

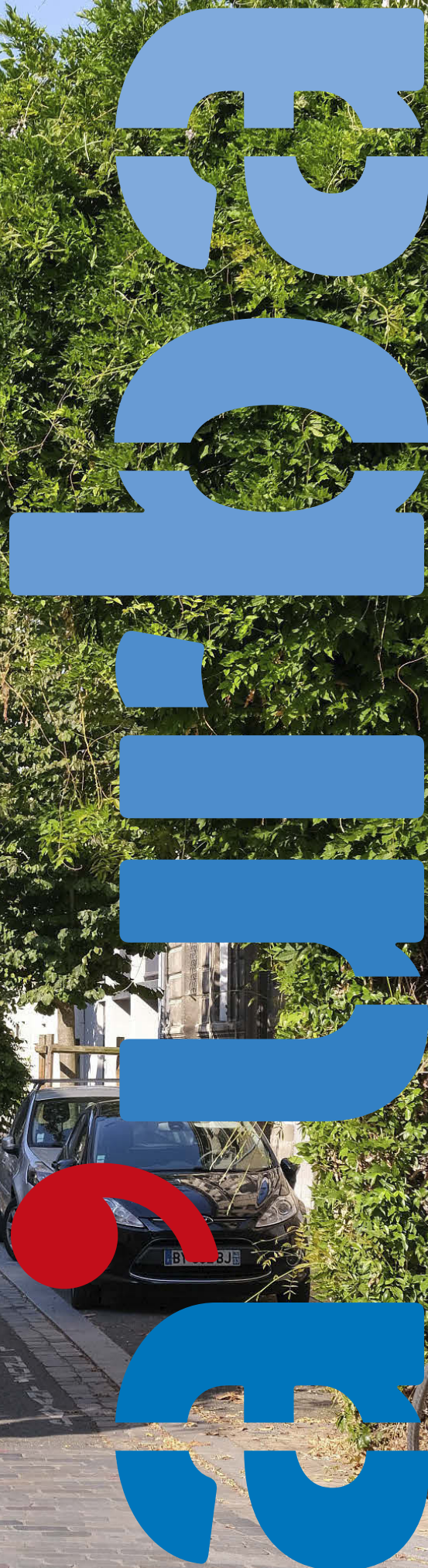
Regard sur l'espace public

De l'îlot de chaleur urbain à l'îlot de fraîcheur

Mécanismes en jeu
et principes
pour des aménagements
plus résilients

synthèse

09 / 2020



1	Réchauffement climatique et ICU: la vulnérabilité de tout un territoire	p. 4
2	Une métropole en quête de stratégie	p. 6
3	L'ICU en question	p. 8
4	De l'espace au milieu public, vers une perception écosystémique de la ville	p. 18
5	Principes pour favoriser la mise en œuvre des îlots de fraîcheur	p. 20
6	Références	p. 26
7	Repères de mise en œuvre	p. 30

Sous l'effet du dérèglement climatique, les crises environnementales, sanitaires et sociales mettent en exergue certaines vulnérabilités des milieux urbains tels qu'ils ont été développés au cours du XX^e siècle. L'urbanisation des cinquante dernières années, que certains qualifient de galopante, a été stimulée par plusieurs périodes économiques fastes et des besoins en logements justifiés par une démographie nationale croissante.

Cette urbanisation marquée par une forte imperméabilisation des sols est l'une des conséquences du modèle de développement urbain guidé par l'automobile et le report de l'habitat et des activités en périphéries des centres anciens. À l'image d'un écosystème appauvri ou d'un modèle agricole trop centré sur la mono-culture, certains espaces publics sont tellement simplifiés, rudimentaires dans leurs aménagements, qu'ils contribuent à la création d'îlots de chaleur urbains (ICU). Ils ne comportent aucune zone refuge qui soit confortable lors de fortes chaleurs. Les choses semblent évoluer vers un regain d'intérêt pour une nature en ville plus présente.



