

Approche bioclimatique dans l'espace public à Bruxelles

Travail de fin d'étude de

*Alice Vande Castele*

Expert

*Guillaume Vanneste*

Co-promoteurs

*Jean-Philippe De Visscher*

*Thierry Kandjee*

*Géraldine de Neuville*

*20 Juin 2019*

Ce TFE est initié par la découverte d'interventions du collectif *Pool is cool*. L'engouement pour les espaces de fraîcheur en ville amène à un questionnement sur la variation du climat dans nos cités. Il s'agit de comprendre les causes des îlots de chaleur urbains et ses conséquences, ainsi que les impacts des variations climatiques sur le comportement des citoyens dans l'espace public. La conception bioclimatique est abordée ici, comme un moyen d'obtenir des conditions de confort d'ambiance urbaine, adéquates et agréables, en s'appuyant sur les facteurs environnementaux. L'eau est un paramètre incontournable. Ainsi plusieurs questions se posent : Comment mieux optimiser cette ressource pour qu'elle soit bénéfique en période chaude et en période pluvieuse et quelles sont les autres opportunités du contexte bruxellois pour un confort climatique ?

Mots-clefs

Îlot de fraîcheur - Îlot de chaleur urbains - Environnement naturel -Assainissement- Biodiversité- Climatologie

# **Approche bioclimatique dans l'espace public à Bruxelles**

Alice Vande Castele



# APPROCHE BIOCLIMATIQUE DANS L'ESPACE PUBLIC À BRUXELLES

Travail de fin d'étude de

*Alice Vande Castele*

Co-promoteurs

*Jean-Philippe De Visser*

*Thierry Kandjee*

*Géraldine de Neuville*

Expert

*Guillaume Vanneste*

Université catholique de Louvain  
Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale, d'urbanisme (Site de Bruxelles)



# Remerciement

Je tiens à exprimer ma gratitude envers les personnes qui m'ont accompagnée et soutenu tout au long de ce Travail de Fin d'Etude, en particulier :

Mon promoteur, Guillaume Vanneste pour ses conseils,

Mes professeurs d'atelier, Géraldine de Neuville, Jean-Philippe de Visscher et Thierry Kandjee pour leur pédagogie et leurs conseils,

Ma famille et mes amis pour leur patience, leur soutien et encouragements lors de ce travail mais aussi durant ces 5 années d'études.



# TABLE DES MATIÈRES

- 1 Initiative collective pour un rafraichissement urbain
  
- 2 Climat en ville
  - 2.1 Etat et perspective climatique
  - 2.2 Le phénomène d'îlots de chaleur
  - 2.3 Impact des îlots de chaleur sur la santé publique
  - 2.4 Influence des variations de température sur le comportement dans l'espace public
  
- 3 Exemple de stratégie d'adaptation des villes
  - 3.1 Impact de l'eau sur le climat urbain
  - 3.2 Impact de la couverture végétale sur le climat urbain
  - 3.3 Impact de la forme urbaine sur le climat urbain
  - 3.4 Impact de la matérialité sur le climat urbain.
  - 3.5 Exemple de stratégie d'adaptation climatique
  
- 4 Opportunités du contexte bruxellois pour un confort climatique urbain
  - 4.1 Potentiel de l'eau pluviale à Bruxelles
  - 4.2 Potentiel des espaces soumis aux courants d'air
  - 4.3 Potentiel des espaces souterrains
  
- 5 Hypothèse de projet pour un confort climatique urbain
  - 5.1 Proposition s'appuyant sur le facteur eau et vent
  - 5.2 Proposition s'appuyant sur l'opportunité souterraine
  - 5.3 Proposition s'appuyant sur l'eau pluviale
  - 5.4 Synthèse des projections
  
- 6 BIBLIOGRAPHIE



Nager à ... Ste Catherine, Pool is cool, 2016



Bassin Bozar, Pool is cool 2017



Pool is cool , Installation d'une piscine éphémère, Aout 2016



Aout 2018, Des Habitants forestois, réunis dans l'abbaye de Forest réclame un lieu de baignade.

## 1 Initiative collective pour un rafraîchissement urbain

En avril 2016, alors que les températures atteignent les 25°, un collectif a investi, la fontaine de la place sainte Catherine.

Interpellée par cette initiative, je découvre qu'il s'agit de l'association Pool is cool qui milite pour la création d'une piscine extérieure en ville. En effet Bruxelles est l'une des rares capitales européennes qui ne possède pas d'espace de baignade extérieur.

Depuis 4 ans L'association est à l'origine de plusieurs installations expérimentales de piscines temporaires autour des fontaines, plans d'eau de la capitale :

- En août 2016, une piscine temporaire est réalisée au parc «Au bord de l'eau», dans le port de Bruxelles.

- L'été suivant, en collaboration avec le musée Bozar, Pool is cool installe une benne à ordures pour en faire un bassin.

- En juin 2018, le collaboratif transforme le rond-point du quartier des bureaux de Bruxelles-Nord en lieu de « baignade ».<sup>1</sup>

Au-delà de promouvoir la natation en ville, l'association au travers de ces infrastructures temporaires pose une réflexion sur l'économie circulaire et l'appropriation de l'eau dans l'espace public comme vecteurs de lien social à Bruxelles.

---

<sup>1</sup> POOL IS COOL (2016), *Pour le retour de la baignade en plein air à Bruxelles* disponible sur : <http://www.pooliscool.org/>



Mont des arts, juin 2017



Place Flagey, juin 2018

L'ensemble de ces installations rencontrent un grand succès, notamment lors des périodes de grande chaleur. En effet mis à part les parcs de la ville, il n'existe pas d'espace de rafraîchissement dans la capitale.

La découverte de ces initiatives collectives et l'engouement pour les espaces de rafraîchissement est le point de départ de ce TFE. Elle amène à un questionnement sur les variations du climat en ville, demande de s'interroger sur les causes des îlots de chaleur urbains et ces conséquences sur la santé publique, et l'impact sur le comportement des citoyens dans l'espace public

Ceci conduit à explorer les facteurs favorisant le confort thermique comme et les stratégies d'adaptation aux variations climatiques existantes

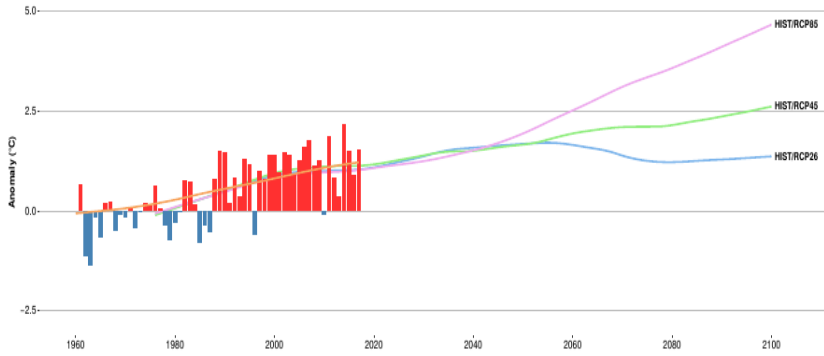
La conception bioclimatique est abordée ici comme un moyen pour obtenir des conditions de confort d'ambiance, adéquats et agréables, en s'appuyant sur les facteurs environnementaux. Ainsi, que l'on parle de piscine temporaire ou d'espace favorisant le confort thermique, l'eau est un paramètre incontournable. A Bruxelles l'eau pluviale est une ressource abondante, favorable au rafraîchissement en été. Actuellement cette ressource est perçue comme un déchet et peut devenir aussi cause d'inondation en hiver. Ainsi on peut se demander comment mieux optimiser cette ressource pour qu'elle soit bénéfique en période chaude, comme en période pluvieuse ? il s'agit de valoriser l'ensemble des opportunités du contexte bruxellois pour développer des dispositifs et hypothèses d'aménagements climatiques urbains là où les îlots de chaleur sont les plus importants



## **Climat en ville**

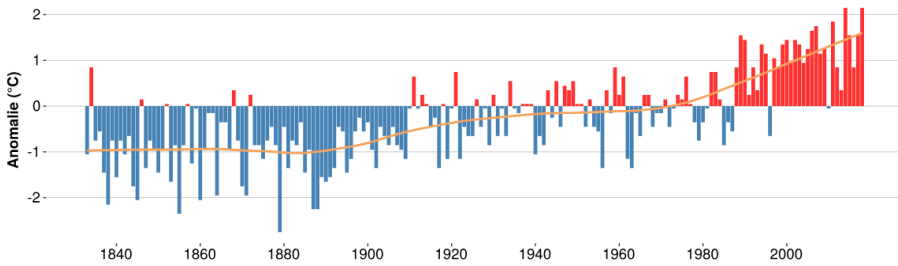
Cette première partie a pour objectif de comprendre le contexte climatique à Bruxelles. Dans un second temps d'observer les causes et conséquences des îlots de chaleur dans la ville. Enfin d'aborder l'impact sur le comportement spatial.

Prévision du réchauffement climatique attendu au XXI<sup>e</sup> siècle par l'institut de recherche météorologique (l'IRM) suivant divers scénarios d'émission définis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en comparaison avec les observations effectuées depuis 1960.

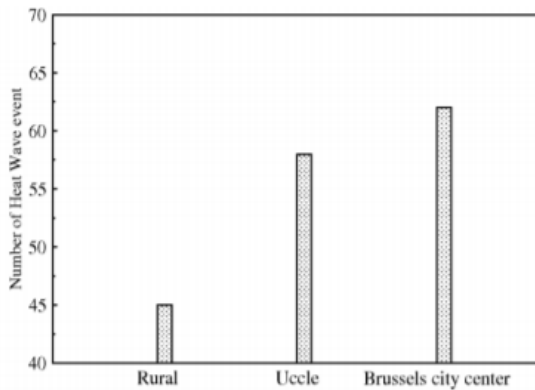


### Température moyenne annuelle à Bruxelles - Uccle de 1833 à 2018

Anomalie des moyennes annuelles par rapport à la période de référence 1961-1990



### Changements climatiques 2071-2100



## 1.1 Etat et perspective climatique :

. D'après l'institut de recherche météorologique (IRM) en Belgique, on observe un réchauffement climatique. Divers scénarios d'émission sont définis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Il est estimé pour la Belgique une augmentation des températures annuelles moyennes de 1.5 °C en 2050 et 3,5 °C en 2085 par rapport à la période 1976\_2005. D'autre part pour la fin du siècle, les scénarios estiment une augmentation des précipitations principalement en hiver.<sup>2</sup>

À Bruxelles depuis 1981, en moyenne, la quantité et l'intensité des précipitations sur des durées d'au moins quelques jours ont augmenté entre le début et la fin du 20e siècle.

D'autre part, il est observé une tendance générale de l'accroissement des températures de l'ordre de 0,37 °C par décennie, ainsi qu'une augmentation du nombre de vagues de chaleur. C'est-à-dire une augmentation du nombre de périodes qui atteignent au moins 25° pendant 5 jours consécutifs avec au moins trois jours présentant des températures supérieures à 30 °C.<sup>3</sup>

Cette tendance est visible actuellement. Cet été 2018 l'Institut Royal Météorologique a enregistré les températures les plus élevées depuis le début des mesures en 1833. À Bruxelles, l'augmentation moyenne des températures de cet été fut de 3 °C par rapport à l'été 1980. A Paris une augmentation de + 8°C a été constatée sur la même période.<sup>4</sup>

Il y a donc une augmentation incontestable des températures et celles-ci s'accroîtront dans les années à venir. Cependant il faut noter le caractère temporaire des fortes périodes de chaleur et l'augmentation des précipitations en période hivernale. Ainsi, plusieurs questions se posent : comment cette chaleur se diffuse-t-elle spatialement et quelles en sont les conséquences ?

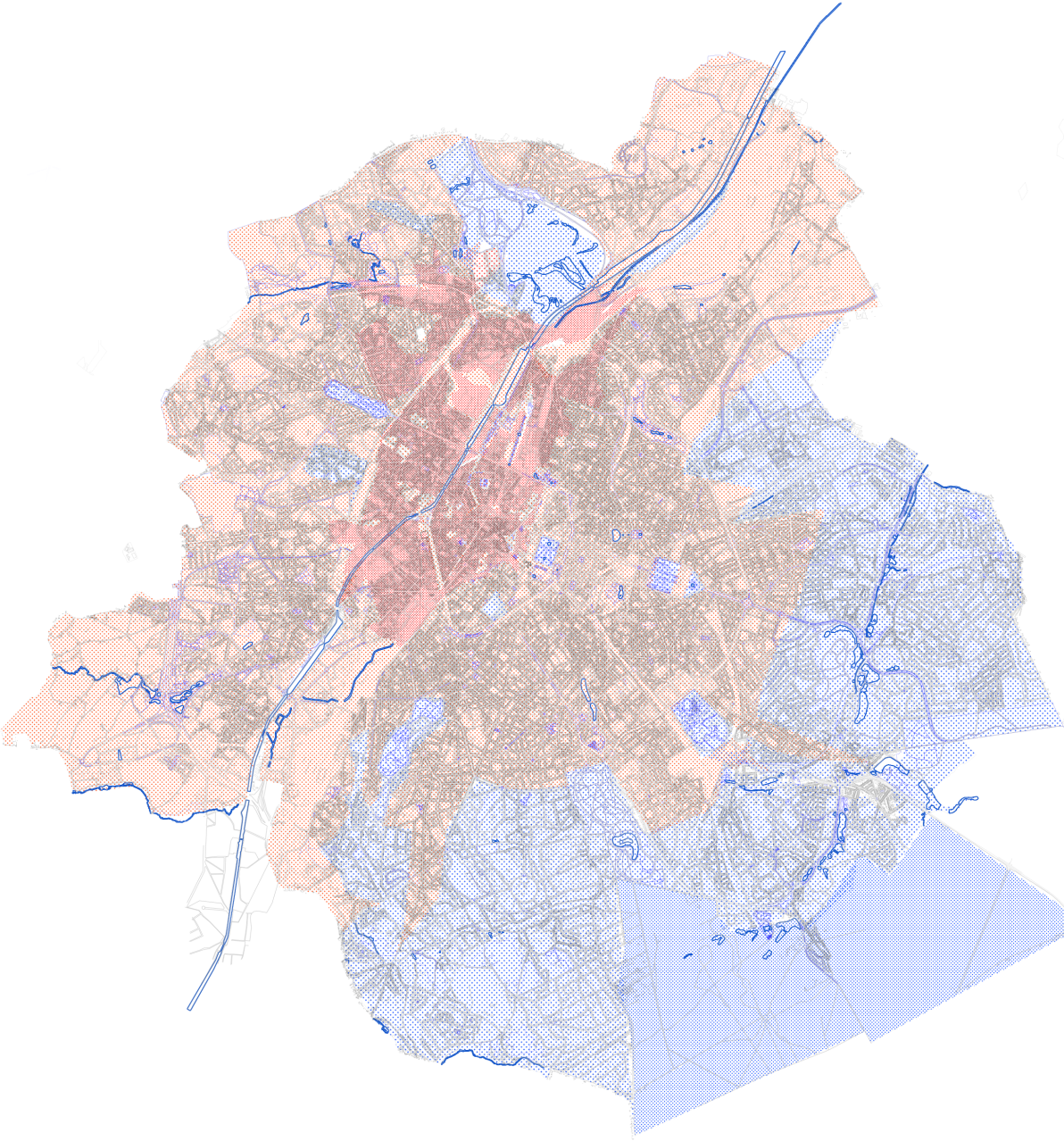
---

2 Tricot C. - IRM(2015), *Rapport Vigilance climatique*,2015[Rapport] en ligne : [https://www.meteo.be/resources/20150508vigilance-oogklimaat/vigilance\\_climatique\\_IRM\\_2015\\_WEB\\_FR\\_BAT.pdf](https://www.meteo.be/resources/20150508vigilance-oogklimaat/vigilance_climatique_IRM_2015_WEB_FR_BAT.pdf) (18/10/2018)

3 Dr. Rafiq Hamdi, *Impact des changements climatiques dans les villes: Contraste entre stress thermique urbain et rural*, Département de recherche de l'Institut Royal Météorologique (IRM),2015

4 VITO(2010), *Urban climate modelling*,[ Article VITO] en ligne : [https://vito.be/en/product/urbclim-urban-climate-modelling\(12/10/2018\)](https://vito.be/en/product/urbclim-urban-climate-modelling(12/10/2018))

# Répartition des îlots de chaleur à Bruxelles.



Chaleur : + —————> -



Source de référence:  
Bruxelles environnement/ VITO

## 1.2 Le phénomène d'îlots de chaleur

La température augmente, mais ne se répartit pas de façon uniforme. En effet, les villes subissent des phénomènes d'îlots de chaleur. Il s'agit d'une modification locale du climat, ou microclimat qui est relative à la zone urbanisée.

Elle est caractérisée par une température estivale plus élevée que l'environnement rural. Ainsi, la ville souffre de chaleur avec un différentiel de température moyen de 3 à 4 °C entre le centre et la périphérie.

D'après des recherches menées par l'institut royal météorologique, la surface d'îlots de chaleurs ne devrait pas s'agrandir dans les prochaines années, cependant les vagues de chaleur dues au réchauffement climatique mondial vont se multiplier. Ces phénomènes concomitants contribuent à augmenter l'inconfort thermique<sup>5</sup>

Les îlots de chaleur urbains ou ICU varient dans le temps et dans l'espace; Ils dépendent du rayonnement solaire, donc des conditions météorologiques et de la course du soleil. Les zones urbaines emmagasinent la chaleur en journée, la restituent le soir, la température diminue au petit matin grâce notamment au phénomène de rosée. La forme urbaine induit aussi des variations de température spatialement : horizontalement et verticalement.

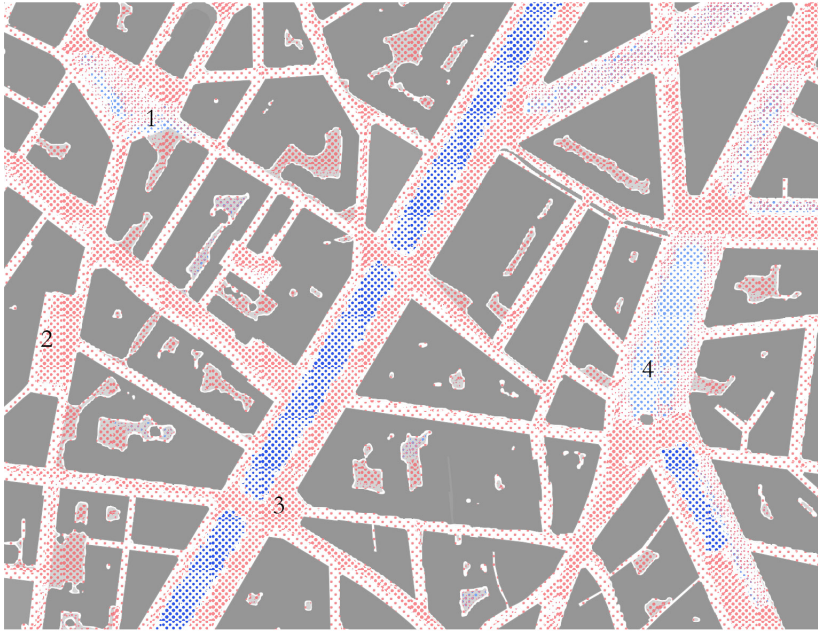
### 1.2.1 Les causes des îlots de chaleur sont multiples :

D'une part, la forme urbaine dense, engendre une proximité des bâtiments qui piègent les rayonnements solaires et infrarouges. Ceux-ci sont à l'origine d'une surchauffe dans l'air ambiant. De plus, cette forme urbaine empêche une bonne évacuation de la chaleur par le vent. D'autre part, certains matériaux emmagasinent la chaleur pendant la journée et la restituent la nuit. S'ils ne contiennent pas d'eau, il n'y a pas d'évaporation, mais création de chaleur. Ainsi, sur le même principe, l'imperméabilisation des sols empêche la chaleur de se dissiper. Enfin les activités humaines liées aux transports de biens ou des personnes et l'usage des bâtiments, dégagent de la chaleur <sup>6</sup>

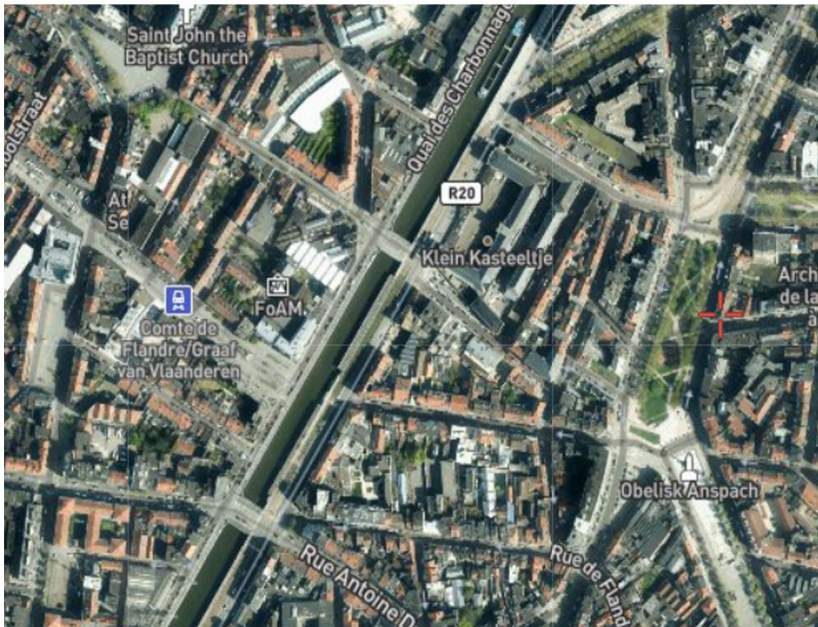
---

5 Hirsch, Yolène , *Caractéristiques de l'îlot de chaleur urbain et recherche d'une solution paysagère pour le site de la résidence Damrémont à Paris, Gembloux*,2017

6 Dispa D., 2018 promoteur Roger J.F., *vers un climat urbain confortable, création d'un îlot de fraîcheur*,Bruxelles



Zoom carte des ilots de fraicheur urbain



Vue satellite de Bruxelles

### 1.2.2 Répartition des îlots de chaleur

La carte des îlots de chaleur est retranscrite à partir de la carte des îlots de fraîcheur à Bruxelles. Celle-ci a été réalisée par un organisme de recherche flamande : Vison technologique pour un meilleur monde (VITO) en collaboration avec Bruxelles environnement. Le modèle UrbClim développé permet de simuler une résolution spatiale des températures moyennes à (~ 100 m). Les mesures s'effectuent sur de longues périodes et s'appuient sur les flux de chaleur en fonction du bilan énergétique de micro-surfaces. Chaque cellule ayant son propre bilan énergétique et comportement thermique suivant la nature de celle-ci. Chaque surface urbaine est présentée comme une zone imperméable rugueuse caractérisée par plusieurs paramètres liés à l'utilisation des sols (albédo, émissivité, longueur de la rugosité, végétation, coefficient de distribution racinaire et imperméabilisation du sol). UrbClim a été validée pour plusieurs villes européennes, par exemple pour Anvers, Bruxelles et Gand (Belgique), Toulouse (France) et Barcelone (Espagne). Les résultats de la modélisation UrbClim ont été vérifiés par des mesures prises in-situ. Ce qui permet une estimation globale surévaluée de la température modélisée de l'air ambiant d'environ 1°C. L'utilisation de cette carte donne ainsi une estimation assez fidèle des températures moyennes ressenties.

La carte des îlots de chaleur de Bruxelles, montre que dans le capitale, les communes les plus touchées par le phénomène se situent autour du canal. Cela peut s'expliquer par la densité du bâti, mais aussi par la réduction des espaces verts, et la présence d'activités industrielles.

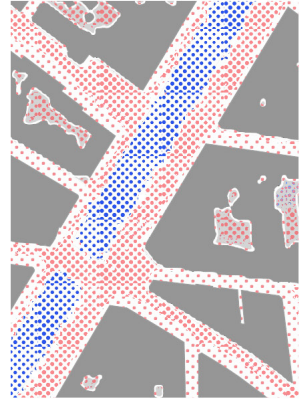
En regardant dans le détail il apparaît que les espaces minéraux, comme les rues, le parvis de l'église Saint Jean baptiste (1) ou la place communale de Molenbeek (2) concentrent la chaleur. Les seules sources de fraîcheur sont procurées par la végétation et l'ombre des bâtiments

Au niveau du canal (3), Les quais pavés et bitumés sont une source de chaleur. L'eau du canal à un potentiel rafraichissant. Cependant, l'encaissement profond du canal empêche sa fraîcheur de diffuser aux alentours.

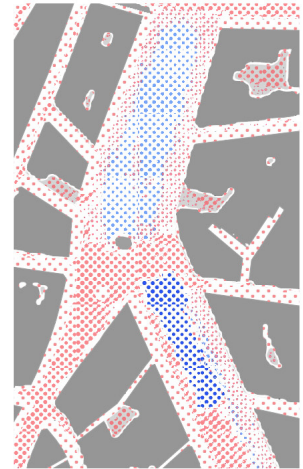
L'exemple du quai des houilles (4) montre que les parcs composés de végétation basse et haute ont un effet plus rafraichissant que l'eau de la fontaine place Sainte Catherine.

Si les effets du changement climatique touchent aussi bien les populations rurales qu'urbaines, l'inconfort thermique sera d'autant plus ressenti dans les villes densément bâties et peuplées. Mais quels sont les impacts sur la santé de la population et l'usage des espaces publics ?



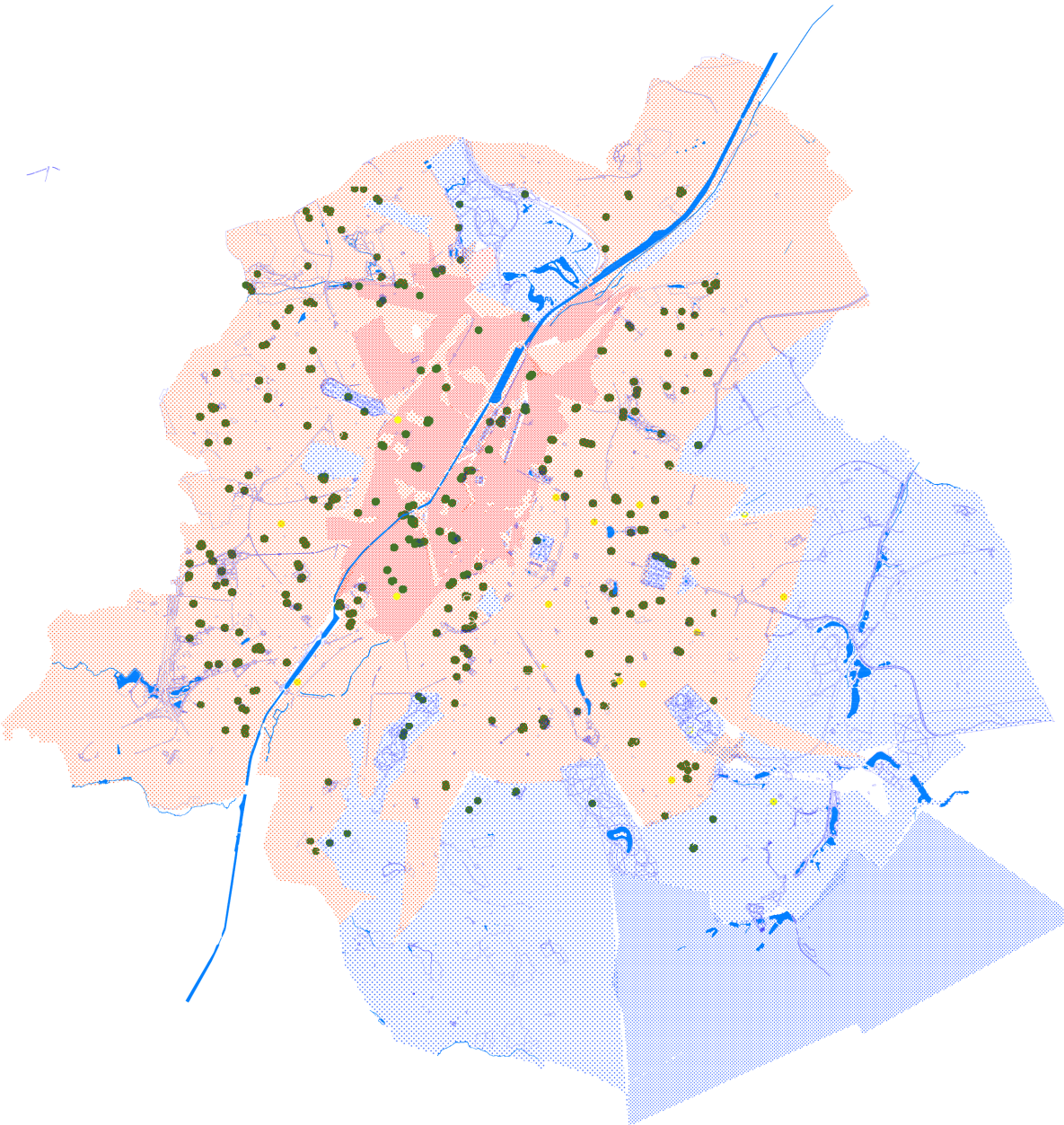


3 Pont quai des charbonnages



4 Quai à la houille

### Répartition spatiale des personnes les plus vulnérables aux îlots de chaleur à Bruxelles



Chaud      Froid

--	--	--	--

Hopitaux, Maison de retraite

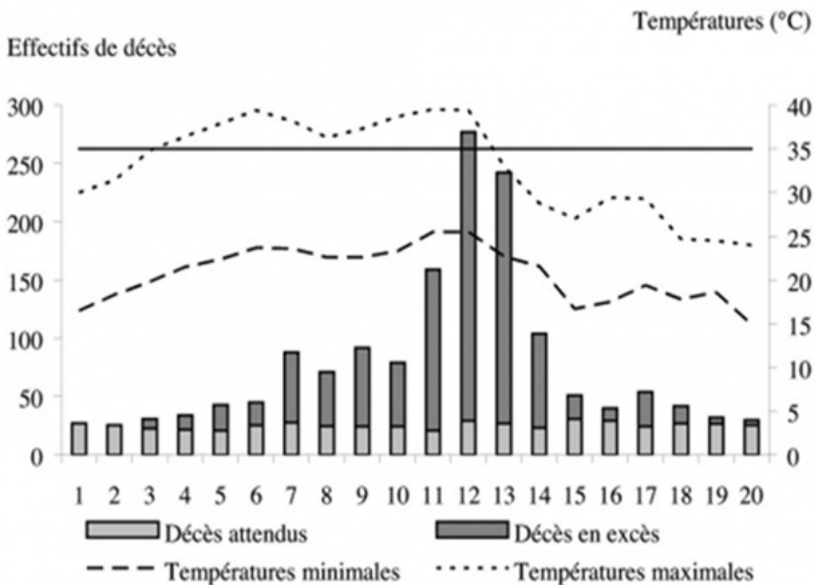
Plaine de jeux extérieur

carte réalisée en compilant les données :  
Bruxelles environnement

### 1.3 Enjeux sur la santé publique

Le stress thermique est l'accumulation de chaleur dans l'organisme empêchant d'atteindre une température corporelle normale. L'inconfort thermique est un désagrément réel qui peut créer chez les plus fragiles et les plus exposés, des faiblesses, des troubles de conscience, de concentrations, des crampes, des syncopes, des coups de chaleur pouvant entraîner des maladies au point de causer la mort.

