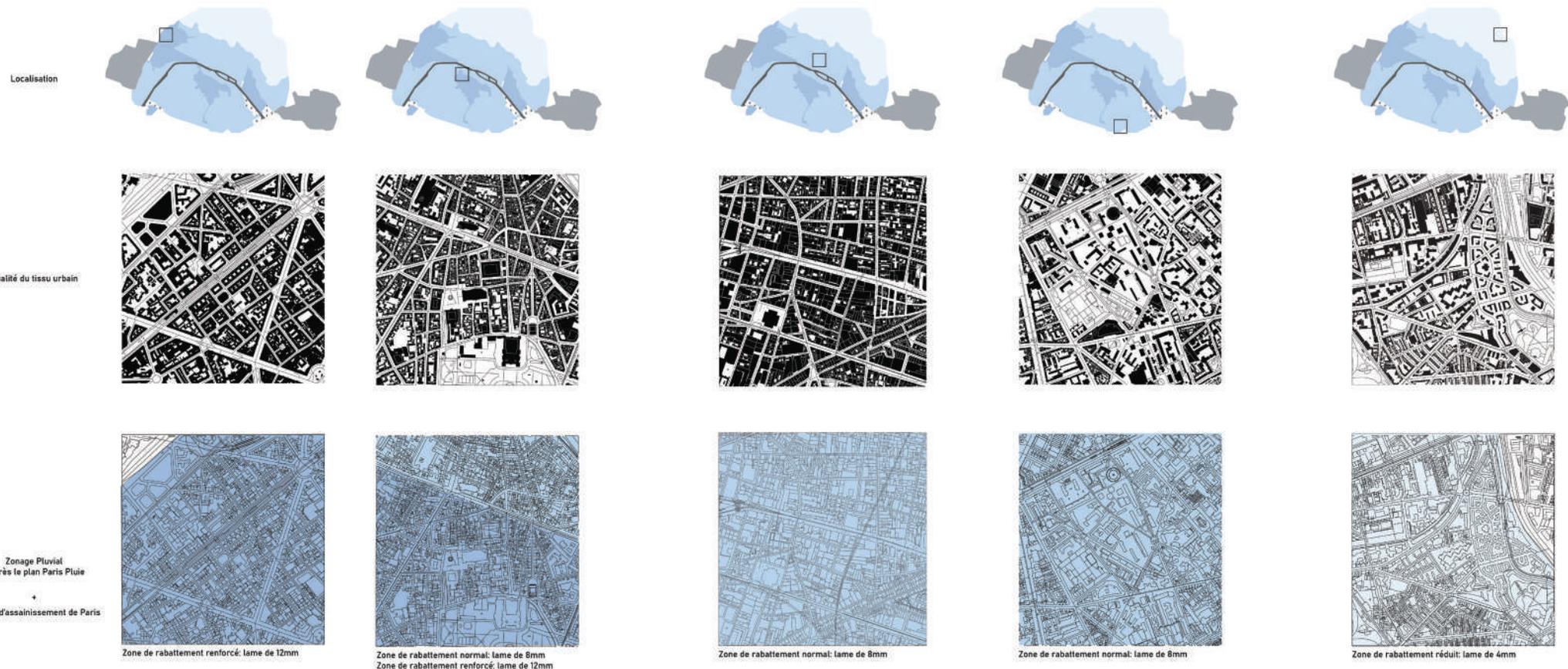
Zonage Pluvial de la ville de Paris, Plan Paris-Pluie, carte par APUR, échelle 1/20000



INTERVENTIONS

Nous avons sélectionné nos sites d'interventions selon leur localisation dans Paris, mais aussi par rapport à deux caractéristiques principales leur classification selon le Zonage Pluvial du Plan Paris Pluie (zone d'abatement intense, moyenne, faible, etc), c'est à dire des zones avec un objectif d'abatement de l'eau de pluie qu'il est nécessaire de retirer du réseau afin de ne pas le surcharger; et aussi, en parallèle, les particularité du tissu urbain, la densité du bâti par rapport à la disponibilité d'espaces libres. Ainsi nous superposons sur la carte de Paris, la carte du bâti à celle du réseau d'assainissement et du Zonage Pluvial, pour tenter de réfléchir le rapport et faire une mise en relation entre l'espace urbain et l'eau.

Nous avons donc choisi de traiter de manière schématique, et conceptuelle quatre sites parmi les 5 que nous avons repérés ci-dessous. Ces sites représentent une panoplie de typologies variées, qui convoquent à la fois des densités de bâti importante, moyenne et faible, et des réglementation de zonage pluvial intense, moyenne et faible. Ainsi, nous obtenons une base de typologies qui représentent bien les différentes combinaison entre espace disponible et objectif de zonage pluvial.