Alameda Manuel Ricardo Espírito Santo - Lisbonne - José Adrião Arquitectos © Tecnovia

Au-delà de ses fonctions esthétiques et environnementales, le végétal en milieu urbain est de plus en plus appréhendé comme une infrastructure vivante, support de mobilités douces, de loisirs et de santé publique. Dans cette logique, et afin de contrecarrer les effets des îlots de chaleur dans nos villes, les espaces publics tendent de plus en plus à offrir à leurs usagers des îlots de fraîcheur, prenant toutes sortes de formes, de la pergola à la forêt urbaine, en passant par le bosquet ou la place plantée. Pourquoi, où et comment aménager au mieux ces nouvelles oasis urbaines¹ ?

1. Carnet élaboré en collaboration avec le service espace public et patrimoine de Bordeaux Métropole et le service santé et qualité de vie de Bordeaux Métropole

1 Réchauffement climatique et ICU : la vulnérabilité de tout un territoire

Le climat de la Nouvelle-Aquitaine s'est déjà réchauffé d'environ + 1,4 °C au cours de la période 1959-2016

par rapport à l'ère préindustrielle. Selon les experts, ce réchauffement ne va cesser d'augmenter, entraînant des effets collatéraux : moindre enneigement des Pyrénées, réduction du débit des rivières, baisse du rendement de certaines cultures céréalières et difficulté pour la viticulture de contrôler le taux de sucre.

Les villes (Bordeaux, Limoges, Poitiers, La Rochelle, Pau etc.) sont d'ores et déjà soumises à des vagues de chaleur intenses, mettant de plus en plus en évidence le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU). **Celui-ci se traduit par des augmentations de températures pouvant atteindre plus de cinq à dix degrés Celsius en centre-ville qu'en banlieue plus lointaine ou dans le périurbain.** L'élévation du niveau de la mer, prévue à 80 cm à la fin du siècle, affectera l'estuaire de la Gironde et le bassin d'Arcachon. Les zones côtières et les secteurs fluviaux subiront un risque de submersion et de crues liées à de fortes marées et éventuellement à une hausse des précipitations¹.

Si rien n'est fait, à l'échelle régionale, la température augmentera d'un à deux degrés supplémentaires d'ici 2050, provoquant une augmentation du nombre annuel de jours supérieurs à 30° C. Le régime des précipitations va continuer à se modifier, avec notamment une importante diminution en été et une légère augmentation en période hivernale, et des événements probablement plus forts en intensité. L'évapotranspiration des plantes va augmenter, ne permettant plus une recharge efficace des nappes phréatiques ; tout cela amenant au glissement progressif vers un profil climatique méditerranéen. Concernant les territoires urbains, on observe deux phénomènes majeurs étudiés, conséquents du changement climatique : les îlots de chaleur urbains et la montée du niveau des eaux attendue en 2100.

1. Le diagnostic de vulnérabilité du territoire de la métropole au changement climatique (fait par Artélia) n'a pas montré de tendance significative en ce qui concerne les épisodes de fortes précipitations.

Les risques sanitaires liés au changement climatique

Ceux liés au stress thermique sont très importants lors des périodes de forte chaleur, épisodes caniculaires et événements météorologiques extrêmes. Le risque de mortalité est accru pour les personnes vulnérables et sensibles (personnes âgées, jeunes enfants, personnes présentant des pathologies chroniques). La perte de qualité du sommeil pendant ces périodes de canicule a un effet général sur les performances intellectuelles et la vigilance. Le réchauffement contribue à étendre l'aire de répartition de certaines maladies et de certains porteurs d'agents pathogènes. L'invasion du moustique tigre pourrait à terme entraîner le développement de maladies tropicales comme la dengue. L'inconfort thermique des habitants, ainsi que les problèmes de santé qui y sont liés, font de la lutte contre le phénomène d'ICU un enjeu majeur pour la métropole.

