

VISION

Quelles solutions de rafraîchissement basées sur l'eau
en ville

ANNEXES



Les annexes du rapport VISION *Quelles solutions de rafraîchissement basées sur l'eau en ville* sont présentées à suivre.

Elles se divisent en 7 parties :

1. Le **BENCHMARK** de solutions de rafraîchissement aujourd'hui disponibles pour rafraîchir la ville. Ce benchmark a été produit par le consortium VISION.
2. La **METHODOLOGIE CARTOGRAPHIQUE** de sélection de sites pertinents pour déployer une solution de rafraîchissement en ville. Cette méthodologie a été produite par le consortium VISION
3. La synthèse de l'**ATELIER VISION *Quel rafraîchissement dans l'espace urbain pour l'avenir ?*** organisé par le consortium VISION en fév. 2020 avec les acteurs du territoire de Bordeaux métropole.
4. Un détail des **CONTRAINTES REGLEMENTAIRES et PRECONISATIONS** encadrant le déploiement d'un système de rafraîchissement basé sur l'eau en ville. Ce détail vient compléter les éléments fournies dans le rapport VISION.
5. Un **ARTICLE DE SYNTHESE** soumis à la revue TSM.
6. Un **POSTER DE SYNTHESE** présenté au 100^e congrès de l'ASTEE (Juin 2021).

1

BENCHMARK

Projet vision

Benchmark des solutions de rafraichissement utilisant leau



ENERGY ENVIRONMENT
EFFICIENCY ECONOMY
ENGINEERING EXPERTS



SOMMAIRE

- 1 - « Les miroirs d'eau » **p. 5**
- 2 - « Les systèmes de brumisation » **p. 7**
- 3 - « Les fontaines et jets d'eau » **p. 13**
- 4 - « Les murs d'eau » **p. 14**
- 5 - « Les structures végétale et la brumisation » **p. 20**
- 6 - « L'accès à l'eau potable en milieu urbain » **p. 22**
- 7 - « Solutions de rafraîchissement de la voirie » **p. 26**
- 8 - « D'autres solutions de rafraîchissement en ville » **p. 31**
- 9 - Bibliographie **p. 37**

Introduction

Les îlots de chaleur urbains (ICU) désignent des zones urbaines identifiées comme étant plus chaudes que le reste de la ville, dû notamment à leurs caractéristiques propre (revêtement du sol et des bâtiments, exposition, présence de végétation, etc...).

S'il existe des îlots de chaleur urbain (ICU), il existe également, à contrario, des zones urbaines caractérisées par une température d'air ambiant plus fraîche, appelées îlots de fraîcheur urbains (IFU).

Plus généralement, on appelle îlot de fraîcheur urbain, « *un périmètre urbain dont l'action rafraîchissante permet d'éviter ou de contrer directement ou indirectement les effets des îlots de chaleur urbains* » (Nature Québec).

Les îlots de fraîcheur urbains résultent très souvent de la présence d'eau, de la végétation, mais également de courants d'air urbains, d'ombre ou de matériaux à fort albédo.

Ce benchmark cible particulièrement les solutions de rafraîchissement utilisant l' eau.

Ce travail de référencement nous a permis de répertorier les solutions de rafraîchissement utilisant l'eau, à travers le monde.

Afin de visualiser et comparer rapidement les solutions de rafraîchissement entre elles, nous avons pris le parti d'utiliser un diagramme en radar qui permet « d'évaluer » les solutions présentées.

Cependant, cette « évaluation » peut être qualifiée de « sommaire » puisqu'elle ne s'appuie pas sur des données chiffrées, précises et démontrées au travers d'études. Une étude technique de chaque solution serait nécessaire pour quantifier ces données.

Ainsi, nous proposons une évaluation qualitative relevant de notre expérience professionnelle et de bon sens. Ceci nous a permis de croiser notre regard avec certaines données disponibles afin d'évaluer les solutions présentées dans ce benchmark.

Les critères d' évaluations

- Le pouvoir rafraîchissant
Il est question d'évaluer le ressenti de fraîcheur au niveau des usagers, et donc de savoir si la solution permet d'améliorer la qualité de vie dans l'ICU.
Le score de 5 démontre une solution avec un pouvoir rafraîchissant maximal. Le score de 0 une solution qui ne rafraîchit pas.
- L' économie en eau
Pour chacune des solutions, nous avons tenté de quantifier au mieux le volume d'eau (potable ou non) nécessaire.
Le score de 5 signifie que la solution est économe en eau (faible consommation). Le score de 0 démontre une solution gourmande en eau.
- L' économie d' énergie
Ce critère met en évidence la consommation électrique nécessaire au bon fonctionnement de la solution.
Le score de 5 signifie que la solution ne nécessite pas voire peu d'énergie pour fonctionner. Le score de 0 démontre une solution gourmande en énergie.
- La facilité de mise en œuvre
Ce critère évalue les travaux nécessaires à la mise en place de la solution. La solution nécessite-t-elle d'importants travaux (étalement dans le temps, coût onéreux, place nécessaire...) ? Ou bien est-elle facile, rapide et économique à mettre en place ?
Le score de 5 signifie que la solution est facile à réaliser. Le score de 0 démontre une solution nécessitant d'importants travaux de réalisation.
- L' intégration dans le paysage urbain
L'intégration de la solution dans le paysage urbain est un critère d'importance pour ne pas dénaturer la qualité architecturale de la ville ou du quartier.
Le score de 5 signifie que la solution s'intègre parfaitement à son environnement. Le score de 0 démontre une solution difficile à intégrer dans le paysage urbain.
- La facilité d' entretien
Ce critère évalue l'entretien nécessaire au bon fonctionnement quotidien de la solution. Il est question du contrôle de la qualité de l'eau, de l'entretien des buses de brumisation, du système de pompage. La solution nécessite-t-elle un entretien quotidien, hebdomadaire, mensuel... ? Le coût de l'entretien est-il abordable ?
Le score de 5 signifie que la solution est simple et rapide d'entretien. Le score de 0 démontre une solution difficile et/ou onéreuse à entretenir.
- Le respect de l' environnement
C'est un critère qui revêt une importance grandissante notamment auprès de l'opinion public. Quels types de matériaux sont utilisés ? La solution utilise-t-elle de l'eau potable ou non ? En circuit ouvert ou fermé ? La solution s'inscrit-elle dans une logique de développement durable ?
Un score de 5 signifie que la solution utilise des matériaux durables à faible empreinte carbone. Un score de 0 désigne une solution peu respectueuse de l'environnement.



- 1-
« Les miroirs d' eau »

LES MIROIRS D'EAU



Miroir d'eau de la Place de la Bourse
(Bordeaux)



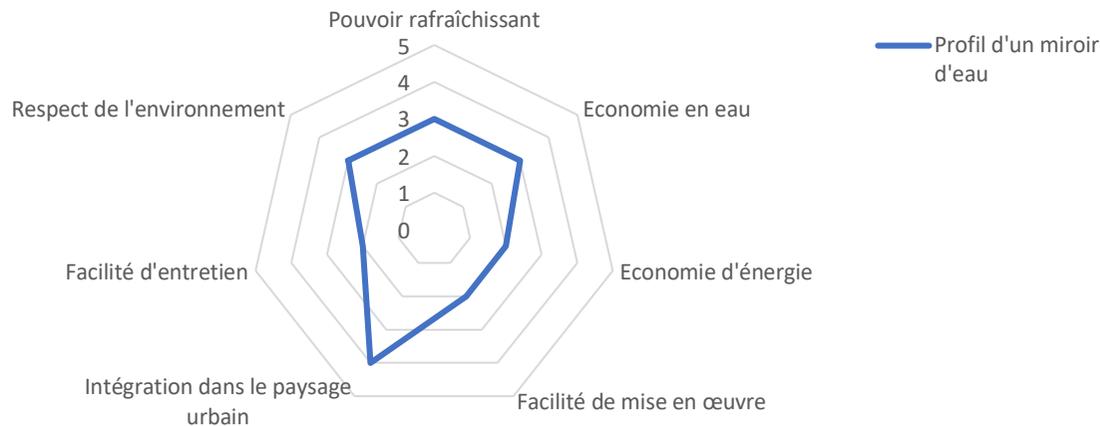
Miroir d'eau de
l'Alhambra (Grenade)



Miroir d'eau de la promenade du Paillon
(Nice)

Un exemple, fort de son succès et portée par Michel CORAJOU est l'aménagement de la place de la Bourse à Bordeaux. Autrefois lieu de stockage de conteneurs puis lieu de stationnement, il a été totalement transformé pour y intégrer un miroir d'eau en 2006.

Aujourd'hui, c'est un point de rencontre pour les Bordelais, un espace convivial et de détente, mais surtout un îlot de fraîcheur extrêmement prisé dès le printemps, et ce avec seulement 2 cm d'eau et de nombreuses séquences de brumisation. En période estivale, le miroir d'eau devient victime de son succès car les utilisateurs se sont appropriés l'équipement en venant littéralement se « baigner » et s'y installer pour se rafraîchir.



LE MIROIR D'EAU DE BORDEAUX EN CHIFFRES

Eau utilisée : eau potable en circuit fermé

Surface : 3450 m²

Caractéristiques :

Réservoir d'eau potable en sous-sol :
700 m³

Effet brouillard : 5 injecteurs pulsent
l'eau dans les 960 injecteurs en surface.

Consommation en eau :

2 000 à 3 000 m³/an

Soit une perte d'eau journalière de 1.5%
de la capacité du réservoir.

-2-

« Les systèmes de brumisation »

LA BRUMISATION PAR RAMPE OU MÂT : dispositif temporaire et amovible



Brumisation sur les quais de la Seine
Paris plage



Montreuil - juillet 2018- température de 34°C « les brumisateurs font la joie des habitants »



Parklet « La Vague » à Montréal.
Son design original, sa structure en bois créant de l'ombre et ses brumisateurs apportant humidité et fraîcheur ont fait de ce parklet est un véritable succès.



Suspensions équipées d'un système de brumisation. Les suspensions fleuris en période printanière peuvent être aisément remplacées par ces installations lors des fortes chaleurs estivales



Buse de brumisation
haute pression

Grâce à des pompes de pressurisation haute pression, l'eau est expulsée au travers de buses pour former un brouillard extrêmement fin et léger. Ce procédé permet :

- Un rafraîchissement efficace de l'air ambiant;
- Un confort thermique aux utilisateurs ;
- Une amélioration de la qualité de l'air ;

LA BRUMISATION EN CHIFFRES

Eau utilisée : eau potable

Consommation en eau :

En fonction des buses entre 0.7l/h/buse et 16.8l/h/buse.

Consommation énergétique : Pompes de pressurisation de 70 à 100 bars.

Gain de T°C :

5 à 7°C (France métropolitaine)

1 à 3°C (France – Bord de mer)

Ex : En conditions climatiques normales T=30°C et Hr=50%, on obtient après brumisation T=26,14°C et Hr=70%, soit un abaissement de presque 4°C. (Source Delattre Industrie Développement)

La taille de ces microgouttelettes d'eau, comprise entre 5 et 10µ, permet à l'eau de s'évaporer en absorbant une partie de la chaleur contenue dans l'air : c'est le "Refroidissement par humidification adiabatique". Procédé dit "adiabatique", à condition qu'il n'y ait ni apport ni retrait de chaleur dans l'air.

L'air vient en contact avec l'eau brumisée, il y a alors évaporation d'eau. Il en résulte une baisse de température de l'air, et une augmentation du degré d'hygrométrie.

LA BRUMISATION PAR LE SOL DES ESPACES PUBLICS : dispositif permanent



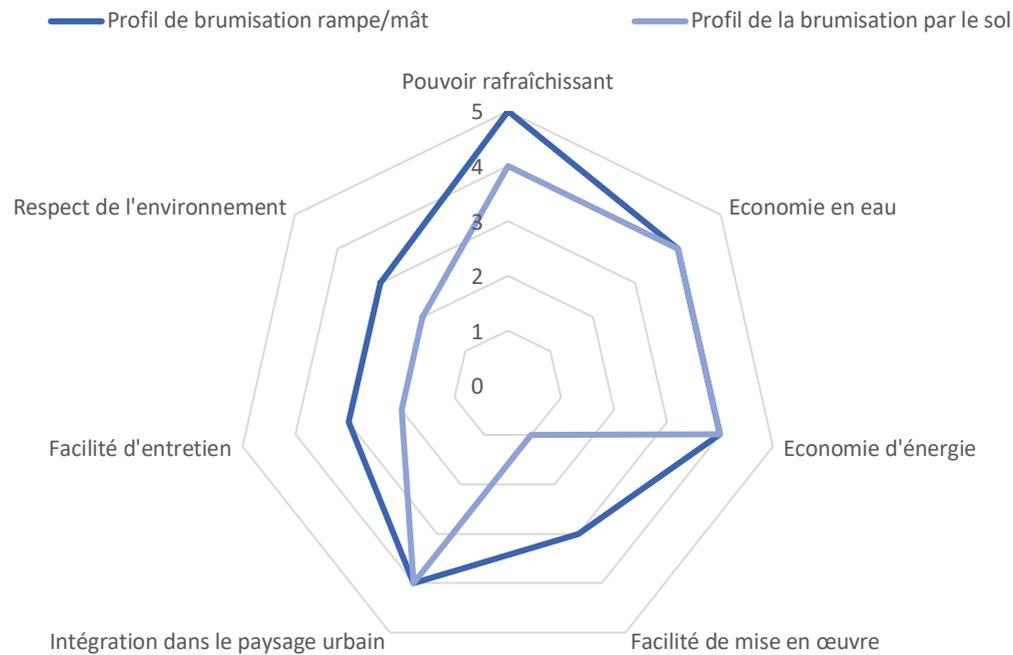
Le « Plateau des brumes »
(Promenade du Paillon - Nice)



Brumisateur sur la Place Canotier
Québec



Place de la République
Paris



Si le procédé de brumisation par le sol est identique à celui proposé par mats, la différence majeure se situe au niveau de la mise en œuvre et l'entretien du système.

La brumisation par le sol implique des travaux de gros œuvre tel que la réfection totale ou l'aménagement d'un espace public.

Les travaux consistent en la mise en place d'un système de brumisation automatique et enterré duquel l'eau s'échappe par des buses intégrées dans le sol.

La maintenance d'une installation de brumisation quelle qu'elle soit est un point important permettant de prévenir d'éventuels risques sanitaires. En effets, les bactéries présentes dans l'eau et potentiellement diffusées en aérosol peuvent être extrêmement dangereuses pour l'homme.

LA BRUMISATION EVENEMENTIELLE : Les ventilateurs brumisateurs



Brumisation par ventilation lors d'un festival de rugby en Australie.



Le tennisman polonais J. Janowicz se rafraichit lors de l'Open d'Australie, le jeudi 16 janvier 2014 à Melbourne.



Brumisation par ventilation lors d'un évènement culturel.



Ventilateur mobile
Réservoir de 60l (3 à 5 heures d'autonomie)

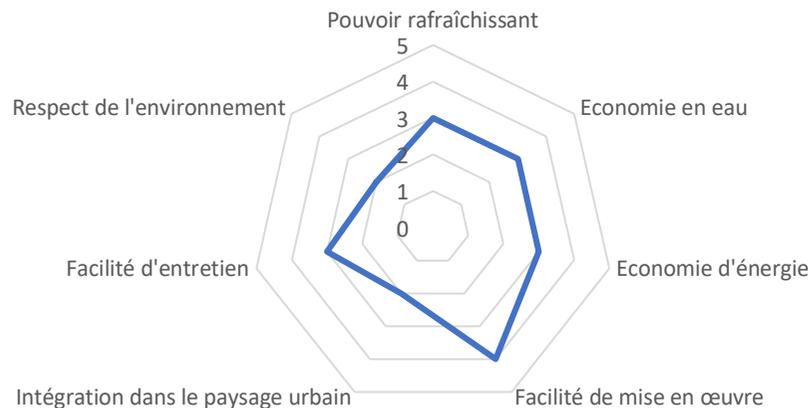
Les ventilateurs brumisateurs se présentent sous deux formes : sur pied, ils sont alors mobiles, ou fixés sur un support (mât, mur...). Ils peuvent être dotés d'un réservoir ou directement branchés sur une arrivée d'eau potable.

À haute pression, le ventilateur brumisateur est doté d'une pompe qui lui permet de pulvériser l'eau en très fines gouttelettes à l'évaporation rapide.

À basse pression, le ventilateur brumisateur pulvérise des gouttelettes de taille plus importante, qui peuvent créer un effet légèrement « mouillé ».

La brumisation par ventilateur est utilisée pour générer de la brumisation dans des lieux non appropriés aux autres procédés de brumisation (rampe, mât, par le sol...). En effet ce matériel est particulièrement adapté à des zones non couvertes, difficiles d'accès où la brumisation par ventilation, qui peut être mobile et/ou autonome, crée une plus grande modularité.

— Profil du brumisateur ventilateur



LA BRUMISATION EN CHIFFRES

Eau utilisée : eau potable

Caractéristiques :

Capacité des réservoirs : de 1.5l à plus de 60L.

Effet brouillard à haute pression :
Gouttelettes de 5 à 10µ projetées par la pompe.

Consommation en eau :

Entre 1 et 5 litres d'eau/h(buse) en fonction de la puissance du ventilateur et de la pompe.

Consommation énergétique :

Une puissance de 80 Watts est un minimum pour une ventilation et une brumisation efficace.

Les plus puissants dépassent les 180 W pour plus de 80 m² rafraîchis.

LA BRUMISATION EVENEMENTIELLE : Innovation Prime Tech



Structure gonflable
(Prime Tech)

Le "Gonflable" : structure gonflable intégrant des buses de brumisation. Adapté au rafraîchissement très localisé d'espaces extérieurs, notamment lors d'événements sportifs et/ou culturels.

LE « GONFLABLE » EN CHIFFRES

Eau utilisée : eau potable

Consommation en eau :
4 litres/h/buse (possibilité de réduire avec le programmeur sur la pompe)

Consommation énergétique :
0.25kw/h (selon modèle de pompe)



Totem publicitaire de brumisation
(Prime Tech)

LE « TOTEM » EN CHIFFRES

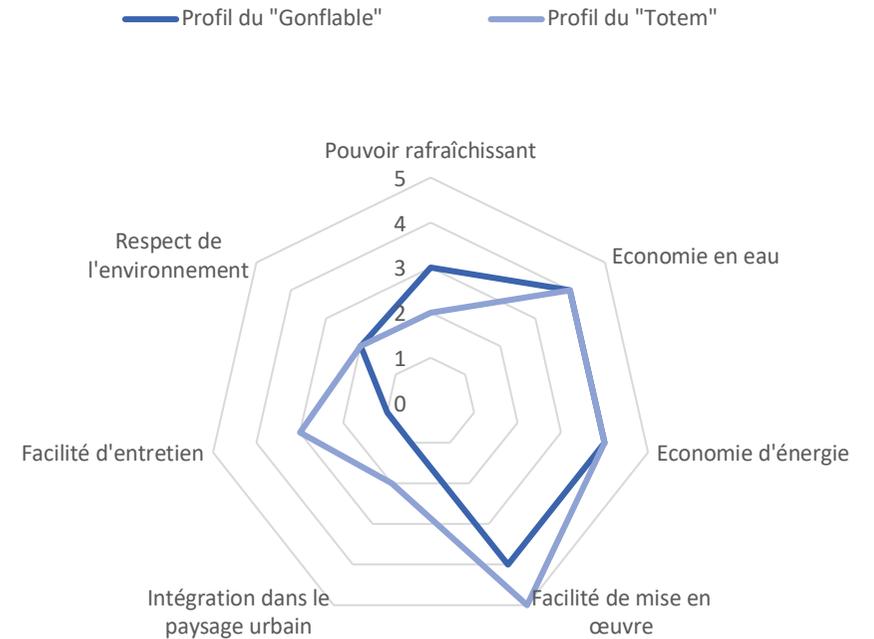
Eau utilisée : eau potable

Consommation en eau :
Cuve de 120l (autonomie d'environ une journée).
Une pression sur le bouton active la brumisation haute pression.

Le « totem » permet un rafraîchissement très localisé et sur demande d'une à 4 personnes en même temps.

C'est un produit de marketing direct adapté à des journées événementielles ou promotionnelles (ses 4 faces sont personnalisables).
Il est mobile et silencieux.

Une simple pression sur le bouton active la brumisation. Un « timer » limite le temps de brumisation.



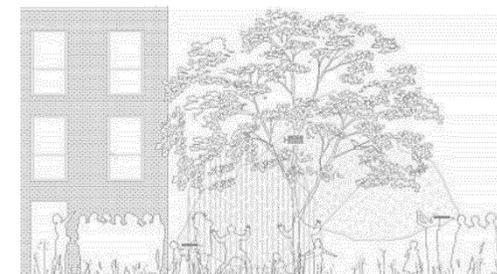
L'ARBRE DE PLUIE à Paris :

Alors que les températures quotidiennes parisiennes dépassent les 30°C, l'arbre de pluie, véritable dispositif de rafraîchissement urbain pour lutter contre les îlots de chaleur, est une installation technique sonore et de jeux d'eau qui se greffe sur des arbres existants pour inventer un « arbre augmenté » qui fait tomber la pluie lorsqu'il détecte un cri.

Principe

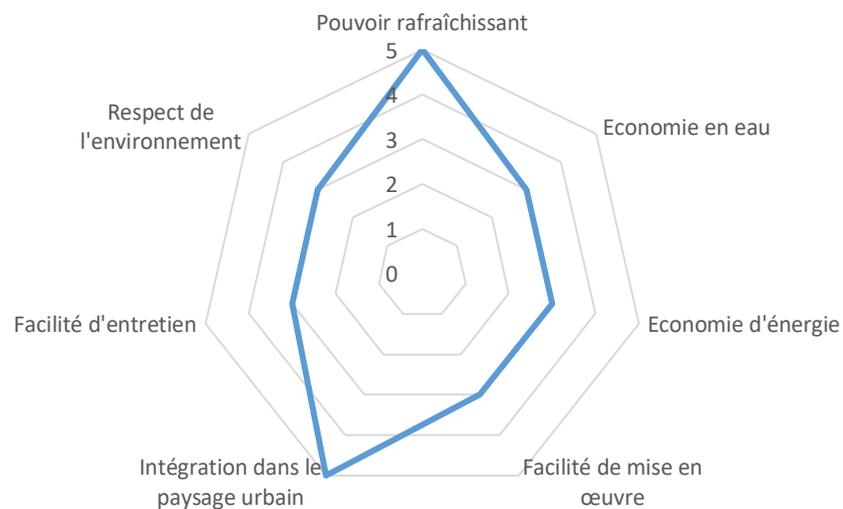
Les fines gouttes de pluies se dispersent à travers les feuilles et créent des reflets pour les yeux et les oreilles. La bruine ainsi produite permet d'abaisser la température dans des environnements citadins et minéraux comme le Square Schwartzberg.

L'objectif de cette expérimentation de quatre jours est de pouvoir identifier les quantités d'eau nécessaires et de pouvoir rendre le dispositif autonome. Aujourd'hui issue de la fontaine du parc, l'eau devrait, à long terme, être de l'eau de pluie récupérée, assainie et rendue potable. Cependant aucune information complémentaire nous permet de connaître les systèmes prévus pour la filtration et le stockage de ces eaux pluviales.



Arbre de pluie, Square Schwartzberg à Paris, 10e

— Arbre de pluie



- 3 -

« Les fontaines et jets d' eau »



LES FONTAINES PUBLIQUES, JETS D'EAU ET JEUX D'EAU : Espace ludique et de fraîcheur



Appropriation d'une fontaine
(Francfort)



Rafrâichissement de la population
autour d'une fontaine (Seattle)



Jets d'eau sur la Promenade du Paillon
(Nice)



Aménagement temporaire d'une
aire de jeux aquatique
(Berges du Rhône – Lyon)



Jeux d'eau des Jardins de la Brèche (Niort)
L'eau consommée est récupérée pour
alimenter le système d'arrosage des jardins.



Jets d'eau sur la Place des
canotiers (Québec)

Depuis l'antiquité romaine les fontaines sont présentes dans nos citées. À l'origine, leur rôle très fonctionnel consistait en l'approvisionnement en eau potable des villes. Depuis, leur fonction a évolué vers un rôle plus décoratif. Cependant durant ces deux dernières décennies les fontaines tendent à se multiplier sur les espaces très minéralisés de nos centres-villes. Leur fonction devient donc tant décorative (intégration dans le paysage urbain) que fonctionnelle (offrir de la fraîcheur, voire des espaces de « baignade » durant les fortes chaleurs estivales).

LES FONTAINES PUBLIQUES EN QUELQUES CHIFFRES

Eau utilisée : fonctionnement en circuit fermé avec l'eau potable du réseau.

Caractéristiques :

Capacité du bassin : Pour assurer son autonomie et son équilibre une fontaine doit disposer d'un volume d'eau suffisant par rapport à sa superficie. Certaines sources parlent d'un minimum de 380 litres/m².

Profondeur du bassin : entre 50 et 60 cm minimum. Un bassin d'une profondeur de 60 cm est considéré comme une pataugeoire.

Consommation en eau :

Le diamètre du bassin doit être au minimum de 2 fois la hauteur de projection du jet d'eau. Un système de remplissage automatique est prévu en cas de forte évaporation.

Un système anémométrique peut-être installé afin d'éviter les pertes d'eau dues au vent.

Exemple de la fontaine de Tourny :

Un anémomètre contrôle le débit des jets d'eau. Lorsque ce dernier détecte un vent qui atteint un premier seuil, les jets diminuent de moitié et, lorsque le vent atteint un deuxième seuil, ceux-ci s'arrêtent complètement. De plus, une temporisation est programmée afin d'éviter que les bourrasques ne fassent arrêter et redémarrer le système trop rapidement.

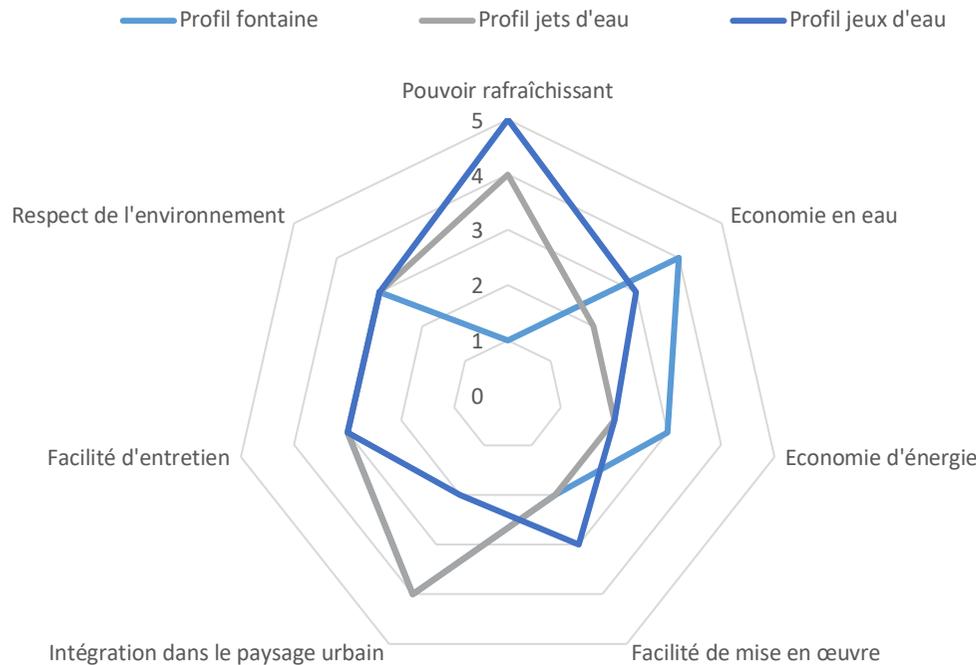
Cet ouvrage hydraulique se définit par la présence d'un bassin, parfois non apparent, et d'une œuvre esthétique qui joue avec l'eau. Pour les fontaines demandant un grand débit, une ou plusieurs pompes sont parfois nécessaires afin d'animer le bassin et permettre à l'ouvrage de fonctionner en circuit fermé, en faisant circuler l'eau en continu. Ce fonctionnement en circuit fermé nécessite tout de même un apport d'eau fraîche pour compenser les pertes par évaporation ou projection. Lorsque le débit d'eau est trop faible, l'alimentation se fait alors en continu.

Plus ou moins complexe à réaliser en fonction de leur taille et de leur forme, ces solutions présentent toutefois l'avantage de consommer peu d'eau et peu d'énergie. En effet l'eau « potable » est utilisée en circuit fermé.

Cependant, leur efficacité est moindre et le point d'eau ne rafraîchit qu'une zone relativement limitée à ses abords.

Ces ouvrages sont également munis d'un trop-plein pour évacuer les surplus d'eau accumulés pendant la pluie. Ce sont donc des espaces de captation d'eau de pluies, eaux qui pourraient être filtrées et stockées afin d'être redistribuées lorsque la demande augmente.

Hygiène : pour fonctionner en milieu urbain les fontaines doivent être dotées d'un système de filtration et de traitement afin de maintenir une qualité d'eau qui respecte la réglementation en vigueur pour ces équipements, afin de protéger les usagers contre différentes infections ou l'insalubrité.



Entretien des fontaines et jeux d'eau : du fait de leur haut niveau de technologie hydraulique et électrique les fontaines et les jeux d'eau sont des œuvres complexes. Leur entretien relève donc d'un personnel qualifié (fontainiers, pisciniers ou autres).



Fontaine de Tourny et vue de la salle des machines - Ville de Québec

LA SOLUTION COMBINÉE DU MIROIR D'EAU, DES BRUMISATEURS ET DES JETS D'EAU



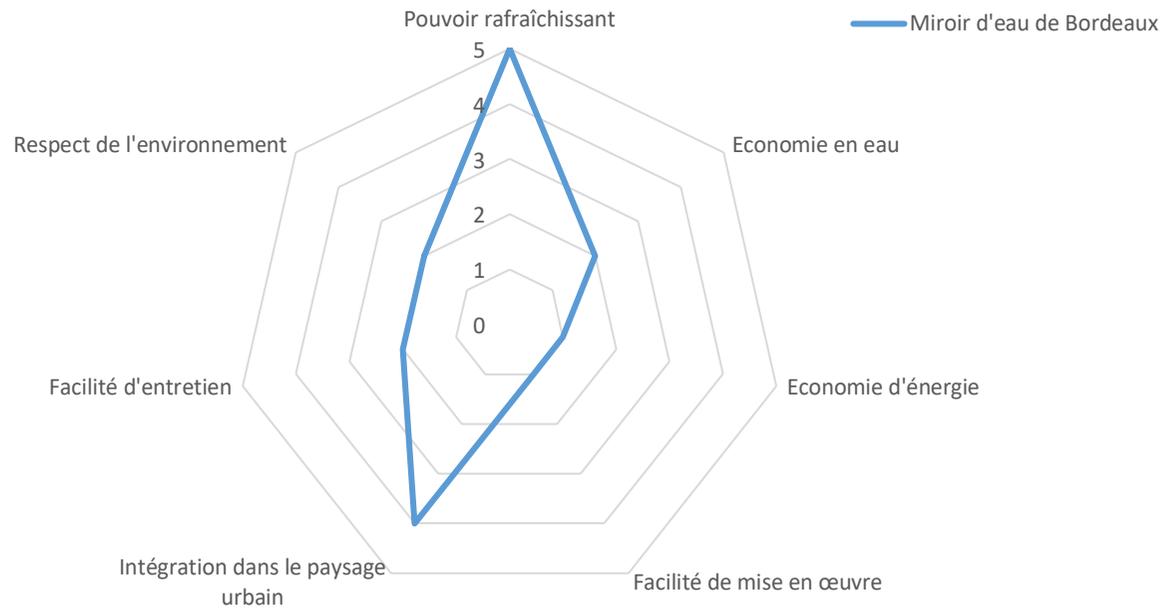
Prise d'assaut des fontaines et du plan d'eau aux pieds de la Tour Eiffel lors des fortes chaleurs estivales - Jardins du Trocadéro (Paris)



Miroir d'eau et brumisateurs font le bonheur des Bordelais en période estivale - Quai de Bordeaux



Miroir d'eau associé à des fontaines - Promenade du Paillon - Nice



L'ASSOCIATION MIROIR D'EAU, BRUMISATION ET JETS D'EAU EN QUELQUES CHIFFRES

Eau utilisée :

Miroir /bassin : fonctionnement en circuit fermé (Réservoir souterrain).
 Brumisation et jets d'eau : utilisation de l'eau potable du réseau

Consommation en eau :

Brumisation : en fonction des buses entre 0.7l/h/buse et 16.8l/h/buse.
 Jets d'eau :
 Miroir : fonctionne en circuit fermé

Gain de T°C :

5 à 7°C (France métropolitaine)
 1 à 3°C (France – Bord de mer)

JETS D'EAU à Lausanne :

Dans le cadre de Lausanne Jardins, une installation éphémère sur la place Saint-François interroge les passants sur leur rapport à l'eau. « L'eau et vous », ce sont trois jets. Ils ne perturbent pas le trafic et possèdent une boucle de détection au cas où un incident se produirait.