Effectifs de décès et températures entre le 1er et le 19 août 2003 en France <sup>7</sup>

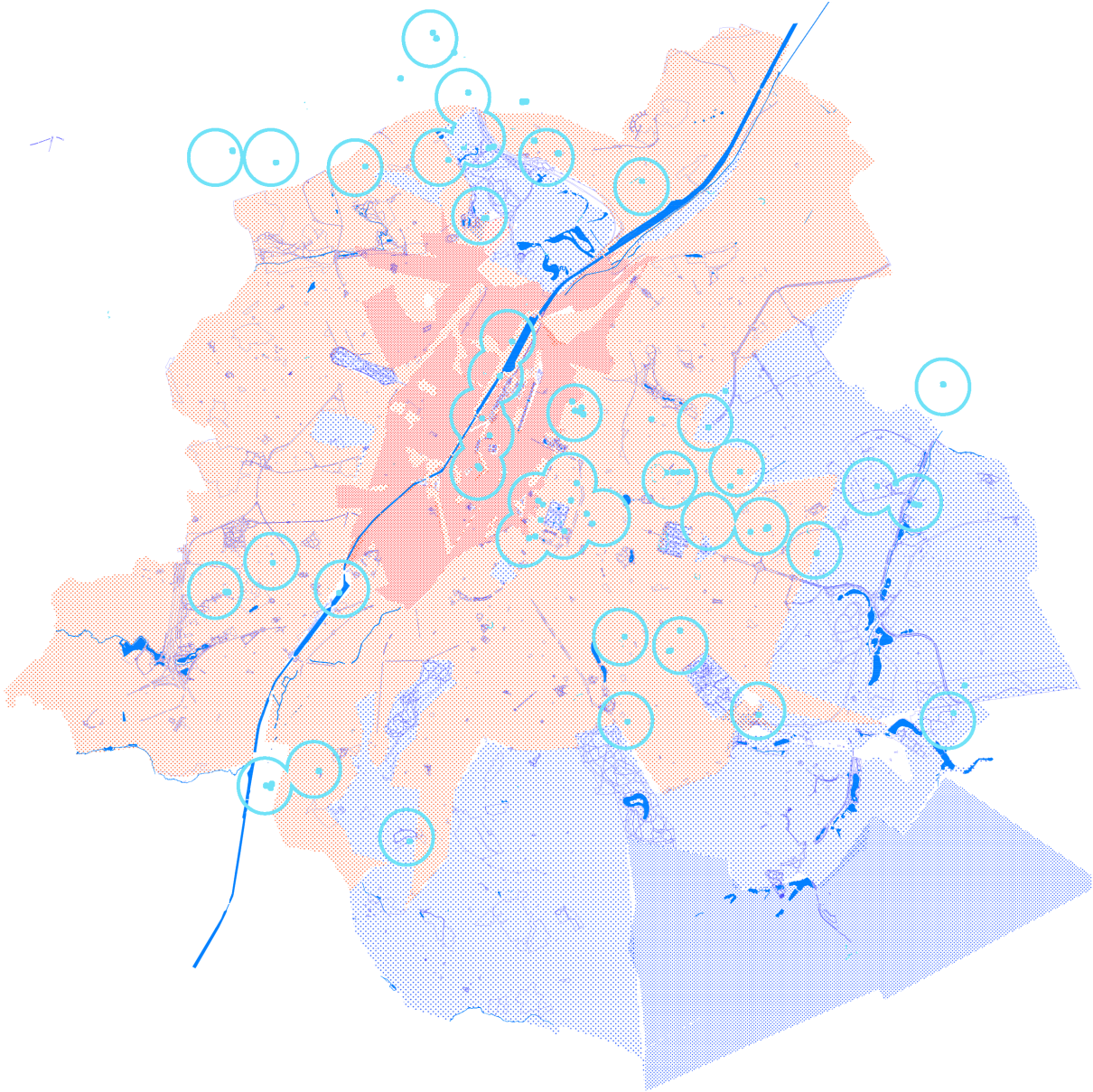


D'après le rapport de l'Institut Scientifique de Santé Publique, lors de la canicule de l'été 2003 une surmortalité de 15 % a été enregistrée. Cet été 2018, aurait provoqué en Belgique, de l'ordre de 6% de décès supplémentaires. <sup>8</sup>

<sup>7</sup> HÉMON D., JOUGLA E. (2003), *Estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques. Surmortalité liée à la canicule d'août 2003 – Rapport d'étape*. INSERM, 57 p.

<sup>8</sup> Bustos N, (04/09/2018), *Décès supplémentaires due un été très chaud*, Sciensano [ Article] en ligne : <https://www.sciensano.be/en> (12/03/2019)

### Accès à l'eau potable



Chaud      Froid  
[Red halftone] [Blue halftone]

○ zone d'influence 10mn à pied  
● Accès à l'eau potable

carte réalisée en compilant les données :  
Bruxelles environnement

Les personnes les plus vulnérables sont les enfants, les personnes âgées, les bébés, les travailleurs extérieurs, les sportifs en extérieur, les catégories sociales les plus démunies, les personnes ayant un trouble cardiaque... Les cartographies réalisées, montrent que les hôpitaux et maisons de repos sont situés à l'écart des zones les plus exposées à la chaleur. Cependant de nombreuses plaines de jeux extérieures, plébiscitées en période de chaleur, se trouvent dans les zones relativement exposées. Un aménagement des plaines de jeux face à la surchauffe semble nécessaire.

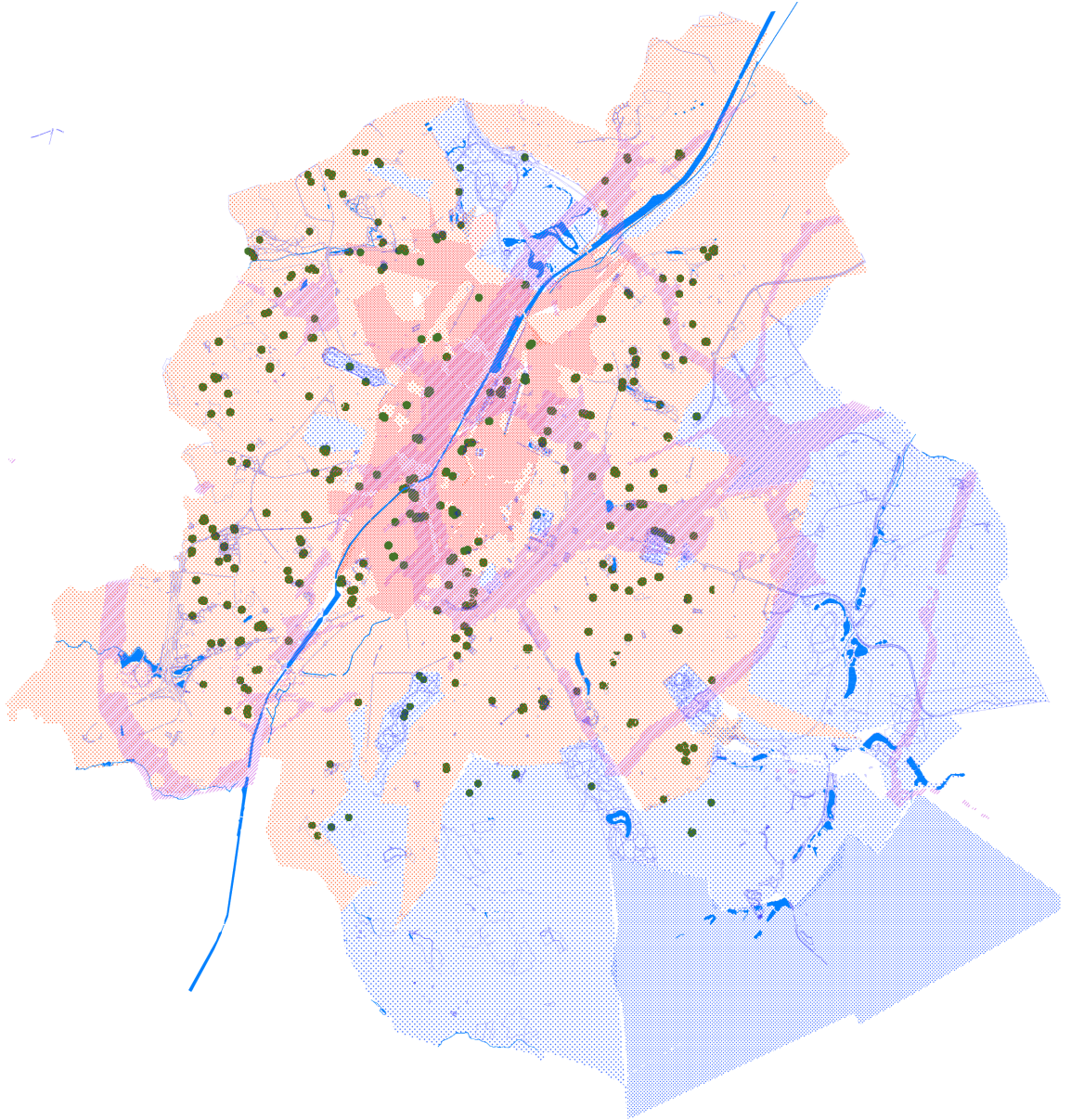
Pour lutter contre la mortalité due aux canicules de vastes campagnes de sensibilisation sont mises en place pour l'hydratation. Celles-ci visent principalement les plus vulnérables et les pratiques sportives. Il semble donc indispensable que les espaces d'activité extérieure accueillant principalement des enfants puissent avoir accès à l'eau. Cependant on peut constater à Bruxelles qu'un nombre important d'espaces de jeux extérieur ne dispose pas d'accès à l'eau potable ou à une fontaine.<sup>9</sup>



---

<sup>9</sup> Bustos N, (04/09/2018) , Décès supplémentaires due un été très chaud, Sciensano [ Article] en ligne : <https://www.sciensano.be/en> (12/03/2019)

## Concentrations de pollution atmosphérique en contact avec les personnes les plus vulnérables



Concentration NO<sub>2</sub>

● Plaine de jeux extérieure

carte réalisée en compilant les données :

Bruxelles environnement

IRCEL - CELINE | © VITO | OSM | Leaflet

Au delà du stress thermique, Les vagues de chaleur accroissent la pollution atmosphérique. En effet lors de fortes chaleurs, il y a une réaction chimique entre les rayons du soleil et les polluants atmosphériques déjà présents comme les oxydes d'azote, les composés volatils... Cela engendre des Smog, c'est-à-dire des nuages de pollution atmosphérique

Aujourd'hui, on retrouve une concentration importante d'air pollué autour de la petite ceinture de Bruxelles et des grands axes de circulation automobile. Cette masse d'air pollué a un impact sur la santé est peut créer des troubles respiratoires.

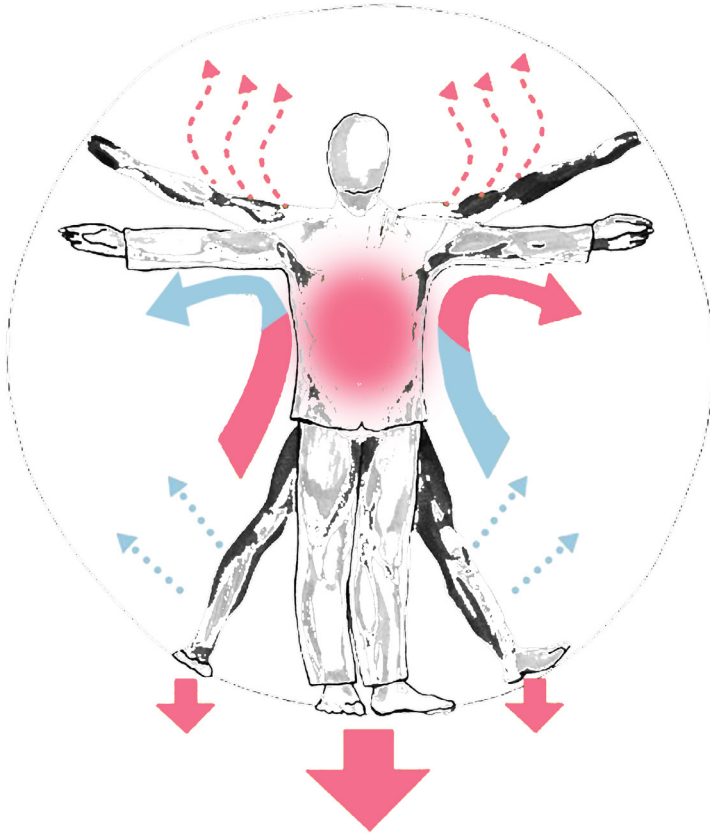
De plus, une part importante de cet air toxique se trouve à proximité d'espaces de jeux extérieur. La qualité de l'air intérieur est aussi impactée. Car la chaleur a pour effet la multiplication des acariens, moisissures, bactéries, l'évaporation des substances toxiques contenues dans les colles.<sup>10</sup>






---

<sup>10</sup>irCELine, Mesures qualité de l'air [SITE],5ellule Interrégionale de l'Environnement, en ligne: <http://www.irceline.be/fr>

Echanges thermiques entre le corps et l'ambiance thermique :



-  Convection
-  Conduction
-  Evaporation

## **1.4 Influence des variations de température sur le comportement dans l'espace public**

Comme il a été montré au début de ce chapitre, le climat évolue aussi bien au cours des saisons qu'au cours d'une journée. Cela conduit à des comportements spatiaux différents. Ces différents comportements sont liés au sentiment de confort thermique. C'est-à-dire d'atteindre une température corporelle normale. Pour cela il faut créer un équilibre entre de l'activité métabolique et les échanges de chaleur avec l'air ambiant.

Ainsi Il existe 6 types d'échanges thermiques entre le corps et l'ambiance thermique :

- La convection à la surface du corps 35 % ,
- Le rayonnement 35 %, 1
- La respiration, la sudation 28 %, 1
- La conduction 2 %, 1
- L'indigestion de nourriture 1 %

Les paramètres influençant les pertes thermiques du corps humain dans l'ambiance sont :<sup>11</sup>

- La température des parois,
- La température de l'air,
- La vitesse de l'air,
- L'humidité,
- Le métabolisme (l'activité humaine),
- L'habillement

---

<sup>11</sup> Lmigli Chicharito, 06/02/2018, le confort thermique [ Article] en ligne : <http://www.epf.fr/article/le-mannequin-thermique-instrumente-un-outil-pour-simuler-le-ressenti-humain-du-confort> (01/12/2018)



A l'ombre des nuages de parapluies Umbrella Sky Project, Águeda, Portugal  
2013



Intempérie, Bruxelles, mars 2019



Parc duden Forest ,Bruxelles , juillet 2018



Amsterdam , avril 2018



Dans une rue de Lille avril 2018

Lors d'une période chaude plusieurs comportements pour garder un confort thermique sont observables :

Le public cherchant à se protéger des rayons du soleil, favorise les espaces ombragés en se mettant sous les arbres, ou d'autres éléments jouant le rôle de parasol. Cela est visible aussi lors des déplacements : les trottoirs à l'ombre sont plus fréquentés. Il en va de même pour les espaces de stationnement.

Pour réduire l'inconfort dû au métabolisme, les espaces permettant de s'asseoir ou de se reposer sont privilégiés. Ainsi les espaces verts et terrasses se transforment en véritable plages urbaines lors des périodes de grande chaleur.

Les lieux favorisant l'activité sont les espaces ouverts car ils permettent un renouvellement d'air, mais aussi les lieux permettant un contact direct avec l'eau, comme les fontaines et les piscines extérieures qui deviennent des espaces d'activités ludiques.

Lors des périodes hivernales ou plus fraîches, les espaces ensoleillés sont privilégiés. Cela est particulièrement observable dans les déplacements.

En augmentant le paramètre de la vitesse de l'air, les espaces de courants d'air deviennent particulièrement inconfortables en hiver. Les espaces soumis à ce phénomène sont davantage des lieux de passage et n'invitent pas à y rester.

Les éléments en surplomb permettant de se protéger de la pluie. Les abris bus sont fortement exploités en période pluvieuse; en générale, les espaces publics couverts, comme les galeries, sont plus fréquentés.

Pour conclure cette première partie, il y a une augmentation incontestable des températures et celles-ci s'accroîtront dans les années à venir. Cependant il faut noter le caractère temporaire des fortes périodes de chaleur et en parallèle l'augmentation des précipitations en période hivernale. Le phénomène des îlots de chaleur montre que la chaleur ne se répartit pas de façon homogène en ville. Cela influence le comportement dans les espaces publics.

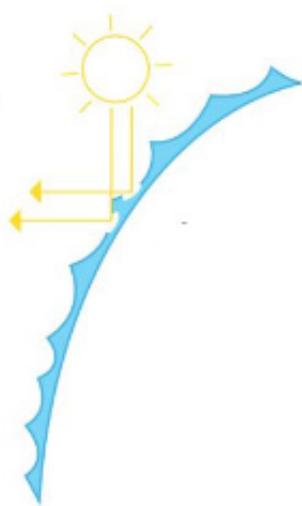


Paris, été 2018

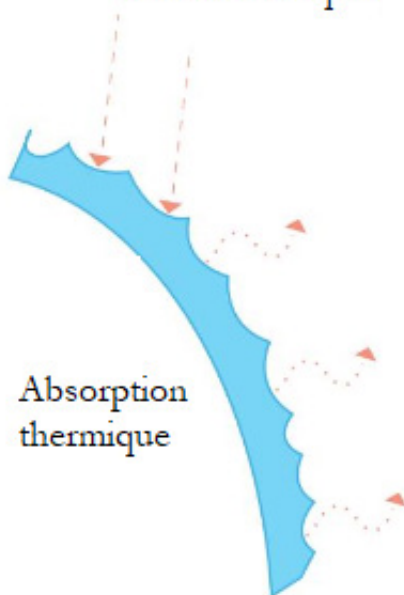
## **2 Exemple de Stratégie d'adaptation des villes**

Depuis plusieurs années, les recherches pour lutter contre les îlots de chaleurs montrent qu'il existe principalement quatre domaines d'action influençant le confort thermique : l'eau, la forme urbaine, la couverture végétale, l'effet albédo des matériaux.

Réflexion solaire

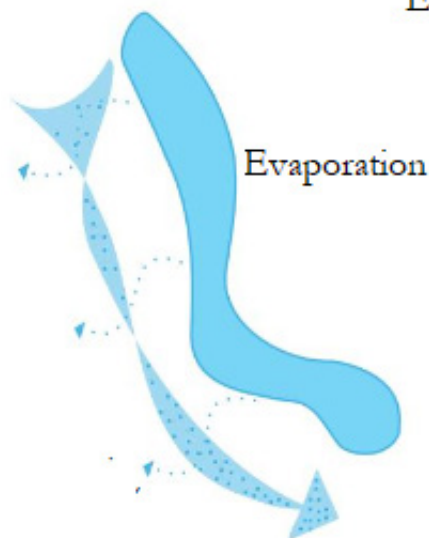


Inertie thermique



Absorption thermique

EAU



Evaporation

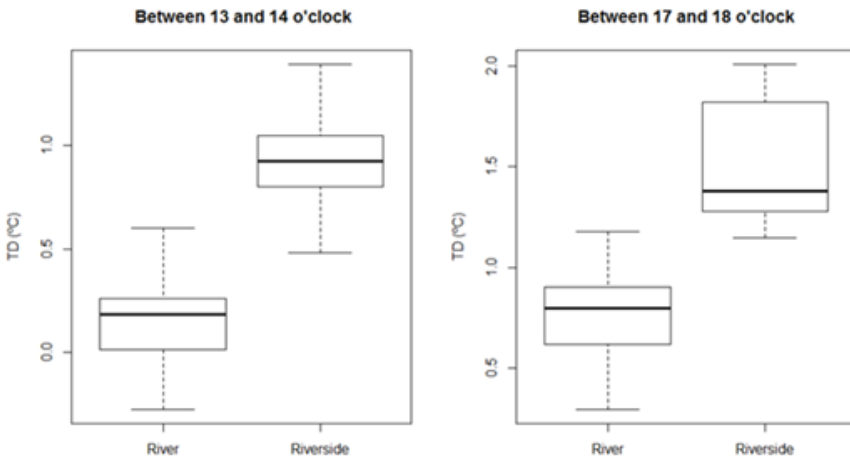
Flux convectif



## 2.1 Impact de l'eau sur le climat urbain.

L'eau est un régulateur naturel du climat. D'une part, son évaporation participe à l'humidification de l'air, d'autre part l'eau à une faculté d'absorption thermique. Cependant, selon leur taille, les étendues d'eau stagnante peuvent avoir un impact positif ou négatif. Si l'effet est globalement positif pour des surfaces d'eau importantes, certaines surfaces d'eau immobiles de faible taille stockent de la chaleur et deviennent suffisamment chaudes pour réchauffer l'air pendant la nuit plutôt que de contribuer à son rafraîchissement<sup>12</sup>

Appuyant ce constat, une étude à été menée par le bureau de recherche climatique VITO. Les résultats mettent en évidence que la température des berges est supérieure à celle prise au centre des cours d'eau. La proximité directe avec l'eau est donc nécessaire pour un bon rafraîchissement.<sup>13</sup>



<sup>12</sup>Robitu,Musy,Groleau, Inard (2003), Modèle du rayonnement solaire dans et à la surface d'un bassin d'eau des XXIèmes ,[ Communication] Rencontres Universitaires de Génie Civil - La Rochelle 2003.

<sup>13</sup>VITO(2010), Urban climate modelling,[ Article VITO] en ligne :

[https://vito.be/en/product/urbclim-urban-climate-modelling\(12/10/2018\)](https://vito.be/en/product/urbclim-urban-climate-modelling(12/10/2018))



Bordeaux le Miroir d'eau.



Brumisateurs Paris plage

Dans l'espace public, la présence de fontaines est courante, la performance de refroidissement de ces types de dispositifs est en moyenne entre 2 et 7 °C en journée. Certains paramètres ont une influence importante sur les performances du dispositif. Exemple : la taille des gouttes générées par les brumisateurs celles-ci peuvent diminuer plus ou moins la température.

D'après une expérience menée par la ville de Lyon, l'humidification des chaussées permet de baisser la température au sol, de 3 à 5° C et de réduire la température ressentie par le piéton de 0,5° C<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup>Robitu,Musy,Groleau, Inard (2003), Modèle du rayonnement solaire dans et à la surface d'un bassin d'eau des XXIèmes ,[ Communication] Rencontres Universitaires de Génie Civil - La Rochelle 2003.



Peinture Egyptienne dans le Tombeau de l'artisan Sennedjem,representant la déesse-arbre «Nout, la grande»

## 2.2 Impact de la couverture végétale sur le climat urbain.

Bien avant notre ère les populations des pays au climat sec avaient compris le rôle d'important de la végétation, pour le confort thermique. Cette peinture Egyptienne représente la déesse-arbre «Nout, la grande». Cette représentation d'arbre déifié montre l'importance de la présence d'eau, ainsi que les bienfaits des arbres pour le rafraîchissement et la nourriture.<sup>15</sup>

La végétation présente un fort potentiel de gestion du microclimat urbain. Liée à l'eau, elle apporte des bienfaits rafraîchissant similaires. En effet, elle engendre des effets d'évapotranspirations, des mécanismes de rétention et d'évaporation, et forme des filtres solaires saisonniers.

En effet, des analyses de températures de surface effectuées à Munich à partir d'images satellitaires ont révélé qu'une augmentation de 10% de la surface végétalisée se traduit par une baisse des températures de 1°C dans un rayon de 100m.<sup>16</sup>

Vue satellite de Munich



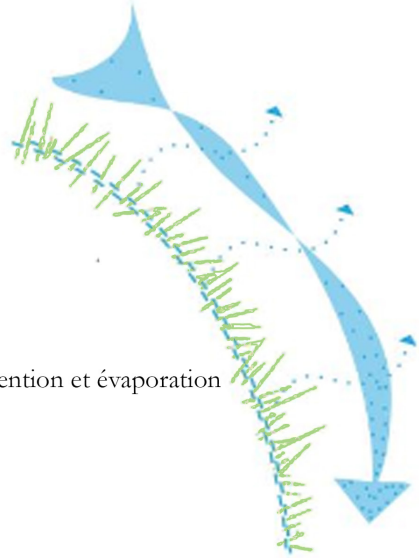
---

15 André Held, (20/01 /2017) Peinture Egyptienne dans le Tombeau de l'artisan Sennedjem [ Article] en ligne : <https://www.osirisnet.net/centrale.htm>

16 Boutefeu E., 2007 : *Les villes vont devoir se préparer au changement climatique : une végétalisation abondante des tissus urbains permettra de réduire les effets dramatiques des vagues de chaleur sur la santé humaine.* Revue Techni-Cités n°128, 8 mai 2007

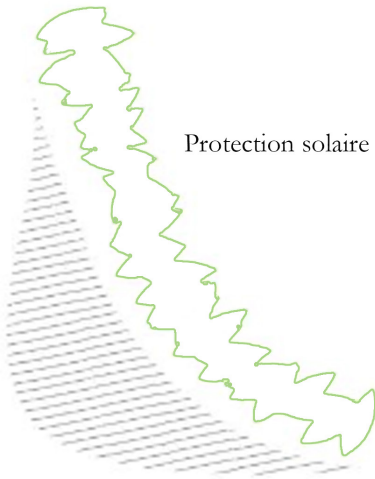


Evapotranspiration

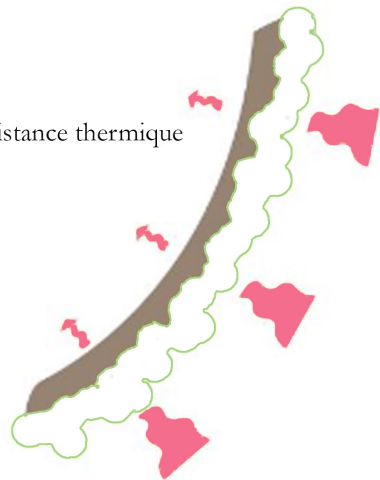


Rétention et évaporation

Végétal



Protection solaire



Résistance thermique

La couverture végétale garantit plus ou moins la fraîcheur suivant le type de végétation : La présence de végétation haute a un intérêt surtout en journée. En effet, l'écart de température à 1.2 m du sol, entre une rue sans arbres et une autre arborée, est en moyenne de 0.7 °C, et peut atteindre un maximum de 2 °C.<sup>17</sup> Un arbre mature au sein d'une plantation d'arbres peut évaporer jusqu'à 450 litres d'eau par jour, ce qui rafraîchit autant que cinq climatiseurs fonctionnant 20 heures par jour. La nuit, on ne note généralement aucune différence.

Les végétations basses sont efficaces grâce à la quantité d'eau présente dans les sols qui augmente le potentiel de rafraîchissement par évaporation. Selon une étude menée sur la ville de Barcelone, l'écart entre la température de l'air et celle de la surface d'une pelouse ensoleillée peut atteindre 14 °C, alors qu'il serait de plus de 25 °C pour les surfaces minérales.

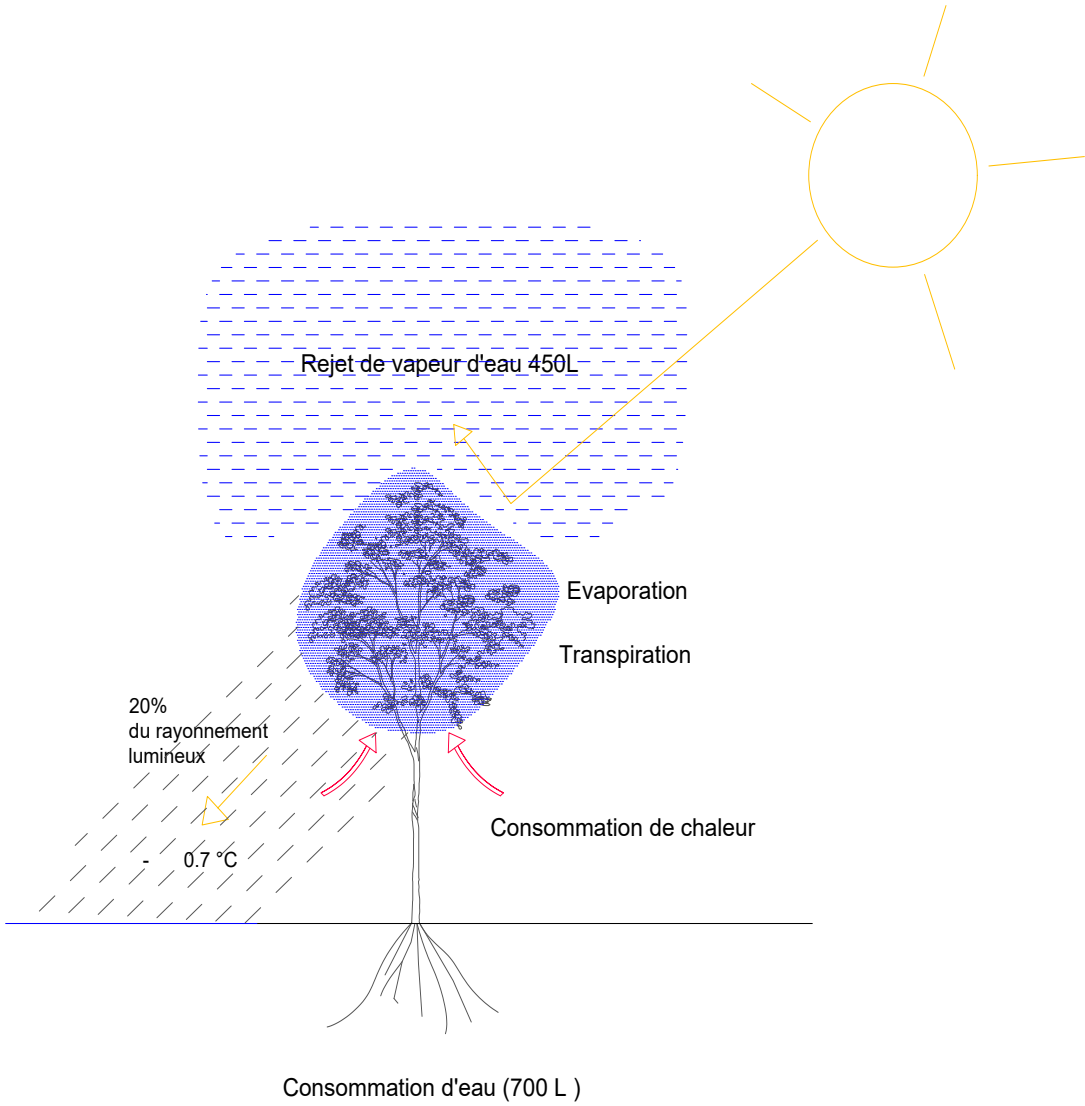
Rive gauche de la Garonne à Bordeaux,



La végétation en toiture montre des performances qui diminuent dès lors que la rue «canyon» est profonde. Des simulations appliquées à la ville de Nantes, ont montré

---

<sup>17</sup>Boutefeu E., 2007 : *Les villes vont devoir se préparer au changement climatique : une végétalisation abondante des tissus urbains permettra de réduire les effets dramatiques des vagues de chaleur sur la santé humaine*. Revue Techni-Cités n°128, 8 mai 2007



qu'augmenter de 8 % les surfaces de toitures végétalisées, permet de diminuer de 0.25 °C la température à 2 m, et de réduire le ruissellement des eaux de pluie de 4 %.

Toiture de dunes du groupe scolaire Césaire à Nantes par Phytolab

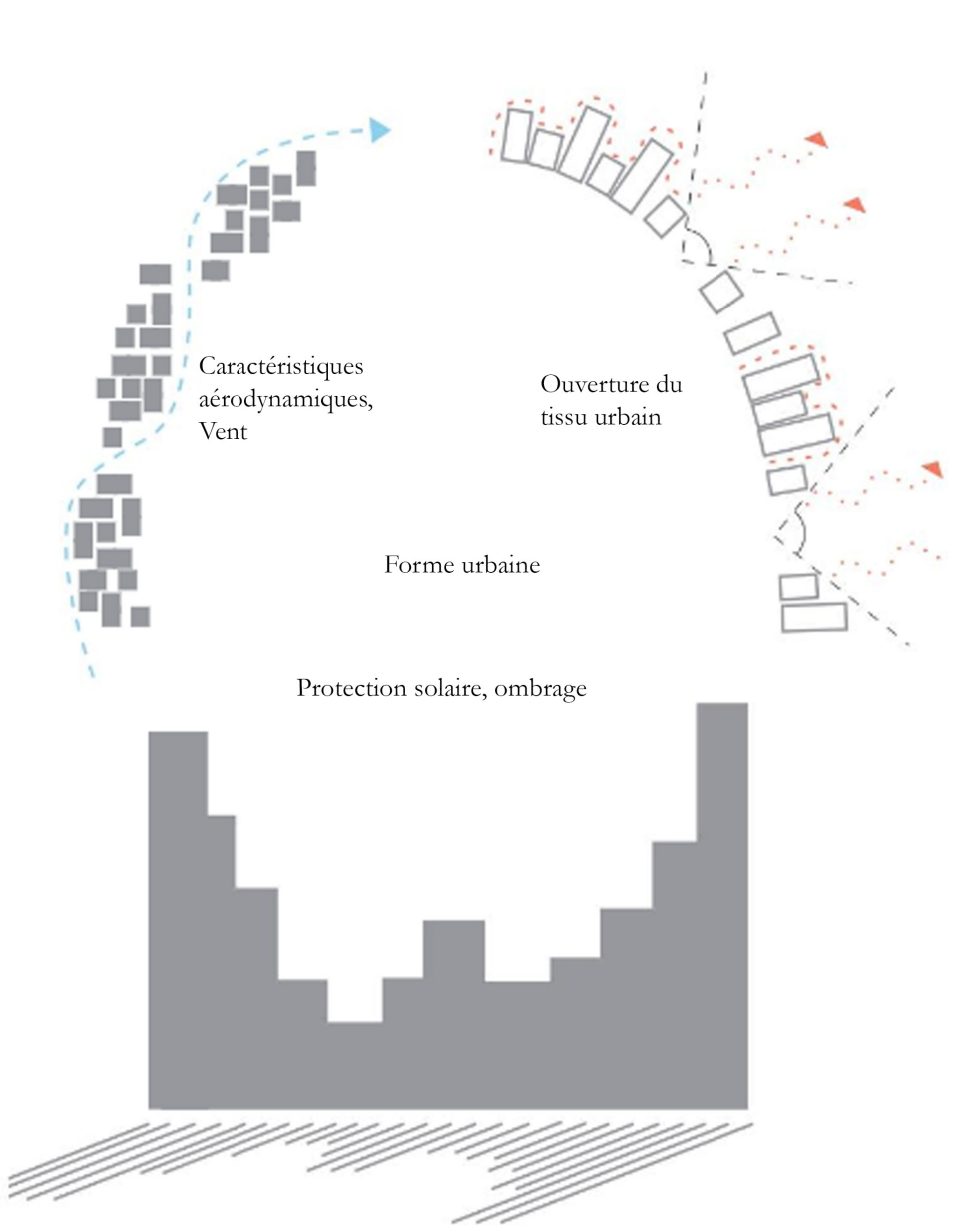


La végétation de façade a un effet ombrageant. Par exemple, de la vigne vierge placée sur un mur diminue la température de 5 °C par rapport à un mur nu. La végétalisation des façades d'une rue, «canyon» permet en période estivale de réduire la chaleur de près de 3°C à 16h..<sup>18</sup>

Ainsi, la végétation haute a un intérêt surtout en journée tandis que la végétation basse agit aussi la nuit. La végétation en toiture montre des performances qui diminuent suivant les profondeurs des rues canyons. Les espaces verts permettent de rafraîchir l'air, et cette fraîcheur peut se diffuser dans les alentours proches.