Contexte climatique sur la métropole bordelaise et inconfort thermique estival

Bordeaux Métropole regroupe 28 communes, concentrant 791 958 habitants¹. Son territoire s'étend sur 57 000 hectares et jouit d'un climat océanique doux et tempéré : on observe des situations météorologiques très variables, avec, entre autres, des épisodes de forte chaleur et des périodes de canicule pouvant atteindre, voire dépasser, les 35°C le jour, tandis que les minimales pendant la nuit peuvent être élevées, en étant proches ou supérieures à 18°C lors des périodes estivales. Lorsque ces situations apparaissent, il est possible de mesurer des températures très élevées qui ont atteint 39°C en 2011 et 42,6°C lors de la canicule de juillet 2019.

Une étude sur les îlots de chaleur urbains du territoire menée avec Bordeaux Métropole fait état en 2013, année de canicule, de 41 jours à plus de 30°C, 16 jours à plus de 35°C et un jour à plus de 40°C. Cette situation sera probablement amenée à se reproduire de manière régulière dans les prochaines années.

1. Population de la métropole au 1^{er} septembre 2020 (estimation Bordeaux Métropole - Insee 2017)

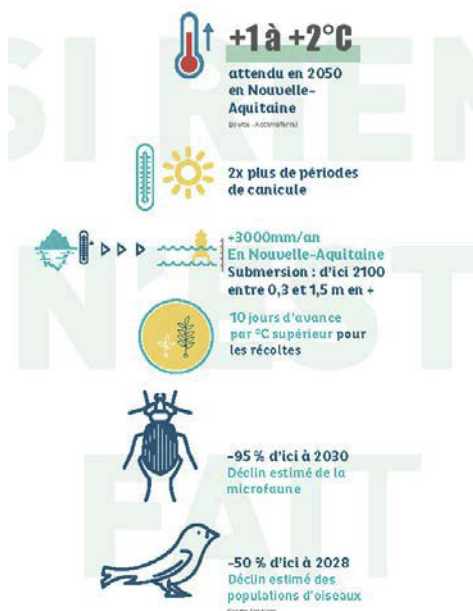
➤ L'a-urba a publié en 2019 le rapport **«Adapter les tissus urbains de la métropole bordelaise au réchauffement climatique»** dont la première partie de ce carnet restitue les principaux éléments d'analyse.

Voir : <https://www.aurba.org/productions/adapter-les-tissus-urbains-au-rechauffement-climatique/>



450 scientifiques mobilisés pour établir un diagnostic sur le changement climatique et la biodiversité

SI RIEN N'EST FAIT :



Extrait de la synthèse Neo Terra

Source : <https://www.neo-terra.fr/feuille-de-route>

FOCUS : Neo Terra, la feuille de route de la Nouvelle-Aquitaine pour « accompagner et accélérer la transition »

La région Nouvelle-Aquitaine est la première à avoir conçu une stratégie d'adaptation au dérèglement climatique. Le climatologue Hervé Le Treut dirige le Comité Scientifique Régional sur le Changement Climatique missionné par le Conseil Régional. Pilotant le projet nommé AcclimaTerra, ce comité est composé d'un groupe d'experts regroupant 240 scientifiques. L'objectif du projet est d'apporter les connaissances nécessaires à la stratégie d'adaptation régionale au changement climatique, en étudiant les domaines de l'agriculture, la forêt, l'économie, la santé environnementale, la biodiversité, etc.

Deux rapports furent présentés : « *Les impacts du changement climatique en Aquitaine* » (2013) et « *Anticiper les changements climatiques en Aquitaine* » (2018). Ces travaux ont permis au Conseil Régional en juillet 2019 de définir une feuille de route spécifique pour la région Nouvelle-Aquitaine, nommée Neo Terra.

Les risques de catastrophes naturelles :

- Submersion des côtes marines accrue à l'horizon 2100 en Nouvelle Aquitaine.
- Augmentation du risque inondation dû aux ruissellements et aux crues.
- Risques d'événements climatiques extrêmes plus importants (tempêtes).