Principe

Les jets d'eau jaillissent du sol et arrosent les installations urbaines périphériques notamment la route et les trottoirs. Cette invention éphémère a pour objectif principal de sensibiliser les passants à leur rapport à l'eau. Cependant, l'arrosage de la route rafraîchit l'îlot de chaleur créé par la route (l'enrobé utilisé garde la chaleur du fait de son albédo faible). L'évaporation de l'eau émise dans l'air permet de rafraîchir l'air ambiant et réduire les températures accumulées dans un espace réduit.



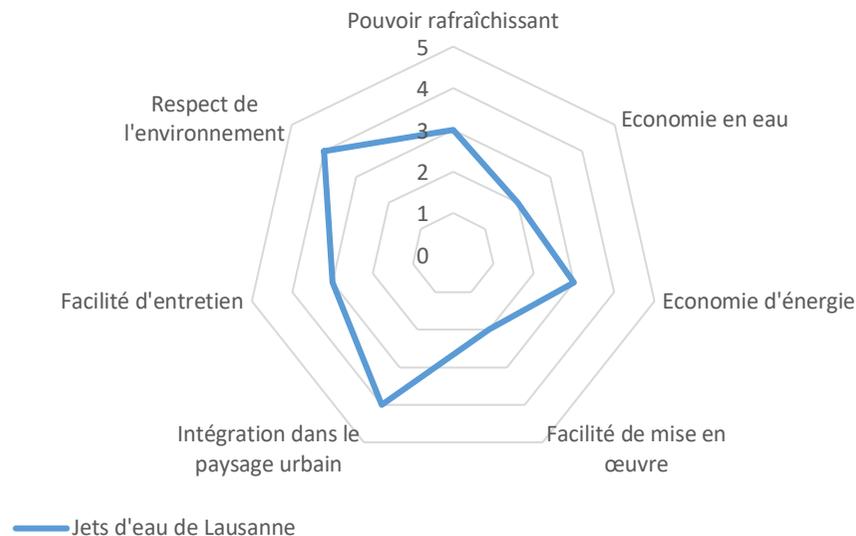
JETS D'EAU DE LAUSANNE EN CHIFFRES

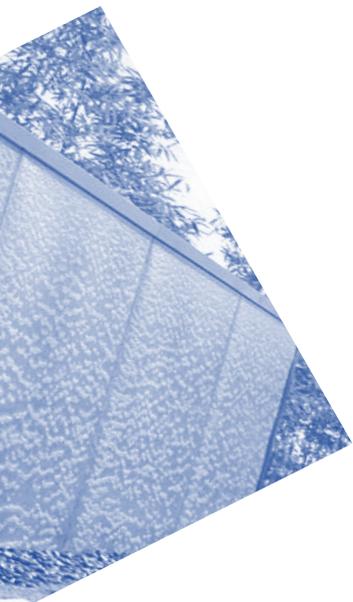
Eau utilisée : Eau pluviale

Consommation en eau :

Pour les 17 semaines de Lausanne Jardins 2019, les organisateurs estiment que 814 m³ d'eau seront au total nécessaires, de 8h à 20h.

Chaque cycle propulse environ 100 litres d'eau en l'air, qui seront récupérés par le système des eaux pluviales et retourneront dans le lac sans traitement.





- 4 -

« Les murs d' eau »

Mur d'eau urbain



Exemple de mur d'eau disponible dans le commerce



Exemple de murs d'eau installés en zone urbaine



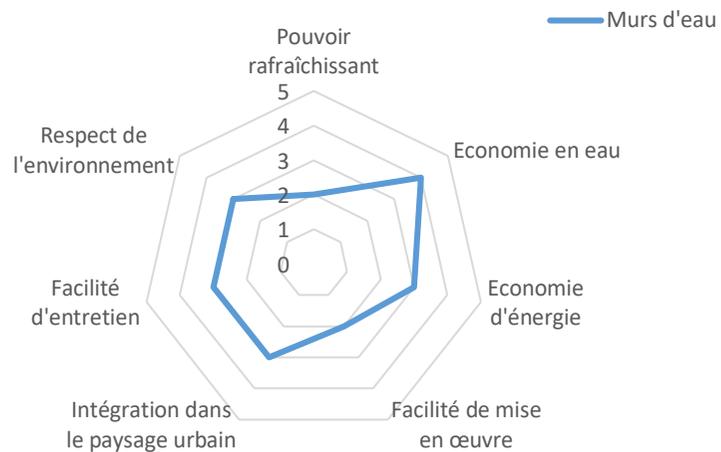
Exemple de mur d'eau d'intérieur



Pont Juvénal Mozart (Aix-en-Provence, juillet 2014)

Ce pont est habillé d'un mur végétal signé Patrick Blanc sur le côté nord et d'une cascade illuminée côté sud de 525m².

L'utilisation d'eau de ville recyclée en circuit fermé permet d'inscrire le projet dans une démarche écologique et économique exemplaire



Les murs d'eau présentés ci-dessus qu'ils soient de taille modeste adaptés aux espaces restreints, ou de taille plus importante adaptés aux grandes places urbaines, voire même gigantesques à l'image du pont d'Aix-en-Provence, présentent tous le même principe de fonctionnement.

Principe

Après ruissellement, les eaux sont récupérées à la base du mur dans des réservoirs ou bassins de stockage. Elles sont alors réinjectées au sommet de l'ouvrage via un réseau de tuyauterie. L'utilisation d'eau de ville recyclée en circuit fermée permet d'inscrire les divers projets dans une démarche écologique et économique exemplaire.

MUR D'EAU EN QUELQUES CHIFFRES

Eau utilisée : eau potable en circuit fermé

Caractéristiques : Autonome et pouvant fonctionner 24h/24h grâce à une utilisation d'eau en circuit fermé.

Consommation d'eau : Variable suivant la dimension du projet.

Consommation d'énergie : Pas d'information. Consommation des pompes et des éclairages LED.

- 5 -

« Les structures végétale et la brumisation »

Structures végétale et brumisation en milieu urbain



Le projet de Urban Canopée va tester en 2019, les trois premières canopées dans le quartier de Saint-Cyprien, à Toulouse. C'est plus de 100 m2 de végétation qui vont être installés.



La société Citéflor propose du mobilier anti-intrusion alliant béton et végétation, dont des structures en forme d'arbre et remplies de plantes. Ce mobilier sera testé à Bobigny à automne 2019.



Le « Citymur », développé par la société Citéflor, permet le verdissement urbain tout en proposant une faible logistique.



Et si l'arrosage et la brumisation des végétaux en ville permettaient de limiter « localement » la hausse des températures et, plus généralement, l'accroissement des îlots de Chaleur Urbain ?

Principe

En journée, la végétation urbaine capte l'eau et l'énergie solaire pour convertir cette énergie en énergie chimique : c'est la photosynthèse.

De même, la plante va transpirer l'eau puisée dans le sol (précipitations et/ou arrosage) avant d'être évaporée au niveau des feuilles, rafraîchissant ainsi l'air ambiant.

Cependant, l'air frais est plus lourd et ne remonte pas, la fraîcheur doit venir d'en haut. Ainsi, les arbres, qui apportent ombre et humidité lorsqu'ils sont convenablement arrosés, paraissent les plus adaptés pour rafraîchir l'air ambiant que les plantes.

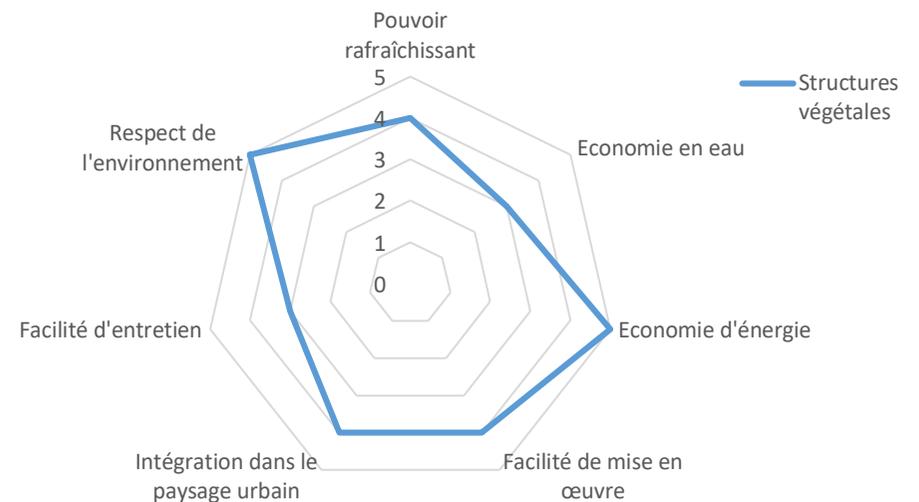
La brumisation augmente l'hygrométrie de l'espace vert en humidifiant la surface des végétaux. Elle peut venir en complément du système d'arrosage afin de rafraîchir plus significativement l'air ambiant.



Parklet végétalisé à Calvert Avenue, à l'Est de Londres & Parklet 'La Vague' avec brumisation à Montréal.



Jardin avec brumisation créé dans le bâtiment Solaris (Ile-de-France)



- 6 -

« L' accès à l' eau potable en milieu urbain »

FONTAINE D'EAU POTABLE



Fontaine à eau potable installée sur la Promenade du Paillon (Nice, juillet 2018)

En juillet dernier, une première fontaine à eau a été installée à Nice sur la Promenade du Paillon, au niveau du miroir d'eau, pour une durée de quatre mois.

Fort de son succès auprès des niçois et touristes, la Métropole Nice Côte d'Azur a décidé de développer ce dispositif innovant, écoresponsable (évite le gaspillage de l'eau) et économique pour ses utilisateurs en installant une deuxième fontaine à eau sur le site de la colline du Château.

FONTAINE A EAU EN QUELQUES CHIFFRES

Eau utilisée : eau potable

Caractéristiques :

Autonome et fonctionnant 24h/24h, cette fontaine à eau peut délivrer jusqu'à 3 000 litres par jour.

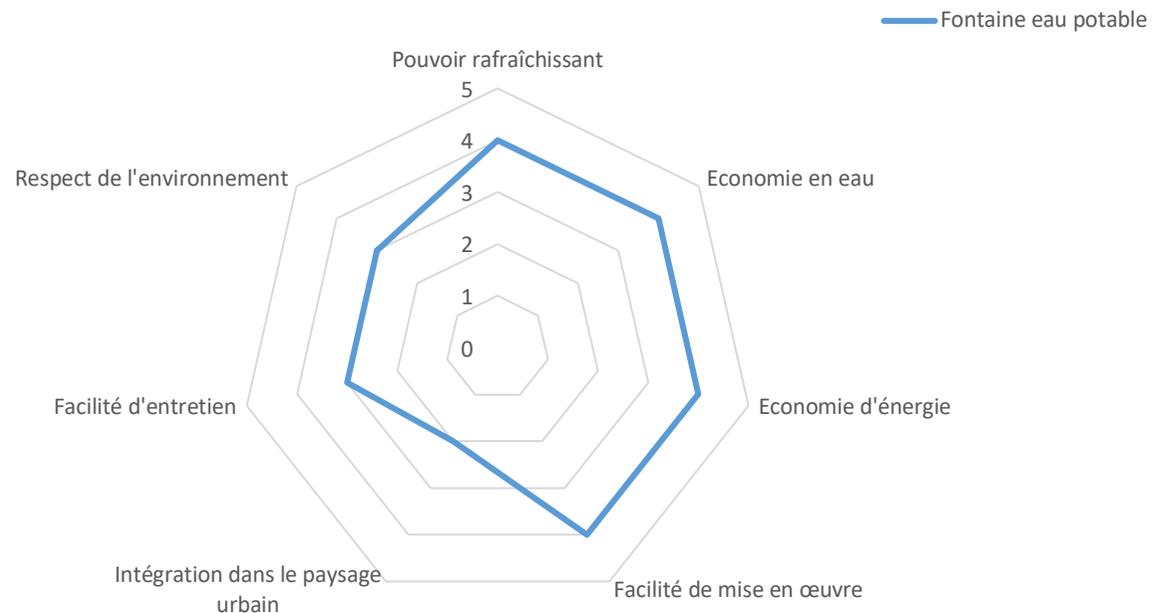
Consommation d'eau :

Une moyenne de 1450 L/jour a été délivrée (60% d'eau pétillante et 40% d'eau plate).

Consommation

L'installation d'une fontaine d'eau à température variée ou gazeuse nécessite des raccordements électriques, une manutention particulière, et une alimentation en gaz (bonbonnes fixes ou cartouches autonomes).

Elle est de fait plus énergivore qu'une fontaine classique.



SYSTEME BORNEO : distribution d'eau potable



Système BORNEO, distribution d'eau potable et brumisation
(Arrondissement du Plateau Mont-Royal - Montréal)

Dans un contexte de lutte contre la chaleur urbaine, le collectif « Bornéo » propose un système innovant permettant de rendre plus accessible les points d'eau potable à la population des zones urbaines.

Ce système utilise les bornes d'incendie présentes en centre-ville en leur donnant une double utilité :

- Fontaines d'eau potable aux passants, qui peuvent se désaltérer
- Brumisateur pour se rafraîchir

Principe

Tuyauterie insérée à l'intérieur de la structure qui facilite l'entretien mais aussi qui évite à l'eau de se réchauffer au soleil. Son corps circulaire comprend plusieurs buses interchangeables (une fontaine pour s'abreuver, un brumisateur pour se rafraîchir ou un jet multi usages).

Écoresponsable

Les fontaines d'eau BORNEO sont un moyen efficace de réduire le gaspillage du phénomène de Street-Pooling de plus en plus populaire.

Sécurité incendie

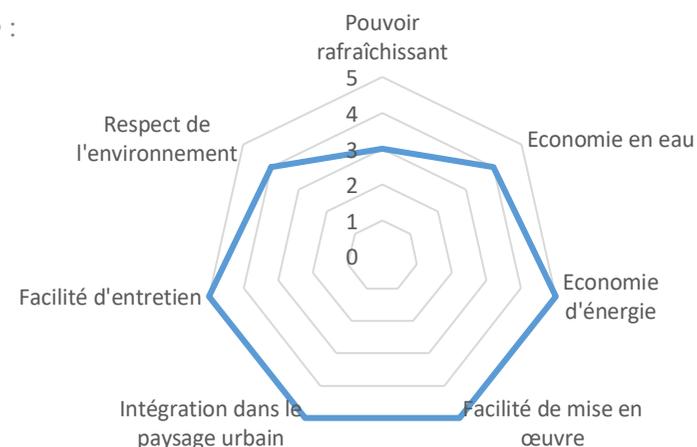
Ce projet a été conçu avec la collaboration des pompiers.

« Il s'agit d'un véritable mobilier urbain à la fois temporaire et indépendant. Et surtout, qui n'entrave pas le travail des pompiers. »

(Extrait de l'article « Bornéo : eau de source urbaine » depuis le site « Faire Montréal »)

Le dispositif Bornéo se greffe à une borne incendie par les points d'attache latéraux. Cette fixation permet de libérer la sortie principale et n'entrave pas le travail des pompiers.

Ce système d'attache permet également d'ajuster l'angle de l'appareil afin que les buses soient toujours accessibles aux enfants et aux personnes en fauteuil roulant.



— Fontaine BORNEO

Coût

Chaque fontaine Bornéo coûte 5 150\$. Cela inclut la conception, la réalisation, l'installation, en plus de la plaque explicative en demi-lune posée sur chaque Bornéo.

RÉGULATEURS DE PRESSION à New York et à Aubervilliers :

La ville distribue ces capsules d'arrosage (également appelées capsules de pulvérisation) afin de réduire au maximum le phénomène de « Street Pooling ». En effet, de façon indirecte, le " Street pooling " génère beaucoup de dégâts. Lorsqu'une bouche à incendie est ouverte, la pression de l'eau dans les réseaux d'eau baisse impliquant un risque d'utilisation par les pompiers en cas d'incendie.

Principe

Le citoyen dépose sa carte d'identité à la caserne la plus proche et en échange reçoit une sorte de bouchon percé à fixer sur une bouche d'incendie. Par le trou du bouchon se déverse un petit flux au lieu du geyser d'eau si la bouche d'incendie était entièrement ouverte.



Régulateurs de pression installés sur les bouches incendies de New York

REGULATEURS DE PRESSION EN CHIFFRES

Eau utilisée : eau potable

Caractéristiques :

Soumis au contrôle et aux dispositions des pompiers qui viennent mettre en place le dispositif

Consommation en eau :

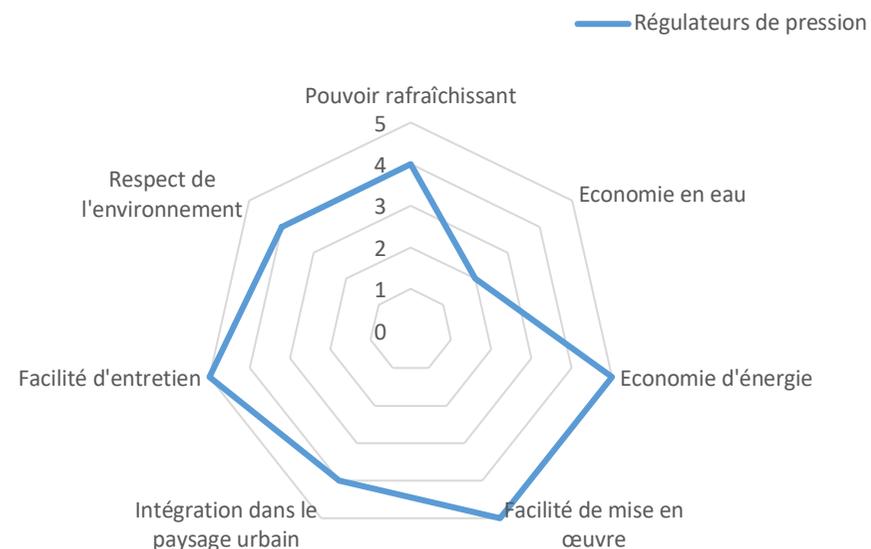
Les diffuseurs et vannes réduisent le débit des bouches d'incendie jusqu'à 25 gallons par minute (environ 25 Litres), comparé à une bouche d'incendie ouverte illégalement qui peut gaspiller de 220 à 330 Litres par minute.

Consommation énergétique :

Aucun besoin énergétique

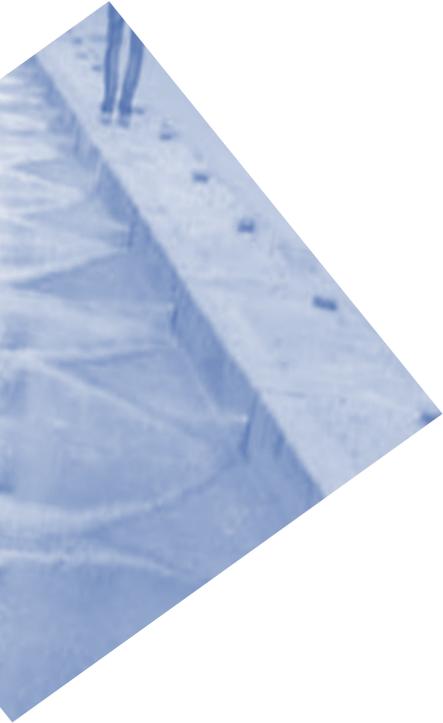


Régulateurs de pression installés sur les bouches incendies de Aubervilliers



- 7 -

**« Solutions de rafraîchissement
de la voirie »**



LE PAVE RAFRAICHISSANT



Le pavé rafraîchissant posé en août 2017, sur une parcelle de 130m² dans un quartier de Toulouse (ZAC Toulouse Montaudran Aerospace)

Venu du Japon, le premier démonstrateur de rafraîchissement urbain à base de pavés évaporatifs, a été mis en œuvre en France par 2EI, une filiale de Veolia.

Le démonstrateur se compose de 130 m² de pavés poreux à rétention d'eau, principalement alimentés par les eaux pluviales collectées à proximité et épurées grâce à une innovation de Veolia Eau « l'avaloir dépolluant ».

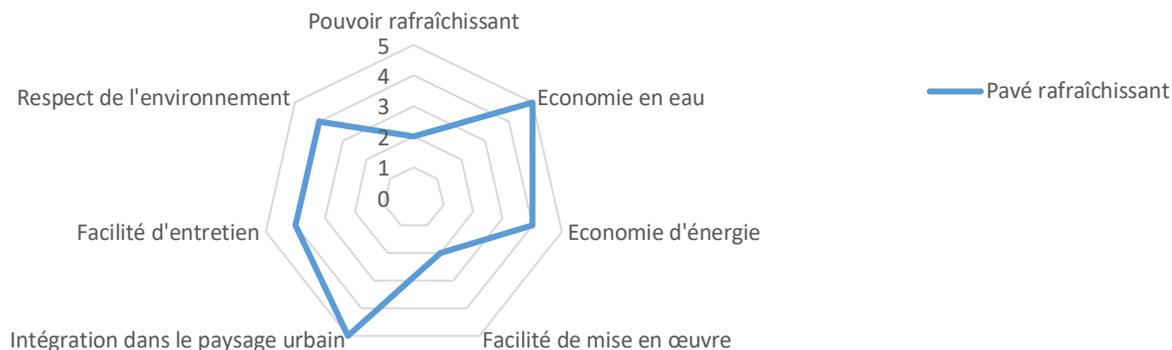
Ces pavés rafraîchissants testés à Nantes et Toulouse vont permettre d'effectuer des mesures, à partir de capteurs, le rafraîchissement obtenu.

L'enjeu est d'améliorer l'indice de confort en fonction de l'hygrométrie, de la vitesse du vent, du degré de visibilité du ciel, de la température de l'air à 1.50m de hauteur et des radiations solaires.

Le principe

- Des « avaloirs dépolluants » recueillent et traitent l'eau pluviale souillée, grâce à des grilles et des filtres.
- L'eau obtenue est alors stockée dans un bassin souterrain puis acheminée dans le lit de pose des pavés par des tuyaux d'alimentation goutte-à-goutte.
- Les pavés évaporatifs, posés sur ce lit de pose humidifié, permettent à l'eau de monter par capillarité pour finalement s'évaporer en finesse et participer à la baisse de la température.

A l'issue des tests, les chercheurs connaîtront les conditions d'efficacité du dispositif. Des itinéraires piétons seront alors proposés en fonction des heures de la journée, en été ou en hiver.



LE PAVE RAFRAICHISSEMENT EN QUELQUES CHIFFRES

Eau utilisée : eau non potable

Consommation en eau :

Faible consommation. Utilisation des eaux de ruissellement.

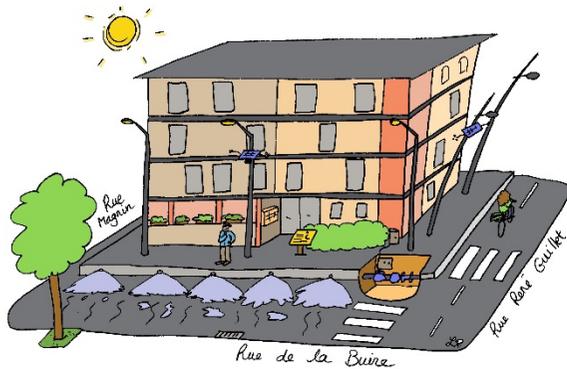
Gain de T°C

En période de forte chaleur :

- gain de 15 à 20°C au niveau du sol
- gain de 2 à 3°C pour la température ressentie (UTCI)

En hiver : l'eau retenue dans les pavés se maintient à une température de 10 à 15 °C, ce qui permet de lutter contre l'enneigement.

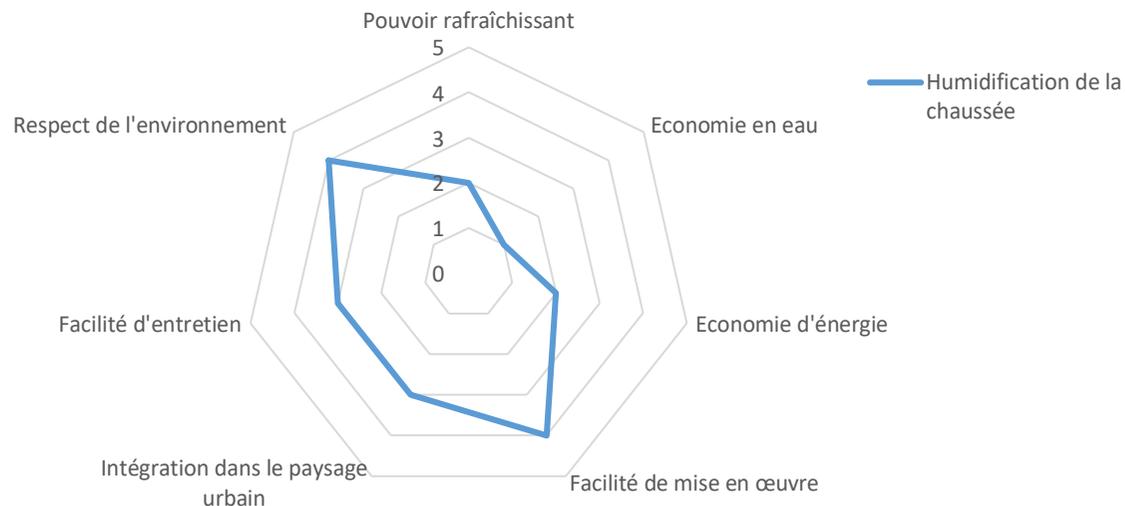
L'HUMIDIFICATION DE LA CHAUSSEE



Expérimentation de l'arrosage des rues (technique destinée aux chaussées carrossables) menée à Lyon entre 2011 et 2014

Le principe

Système automatisé d'arrosage de la chaussée lors des fortes chaleurs. L'arrosage est déclenché à partir des enregistrements des capteurs. Des buses d'arrosage sont installées tous les deux mètres au niveau du trottoir, et relié à une chambre de commande avec débitmètre et vanne à débit variable, le tout raccordé au circuit d'eau potable. Cependant, les premiers retours d'expérience de la ville de Lyon sur ce procédé, montrent que l'impact sur la température reste peu important. De même, l'intensité du refroidissement est fortement dépendante de la morphologie du quartier et des types de sols du quartier et de la quantité de surfaces d'arrosage disponibles.



L'HUMIDIFICATION DE LA CHAUSSEE EN QUELQUES CHIFFRES

Eau utilisée : eau potable ou non

Consommation en eau :

L'utilisation de 2,2 à 3 mm d'eau/jour pour arroser 2 550 ha de surfaces permettrait de réduire la température nocturne jusqu'à 1°C contre quelques dixièmes de degrés pour la température moyenne.

Gain de T°C

- gain de 5°C au niveau du sol
- gain de 0.5°C à hauteur d'homme

(Source : Luce Ponsar, chargée de projet Plan climat du Grand Lyon)

L'été, le bitume stocke la chaleur et devient plus chaud que l'air qu'il finit par réchauffer.

Avec ce système d'arrosage, on prévient la surchauffe du bitume pour limiter le phénomène d'ICU.

Ce principe pourrait être étendu aux entrées des voies SNCF. Ces lieux étant généralement des ICU, l'arrosage du ballast pourrait permettre d'abaisser la température de nos gares.

LA FLAQUE CLIMATIQUE à Paris

Conçu par Isabelle Daëron, Aéro-Seine est une bouche de rafraîchissement qui, permet en période de forte chaleur de contribuer à rafraîchir l'air ambiant grâce à un dispositif par débordement favorisant le contact entre l'eau et l'air.

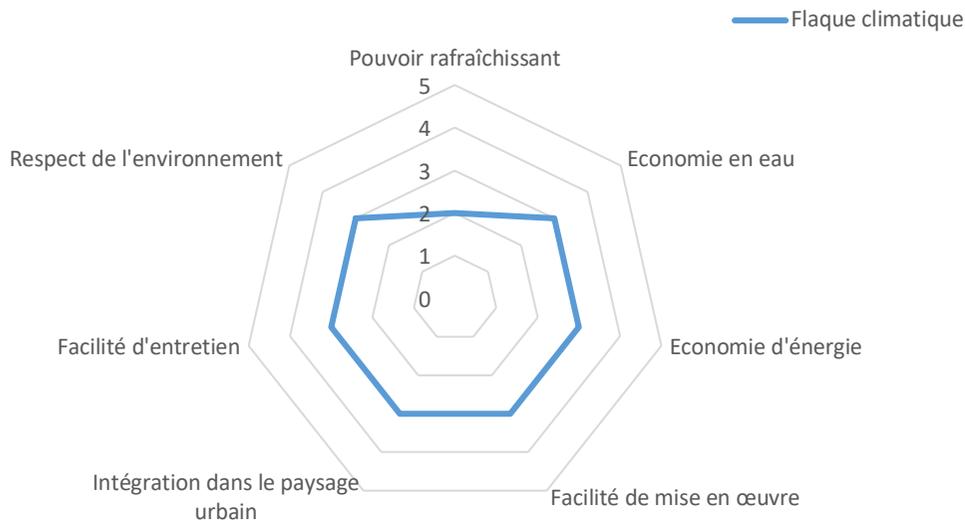
Principe

Aéro-seine est un dispositif de rafraîchissement urbain alimenté par le réseau d'eau non potable de la Ville de Paris qui extrait l'eau du Canal de l'Ourcq et de la Seine depuis la fin du XIXe siècle. Ce réseau représente ainsi une ressource importante à valoriser pour accompagner l'adaptation climatique de la capitale, une eau moins chère et moins carbonée.

Le dispositif fonctionne par débordement grâce à des électrovannes sur une plage horaire définie. Une fois activé, une fine couche d'eau s'écoule et imprègne un revêtement poreux permettant d'augmenter la surface de contact entre l'eau et l'air pour ainsi rafraîchir l'air ambiant.



La Flaque Climatique à Paris, conçue par Isabelle Daëron, designer, et Ogi, bureau d'études





- 8 -

**« D' autres solutions de rafraichissement
en ville»**

LA GESTION DES EAUX PLUVIALES EN VILLE



Les bassins de rétention permettent de stocker l'eau de pluie pour éviter les inondations. En ville, ces bassins peuvent être des bassins, étangs, ou des espaces verts pouvant se charger en eau occasionnellement, lors de fortes précipitations. Les espaces polyvalents sont intéressants car ils peuvent servir de surfaces enherbées, de prairies au sein d'un parc, puis de bassins de stockage ou d'infiltration des eaux lors de fortes pluies, créant ainsi des parcs inondables. Ce type de parc peut être conçu dans le but de recevoir les eaux de crue ou les eaux de ruissellement.

Les noues et fossés. Une noue est un large fossé, peu profond, aux pentes douces. Cet aménagement permet de récupérer les eaux de pluie, de les stocker temporairement et de les laisser s'infiltrer progressivement en assurant une épuration des polluants potentiels (hydrocarbures issus du ruissellement des parkings et voiries, par exemple) ou encore de les conduire lentement jusqu'à un réseau où elles seront traitées. L'eau y est généralement temporaire, mais des surcreusements peuvent permettre de conserver des zones en eau, favorables à la biodiversité. La végétation, plantée ou spontanée, participe à conserver la capacité d'infiltration du milieu grâce aux rhizomes et aux racines qui aèrent le sol.