---

18 Musy M., Bozonnet E., Briottet X., Gulteben C., Lagouarde J.P., Launeau P., Lemonsu A., Maro D., Rodriguez F, Sabre M. - HAL (2014), Rapport final Projet ANR- 09-VILL-0007 VegDUD Programme Villes Durables 2009 [Rapport] France : HAL IRSTV FR CNRS 2488. en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01188804> (14/03/2019)

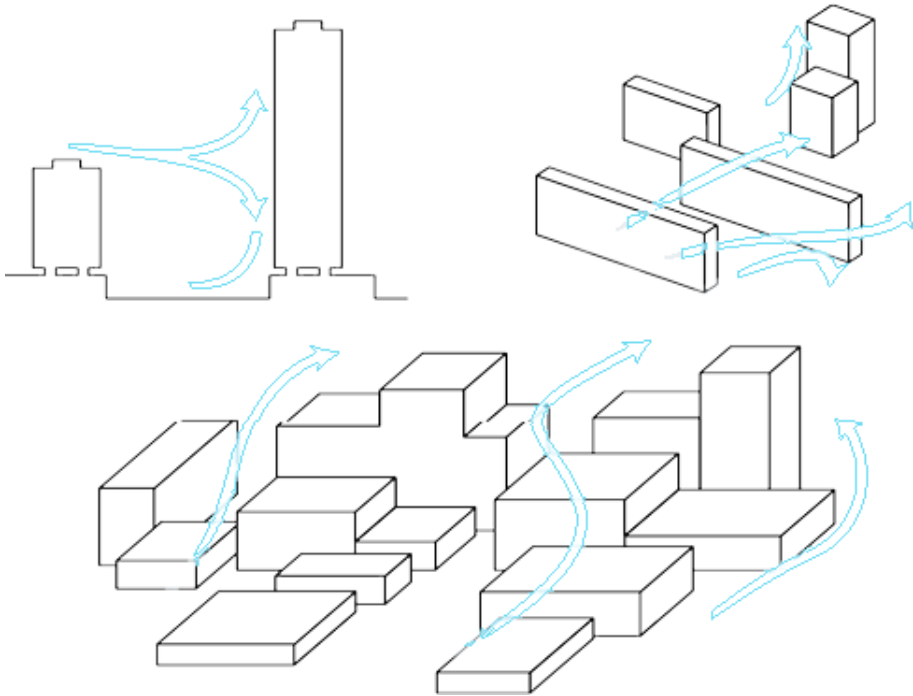


### 2.3 Impact de la forme urbaine sur le climat urbain.

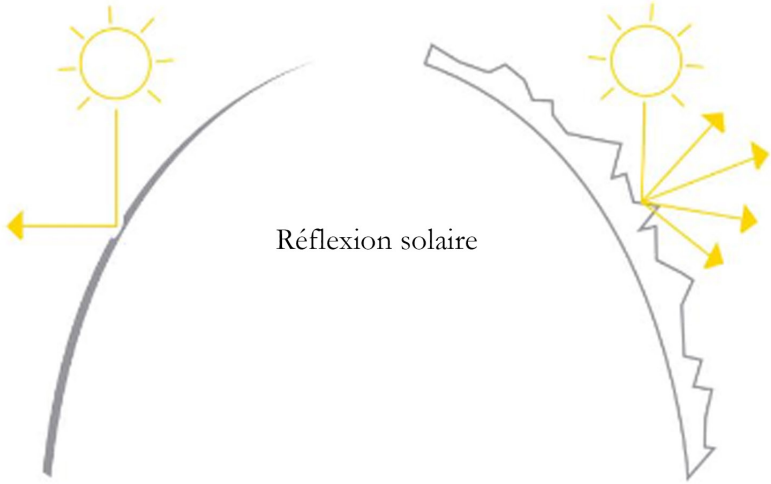
. La forme urbaine, génère des microclimats. Elle permet un rafraîchissement grâce à son ombrage, ses caractéristiques aérodynamiques.

Un des facteurs influençant le confort thermique est la vitesse de l'air, Celle-ci est à l'origine d'un rafraîchissement. La vitesse (relative) de l'air influence les échanges par convection et augmente l'évaporation sur la surface de la peau. Les espaces, soumis à de fortes pressions de vent, créent de l'inconfort pour l'utilisateur.<sup>19</sup>

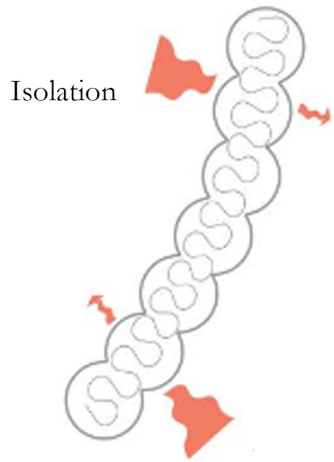
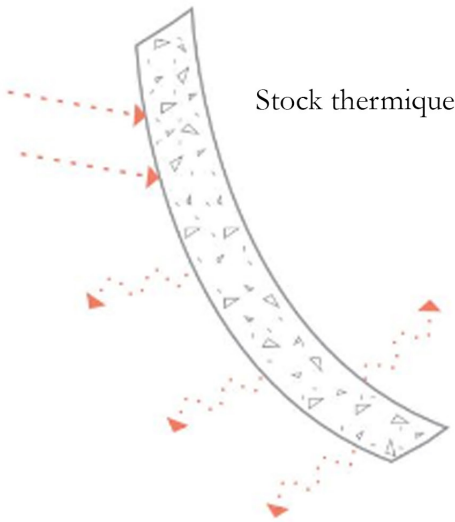
Schéma de circulation du vent:



<sup>19</sup> Aération d'une zone de hauts bâtiments Source : E. Ng. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities, Air Ventilation Assessment (AVA) of Hong Kong. Building & Environment N°44, p 1478-1488 (2009). [Internet], Disponible sur <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132308001455>



Matière



## 2.4 Impact de la matérialité sur le climat urbain.

Les caractéristiques thermiques des matériaux influencent le microclimat ambiant, au travers de l'effet albédo qui augmente ou diminue les réflexions suivant leur texture, propriété d'isolation et d'inertie thermique.

Dans les pays méditerranéens comme la Grèce des villes entières sont peintes en blanc pour atténuer l'effet albédo. Cette couleur en plus d'être utilisé comme effet de réduction des températures, donne un caractère identitaire à la cité.



Village blanc de Santorin en Grèce



Alambra de Grenade

## 2.5 Exemple de Stratégie d'adaptation climatique :

### 2.5.1 Alambra de Grenade :

Depuis toujours les régions comme l'Andalousie ont dû s'adapter à leur climat chaud et sec l'été et plus frais l'hiver. L'exemple de l'Alhambra de Grenade montre quelques dispositifs architecturaux qui permettent de garantir un confort thermique, été comme hiver.

La présence de l'eau, permet aux habitations de produire une certaine fraîcheur. En effet, l'eau humidifie et rafraîchit l'air. Lorsqu'elle passe de l'état liquide à l'état gazeux, elle absorbe une certaine quantité de chaleur, chaleur qu'elle trouve dans son environnement proche, rafraîchissant par là même l'atmosphère.<sup>20</sup>

Pour cela l'ensemble des palais disposent de dispositifs de stockage et de distribution d'eau. Les cours disposées en plateaux successif permettent d'utiliser la topographie naturelle pour distribuer l'eau. Pour le stockage les cours disposent de bassins et espaces creusés dans les murs abritant des jarres d'eau appelés « nichos » .

L'usage de matières comme le marbre, dont les couleurs claires n'absorbent pas la chaleur du soleil.

Les différentes plantations des jardins prodiguent une ombre bienfaisante aux promeneurs et les protègent de la rigueur du soleil ; l'évapotranspiration participe à l'humidification de l'air.

Le patio du palais de los leones possède en tout onze fontaines réparties symétriquement dans l'espace, et de manière relativement équilibrée afin de diffuser une fraîcheur plus homogène<sup>21</sup>

Les multiples fontaines, jets et rigoles de l'Alhambra permettent générer une circulation d'eau et la vitesse de ce courant rafraîchit plus aisément l'atmosphère. Ces différents usages de l'eau étaient très répandus dans les habitations, des plus simples au plus riches, pour des raisons tant pratiques que décoratives.

Lors de période hivernale, afin de conserver une plus grande chaleur, on limitait les animations des fontaines.

L'exemple de l'alambra de Grenade montre une adaptation climatique utilisant les facteurs de gestion de l'eau pour un confort climatique aussi bien en période estivale qu'hivernale.

---

<sup>20</sup> Vicente Beaufils, Bénédicte. L'expression de la culture de l'eau dans l'Alhambra : poids de la réalité et pouvoir de l'imaginaire – 2008

<sup>21</sup> José Álvarez de Colmenar, Délices d'Espagne et du Portugal. Leide : Edition Pierre Vander Aa, 1707, p.490 :



Ensembles d'arbres ombrageant la place Bellecour



Noue végétale de La place Bellecour

### 2.5.2 Exemple d'intervention de la ville de Lyon :

Ces dernières années la ville de Lyon a mis en place des dispositifs visant à réduire la pollution atmosphérique mais aussi à améliorer le confort climatique. Pour cela 3 axes de développement sont mis en œuvre :

- Renforcer la végétalisation de la ville
- Préserver la ressource en eau
- Adopter un urbanisme et des formes architecturales adaptées au changement climatique.

Pour Renforcer la végétalisation, la ville a décidé de ne plus créer d'espaces publics à dominante minérale. Notamment en développant la végétalisation des bâtiments publics.

Les bâtiments communaux possédant des toitures terrasses sont végétalisés de manière semi-intensives ou intensives suivant leur surface.

Toiture végétalisée sur les Halles Paul Bocuse

En plus des toitures, les façades fleurissent de plantes grimpantes. Les pieds de mur



se végétalisent aussi, pour permettre la diminution globale de la température dans les espaces publics et améliorer le confort à l'intérieur des bâtiments.



Mise en place d'un système de récupération des eaux de pluie dans les Groupes Scolaires Aimé Césaire



Marchabilité, montée de la Grande Côte

Pour garantir l'efficacité de la végétation une gestion appropriée de l'eau est nécessaire. Il s'agit de développer un arrosage sobre et adapté au développement et à la préservation de la végétation urbaine, notamment en période de forte chaleur.

La récupération et le stockage de l'eau de pluie sont favorisés pour l'arrosage des espaces verts en cas de sécheresse. La ville utilise dans la mesure du possible, les espaces souterrains publics ou privés pour le stockage de l'eau. L'eau ainsi récupérée sert à l'arrosage des espaces verts du parc et de l'école ;

Jouant sur l'effet albédo, un plan «couleur de Lyon» est mis en place. Les tons bleutés clairs sont préconisés pour favoriser un faible niveau émissif des façades. Sols, voiries et toitures entrent aussi dans ce dispositif d'éclaircissement.

Un «plan piétons» multidimensionnel est également mis en place. Son objectif est de renforcer les connexions physiques entre les lieux de fraîcheur par des cheminements «verts»<sup>22</sup>

Pour s'adapter au changement climatique la ville de Lyon a décidé de développer ses réseaux d'espaces verts et d'utiliser les opportunités qu'offre la ville pour créer de nouveaux lieux de fraîcheur urbains connectés entre eux.

---

22Lyon ville durable, « Adaptation au changement climatique » dans Plan climat-énergie territorial de la ville plan d'Actions à l'horizon 2020 - la collectivité s'engage , <https://www.lyon.fr/sites/lyonfr/files/content/migrated/735/77/plan-actions-climat-energie-bd.pdf>



Projet jade éco park

### 2.5.3 Le jade eco park

Ce projet à été réalisé par :Philippe Rahm architectes,Paysagistes Mosbach et Ricky Liu & Associés

Jade eco park à Taiwan est un projet d'espace extérieur dans lequel le climat humide subtropical de Taichung est atténué. Il s'agit d'un aménagement de 70 hectares situé sur un ancien aéroport. Le programme du parc intègre des activités de loisir, sportives, familiales et touristiques.

Le principe de conception du Jade eco park est basé sur les variations climatiques. Il s'agit d'augmenter les différences de microclimats afin d'augmenter la fraîcheur, la sécheresse, la propreté des lieux ; Ainsi dans un premier temps les espaces chauds, humides et pollués existant sont cartographiés. Dans un second temps un catalogue de dispositifs climatiques naturels et artificiels est inventé. Ces appareils sont classés en trois catégories : les appareils de refroidissement, les appareils de séchage, les appareils dépolluants.

Ainsi certains espaces sont moins chauds grâce à l'ombre apportée par des arbres ou des dispositifs rafraichissants ... D'autres espaces sont moins humides grâce à des dispositifs abaissant l'humidité de l'air, ou des équipements de protection de pluie et de maîtrise des inondations. Enfin des espaces moins pollués sont créés grâce à des aménagements végétaux ou artificiels améliorant la qualité de l'air, atténuant le bruit et éloignant certains insectes indésirables comme les moustiques .

23

---

23 Philippe Rahm architectes, jade eco park,2016 [article] en ligne :<http://www.philipperahm.com/data/projects/taiwan/index.html>



Place de la bourse, février 2019



Boulevard Anspach, février 2019

### **3 Opportunités du contexte bruxellois pour un confort climatique urbain**

Ainsi quatre facteurs influençant le confort thermique : l'eau, la forme urbaine, la couverture végétale, l'effet albédo des matériaux

L'exemple de l'Alambra de Grenade montre une adaptation climatique utilisant les facteurs de gestion de l'eau pour un confort climatique aussi bien en période estivale qu'hivernale.

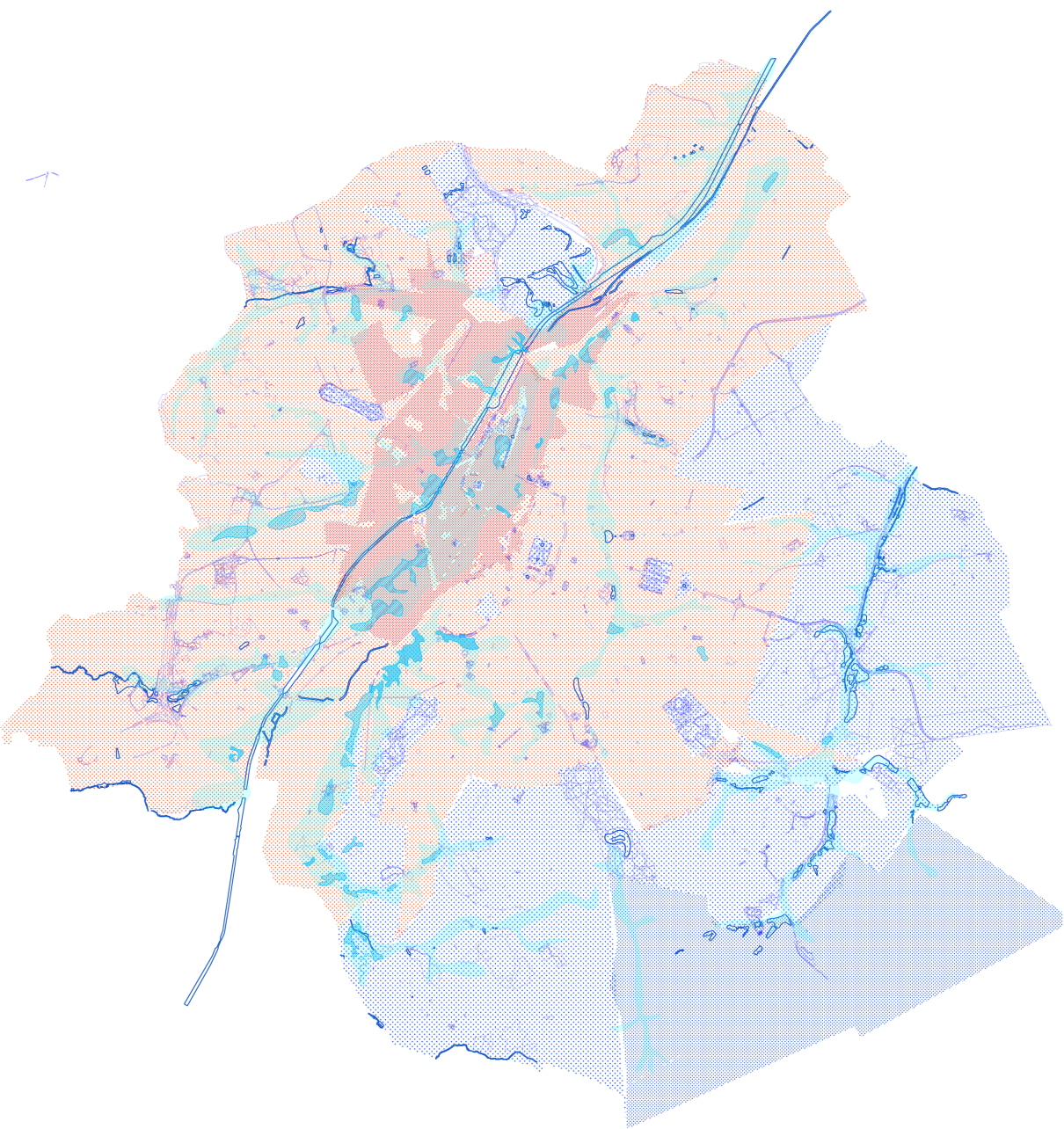
Pour s'adapter au changement climatique la ville de Lyon joue sur ces facteurs en utilisant principalement des réseaux d'espace vert et l'opportunité qu'offre la ville pour créer de nouveaux lieux de fraîcheur urbains, connectés entre eux.

L'exemple du jade eco Park s'appuie sur les variations climatiques du site, met en place des dispositifs créant des cellules de confort climatique.

Cependant les dispositifs mis en place sont ponctuels et ne sont pas pensés comme un réseau à travers la ville.

Au travers de ces exemples, on peut se demander quelles sont les opportunités du contexte de Bruxelles pour un confort climatique urbain.

# Corrélation entre espaces inondables et îlots de chaleur



Chaleur: + —————> -



Aléa d'inondation faible

Aléa d'inondation forte

### 3.1 Potentiel de l'eau pluviale à Bruxelles

La ville de Bruxelles a un rapport à l'eau complexe. Autrefois, la capitale était parcourue par de nombreux cours d'eau la Senne, Molenbeek, Maelbeek, Woluwé, Geleysbeek ... La présence de ses anciens cours d'eau a fortement marqué la topographie, dont la trace subsiste dans l'espace urbain.

Avec l'industrialisation, les eaux sont une première fois canalisées. Puis avec le courant hygiénistes, la présence des eaux de surface se réduisent et un vaste un réseau d'égouttage est mis en place. Ainsi, les vallées humides ont drastiquement diminué. La Senne et ses affluents se réduisent principalement au canal. Cela augmente les volumes d'eau polluée et favorise les inondations.<sup>24</sup>

Ainsi, il est intéressant de constater que la superposition des cartes des aléas inondables et des îlots de chaleur montre une relation entre ces deux phénomènes. Les îlots de chaleur ne sont pas à l'origine d'inondation, mais ceci indique d'avantage la valeur imperméable des sols. En effet, l'eau ruisselle le long des pentes pour terminer dans les fonds de vallée. Elle reste prisonnière d'un sous-sol imperméable sans possibilité de s'évaporer.

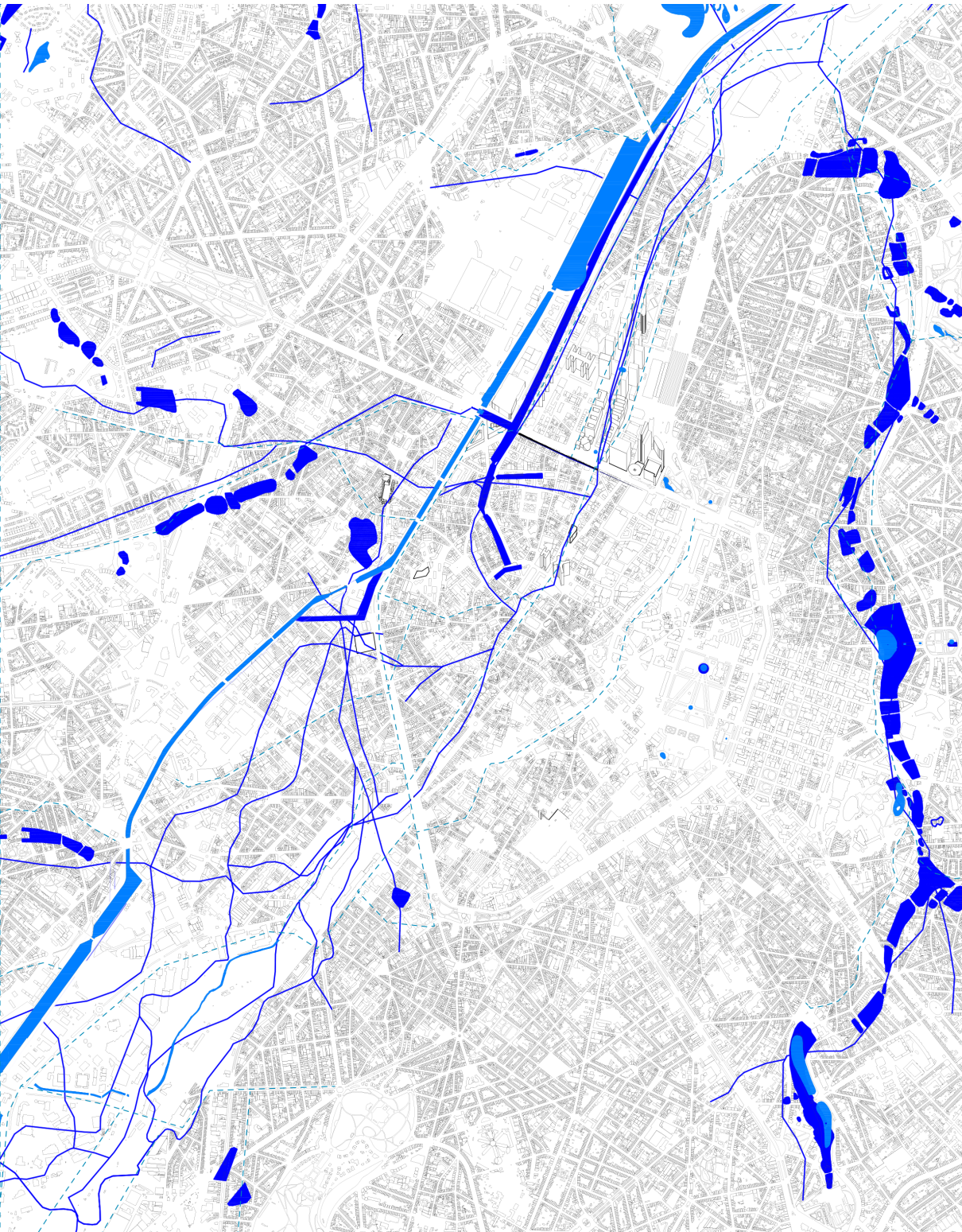
Aujourd'hui, l'eau pluviale de la ville est considérée comme déchet et non comme une ressource. En l'absence de réseau séparatif, les eaux de ruissellement sont mélangées aux égouts. Ces eaux finissent leurs courses dans le canal. Cela entraîne une pollution des eaux de surface et les rendent inexploitable.

Comme vus dans le chapitre précédent, les changements climatiques ne s'accompagnent pas seulement d'une hausse des températures, mais aussi d'une augmentation des précipitations. Il y a donc une opportunité de recueillir l'eau en amont afin de rafraîchir l'espace urbain et de diminuer les aléas inondables. Cela soulève dans le même temps des questions de gestion de cette ressource au cours du temps. En effet, L'utilisation d'eau pluviale oblige à une réflexion sur sa collecte, son assainissement, son stockage et sa distribution.

---

24 EGEB, Etat généraux de l'eau à Bruxelles : Réconcilier la ville avec l'eau [Rapport en ligne] (pages consultées le 10/10/2018).Disponible sur: <http://www.egeb-sgwb.be/article320.html>

# Evolution des eaux de surfaces à Bruxelles

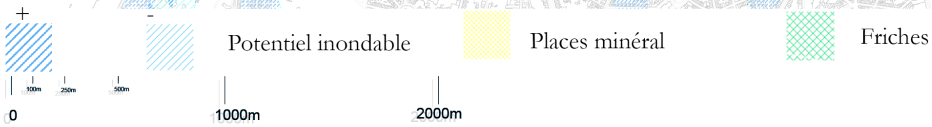
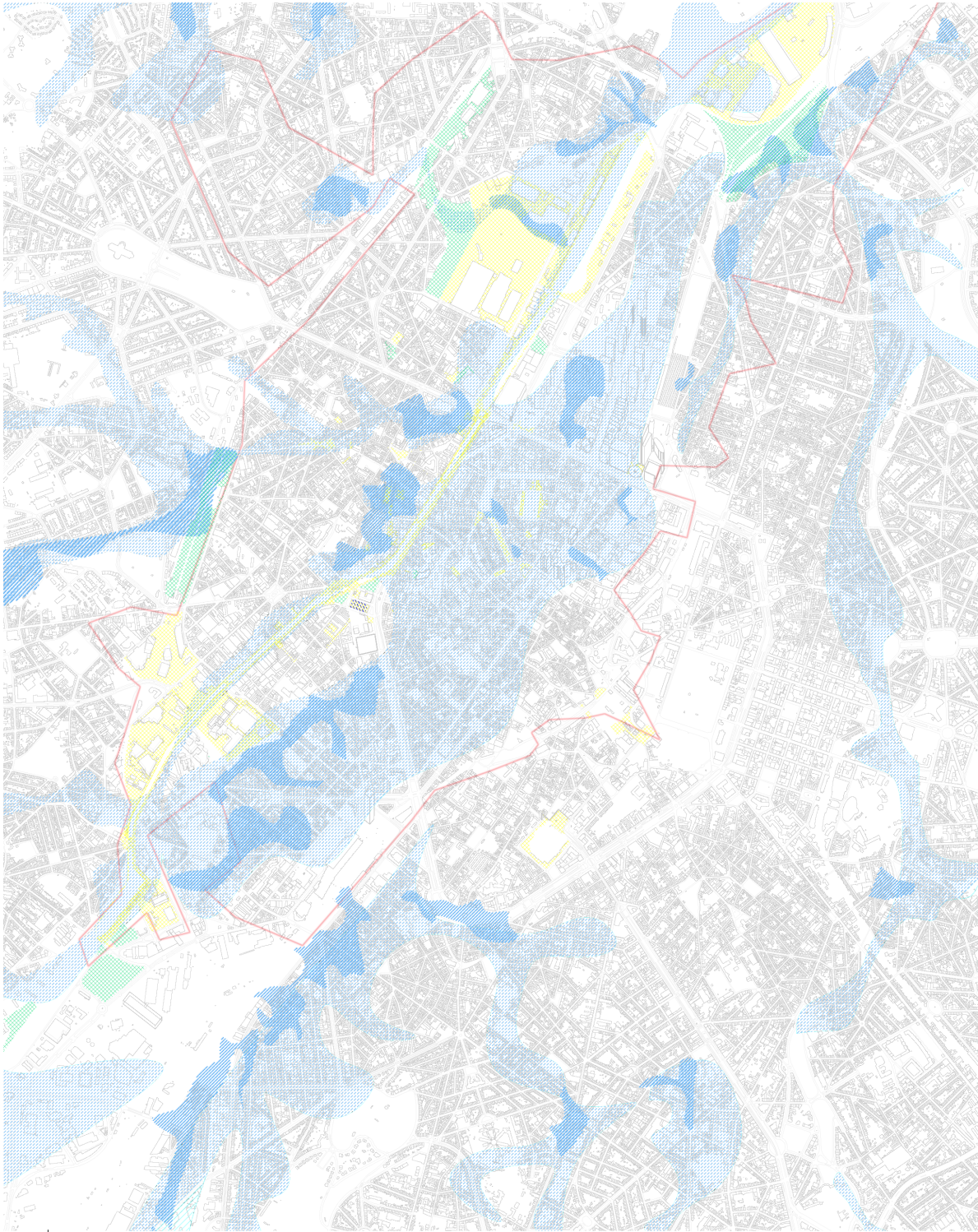


■ Eau de surface 2019

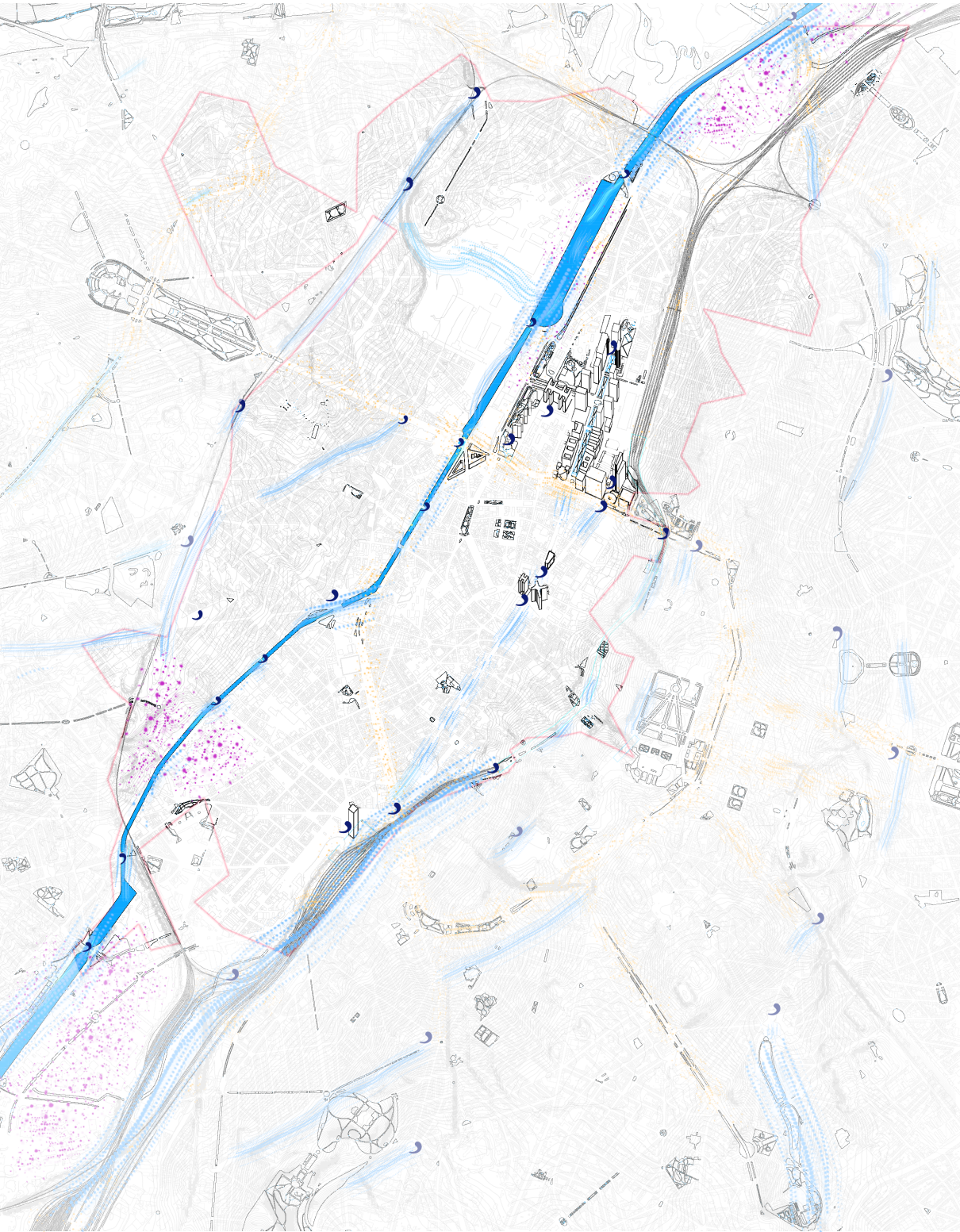
- - - Eau souterraine


■ Eau disparue entre 1777 1970








# Carte hypothétique des vents à Bruxelles



 Pollution industrielle

 Pollution NO2

 Couloir de vents

 Zone de turbulence

0 500m 1000m 2000m

1000m

2000m

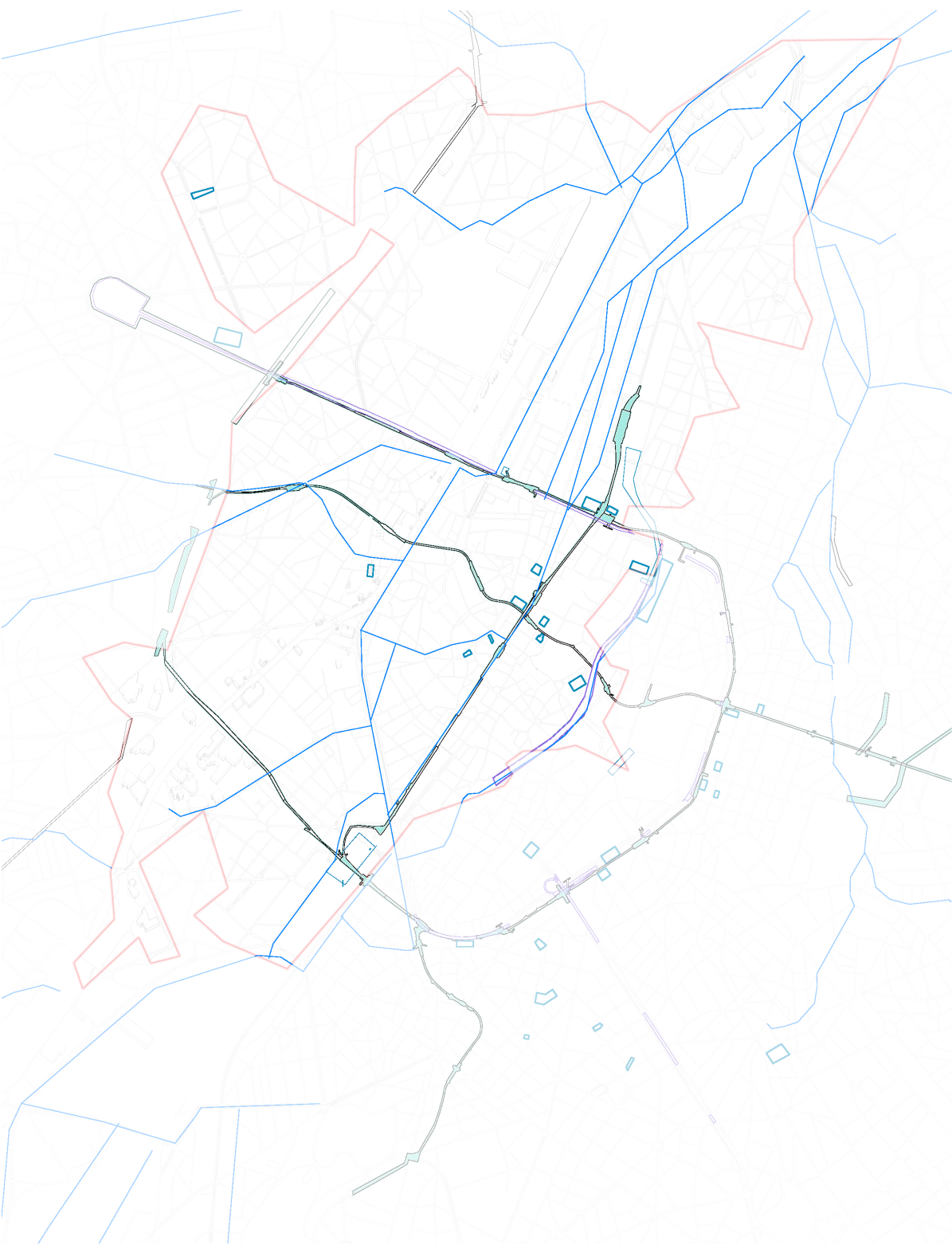
### **3.2 Potentiel des espaces soumis au courant d'air**

La direction du vent dans la région Bruxelles est principalement dans l'axe nord-est. Le vent suit la topographie, ainsi les fonds de vallée sont d'avantage soumis au courant d'air.