11 engagements pris pour passer du diagnostic à l'action :

- Favoriser l'engagement citoyen pour accélérer la transition écologique.
- Accélérer et accompagner la Transition Agro-écologique.
- Accélérer la transition énergétique et écologique des entreprises de Nouvelle-Aquitaine.
- Développer les mobilités « propres » pour tous.
- Développer et systématiser un urbanisme durable, résilient, économe en ressources et qui s'adapte aux risques naturels et aux changements climatiques.
- Construire un nouveau mix énergétique.
- Faire de la Nouvelle-Aquitaine un territoire tendant vers le « zéro déchet » à l'horizon 2030.
- Préserver nos ressources naturelles et la biodiversité.
- Préserver et protéger la ressource en eau.
- Préserver les terres agricoles, forestières et naturelles.
- Faire de la Région Nouvelle-Aquitaine une administration exemplaire dans la transition.



Neo Terra ©Sébastien Blanquet-Rivière

Source : <https://www.nouvelle-aquitaine.fr/grands-projets/neo-terra-la-feuille-de-route-de-la-transition-environnementale-et-climatique>

2 Une métropole en quête de stratégie

Dans ses scénarios, le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) prévoit que le territoire de la métropole bordelaise puisse avoir en 2050 un climat équivalent à celui de Séville. En 2017, Bordeaux Métropole a actualisé son PCET en PCAET (Plan climat air énergie territorial) dans le cadre de l'élaboration de son « Plan d'action pour un territoire durable à haute qualité de vie ». Ce document fixe un cadre stratégique pour la période 2017-2050 et précise un plan d'action pour la période 2017-2022, structuré autour de trois axes et douze objectifs.

Il identifie l'adaptation au changement climatique et en particulier la **lutte contre les îlots de chaleur urbains, comme l'un des enjeux-clés de l'aménagement et de l'urbanisme durables sur le territoire de la métropole.**

Ainsi peut-on trouver dans l'objectif 7 « Construire un territoire résilient face aux risques naturels et climatiques », des **actions devant permettre de mieux comprendre la vulnérabilité du territoire face aux vagues de chaleur et d'anticiper l'augmentation des températures par des adaptations concrètes afin de protéger les populations.**

Une des mesures opérationnelles, préconisées dans la fiche-action 24 « *Contribuer à l'adaptation au changement climatique* », propose la **mise en œuvre d'un plan d'action spécifique au climat urbain.** Cela doit passer par des actions de sensibilisation et d'accompagnement de projets d'aménagements majeurs sur le territoire métropolitain.

Cependant, l'adaptation de l'environnement urbain est accentuée sur les sites majeurs de renouvellement urbain de la métropole et en moindre mesure sur les tissus existants. La prise en compte de la lutte contre les îlots de chaleur urbains est abordée au sein d'autres thématiques environnementales, telles que le rôle de l'eau dans la lutte contre ce phénomène urbain.

Bordeaux Métropole s'est donc efforcée ces dernières années de s'intéresser à la problématique de l'augmentation des températures en ville et plus globalement à l'adaptation au changement climatique. L'intégration de la question du climat urbain au sein de l'Agenda 21 de la Communauté Urbaine de Bordeaux (CUB) a permis dès 2011, à travers la commande d'une étude spécifique de diagnostic des ICU et des IFU (îlots de fraîcheur urbains), d'approfondir les connaissances sur le sujet et de préfigurer de premières solutions de rafraîchissement.

Vers un urbanisme bioclimatique.

Il s'agit d'adapter nos territoires de vie urbains et ainsi d'ajuster les systèmes naturels ou humains à des stimuli climatiques, à leurs effets néfastes ou d'exploiter les opportunités bénéfiques. En parallèle, des politiques publiques et industrielles de réduction des gaz à effet de serre (GES) doivent être nécessairement menées pour limiter le changement climatique à l'échelle mondiale. L'enjeu de l'atténuation du réchauffement climatique passe par l'articulation de documents-cadre (SRCE/SRADDET, PCAET/PLU) à différentes échelles.

L'échelle du projet urbain, même si elle ne répond pas à l'échelle globale, est un territoire d'action pertinent pour une mise en place d'actions concrètes bénéfiques aux habitants concernés. Parmi les stratégies de résilience les plus simples et efficaces à mettre en œuvre, l'îlot de fraîcheur est régulièrement cité comme un des incontournables de la ville de demain.

Assurer une synergie locale au service d'une stratégie transversale.