INTERVENTIONS



Zone de rabattement normal: lame de 8mm
Zone de rabattement renforcé: lame de 12mm



Site : Rue de Tournon, Paris 75007

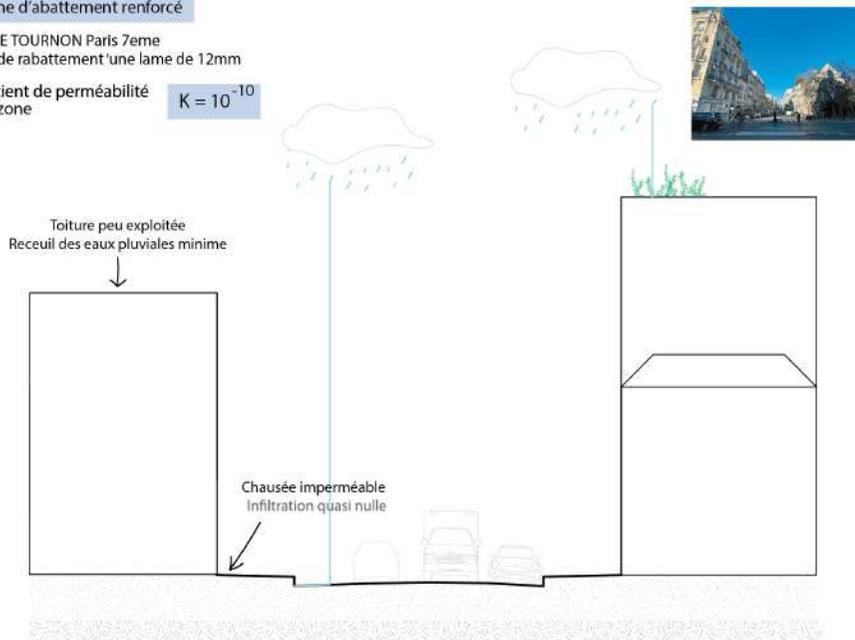
Cette rue est un espace où l'infiltration de l'eau est entravée par l'artificialisation importante des sols. La chaussée piétonne est très étroite, en enrobé, et ne présente aucun arbre, ce qui rend sa perméabilité nulle. Les immeubles haussmannien sont tous mitoyens, et sont placés autour de deux grandes voies automobiles.

Les solutions envisageables sont donc de végétaliser et de remplacer les matériaux de revêtement de la chaussée par des matériaux permettant l'infiltration de l'eau pluviale et de pluie.

zone d'abattement renforcé

RUE DE TOURNON Paris 7eme
Zone de rabattement'une lame de 12mm

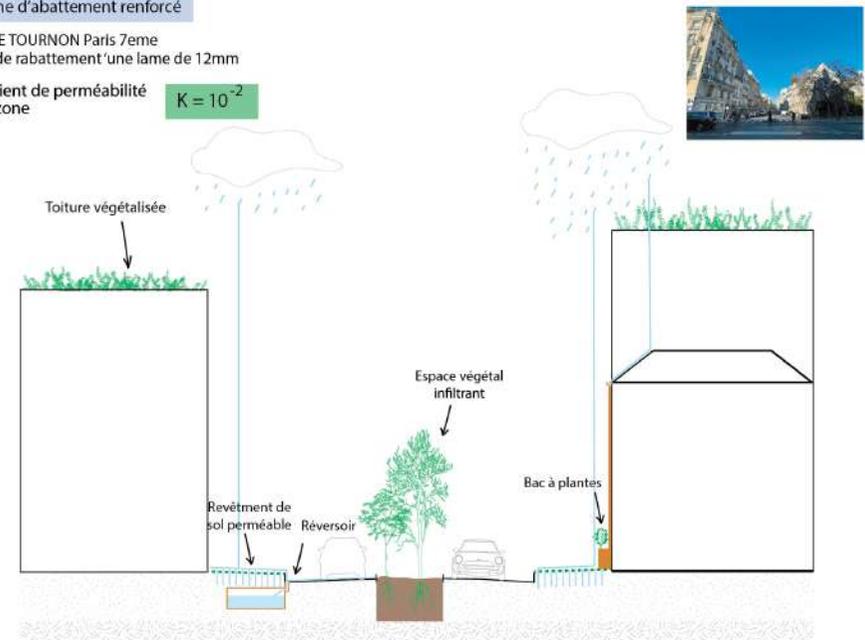
coefficient de perméabilité de la zone $K = 10^{-10}$



zone d'abattement renforcé

RUE DE TOURNON Paris 7eme
Zone de rabattement'une lame de 12mm

coefficient de perméabilité de la zone $K = 10^{-2}$



INTERVENTIONS



Zone de rabattement normal: lame de 8mm
Zone de rabattement renforcé: lame de 12mm