SOLUTION COMBINÉE EN QUELQUES CHIFFRES

Eau utilisée : eau pluviale, eau de ruissellement)

Gain de T°C : Campagne de mesure de sept. 2018

Avant la prochaine campagne de mesures programmée à l'été 2019, les premiers résultats ont permis de constater une baisse ressentie de 5 à 6 °C sur la zone d'expérimentation.

Le principe

Récupération des eaux pluviales des toitures qui sont collectées dans ces réservoirs, puis filtrées par les substrats et plantations pour retrouver le réseau d'eau. Solution combinant la dépollution des eaux de ruissellement avec le rafraîchissement de la zone, par évaporation de l'eau, à proximité du bassin.

Entretien

Les noues, fossés et bassins nécessitent :

- Un curage tous les 5 à 10 ans, selon le degré d'envasement
- Un nettoyage des feuilles et des déchets à l'automne
- Un fauchage des zones enherbées 1 à 2 fois/an

LA PLAGE URBAINE DE BRISBANE



Troisième ville du pays, Brisbane offre une véritable oasis de fraîcheur à quelques minutes du centre-ville. C'est un lagon artificiel où l'on peut se baigner et se prélasser sur le sable, à l'ombre des palmiers ! La vue sur les buildings donne un petit côté surréaliste et hors du temps !

LA SEINE BAIGNABLE EN 2024



Aménagement d'une zone baignable au Bassin de la Villette (Quai de Loir - Paris Plage - été 2018)



Projet d'aménagement d'un espace de baignade du Lac Daumesnil (Paris - été 2019)

En vue des JO 2024, la ville de Paris souhaite assainir la Seine afin de pouvoir organiser des épreuves dans le fleuve. Actuellement neuf sites de baignade sont à l'étude en plein Paris.

L'ensemble de ces chantiers pourrait coûter des centaines de millions d'euros. Mais au-delà des Jeux olympiques, ce projet de Seine baignable devrait surtout bénéficier aux Parisiens.

Déjà, une première étape a été franchie à l'été 2018 avec l'ouverture au public de piscines naturelles sur le bassin de la Villette. En 2019, ce sera au tour du lac Daumesnil de s'ouvrir à la baignade.

Autant de futurs sites qui, in fine pourront profiter aux parisiens lors des fortes chaleurs estivales.

DES RAFRAICHISSEURS D'AIR

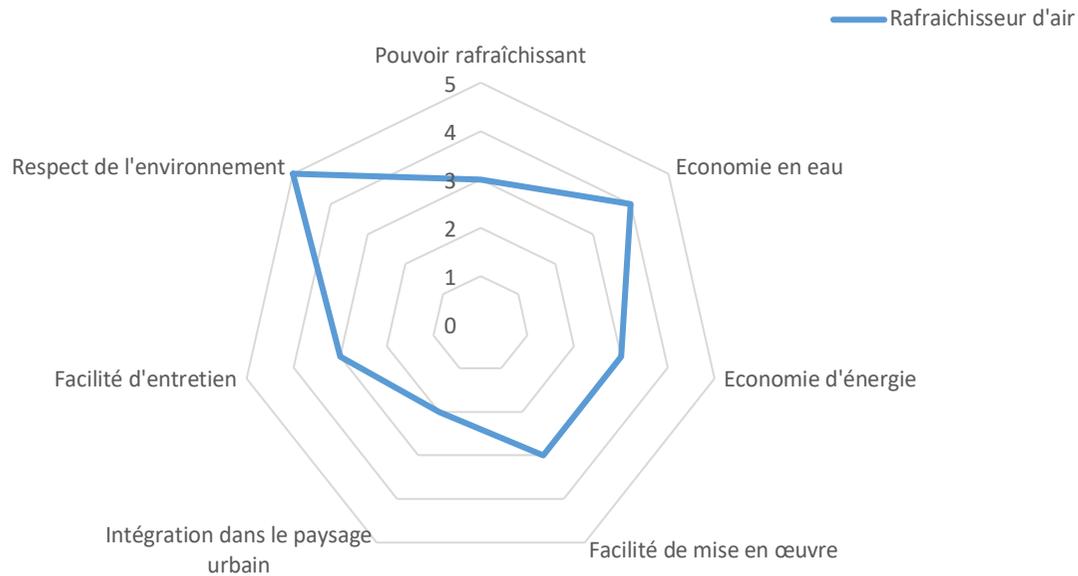
Les rafraîchisseurs d'air sont des appareils de rafraîchissement par évaporation d'eau. Les rafraîchisseurs adiabatiques permettent, par le biais de panneaux évaporatifs sur lesquels circule de l'eau, de rafraîchir les locaux industriels et professionnels.

Principe

Les rafraîchisseurs d'air adiabatique utilisent le principe naturel et écologique de l'évaporation de l'eau pour abaisser la température de l'air et optimiser l'hygrométrie à l'intérieur d'un bâtiment. Une pompe à eau humidifie en permanence les panneaux alvéolés en cellulose permettant ainsi à l'air aspiré à l'extérieur d'être restitué rafraîchi dans les locaux.



Système d'un rafraichisseur d'air



RAFRAICHISSEUR D'AIR EN QUELQUES CHIFFRES

Eau utilisée : Eau réutilisable en circuit court

Consommation énergétique : Système écologique : faible consommation d'énergie, pas de gaz réfrigérant

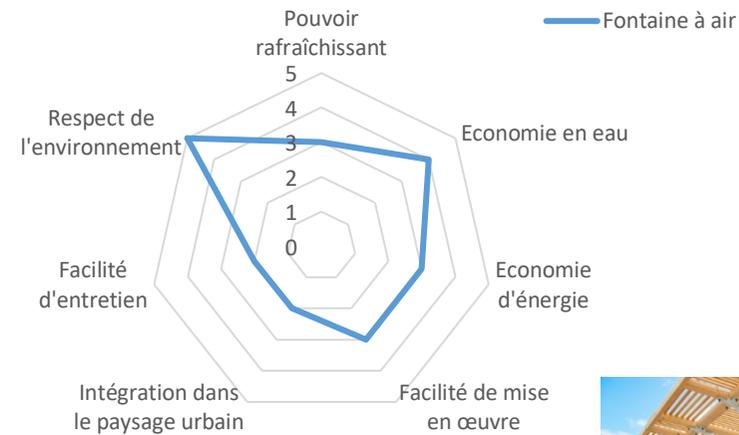
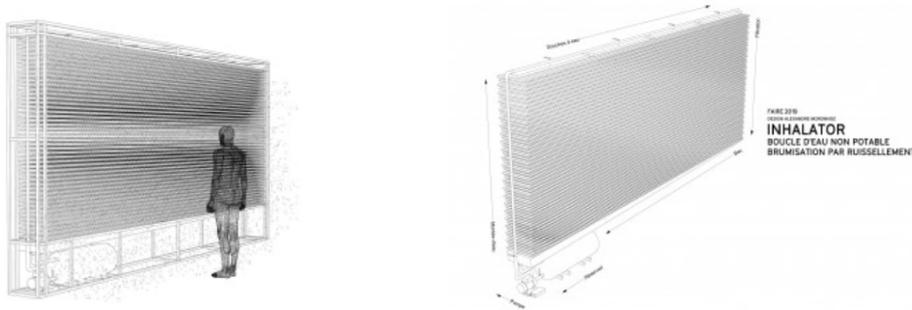
FONTAINE A AIR OU PAROI CLIMATIQUE

Cet inhalateur est un objet urbain partagé, d'inhalation et de rafraîchissement : une fontaine à air ou paroi climatique

Principe

En produisant une brume légère par ruissellement, cet « objet-paroi » permet de modifier ponctuellement le climat d'un espace urbain pour le rafraîchir et proposer un espace d'inhalation d'air pouvant être légèrement iodée pour réamorcer une respiration apaisée. Ce projet low-tech s'inspire des bâtiments de graduation, ou inhalatorium, du 17 et 18ème siècle : architectures ouvertes aux vents filtrant l'eau salée par gravitation à travers des fagots d'épines empilés pour augmenter la salinité de l'eau jusqu'à la production de sel.

Le principe d'une fontaine en circuit fermé avec pompe est utilisé pour faire remonter l'eau qui ruisselle entre les tasseaux de bois formant la trame de filtration dans laquelle peut s'engouffrer la ventilation naturelle d'un site pour dénéger une léaère brume.



PROJET « ILOT FRAIS »

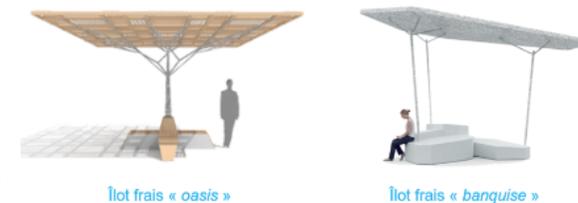
L'îlot frais est un espace de fraîcheur en plein cœur de la ville. Éphémère et réutilisable, cette installation a été conçue pour les vagues de fortes chaleurs. Elle propose une sensation de fraîcheur grâce à une canopée apportant de l'ombre et à une assise rafraîchie grâce à un raccordement au réseau de froid existant dans la ville de Paris.

Principe

Son système de refroidissement innovant en forme d'arbre, s'inspire du biomimétisme. Utilisant l'inertie du béton, qui constitue le socle du banc, et l'eau glacée du réseau, c'est un système de rafraîchissement efficace et sans consommation d'eau qui est mis à disposition du grand public.

De l'eau glacée est dérivée du réseau de froid géré par Climespace, circule dans le dispositif avant d'être réintégrée dans le réseau de froid, sans aucune consommation d'eau.

Son fonctionnement automatique sollicite le réseau de froid quand la température de l'air dépasse 28°C. L'îlot procure alors une sensation de fraîcheur au niveau de l'assise avec une température locale ressentie inférieure d'environ 5°C par rapport à la température ambiante. Modulaire, montable et démontable en 24h et associé à une connexion simplifiée au réseau de froid, le dispositif est conçu pour s'intégrer facilement à tous les espaces de la ville.



Projet Engie sur les « îlots frais »



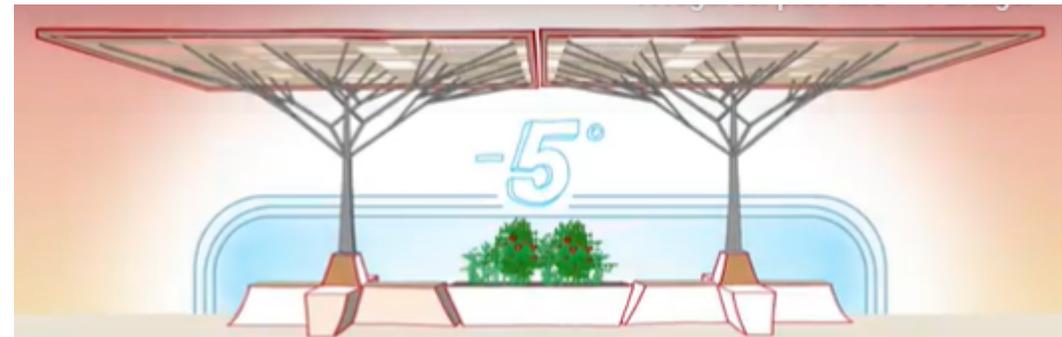
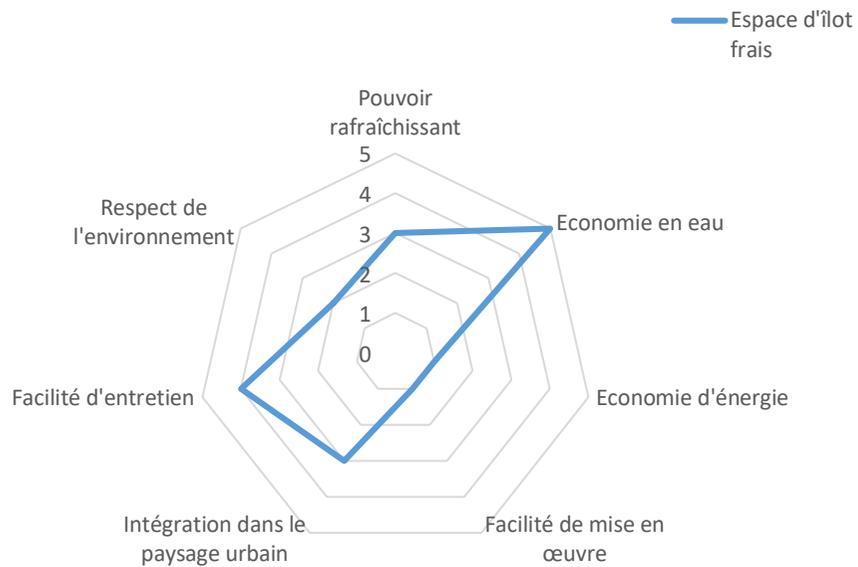
ILOTS FRAIS EN QUELQUES CHIFFRES

Eau utilisée : Réseaux froids de la ville de Paris

Facilité d'installation : Système d'îlot éphémère, mobile

Gain de T°C : une différence de 5 degrés entre l'extérieur et sous l'îlot. Ces données ont aussi alimenté des bases de données sur les températures, humidité, rayonnement sur des sites précis de Paris.

Système d'alimentation : le réseau de froid recharge des batteries la nuit grâce à une turbine. Ces batteries permettent d'alimenter les ventilateurs pendant la journée. Pour la banquette les batteries sont rechargées par des panneaux photovoltaïques placés sur le toit de l'îlot.



Bibliographie

<https://www.18h39.fr/articles/canicule-deux-solutions-ingenieuses-pour-rafraichir-la-ville.html>

<http://www.faireparis.com/fr/projets/faire-2018/aero-seine-1340.html>

<https://www.todayonline.com/singapore/cool-project-underway-singapore-develop-road-map-reduce-urban-warming>

<http://www.popsu.archi.fr/popsu-europe/themes/ilots-de-chaleur-urbains-strategies-des-villes-face-aux-changements-climatiques>

<http://www.leparisien.fr/paris-75/paris-venez-tester-l-arbre-de-pluie-11-07-2018-7816368.php>

<http://www.faireparis.com/fr/projets/faire-2018/aero-seine-1340.html>

<https://www.francebleu.fr/infos/societe/un-dispositif-contre-les-bouches-incendie-transformer-en-geysers-1467915517>

<https://www.cnetfrance.fr/news/canicule-les-technos-futuristes-pour-refroidir-les-villes-39886743.htm>

https://conseils.xpair.com/actualite_experts/systemes-rafraichissement-energie-renouvelable.htm

<https://www.lci.fr/population/street-pooling-ouvrir-les-bouches-a-incendie-une-pratique-vieille-d-un-siecle-illegale-et-pas-sans-risque-2125207.html>

<https://www.climespace.fr/le-froid-urbain/de-la-production-a-la-livraison>

<http://www.babcock-wanson.fr/rafraichisseur-adiabatique.aspx>

<https://www.alamyimages.fr/photo-image-ouvrez-fontaine-avec-buse-de-pulverisation-d-eau-tir-bouchon-joint-d-eau-dans-la-rue-par-une-chaude-nuit-d-ete-113413217.html>

2

METHODOLOGIE DE SELECTION



Méthodologie de détermination de zones prioritaires pour y déployer des solutions de lutte contre la chaleur en ville

Bordeaux



DONNEES REQUISES

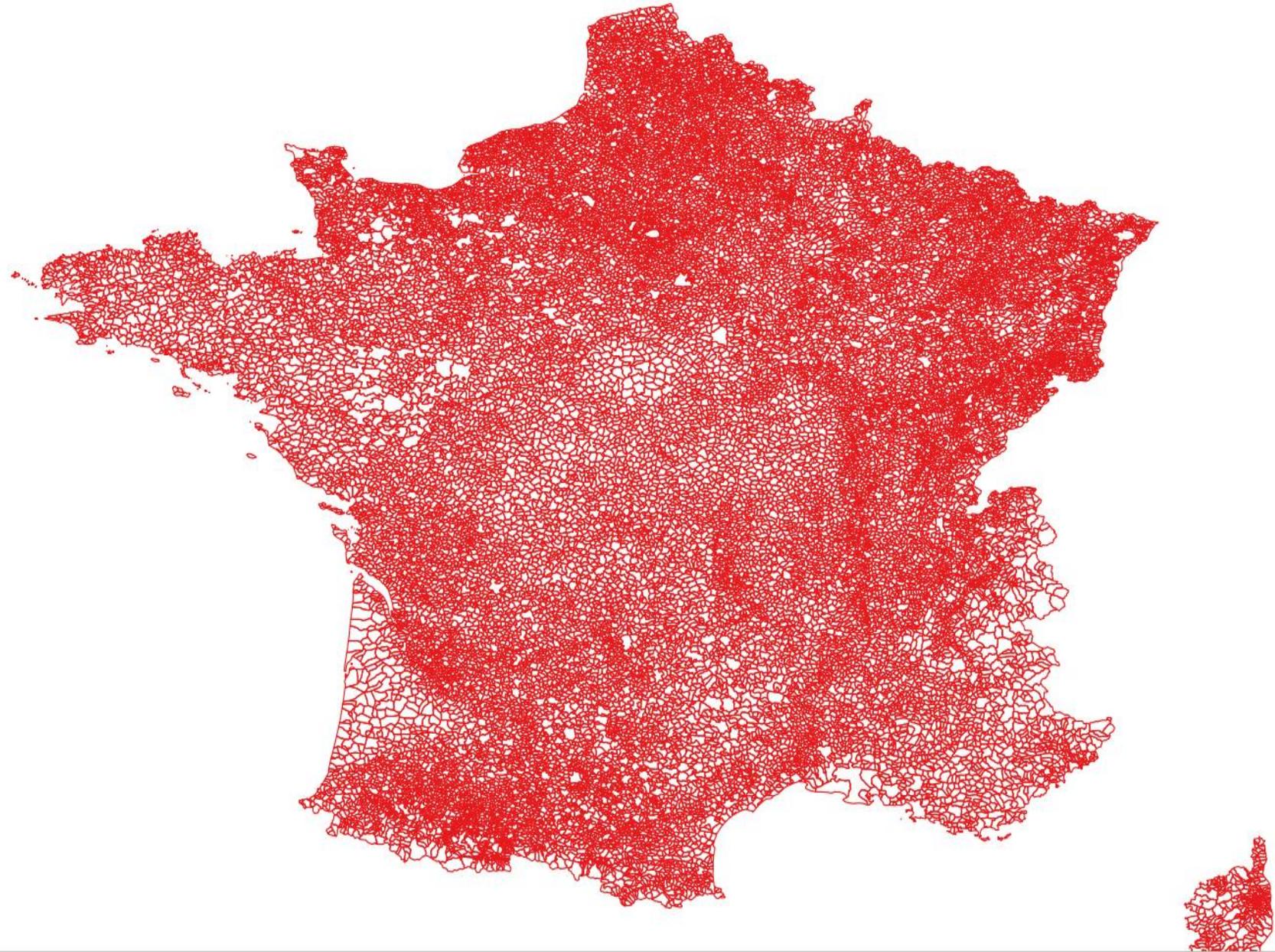
- Carte des communes (*data.gouv.fr*) OU données locales (ex. opendata Bordeaux Métropole)
- Cartographie des températures au sol (*E6-Nepsen*)
- Données carroyées (*données carroyées INSEE, BD Filosofi 200m*)
- Réseau d'eau potable (*données du délégataire*)

DONNEES OPTIONNELLES

- Réseau hydrographique (ex. *data.gouv.fr, BD Carthage*)
 - Parcs et jardins du territoire ciblé (*cf BD locales*)
- Autres (*voir dans les BD locales pour enrichir au besoin la cartographie*)

Etape 1.

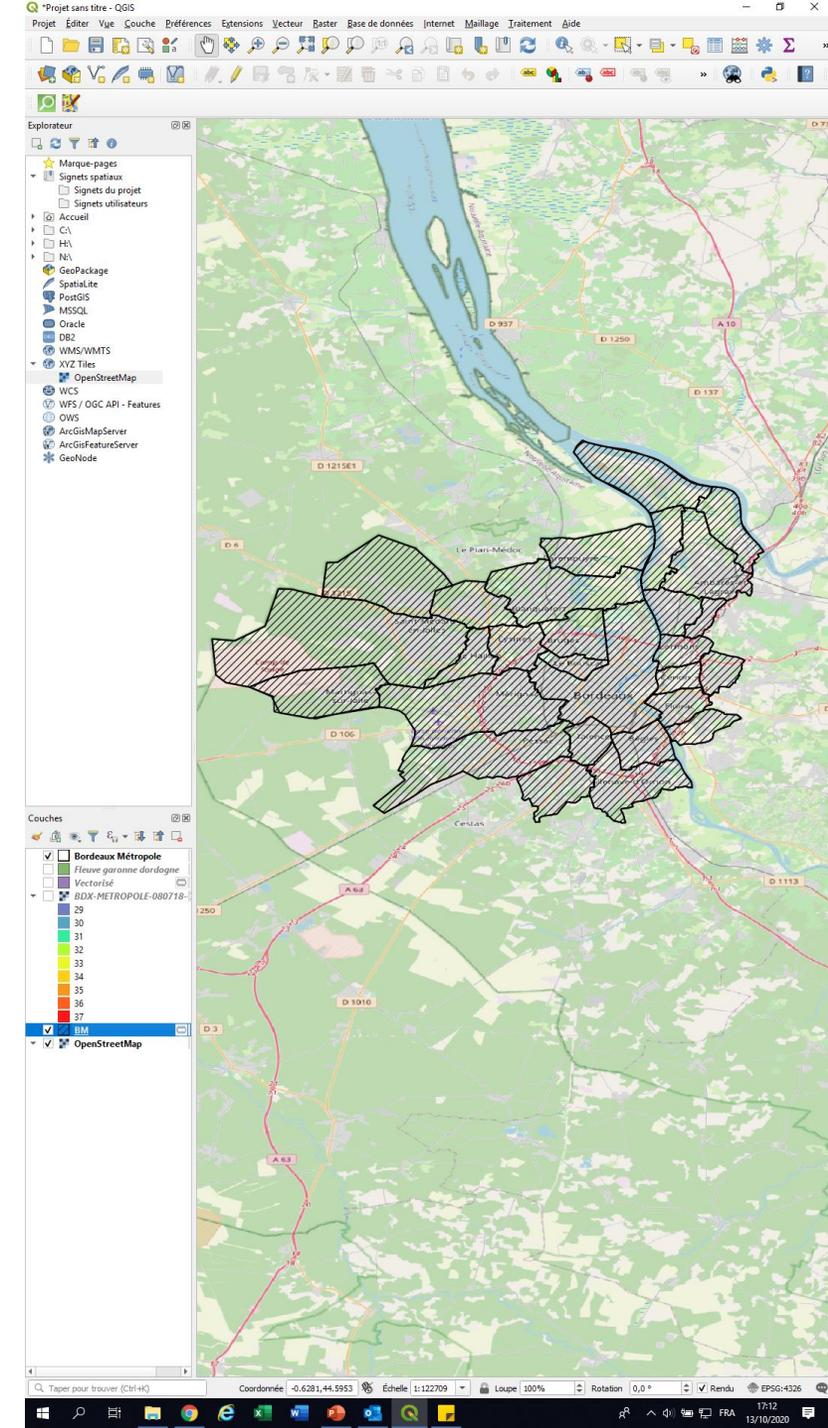
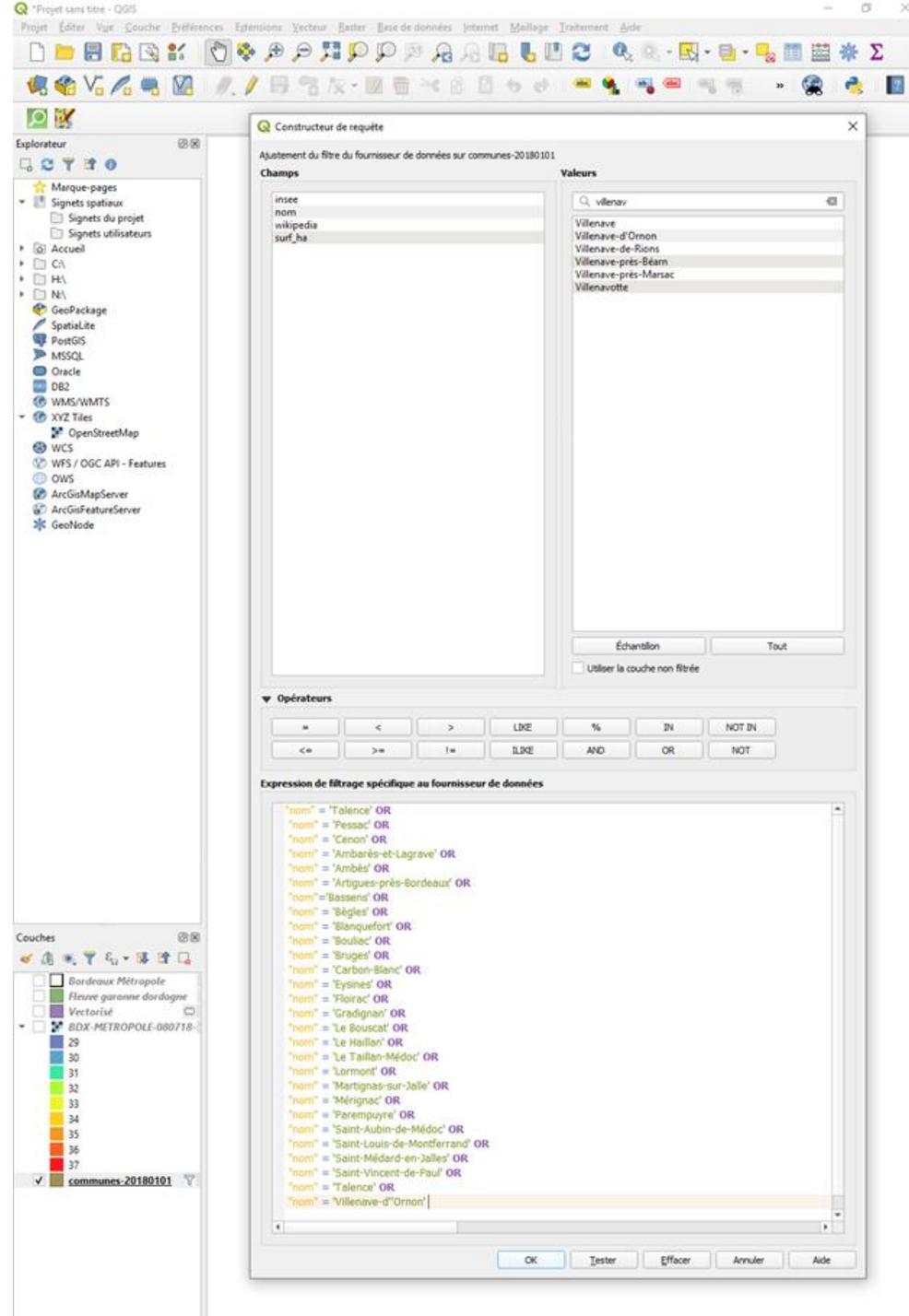
Chargement de la carte des communes



Etape 2.

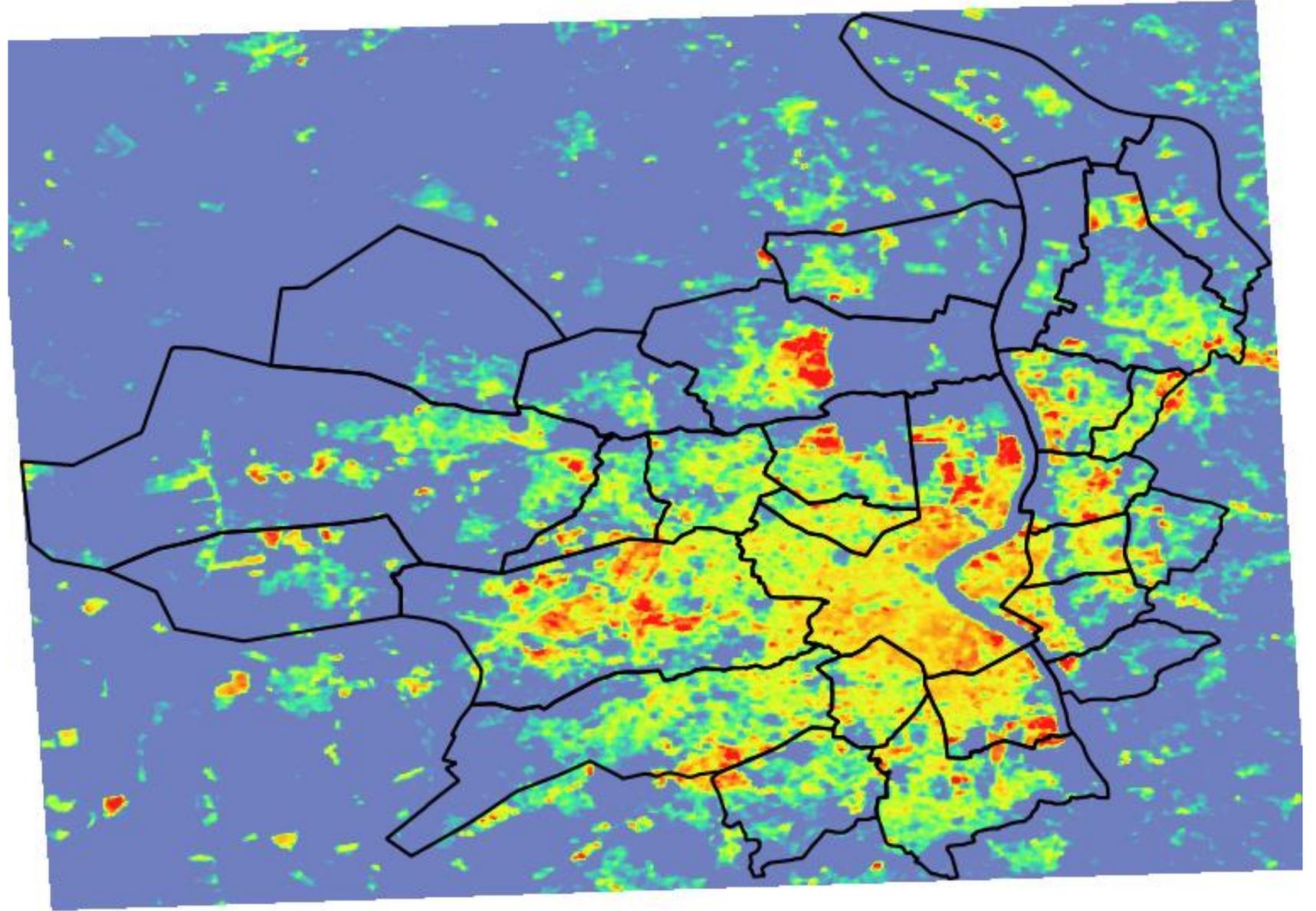
Sélection de la carte désirée

- *Filterer la couche*
- *construire la requête*



Etape 3.