La coordination des élus, des services techniques, des citoyens, des usagers et des acteurs économiques est indispensable pour relier les politiques sectorielles locales concernant la planification réglementaire et les projets urbains. **Ces projets devront traduire les principes d'un urbanisme résilient, flexible et tourné vers la préservation de l'environnement.** La végétalisation, voire le ré-ensauvagement, peut intégrer ces stratégies dont l'objectif est de rééquilibrer au sein de l'environnement urbain le minéral et le végétal, l'inerte et le vivant, l'imperméable et le perméable. Dans ce cadre, la façon de programmer, concevoir puis gérer les espaces publics est cruciale.

FOCUS : 55 000 hectares pour la nature

Le projet « 55 000 hectares pour la nature » a été lancé au cours de l'année 2012. Ce marché lancé sous la forme d'un dialogue compétitif et impulsé par la démarche « 50 000 logements autour des axes de transports collectifs », visait à élaborer des stratégies de valorisation positionnant la nature au cœur du projet métropolitain sur le territoire de la Communauté Urbaine de Bordeaux.

➤ Pour en savoir plus :

Synthèse finale de la démarche

<https://www.bordeaux-metropole.fr/Grands-projets/Grands-territoires-de-projets/55-000-hectares-pour-la-nature>

Ce développement d'une « stratégie nature » à l'échelle de la métropole bordelaise répond à **cinq enjeux-phares identifiés sur le territoire** :

- la nature comme catalyseur de la ville dense ;
- les valeurs pour conforter des grands territoires Nature ;
- les usages pour des zones inondables et des zones humides fonctionnelles en ville ;
- l'identité du territoire à partir de la définition des trames vertes et bleues ;
- la gestion du temps de la nature sur les friches et les espaces en mutation.

«Stratégie Nature» de PLU 3.1 de Bordeaux Métropole © Bordeaux Métropole / a'urba



3 L'ICU en question

Si le phénomène d'effet de serre agit globalement à l'échelle de la planète, celui d'îlot de chaleur urbain (ICU) correspond à sa traduction locale, sous l'influence des caractéristiques morphologiques du milieu urbain.

Concrètement, l'effet d'îlot de chaleur urbain traduit le fait que les températures sont globalement plus élevées en ville qu'à la campagne. Ce phénomène est particulièrement accentué en cas d'épisode caniculaire et se traduit, dans ces conditions, de jour comme de nuit.

Schématiquement, de jour, l'environnement urbain, très artificialisé, va s'échauffer davantage que l'environnement plus végétalisé de la périphérie et de la campagne.

En outre, la nuit, les matériaux constitutifs de la ville vont relarguer la chaleur emmagasinée le jour, chaleur qui va avoir d'autant plus de mal à s'évacuer qu'elle sera piégée dans des rues dites « canyons ».

La surchauffe urbaine constitue un défi urbain majeur aujourd'hui, du fait des enjeux qu'elle représente :

vulnérabilité de certaines populations à une forte chaleur (personnes âgées, enfants etc.), dégradation de la qualité de l'air (transformation des NOx en ozone) ou encore aggravation de certains phénomènes et aléas (retrait-gonflement des argiles notamment).

Cinq grands processus physiques sont en jeu dans la formation des ICU :

1. Augmentation des capacités de stockage de la chaleur par les matériaux.
2. Augmentation du bilan radiatif terrestre¹
3. Diminution de l'évacuation de la chaleur par écoulement de l'air.
4. Diminution de l'évacuation de la chaleur par le végétal et l'eau.
5. Importance des dégagements de chaleur anthropiques.

Du point de vue des espaces publics, les quatre premiers principes sont particulièrement en jeu.

1. Le bilan radiatif de la Terre quantifie l'énergie reçue et perdue par le système climatique terrestre, donc au niveau de l'atmosphère, du sol et des océans.