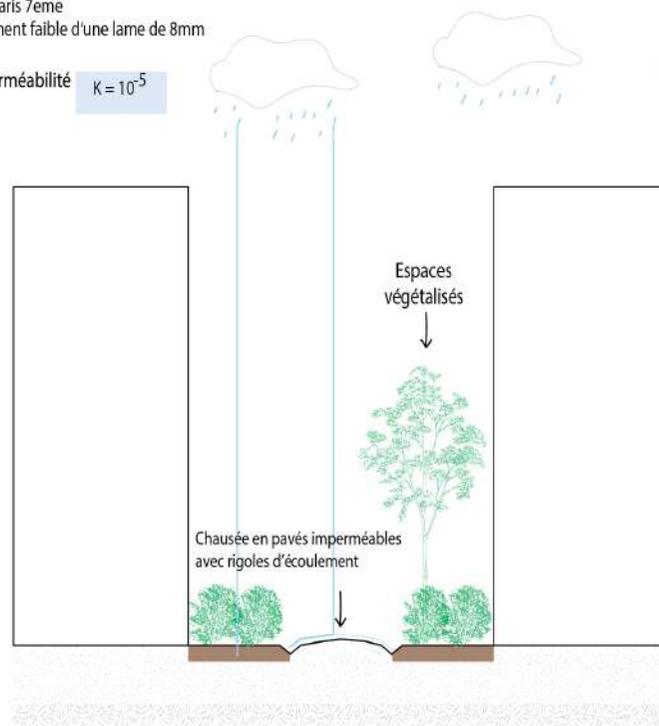
Site : Rue Mazarine, Paris 75007

Ce site est une grande cour à l'intérieur d'un îlot au centre de Paris, qui joue aussi le rôle de passage pour les piétons. Elle présente des qualités matérielles et architecturales qui permettent la redirection des eaux de pluie vers les égouts, en effet on y remarque une chaussée en pavés imperméables avec au centre des rigoles d'écoulement menant vers des bouches d'évacuation.

Ici, il serait intéressant comme précédemment de perméabiliser les pavés, et potentiellement de végétaliser les toitures, les immeubles autour de la cour étant de deux ou trois étages uniquement. Une autre possibilité serait d'utiliser la rigole d'écoulement pour récupérer/capter les eaux de pluie afin de les utiliser pour l'arrosage des plantes ou le nettoyage de la chaussée, en installant un réservoir sous la cour.

RUE MAZARINE Paris 7eme
Zone de rabattement faible d'une lame de 8mm

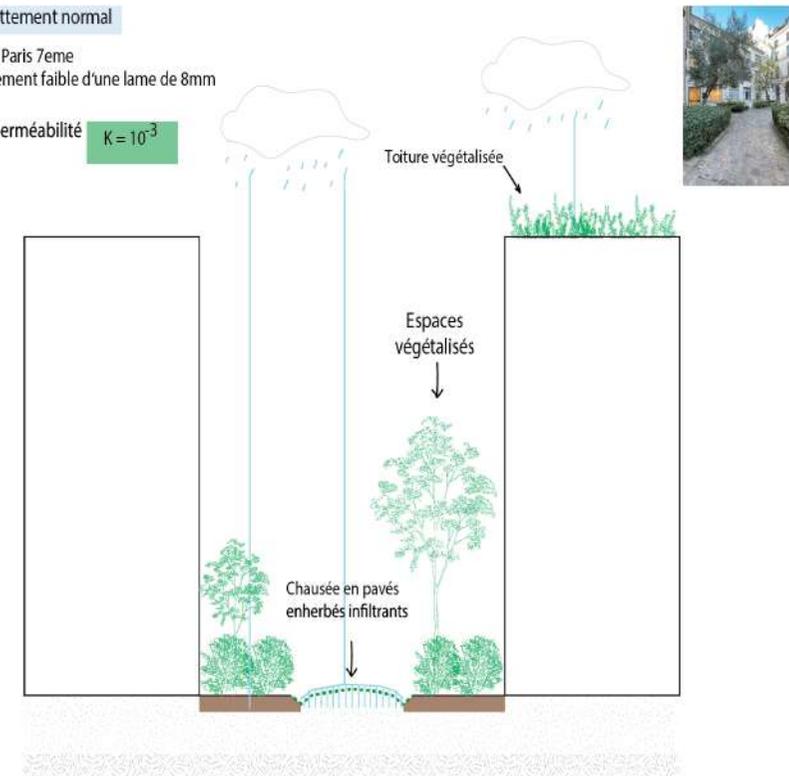
coefficient de perméabilité de la zone $K = 10^{-5}$