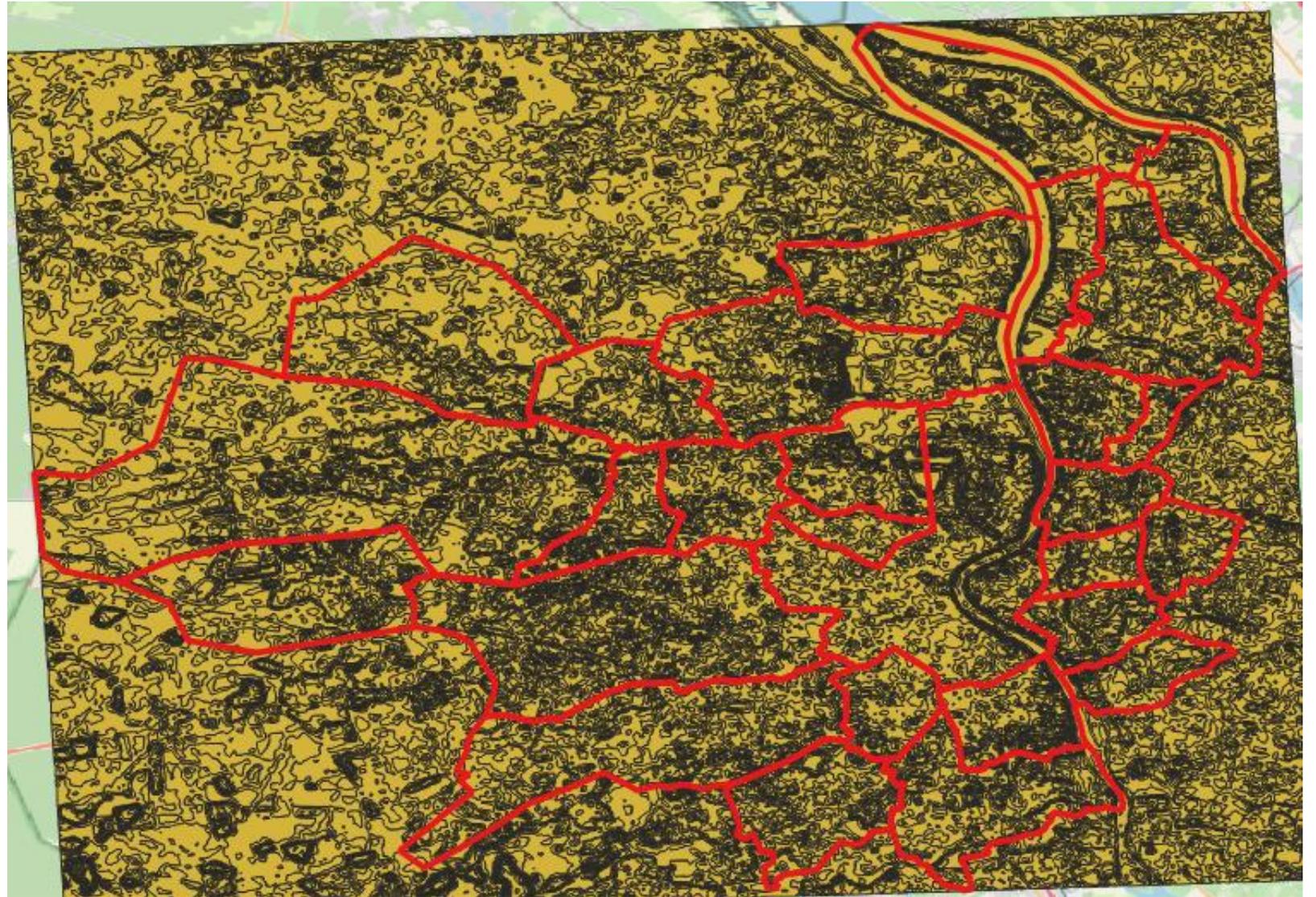
Chargement du raster des
T°C de surface



Etape 4.

Vectorisation du raster des
T°C de surface

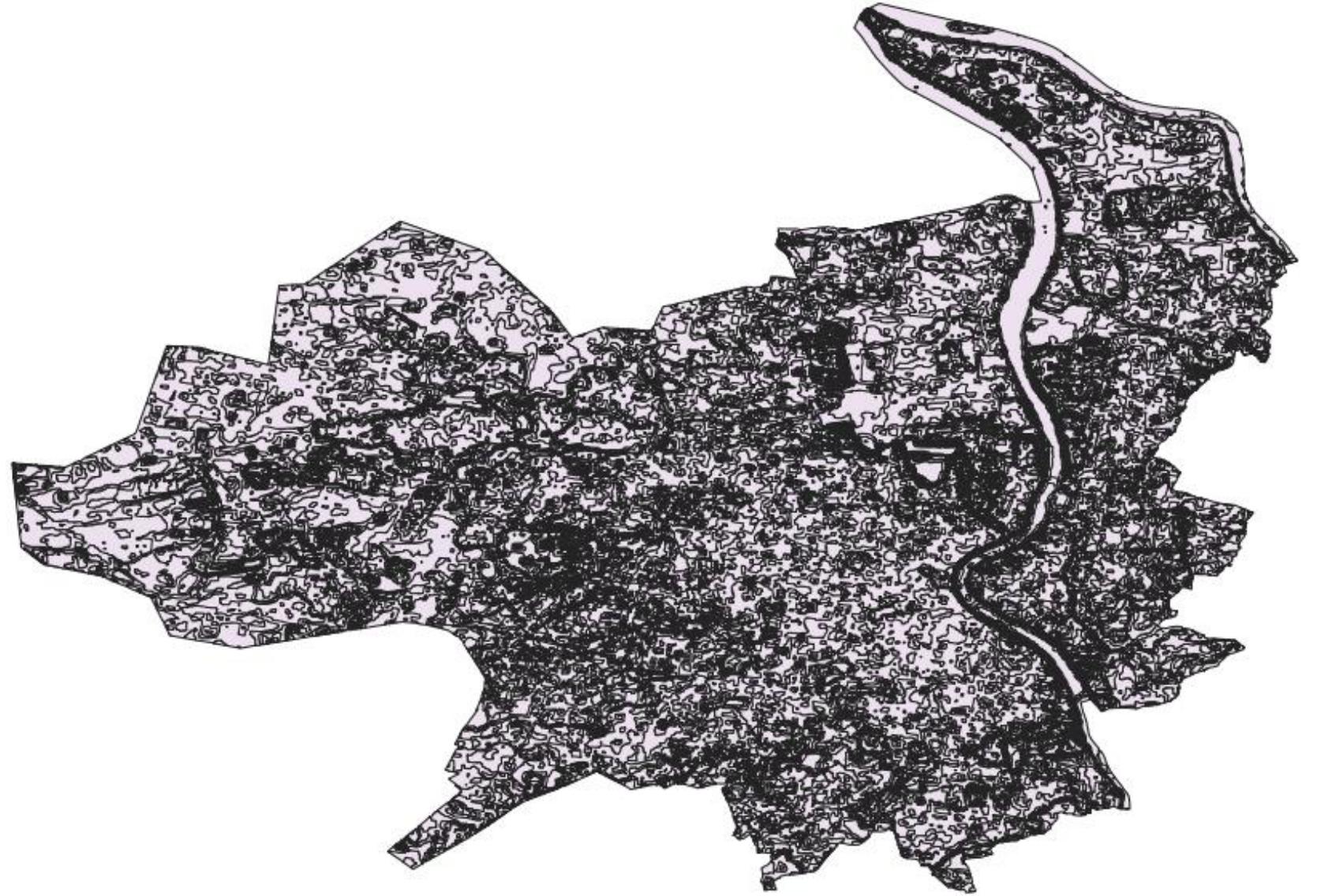
- *Raster -> conversion -> polygoniser*
- *Exportation comme couche définitive
geopackage*



Etape 5.

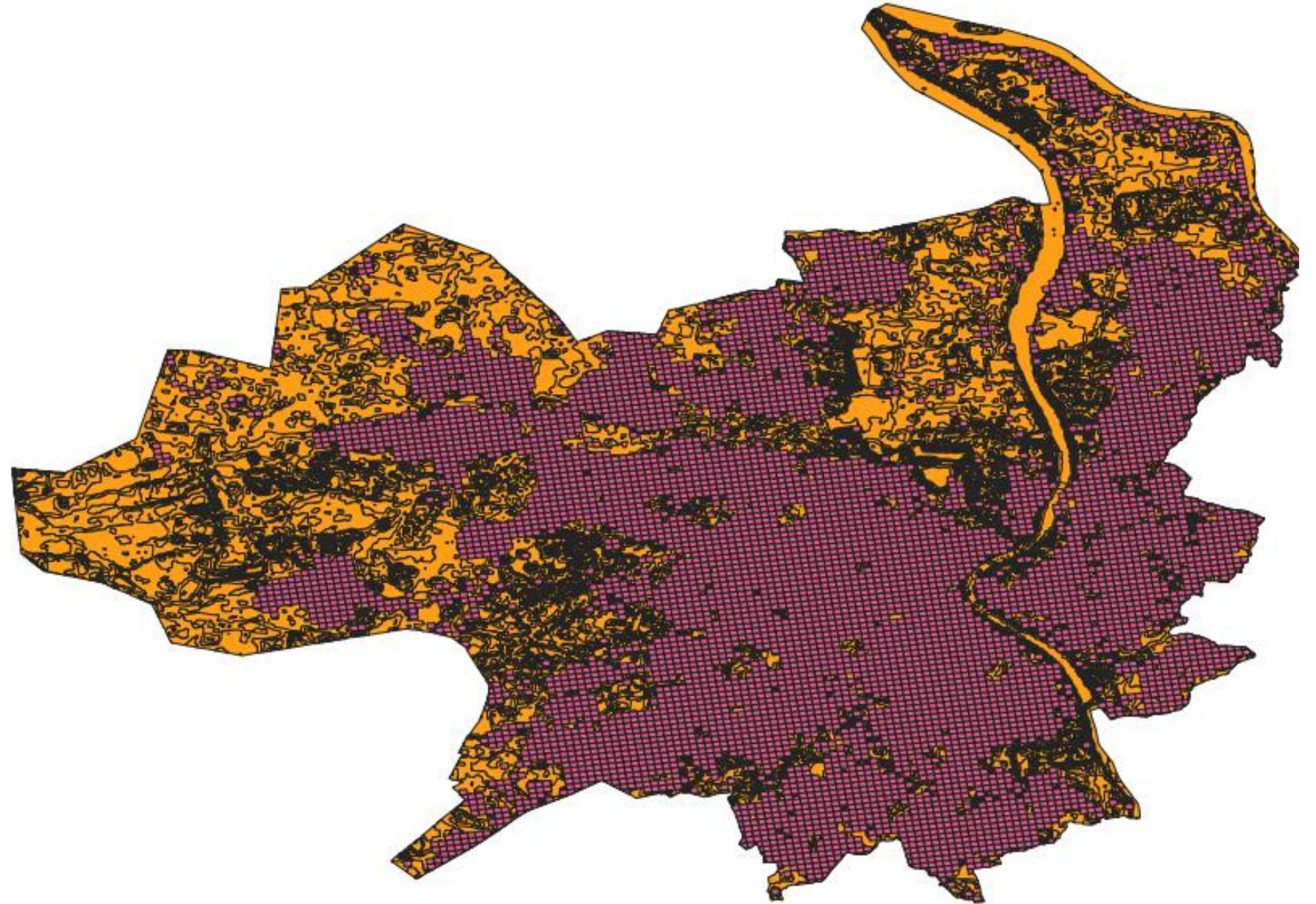
redécoupage du vecteur de température par le vecteur BM, à l'aide de l'outil QGIS SAGA

- -> *vector polygon tools -> Polygon clipping)*



Etape 6.

Chargement de la base de données carroyées INSEE FILOSOFI (*métropole, carreaux de 200 m de coté*), puis découpage de ce vecteur à l'aide du vecteur BM (*exportation en tant que couche définitive geopackage*)



Etape 7.

Redecoupage du vecteur des T°C de surface par le vecteur des zones habitées à l'aide de l'outil QGIS SAGA

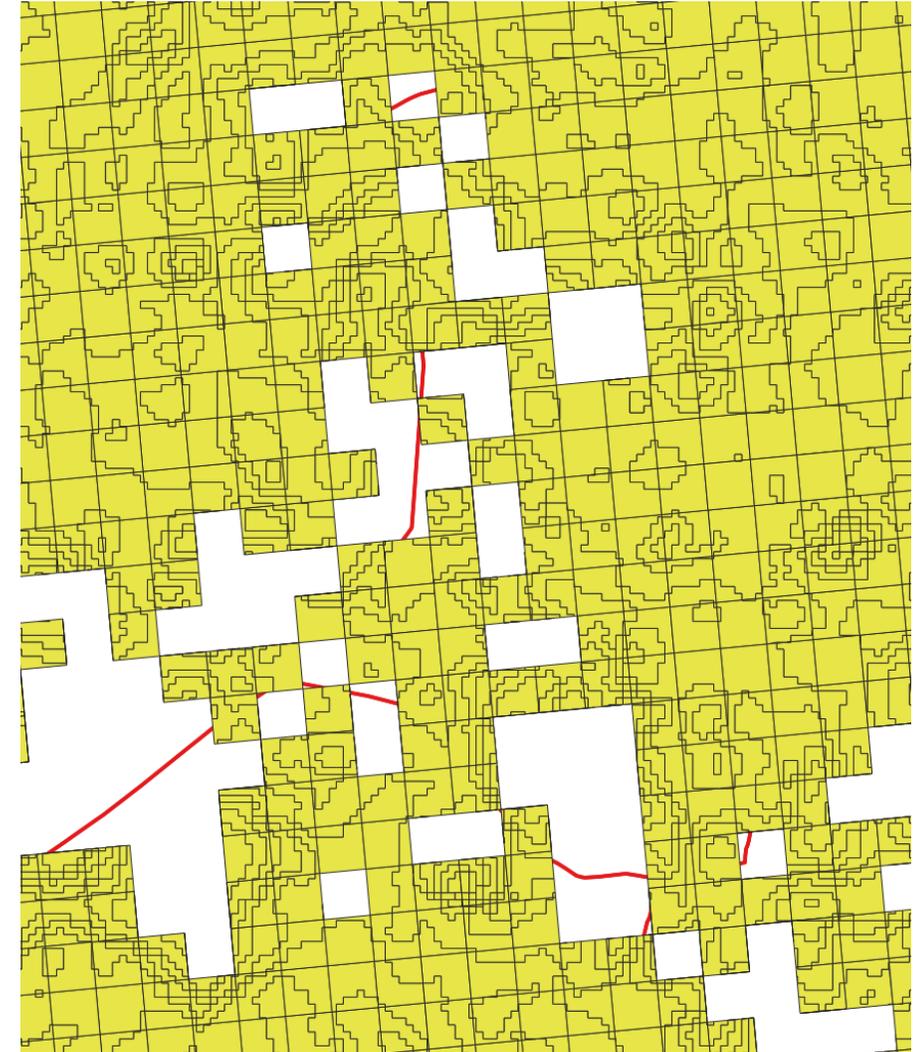
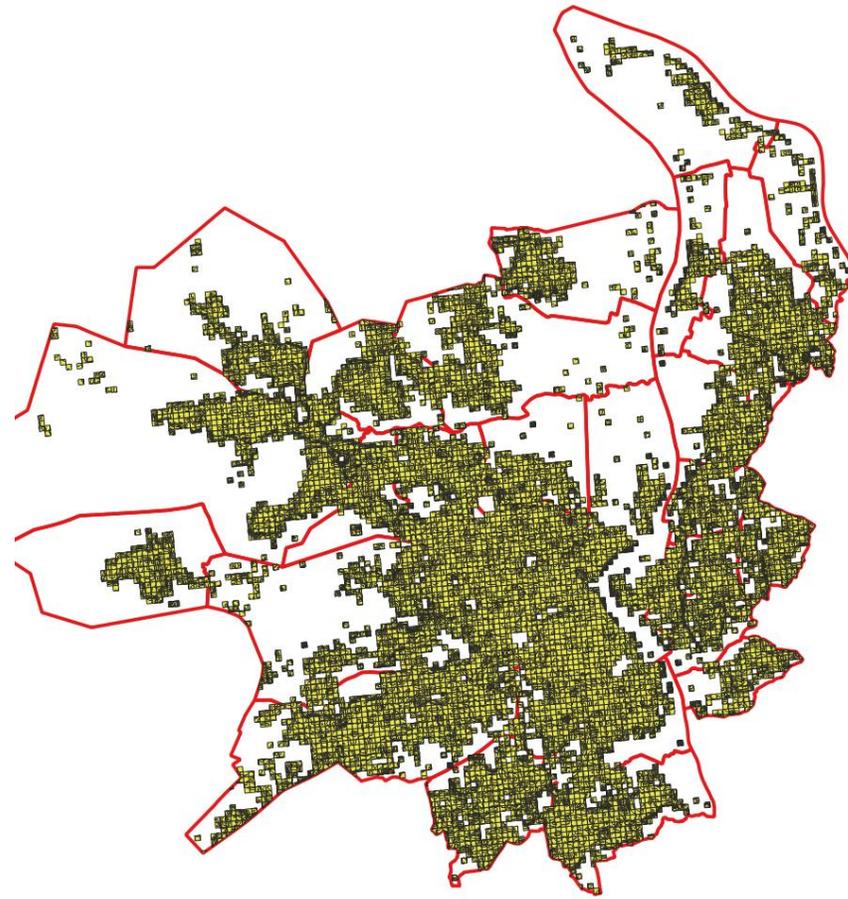
- -> *vector polygon tools -> Polygon clipping*)



Etape 8.

Union des 2 couches de polygones sous la forme d'une couche de synthèse à l'aide de l'outil QGIS SAGA

- -> *vector polygon tools* -> *Polygon union*

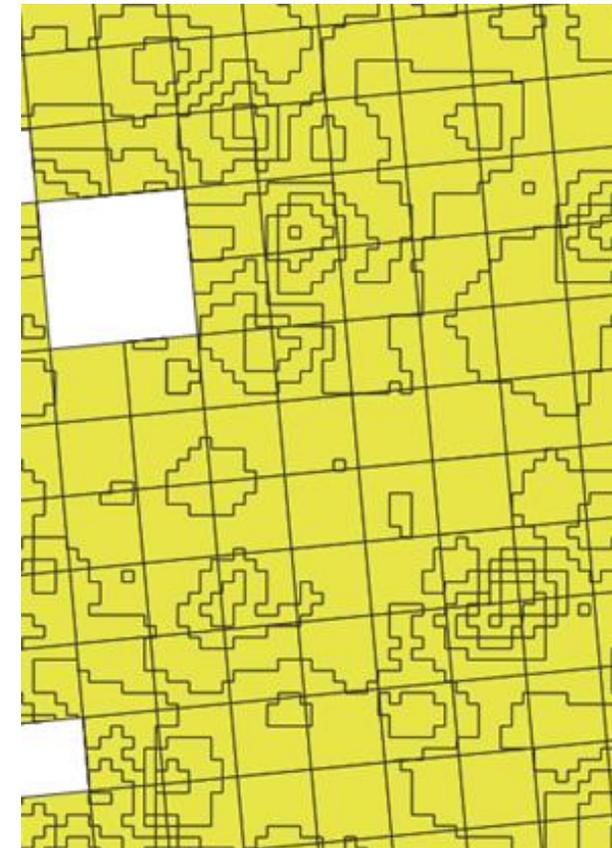


Synthèse intermédiaire

Chacun des polygones générés possède :

- Une T°C de surface propre et homogène sur l'ensemble du polygone
- Une densité moyenne de population homogène sur l'ensemble du polygone
- Des sous ensemble de densité homogènes pour l'ensemble du polygone (*ex. Nombre de ménages pauvres, part des enfants en bas âge, part des personnes âgées, etc.*)

Nous avons ainsi des données sur la densité de population peuplant les polygones, la typologie des habitants (catégorie sociale, âge, etc.) ainsi que le niveau de chaleur auquel ceux-ci sont exposés.



Etape 9.

dans la table d'attributs

Colonnes conservées.

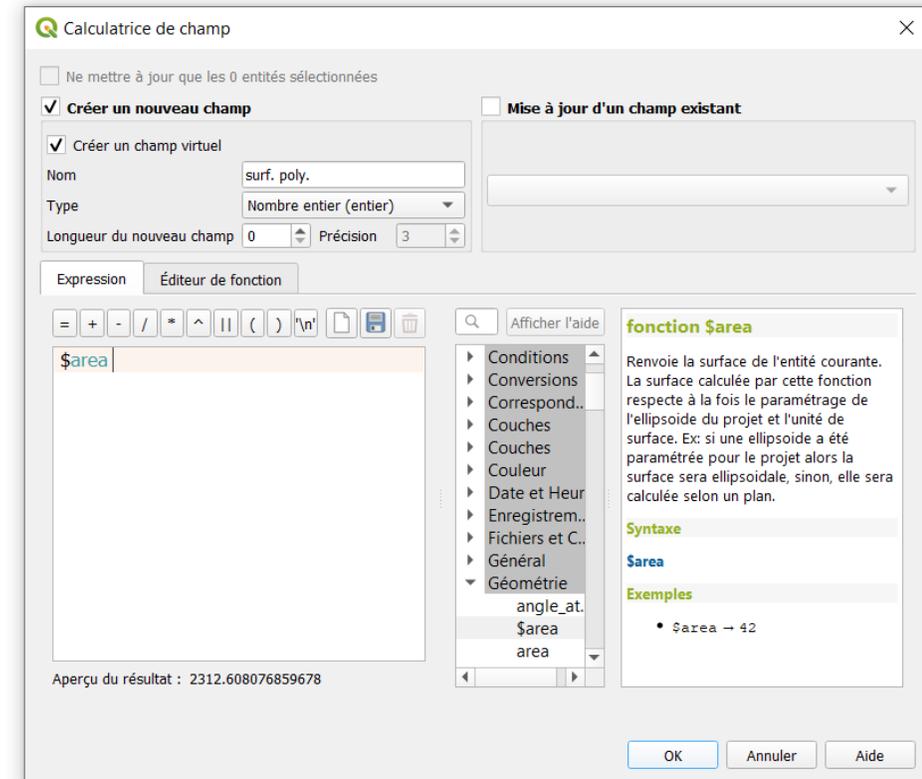
Les colonnes « Ind » (*Nombre d'individus par carreau de 200m de coté*), « Men_Pauv » (*nombre de ménages pauvres par carreau de 200m de coté*) et Ind 11_17 (*nombre d'adolescents par carreau de 200m de coté*) sont conservés, ainsi que la colonne DN (*températures de surface*)

Colonne ajoutée

Une colonne « surf poly » est ajoutée via la calculatrice de champ pour mesurer la surface exacte de chacun des polygones générés à l'issue de l'étape 7.

union 2 : Total des entités: 11478, filtrées: 11478, sélectionnées: 0

	DN	Ind	Men_pauv	Ind_11_17
1	41	4	0,3	0,3
2	36	4	0,3	0,3
3	38	4	0,3	0,3
4	35	4	0,3	0,3
5	34	4	0,3	0,3
6	39	3	0,1	0,3
7	40	3	0,1	0,3
8	36	3	0,1	0,3
9	40	4	0,3	0,3
10	36	4	0,3	0,3
11	38	4	0,3	0,3
12	37	4	0,3	0,3
13	41	3	0,1	0,3
14	39	3	0,1	0,3
15	37	4	0,3	0,3
16	41	4	0,3	0,3
17	35	4	0,3	0,3
18	38	4	0,3	0,3
19	36	4	0,3	0,3
20	36	3	0,1	0,3
21	40	3	0,1	0,3
22	39	3	0,1	0,3
23	36	4	0,3	0,3
24	39	4	0,3	0,3



Nota bene. Les polygones de surface 0, considérés ici comme des artefacts, sont éliminés de la table des attributs

Etape 10.

Pour chaque polygone, et pour chacun des 3 indicateurs INSEE ciblés (X_{1-3}), la valeur de l'indicateur est recalculée par rapport à la surface vraie du polygone (On recalcule car *les valeurs initiales, provenant de la BD Filosofi, se rapportent à un carreau de 200m de coté*) -> (X'_{1-3})

$$X' = X * surf. Poly / 40000$$

union 2 :: Total des entités: 10630, filtrées: 10630, sélectionnées: 0

	DN	Ind	Men_pauv	Ind_11_17	Ind'	surf. poly.	Men_pauv'	Ind_11_17'
1	42	338,5	37	23	339	40000	37	23
2	43	662	147	42	662	40000	147	42
3	42	370,5	27	23,5	371	40000	27	24
4	0	370,5	27	23,5	371	40000	27	24
5	43	484,5	84	18,5	484	39999	84	18
6	42	313,5	59	25,5	303	38700	57	25
7	43	292,5	38	21,5	282	38545	37	21
8	41	236,5	17	13,5	227	38313	16	13
9	42	254,5	21	20,5	243	38186	20	20
10	45	4	0,2	0,3	4	37777	0	0
11	42	281	40	11,5	265	37762	38	11
12	42	301	31	28,5	282	37502	29	27
13	42	161	10	12	150	37322	9	11
14	42	357	27	33	330	36992	25	31
15	42	852,5	149	108,5	788	36973	138	100
16	42	148,5	9	5	137	36949	8	5
17	43	456	81	36	419	36767	74	33
18	42	262	33	17,5	240	36670	30	16
19	42	127	5	7	116	36513	5	6
20	42	216	22	15	197	36414	20	14
21	42	372,5	50	24	339	36397	45	22
22	42	200,5	26	18	182	36323	24	16
23	43	858	166	136,5	776	36180	150	123
24	42	280	36	18	252	36037	32	16

Etape 11.

Standardisation des valeurs des indicateurs X' et de températures de surface (DN) pour calcul d'un indice IFU standardisé*

$$DN\% = (DN - DN_{min}) / (DN_{max} - DN_{min}) * 100$$

Nota bene. Les polygones de DN 0, considérés ici comme des artefacts, sont éliminés de la table des attributs

$$X'(\%) = (X' / X'_{max}) * 100$$

* L'indice IFU standardisé traduit la pertinence de déployer, ou non, un IFU (îlot de fraîcheur urbain) au vu des 4 indicateurs retenus (cf étape 10)

DN	Ind	Men_pauv	Ind_11_17	Ind'	surf. poly.	Men_pauv'	Ind_11_17'	DN%	Ind%
43	1068	172	145	833	31204	134	113	68	100
42	852,5	149	108,5	788	36973	138	100	64	95
43	858	166	136,5	776	36180	150	123	68	93
43	662	147	42	662	40000	147	42	68	79
42	901	161	93	632	28060	113	65	64	76

Calculatrice de champ

Ne mettre à jour que les 0 entités sélectionnées

Créer un nouveau champ

Mise à jour d'un champ existant

Créer un champ virtuel

Nom: Men_pauv%

Type: Nombre entier (entier)

Longueur du nouveau champ: 0 Précision: 3

Expression: "men_pauv"/maximum("Men_pauv")*100

Aperçu du résultat : 0

OK Annuler Aide

84	57	64	74
77	68	64	64
81	18	68	62
83	68	64	58
84	18	68	58
75	51	68	56
76	40	68	55
78	57	64	52
74	33	68	50
71	29	64	49
69	49	68	46
48	16	64	45
49	20	68	45
74	29	64	45
27	24	64	45
45	32	68	44
42	48	64	43
58	41	64	43

Etape 12.

Calcul de l'indice IFU

Une note globale est calculée, en pondérant les 4 indicateurs retenus de la façon suivante :

- Température de surface, relatif (%) : 0.5
- Nombre d'individus sur le polygone, relatif (%) : 0.5

$$\text{Indice IFU} = 0.5 * DN(\%) + 0.5 * Ind(\%)$$

(l'indice IFU oscille entre 0 et 100, plus il est élevé, plus le polygone est pertinent pour y déployer une solution IFU)

Création d'une couche de style spécifique de la note IFU

Propriétés de la couche - Bordeaux final | Symbologie

Gradué

Valeur: 123 IFU index

Symbole: Gradué

Format de légende: %1 - %2

PaLETTE de couleur: [Color gradient from yellow to black]

Symbole	Valeurs	Légende
<input checked="" type="checkbox"/>	0,000 - 8,200	0 - 8,2
<input checked="" type="checkbox"/>	8,200 - 16,400	8,2 - 16,4
<input checked="" type="checkbox"/>	16,400 - 24,600	16,4 - 24,6
<input checked="" type="checkbox"/>	24,600 - 32,800	24,6 - 32,8
<input checked="" type="checkbox"/>	32,800 - 41,000	32,8 - 41
<input checked="" type="checkbox"/>	41,000 - 49,200	41 - 49,2
<input checked="" type="checkbox"/>	49,200 - 57,400	49,2 - 57,4
<input checked="" type="checkbox"/>	57,400 - 65,600	57,4 - 65,6
<input checked="" type="checkbox"/>	65,600 - 73,800	65,6 - 73,8
<input checked="" type="checkbox"/>	73,800 - 82,000	73,8 - 82

Mode: Intervalle égal

Classes: 10

Classification symétrique

Classer [] Supprimer Tout []

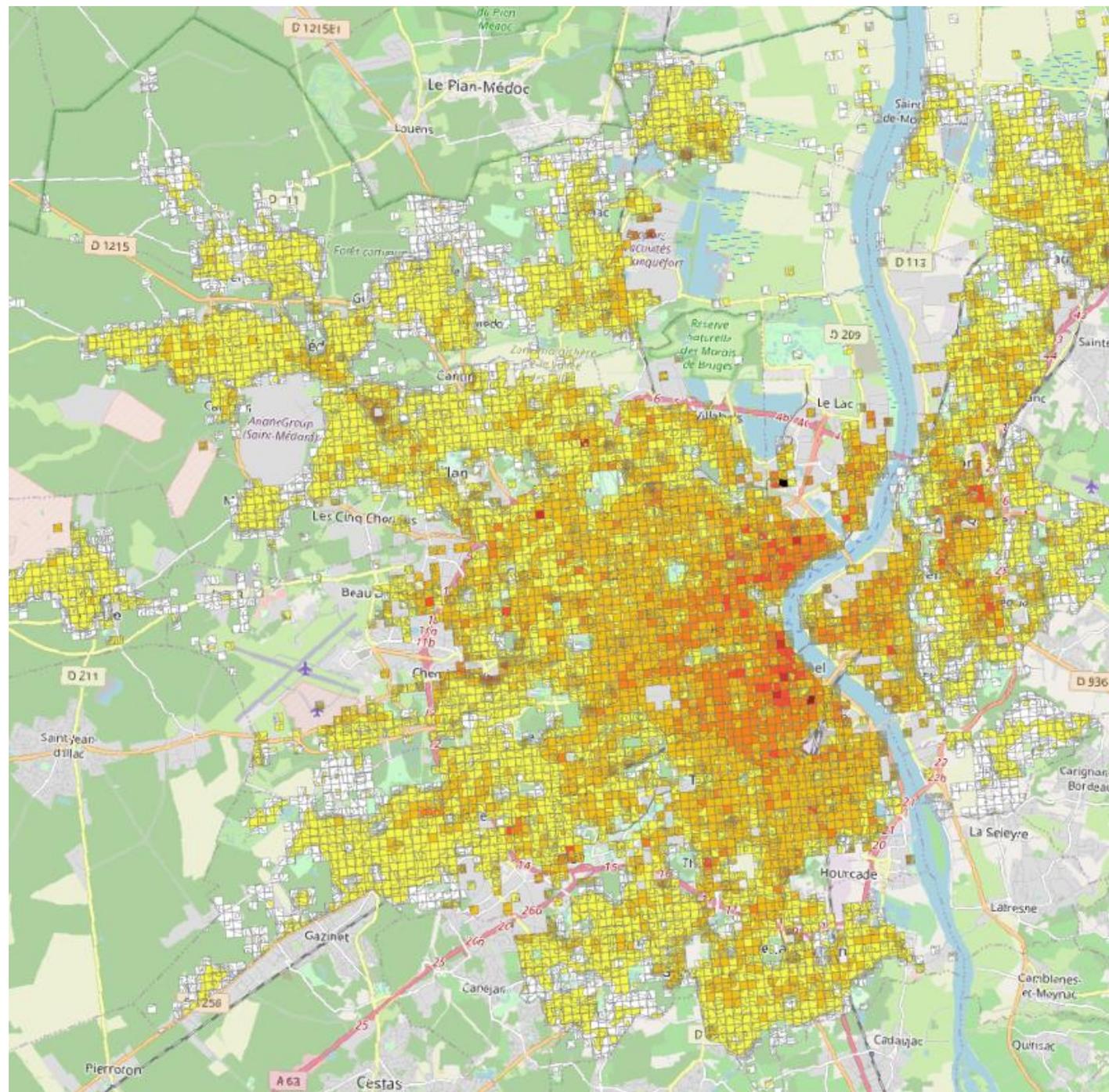
Lier les limites de classe

Rendu de couche

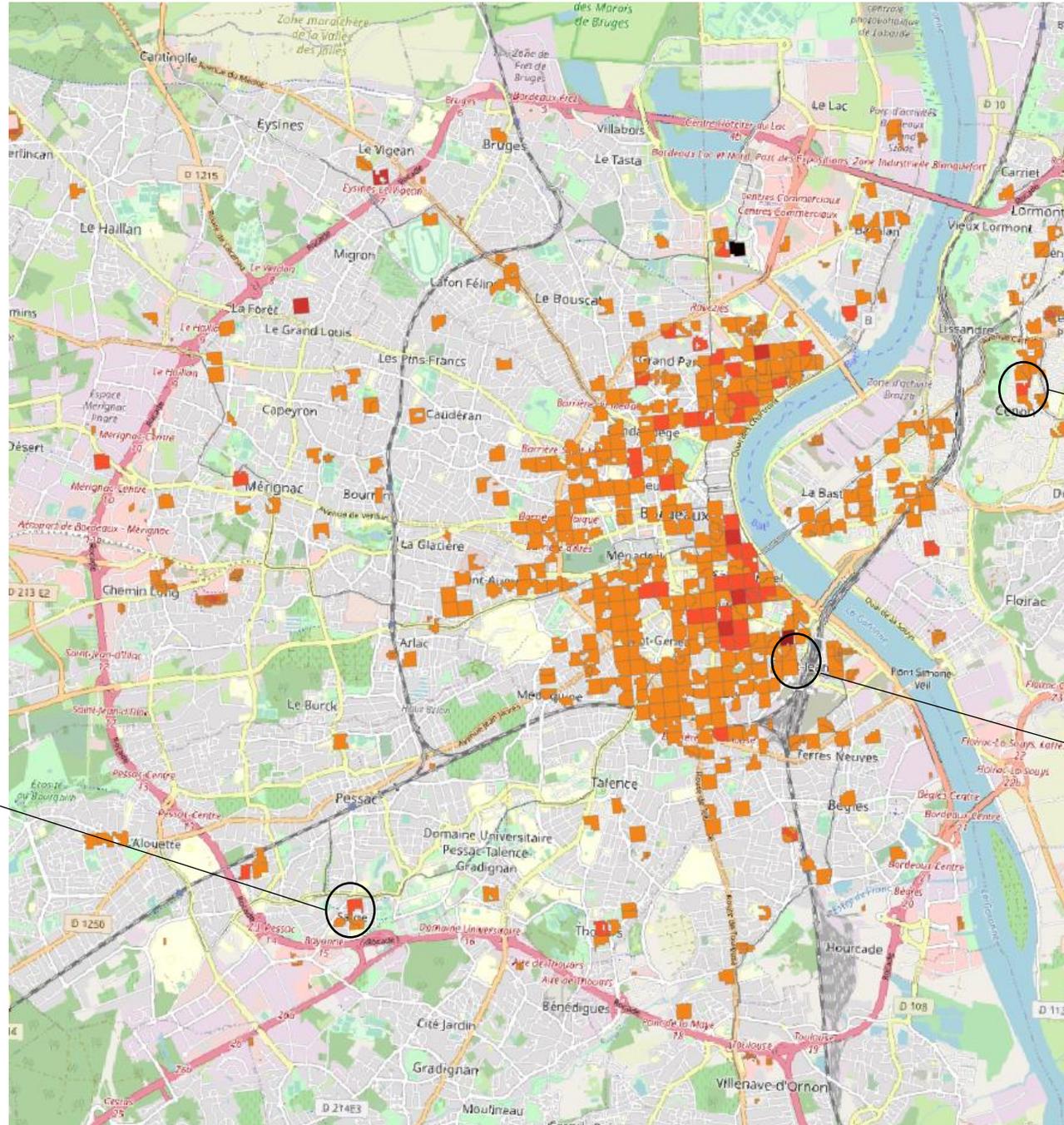
Style []