Rue de Son Tay - Quartier Belcier - Bordeaux



Place Pey Berland - Bordeaux

FOCUS : La résilience, une notion qui interroge

La résilience est un terme physique qui définit la capacité de résistance d'un corps ou d'un matériau à un choc ou à une déformation. Le champ sémantique de la résilience s'est récemment invité dans d'autres domaines comme la biologie, l'économie, la planification et l'écologie urbaine. Au sens large, **on peut considérer la résilience comme la capacité, pour un système donné, à surmonter les altérations provoquées par un ou des éléments perturbateurs, pour retrouver son état initial et/ou un fonctionnement normal.** Il s'agit donc d'une qualité faisant référence à la plasticité d'un corps, d'un organisme ou d'un espace à pouvoir gérer sa transformation et perdurer.

La résilience des milieux et leurs communautés

Certains phénomènes menacent aujourd'hui les sociétés humaines et notre capacité de résilience face à eux semble limitée. Il en est ainsi du réchauffement climatique qui n'a pas du tout été anticipé dans les politiques industrielles et économiques mondiales. Il est donc devenu au fil du temps un problème sérieux menaçant la capacité de survie de nos sociétés.

La résilience des sociétés, qu'on appelle « *résilience communautaire* », renvoie donc à la capacité d'une société à être préparée aux chocs et aux crises, ainsi qu'à sa capacité à les surmonter. Par exemple, dans les sociétés soumises à des phénomènes sismiques, les communautés ont su progressivement s'adapter en adoptant des normes de constructions spécifiques limitant les dégâts en cas de séisme. En ce sens, elles ont amélioré leur résilience.

La résilience urbaine

Dans le domaine de l'urbanisme, on parle de résilience urbaine lorsqu'il s'agit de **percevoir et concevoir les environnements urbains en fonction des perturbations qu'ils sont susceptibles de subir.** Un des principaux axes de la résilience urbaine est de trouver une conception pluridisciplinaire de la ville qui permette aux systèmes urbains d'être adaptables et résistants aux crises écologiques, climatiques ou physiques. Par exemple, il s'agira de choisir pour les habitats des matériaux adaptés aux conditions climatiques locales, de doter les constructions de systèmes permettant de conserver (voire de produire) de l'énergie et des ressources, d'intégrer les problématiques écologiques, les questions de la circulation de l'air et de la pollution.

Température de surface du territoire métropolitain le 4 septembre 2013

Source : Étude ICU, a'urba, 2019



Une approche typo-morphologique

Il existe une méthode générique pour appréhender de façon localisée la question des ICU à l'échelle d'un territoire communal ou intercommunal : la méthode LCZ.

Les géographes canadiens Timothy R. Oke et Ian D. Stewart ont établi un système de classification géo-climatique des sites urbains et ruraux en fonction de leur différenciation thermique, appelé Zones Climatiques Locales (Local Climate Zones, LCZ). Cette méthode permet de qualifier les espaces ouverts et construits selon le type d'influence climatique, en se basant sur leur typo-morphologie, leur comportement thermique et radiatif et leur capacité de rafraîchissement.