zone d'abattement normal

RUE MAZARINE Paris 7eme
Zone de rabattement faible d'une lame de 8mm

coefficient de perméabilité de la zone $K = 10^{-3}$



INTERVENTIONS



Zone de rabattement normal: lame de 8mm



Site : Boulevard Massena, Paris 75013

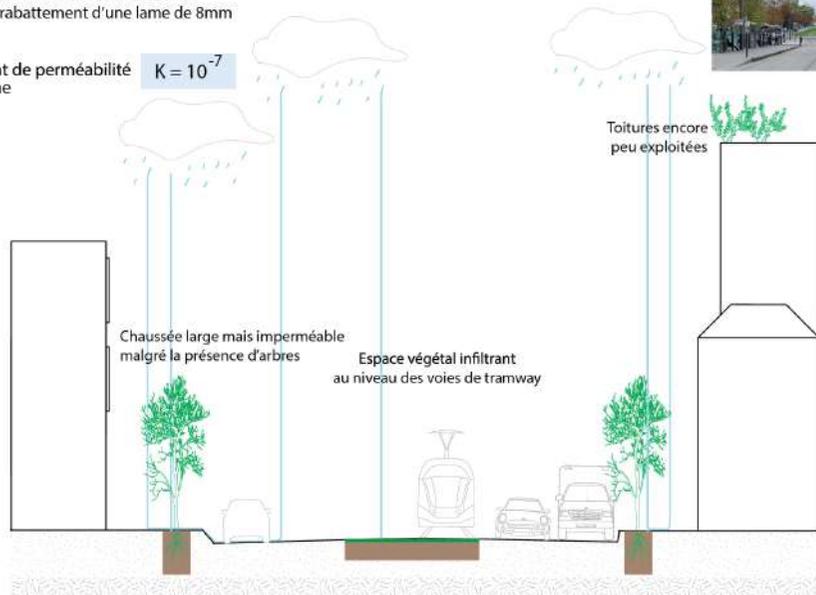
Le boulevard Massena offre plus d'espaces que les interventions précédentes. Sa particularité est la présence des rails de tramway entre deux grandes voies automobiles. Ses trottoirs sont considérablement plus spacieux que ceux dans le centre de Paris, et ses bâtiments ont des vues bien dégagées.

On imagine la mise en place d'interventions un peu plus conséquentes : noue infiltrante ou encore tranchée souterraine drainante, ainsi que la perméabilisation de la chaussée ainsi que la végétalisation des toits ou façades.

zone d'abattement normal

BOULEVARD MASSENA, Paris 13eme
Zone de rabattement d'une lame de 8mm

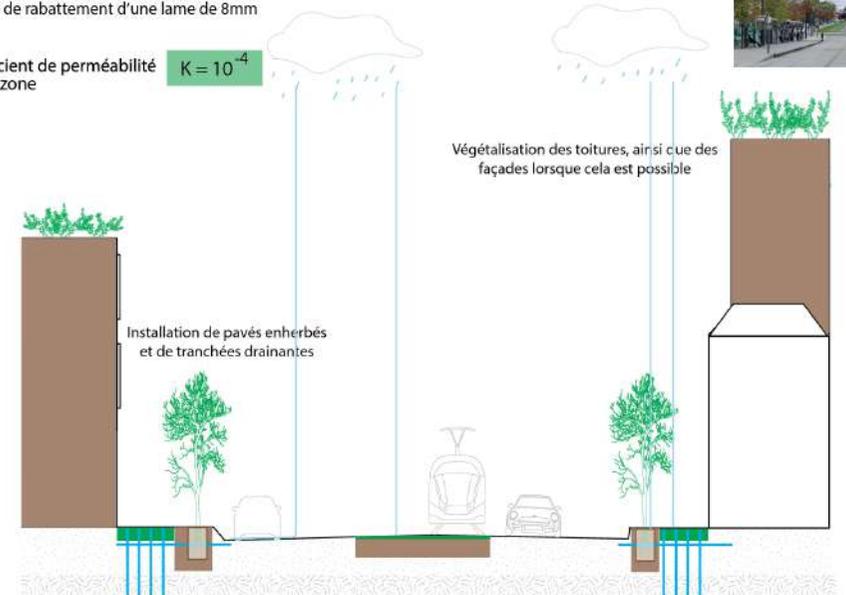
coefficient de perméabilité de la zone $K = 10^{-7}$