En ville, les vents sont modelés par la rugosité du tissu urbain. À Bruxelles, les couloirs de vent principaux sont l'axe du canal et l'axe dessiné par la voie de chemin de fer. La concentration de bâtiments hauts, est à l'origine de dépression ou zones de turbulences d'air. On retrouve ses espaces de turbulence en particulier au niveau des ponts du canal. Mais aussi des bâtiments de la rue Rogier qui forme comme une barrière aux vents venant de grand axe de la ville.

D'autre part, si la pollution de l'air est importante en ville, c'est par manque d'aération. Les espaces ouverts accueillent davantage de vent. Les grands axes comme le canal créent des couloirs de vent propices au renouvellement de l'air et contribuent donc au rafraîchissement en été . Cependant, de trop grands courants d'air peuvent avoir comme effet d'assécher l'air. Ces espaces de prise au vent peuvent être un potentiel d'îlots de rafraîchissement urbain. Ils peuvent avoir un effet de brumisateurs naturels en les couplant avec une humidification de l'air. En revanche en hiver ces espaces ne sont pas confortables et sont donc peu fréquentés.

# Carte des espaces souterrains de Bruxelles



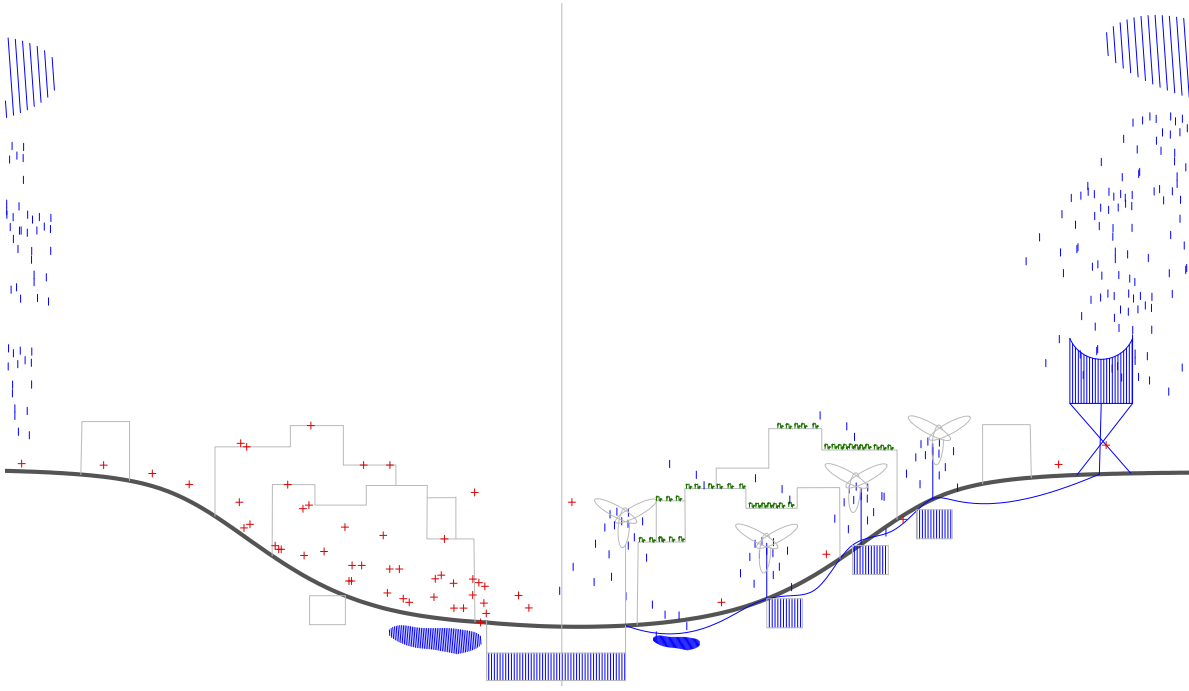
- Eau
- Métro souterrain
- Tunnel
- parkings et galerie souterrains



### **3.3 Potentiel des espaces souterrains**

Bruxelles dispose d'un vaste réseau souterrain constitué principalement par son labyrinthe de métro et le voutement des eaux de la ville. Mais aussi par quelques aires souterraines abandonnées comme à la gare du midi, ou une partie du métro avenue Louise qui n'a jamais été mis en service. A cela s'ajoute les parkings en sous-sol.

Ces lieux couverts protégés de la réflexion solaire sont des espaces de stockages d'air frais en période estivale et sont des réservoirs de chaleur l'hiver. En effet durant les périodes de hautes températures, l'air froid plus lourd reste piégé dans le sous-sol, tandis que l'air chaud plus léger stagne au-dessus. Lorsqu'il fait plus froid à l'extérieur, l'air souterrain garde une température plus élevée



## 4 Hypothèse de projet pour un confort climatique urbain

Pour permettre un confort thermique, Bruxelles dispose de facteurs naturels pouvant être exploités.

La principale opportunité est d'utiliser l'eau de pluie afin de rafraîchir l'espace urbain et diminuer les aléas inondables. Cela soulève dans le même temps des questions de gestion de cette ressource au cours du temps. Ainsi il y a une réflexion sur la collecte, le stockage et la distribution de l'eau.

D'autres opportunités du contexte bruxellois se dessinent comme les souterrains principalement mis en avant par la figure du métro. Ces espaces peuvent stocker l'eau récupérée, mais il est également possible de l'utiliser pour réguler les différentiels de température d'air.

Une troisième opportunité est le vent qui se localise le long du canal et les voies de chemin de fer. Il joue le rôle de diffuseur de fraîcheur en été mais est peu confortable en hiver.

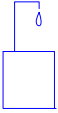
Pour développer les potentiels de ces espaces une boîte à outils de dispositifs est mise en place. Ces prototypes amplifient la fraîcheur en été et exploitent les facteurs naturels comme l'eau pluviale, le vent, la fraîcheur de l'air souterrain. En parallèle, est développée leur capacité réversible pour les périodes froides.

Ainsi, les dispositifs projetés, transforment l'espace et donnent lieu à de nouvelles pratiques.

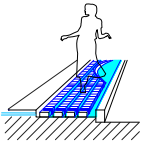
Période chaude et sèche

Période froide et humide

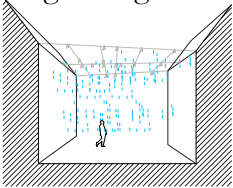
Eau potable



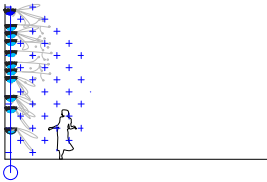
Humidification des chaussées



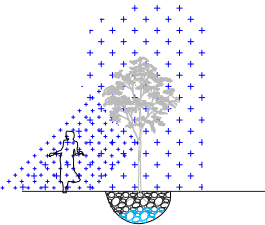
Pergola végétale



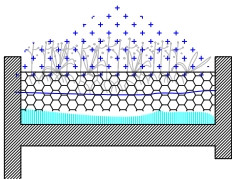
Façade végétale



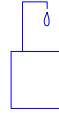
Noue végétale



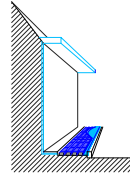
Végétation toiture



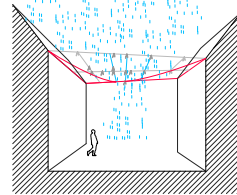
Eau potable



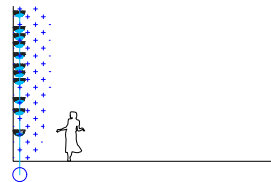
Récolte d'eau en toiture



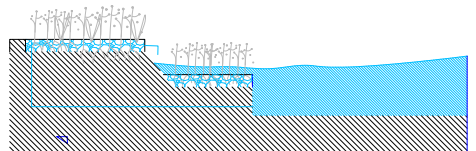
Voile, pare-pluie



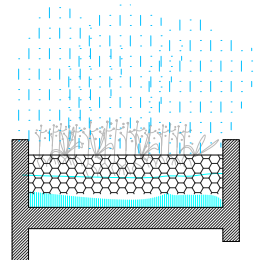
Collecteur d'eau de façade



Assainissement et collecteur de rosée



Collecteur d'eau en toiture



#### **4.1 Proposition s'appuyant sur l'eau pluviale :**

L'eau est une ressource de fraîcheur disponible en grande quantité à Bruxelles. Les dispositifs établis utilisent majoritairement l'eau pluviale. Du point de vue conceptuel, l'utilisation d'eau de pluie oblige à une réflexion sur 4 fonctions principales : La collecte, le traitement, le stockage, la distribution.

La collecte des eaux :

Dans un premier temps, les eaux de surfaces sont des sources d'eau évidente.

D'autre part, les toitures peuvent récupérer l'eau de pluie que l'on peut stocker localement. Entre autres, les toitures plates sont des moyens efficaces de récolte d'eau pluviale. À Bruxelles, celles-ci se concentrent principalement dans les zones industrialisées le long du canal.

Le traitement des eaux :

Plusieurs types de traitement sont possibles, des traitements chimiques ou naturels.

Les traitements chimiques ont le désavantage d'augmenter la pollution contrairement au traitement naturel.

Une solution de dépollution des eaux est l'utilisation de plantes. À l'image d'un écosystème, les propriétés des plantes aquatiques permettent l'autoépuration. Il s'agit de plantes épuratives, de plantes oxygénases. Ce système de filtration de l'eau permet à la fois d'obtenir une eau saine, mais aussi développer la biodiversité terrestre comme aquatique. L'assainissement des eaux par phytoépuration demande cependant des espaces importants. Les friches situées le long du canal sont des lieux potentiels pour de tels systèmes. De plus il permet de développer les espaces verts en ville.

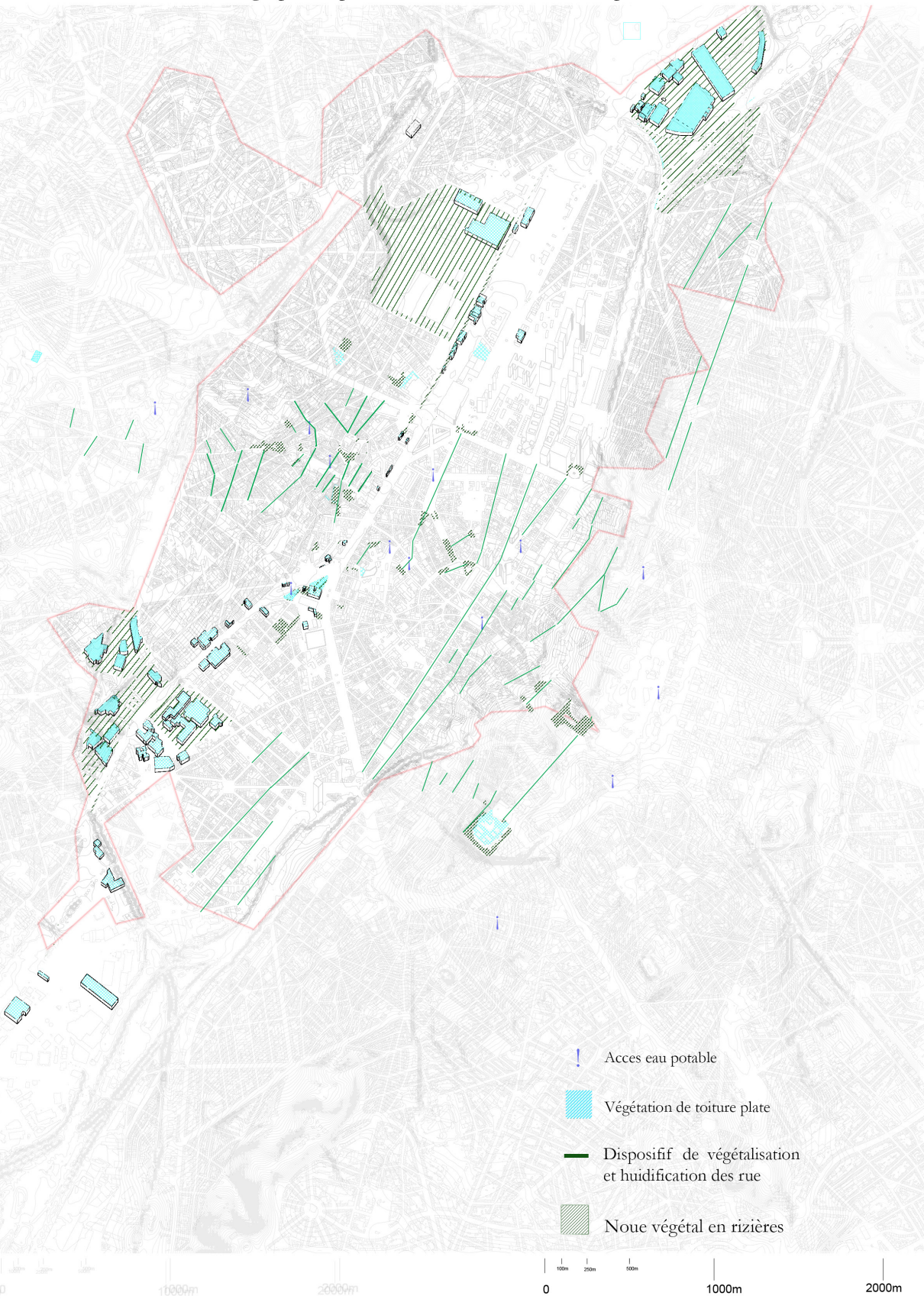
Le stockage des eaux :

Une fois assainie, l'eau a besoin d'être stockée pour être utilisée à la période voulue. Pour éviter sa dégradation, il faut privilégier un maintien de l'eau dans l'obscurité. Un maintien de la température à 18°C. Mais aussi permettre une évacuation de l'eau en cas de surplus. Les espaces souterrains vacants sont des moyens de stockage disponibles. Les noues sont aussi des systèmes qui en hiver recueillent efficacement l'eau et en été sont sources de rafraîchissement.

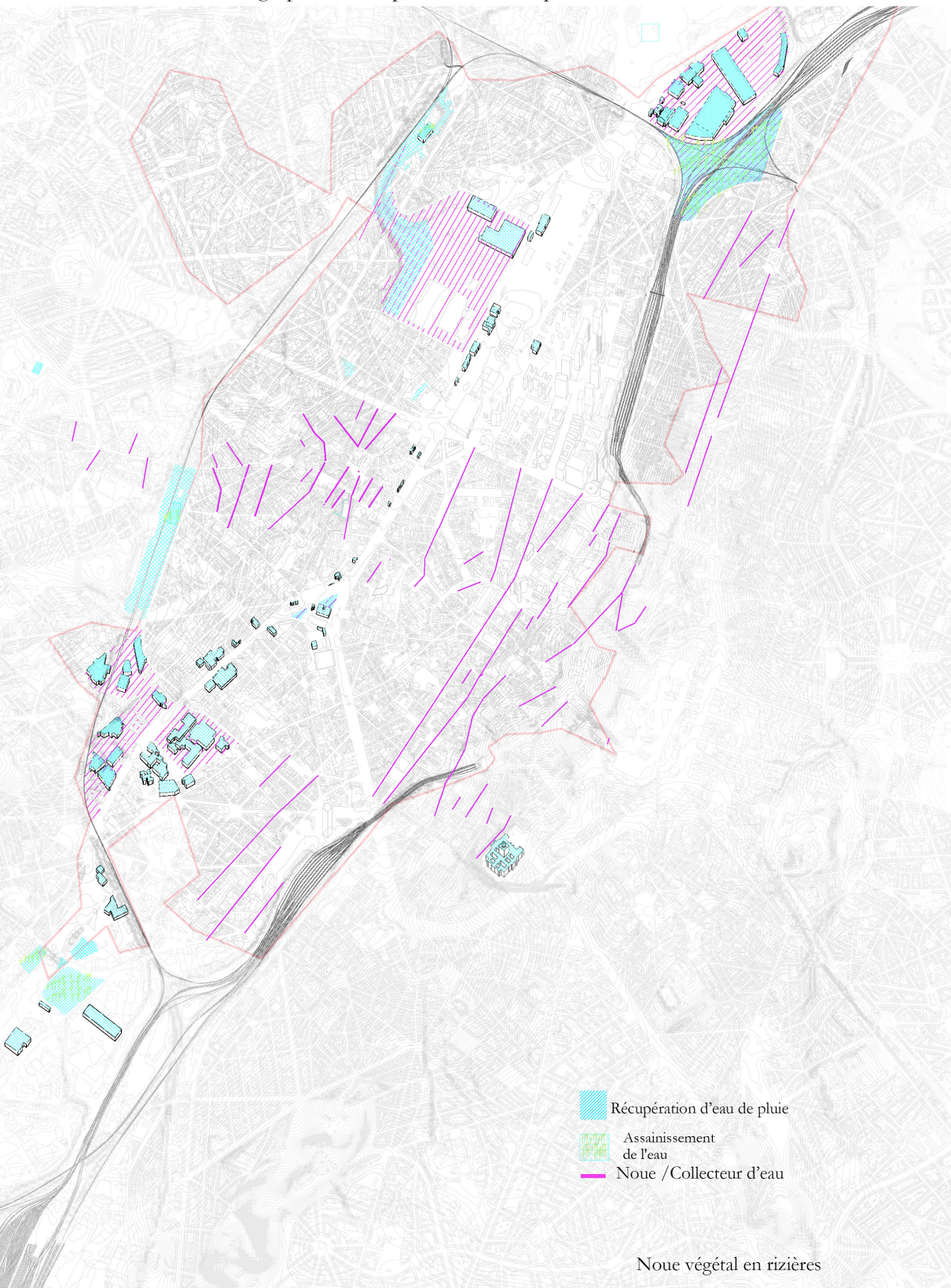
La distribution




La distribution de l'eau est facilitée si elle suit un chemin gravitaire. Ainsi, pour permettre la distribution de l'eau, il faut composer avec la topographie. Les rues perpendiculaires à la ligne de pente sont propices à la récupération d'eau. Telles des rizières, elles permettent d'irriguer de nouveaux espaces verts.

# Cartographie espace de fraîcheur utilisant l'eau pluviale



# Cartographie des dispositifs d'eau de pluie en hivert



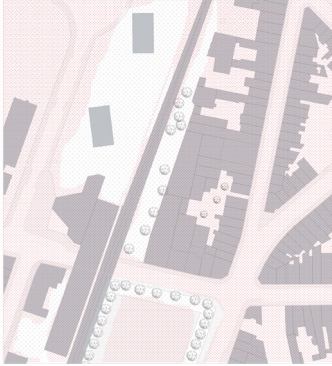
-  Récupération d'eau de pluie
-  Assainissement de l'eau
-  Noue / Collecteur d'eau

Noue végétal en rizières



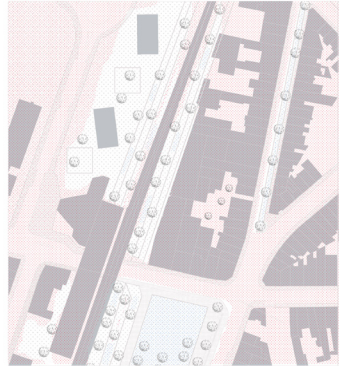
Croisement chaussé de Gand , rue Jean Jaquet

Constat

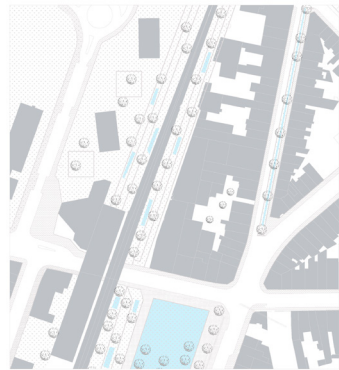


Période chaude

Projection



Période hivernal



Exemple d'intervention à l'échelle de l'îlots:

Croisement chaussé de Gand , rue Jean Jaquet

Le site possède plusieurs espaces verts, mais ceux-ci ne sont pas exploités ; notamment une zone de friche le long de la voie de chemin de fer.

Par ailleurs les rues adjacentes sont fortement minéralisées.

En période chaude, actuellement la zone de friche est un espace non fréquenté, et la rue est peu ombragée. Ces lieux sont peu accueillants.

En période hivernal, la zone de friche est peu fréquentée, elle contient des sources, mais le manque d'aménagement la rendent inhospitalière.

Dispositifs mis en place :

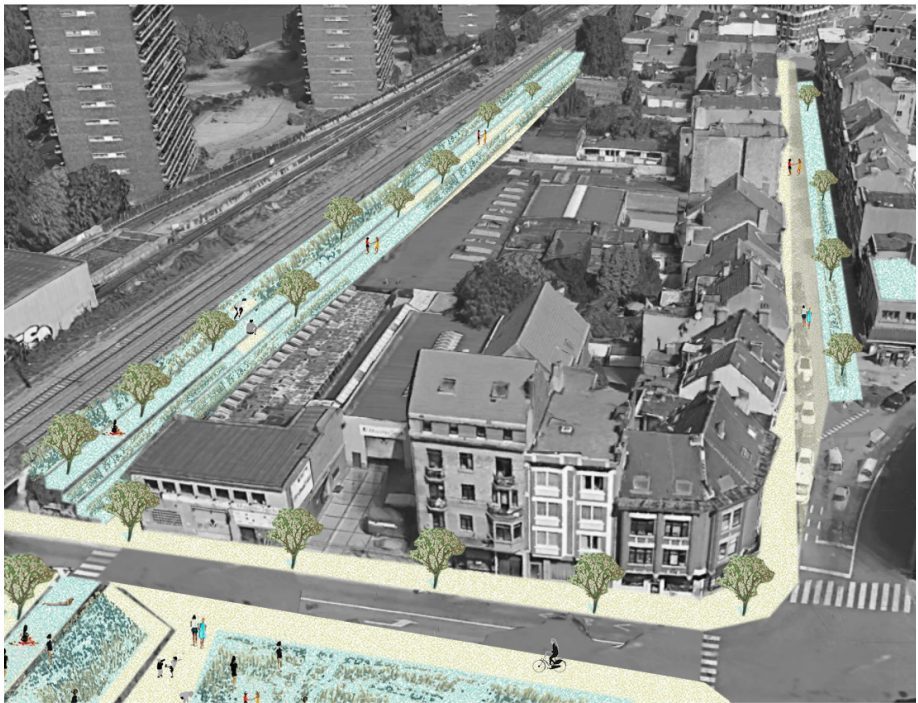
Il s'agit d'un aménagement de la friche en rizière. L'eau est récoltée par paliers successifs, des noues perpendiculaires sont installées, le tout permet de maîtriser l'effet de marécage.

Impact du dispositif :

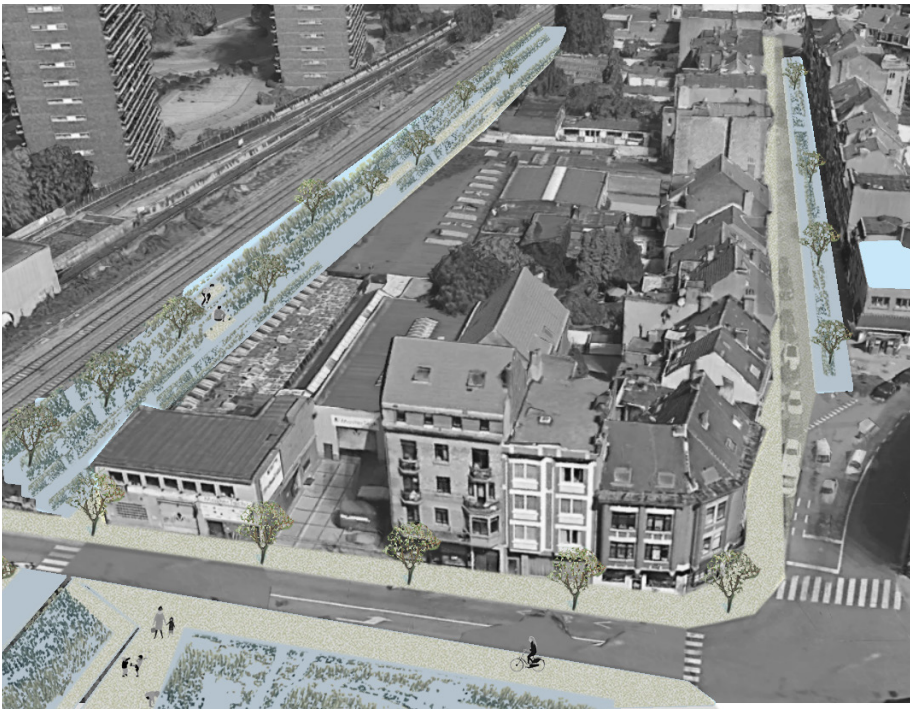
L'eau récoltée pendant l'hiver sera disponible pour les espaces verts et rafraichira la zone en période de chaleur. Cette eau permettra le développement des arbres et de la végétation nécessaire à l'ombrage de la rue. L'espace devient accueillant, c'est un lieu de rencontre, de promenade et de jeux d'eau.

En période pluvieuse, la récolte d'eau est maîtrisée dans les marches des rizières. La friche est transformée en un espace public, vert, aménagé et accessible.

Projection en été



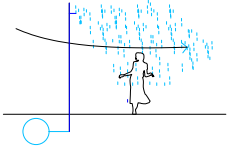
Projection période pluvieuse



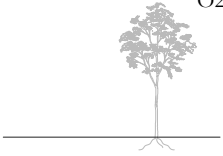
# Eau et vent

## Période chaude et sèche

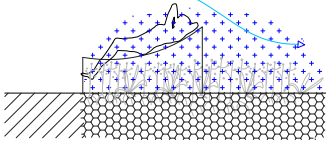
Brumisateur  
Nuage urbain



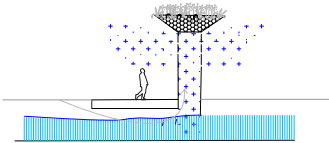
végétation dépolluante  
O<sub>2</sub>



Végétation basse



Tour à vent

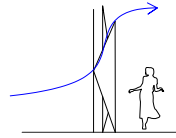


Période d'Interdiction ,circulation  
contre pics de pollution

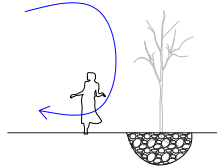


## Période froide et humide

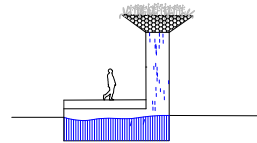
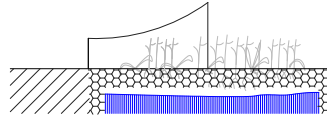
Voile brise vent



végétation dépolluante  
O<sub>2</sub>



Collecteur de rosée



Période d'Interdiction ,circulation  
contre pics de pollution



## 4.2 Proposition s'appuyant sur le facteur eau et vent :

Les dispositifs de rafraîchissement mis en place agissent avec les espaces de prise au vent. Les couloirs de vent principaux sont l'axe du canal et l'axe dessiné par la voie de chemin de fer.

Les ponts du canal sont soumis au vent accueillant les dispositifs de brumisateurs ou detour à vent. L'utilisation de végétation basse le long des berges permet d'augmenter la porosité des sols sans faire obstacle aux courants d'air en été.

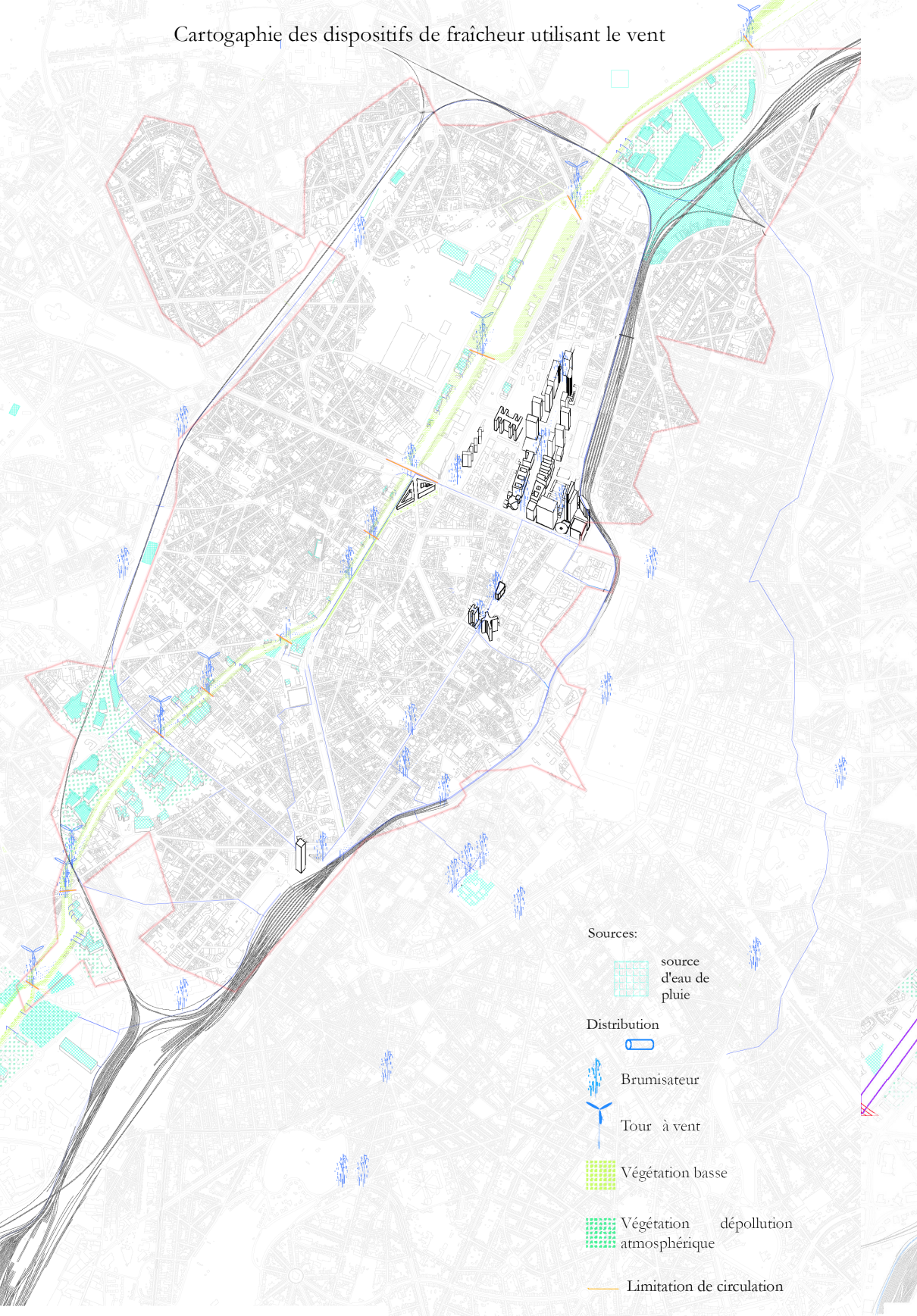
En période hivernale les courants d'air sont inconfortables ainsi des dispositifs de brise-vent sont mis en place.