OK Annuler Appliquer Aide

Etape 13.a



Etape 13.b



Pessac Saige

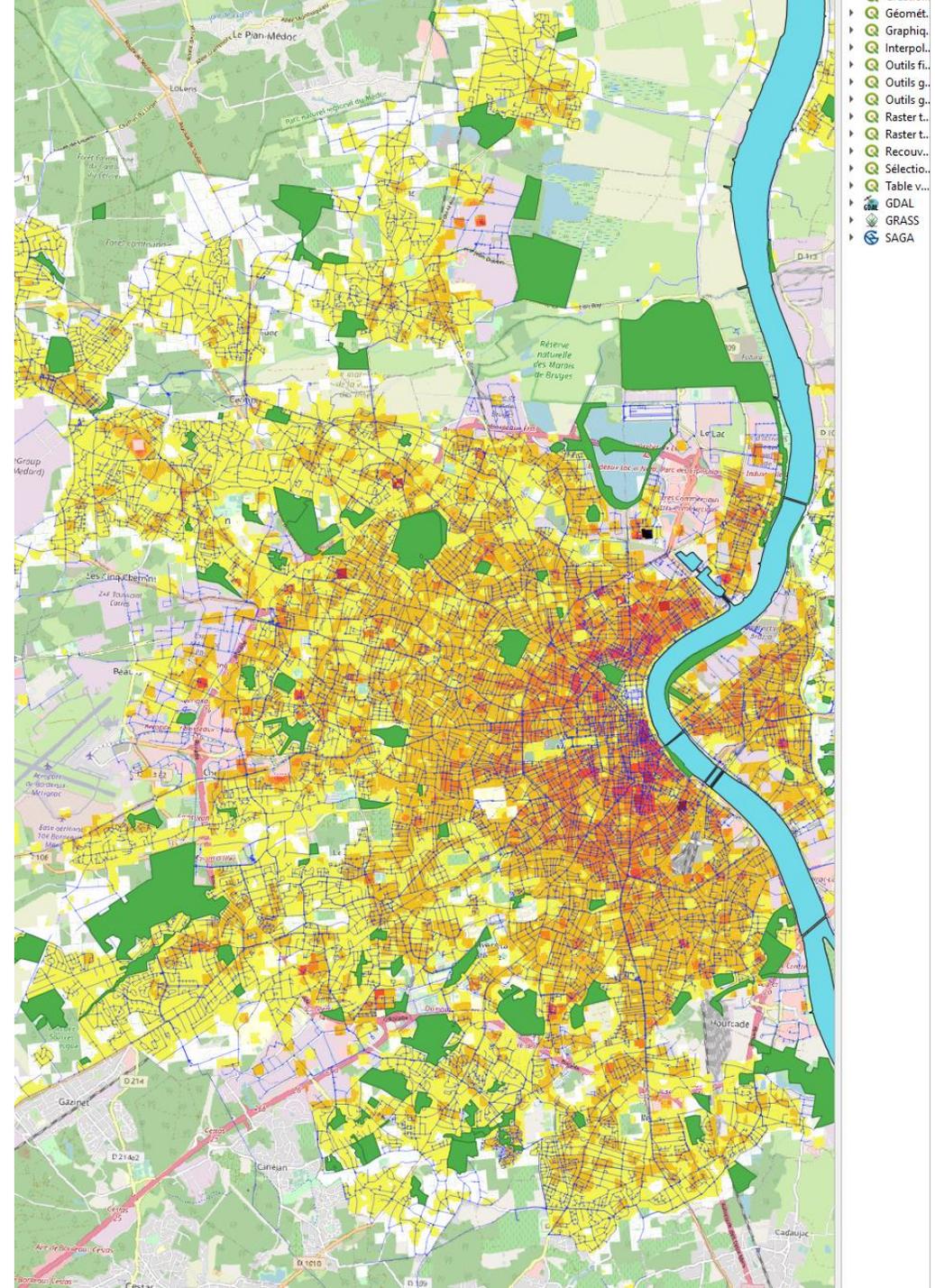
Place Mitterrand, cenon

Quartier de la gare

Etape 12

Ajout de :

- Réseau hydrographique (bleu ciel, BD locale)
- Parcs et Jardins (vert, BD locale)
- Tronçons et branchements d'eau potable (bleu, BD SUEZ)



3

SYNTHESE ATELIER
VISION

PROJET VISION



Quel rafraîchissement dans l'espace urbain pour l'avenir ?

ATELIER du 4 février 2020



Quel rafraîchissement dans l'espace urbain pour l'avenir ?

8h30 – 9h00	Accueil
09h- 09h30	Introduction de l'atelier
09h30-12h00	Ateliers
12h00-12h30	Restitution
12h30-13h30	Déjeuner



PROJET VISION - Solutions optimisées de rafraichissement urbain sur le territoire de Bordeaux Métropole

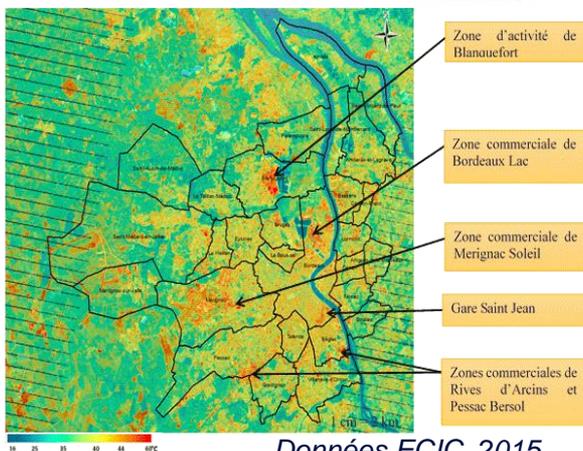
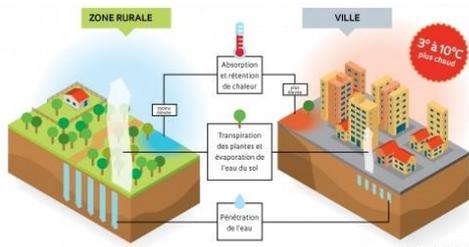


AAP Villes et territoires intelligents pour l'eau de Agence de l'Eau Adour-Garonne



Contexte

Ilots de chaleur à Bordeaux



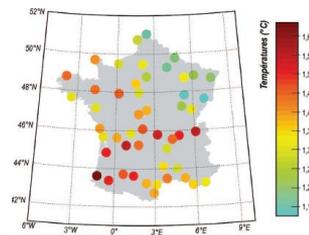
Développement démographique

1,5% de croissance par an

Près d'un million d'habitants prévu d'ici 2030 sur BM

Changement climatique

Température



Evolution température
(donnée Météo France)

Ressources en eau



Variation estivale du nombre de jours consécutifs avec moins de 1 mm de pluie

Contexte. Premiers éléments de socio

- ° L'augmentation de la température est une préoccupation sanitaire et environnementale forte **pour tous**
- ° Les **femmes sont plus sensibles** à la chaleur que les hommes
- ° Les **déplacements à pieds** et l'**attente des transports** en commun sont les situations les plus gênantes lors des épisodes de chaleur
- ° **> 50% des répondants ne peuvent pas identifier de sources de rafraîchissement à Bordeaux**
- ° Les **fontaines à boire sont très peu utilisées car peu visibles** et très peu identifiables géographiquement



° En ligne, au printemps : [...] *l'utilisation de la ressource en eau n'est pas une bonne solution de rafraîchissement* [...] et répondants [...] **contre** la multiplication des systèmes de **brumisation** [...]

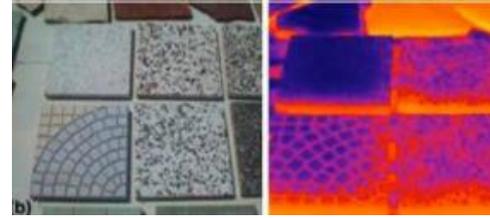
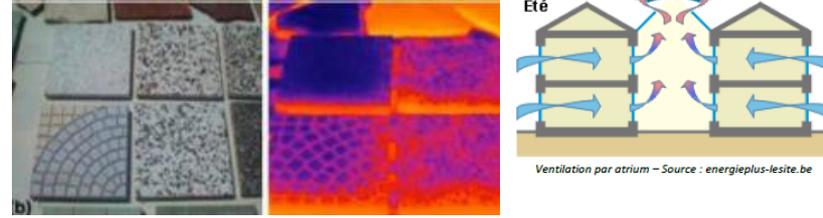
° Micro-trottoir, en été : répondants [...] **favorables** à la multiplication des systèmes de **brumisation** [...]

Contexte

❑ Les solutions pour y remédier

- ✓ Architecture des bâtiments (ventilation, isolation)
- ✓ Choix des matériaux (Albedo, couleurs, granulométrie)
- ✓ Urbanisme (formes urbaines)
- ✓ Végétalisation

❑ Accès à l'eau : confort immédiat mais ressources limitées, notamment l'été



Projet VISION : Comment rafraichir la ville tout en ayant un impact limité vis-à-vis des ressources en eau

- Définir la typologie des sites de la métropole avec besoins de rafraichissement
- Evaluer les besoins, attentes de la population
- Tester/ expérimenter des solutions
- Suivre leur efficacité : température, humidité, zone influence, utilisation
- Evaluer leur impact environnemental : eau, énergie...
- Proposer un Catalogue de solutions adaptées au territoire de la métropole et autres agglomérations

→ Quel usage de l'eau dans le domaine public ?

→ Comment le service d'eau peut contribuer au confort dans la ville ?

Projet VISION : Comment rafraichir la ville tout en ayant un impact limité vis-à-vis des ressources en eau



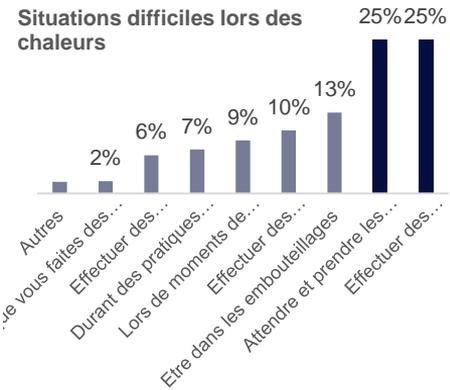
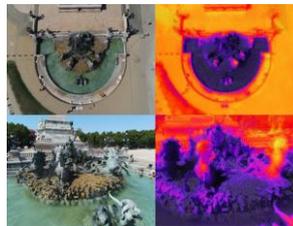
→ 1 projet de 2 ans : 2019 et 2020

→ Superposition des sous-ensembles du PLU à la cartographie des ilots de chaleur urbains (ICU)

→ 1 enquête en ligne (1180 réponses)

→ Des tests/évaluation de solutions été 2019

... A suivre



Pourquoi cet atelier ?



Pour avoir votre avis sur nos travaux, sur les besoins d'adaptation de la métropole

Imaginer des solutions transversales

Le principe des ateliers

2 temps importants

9h30
10h30



2050 : Un futur désirable

11h
12h



2020 - 2035 : Les étapes à court terme pour proposer un rafraichissement des villes basées sur l'eau

Une restitution entre les deux

Le fonctionnement des ateliers

Plusieurs rôles :



Les **participants**, expriment leurs avis, points de vue, envies



Le **rapporteur**, prend note, et viendra restituer les échanges



L'**animateur**, distribue la parole, réparti le temps de parole, assure le respect des points de vue, l'équilibre de la parole



Les **experts** éclairent les échanges des travaux du projet



Le **dessinateur**, met en dessin les échanges

Premier atelier : 2050, un futur désirable

9h30 – 10h30

Les questions posées :

Quel est le climat 2050 ?

Comment est rafraîchie la métropole en 2050 ?

Quelle est la place de l'eau dans ces solutions de rafraîchissement ?



Deuxième atelier : 2020 – 2035 - Les étapes à court terme basées sur l'eau



11h – 12h

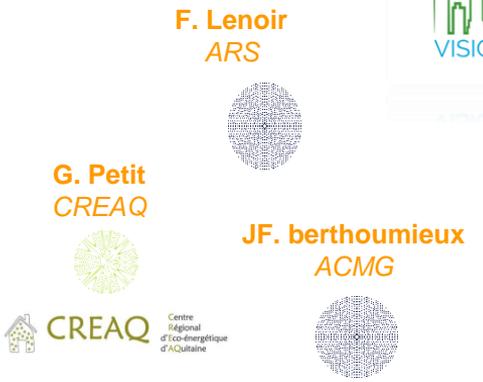
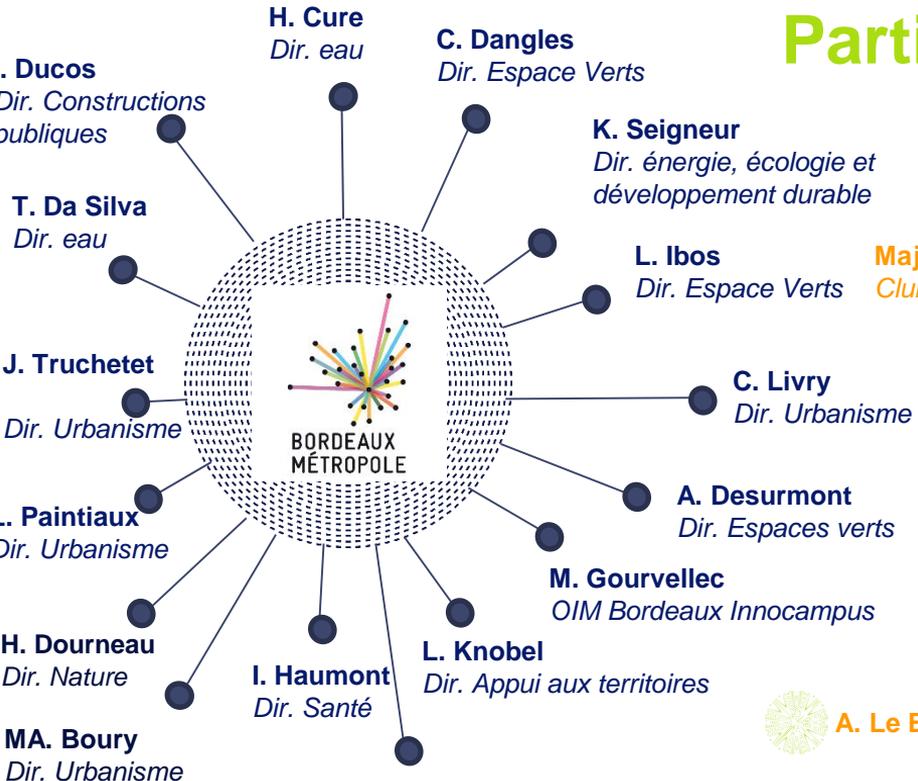
Les questions posées :

Le moyen terme : 2035, où en est-on ? Qu'avons-nous déjà mis en œuvre ?

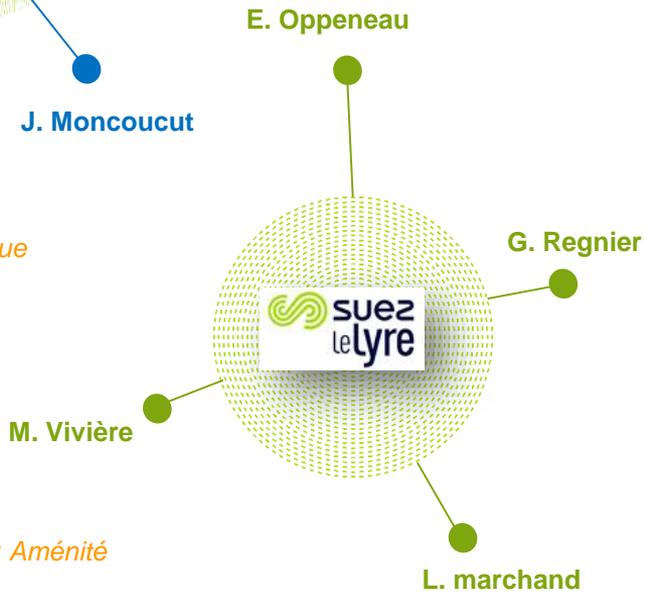
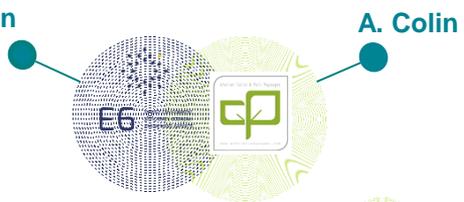
Le court terme : que faut-il lancer rapidement ?

Synthèse de l'atelier

Participants



A. Le Bougnek *Du Flocon à la vague*



S. Pauliet
Conseillère Environnement

V. Canayer
Designer

E. Cazamajour *Aménité*

Q1. Quel climat en 2050 ?



Le climat en 2050 est globalement pressenti par l'assemblée comme tel qu'il est décrit dans les scénarios du GIEC : **chaleurs fortes et prolongées**, générant un inconfort tant de jour que de nuit, avec une intensification des **phénomènes extrêmes** (orages, inondations, incendies, etc.). L'élévation du niveau de la mer est évoquée, tout comme la diminution de la ressource en eau douce (*déficit hydrique six fois plus important qu'à l'heure actuelle à l'échelle du bassin versant Adour Garonne en 2050*). Plusieurs conséquences associées à ce bouleversement climatique sont évoquées : ex. **lissage des saisons, prolifération de moustiques, sécheresses, fractures sociales accentuées**, etc. Certaines notes positives émergent cependant, qui envisagent une **amélioration de la qualité de l'air, voire une meilleure protection de la ressource en eau**. Ce scénario plus optimiste résulterait de la prise de conscience que l'on connaît aujourd'hui en 2020, qui porterait alors ses fruits à l'horizon 2050.

Q3. Quelle est la place de l'eau dans ces solutions ?



En 2050, il y aura assez d'eau pour produire la nourriture, mais la surconsommation, la dégradation des ressources et l'impact du changement climatique réduiront la disponibilité en eau.

Comment stocker cette ressource?

Comment l'utiliser pour rafraîchir la métropole?

Le constat qui se dégage est que nous aurons de l'eau à portée de main en 2050 (augmentation des pluies hivernales) mais qu'il faut trouver le moyen de la [stocker](#) et de [limiter cette surconsommation](#).

Les usagers pourront alors se [rafraîchir](#) grâce à des [services offerts](#) par la métropole comme des zones de baignades mutualisées, des zones humides ouvertes, un meilleur usage de la Garonne ou autres parcours d'eau le long de cours d'eau "renaturés".

Des [zones de rafraîchissement ponctuelles](#) pourraient être proposées, (comme des brumisateurs, des fontaines baignables, des points d'eau, des végétaux irrigués qui évapo-transpirent,...), avec [une ressource en eau réutilisée et épurée](#) même si elle n'est pas toujours potable.

Q4. 2035 : moyen terme, d'où en est-on ?

Des jalles artificielles maillent Bordeaux

Multiplication des zones de baignade publiques

De grands projets emblématiques sont en phase d'évaluation

Les parcs urbains sont ouverts et surveillés la nuit

Réseau séparatif sur la métropole

Les boulevards et la rocade sont des ceintures vertes

Réaffectation de C issus des déchets au sol

Des îlots verts, privés, sont ouverts lors de pics de chaleur

Multiplication des points d'eau non potable pour usages de type lavage

textes réglementaires adaptés au contexte de chaleur

PLU révisé (favorise la création d'îlots de fraîcheur végétalisés)

Equipements temporaires de rafraîchissement utilisés lors de pics de chaleur

Stockage d'eau intersaisonnier opérationnel (domaine public et privé)

Piscines privées réglementées (interdites?)

REUT utilisé en routine (ex Arrosage)

façades et toits massivement végétalisés

Bassins de stockage des EP systématiquement aménagés en zones fraîches

Partenariat urbain/rural existant sur l'aménagement des territoires

Des points d'apports volontaires d'eau ménagère sont en place

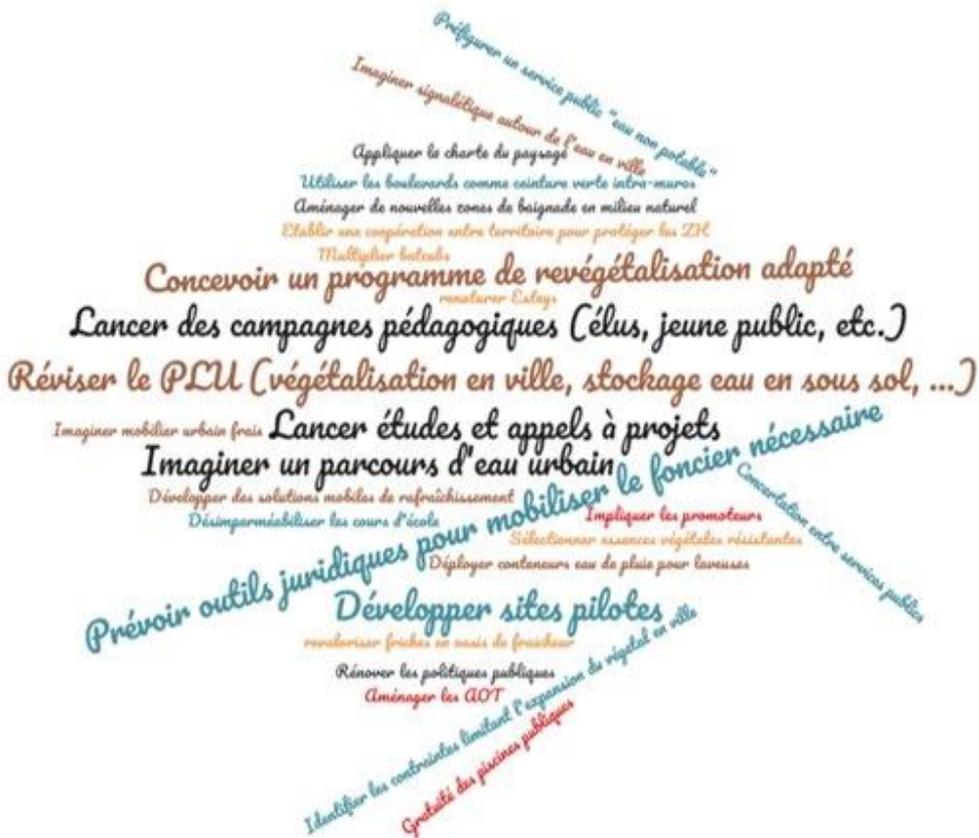
Espaces publics (et privés) massivement dés-imperméabilisés

Service public de gestion des prélèvements dans les nappes

Multiplication des espaces urbains végétalisés

A moyen terme, en 2035, le **PLU a été révisé** de manière à libérer des emprises pour effectuer des plantations encadrées par un **protocole raisonné de revégétalisation** de la ville, mais également pour permettre le **stockage inter-saisonnier** d'eau en sous-sol. Les **textes réglementaires** autour de l'accès à l'eau, ainsi que les documents d'urbanisme ont été réévalués pour répondre au réchauffement climatique en vigueur. Face aux canicules estivales, des **îlots de fraîcheur temporaires** axés sur la brumisation et le végétal sont répartis dans la métropole. La réutilisation d'eau (**REUT**) s'est également démocratisée, notamment pour l'arrosage des espaces verts. Ceux-ci se sont de manière générale généralisés, et maillent le territoire de la métropole. Ils s'accompagnent de **Jalles artificielles** qui permettent à la Garonne de divaguer au cœur même de la ville, et s'appuient notamment sur une **désimperméabilisation** des espaces bitumés. Les **points d'eau mutualisés** (piscines en intérieur et zones de baignade en extérieur) se sont multipliés, en parallèle d'une **réglementation contraignante (voire d'une interdiction) sur les piscines privées**.

Q5. 2020 : court terme, que mettre en place ?



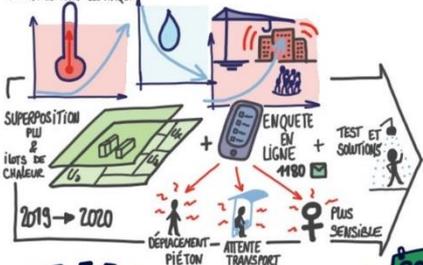
Parmi les actions à initier dès aujourd'hui pour rafraîchir la ville à l'horizon 2050, la **révision du PLU** et l'**actualisation d'outils juridiques** occupe une place centrale dans une perspective de récupération d'un foncier destiné à la végétalisation de l'espace public ainsi qu'au stockage de l'eau en ville. Il est également préconisé de lancer d'ores et déjà une **série d'études** pour appuyer les décisions à venir, tout en réalisant - en parallèle - des **opérations de pédagogie** à destination des élus, mais également des jeunes générations, parmi lesquelles se trouvent les décideurs de 2050. Le **développement de sites pilotes**, fournissant à la fois des supports d'étude et des éléments de pédagogie est recommandé. Parmi les pistes de travail sont évoqués la mise en place d'un **parcours d'eau** en ville, doté d'une signalétique appropriée ainsi que le démarrage d'un **programme concerté, raisonné et multipartite autour de la place du couvert végétal en ville** (gestionnaires, citoyens, scientifiques, associations, etc.). Il est également recommandé de se pencher dès aujourd'hui sur les solutions de **désimperméabilisation** des sols (ex. Dans les cours d'école), la faisabilité des **îlots de fraîcheur temporaires**, la réalisation de **nouvelles zones de baignades mutualisées** en extérieur et en intérieur, le tout en favorisant des **partenariats entre les divers territoires de la métropole, ainsi qu'avec les promoteurs immobiliers**.

PROJET VISION : QUEL RAFFRAICHISSEMENT DANS L'ESPACE URBAIN POUR L'AVENIR?

2020
4 FEV

LE PROJET VISION NOS OBJECTIFS:

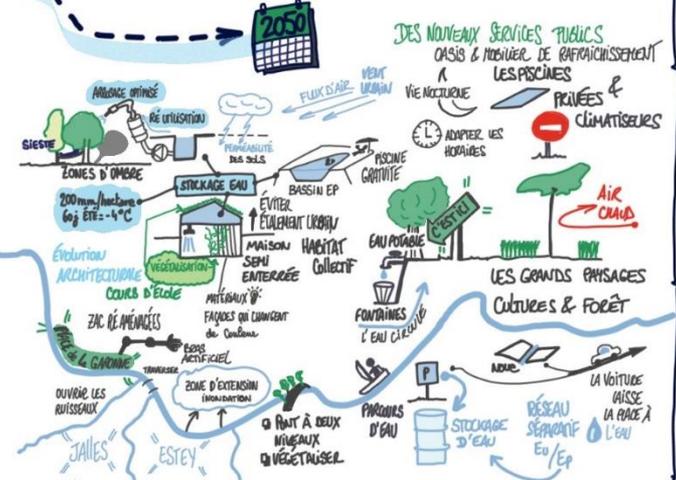
LE CHANGEMENT CLIMATIQUE



LES SOLUTIONS

- PRÉ EMPTON D'ESPACE
- PROGRAMME DE REVÉGÉTALISATION
- SIGNALÉTIQUE
- CHANGEMENT de PRIORITÉ
- POLITIQUE PUBLIQUE
- ADAPTATION aux CHANGEMENTS FSMD SFE
- ADAPTATION REGLEMENTAIRE
- VALORISER LES FRICHES
- IMPLIQUER LES PROMOTEURS #RIEN TERRE
- DÉSIMPERMÉABILISER LES COURS D'ÉCOLE LES PARKINGS
- CHARTRE PAYSAGE
- OUVRIRE DES PISCINES PRIVÉES collectives - GRATUITE PISCINE PUBLIQUE
- CAMPAGNE de COMMUNICATION

- LE SOUS-SOL
- ESSENCES VÉGÉTALES
- RENATURATION des ESTEYS
- PARCOURS D'EAU
- CRÉER DES ZONES D'APPEL D'EAU POTABLE
- PLAN DE SAUVEGARDE du BÂTIMENT COMPATIBLE
- LES ITINÉRAIRES VERTS & BLEUS OMBRAGÉS
- RÉ UTILISATION des EAUX USEES (STEP sans FRICHE sans NOUVEAU)
- SUPERPOSITION de la gestion des ESPACES PAR LES services publics
- OUVERTURE DES BASSINS DE STOCKAGE POUR ACTIVITÉS
- PARTENARIAT URBAIN - RURAL
- DÉCHETS VERTS PYRAMISÉS => INTÉGRATION AUX SOLS
- AUTORISATION d'occupation du TERRITOIRE
- MAILLAGE SUR LA METROPOLE
- ÉCHELLE RÉGIONALE
- BRUMISATION
- STOCKAGE D'EAU



4

CONTRAINTES
REGLEMENTAIRES
&
PRECONISATIONS

Contraintes réglementaires et préconisations

De manière générale, le déploiement d'une solution de rafraîchissement en ville doit prendre en compte plusieurs contraintes :

Accès à l'eau (potable) Une arrivée d'eau potable, ou à défaut, la possibilité d'effectuer un branchement sur le réseau, sont nécessaires pour alimenter une solution nécessitant de l'eau. Cette contrainte conditionne très fortement les possibilités de déploiement d'une solution de rafraîchissement en territoire urbain

Accès à l'électricité Si la solution a besoin d'électricité pour fonctionner, il faut pouvoir la raccorder sur le réseau (Nécessité d'une arrivée électrique sur l'espace public à proximité directe de l'arrivée d'eau potable).