zone d'abattement normal

BOULEVARD MASSENA, Paris 13eme
Zone de rabattement d'une lame de 8mm

coefficient de perméabilité de la zone $K = 10^{-4}$



INTERVENTIONS



Zone de rabattement réduit: lame de 4mm



Site : Avenue de la Porte Chaumont, Paris 75019

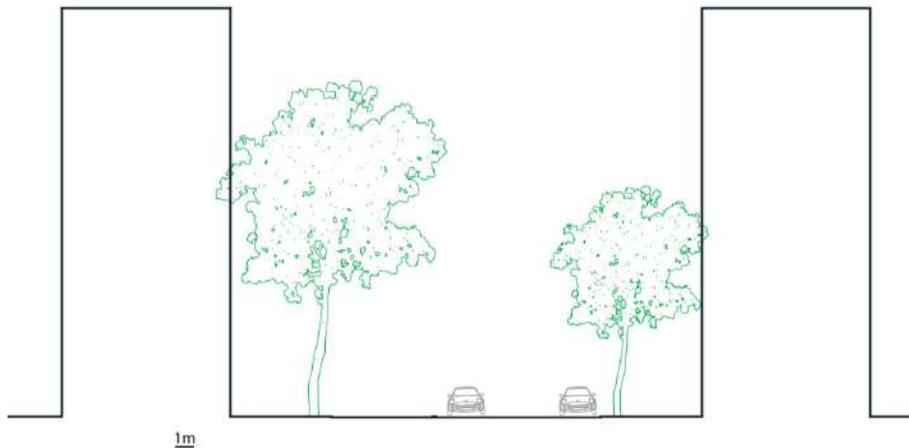
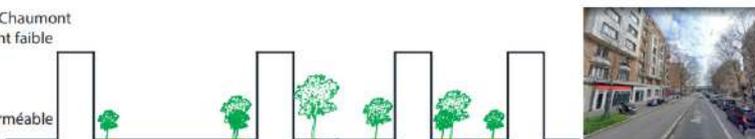
Cette avenue possède le plus de surface utilisable parmi les sites choisi précédemment. Pourtant, sa large chaussée piétonne reste imperméabilisée.

Ici, les solutions sont plus facilement combinables, par présence de surface : on peut alors associer des pavés enherbés, à des zones végétalisées et des fosses d'arbres. Des noues infiltrantes et des tranchées peuvent aussi être intégrées au sous-sol de l'avenue.

Avenue de la porte Chaumont
Zone de rabattement faible

$$K = 10^{-8}$$

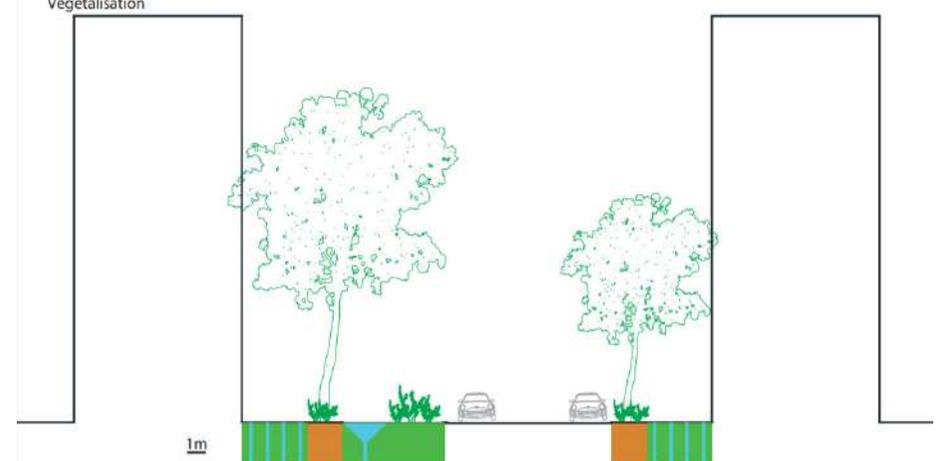
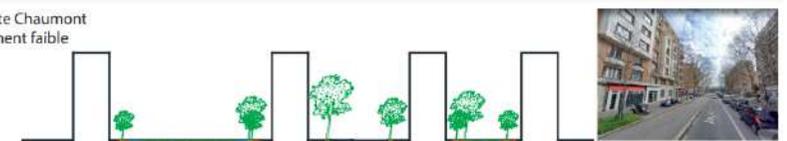
Sol minéral imperméable
Végétalisation