Pour alimenter les brumisateurs en période estivale, des sources et des assainissements sont aménagés en amont du canal.

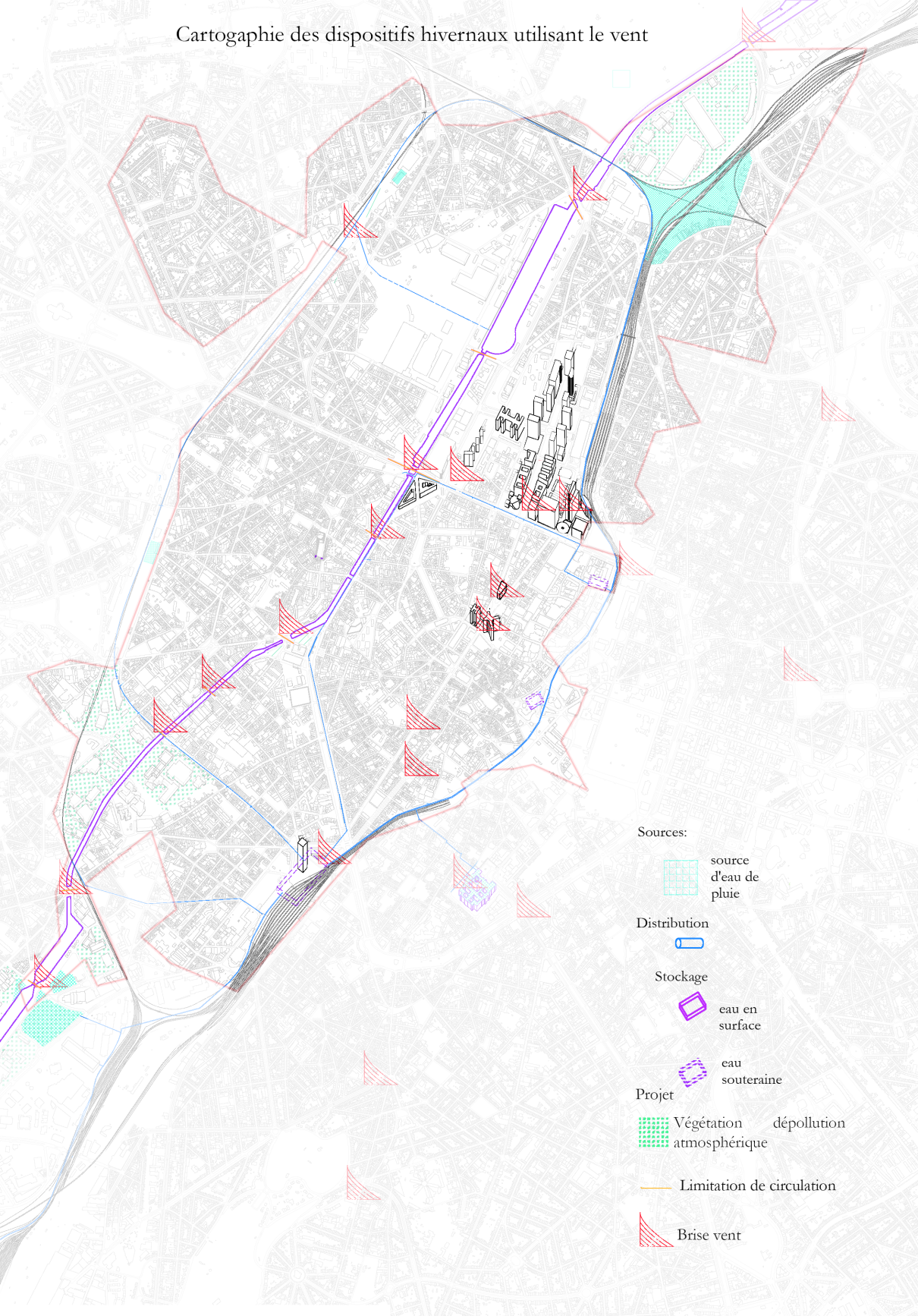
L'eau récupérée des toitures plates des zones industrielles est un complément pour alimenter les dispositifs. Le stockage de l'eau se fait le long du canal, une autre partie de l'eau peut être stockée dans les espaces souterrains pour alimenter les brumisateurs situés au-delà du canal.

Les axes en pente douce des voies de chemin de fer sont utilisés Pour distribuer l'eau jusqu'aux lieux de stockage souterrain.

# Cartographie des dispositifs de fraîcheur utilisant le vent



# Cartographie des dispositifs hivernaux utilisant le vent

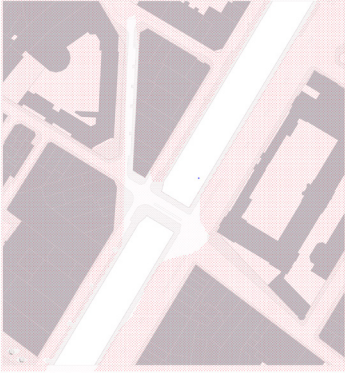


- Sources:
  - source d'eau de pluie
- Distribution
  -
- Stockage
  - eau en surface
  - eau souterraine
- Projet
  - Végétation dépollution atmosphérique
  - Limitation de circulation
  - Brise vent



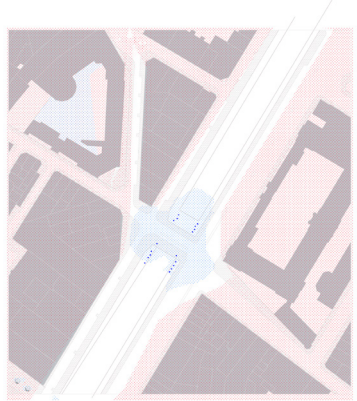
Projection Brumisateur pont de Witte de Haelen

Constat

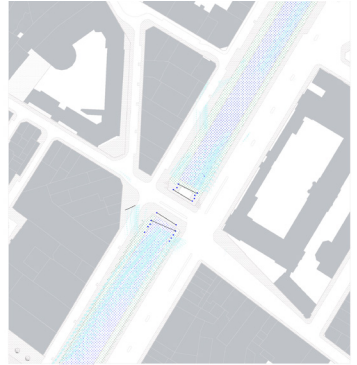


Période chaude

Projection



Période hivernal



Exemple d'intervention a l'échelle de l'îlots:

Pont rue de Witte de Haelen

Le site actuel est un pont où l'espace piéton est réduit à de simples trottoirs. C'est exclusivement un lieu de passage.

En période estivale, les quais pavés et bitumés sont une source de chaleur. L'eau du canal a un potentiel rafraichissant. Cependant, l'encaissement profond du canal empêche sa fraîcheur de diffuser aux alentours.

En période hivernale, Le froid ressenti est particulièrement désagréable car le canal constitue un couloir de vent.

Dispositifs mis en place :

Le projet se propose d'élargir le pont, et d'y installer des brumisateurs, les berges sont également exploitées. Elles sont paysagées et laissent passer le vent. Elles sont élargies plantées d'une végétation basse et phytoéplicative, elles stockent, assainissent l'eau. C'est cette eau qui sera pompée par les brumisateurs.

Les brumisateurs sont composés de haut en bas, d'un diffuseur de brume, d'un mat vertical, d'une pompe et d'une hélice. L'énergie quand à elle est issue du courant d'eau du canal. La force hydraulique permet de faire tourner l'hélice et de transférer l'énergie acquise à la pompe, qui remontera l'eau assainie, le long des mats des brumisateurs, et sera diffusée.

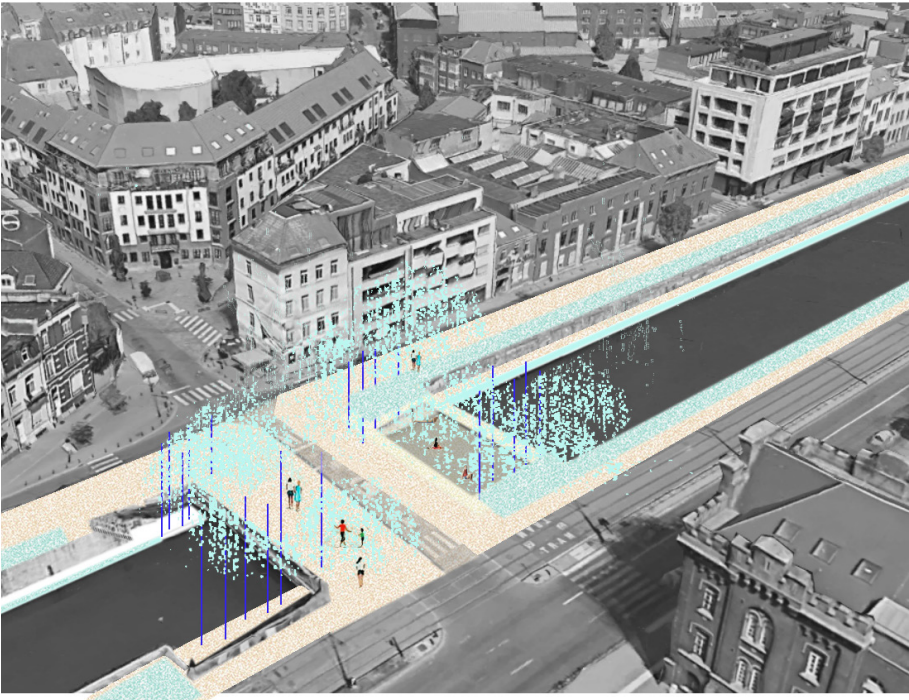
Pour profiter de la brume au-delà de la voirie, un filet jouant le rôle d'un grand hamac est tendu au-dessus du canal.

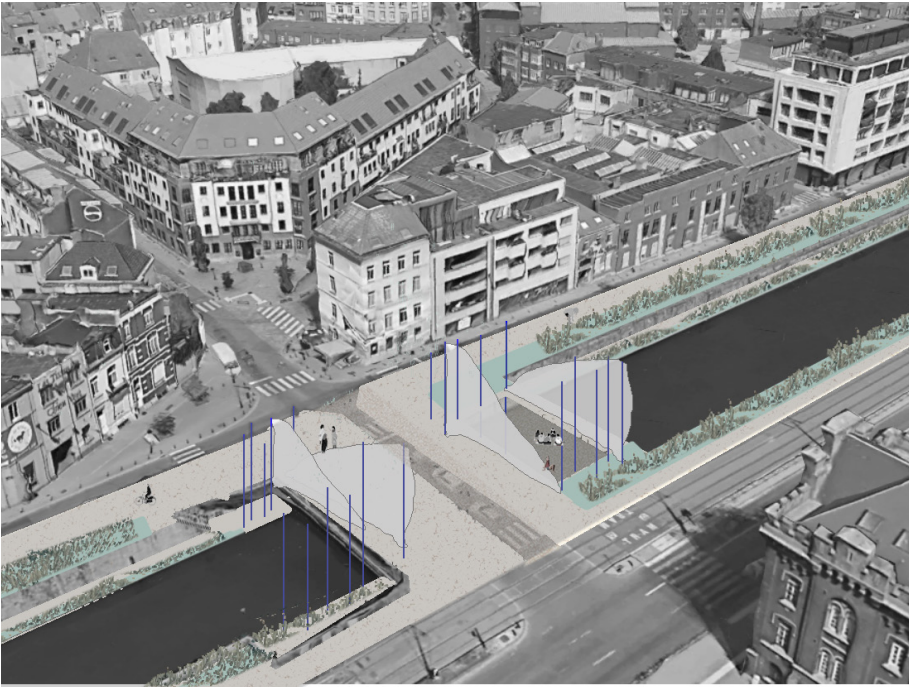
Lorsqu'il y a du vent, des toiles tendues entre les mats des brumisateurs, permettent de protéger les usagers. Les voiles sont constituées de fibres qui piègent l'eau. Cette eau est dirigée vers les berges et leurs plantes filtrantes Le stock d'eau assainie alimentera les brumisateurs en période de chaleur.

Impact des dispositifs :

En période de chaleur, les espaces d'assainissement et les brumisateurs permettent de remettre en valeur l'eau. Le brumisateur donne une nouvelle identité au pont du canal. C'est aussi un nouvel espace ludique. Il contribue au rafraichissement de la zone. Les berges deviennent un espace de promenade ou de plage urbaine, de rencontre. L'ensemble du projet permet aux habitants de réinvestir les lieux avec plaisir, et le commerce alentour est prêt à s'y redévelopper.

Projection en été

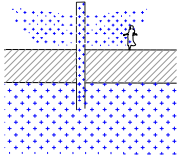




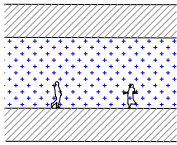
## Aire souterraine

### Période chaude et sèche

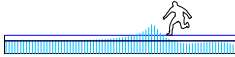
Ventilateur urbain



Habiter les souterrains

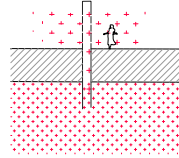


Miroir d'eau

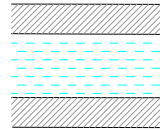


### Période froide et humide

Chauffage urbain



Stockage d'eau



Patinoire



Les voiles donnent une nouvelle identité au pont du canal. L'élargissement du pont permet aux habitants de l'investir, Plus qu'un lieu de passage ludique où se croisent les silhouettes des passants, il peut constituer un point de rencontre.

### **4.3 Proposition s'appuyant sur l'opportunité souterraine :**

Les dispositifs de rafraîchissement mis en place se dessinent le long de la ligne du métro. Ces espaces souterrains possèdent un différentiel de température par rapport à l'air extérieur. Le but est donc d'exploiter cette ressource, soit par des dispositifs restituant ce différentiel, soit en occupant les espaces perdus de la ville.

En période de chaleur, autour des sorties de métro, des dispositifs de ventilateurs urbains restituent de la fraîcheur de l'air souterrain dans l'espace public extérieur.

Les espaces souterrains abandonnés sont investis pour devenir des lieux d'activité, utilisant la fraîcheur des galeries.

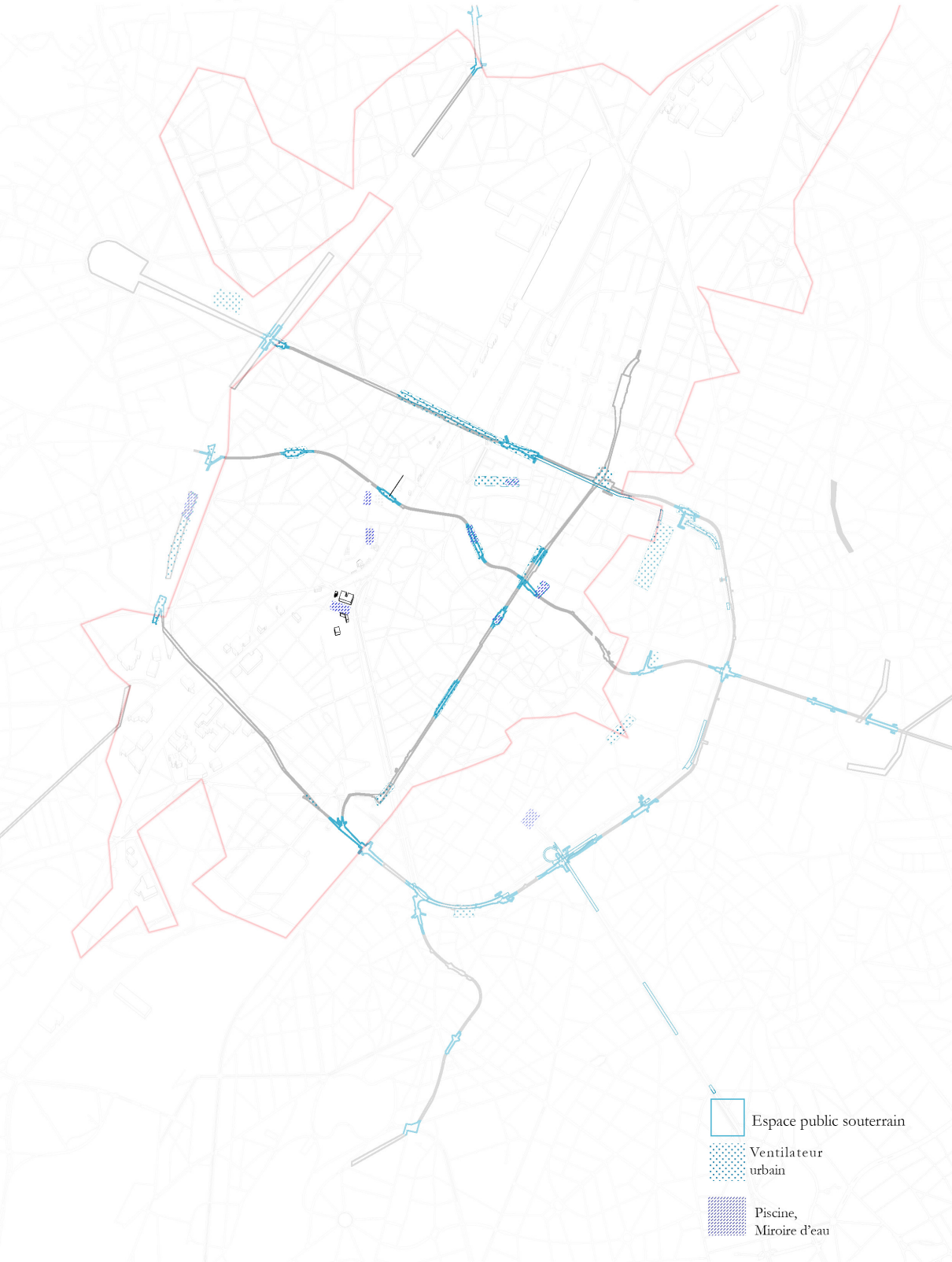
Les espaces comme parking au-dessous des places sont utilisés comme espace de stockage d'eau. Cette eau est restituée à l'air libre de façon à créer des miroirs d'eau.




En hiver, les ventilateurs urbains deviennent, en suivant le même principe, des dispositifs de chauffage urbain.

Les espaces souterrains de grandes dimensions, comme sous la gare du midi, peuvent stocker une quantité importante d'eau.

En période pluvieuse, les espaces de stockage d'eau sont renouvelés. Par temps très froid les miroirs d'eau se convertissent en patinoires urbaines

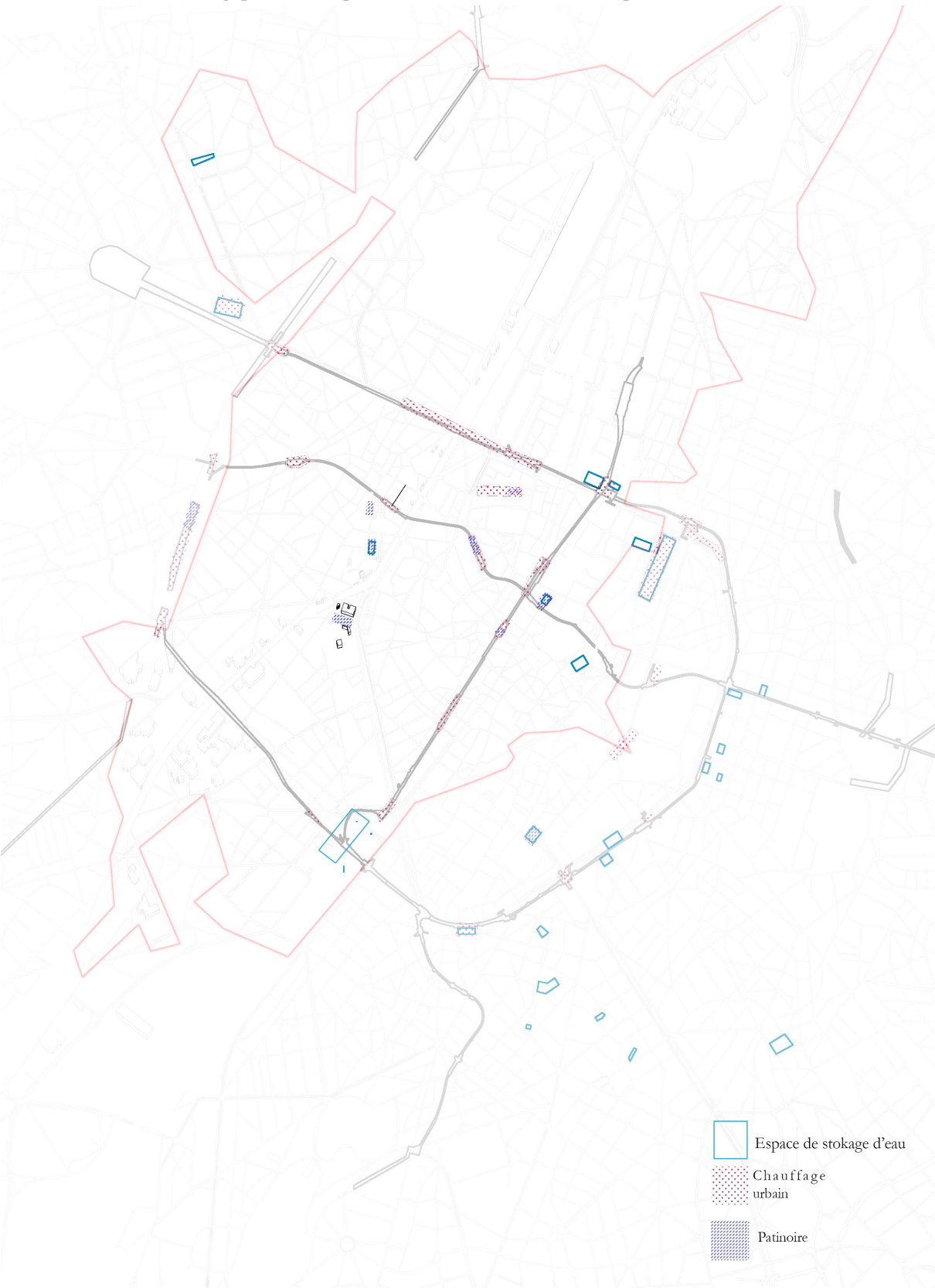
# Cartographie des dispositifs de fraîcheur utilisant les espaces souterrains



-  Espace public souterrain
-  Ventilateur urbain
-  Piscine, Miroir d'eau



# Cartographie des dispositifs hivernaux utilisant les espaces souterrains

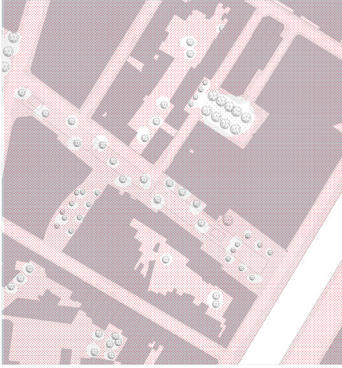


-  Espace de stockage d'eau
-  Chauffage urbain
-  Patinoire



Projection station de métro Comte de Flandre

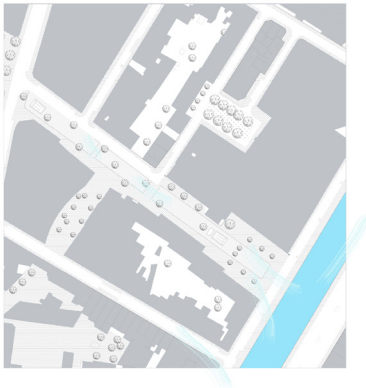
Constat



Projection



Période chaude



Période hivernal

Exemple d'intervention a l'échelle de l'ilot:  
Station de métro Comte de Flandre

Actuellement, c'est une large rue piétonne avec une sortie de métro. En été, sur ce large espace minéral destiné aux piétons, il n'y a que peu d'ombre. En hiver, cet espace ouvert garde peu la chaleur et les frais courants d'air balayent la zone.

Dispositifs mis en place :

Ventilateur urbain

Le ventilateur capte l'air frais souterrain en profondeur. Avant d'être propulsé à l'extérieur, l'air est rafraîchi par de l'eau. Cette eau vient de la rosée récoltée aux pieds des cheminées. L'eau participe à faire de ce lieu un espace ludique. Le surplus sert à l'irrigation des arbres plantés à côté des dispositifs.

Chauffage urbain

Ce dispositif de chauffage urbain capte la chaleur des souterrains. Mais c'est aussi un système de récupération d'eau de pluie. En période pluvieuse, l'eau est captée aux pieds des cheminées. Une partie de l'eau récoltée est stockée pour les périodes estivales. Le surplus d'eau va irriguer les arbres du dispositif.

Impact des Dispositifs :

L'ensemble de ces cheminées rafraîchissantes et les pataugeoires, crée comme une oasis de fraîcheur. L'espace devient un lieu ludique. La fraîcheur provient des ventilateurs, des zones de repos arborées le long des bâtiments et des jeux d'eau au centre du dispositif. L'espace ainsi réaménagé permet aux usagers de le réinvestir et de retrouver le vivre ensemble.

Ainsi, l'ensemble de ces cheminées crée des espaces agréables pour attendre le métro. Les réceptacles d'eau forment un cheminement sinueux et permettent de renouer avec la présence de l'eau.

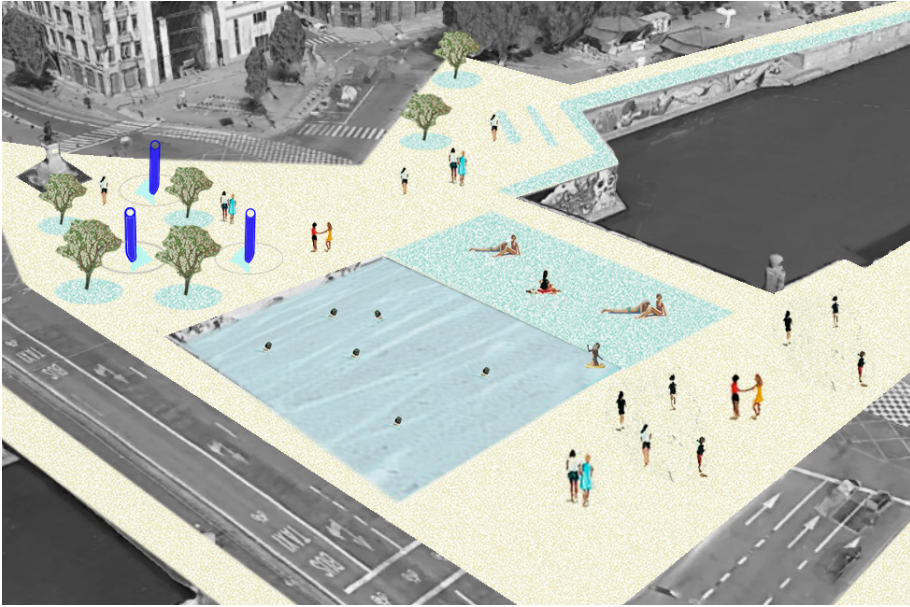
Projection période estivale



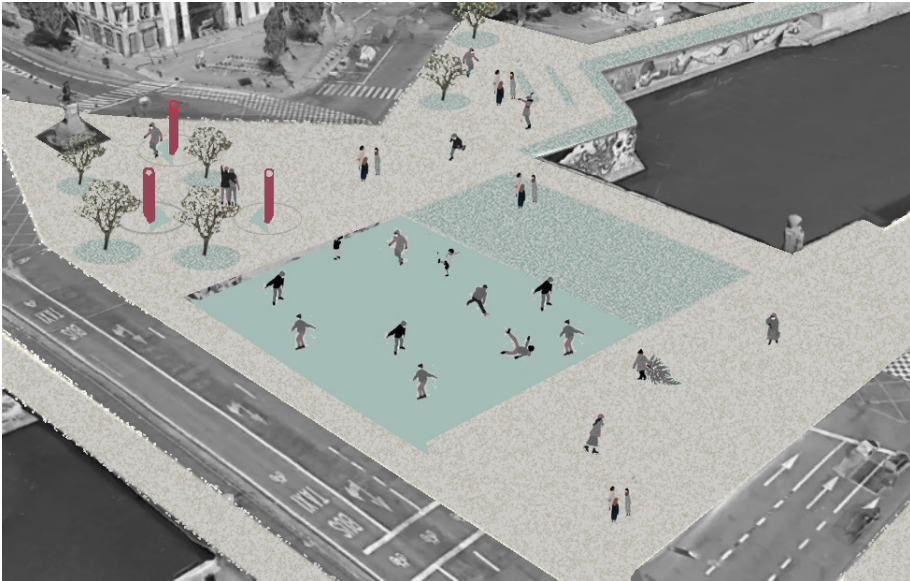
Projection en période hivernal



Projection période estivale



Projection en période hivernal



#### **4.4 Synthèse des projections**

En partant de la découverte des installations de piscine temporaire de l'association Pool is cool. Ce TFE montre l'importance de rendre l'espace public adaptable aux changements climatiques actuels. Non seulement pour le confort, mais aussi pour une question de santé publique.

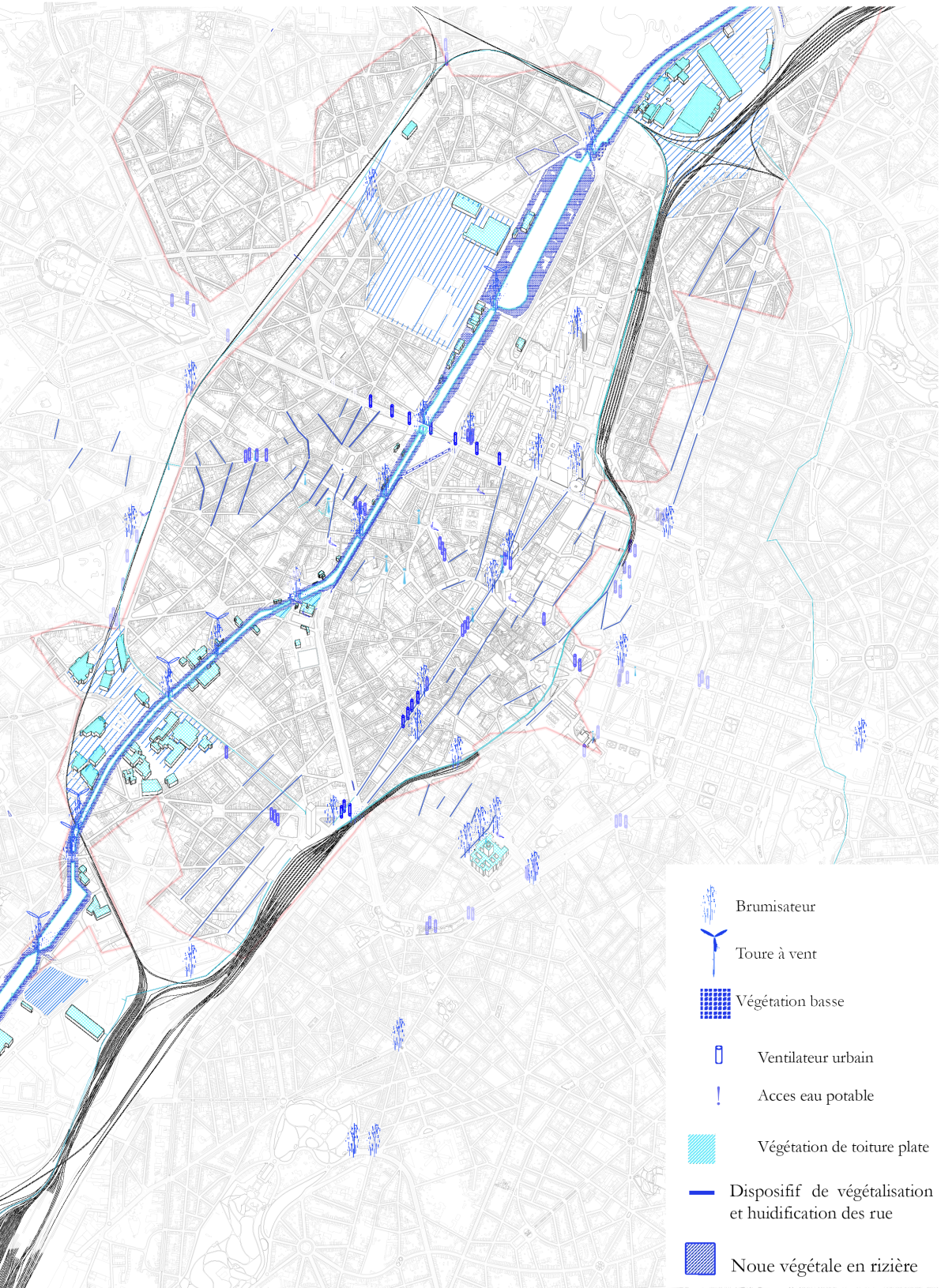
Pour lutter contre la chaleur urbaine, Bruxelles dispose de facteurs naturels comme l'eau de pluie, le vent, l'air souterrain pouvant être exploités. Cela implique de concevoir des dispositifs qui s'inscrivent dans le temps. Ces dispositifs réversibles été et hiver, au-delà de garantir un confort climatique lors des périodes de chaleur peuvent agir sur des périodes humides.