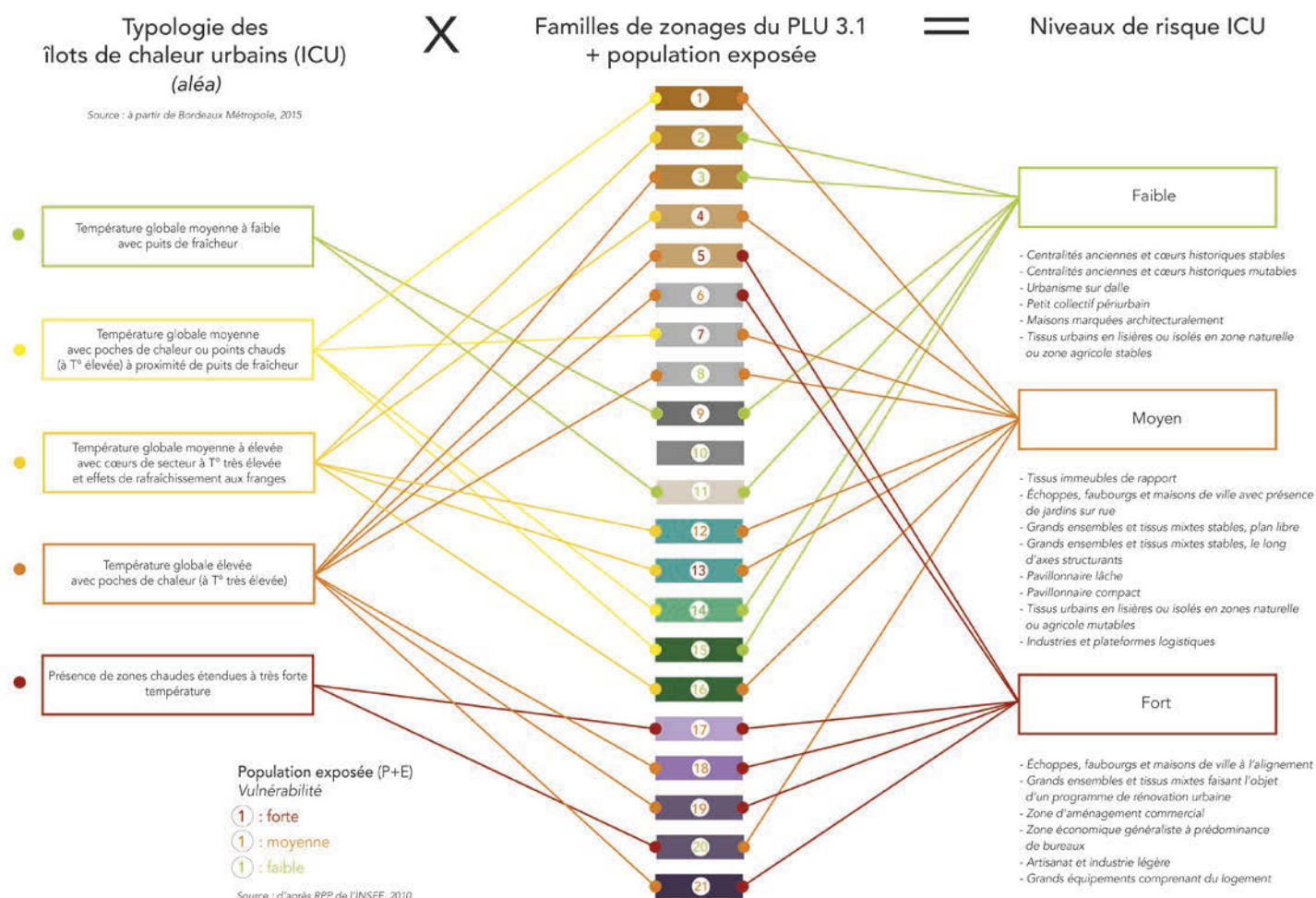
Ces principaux paramètres urbains (comme la part de végétation, la hauteur et la forme du bâti, l'humidité du sol, la rugosité des arbres ou encore les émissions de chaleur humaine) influent sur le climat urbain et donc sur la formation de l'ICU. Bien que les tissus urbains des villes d'Amérique du Nord diffèrent beaucoup de ceux d'Europe par leur forte hétérogénéité, cette méthode de territorialisation des ICU est cependant transposable à des villes européennes et notamment françaises, en faisant correspondre certaines LCZ avec des classifications morphologiques existantes.

Pour autant, cette méthode ne permet pas de rendre compte de spécificités locales, comme le tissu d'échoppes pour la métropole bordelaise.