Avenue de la porte Chaumont
Zone de rabattement faible

$$K = 10^{-5}$$

Pavés enherbés
Noue
Végétalisation



Nous proposons de spatialiser notre processus de conception, et d'intervention sur le tissu urbain, à l'aide d'une maquette conceptuelle, qui pourrait se combiner et se recombinaison de différentes manières, et devenir un jeu à qualité éducative et pédagogique pour des enfants ou encore pour les différents acteurs de la ville.

Cette maquette est constituée de plusieurs petits modules, représentant chacun une typologie d'intervention en rapport avec la gestion de l'eau dans la ville. Les différents matériaux et couleurs utilisés servent à évoquer ceux de la ville d'aujourd'hui ; le noir et le beige en carton lisse sont les revêtements imperméables, le carton de couleur marron rappelle la pleine terre et le sol des espaces végétalisés, et les cartons de couleurs sont utilisés pour exprimer la présence de l'eau, les arbres, ainsi de suite.

On peut alors représenter la ville en associant les modules de la maquette les uns aux autres, et ensuite y introduire différentes typologies d'interventions, essayer plusieurs combinaisons de manière ludique et conceptuelle, pour ainsi simuler les différents scénarios de la gestion de l'eau dans la ville. Cette maquette peut donc permettre à chacun de s'appropriier la ville et d'apprendre les différents positionnements ou opinions vis-à-vis de la présence de l'eau dans la ville.



RETOUR PERSONNEL

Ce développement était une opportunité pour nous de découvrir les questions de la présence, le rôle et l'importance de l'eau dans la ville. Il s'agit en effet de questions que nous abordons légèrement lors de la conception en studio de projet, mais que nous n'avions pas encore considérées à l'échelle urbaine.

Ayant choisi une démarche qui propose de regarder en général le système de distribution et d'assainissement de l'eau dans le milieu urbain, nous avons pu évoquer et relier entre eux plusieurs enjeux - assainissement, urbanisation, perméabilité et artificialisation des sols, réchauffement et climatisation du tissu urbain, normes et mesures, et ainsi acquérir des connaissances sur les multiples facettes du système unitaire parisien. Cela nous a encouragé à synthétiser les enjeux et variables du système unitaire parisien, et à créer une collection de diagrammes explorant toutes les solutions de gestion des eaux pluviales possibles dans un contexte urbain. Le travail de timeline nous a aussi apporté beaucoup, et nous a permis d'apprécier l'évolution de la perception et de la présence de l'eau de l'antiquité jusqu'à nos jours, et ainsi avoir une vision plus complète et approfondie des prédécesseurs des goûts actuels de Paris. Nous avons aussi pu prendre conscience de l'importance du bon contrôle du système hydraulique de Paris, ainsi que de ces éventuels risques et failles, et leur conséquences sur l'environnement.

Malgré ses points positifs, le travail à une échelle globale possède des limites et des inconvénients.

Premièrement, il aurait été peut être opportun de nous concentrer dès le début sur un site spécifique, facilement arpentable afin que nous puissions dans le cadre de notre résolution du problème, avoir des propositions successives et itératives qui auraient permis d'affiner notre étude à une échelle plus détaillée. Notre travail aurait alors pu se détacher de son aspect conceptuel et diagrammatique, pour prendre forme réellement et devenir un projet d'intervention architecturale. Notre travail reste de ce point de vue un peu utopique, et décontextualisé, comme il ne se concentre pas sur un site bien spécifique. Dans un second temps la mise en relation de nos différents documents auraient pu être davantage complémentaires dans leur lisibilité vis à vis du regard d'un public non averti.

De plus, l'intervention sur Paris est un sujet difficile, et peut se présenter comme une contrainte face à l'inventivité et l'imaginaire des dispositifs d'interventions possibles. En effet, Paris est non seulement une ville très dense et très construite, où le bâti occupe une grande proportion des sols, il est tout aussi complexe de s'y implanter à cause de ses réglementations. Concrètement, les interventions doivent rester maigres en surface, même au niveau du sous-sol qui est aussi très occupé. En terme de faisabilité, les prototypes que nous avons proposés pourraient être envisageable, mais il reste difficile de les combiner, faute d'espace et de liberté réglementaire. La difficulté principale que nous avons rencontré est de s'écarter des solutions existantes et d'imaginer un prototype hors du commun, comme nous avons concentré notre travail sur la récolte et la représentation d'informations actuelles sur le réseau d'assainissement et sa relation avec les eaux pluviales et de pluie...