L'exploitation de ses opportunités naturelles demande de développer des espaces pour la récupération, le stockage et la distribution de l'eau créant des réseaux à l'échelle du territoire.

Ainsi les dispositifs établis à l'échelle du vent développent de nouveaux îlots de fraîcheur en s'appuyant sur l'eau de pluie et des courants d'air. Les dispositifs établis à l'échelle de la rue sont basés sur l'irrigation. Ils créent un réseau vert mettant en valeur les tracés d'eau disparue. Cela contribue au développement des espaces verts à Bruxelles et de dépollution atmosphérique. Enfin, à l'échelle des espaces souterrains les dispositifs se fondent principalement sur le développement d'espace ludique, et stockage d'eau en période hivernale.

En fonction de la quantité et de la variété des dispositifs climatiques mis en place dans une zone donnée, apparaissent des ambiances atmosphériques différentes. L'ensemble des dispositifs évoquées, leur adaptabilité en fonction des saisons et plus largement à l'évolution du climat, est une stratégie qui permet à l'usager de se dresser une carte mentale des espaces de fraîcheur et des espaces régulés.

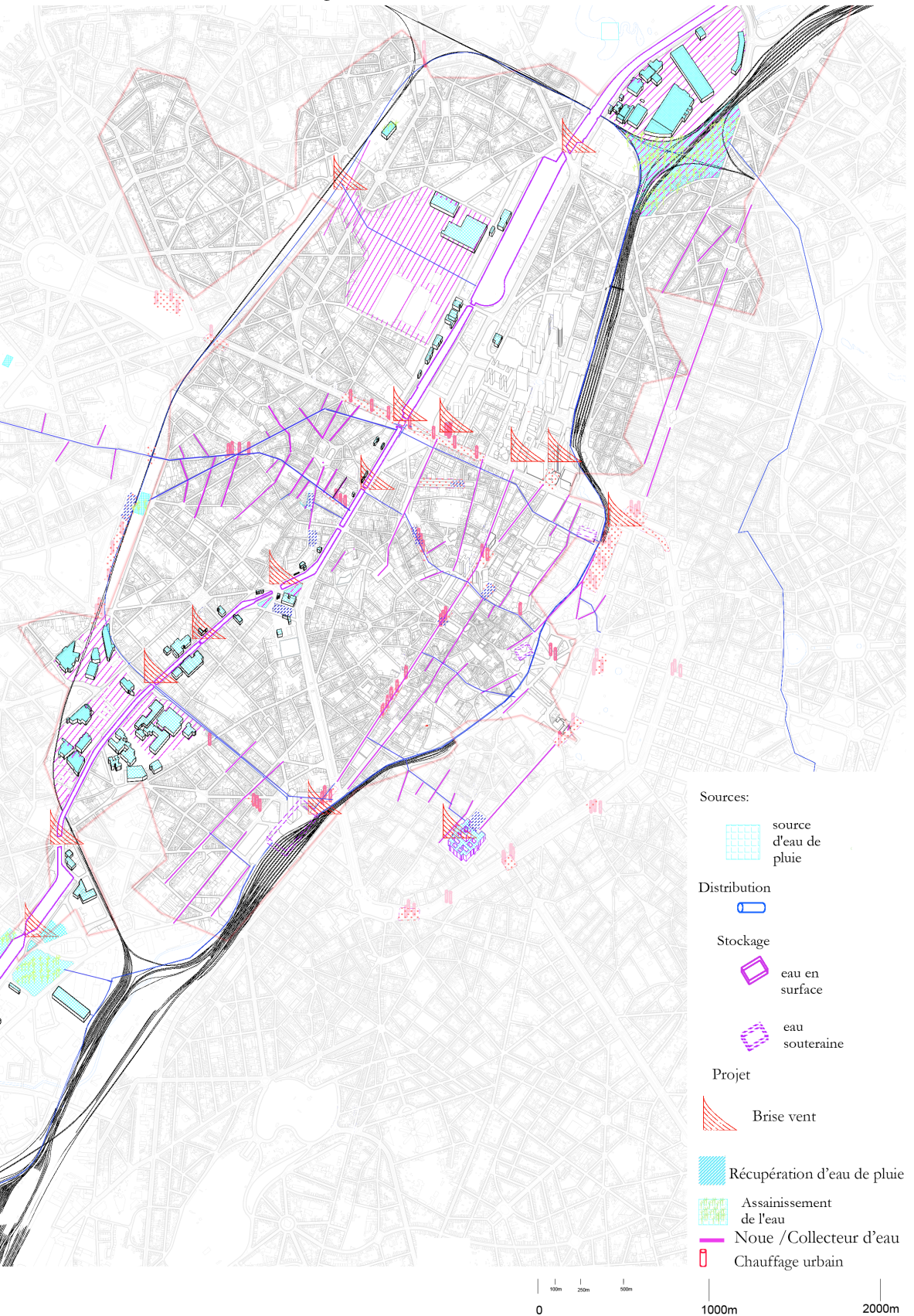
# Nouveaux îlots de fraîcheurs



-  Brumisateur
-  Toure à vent
-  Végétation basse
-  Ventilateur urbain
-  Acces eau potable
-  Végétation de toiture plate
-  Dispositif de végétalisation et humidification des rue
-  Noue végétale en rizière



# Espaces hivernaux de Bruxelles





## 5 Bibliographie

### 5.1 Illustrations

Carte N°1

Répartition des îlots de chaleur à Bruxelles- Source référence, Cartographie des îlots de Fraîcheur dans la Région de Bruxelles-Capitale, Bruxelles environnement

Carte N°2

Répartition spatiale des personnes les plus vulnérableS aux îlots de chaleur à Bruxelles- Source de référence : Brugis- Bruxelles environnement

Carte N°3

Répartition des fontaines d'eau potable et plaines de jeux extérieur dans les îlots de chaleurs. Source de référence : Bruxelles environnement- cartographie eau potable à Bruxelles ASBL Infirmiers de rue

Carte N°4

Concentrations de pollution atmosphérique en contact avec les personnes les plus vulnérables. Source de référence : Bruxelles environnement- IRCEL - CELINE | © VITO | OSM | Leaflet

Echanges thermiques entre le corps et l'ambiance thermique source de référence :

Lmigri Chicharito, 06/02/2018, le confort thermique [ Article] en ligne : <http://www.epf.fr/article/le-mannequin-thermique-instrumente-un-outil-pour-simuler-le-ressenti-humain-du-confort> (01/12/2018)

Carte N°5

Corrélation entre espaces inondable et îlots de chaleur. Source de référence : Bruxelles environnement- © VITO

Carte N°6

Evolution des eaux de surfaces à Bruxelles. Source de référence: Bruxelles environnement- Cartographie évolution des eaux par Grassin A- © VITO

Carte N°7

Carte hypothétique des vents à Bruxelles. Source de référence : Bruxelles environnement, IRM

Carte N°8

Carte des espaces souterrains de Bruxelles Source de référence : Bruxelles environnement, Brugis

## 5.2 Photographie:

Nager à ... st. catherine, Pool is cool, 2016

<http://www.pooliscool.org/news/2016/5/7/bains-catherine-for-makebrussels>

Pool is cool, Bassin Bozar, 2017

<http://www.pooliscool.org/news/2017/7/7/the-biggest-pool-first-impressions>

Pool is cool, Installation d'une piscine éphémère, Aout 2016

<http://www.pooliscool.org/news/2016/9/22/badeau-the-first-public-open-air-swimming-pool-in-brussels>

DR, Des Habitants forestois, réunis dans l'abbaye de Forest réclame un lieu de baignade, Aout 2018

<https://www.dhnet.be/regions/bruxelles/forest-le-cdh-se-met-a-l-eau-pour-reclamer-une-piscine-communale-5b82b71a5532f06fc88dccc9>

Belga/Nicolas Maeterlinck, Mont des arts, juin 2017

<https://bx1.be/news/lete-2018-probablement-plus-chaud-belgique-1833/>

Le Soir, Place Flagey, juin 2018

[http://portfoliosoir.be/v/belgique/30-06-2015\\_canicule+Belgique/980flagey2.jpg.html](http://portfoliosoir.be/v/belgique/30-06-2015_canicule+Belgique/980flagey2.jpg.html)

Belga/Nicolas Maeterlinck, Canicule : voici les points d'eau potable gratuits en Région bruxelloise ,07 août 2018

<https://bx1.be/news/canicule-voici-points-deau-potable-gratuits-region-bruxelloise-carte-interactive/>

Demoulin, Plus de 11.000 décès en Belgique dus à la pollution de l'air, 30 novembre 2015

<https://www.dhnet.be/actu/sante/plus-de-11-000-deces-en-belgique-dus-a-la-pollution-de-l-air-565c11dd35709322e70ab3ce>

Paris, été 2018

<https://www.apc-paris.com/agenda/formation-volontaires-climat-adaptation-changement-climatique>

Vue satellite de Munich

<https://www.lexilogos.com/satellite/munich.htm>

Rive gauche de la Garonne à Bordeaux,

Toiture de dunes du groupe scolaire Césaire à Nantes par Phytolab

[https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/09/jsteauxpluviales\\_ramier\\_poster\\_evapotranspiration.pdf](https://www.cerema.fr/system/files/documents/2017/09/jsteauxpluviales_ramier_poster_evapotranspiration.pdf)

Façade végétalisée

<https://www.construction21.org/france/articles/fr/la-vegetalisation-des-facades-nouvel-enjeu-des-projets-durbanisme.html>

village blanc de Santorin en Grèce: [https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/peut-on-diminuer-le-rechauffement-climatique-avec-des-batiments-blancs\\_114057](https://www.sciencesetavenir.fr/nature-environnement/climat/peut-on-diminuer-le-rechauffement-climatique-avec-des-batiments-blancs_114057)

Marchabilité, montée de la Grande Côte

Lyon ville durable, « Adaptation au changement climatique » dans Plan climat-énergie territorial de la ville plan d'Actions à l'horizon 2020 - la collectivité s'engage , <https://www.lyon.fr/sites/lyonfr/files/content/migrated/735/77/plan-actions-climat-energie-bd.pdf>

Projet jade éco park

Philippe Rahm architectes, jade eco park,2016 [article] en ligne :<http://www.philipperahm.com/data/projects/taiwan/index.html>

### 5.3 Diagramme:

, Le climat à l'horizon 2100, IRM

Diagrammes chiffrés, Emmanuelle Cadot et Alfred Spira, « Canicule et surmortalité à Paris en août 2003 », 2006

### 5.4 Texte

Ouvrages:

Boutefeu E., 2007 : *Les villes vont devoir se préparer au changement climatique : une végétalisation abondante des tissus urbains permettra de réduire les effets dramatiques des vagues de chaleur sur la santé humaine*. Revue Techni-Cités n°128, 8 mai 2007

DE COLMENAR, Délices d'Espagne et du Portugal. Leide : Edition Pierre Vander Aa, 1707, p.490 :

Dispa D., 2018 promoteur Roger J.F., *vers un climat urbain confortable, création d'un îlot de fraîcheur*, Bruxelles

Dr. Rafiq Hamdi, *Impact des changements climatiques dans les villes: Contraste entre stress thermique urbain et rural*, Département de recherche de l'Institut Royal Météorologique (IRM),2015

HÉMON D., JOUGLA E. (2003), *Estimation de la surmortalité et principales caractéristiques épidémiologiques. Surmortalité liée à la canicule d'août 2003 – Rapport d'étape*. INSERM, 57 p.

Hirsch, Yolène , *Caractéristiques de l'îlot de chaleur urbain et recherche d'une solution paysagère pour le site de la résidence Damrémont à Paris, Gembloux*,2017

Robitu,Musy,Groleau, Inard (2003), *Modèle du rayonnement solaire dans et à la surface d'un bassin d'eau des XXIèmes* ,[ Communication] Rencontres Universitaires de Génie Civil - La Rochelle 2003.

Vicente Beaufls, Bénédicte. *L'expression de la culture de l'eau dans l'Alhambre : poids de la réalité et pouvoir de l'imaginaire* – 2008

sites:

BUSTOS N, (04/09/2018) , *Décès supplémentaires due un été très chaud*, Sciensano [ Article] en ligne : <https://www.sciensano.be/en> (12/03/2019)

irCELine, , Mesures qualité de l'air [SITE],5ellule Interrégionale de l'Environnement, en ligne: <http://www.irceline.be/fr>

EGEB, Etat généraux de l'eau à Bruxelles : Réconcilier la ville avec l'eau [Rapport en ligne] (pages consultées le 10/10/2018).Disponible sur: <http://www.egeb-sgwb.be/article320.html>

E. Ng. Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities, Air Ventilation Assessment (AVA) of Hong Kong. Building & Environment N°44, p 1478-1488 (2009). [Internet], Disponible sur <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132308001455>

HELD A, (20/01 /2017) Peinture Egyptienne dans le Tombeau de l'artisan Sennedjem [ Article] en ligne : <https://www.osirisnet.net/centrale.htm>

MUSY M., BOZONNET E., BRIOTTET X., GULTEBEN C., LAGOUARDE J.P., LAUNEAU P., LEMONSU A., MARO D., RODRIGUEZ F, SABRE M. - HAL (2014), Rapport final Projet ANR- 09-VILL-0007 VegDUD Programme Villes Durables 2009 [Rapport] France : HAL IRSTV FR CNRS 2488. en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01188804> (14/03/2019)

LMIGRI CHICHARITO, 06/02/2018, le confort thermique [ Article] en ligne : <http://www.epf.fr/article/le-mannequin-thermique-instrumente-un-outil-pour-simuler-le-ressenti-humain-du-confort> (01/12/2018)

LYON VILLE DURABLE, « Adaptation au changement climatique » dans Plan climat-énergie territorial de la ville plan d'Actions à l'horizon 2020 - la collectivité s'engage , <https://www.lyon.fr/sites/lyonfr/files/content/migrated/735/77/plan-actions-climat-energie-bd.pdf>

POOL IS COOL (2016), *Pour le retour de la baignade en plein air à Bruxelles* disponible sur : <http://www.pooliscool.org/>

Rahm "Pjade eco park,2016 [article] en ligne :<http://www.philipperahm.com/data/projects/taiwan/index.html>

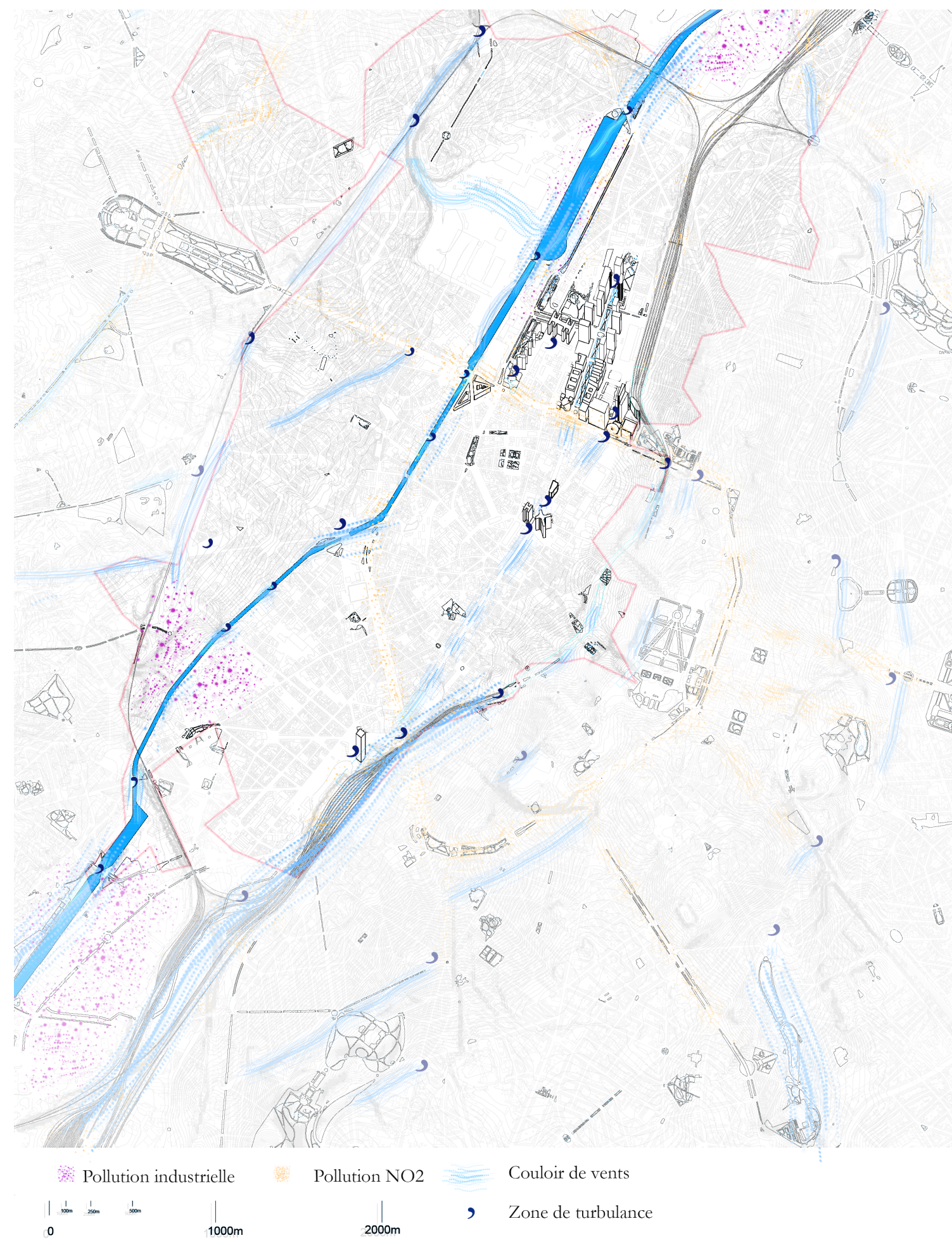
TRICOT C. - IRM(2015), *Rapport Vigilance climatique,2015*[Rapport] en ligne : [https://www.meteo.be/resources/20150508vigilance-oogklimaat/vigilance\\_climatique\\_IRM\\_2015\\_WEB\\_FR\\_BAT.pdf](https://www.meteo.be/resources/20150508vigilance-oogklimaat/vigilance_climatique_IRM_2015_WEB_FR_BAT.pdf) (18/10/2018)

VITO(2010), *Urban climate modelling*,[ Article VITO] en ligne : [https://vito.be/en/product/urbclim-urban-climate-modelling\(12/10/2018\)](https://vito.be/en/product/urbclim-urban-climate-modelling(12/10/2018))

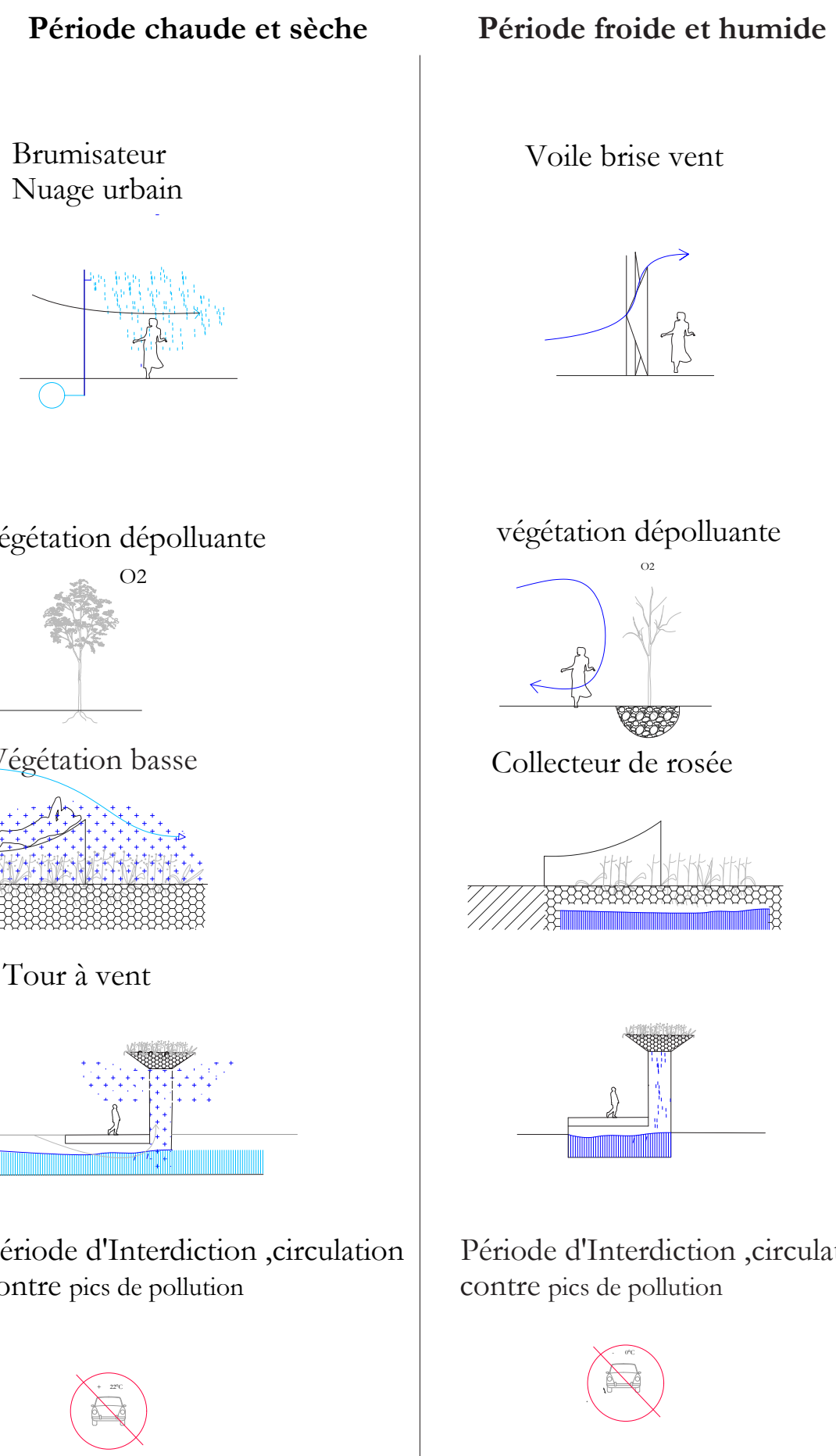


Ce TFE est initié par la découverte d'interventions du collectif Pool is cool qui s'approprient les espaces publics pour en faire des lieux de baignade temporaires. L'engouement pour les espaces de fraîcheur en ville amène à un questionnement sur la variation du climat dans nos cités. Il s'agit de comprendre les causes des îlots de chaleur urbains et ses conséquences, ainsi que les impacts des variations climatiques sur le comportement des citoyens dans l'espace public. La conception bioclimatique est abordée ici, comme un moyen d'obtenir des conditions de confort d'ambiance urbaine, adéquates et agréables, en s'appuyant sur les facteurs environnementaux. Que l'on parle de piscines temporaires ou de maillage d'espaces favorisant le confort thermique, l'eau est un paramètre incontournable. Ainsi plusieurs questions se posent : Comment mieux optimiser cette ressource pour qu'elle soit bénéfique en période chaude et en période pluvieuse et quelles sont les autres opportunités du contexte bruxellois pour un confort climatique ?