Autorisation d'occupation de l'espace public ou privé. En complément d'une AOT (document administratif) indispensable, une concertation avec les pouvoirs publics (ou propriétaires privés) en charge du territoire sur lequel est installé le dispositif doit être menée en amont du projet.

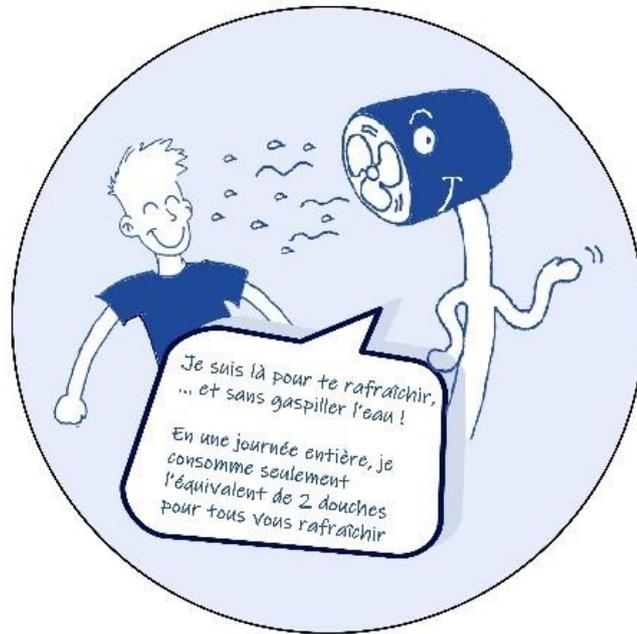
Capacité du sol du site à supporter le poids du dispositif. En cas d'installation sur dalles, au-dessus de parkings souterrains, il faut prendre en considération la charge acceptable.

Maintenance Les systèmes de rafraîchissement basés sur l'eau nécessitent pour une maintenance régulière. Cette maintenance est variable en fonction du dispositif. Pour la brumisation, une visite hebdomadaire est préconisée (prévoir également les purges). A contrario, des dispositifs de type aires de jeux d'eau ne nécessitent qu'une à deux visites de contrôle sur l'ensemble de la période estivale.

Vigilance contre les dégradations : tout mobilier urbain peut être soumis à des actes de vandalisme et de dégradation. Ils doivent être constitués de matériaux adaptés et résistants. La structure globale du dispositif devra être assemblée de manière à être robuste et à l'épreuve des tentatives de dégradation. Si des caméras de surveillance sont disponibles à proximité il est recommandé de se rapprocher de la police municipale pour un complément de surveillance.

Qualité de l'eau. La qualité de l'eau est primordiale dans les dispositifs brumisant (problématique de la légionelle). Ce point est abordé dans la section consacrée aux brumisateurs-ventilateurs.

Acceptation sociétale. Dispenser « à perte » de l'eau dans l'espace urbain lors d'épisodes de canicule peut être mal interprété par la population. Il est donc nécessaire d'effectuer un travail de pédagogie en parallèle du déploiement (ex. panneaux informatifs, accompagnement sociétal, etc.). En outre, le temps d'un été, les épisodes de chaleur ne sont pas continus, et peuvent être entrecoupés de journées pluvieuses et/ou plus fraîches. Il faut prévoir un asservissement à la pluie. Pour un déploiement à grande échelle, un outil de pilotage à distance, ou de déclenchement automatique selon les conditions météo est requis. L'activation à la demande est également une option qui permet de ne pas gaspiller la ressource en eau.



Exemple de panneau informatif accolé aux brumisateurs-ventilateurs déployés à Bordeaux en 2019 dans le cadre du projet

Brumisation dans l'espace public : cadre général

Dans le cadre de ces législations, l'installateur d'un brumisateur dans l'espace public doit respecter les obligations suivantes :

Conception/installation

- Equiper le système d'un ensemble de protection antiretour vis-à-vis du réseau de distribution d'eau potable ; celui-ci doit être accessible et contrôlable
- Utiliser des canalisations agréées pour le contact de l'eau potable pour raccorder les brumisateurs-ventilateurs au réseau d'adduction ; limiter la longueur de la canalisation de raccordement au système
- Raccorder et alimenter en permanence le système avec de l'eau froide du réseau de distribution d'eau potable.
- S'assurer de la bonne circulation de l'eau en tout point de l'installation afin d'éviter les zones de stagnation (bras morts)
- Ne pas recycler les gouttelettes d'eau produites par le système mais non dispersées dans l'air pour l'alimentation en eau de l'installation.
- Ne pas introduire de substance dans l'eau d'alimentation du système à l'exception des produits de traitement de l'eau potable autorisés par le ministère en charge de la santé (interdiction notamment d'ajout d'huiles essentielles, de colorants...).
- Equiper le système d'une vanne permettant sa purge et sa vidange
- Consigner dans le fichier sanitaire le schéma de principe de l'installation ainsi que les principales informations d'exploitation du système.

Surveillance de la qualité de l'eau des systèmes

- Prévoir au plus tôt (48 heures minimum après des opérations de désinfection) l'analyse des légionelles sur chaque installation (une seconde analyse peut être réalisée pendant la période estivale d'utilisation pour monitorer le système)
- Prélever, en prévision de cette analyse, les échantillons d'eau au point (orifice de dispersion des microgouttelettes d'eau) le plus éloigné de la rampe/tête de brumisation ou à défaut, en un point de purge spécialement aménagé de la rampe ou en un point situé au niveau du bac de génération des fines gouttelettes d'eau.
- Maintenir la concentration en Legionella pneumophila à une valeur inférieure à 10 UFC/L (dans le cas contraire le système est arrêté pour purge et hygiénisation)
- Réaliser les prélèvements et les analyses via un laboratoire accrédité par le Comité français d'accréditation pour le paramètre recherché (ex. LDA).
- Assurer la traçabilité des résultats d'analyses réalisées (Consignation des informations dans un fichier sanitaire matérialisé ou dématérialisé).

Mise en service et entretien des installations

- Préalablement à sa la mise en service des installations de brumisation, procéder, sans exposition du public, à un nettoyage, une désinfection et un rinçage (suffisant pour éliminer la trace des produits utilisés) des systèmes de brumisation et des éléments le constituant (canalisation incluses)
- Assurer la traçabilité des opérations réalisées (Consignation des informations dans un fichier sanitaire matérialisé ou dématérialisé).
- Respecter les préconisations formulées par le fabricant et l'installateur du système de brumisation (lampe UV incluse) ; tant sur la maintenance que sur les opérations à mettre en œuvre visant à prévenir tous risques sanitaires vis-à-vis de la population.

Spécificité SARS-CoV2

- Sont interdits : les systèmes de brumisation ascendants ainsi que les ventilateurs associés à la brumisation. En outre, l'eau brumisée doit provenir uniquement du réseau d'eau potable.

Jeux d'eau : règles adoptées dans le cadre de l'installation des jeux d'eau de pessac (33)

- Equiper le système d'un ensemble de protection antiretour vis-à-vis du réseau de distribution d'eau potable ; celui-ci doit être accessible et contrôlable
- Utiliser des canalisations agréées pour le contact de l'eau potable pour raccorder l'aire de jeu au réseau d'adduction ;
- Raccorder et alimenter en permanence le système avec de l'eau froide du réseau de distribution d'eau potable.
- S'assurer de la bonne circulation de l'eau en tout point de l'installation afin d'éviter les zones de stagnation (bras morts)
- Ne pas introduire de substance dans l'eau d'alimentation du système à l'exception des produits de traitement de l'eau potable autorisés par le ministère en charge de la santé (interdiction notamment d'ajout d'huiles essentielles, de colorants...).
- Equiper le système d'une vanne permettant sa purge et sa vidange
- Fournir au maître d'ouvrage (Mairie de Pessac) le schéma de principe de l'installation ainsi que les principales informations d'exploitation du système.

- Préalablement à la mise en service des installations, procéder, sans exposition du public, à un nettoyage, une désinfection et un rinçage (suffisant pour éliminer la trace des produits utilisés) de l'aire de jeu et des éléments le constituant (canalisation incluses)
- Respecter les préconisations formulées par le fabricant des jeux d'eau
- Accès à l'eau (potable) : Nécessité d'une arrivée d'eau potable existante, ou à défaut, possibilité d'effectuer un branchement sur le réseau.*

De manière plus spécifique, les contraintes liées au site ont été :

- Accès à l'électricité : Nécessité d'une arrivée électrique sur l'espace public qui soit à proximité directe de l'arrivée d'eau potable. Il a été prévu en première approche la mise en place de batterie en cas d'absence d'électricité. Durant l'été 2019 une alimentation électrique pérenne pour éviter toute intervention de changement des batteries a été installée sur deux des aires (Saige et Haut Livrac)
- Présence proche d'un réseau d'assainissement pluvial pour évacuation des eaux usagées
- Autorisation d'occupation de l'espace privé
- Accès au chantier possible pour faciliter les opérations de terrassement et l'amenée d'une toupie béton : Prise d'un arrêté de circulation sur l'espace public à proximité notamment pour l'accès chantier et le stationnement des véhicules de chantier
- Installation dans un espace aéré pour donner la possibilité aux usagers de s'installer à proximité (espace enherbé),
- Mise en œuvre d'une bande en gravier sur le pourtour de l'aire pour éviter la création de boue,
- Réalisation d'une aire en béton brute pour limiter les problématiques de glissade. En accord avec la mairie et pour limiter son coût, il n'a pas été prévu de mise en place d'enrobé souple,
- Pas de présence d'arbres à proximité immédiate pour éviter les dépôts de feuilles notamment dans les caniveaux d'évacuation des eaux,
- Maintenance ; aucune maintenance n'a été réalisée durant la phase d'utilisation hormis le changement des batteries. Seules des opérations de maintenance annuelle (hivernage et remise en service ont été nécessaires)
- Vigilance contre les dégradations : le matériel utilisé pour ces jeux d'eau est un matériel adapté et renforcé et totalement adapté à un usage en extérieur. Le système d'alimentation en eau et les armoires électriques ont été placés en fosse enterrée dont les capots ont été vissés pour éviter toute ouverture illicite.

5

ARTICLE TSM

Projet VISION : Quelles solutions basées sur l'eau et le végétal pour rafraîchir l'espace urbain dans un contexte de changement climatique ?

VISION project: What solutions based on water and plants to refresh the urban space in a context of climate change?

Marchand Lilian ¹, Vivière-Bevan Manon¹, Oppeneau Emmanuelle ¹, Papin Olivier ², Colin Alexandre ³

¹ LyRE, Centre de recherche, Développement et Innovation du groupe SUEZ, 15 rue Leonard de Vinci, 33600 Pessac.

Lilian.marchand@suez.com, emmanuelle.oppeneau@suez.com,
manon.vivierebevan@suez.com

² Bureau d'étude E6 (NEPSEN). 23 Quai Paludate, 33800 Bordeaux. olivier.papin@e6-consulting.fr

³ Atelier Colin & Poli paysages - 200 rue marie Curie, 33127 Saint-Jean-d'Illac.
alexandre@atelier-paysages.fr

Catégorie : Retour d'expérience

Format : Article technique

Résumé

Les vagues de chaleur – périodes de plusieurs jours de températures au-dessus des valeurs fréquentes pour la saison – font désormais partie du paysage estival. L'augmentation de leur fréquence et de leur intensité en font cependant un des phénomènes météorologiques extrêmes les plus préoccupants du XXI^e siècle. En France, si 2003 reste la référence en la matière, il suffit de remonter à l'été 2019 pour recenser deux épisodes d'une intensité exceptionnelle. Ces pics de chaleur induisent le développement d'îlots de chaleur urbains (ICU) – des zones où la température est régulièrement au-dessus de la moyenne de l'aire urbaine, qui eux-mêmes génèrent dans le quotidien un inconfort notable, persistant, et désormais récurrent pour les habitants. Dans ce contexte, le projet VISION (2019-2020), porté par l'Eau de Bordeaux métropole, cofinancé par l'agence de l'eau Adour Garonne et piloté par le SUEZ-le LyRE, en partenariat avec E6-Consulting et Atelier-paysages, avait plusieurs objectifs 1. Identifier les besoins sociétaux autour de la question de la chaleur en ville (ressenti des acteurs et usagers), 2. Proposer une méthodologie d'identification fine des ICU mais également des espaces où la population est la plus impactée par ces bulles de chaleur, 3. Les confronter aux ressources en eau à disposition pour les atténuer, 4. Lister les solutions aujourd'hui existantes pour lutter contre la chaleur en ville et 5. Tester à échelle réelle la pertinence de cinq solutions (existantes ou innovantes). L'objectif était de proposer aux collectivités des éléments d'aide à la décision pour développer des solutions durables de rafraîchissement basées sur l'eau et adaptées aux besoins des usagers d'un espace public. L'ensemble de ces informations est synthétisé sous forme d'un document guide et d'une plaquette de synthèse.

Mots clefs brumisation, îlot de fraîcheur urbain (IFU), jeux d'eau, solutions basées sur la nature (NBS), street-pooling, vague de chaleur, ressource en eau

Abstract

Heat waves - periods of several days with temperatures above the frequent values for the season - have become part of the summer landscape. However, their increasing frequency and intensity make them one of the most worrying extreme weather phenomena of the 21st century. In France, 2003 remains the reference in this respect. Nevertheless, more recently the summer of 2019 suffered two episodes of exceptional intensity. These heat peaks induce the development of urban heat islands (UHIs) - areas where the temperature is regularly above the average for the urban area, which themselves generate significant and persistent discomfort for the inhabitants. In this context, the VISION project (2019-2020), led by l'Eau de Bordeaux métropole, co-funded by the Adour Garonne water agency, and driven by SUEZ-le LyRE, in partnership with E6-Consulting and Atelier-paysages, had several objectives 1. to identify societal needs around the issue of heat in the city (felt by stakeholders and users), 2. to propose a methodology for the precise identification of urban heat islands but also of the areas where the population is most affected by these heat bubbles, 3. to confront them with the water resources available to mitigate them, 4. to list the solutions that already exist to face heat in the city, and 5. to test the relevance of five solutions (existing or innovative) on a real scale. The objective is to provide local authorities with decision support elements to develop sustainable water-based cooling solutions adapted to the needs of the users of a public space. All this information is summarized in a guide document and a summary brochure.

Keywords misting, urban freshness island (UFI), water playgrounds, nature-based solutions (NBS), street pooling, heat wave, water resources

Table des matières

Résumé.....	1
Abstract	2
1. Introduction.....	4
2. Matériel et méthode	5
2.1. Description générale des actions menées.....	5
2.2. Détail des protocoles et méthodes mis en œuvre	6
2.2.1. Approche sociologique du territoire	6
2.2.2. Approche cartographique du territoire.....	7
2.2.3. Evaluation du pouvoir rafraichissant des solutions testées.....	8
3. Résultats et discussion	12
3.1. Approche sociologique de la chaleur à l'échelle d'un territoire	12
3.1.1. La chaleur ressentie : Un processus d'adaptation psychosociologique.....	12
3.1.2. La chaleur urbaine : Une recomposition du rapport à la ville, de son confort et de son architecture	13
3.2. Approche cartographique du potentiel de rafraichissement à l'échelle d'un territoire.....	15
3.3. Pouvoir rafraichissant des solutions testées.....	17
3.3.1. Arbres en ville.....	17
3.3.2. Pouvoir rafraichissant des fontaines ornementales.....	18
3.3.3. Brumisateurs-ventilateurs.....	18
3.3.4. Aires de jeux d'eau	19
3.3.5. Humidification de la chaussée versus recouvrement par peinture blanche réfléchissante .	19
3.3.6. L'îlot de fraîcheur urbain (IFU)	20
3.4. Comparatif des solutions testées.....	21
3.5. Retour des usagers.....	23
3.6. Contraintes et verrous à lever avant de déployer une solution de rafraichissement	26
4. Conclusion	27
Bibliographie	28

1. Introduction

En 2019, plus de 80% de la population française résidait en ville (source Banque Mondiale). Cet exode constant des populations vers les aires urbaines s'accompagne d'une urbanisation massive et concentrée, dans un contexte de réchauffement global accéléré [Van OLDENBORGH et al., 2019]. L'ensemble de ces facteurs a participé à l'apparition d'îlots de chaleur sur les territoires urbains (ICU), des zones où la température est régulièrement au-dessus de la moyenne de l'aire urbaine en été [SANTAMOURIS et al., 2017 ; BERNARD et al., 2020]. La configuration des villes, l'imperméabilisation des surfaces, la nature des matériaux utilisés, le tissu d'activités ou bien encore les flux qui en résultent (notamment de gaz à effets de serre) sont autant de facteurs qui favorisent le développement de ces ICU [ZHOU et al., 2017].

Dans ce contexte : que faire pour se rafraîchir ?

En réponse aux vagues de chaleur, certaines manifestations spontanées détournent les ressources en eau potable pour se rafraîchir. La plus connue d'entre elle est le street-pooling (littéralement « faire une piscine de rue »), qui consiste à ouvrir sans autorisation les hydrants (i.e. les bouches-incendie) pour profiter de la fraîcheur produite par l'eau ainsi détournée. Ces comportements occasionnent un gaspillage de la ressource en eau et peuvent s'avérer dangereux pour les populations (blessures liées à la pression, électrocution avec les réseaux à proximité, perte de pression dans le réseau incendie). Au-delà des dégâts qu'ils génèrent ces phénomènes sont symptomatiques d'un manque de solutions pour rafraîchir la ville et ses usagers. Le minéral a depuis longtemps pris le pas sur le végétal, les fontaines ornementales ne dispensent que peu de fraîcheur, les fontaines à boire sont souvent méconnues des populations, etc.

En d'autres termes, l'accès à l'eau pour se rafraîchir en ville ne s'est pas totalement adapté à la nouvelle donne du réchauffement global.

Pourtant les choses évoluent. Les pouvoirs publics commencent à réfléchir à ces questions, et des publications sur le sujet voient le jour [INSP, 2009, MUSY et al., 2017, IAU, 2017, A'URBA, 2019, BERNARD et al., 2020]. En parallèle, de nombreux territoires, à l'image des villes de Paris, Lyon ou Bordeaux étudient et définissent une stratégie de lutte contre les îlots de chaleur urbains. Un mouvement général se met en marche pour repenser une ville capable de fournir de la fraîcheur à ses occupants mieux qu'elle ne le fait à l'heure actuelle. Trois axes centraux émergent pour lutter contre les désagréments liés à la chaleur : Un changement de paradigme au niveau de l'urbanisme et des matériaux de construction [KAKONITI et al., 2016], une réintroduction du végétal en ville [CEREMA 2019, WANG & SHU, 2020] et un meilleur accès à l'eau pour se rafraîchir [rapport VISION, 2021].

C'est dans ce contexte que l'Eau de Bordeaux Métropole a répondu à l'appel à projet « Villes et territoires intelligents pour l'eau », lancé par l'Agence de l'eau Adour Garonne en 2017. Le projet retenu, « VISION : Quelles solutions basées sur l'eau pour rafraîchir l'espace urbain ? » (2019-2020) a été piloté par SUEZ eau France via l'un de ses centres de R&D (Suez le LyRE), en partenariat avec le bureau

d'études E6-consulting, spécialisé en accompagnement à la transition énergétique et environnementale, et l'entreprise d'aménagements paysagers Atelier-paysages (ACCP). Le projet s'est articulé autour de cinq objectifs :

1. Réaliser un état de l'art sur le panel de solutions basées sur l'eau aujourd'hui existantes pour rafraichir l'espace urbain
2. Identifier, comprendre et prendre en considération les besoins et des attentes des usagers du territoire face aux vagues de chaleur pour proposer des solutions adaptées
3. Réaliser une analyse croisée des besoins, des contraintes, des ressources et des solutions pour produire une méthodologie permettant de cibler, sur un territoire donné, les endroits où déployer des solutions de rafraichissement en ville
4. Tester et documenter le pouvoir rafraichissant d'un panel de solutions, leur compatibilité avec la préservation de la ressource en eau, mesurer leur impact environnemental global avec l'analyse du cycle de vie et évaluer leur acceptabilité par les usagers
5. Mener une concertation avec les acteurs du territoire impliqués dans la gestion actuelle et future de la transition énergétique et environnementale pour imaginer quels sont, et quels seront, les jalons à poser au cours des années à venir pour mieux lutter contre le réchauffement en ville tout en préservant la ressource en eau.

Les résultats présentés sont issus d'une synthèse de l'ensemble des résultats et conclusions obtenus à l'issue du projet. Le détail des résultats et interprétations est disponible dans le rapport VISION [rapport VISION, 2021]

2. Matériel et méthode

2.1. Description générale des actions menées

Le projet a été mené sur la période 2019 et 2020, sur le territoire de Bordeaux métropole.

2019

Le projet a débuté au printemps 2019 par une approche sociologique du territoire basée sur une large consultation des usagers pour comprendre leur ressenti face à la chaleur. En parallèle, un benchmark de solutions existantes de lutte contre les îlots de chaleur urbains basées sur l'eau a été réalisé. A l'été 2019, une première campagne de terrain a permis de documenter le pouvoir rafraichissant de solutions déjà en place sur le territoire d'étude (fontaines ornementales et espaces arborés). Cette campagne s'est doublée de mesures du pouvoir rafraichissant procuré par des brumisateurs-ventilateurs installés à titre expérimental dans le cadre du projet, ainsi que celui de trois aires de jeux d'eau déployées sur la métropole pour offrir une alternative au phénomène de *street-pooling*.

2020

La seconde année du projet a débuté avec l'organisation d'une journée atelier organisée en présence d'acteurs du territoire représentant des compétences diverses pour comprendre leurs attentes et leurs besoins face à la problématique de la chaleur en ville. L'année 2020 a également été mise à profit pour développer une méthodologie cartographique ayant pour but de cibler précisément où déployer une solution de rafraichissement en fonction des spécificités du territoire concerné (localisation des îlots de chaleur urbain *versus* occupation du sol). La seconde campagne de mesures estivales a permis d'approfondir l'évaluation du pouvoir rafraichissant des arbres en ville (arbres d'alignement et bosquets urbains), avec un focus sur l'impact de l'arrosage. L'évaluation d'un arrosage de la chaussée et d'un recouvrement par une peinture blanche réfléchissante a également été documentée. Enfin, le projet VISION a permis de développer et de tester en situation réelle le pouvoir rafraichissant d'une solution *low-tech* basée sur un mix entre des modules végétalisés et des modules brumisés, déployés de manière temporaire le temps d'un été sous la forme d'un « îlot de fraîcheur urbain » (IFU) sur une place d'ordinaire très minérale. Une série de micros-trottoirs permis d'évaluer le retour des usagers sur les dispositifs testés.

2.2. Détail des protocoles et méthodes mis en œuvre

2.2.1. Approche sociologique du territoire

Appréhender la chaleur en tant que question humaine et urbaine en croisant méthode quantitative et méthode qualitative

La chaleur ressentie engage tous les aspects physiques et sociaux de l'individu : ses comportements, ses pratiques du quotidien, ses particularités socio-démographiques, ses choix résidentiels, son rapport aux institutions locales, son rapport à la ville et sa morphologie, ses valeurs socio-politiques, sa relation aux autres et ses représentations sociales, que ce soit le champ élargi des imaginaires comme ses propres souvenirs urbains. La chaleur en ville réinterroge la relation des individus à leur espace de vie, d'habitat mais aussi à leur rapport à l'urbain et à la nature de manière générale. Elle est à la fois une expérience sociale et physico-sensorielle, tout autant qu'une expérience urbaine du niveau de confort des espaces publics.

La méthodologie sociologique déployée a fait appel à deux outils d'enquête complémentaires afin de comprendre la chaleur ressentie dans la perspective de cette double approche macro : sociale et urbaine. Ces outils ont permis de mieux appréhender les perceptions sociales, les imaginaires collectifs autour de la chaleur en ville ainsi que l'expérience de cette dernière dans leur quotidien.

Tout d'abord, un questionnaire diffusé pendant l'été 2019 sur le site internet de Bordeaux Métropole a recueilli 1004 réponses. Cet échantillon reflétait la dynamique territoriale récente, à savoir un territoire

particulièrement attractif pour les actifs à fort revenu et qui gentrifie de façon certaine la ville centre et sa première couronne.

Dans un second temps, une vingtaine d'entretiens semi-directifs auprès d'habitants ont été réalisés durant l'été 2020, associé à la réalisation de cartes mentales retraçant leurs parcours et fréquentations de leur quartier en cas de fortes chaleurs. L'échantillon est composé de 9 hommes et 11 femmes. 10 entretiens ont été menés dans différents quartiers de Bordeaux et 11 autres sur des villes périphériques.

Evaluer les attentes en matière de rafraîchissement et l'acceptabilité des dispositifs de rafraîchissement en allant à la rencontre des usagers

Chaque solution technique déployée : les jeux d'eaux, les brumisateurs et l'îlot de fraîcheur, a fait l'objet de micros-trottoirs, avant l'installation et après la mise en place des dispositifs, ainsi que d'un relevé d'observations. *A minima*, une trentaine d'individus ont pu être captés avant et après installation pour être interrogés. De nombreuses questions ont été communes à chaque micro-trottoir pour que les réponses puissent être facilement agrégées, notamment concernant leurs attentes génériques en matière de rafraîchissement.

Pensée à l'origine comme un outil de consolidation des micros-trottoirs, l'observation s'est révélée être la méthode la plus adaptée et la plus fructueuse pour mesurer l'appropriation des dispositifs. A l'aide d'une grille d'observation, elle a permis des relevés rapides et nombreux des différents types d'usages des dispositifs. En simultanément, les observations ont permis d'estimer le temps passé à utiliser la solution, (ludique, coup de frais rapide...), et par qui (quel profil d'utilisateur). Elles ont également permis d'évaluer combien de personnes se détournaient du dispositif (ex. par manque d'assise parfois). L'observation sociologique s'est avérée ici une méthode pertinente d'évaluation sociétale des dispositifs de rafraîchissement.

2.2.2. Approche cartographique du territoire

L'outil cartographique développé dans le projet a pour but de recenser les espaces pertinents en ville pour y déployer des solutions de rafraîchissement en croisant des données physiques (températures de surface, *où fait il chaud ?*) avec des données sociologiques (*où sont les populations qui ont le plus besoin de solutions de fraîcheur ?*). Les températures de surface ont été fournies ici par E6-Nepsen tandis que les informations sociologiques proviennent de la base de données INSEE FiLoSoFi (base de données nationale en libre accès répertoriant de manière fine des indicateurs sociétaux et de niveau de vie). Utilisée dans le projet cette base de données a permis d'obtenir, sur des mailles de 200m de côté, les données suivantes :

- Densité – pour localiser avec précision la répartition des habitants sur le territoire d'étude

- Densité des 11-17 ans sur le territoire –pour renseigner sur les quartiers hébergeant une population adolescente en demande d’espaces de loisir en extérieur mais moins mobile que les jeunes majeurs -> public privilégié pour les aires de rafraîchissement de type ludique.
- Part des ménages pauvres – pour localiser des zones de grands ensembles où la population a moins la capacité de se déplacer en été (public privilégié pour proposer des aires de rafraichissement, notamment pour lutter contre les phénomènes de *street pooling*)

Ces données INSEE ont été croisées sous SIG (Qgis 3.12) avec les températures de surface de manière à redécouper le maillage initial en un maillage plus fin. Chaque nouveau polygone créé possède alors :

- Une température de surface homogène
- Une densité moyenne de population homogène sur l’ensemble du polygone
- Des sous ensemble de densité homogène pour l’ensemble du polygone (ex. Nombre de ménages pauvres, densité de jeunes, etc.)

Les indicateurs sont ensuite standardisés (entre 0 et 100 pour chaque indicateur) puis un indice de pertinence pour déployer un îlot de fraîcheur en ville (Indice IFU) est calculé comme suit :

$$\text{Indice IFU} = 0.5 \times T^{\circ}\text{C de surface (\%)} + 0.17 \times \text{Densité (\%)} + 0.17 \times [11-17 \text{ ans}] (\%) + 0.17 \times \text{ménages pauvres (\%)}$$

L’indice est borné entre 0 et 100. Plus il est élevé, plus le polygone associé est pertinent pour y déployer une solution IFU, et vice versa. Cet indice est ensuite projeté sur le territoire pour être confronté à la disponibilité en eau potable (fontaines à boire géolocalisées sous Open Street Map et réseaux d’eau potable) ainsi qu’au regard critique des usagers et acteurs du territoire en vue du déploiement d’IFU futurs.

2.2.3. Evaluation du pouvoir rafraichissant des solutions testées

Pouvoir rafraichissant des arbres en ville

A l’été 2019 (22/08/19, 12-14h, T°C ext. 33°C) le différentiel de température et d’hygrométrie ont été suivi sur un gradient de végétalisation en zone urbaine (parking bitumé, pelouse, orée de bois, bosquet urbain d’essences mélangées). Les mesures de température et d’humidité relative ont été réalisées à l’aide d’un thermomètre sonde KIMO. Un thermomètre à boule noire a été utilisé pour mesurer la température ressentie (Wet Bulb Globe Temperature, WBGT).

Le site retenu pour la campagne 2020 est une place du centre-ville de Bordeaux, (place Jean Jaurès). Cette place est plantée de 19 micocouliers répartis en quinconce, à environ 5m d’intervalle. Une première partie de l’étude a permis d’estimer le pouvoir rafraichissant de ces arbres d’alignement lors d’une journée chaude (06/08/20, 14-16h, T°C ext. 34°C). Des mesures de température et d’humidité relative (sonde Kimo) ont été réalisées autour de deux arbres en respectant une grille prédéfinie pour

ensuite modéliser l'enveloppe 2D de fraîcheur générée par l'arbre [logiciel R, package AKIMA]. Un lampadaire à proximité (< 10m) sert de témoin négatif. Une mesure des températures de surface par caméra thermique (IR Testo 881, à résolution infrarouge 160 x 120pixel et plage de mesure [-20 ; +350 °C]) a également été réalisée lors de cette campagne. Les deux micocouliers retenus sont de même âge, de même taille et présentent le même port de houppier.

Une seconde série de mesures a permis d'évaluer si un arrosage (arbres > 3 ans n'étant plus arrosés sur le territoire de Bordeaux Métropole) augmente leur pouvoir rafraichissant. Sur les deux arbres suivis, l'un est arrosé le matin, (60 L), et l'autre non. L'arrosage a été réalisé le 21/07. L'opération a été répétée le 31/07. Pour monitorer l'effet de l'arrosage, les deux arbres ont été équipés d'un enregistreur de température et d'humidité relative en continu (Sensing Labs SenlabH) au cœur du houppier. Le lampadaire témoin a également été doté d'un enregistreur en hauteur afin qu'il ne soit pas atteignable par les passants.

Pouvoir rafraîchissant des fontaines ornementales

Le pouvoir rafraichissant de deux fontaines ornementales emblématiques de Bordeaux a été évalué en 2019. Les deux fontaines testées sont la fontaine des Girondins (place des Quinconces) et la fontaine des trois grâces (place de la Bourse). La température de l'air, l'humidité relative (sonde KIMO) et la température ressentie (thermomètre WBGT) ont été mesurées à proximité immédiate puis en s'éloignant de ces équipements afin de mesurer la portée du pouvoir rafraichissant. Ces mesures ont été doublées d'une capture par caméra thermique réalisée par drone. L'ensemble des mesures a été réalisé le 27.08.19 (T°C ext. 27.5°C).