Enfin, il aurait été pertinent pour nous de réaliser une comparaison entre Paris et des autres villes du monde, afin d'en apprendre davantage sur les systèmes d'assainissement contemporains, ainsi que son tracé, sa conception, sa relation avec la ville, et ses dispositifs innovants dans le monde. Ainsi, nous aurions pu porter des conclusions plus approfondies et informées sur le système unitaire parisien, et tenter de le redessiner à la manière d'autres capitales.

Nous tenons enfin à remercier nos enseignants ainsi que les intervenant d'Eau de Paris pour leurs retours, qui nous ont beaucoup apporté.

BIBLIOGRAPHIE

- « 017-025.pdf ». Consulté le: 3 novembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <http://www.annales.org/ri/2000/05-2000/017-025.pdf>
- « 4945f4b9d6bc47ab9227eb82eb9fe68b.pdf ». Consulté le: 28 octobre 2021. [En ligne]. Disponible sur: <https://cdn.paris.fr/paris/2019/07/24/4945f4b9d6bc47ab9227eb82eb9fe68b.pdf>
- « Fiche_usines_SAM_2013.pdf ». Consulté le: 3 novembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.siaap.fr/fileadmin/user_upload/Siaap/3_Equipements/Les_usines/Seine_amont/Fiche_usines_SAM_2013.pdf
- « Fiche_usines_SAV_2013.pdf ». Consulté le: 3 novembre 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.siaap.fr/fileadmin/user_upload/Siaap/3_Equipements/Les_usines/Seine_aval/Fiche_usines_SAV_2013.pdf
- « Gestion des eaux pluviales à Landerneau ». Consulté le: 25 octobre 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.pays-landerneau-daoulas.fr/medias/2020/06/242900801_guide_ep_20200515.pdf
- « Schémas des réseaux d'eau et d'assainissements + schémas des systèmes d'élimination des déchets ». Consulté le: 25 octobre 2021. [En ligne]. Disponible sur: http://pluenligne.paris.fr/plu/sites-plu/site_statique_3/documents/52_Plan_Local_d_Urbanisme_de_Pa/73_Annexes_du_PLU/C_ANN2-V02.pdf
- « LE SIAAP - Traitement des eaux polluées par les activités humaines », CAPUI. <https://www.capui.org/le-siaap> (consulté le 3 novembre 2021).
- « Référentiel pour une gestion à la source des eaux pluviales dans la métropole – cahier 1 : Pourquoi une gestion à la source des eaux pluviales ? », p. 60.
- « La station d'épuration Organica ». <http://www.ccra.fr/La-station-Organica/92/> (consulté le 13 octobre 2021).
- « Grey Water Phytodepuration Systems Integrated in Flat Green Roofs – PDF Free Download ». <https://docplayer.net/15248058-Grey-water-phytodepuration-systems-integrated-in-flat-green-roofs.html> (consulté le 14 octobre 2021).
- « La Phytoépuration - Alec ». <https://www.alec-grenoble.org/6306-la-phytoepuration.htm> (consulté le 18 octobre 2021).
- « Organica, traiter les eaux usées par les plantes », Veolia. <https://www.veolia.com/fr/solutions/organica-traiter-eaux-usees-plantas> (consulté le 13 octobre 2021).
- « arb_grooves_bilan_partenaires_annee_1.pdf ». Consulté le: 10 octobre 2021. [En ligne]. Disponible sur: https://www.arb-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/ARB/Articles/fichiers/Toitures_vegetalisees_et_biodiversite_premiers_resultats_de_l_etude_GROOVES/arb_grooves_bilan_partenaires_annee_1.pdf
- Apur, « Préservation et valorisation de la ressource en eau brute - Une gestion parisienne des eaux pluviales », Apur, 24 novembre 2015. <https://www.apur.org/fr/nos-travaux/preservation-valorisation-ressource-eau-brute-une-gestion-parisienne-eaux-pluviales> (consulté le 10 novembre 2021).
- Apur, « Gérer les eaux pluviales à Paris, atlas du potentiel par bassin versant », Apur, 26 mai 2020. <https://www.apur.org/fr/nos-travaux/gerer-eaux-pluviales-paris-atlas-potentiel-bassin-versant> (consulté le 10 novembre 2021).
- E. Berthier, B. De Gouvello, F. Archambault, et D. Gallis, « Bilan hydrique des toitures végétalisées : vers de meilleures compréhension et modélisation », TSM, no 6, p. 39 47, 2010, doi: 10.1051/tsm/201006039.
- J. Hemminki, Ecologie des toitures végétalisées: Synthèse de l'étude grooves - Green roofs verified ecosystem services - 2017-2019. Paris cedex 15: L'INSTITUT PARIS REGION, 2021.
- L. rédaction, « Des toits végétalisés pour des villes plus durables », Blog Habitat Durable, 15 septembre 2020. <https://www.blog-habitat-durable.com/toits-vegetalises-villes-durables/> (consulté le 10 octobre 2021).