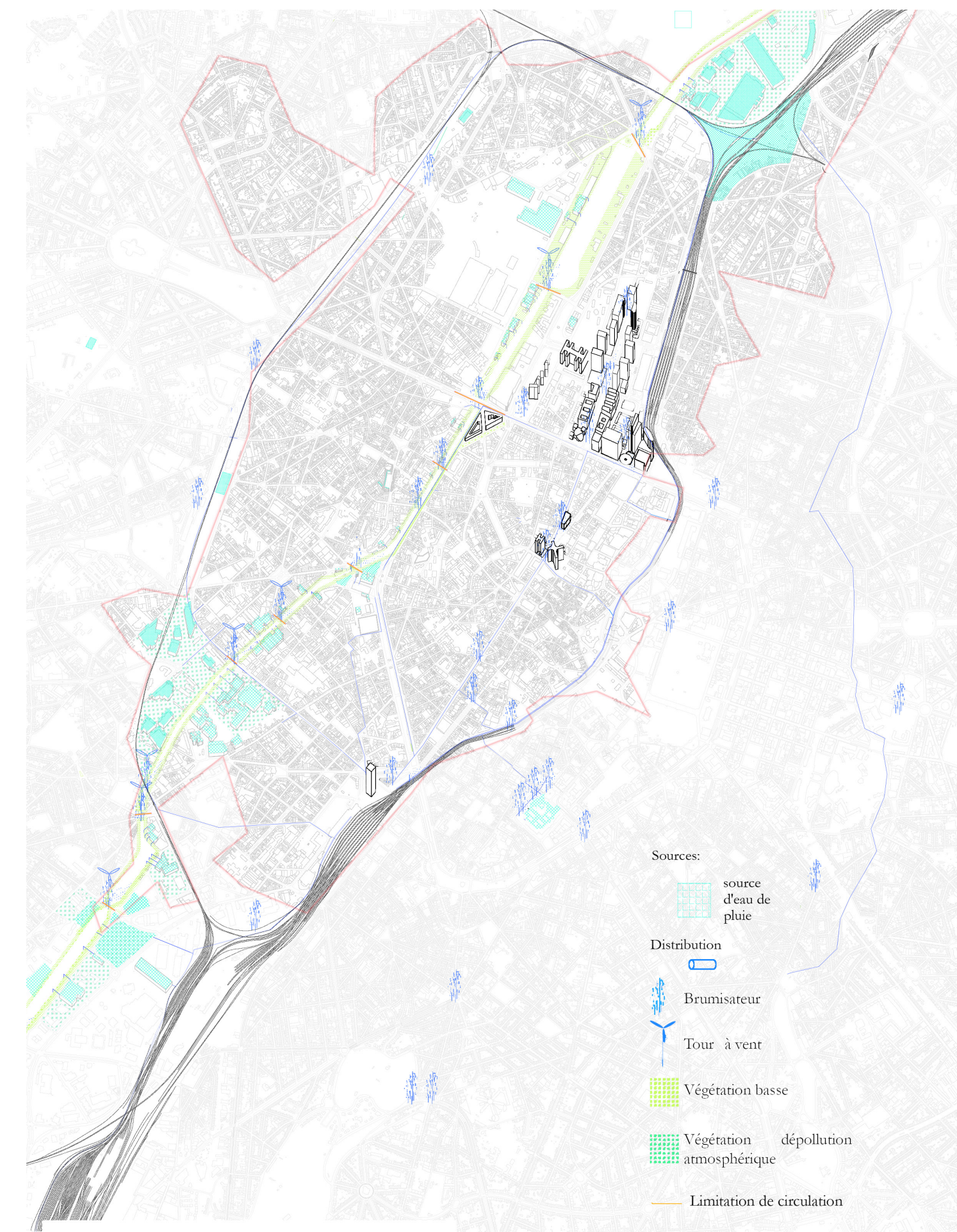
Potentiel du vent



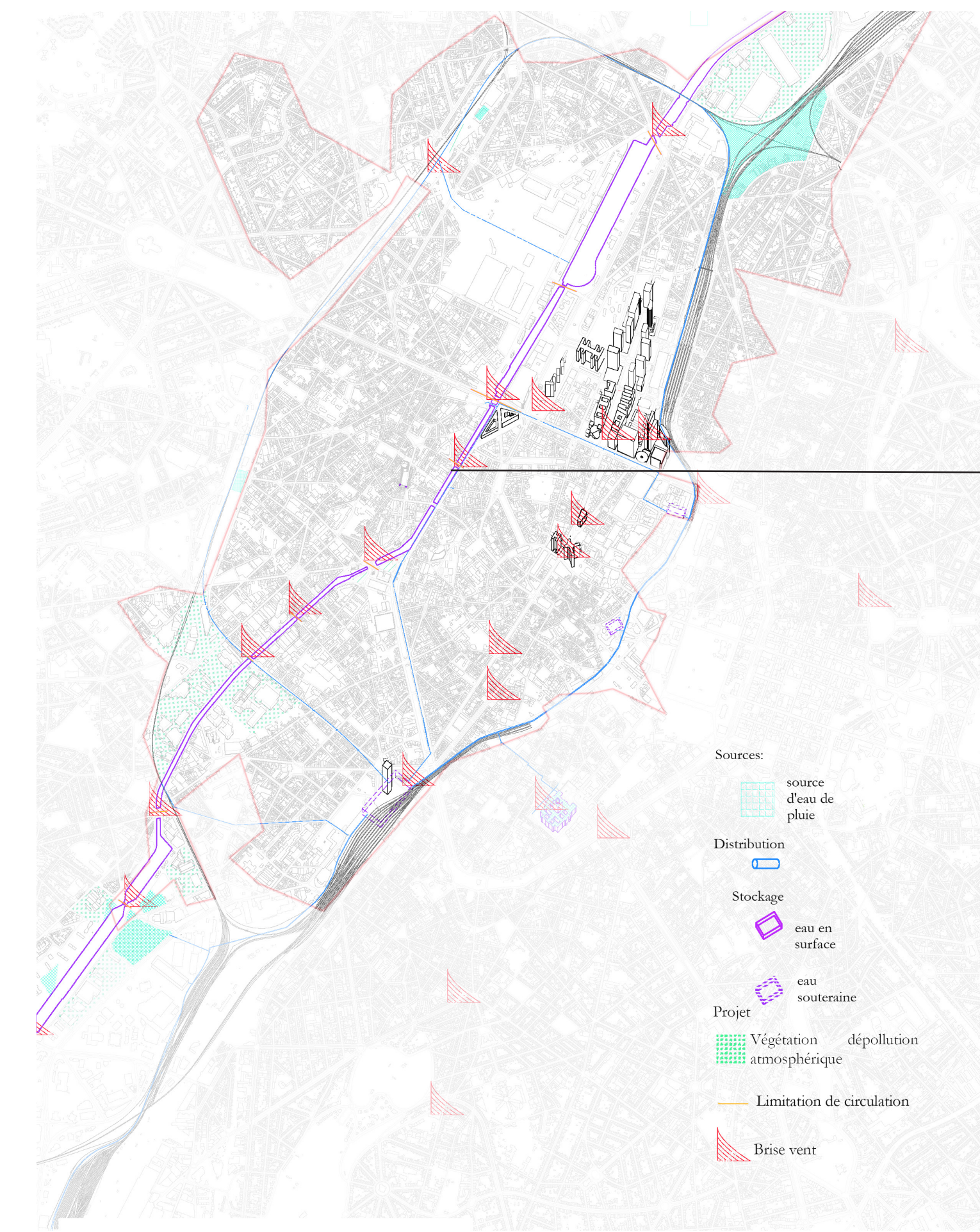
Boite à outils



Cartographie des potentiels dispositifs en période estivale



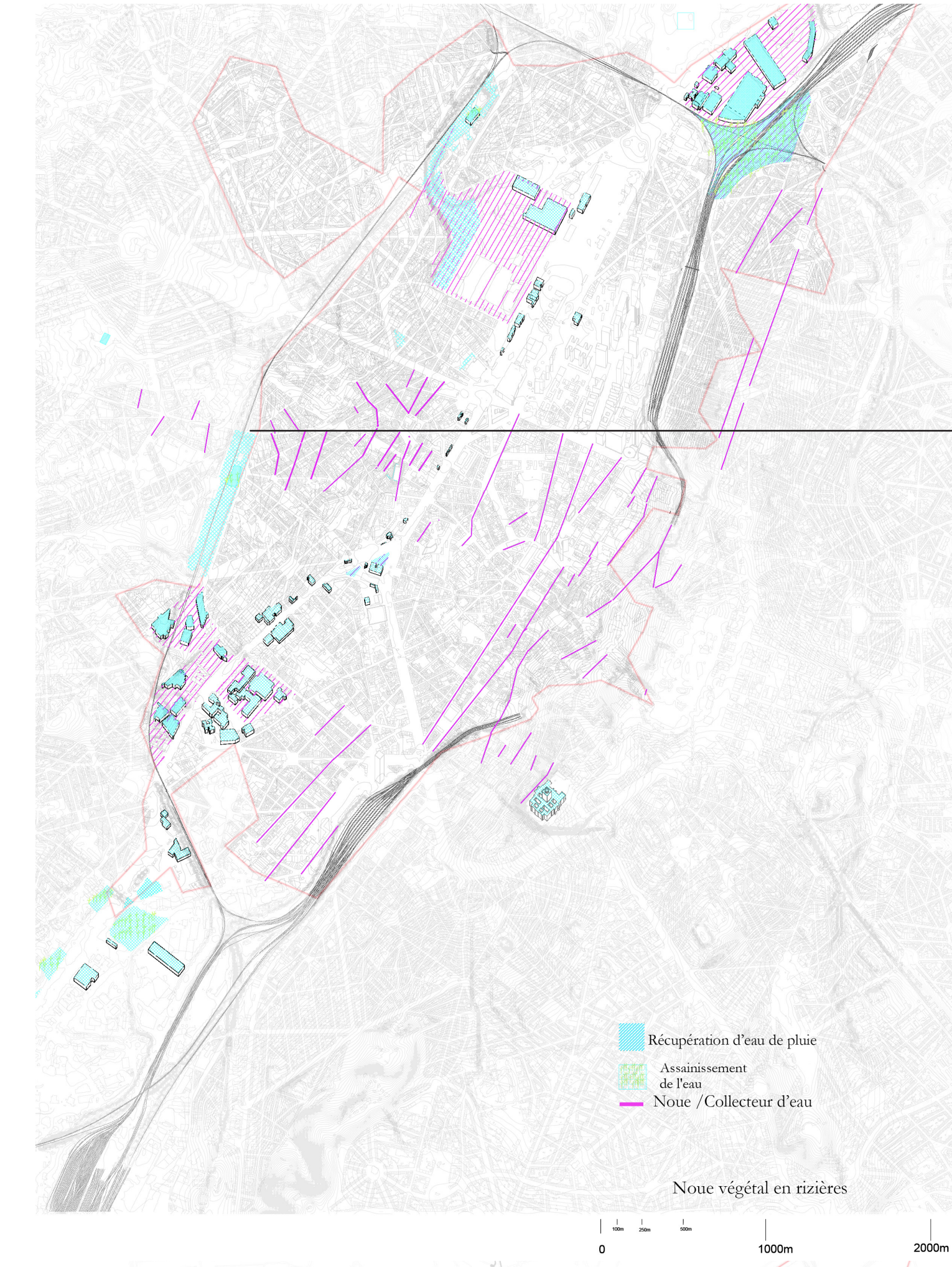
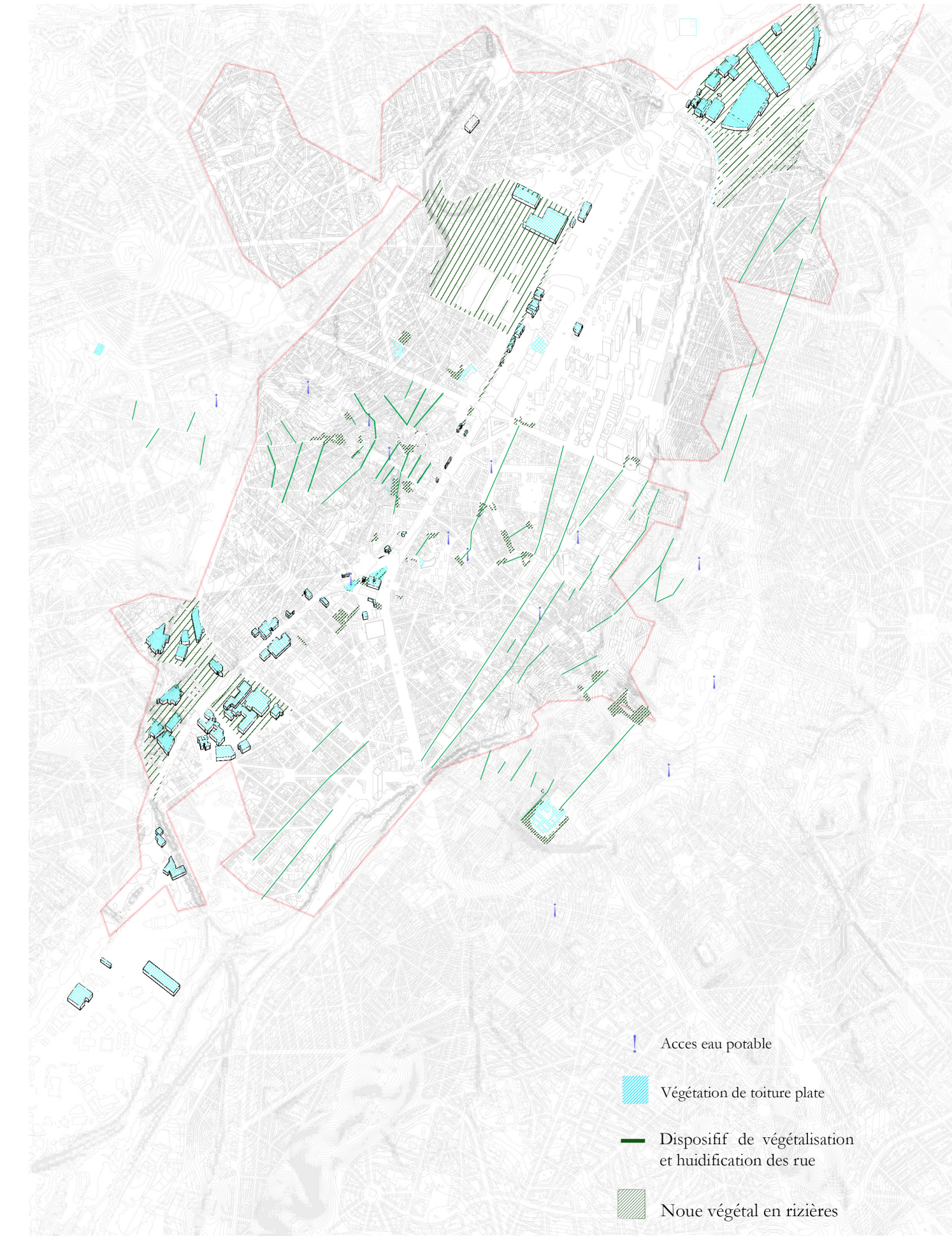
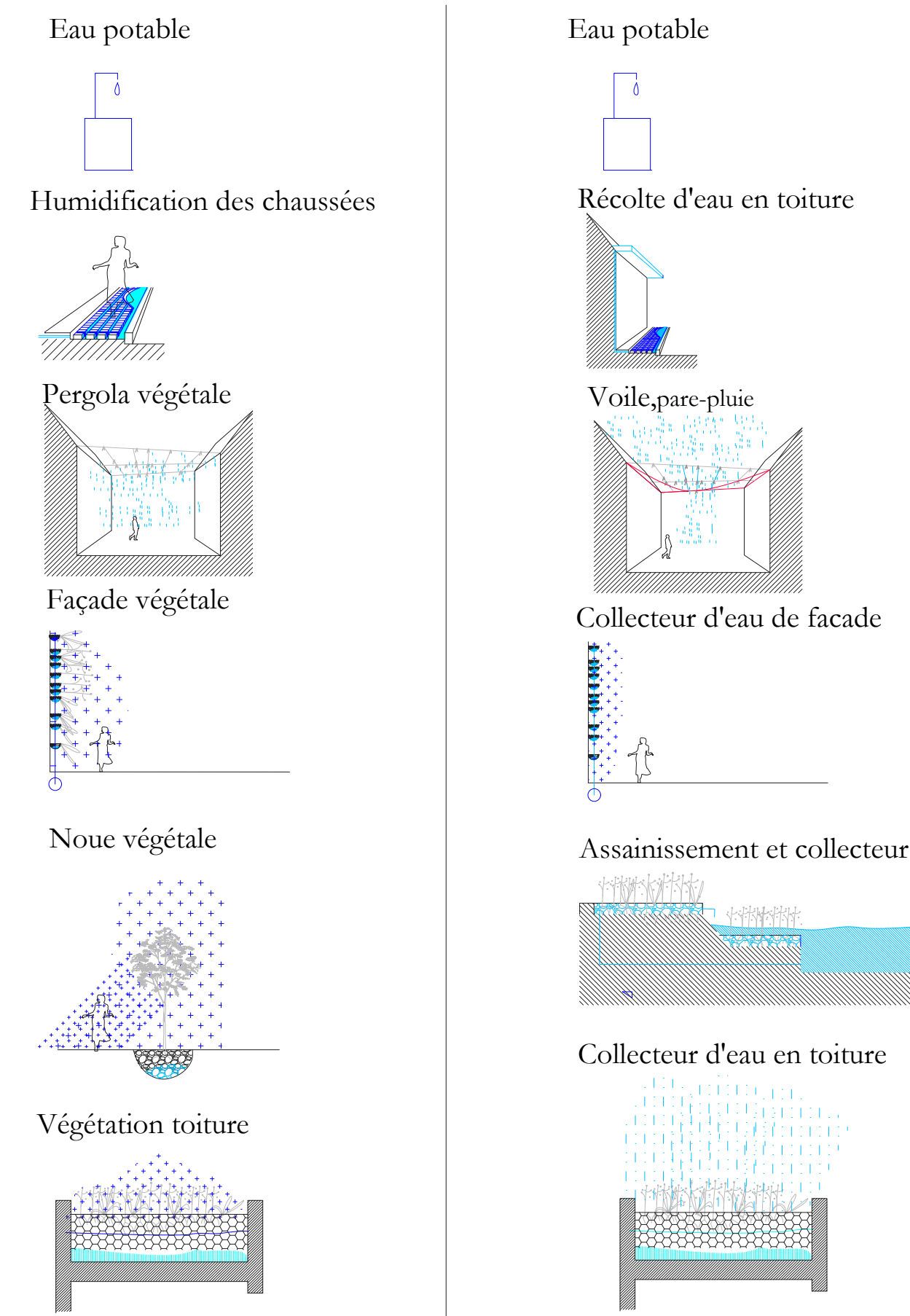
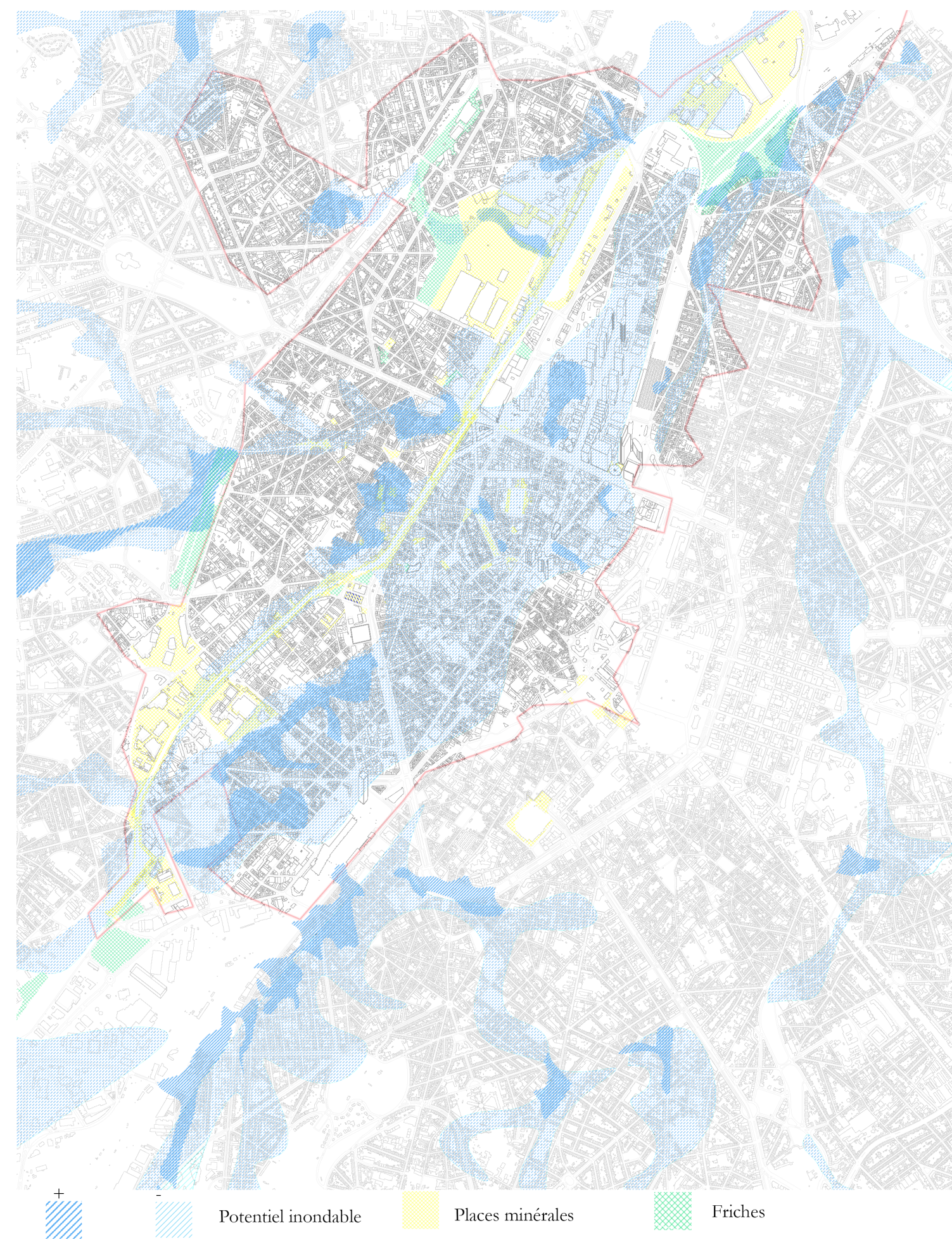
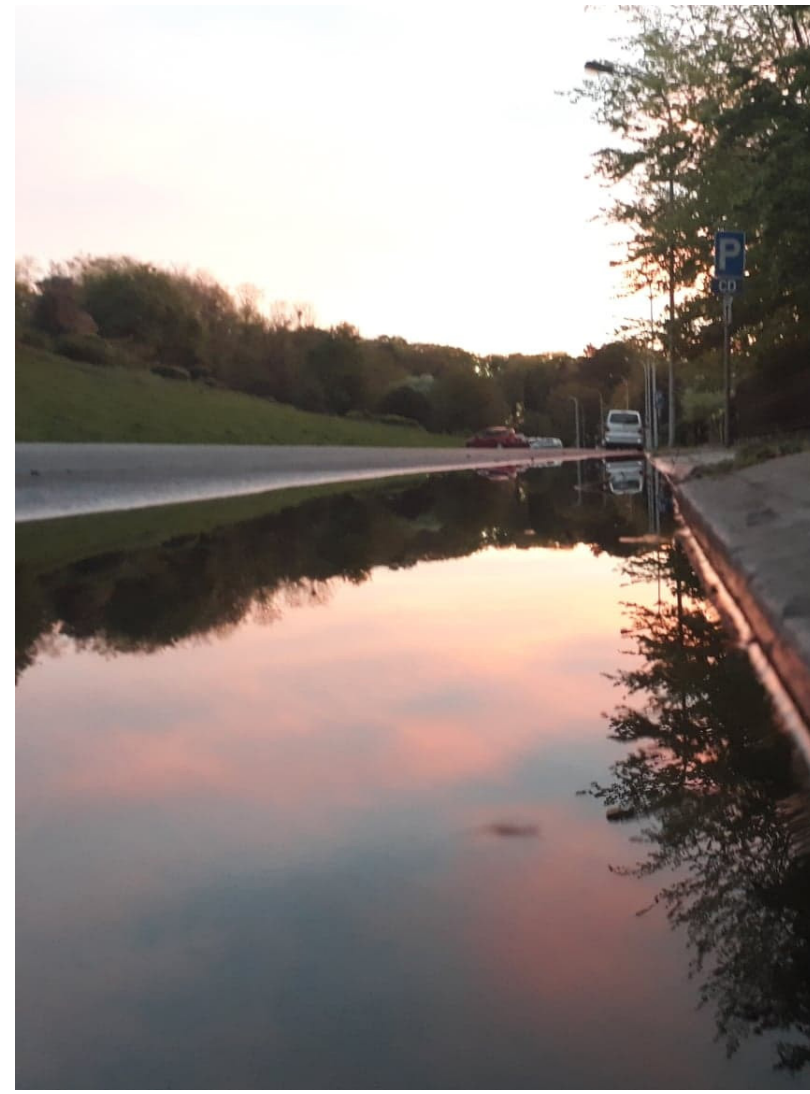
Cartographie des potentiels dispositifs en période hivernale



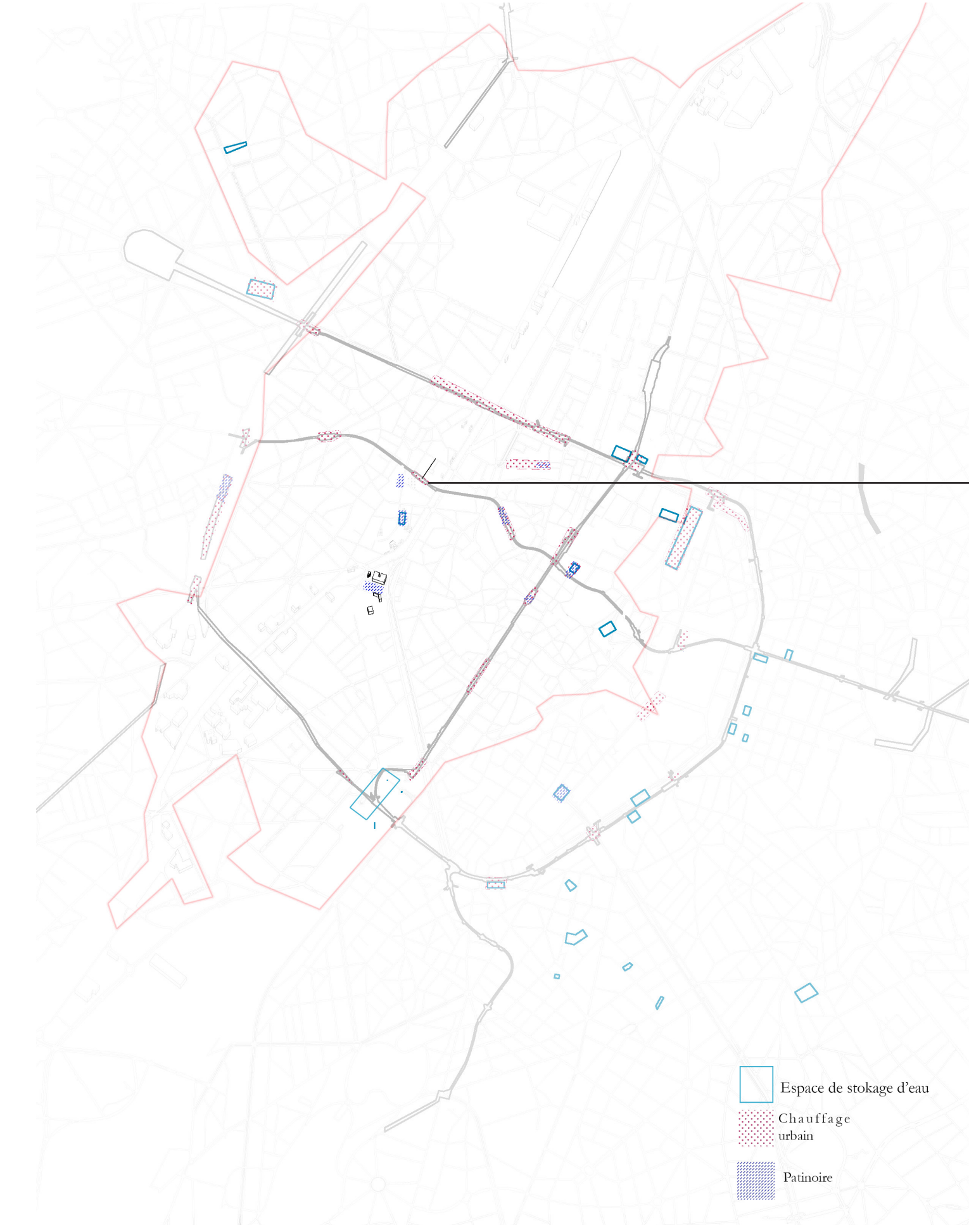
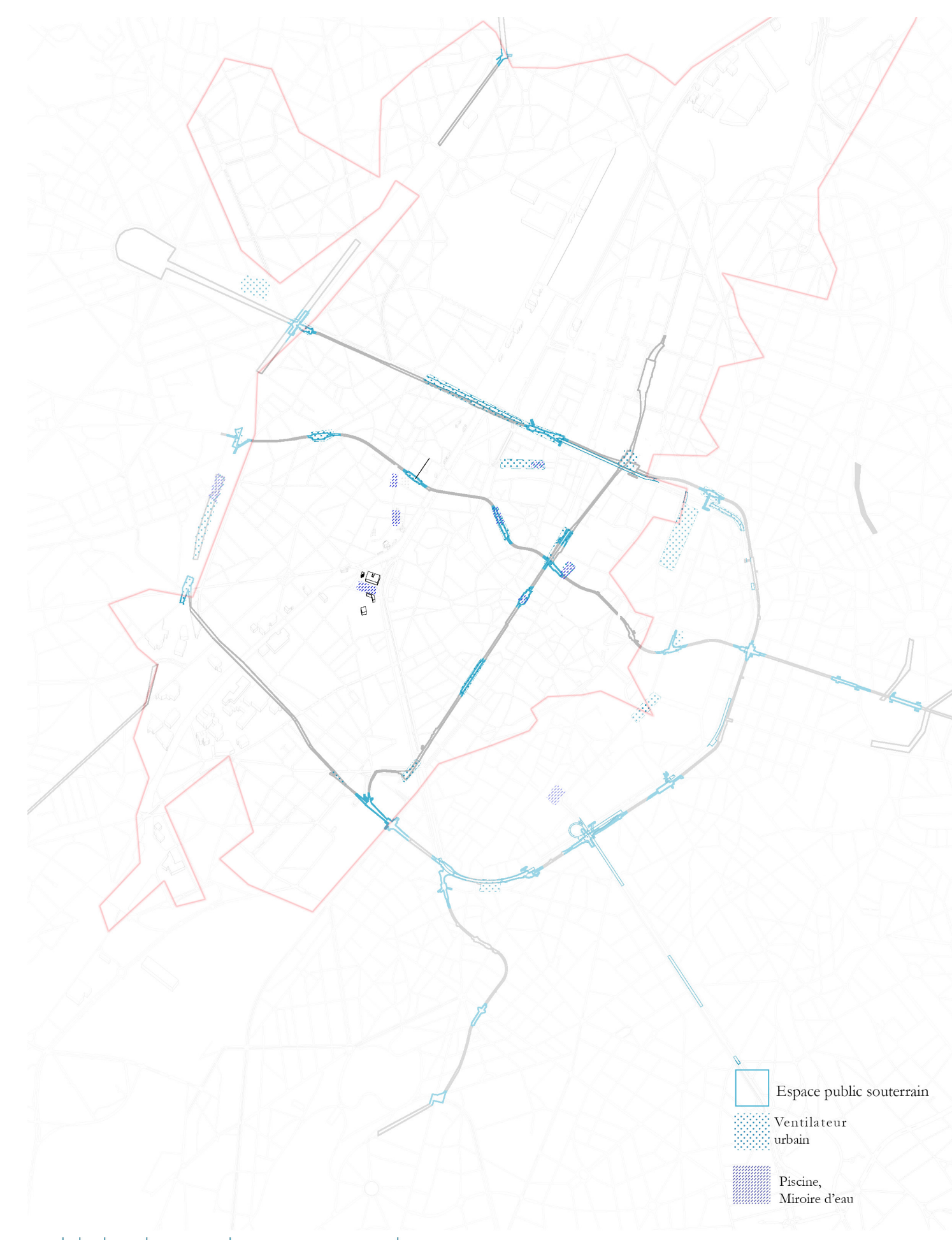
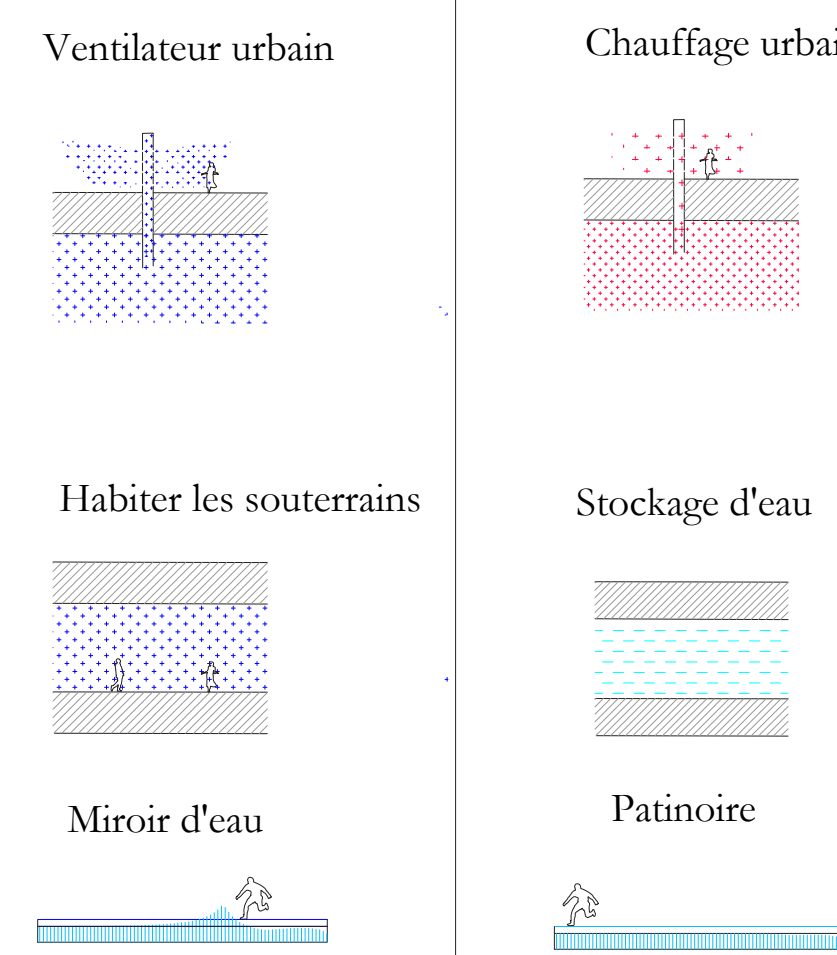
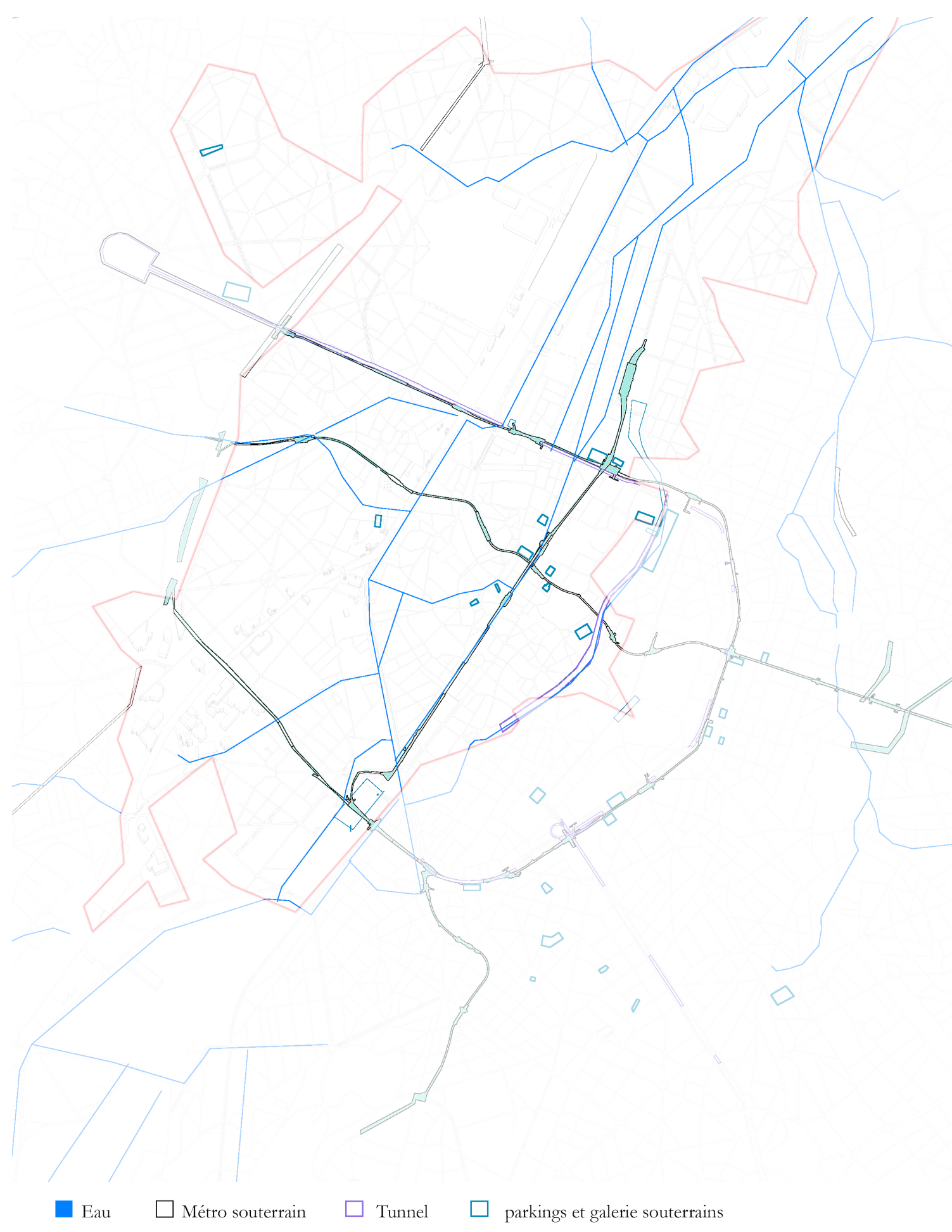
Dispositif à l'échelle de l'ilot