Pouvoir rafraîchissant des brumisateurs-ventilateurs

A l'été 2019, deux brumisateurs-ventilateurs ont été installés à Bordeaux, sur deux sites très fréquentés par la population locale (et de passage), le parvis de la gare Saint Jean et les quais de la Garonne. Le brumisateur-ventilateur utilisé se présentait sous la forme d'un mat brumisant, monté sur un socle béton, surmonté d'une tête de brumisation à 1.60 m de haut, elle-même équipée d'un système de désinfection UV. Le système était alimenté en électricité et en eau potable issus des réseaux existants sur les sites retenus (contrainte forte). La plage horaire de brumisation (12h/22h) a été définie à l'aide d'un programmeur. Le brumisateur-ventilateur propulsait de l'air humide vers l'utilisateur (au contraire de systèmes qui le diffusent sous forme de brume) avec un mouvement rotatif pendulaire. Les particules d'eau pulsées avaient un diamètre de l'ordre du micromètre. Le système était conçu pour qu'il n'y ait pas de déperdition d'eau par goutte à goutte. La consommation en eau s'élevait à 10L/h, soit une consommation journalière de 100L pour un pas de temps d'activité de 10h. Une campagne de mesure de l'impact du brumisateur-ventilateur sur la température de l'air, l'humidité relative (sonde KIMO) et la température ressentie (thermomètre WBGT) a été menée le 22/08 entre 13h à 16h sur les deux sites d'implantation (journée à fort ensoleillement, T°C de l'air 30°C).

Pouvoir rafraichissant d'aires de jeux d'eau

Trois aires de jeux d'eau (50m² chacune, fonctionnement par bouton poussoir entre 10 et 20h en été) ont été déployées en 2018/2019 sur la ville de Pessac (33), pour offrir une alternative au phénomène de *street-pooling*. L'une des trois aires (Saige) était équipée d'un compteur permettant de suivre les consommations en eau. La campagne de mesure (température de l'air et l'humidité relative, sonde Kimo) a été menée le 29/08/19 (journée à fort ensoleillement, T°C de l'air 29°C). Cette campagne s'est doublée d'une analyse thermographique des températures au sol (par caméra thermique au sol et sur drone).

Pouvoir rafraichissant de l'humidification de la chaussée et de son recouvrement par peinture blanche réfléchissante

Trois places de parking ont été mobilisées dans la ville de Cenon (33) pour ce test. La première a été recouverte trois couches de peinture blanche réfléchissante de type *coolroof®* au début du mois d'août 2020. La seconde a été aspergée d'eau (60 L) au jet juste avant de démarrer les mesures pour trois jours de test (19-21 Août). La 3e, non traitée, faisait office de témoin. Les mesures ont été réalisées en début d'après-midi (créneau 13h30-16h) pour profiter des heures de plein ensoleillement (température extérieure dans la gamme 32-35°C lors des tests). Les mesures ont été réalisées à l'aide d'une sonde KIMO et d'une caméra thermique au sol.

Pouvoir rafraichissant de l'îlot de fraîcheur urbain (IFU)

L'îlot de fraîcheur (IFU), intégralement développé à titre expérimental par le partenaire ACCP dans le cadre du projet VISION, a été installé durant l'été 2020 dans la ville de Cenon (33), sur la place du marché (place Mitterrand). Le site, une large place découverte entourée d'immeubles d'habitation collective est référencé comme îlot de chaleur par la cartographie des températures de surface. L'IFU déployé était composé de 11 modules (Fig. 1) qui sont venus s'appuyer sur des îlots végétalisés préexistants, pour une surface totale de 100m². Une fontaine à boire publique déjà en place a complété l'ensemble et a servi d'accès au réseau d'AEP pour alimenter le dispositif. Celui-ci est accessible aux personnes à mobilité réduite (accès PMR). Le premier module, central, était constitué d'un kiosque brumisant élaboré par la société Water Connect. Ce kiosque a pour particularité de ne nécessiter aucune source d'électricité pour fonctionner : il brumise grâce à la pression du réseau. La brumisation est produite en actionnant un bouton poussoir avec le pied. Cet îlot central s'incorporait entre deux corridors végétalisés. Chaque corridor était constitué d'une allée en lames de résine minérale doublée de chaque côté d'une jauge remplie de terre végétale, alimentée en eau par un système d'arrosage par goutte à goutte et recouverte d'un paillis de bois de châtaignier. Les 4 jauges présentes sur site étaient plantées de 25 érables de Montpellier, 25 chênes chevelus et 9 érables champêtres (15 arbres en mélange par jauge). Les individus sélectionnés avaient 5 ans d'âge en moyenne, et faisaient entre 3.5 et 5m de haut. Ils avaient un feuillage bien fourni au moment de leur mise en place (début Juillet 2020). L'une des deux allées a été dotée d'une rampe de brumisation située à 2.3 m de haut et brumisant de

haut en bas. Une troisième allée connectait le kiosque brumisant à la fontaine à boire. Cette allée était constituée de deux types de modules : un premier module supportant une voile d'ombrage montée à 2.3 m sur un cadre de poteaux de pins autoclavés et un second module sous forme de pergolas recouverte par une plante grimpante (jasmin étoilé) prenant racine dans une jauge prévue à cet effet.

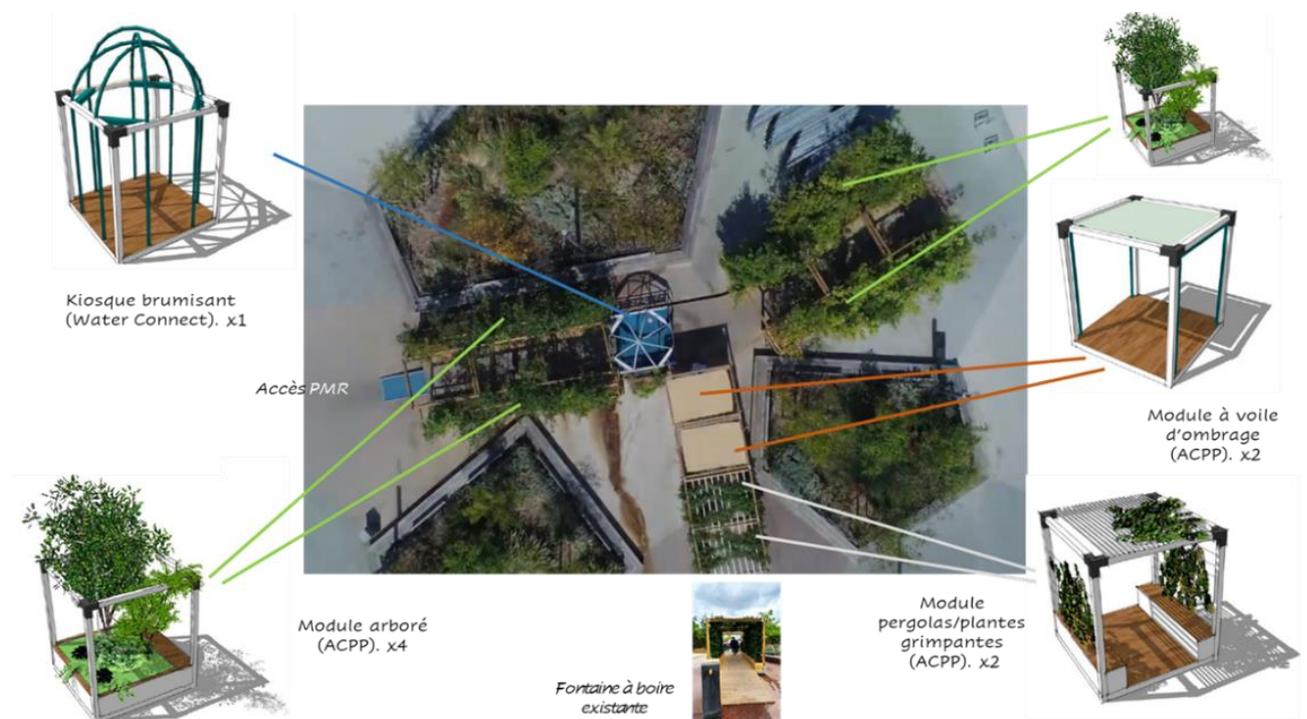


Figure 1. Plan général de l'ilot de fraîcheur (IFU) expérimental déployé à Cenon à l'été 2020

La température de l'air et les températures de surface ont été monitorées manuellement par une opératrice durant l'été 2020 (T°C de l'air : 10 campagnes de mesure entre le 15/07 et le 11/08, sonde KIMO. T°C de surface, 5 campagnes de mesure entre le 07/08 et le 11/08, caméra thermique). Pour chacune des campagnes KIMO, la mesure effectuée sur la dalle nue de la place adjacente a été retranchée à la température mesurée pour chacun des points. Le différentiel ainsi mesuré représente le gain de fraîcheur occasionné.

3. Résultats et discussion

3.1. Approche sociologique de la chaleur à l'échelle d'un territoire

3.1.1. La chaleur ressentie : Un processus d'adaptation psychosociologique

L'exploitation de l'ensemble résultats collectées via les différents moyen d'enquête a montré combien la dimension psychosociale dans l'expérience de la chaleur urbaine apparait déterminante. Le confort thermique d'un espace public ne dépend pas uniquement des données physiques de température, d'humidité et de vitesse du vent mais également des comportements d'adaptation plus ou moins subis ou contraints qu'il impose aux usagers.

Cinq grands facteurs psychosociologiques font varier les sentiments de gênes des individus lors des fortes chaleurs, et influencent leurs choix dans l'usage des espaces publics (choix entre une place à l'ombre d'un arbre ou au soleil par exemple) [ALJAWABRA & NIKOLOPOLOU, 2009].

1er facteur : « La naturalité »

Il s'agit de la « naturalité » des changements thermiques vécus en ville. Les événements thermiques en ville sont plus ou moins bien acceptés si ces derniers sont considérés par les usagers qui les vivent comme des phénomènes naturels, ou, au contraire, s'ils semblent issus de l'action de l'homme : pollution, dérèglement climatique etc. La chaleur sera plus mal vécue si l'action de l'homme semble en être à l'origine ou fortement y contribuer.

2ème facteur : les attendues

Dans les espaces publics, le facteur des « attendues » se rapporte aux représentations et attentes en matière thermique ou météorologiques qu'ont les individus. Ils l'expriment le plus souvent par des phrases de type : « c'est acceptable pour cette période de l'année », « Pour cette période de l'année, je préférerais qu'il fasse plus chaud » ou « c'est l'hiver, donc c'est normal qu'il fasse froid ». [NIKOLOPOLOU, 2003]. Dans les cas où les conditions thermiques s'écartent nettement de ce que les gens avaient vécu les jours précédents, ou au même moment mais dans une année précédente, cela provoque des appréciations différentes et davantage de gêne, trop chaud, trop froid, par rapport à leurs attentes.

3ème facteur : Le niveau d'intensité des changements comportementaux à adopter (Expérience)

Les gênes vis-à-vis de la chaleur ou de tout changement thermique sont plus vives si elles nécessitent des changements de comportements brutaux, radicaux, de la part des individus pour s'y adapter. Si les individus voient changer le confort thermique du jour au lendemain de manière extrême, la gêne sera

plus intense, et ce, d'autant plus si cela se produit sur des courtes durées, de quelques jours par exemple. Dans les moments où l'on doit commencer à s'adapter à la nouvelle situation météorologique, les gênes sont particulièrement fortes et mal vécues, car elles entraînent des ratés, des oublis, des nouveaux réflexes pas encore complètement acquis et cela agace (mauvaises tenues, oubli d'avoir de l'eau sur soi...)

4ème facteur : Le temps d'exposition

L'exposition à l'inconfort n'est pas perçue négativement si l'individu pense qu'elle sera de courte durée. Au contraire, si la personne sait qu'elle va rester pendant un temps plus long dans un endroit, qu'elle se représente comme surchauffé, la gêne pourra être beaucoup plus importante. Les situations d'attentes de transport en commun sont ainsi perçues et vécues comme des temps d'exposition à la chaleur qui sont particulièrement mal vécu, et d'autant plus si cela dépasse plusieurs dizaines de minutes. Les individus interrogés par entretiens semi directifs décrivent certains arrêts de tramway avec précision dans le manque de solutions pour se mettre à l'ombre.

5ème facteur : Le contrôle perçu

Si les individus ont le sentiment de contrôler ou de pouvoir maîtriser l'inconfort lié à la chaleur, les réactions émotionnelles négatives seront considérablement réduites. On constate ainsi au contraire que les individus interrogés par entretiens semi-directifs évoquent très largement une pénibilité liée à la chaleur quand elle se vit dans des moments de déplacements et sortie en ville subis, obligatoire, ou rendus nécessaires. Une grande majorité des personnes parlent ainsi le plus spontanément de leurs déplacements domicile-travail, ou des moments de courses alimentaires avec la fréquentation extrêmement pénible d'un parking de voiture.

3.1.2. La chaleur urbaine : Une recomposition du rapport à la ville, de son confort et de son architecture

Les fortes chaleurs urbaines redessinent l'expérience de la ville [VIVIERE, 2015]. Elles deviennent une nuisance du quotidien et plus généralement, elles exacerbent les défauts de la ville dense, notamment tout ce qui a trait à sa minéralité, qui est pourtant l'ADN d'une ville. La chaleur bouscule les rythmes urbains, les déplacements et les mobilités du quotidien, mais aussi le rapports de ces habitant.e.s à son urbanité, fonction pourtant la plus appréciée des citoyen.e.s et qui participent le plus de l'attractivité résidentielle des Métropoles ces 15 dernières années.

Propreté, bruit, pollution, et la chaleur ? Une nouvelle nuisance à part entière

La chaleur apparait catégorisée, pour les usagers, comme une nuisance du même registre que les autres nuisances urbaines que l'on retrouve plus traditionnellement dans l'espace public telle que le trafic routier, le bruit, les odeurs, le manque de propreté. Cependant, la particularité de la chaleur urbaine en tant que nuisance est, que, contrairement aux autres, elle semble agir comme une nuisance qui vient accentuer toutes les autres. Quand il fait chaud, la saleté des espaces publics et des rues apparait plus forte, et les rues en deviennent jusqu'à « crasseuses ».

« On est entre la place sainte Croix et le Cours de la Marne donc c'est très minéral, et quand il fait très chaud, il y a un peu le côté animé, mais animé crado, avec plein de gens qui zonent. Ça fait sale. Peut-être que la chaleur ça augmente l'effet de crasse. »

Yann, 33 ans

De l'intensité urbaine au besoin d'intensité de nature

L'intensité urbaine est fortement remise en cause lors des épisodes de forte chaleur. Il n'est plus question d'aborder la ville par son accès aux services, aux mobilités, aux commerces et aux loisirs mais quasiment exclusivement par rapport à son intensité, cette fois, de nature. Les individus parlent de leur logement et de leur quartier sous le prisme de son accès plus ou moins facile à un espace de verdure, et non plus par rapport à son accès ou sa distance au centre-ville, facteur qui pèse généralement de manière prépondérante dans les stratégies résidentielles.

Vers une stigmatisation sévère des éléments architecturaux qui constituent la morphologie classique de la ville

Principale grande famille d'éléments architecturaux qui renforcent le sentiment de chaleur, le béton, le bitume et la minéralité. La totalité des entretiens semi directifs menés révèle la mauvaise réputation qu'ont ces éléments architecturaux. Le béton est unanimement décrié. Son aspect, sa couleur, son homogénéité, sa répétition rend l'architecture interchangeable, d'un quartier à un autre, d'une ville à une autre, et renforce le sentiment de l'inconfort du lieu en cas de chaleur. Il est d'autant plus décrié et pointé du doigt qu'il apparait comme une matière qui s'est substituée au végétal, qui a pris la place de la nature et qui l'étouffe.

Les personnes interrogées critiquent aussi la ville patrimoniale et historique, plus souvent nommée sous le qualificatif de ville minérale, pour la distinguer de la ville de l'immobilier. Elles font la distinction entre la ville bétonnée et la ville minérale. L'esthétique de la ville minérale n'est pas remise en cause par la chaleur. Ce sont avant tout ses fonctions premières d'espace de rassemblement, vitalité, fréquentation large voire touristique, espaces de flânerie, de shopping qui sont sous le feu des critiques.

Enfin, les jardins et espaces jardinés, étriqués et avec parfois juste un petit espace de pelouse, semblent mal adaptés aux très fortes chaleurs. Au contraire, ils participent à produire une ville inconfortable, aux

espaces « crevés », « secs », « desséchés » (termes employés par les personnes interrogés) plutôt qu'à la rafraichir.

« A Copenhague, les parcs sont en pleine ville et il n'y a pas du tout ces grilles, on a l'impression que la nature est dans la ville quoi. Il y'a pas de séparation, ça ne fait pas pareil. Je trouve nos jardins inconfortables. »

Céline, 49 ans

L'urbanité quand il fait très chaud : le double rejet de ville morose et du bain de foule.

Les attentes des usagers en matière d'urbanité est apparu comme fortement paradoxale dans les cas de fortes chaleurs. En effet, leurs attentes concernant l'urbanité (animation de l'espace public) semblent se contredire. La foule, synonyme de vitalité bruyante mais recherchée [Florida, 2002 ; Viviere 2015] est évitée à tout prix dès qu'il fait trop chaud. D'animation joyeuse, elle devient une agglutination oppressante et participe à augmenter la sensation de chaleur.

« Il y a difficilement des endroits pour se rafraichir parce que les parcs à Bordeaux étaient pleins et puis les rues aussi donc beaucoup de sentiment de chaleur partout. J'évite le centre-ville qui est hyper minéral. Quand je dis le centre-ville c'est plutôt l'hôtel de ville et le vieux Bordeaux tout ce qui est autour des Quinconces par exemple. »

Nicolas, 32 ans

À l'autre extrême, une trop faible animation des places, des rues et des centres-villes semble participer à déprécier tout autant ces mêmes espaces quand il fait chaud. La morosité de l'ambiance urbaine, le quasi désertique en été, ce rythme à « l'espagnol », qui n'est pas une pratique culturelle encore très ancrée est perçue comme un rythme urbain subi. Ainsi, de nombreuses petites villes moyennes sont citées en référence de villes repoussoirs l'été comme Limoges localement.

3.2. Approche cartographique du potentiel de rafraichissement à l'échelle d'un territoire

L'indice IFU projeté sur le territoire d'étude (ici Bordeaux métropole, Fig. 2a) renseigne sur les espaces pertinents pour y installer un îlot de fraîcheur au regard des températures de surface du lieu ainsi que de la densité et de la typologie de la population qu'il héberge. Plus la note IFU est élevée, plus la couleur du polygone est soutenue. A titre d'exemple, en ne conservant que les espaces de couleur soutenue sur la ville de Bordeaux (Fig. 2b), de nombreux secteurs du centre-ville (zones densément peuplées et propices aux ICU) apparaissent prioritaires pour déployer un îlot de fraîcheur. Un grand nombre de lieux émergent également en périphérie. Les espaces ciblés sont souvent dominés par des grands ensembles HLM, à forte densité de population, avec une proportion d'adolescents élevée (familles) et

un revenu moyen inférieur à l'ensemble du reste du territoire d'étude (part des ménages pauvres plus élevée).

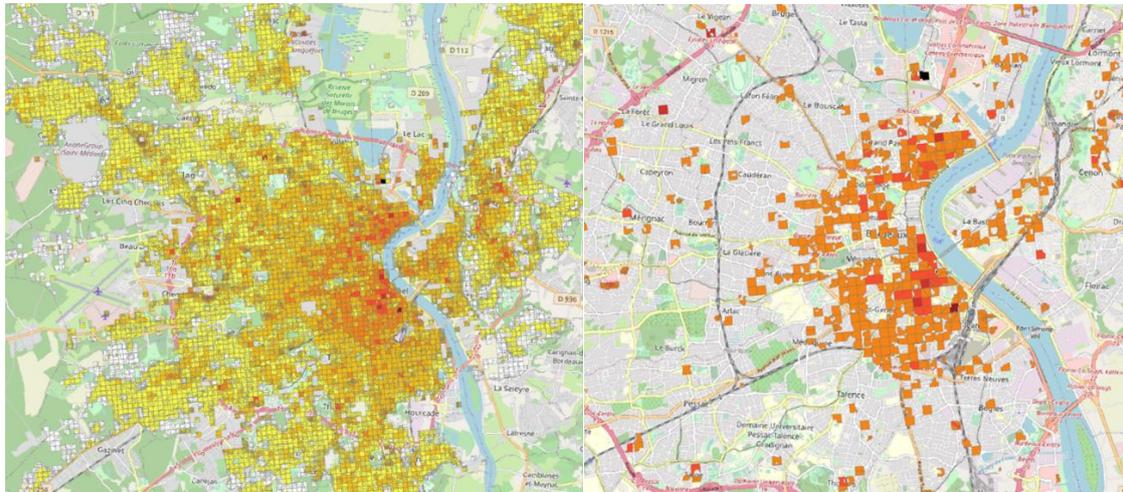


Figure 2. Gauche (a) projection de l'indice IFU sur le territoire de Bordeaux métropole. Droite (b) Zoom sur les espaces d'intérêt, cas de la ville de Bordeaux

L'outil cartographique VISION permet en couplant des données de thermographie et des données sociétales INSEE, de cibler avec précision les espaces publics pertinents pour y déployer un îlot de fraîcheur urbain (IFU). La mesure de référence n'est plus la seule mesure physique (températures de surface obtenues par thermographie ou bien modélisée suivant l'approche *Local Climate Zone*, LCZ [LECONTE, 2015]) mais une mesure qui couple la notion de chaleur en ville avec la notion d'occupation du sol par les populations du territoire. L'information produite apparaît en adéquation avec les besoins et les attentes des usagers (*Ex. Un grand hangar localisé en zone périphérique faiblement urbanisée peut apparaître sous la forme d'un ICU, mais ne sera pas propice à l'implantation d'un IFU. A contrario, un espace de grand ensembles entouré de quelques arbres et de zones enherbées n'apparaîtra pas forcément comme un ICU, mais la population qu'il héberge est demandeuse de solutions pour se rafraîchir en été, pouvant conduire à des phénomènes de street-pooling. Cet espace peut donc être prioritaire pour y déployer un IFU*). L'agence d'urbanisme bordelaise a proposé un outil similaire en 2019, l'occupation du sol étant renseigné grâce au PLU [A'URBA, 2019]. L'approche est similaire mais l'outil cartographique VISION propose un niveau de résolution plus élevé (mailles de 200 m de côté maximum), avec un focus sur la typologie des habitants qui va au-delà de la typologie du bâti, pour au final localiser avec plus de précision les rues et places pertinentes pour envisager des *bulles de fraîcheur*. Les réseaux d'eau et d'électricité, ainsi que la localisation des points d'eau potable publics et des parcs et jardins peuvent également être projetés sur le rendu cartographique, pour cibler avec encore plus de précision les contraintes et opportunités existantes sur le territoire d'étude. Ces informations sont utiles lors des échanges avec les pouvoirs publics pour la faisabilité de mise en place.

3.3. Pouvoir rafraichissant des solutions testées

3.3.1. Arbres en ville

Les arbres d'alignement en ville permettent de rafraichir la surface minérale au sol dans une gamme [15-20°C] en plein cœur de l'été, et la température de l'air dans une gamme [1-3°C] (Fig. 3 & 4). Ces valeurs recourent (en gamme haute) celles issues de la méta-analyse de SANTAMOURIS *et al.* [2017], reprises par le CEREMA [BERNARD *et al.*, 2020]. Ce pouvoir de rafraîchissement se cantonne cependant là encore à la zone ombragée par le houppier, et chute brutalement dès que l'on s'éloigne de celle-ci.

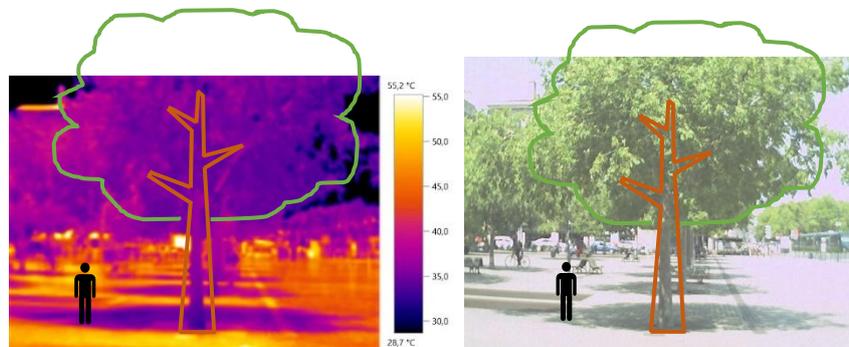


Figure 3. Températures de surface autour d'un arbre de la place J.Jaurès, le 06/08/20

Le léger différentiel observé entre le rafraichissement procuré par un bosquet urbain [1-1.5°C] et celui offert par un arbre d'alignement [1-3°C] ne nous permet pas ici d'affirmer que la densité d'arbres en ville est un facteur prépondérant dans leur pouvoir rafraichissant.

Les mesures fournies par les enregistreurs en continu de température localisés au cœur des houppiers des deux arbres test ne nous ont pas permis de détecter une variation dans le pattern journalier des températures entre l'arbre arrosé et l'arbre non arrosé. Les deux arbres testés puisaient probablement directement leur besoin en eau dans les eaux souterraines non profondes dans ce secteur. Par conséquent l'effet de l'arrosage sur la température de l'air via le phénomène d'évapotranspiration n'a pas pu être testé, les arbres n'ayant jamais manqué d'eau.

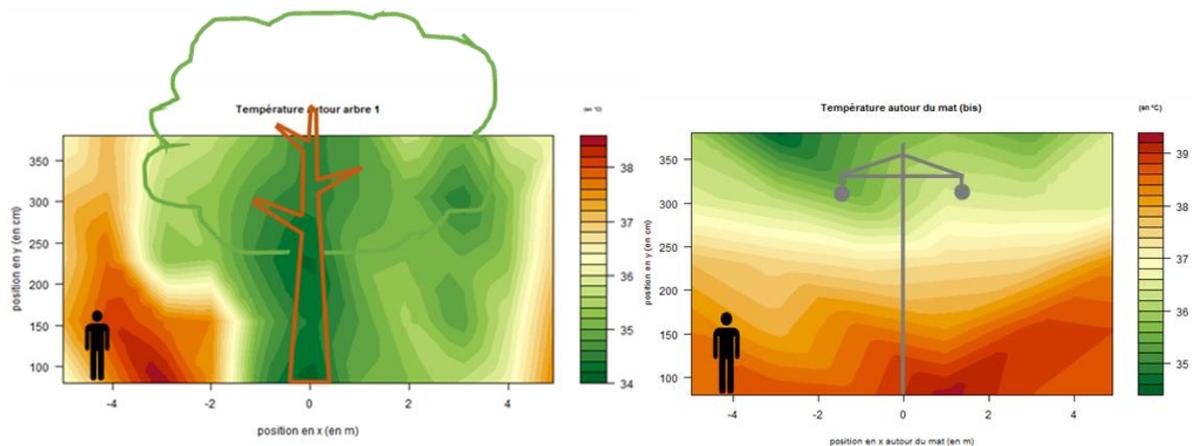


Figure 4. Enveloppe de fraîcheur autour d'un arbre d'alignement (place Jaurès, Bordeaux), par comparaison à l'enveloppe de fraîcheur autour d'un mat-témoin, dans les mêmes conditions

Les aménageurs ne doivent pas perdre de vue que le pouvoir rafraichissant de l'arbre réside avant tout dans l'ombrage apporté, celui-ci pouvant être très réduit dans le cas d'arbres d'alignement en ville par exemple. Les densités de plantations et les surfaces de houppier sont des facteurs importants à prendre en compte pour rafraichir l'espace urbain.

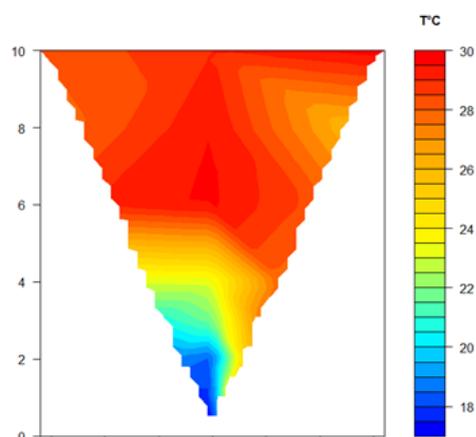
3.3.2. Pouvoir rafraichissant des fontaines ornementales

De manière générale, les fontaines ornementales présentent une (très) légère capacité à rafraichir l'air ambiant ($< 1^{\circ}\text{C}$), et seulement l'utilisateur se trouve à moins d'un mètre de l'eau (principalement grâce aux gouttelettes projetées par les jets d'eau). Ce type de fontaines n'apporte pas de rafraichissement efficace. Cette conclusion est illustrée par les mesures réalisées en caméra thermique : seule la zone en eau – non utilisée par le public sauf baignades exceptionnelles (interdites) – offre une source de fraîcheur. A proximité directe de la fontaine, les températures au sol sont équivalentes à celles de la place alentour.

3.3.3. Brumisateurs-ventilateurs

En moyenne, le rayon d'action efficace des brumisateurs-ventilateurs testés est de l'ordre de 3-5 mètres maximum. Le gain de température est dans la gamme $[10-12^{\circ}\text{C}]$ à une distance d'1m du dispositif par comparaison à l'air ambiant. Au-delà de 5m cet effet sur la température de l'air est nul (Fig. 5). La brumisation est une option intéressante de rafraichissement, mais qui – seule - a un pouvoir limité et très localisé. Nous préconisons de l'accompagner d'un support végétalisé qui va en faciliter l'acceptation sociale tout en maximisant son efficacité puisqu'il y aura ainsi une synergie entre la fraîcheur procurée par la brumisation est celle offerte par l'ombrage, le tout concourant à générer une « bulle de fraîcheur ».

D'autre part le besoin en eau et en électricité ne facilite pas la mise en place de ce type de dispositif dans l'espace public. Enfin, une brumisation en continu n'est pas conseillée car elle véhicule une image



de gaspillage de la ressource. Il est préférable de munir les systèmes de brumisation de boutons poussoir pour favoriser un rafraîchissement à la demande, ou bien de programmeurs permettant de brumiser par intermittence, en s'adaptant aux conditions météo.

Figure 5. Enveloppe de fraîcheur dans l'aire d'action théorique d'un brumisateur-ventilateur

3.3.4. Aires de jeux d'eau

Les aires de jeux d'eau (50m²) monitorées durant les 3 mois d'été de 2019 n'avaient pas pour objectif de produire un rafraîchissement de l'air ou des surfaces (même s'ils participent à réduire la température au sol dans une gamme [15-20°C]). La fraîcheur qu'ils dispensent réside dans un rafraîchissement par contact, sous forme d'aspersion. La consommation moyenne a été estimée à 450 m³ sur l'ensemble des trois mois d'été (soit 5000 litres/jour/aire), avec un pic de consommation en Juillet. Par comparaison, le phénomène de *street-pooling* à Bordeaux Métropole a généré une perte d'eau de l'ordre de 5000m³ durant ce même été. La fréquence d'utilisation était maximale en fin de journée (17-20h). Ces solutions offrent une vraie source de rafraîchissement aux populations vivant alentour à conditions d'être aménagé en fonction des usagers : sécurité du revêtement, aménagements ludiques pour les enfants avec de l'ombre pour les accompagnants mais également pour les adolescents et jeunes adultes (public le plus souvent impliqué dans le *street-pooling*).

3.3.5. Humidification de la chaussée versus recouvrement par peinture blanche réfléchissante

Le recouvrement de la place de parking de la zone test à Cenon par une peinture blanche de type coolroof® a permis de réduire la température de surface dans une gamme [15 à 20°C] pendant les 90 minutes d'étude (la température de la place bitumée a oscillé entre 50 et 55°C tandis que la température de la place repeinte était dans la gamme [30-35°C]). A l'échelle d'un large espace ouvert en ville, ou bien dans le cadre de la création d'un îlot de fraîcheur temporaire, peindre le sol avec une peinture réfléchissante blanche apparaît comme une solution pertinente sans nécessité d'entretien ultérieur si

ce n'est le renouvellement de la couche de peinture tous les 5/7 ans (cf pays du Sud dont l'architecture intègre la couleur blanche depuis plusieurs siècles).