C. Rodriguez et al., « Indirect Potable Reuse: A Sustainable Water Supply Alternative », *Int J Environ Res Public Health*, vol. 6, no 3, p. 1174-1209, mars 2009, doi: 10.3390/ijerph6031174.

X. Shui, X. Lu, et X. Lin, « Study on the Reuse of Abandoned Shared Bicycle Materials », *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 772, no 1, p. 012074, févr. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/772/1/012074.

« La toiture végétalisée: Une réponse adaptée au projet de zonage pluvial de Paris - PDF Free Download ». <https://docplayer.fr/10649336-La-toiture-vegetalisee-une-reponse-adaptee-au-projet-de-zonage-pluvial-de-paris.html> (consulté le 27 octobre 2021).

« Les eaux pluviales : Parispluie ». <https://www.paris.fr/pages/le-plan-parispluie-5618> (consulté le 9 novembre 2021).

« Les toitures végétalisées, les nouveaux écosystèmes urbains ». <https://www.franceinter.fr/emissions/la-terre-au-carre/la-terre-au-carre-02-decembre-2020> (consulté le 10 octobre 2021).

« Living Walls ». <http://www.greenhomebuilding.com/articles/livingwalls.htm> (consulté le 10 octobre 2021).

« De la rue à la nature, le trajet des eaux usées parisiennes ». <https://www.20minutes.fr/planete/393190-20100324-rue-a-nature-trajet-eaux-usees-parisiennes> (consulté le 19 janvier 2022).

O. Papin, « Carte des ilots de chaleur et fraîcheur urbains de Paris », E6 Consulting, 10 juillet 2019. <http://www.e6-consulting.fr/carte-des-ilots-de-chaleur-et-de-fraicheur-urbains-de-paris/> (consulté le 19 janvier 2022).

« Clichy-Batignolles (Paris 17th) | Paris & Métropole Aménagement ». <https://www.paris-et-metropole-amenagement.fr/en/clichy-batignolles-paris-17th> (consulté le 19 janvier 2022).

« 35 millions de m³ d'eaux usées non traitées ont été rejetés au milieu naturel dans les bassins Rhône-Méditerranée et de Corse en 2020. Un chiffre en baisse. (actualité de l'agence de l'eau RMC) ». https://www.eaurmc.fr/jcms/pro_105574/fr/35-millions-de-m3-d-eaux-usees-non-traitees-ont-ete-rejetees-au-milieu-naturel-dans-les-bassins-rhone-mediterranee-et-de-corse-en-2020-un-chiffre-en-baisse (consulté le 19 janvier 2022).

« Les égouts à Paris ». <https://www.paris.fr/pages/les-egouts-a-paris-2367> (consulté le 19 janvier 2022).

« Égouts de Paris », Wikipédia. 4 décembre 2021. Consulté le: 19 janvier 2022. [En ligne]. Disponible sur: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=%C3%89gouts_de_Paris&oldid=188554250

« Ilots de chaleur : Agir dans les territoires pour adapter les villes au changement climatique », Cerema. <http://www.cerema.fr/fr/actualites/ilots-chaleur-agir-territoires-adapter-villes-au-changement> (consulté le 19 janvier 2022).

« Les eaux pluviales : Parispluie - Ville de Paris ». <https://www.paris.fr/pages/le-plan-parispluie-5618> (consulté le 19 janvier 2022).

« Pollution : la Seine envahie de poissons morts », Franceinfo, 8 juillet 2019. https://www.francetvinfo.fr/sante/environnement-et-sante/pollution-des-tonnes-de-poissons-morts-repeches-dans-la-seine_3527455.html (consulté le 19 janvier 2022).

« Zonage pluvial ». <https://opendata.paris.fr/explore/dataset/zonage-pluvial/> (consulté le 19 janvier 2022).