Potentiel de l'eau pluviale

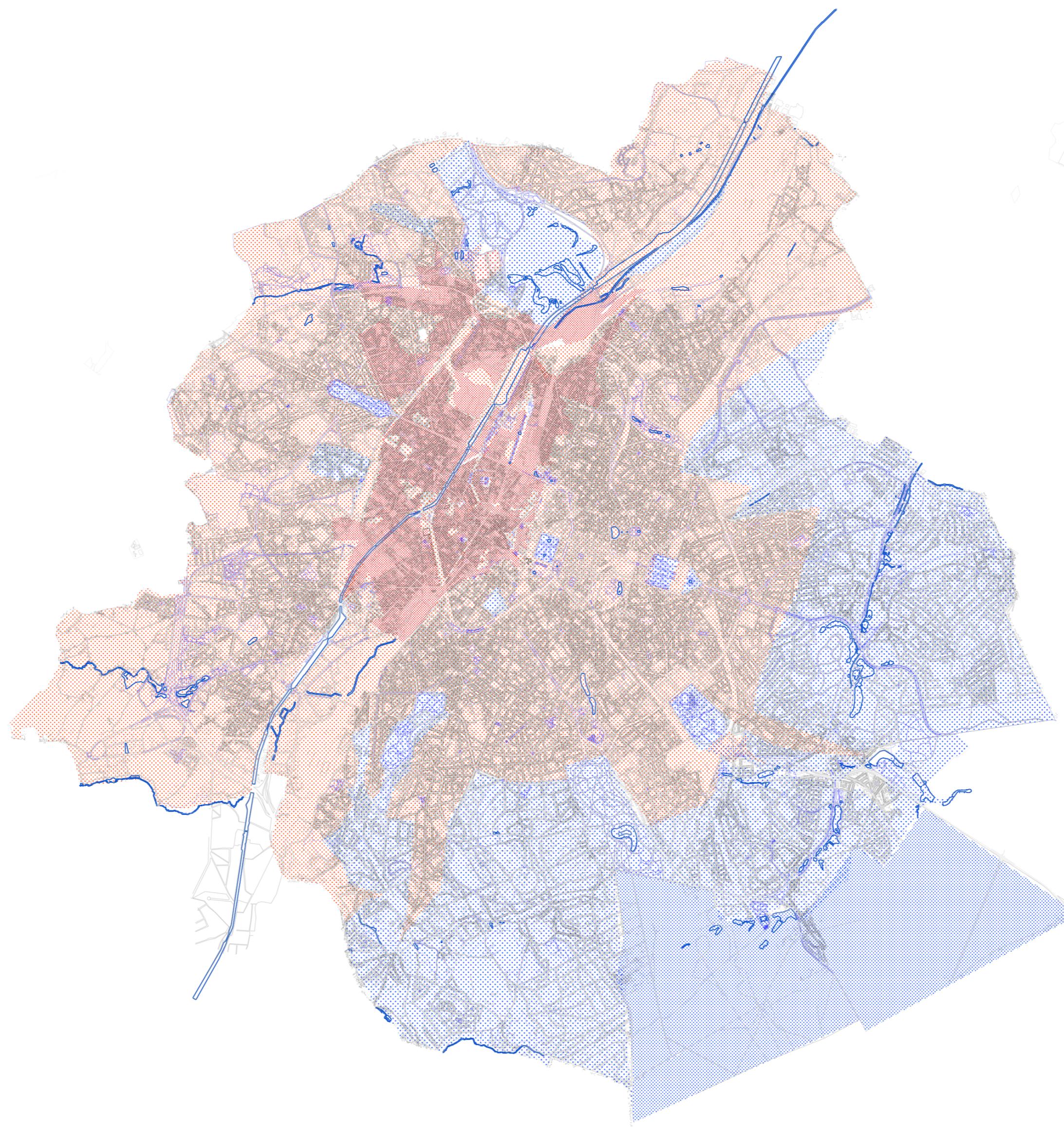


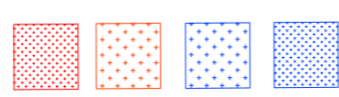
Potentiel des espaces souterrains

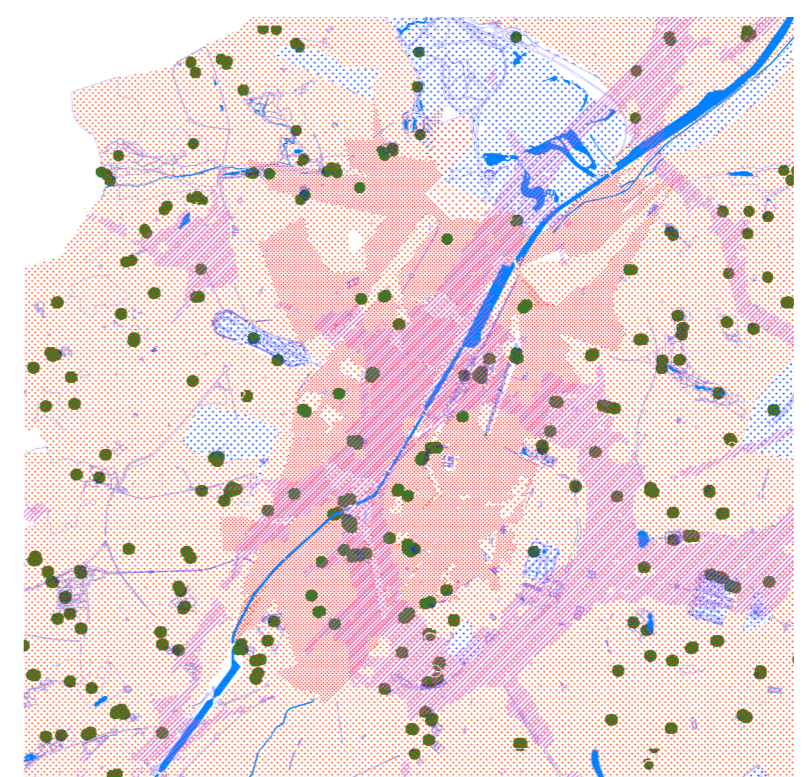
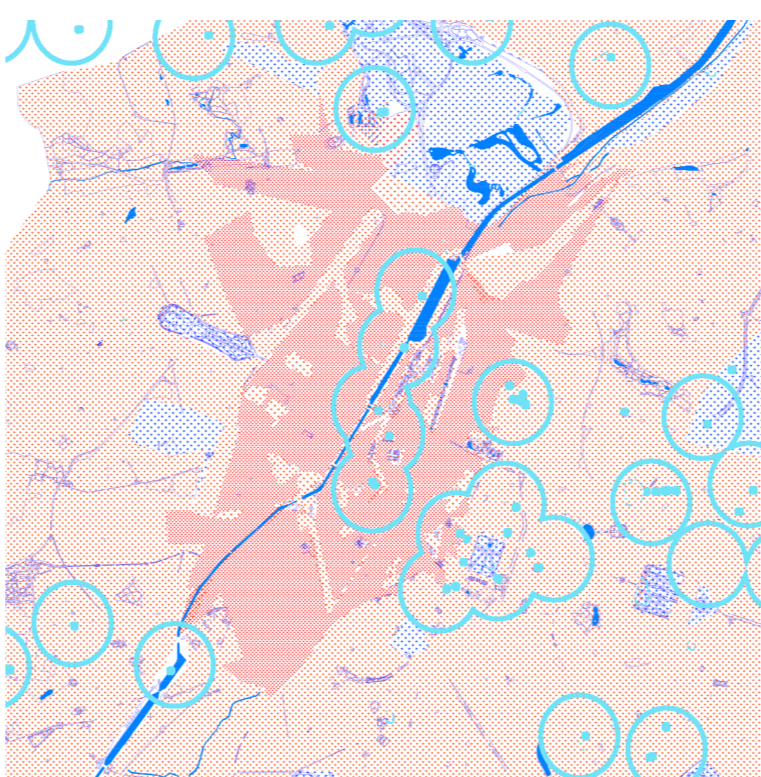
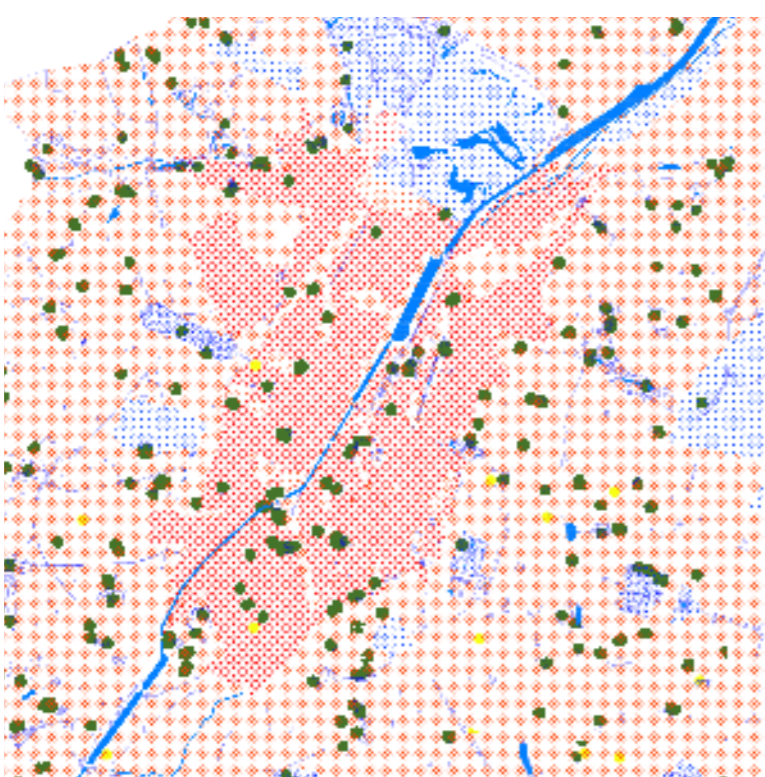




Ilots de chaleurs à Bruxelles



Chaleur: + —————> -  




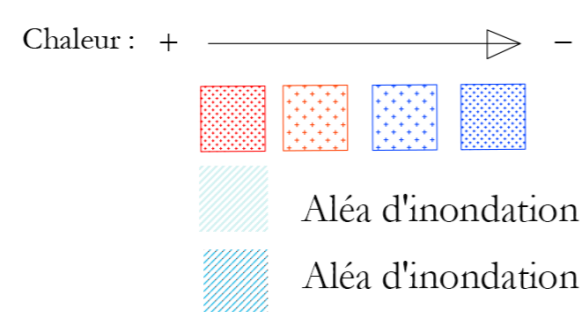
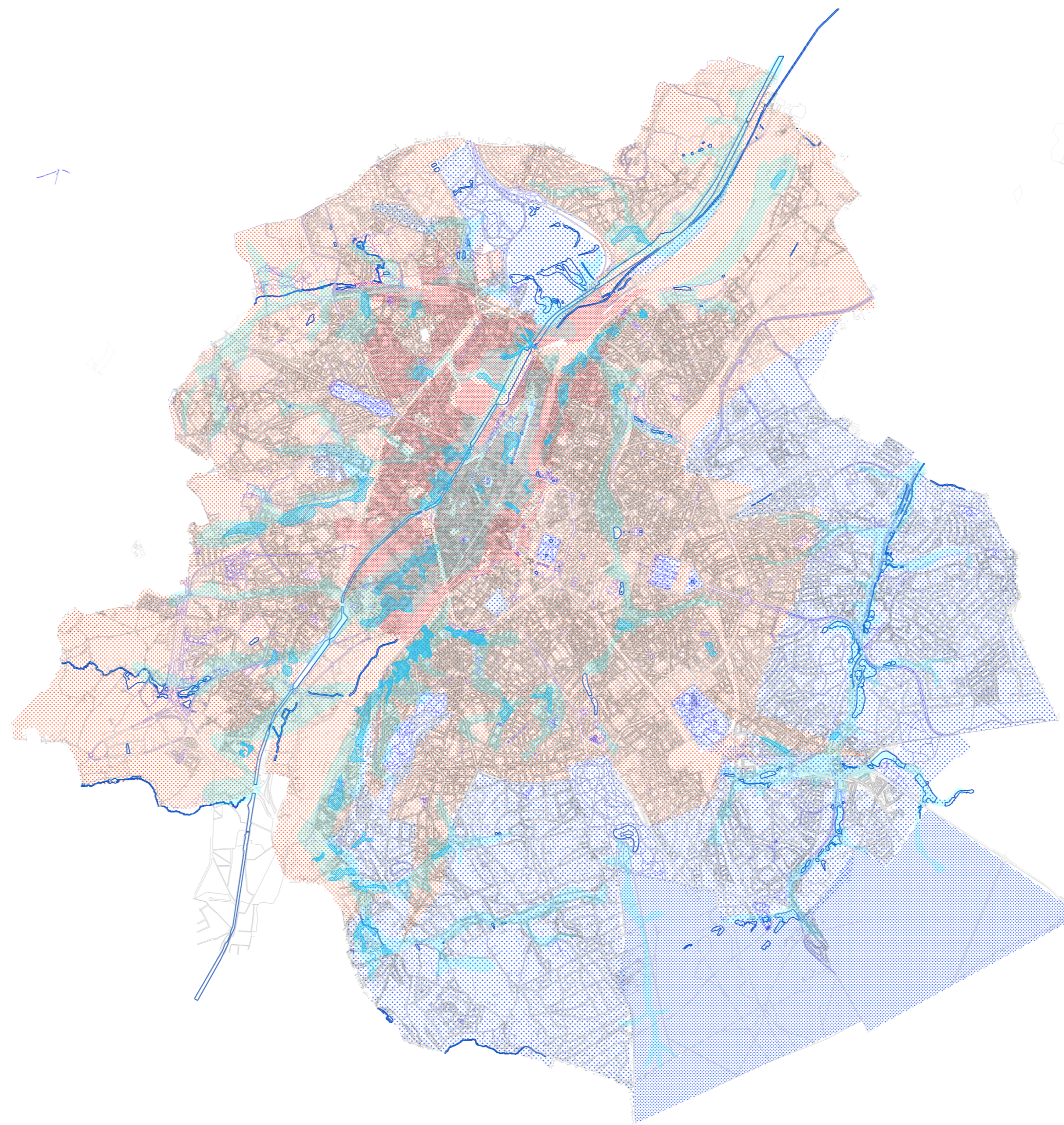
● Hopitoux, Maisons de cocon  
 ● Plaine de jeux extérieure

○ zone d'influence 10m à pied  
 ● Accès à l'eau potable

■ Concentration NO2  
 ● Plaine de jeux extérieure



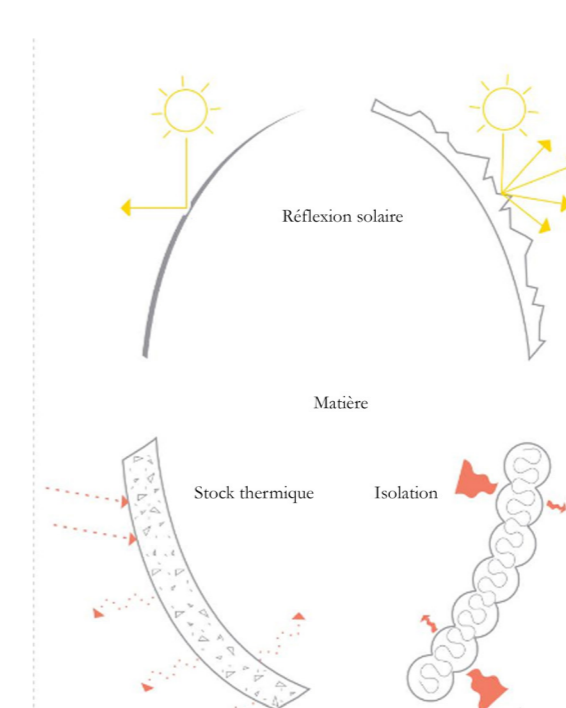
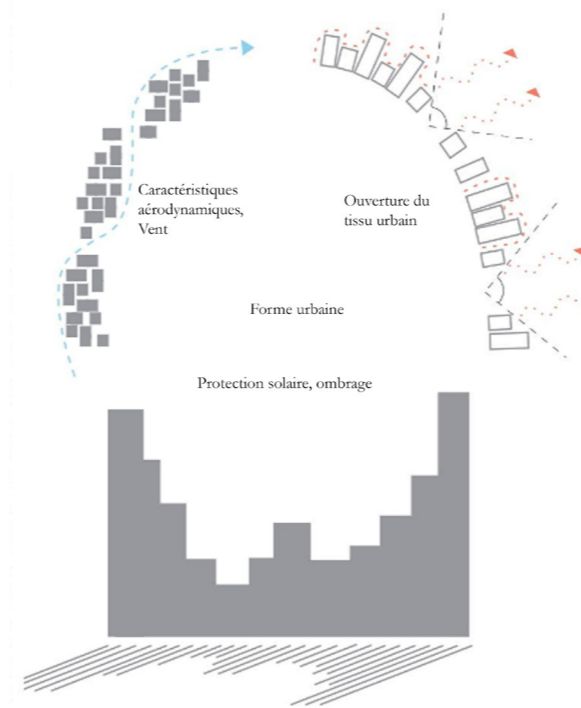
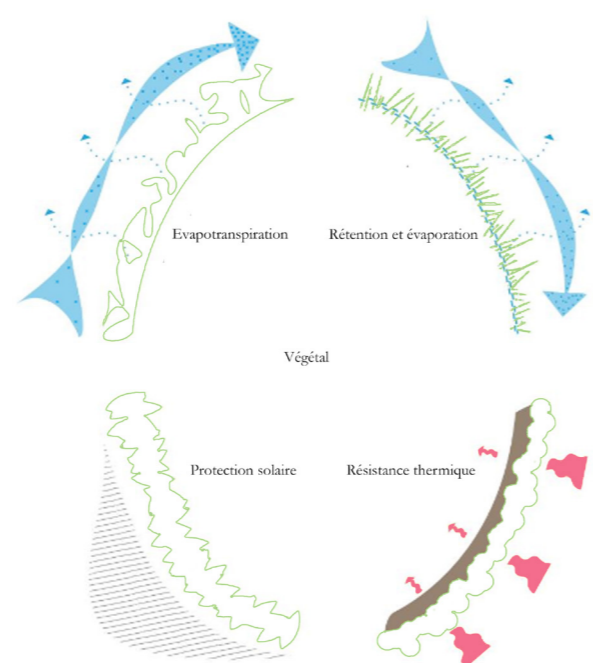
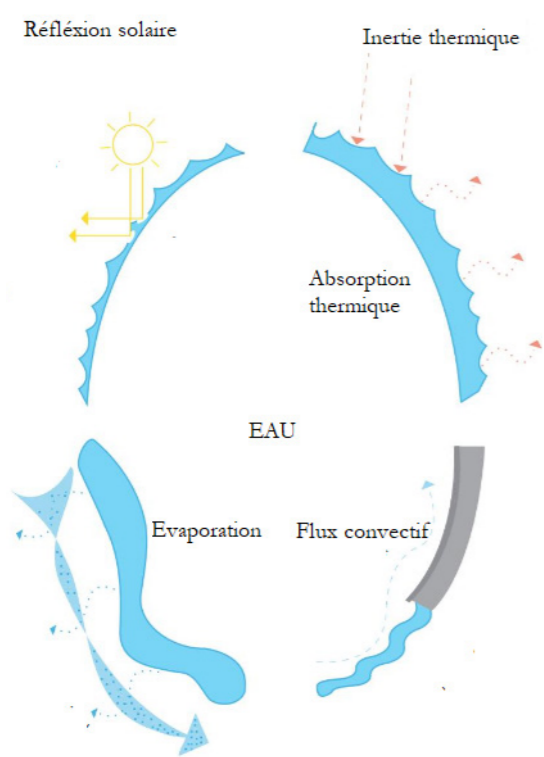
Corrélation entre espaces inondables et îlots de chaleur



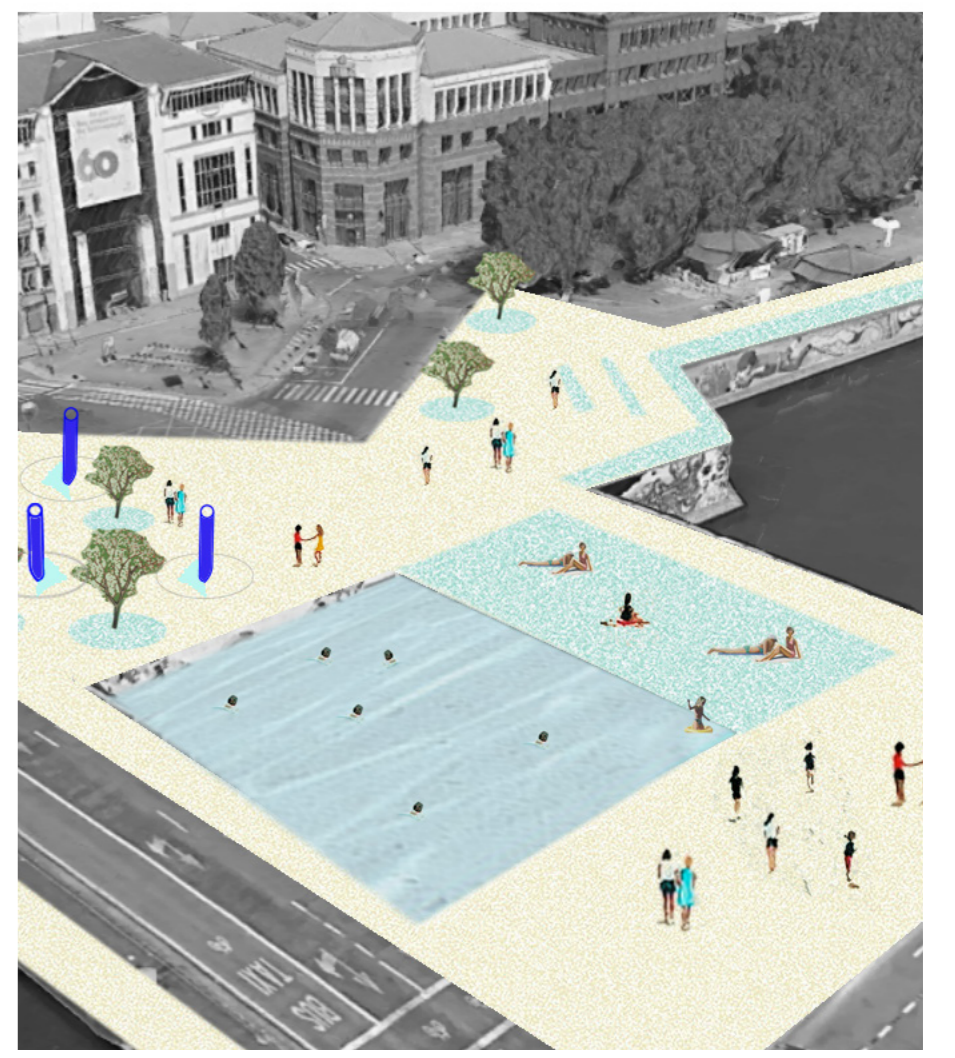
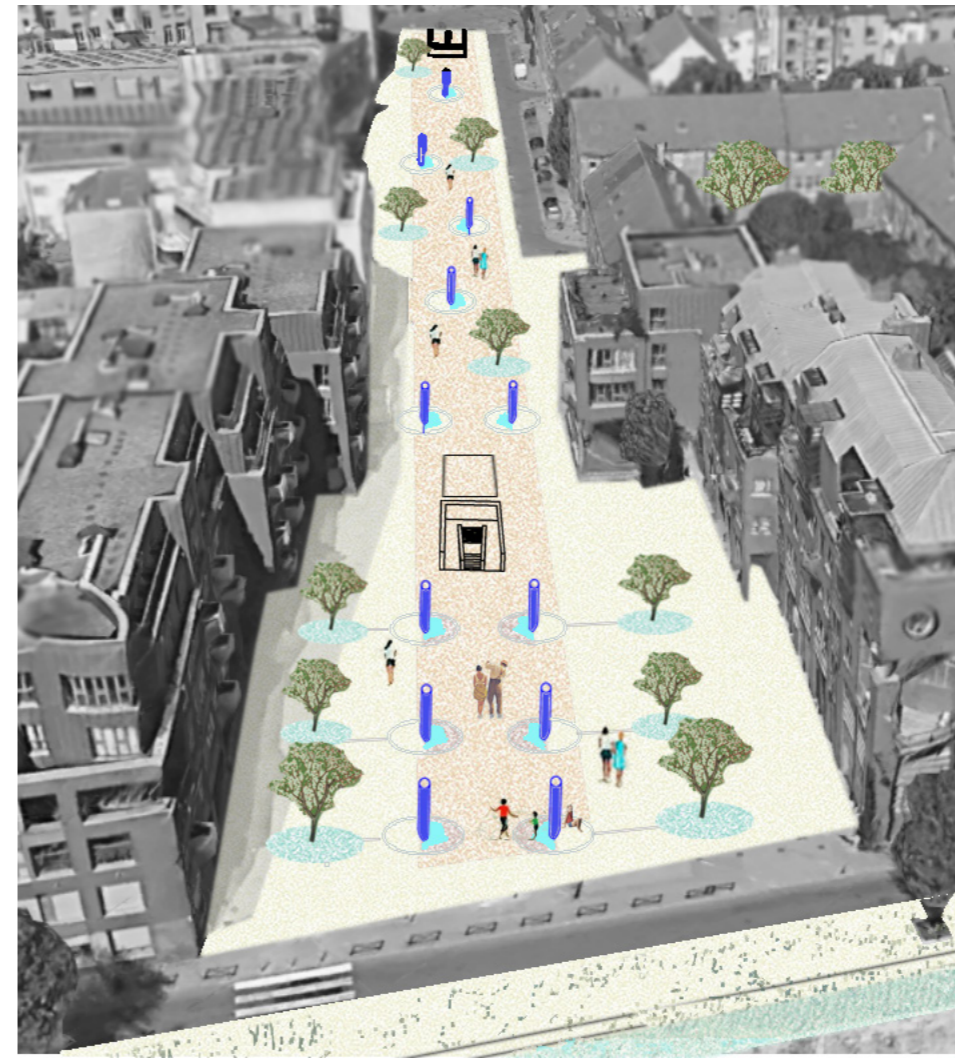
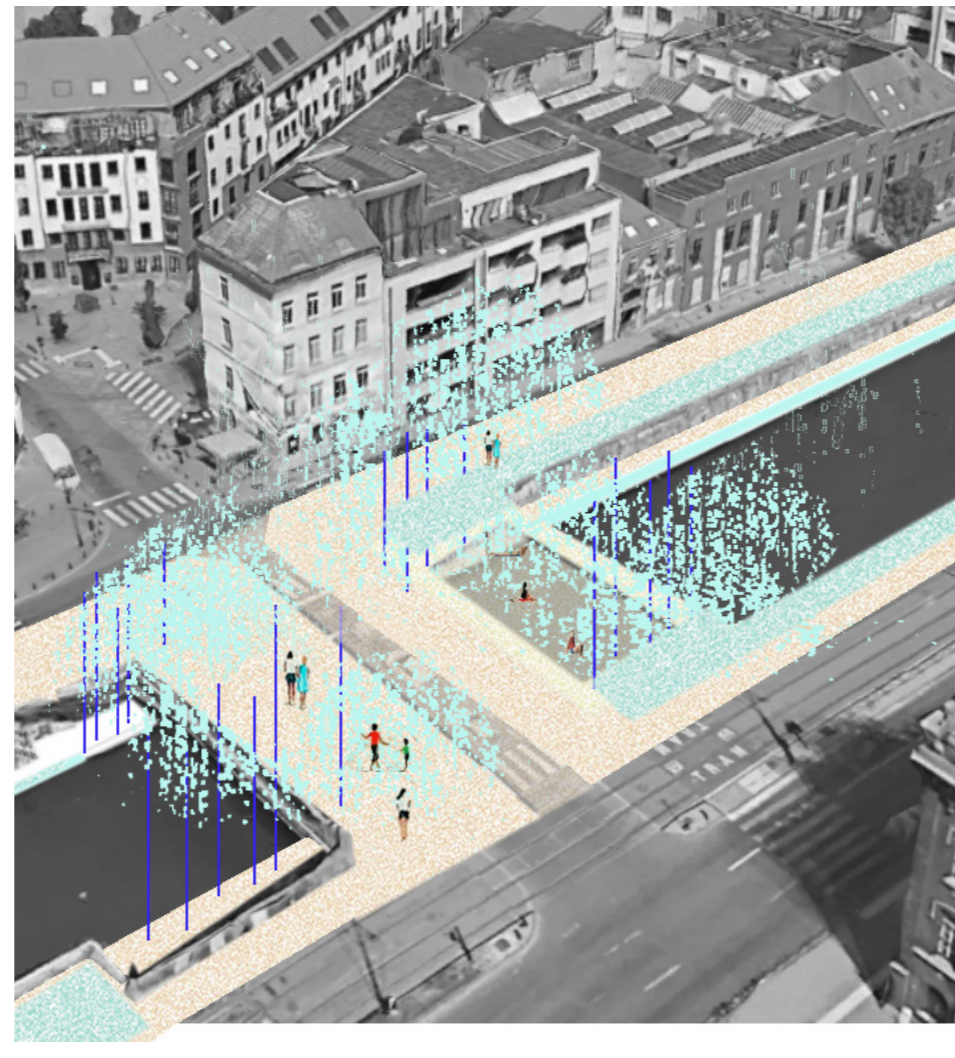
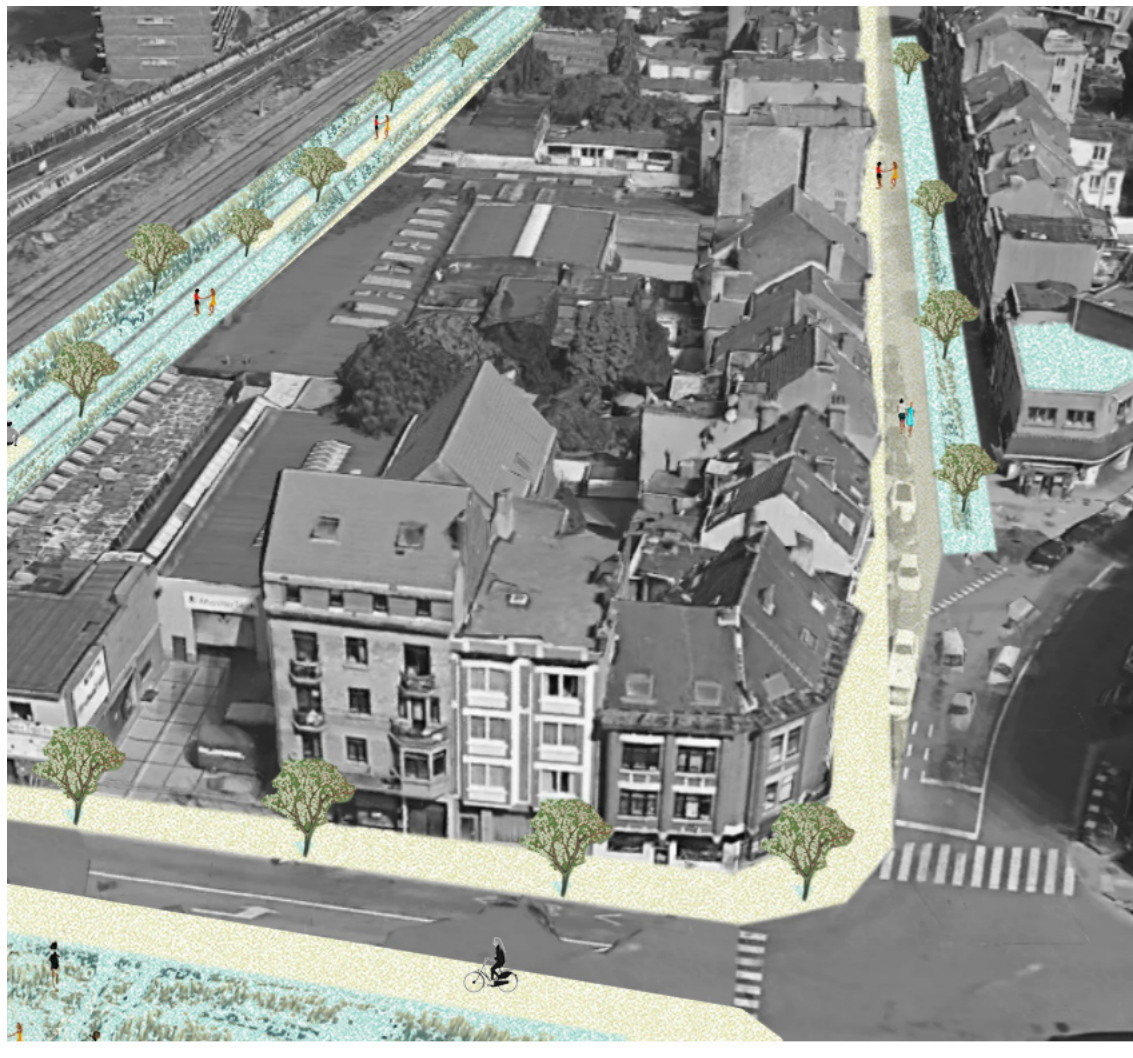
Aléa d'inondation faible  
Aléa d'inondation forte

carte réalisée en compilant les données:  
Bruxelles environnement

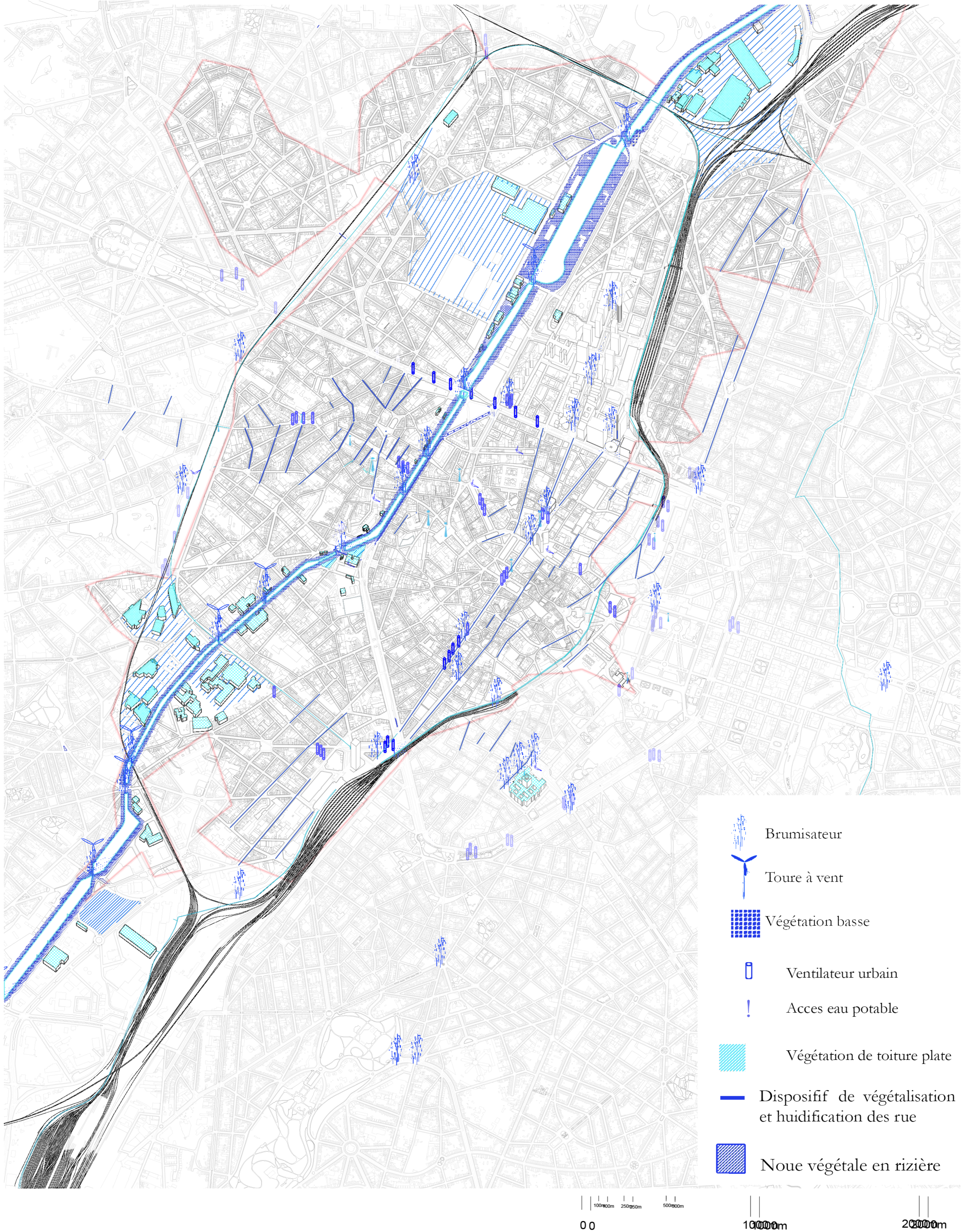
0 100 200 300m















## Nouveaux îlots de fraîcheurs



-  Brumisateur
-  Toure à vent
-  Végétation basse
-  Ventilateur urbain
-  Acces eau potable
-  Végétation de toiture plate
-  Dispositif de végétalisation et humidification des rue
-  Noue végétale en rizière