L'arrosage de la chaussée a également permis de rafraîchir la température du bitume jusqu'à 15°C mais cet effet est limité dans le temps. Au-delà de 45 minutes, après évaporation de l'eau, les températures remontent pour atteindre progressivement la température du bitume non arrosé (*un delta de 5°C reste cependant notable au bout de 90 minutes*). Au niveau impact sur la température de l'air l'humidification de la chaussée a permis de rafraîchir de -2°C à hauteur d'homme au moment de l'arrosage mais cet effet s'estompe très rapidement (<30 minutes). Ces données recourent les mesures réalisées dans le cadre l'expérimentation EVA [MUSY *et al.*, 2017], menée à Lyon de 2012 à 2014. Plusieurs programmes d'arrosage de la chaussée ont été testés et des mesures réalisées par caméra thermique y ont estimé un écart de température de surface d'environ 12°C entre des zones humidifiées et des zones sèches, dans une rue ensoleillée. L'aspersion de la chaussée offre un vrai pouvoir rafraîchissant du sol, et de l'air à hauteur d'homme, mais ses effets sont limités dans le temps et il est consommateur d'eau. Si la seule ressource à disposition est une eau provenant du réseau d'AEP, son utilisation est déconseillée.

3.3.6. L'îlot de fraîcheur urbain (IFU)

Les mesures de température de surface prises au sein de l'îlot de fraîcheur déployé à Cenon (33) confirment une capacité du végétal (allées arborées, pergola de Jasmin) et de la brumisation à réduire la température au sol dans une gamme [15-20°C] par comparaison à un espace minéral nu, en plein soleil. Le voilage permet également de réduire la température au sol, mais dans une moindre mesure [6-8°C]. En revanche, les lames en résine minérale utilisées pour créer le cheminement dans l'IFU présentent une température de surface, dans les portions où elles sont exposées au soleil, de >20°C supérieure à celles de la dalle minérale nue. Le choix du matériau, et de sa couleur, sont donc de première importance dans la conception d'un IFU, de manière à tendre vers un albedo le plus élevé possible.

En termes de températures ressenties, les pergolas de jasmin et les allées arborées sont les espaces où le gain de fraîcheur ressenti est le plus fort [1.5-2°C], ce qui confirme le pouvoir du végétal pour rafraîchir un espace (Fig. 6). Les voiles d'ombrages sont moins performantes, avec un gain de fraîcheur de l'ordre de 0.5°C. Le kiosque brumisant ne fait chuter la température ressentie que de 0.5°C immédiatement après utilisation. Cependant, son intérêt réside dans la fraîcheur procurée par la brumisation elle-même sur la peau plutôt que d'un rafraîchissement global de l'atmosphère.

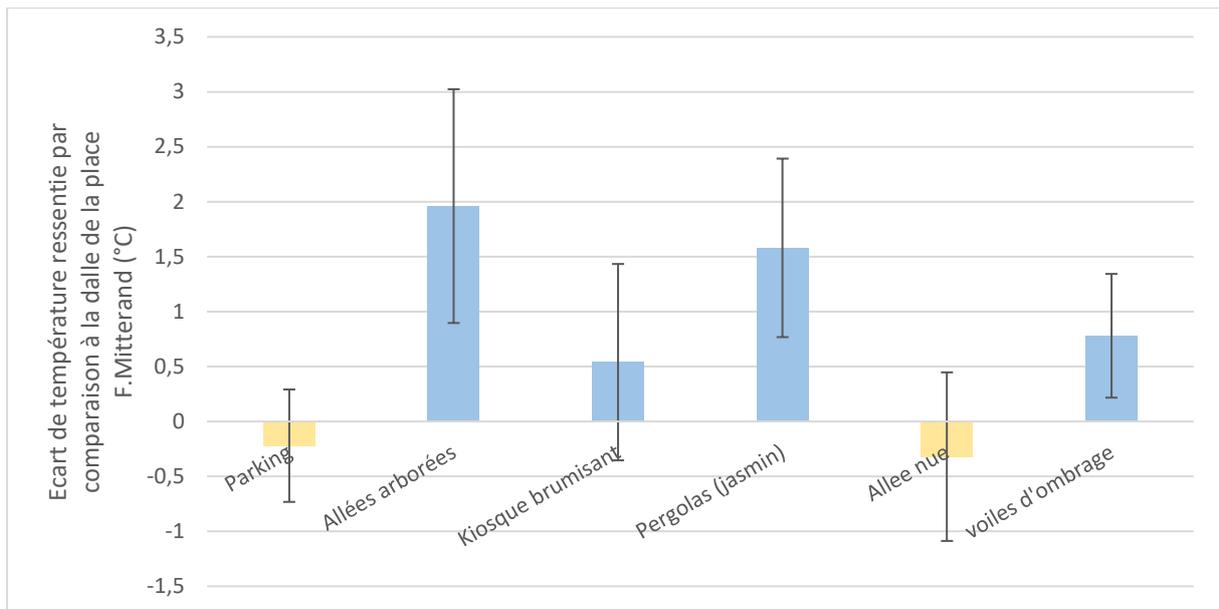


Figure 6. Différentiel de température ressentie en divers points de l'IFU par comparaison à la température extérieure, sur la dalle minérale nue.

L'alliage du végétal et de la brumisation au sein de l'îlot de fraîcheur urbain (IFU) a permis de proposer une 'bulle de fraîcheur' aux habitants du quartier en proposant une canopée végétale temporaire l'espace d'un été, dans un cadre à l'origine très minéral. La brumisation est venue compléter le dispositif sous une forme à la fois ludique et économe en eau, à destination première des plus jeunes, mais également des adultes. L'IFU s'est ainsi converti en un vrai lieu de repos, très prisé de la population locale (notamment les jours de marché sur la place).

3.4. Comparatif des solutions testées

L'ensemble des données récoltées dans le projet VISION permet de poser un cadre pour comparer des options de rafraîchissement entre elles. Plusieurs grandes lignes ressortent :

- Les aires de jeux d'eau sont très efficaces pour se rafraîchir mais elles consomment des volumes d'eau significatifs par comparaison aux autres solutions. En outre elles requièrent une alimentation électrique pour fonctionner.
- Les brumisateurs-ventilateurs consomment beaucoup moins d'eau que les aires de jeux d'eau mais ils sont tributaires d'une alimentation électrique. Certains systèmes, tel le kiosque brumisant testé dans l'IFU de Cenon n'ont cependant pas besoin d'électricité pour fonctionner, la seule pression du réseau leur suffit. Ces systèmes sont à privilégier.
- Le végétal en ville permet de rafraîchir l'air sous les frondaisons de l'ordre de 2°C en moyenne. La sensation de fraîcheur qu'il procure est cependant plus diffuse que celle offerte par les jeux d'eau et la

brumisation. Le végétal vient adoucir un espace, tandis que les dispositifs de rafraîchissement viennent offrir une source localisée de fraîcheur. Les deux approches sont complémentaires.

- Les solutions de rafraîchissement de la chaussée et/ou des matériaux, telles que l'arrosage ou le recouvrement par une peinture blanche, apportent une plus-value à l'échelle de la cité en augmentant l'albedo, mais ne procurent pas (ou peu) de franche sensation de rafraîchissement à hauteur d'homme (dans le cadre d'une consommation raisonnée de l'eau pour arroser la chaussée). Ces solutions viendront en complément de dispositifs de rafraîchissement, pour en améliorer le potentiel.
- Les toiles d'ombrages offrent une solution d'atténuation de la chaleur (ex. rues étroites dans les pays du sud de l'Europe), sans pour autant rafraîchir *sensu stricto*.)
- Les fontaines ornementales sont des ouvrages d'art culturels mais n'apportent pas (ou très peu) de fraîcheur de manière directe aux usagers (elles apportent cependant un accès visuel et auditif à l'eau qui procure une sensation indirecte de fraîcheur).

Pour comparer les solutions testés, nous avons étudié un cas fictif dans le cadre du projet. Imaginons qu'une collectivité veuille rafraîchir une surface de 100m² (un accès à l'eau potable et à l'électricité sont disponibles dans ce cas de figure) (Fig.9). Les options à disposition sont par exemple 1. deux petites aires de jeux d'eau (à l'image de celles testées dans le projet VISION), 2. une aire brumisée ventilée (4 brumisateurs aux 4 extrémités) 3. une désimperméabilisation du sol associée à la plantation d'un petit bosquet urbain (5/6 arbres matures + strate herbacée), 4. un recouvrement du sol par une peinture blanche ou bien encore 5. Le déploiement d'un îlot de fraîcheur urbain (ex. 6 modules : 1 brumisant, 4 modules végétalisés, 1 module à voile d'ombrage). Le projet VISION a permis de tester ces différents scénarios et de les comparer entre eux (radars) après standardisation des données (Fig. 7). Une note basse sur le radar renseigne sur un point faible de l'option, une note haute sur un point fort [détail [Rapport Vision, 2021](#)].

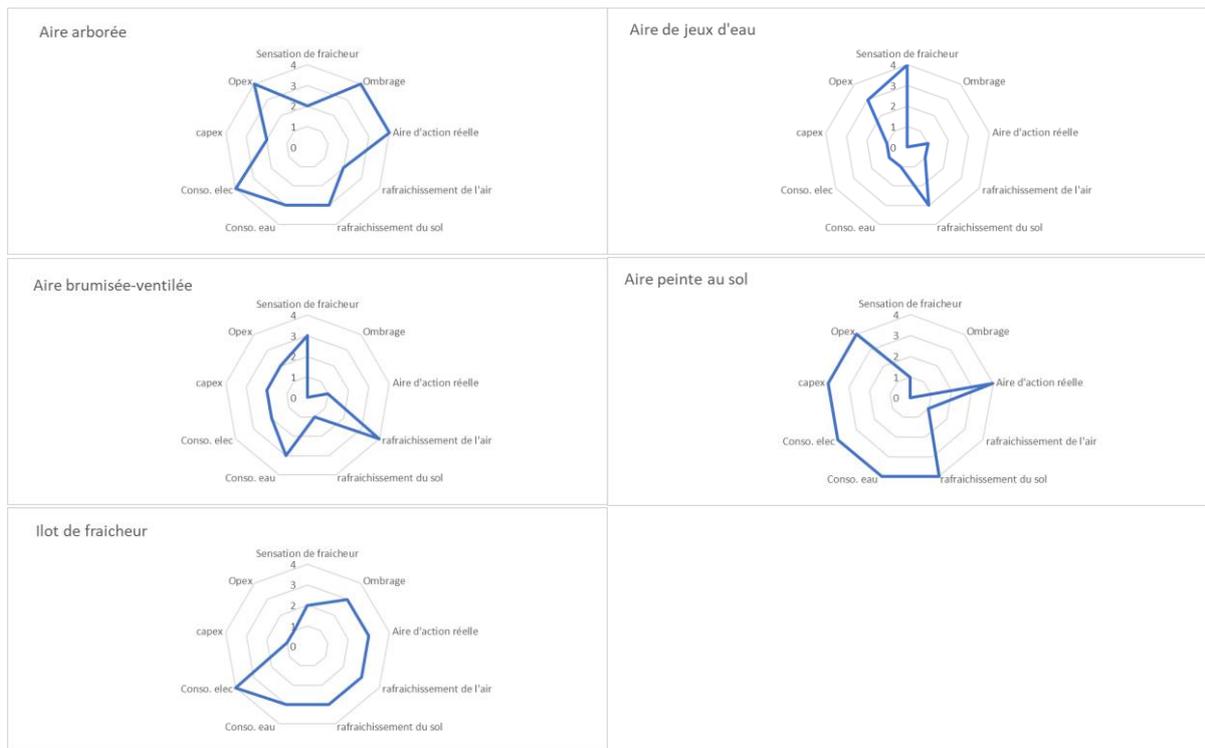


Figure 7. Diagramme radar traduisant les points forts et les points faibles des 5 options envisagées pour rafraîchir un espace urbain minéral de 100m²

Une analyse du cycle de vie (ACV) a également été réalisée dans le cadre du projet pour un scénario de rafraîchissement d'une aire minérale de 100m² basé sur 1 ilot de fraîcheur (IFU) ou 2 aires de jeux d'eau ou bien encore 4 brumisateurs-ventilateurs. Parmi ces trois solutions, et sur la base de 16 critères évalués dans le cadre de l'ACV, le dispositif générant le moins d'émission de gaz à effet de serre était l'IFU, suivi par les aires de jeux d'eau puis les brumisateurs-ventilateurs (respectivement 610, 810 et 880 kgCO_{2e}) [rapport VISION, 2021].

3.5. Retour des usagers

Les solutions de rafraîchissements des villes perçues par les usagers : les arbres d'abord !

La solution la plus plébiscitée pour faire face aux désagréments causés par les fortes chaleurs est de loin la végétalisation de l'espace urbain. La recherche sémantique des réponses ouvertes des participants indique en effet que plus de la moitié d'entre eux ont cité les mots "arbres" ou "végétalisation". Cette tendance se retrouve aussi dans les réponses aux micros-trottoirs amont, où de nombreux répondant.e.s disent préférer la végétalisation à l'utilisation de la ressource en eau. Cette volonté de végétalisation semble fait consensus et coïncident avec le fort intérêt des participant.e.s pour les questions environnementales

Une acceptabilité sociale tout en contradiction des solutions de rafraîchissement mobilisant l'eau

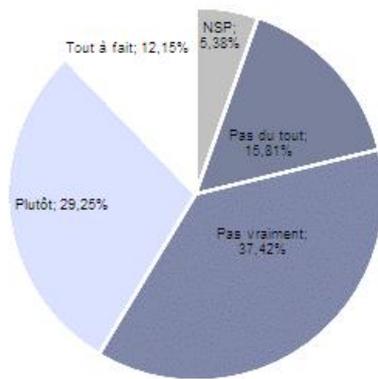


Figure 8. Acceptabilité de l'utilisation d'eau pour les solutions de rafraîchissement

Les résultats des différentes enquêtes montrent une contradiction forte en termes d'acceptabilité des solutions de rafraîchissement mobilisant l'eau (Fig. 8). Plus les usagers sont éloignés symboliquement, spatialement et temporellement d'une expérience de forte chaleur, plus ils vont apporter de la réflexivité à leurs réponses et associer la mobilisation de l'eau pour rafraîchir l'espace public à quelque chose de négatif, essentiellement autour de la notion de gaspillage de la ressource en eau potable (particulièrement chez les plus conscients d'un point de vue environnemental). Ainsi, les répondant.e.s au questionnaire en ligne, en répondant depuis chez

eux, ou, du moins, derrière un écran, sont davantage dans une position réflexive. Ils ont pu prendre soin de leur réponse et se distancier de l'expérience de la chaleur. Cela explique le fait de s'être positionné de manière majoritairement critique face à la mobilisation de l'eau potable pour des solutions de rafraîchissement au regard des enjeux environnementaux. Ils sont près de 53% à penser que d'utilisation de la ressource en eau n'est pas une solution pour le rafraîchissement des espaces urbains.

A l'inverse, les personnes interrogées par micros-trottoirs au printemps 2019, en se projetant plus facilement dans une situation de forte chaleur sur le quartier avec l'arrivée des beaux jours, ont été beaucoup plus enthousiastes à la mobilisation de l'eau potable dans des solutions de rafraîchissement sur leur quartier. Près de 77% des personnes interrogées en 2019 par micros-trottoirs y sont très favorables.

Tous les types de répondant.e.s se retrouvent en revanche sur la nette préférence à utiliser de l'eau de pluie (près d'un répondant sur deux) plutôt que de l'eau potable pour alimenter les solutions de rafraîchissement, ou bien un fonctionnement en circuit fermé.

Enfin, certaines personnes ont évoqué dans les entretiens des dispositifs hybrides comme les îlots de fraîcheur, mixant végétalisation et brumisation comme des solutions astucieuses.

L'îlot de fraîcheur : succès d'un nouvel équipement de rafraîchissement, de proximité, et de convivialité

Parmi les solutions déployées dans le cadre du projet VISION (jeux d'eau, brumisateurs...), l'îlot de fraîcheur implanté l'été 2020 sur Palmer, quartier populaire de la ville de Cenon, fut la solution reçue avec le plus d'enthousiasme par les usagers (Fig. 9). Pour les habitants et usagers, c'est un vecteur d'embellissement d'une large place de marché très minérale et cernée de barres HLM, qui a su ainsi

gagner en confort. L'îlot de fraîcheur invite à y séjourner plus longtemps, avec des enfants, et non plus seulement à ne faire que la traverser ou venir exclusivement y faire son marché.

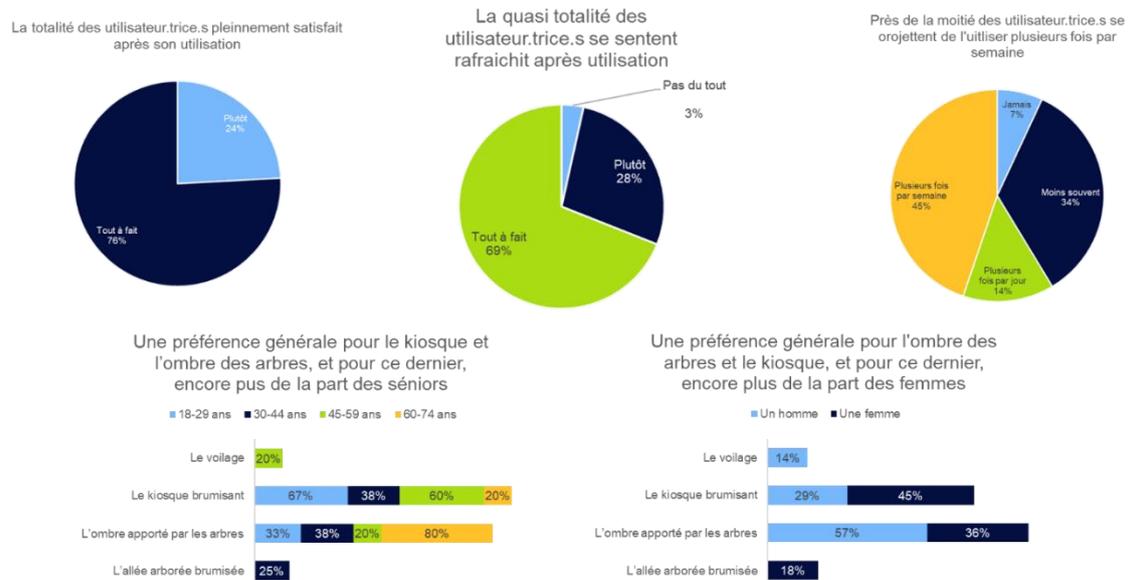


Figure 9. Retour des usagers sur le dispositif « îlot de fraîcheur »

Au regard des observations menées, les solutions de fraîcheur participent à rendre les espaces publics plus inclusifs, c'est-à-dire, qui n'excluent personne par son utilisation et son fonctionnement, et qui réunissent toutes les sensibilités, et favorisent la mixité sociale et générationnelle. Il a été notamment surinvesti par les femmes : adolescentes les jours de marché, mères de familles, mères allaitantes, femmes âgées, femmes voilées qui utilisent volontiers le kiosque. Souvent, les espaces sportifs à destination des jeunes hommes (city stade, paniers de baskets...), financés grâce à des dispositifs politiques de la ville qui cherchent avant tout à sécuriser et apaiser les espaces publics, laissent peu de place aux femmes. Celles-ci n'ont d'autres choix, le plus souvent, que de se rabattre sur des aires de jeux pensées uniquement pour leurs enfants, inconfortables, et destinées à surveiller plutôt qu'à s'y réunir entre femmes adultes.

De plus, si l'îlot de fraîcheur fut réfléchi et conçu initialement comme un espace à traverser, comme un espace de déambulation, les observations ont démontré une appropriation sociale strictement à l'opposé. Les utilisateurs de l'îlot en ont fait, au contraire, un lieu de repos et d'apaisement, idéal après s'être mêlé à la foule bruyante et oppressante du marché. Les utilisateur.trice.s utilisent l'îlot de fraîcheur pour marquer une halte à l'ombre des arbres pendant plusieurs minutes. C'est aussi devenu un lieu d'attente, de RDV, et un endroit pour bavarder entre voisins. Il permet aussi de faire patienter les enfants ou de leur proposer de se dépenser un peu, à jouer en sécurité au sein de cet espace protégé par les arbres et la pergola. L'îlot de fraîcheur a été détourné de sa vocation première de déambulation. Mais, pour remplir complètement cette fonction de halte, des manques sont apparus, en creux. Parmi les plus notoires, les personnes ont été contraintes de s'asseoir sur le rebord étroit des bacs de plantes, ou directement dans la terre paillée.

3.6. Contraintes et verrous à lever avant de déployer une solution de rafraîchissement

L'un des enseignements principaux du projet VISION réside dans la complexité à déployer des solutions originales de rafraîchissement en ville à une échelle plus modeste que celle des grandes installations comme les miroirs d'eau Bordelais ou Nantais ou bien encore des aires de jeux d'eau de grande taille (ex. jardins de la Brèche, Niort). En effet, ce type d'installation implique un réaménagement complet du site qui permet d'anticiper et de s'adapter dès le début du projet aux contraintes techniques et réglementaires. Dans le cas du déploiement d'installations temporaires de rafraîchissement, voire même pour l'installation de solutions pérennes de taille réduite non corrélées à la réalisation de gros travaux annexes, le poids des contraintes est à anticiper en amont car il va conditionner à la fois le site d'implantation et la nature du dispositif. Par conséquent, il ne sera pas forcément réalisé sur site tel que pensé sur le papier. Ce décalage peut s'avérer un vrai frein dans un déploiement à large échelle de dispositifs de rafraîchissement innovants en ville.

Parmi les contraintes, la première est celle de l'accès aux réseaux. Par définition, pour alimenter un système de rafraîchissement basé sur l'eau, une arrivée d'eau (potable) doit être disponible à proximité directe du site d'implantation. Cette première contrainte réduit fortement le panel de sites potentiels d'installation. Une alternative est la réalisation d'un piquage sur le réseau, mais cette option a un coût pouvant être conséquent au regard du coût global de l'installation. En outre, il est parfois compliqué, voire impossible, de réaliser un tel piquage en ville au vu de la nature ou de l'occupation des sols en surface. L'utilisation d'eau de pluie est souvent proposée comme une alternative à l'eau potable. La contrainte principale réside cependant dans la capacité de stockage de cette ressource en saison sèche, et malgré certaines avancées marginales (mobiliers urbains dédiés, jardins de pluie, etc.) cette contrainte reste un frein majeur pour exploiter l'eau de pluie en tant que ressource pour rafraîchir en été.

L'accès au réseau électrique peut s'avérer nécessaires pour certains dispositifs (ex. brumisateurs-ventilateurs). Là encore, cette contrainte va réduire très fortement le panel de sites où une installation temporaire peut être proposée sans toucher à l'existant, ou bien augmenter le coût du chantier d'une installation à vocation pérenne.

Au-delà de ces contraintes techniques, la réglementation sur la qualité des eaux utilisées pour rafraîchir les usagers – notamment par brumisation, solution préférentielle à l'heure actuelle – impose une utilisation d'eau potable exclusivement et des contrôles réguliers sur le pas de temps de fonctionnement du dispositif (ex. problématique de la légionellose). Ceux-ci sont à prévoir en amont de son installation.

L'occupation du sol est également une donnée à ne pas négliger lors de la phase amont à l'installation. En effet, une autorisation d'occupation doit être obtenue au préalable de la part de la collectivité ou structure en charge de l'espace (public ou privé) sur le site choisi.

Enfin, la solution mise en place devra être suffisamment résistante pour supporter le risque de vandalisme ou de dégradations occasionnées par un détournement de son usage initial. A titre

d'exemple l'IFU déployé à Cenon a souffert d'actes de vandalisme (arrachage de tuyaux d'arrivées d'eau pour la brumisation et l'arrosage qui ont conduit à les renforcer) et de dégradations involontaires (ex. lame de résine au sol arrachée par le passage de skateboards).

L'ensemble de ces contraintes réglementaires et verrous techniques doit être abordé en amont du projet afin de produire un cahier des charges répondant au mieux aux besoins et attentes des usagers. Ces freins sont parfois pris en compte au dernier moment lors du déploiement de solutions de rafraîchissement, ce qui conduit à l'installation de dispositifs déconnectés de la réalité de terrain, et par conséquent peu efficaces.

4. Conclusion

Le projet VISION s'est consacré à l'étude de solutions de rafraîchissement durables basées sur l'eau pour soulager les habitants et usagers d'un territoire urbain subissant la chaleur dans l'espace public. Le premier outil développé a consisté à croiser des données cartographiques couplant des mesures de thermographie et des données sociétales pour identifier les sites pertinents pour déployer des solutions de fraîcheur sur un territoire urbain.

Les enquêtes sociologiques ainsi que les mesures tests réalisées sur différents types de dispositifs pendant 2 années montrent que les solutions les plus acceptables et efficaces sont celles associant végétal, ombre et eau. Comme solution utilisant l'eau, la brumisation apparaît comme celle la plus pertinente car elle apporte un rafraîchissement direct par contact et est relativement économe en eau.

Pour la ressource en eau, il existe certes des solutions innovantes basées sur une utilisation d'eau de pluie, cette demande étant en outre poussée par une demande sociétale forte, mais l'occupation du sol en zone urbanisée dense limite la possibilité de stockages d'eau souterrains. De plus la réglementation très sécuritaire oblige à brumiser avec une eau potable strictement. Ainsi les contraintes urbaines et la réglementation de santé publique laissent très peu de place à l'utilisation d'une ressource autre que l'eau potable pour rafraîchir. Le recyclage n'est possible que pour des aménagements de type fontaines ornementales ou nécessitent des traitements conséquents ayant des impacts environnementaux contraires à la démarche.

Il est alors nécessaire de réinventer des oasis de fraîcheur dans le 'désert urbain'. Cette solution a été mise en œuvre dans le projet sous forme d'un îlot de fraîcheur urbain (IFU), constitué de différents modules *low tech* associant végétation et brumisation et a emporté une large adhésion auprès des acteurs et usagers au niveau local. L'un des atouts du système est de s'affranchir d'une alimentation électrique en fournissant une brumisation produite grâce à la pression du réseau.

Par ailleurs, en amont de tout projet, il est préconisé d'adosser la conception de l'équipement à une approche sociologique du territoire, de manière à bien comprendre et à intégrer les usages du site, la

typologie des habitants et leurs besoins. Ce socle permet d'initier des démarches de co-construction, tant avec ces usagers qu'avec les décideurs du territoire. De manière plus générale, les solutions de rafraîchissement temporaire étudiées dans le projet VISION représentent une des briques d'un schéma global d'adaptation des villes à la chaleur. Elles ont vocation à compléter des actions à plus grande échelle de réhabilitation urbaine et d'accès à l'eau dans la ville comme le débusage de cours d'eau, la mise en valeur de zones de stockage d'eau de pluie

Bibliographie

- Agence de l'Eau Adour Garonne. (2021) : « VISION Quelles solutions de rafraîchissement basées sur l'eau en ville ». [Rapport] 136p
- Akima H., Gebhardt A., Petzold, T., Maechler, M. (2016) "Interpolation of Irregularly and Regularly Spaced Data". R package available at <https://cran.r-project.org/package=akima>
- Aljawabra F., Nikolopoulou M. (2009): "Outdoor Thermal Comfort in the Hot Arid Climate" 26th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Quebec City, Canada
- A'Urba. (2019) : « Adapter les tissus urbains de la métropole bordelaise au réchauffement climatique ». [Rapport] 126p
- Bernard J., Musy M., Marie, H. (2020) : « Rafraîchissement des villes : solutions existantes et pistes de recherche. Adaptation au changement climatique et projet urbain ». In Marry, S. ed. *Adaptation au changement climatique et projet urbain*. PARENTHESES/ADEME
- Florida R. (2002): "*The Rise of the Creative Class: and how it's Transforming Work, Leisure, Community and Everyday Life* », New York, Basic Books
- Institut d'Aménagement et d'Urbanisme (2017) « Adapter l'Île-de-France à la chaleur urbaine : Identifier les zones à effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) et établir leur degré de vulnérabilité afin de mieux anticiper ». 155p
- Institut National de Santé Publique du Québec. (2009) : "Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains". [Rapport] 77p
- Kakoniti A., Georgiou G., Marakkos, K. et al. (2016): "The role of materials selection in the urban heat island effect in dry mid-latitude climates" *Environ Fluid Mech* 16: 347–371
- Leconte F (2015) : « *Caractérisation des îlots de chaleur urbain par zonage climatique et mesures mobiles : Cas de Nancy* ». [Thèse]. Université de Lorraine. 274p
- Musy M., Maillard P., Azam MH., Bailly JB., Barel E., et al. (2017) « EVA (Eau, Végétation, Albédo) Evaluation quantitative de l'impact sur le microclimat, les consommations énergétiques, des bâtiments et le confort intérieur de trois principes de rafraîchissement urbain. Application au quartier de la Part-Dieu à Lyon". [Rapport] ADEME ;IRSTV FR CNRS 2488. 329p.
- Nikolopoulou M., Steemers K. (2003): "Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces" *Energy and Buildings* 35: 95–101

- Santamouris M., Ding L., Fiorito F., Oldfield P., Osmond P., Paolini R., Prasad *et al.* (2017) : "Passive and active cooling for the outdoor built environment-Analysis and assessment of the cooling potential of mitigation technologies using performance data from 220 large scale projects". *Solar Energy* 154: 14-33
- van Oldenborgh G.J., Philip S., Kew S., Vautard R., Boucher O., Otto F., Haustein K., Soubeyroux JM., Ribes A., Robin Y., Seneviratne SI., Vogel MM., Stott P., van Aalst M. (2019) : "Human contribution to record-breaking June 2019 heatwave in France". [Rapport] The World Weather Attribution team. 32p.
- Vivière M. (2015). « *Les représentations sociales de la densité dans l'habitat : vers une faubourisation métropolitaine : Fabrication, appropriation, territorialisation* ». [Thèse]. CED-Univ. Bordeaux. 401 p.
- Wang W., Shu J. (2020): "Urban Renewal Can Mitigate Urban Heat Islands" *Geophysical research letters* 47:6
- Zhou B., Rybski D., Kropp JP. (2017): "The role of city size and urban form in the surface urban heat island". *Scientific reports* 7:4791

6

POSTER ASTEE



VISION

Quelles solutions de rafraîchissement basées sur l'eau en ville ?







2 ans
Bordeaux Métropole

Lauréat 2017 de l'appel à projet « Villes et territoires intelligents pour l'eau », de l'Agence de l'Eau Adour Garonne

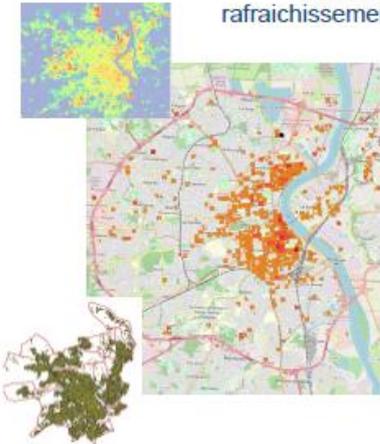
Identifier, comprendre et prendre en considération les **besoins et les attentes des usagers** face aux vagues de chaleur



Benchmark des solutions aujourd'hui existantes pour rafraîchir l'espace urbain



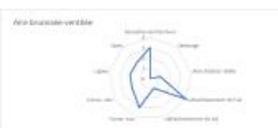
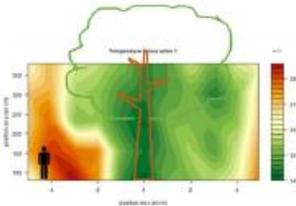
Méthode cartographique pour cibler les secteurs où déployer des solutions de rafraîchissement en ville



concertation avec les acteurs du territoire impliqués dans la gestion actuelle et future de la transition énergétique et environnementale



Tester et documenter le pouvoir rafraîchissant de dispositifs dans l'espace public compatibles avec une démarche d'économie en eau



Les livrables du projet VISION sont disponibles dans le rapport *VISION Quelles solutions de rafraîchissement basées sur l'eau en ville (2021)*



Prénom / Nom de l'intervenant / Structure