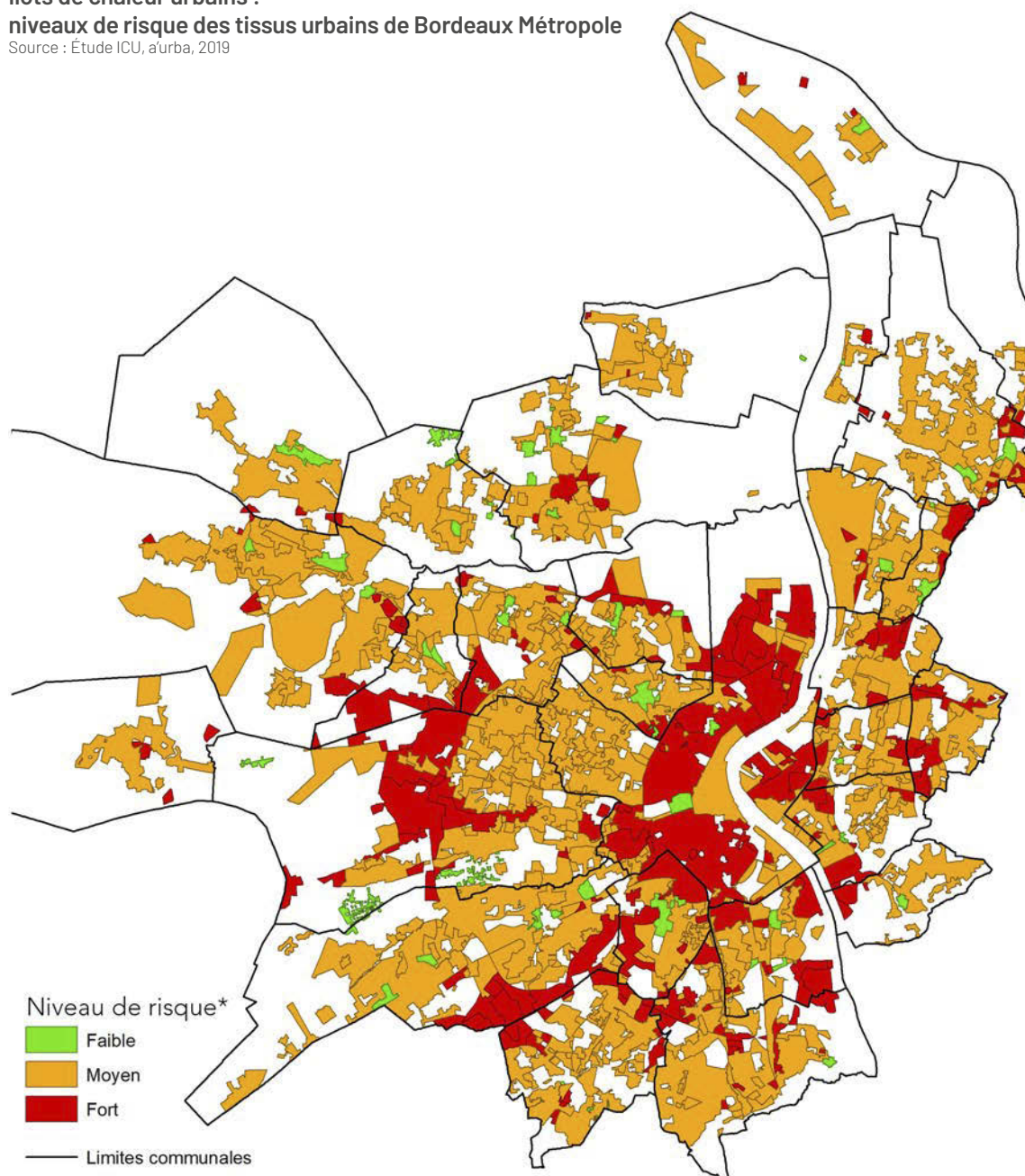
En alternative à la méthode LCZ, l'a-urba a développé une approche fondée sur les zonages du PLU 3.1 de Bordeaux Métropole.

Ce choix résulte d'une double motivation :

- D'une part, les zonages du PLU permettent à la fois de disposer d'une clé de territorialisation intéressante des tissus urbains de la métropole, mais également de les appréhender du point de vue de leur évolution dynamique (les règlements traduisant la plus ou moins forte mutabilité de chaque zone) ;
- D'autre part, l'approche par zonage du PLU autorise des propositions d'évolution du règlement écrit en vue d'une meilleure adaptation du territoire aux ICU. Cela offre l'intérêt d'adapter le territoire en s'appuyant sur sa dynamique de construction « au fil de l'eau », encadrée par le PLU. Cela permet, en outre, de mettre en œuvre l'action « 8.1- Intégrer des éléments de lutte des ICU dans les documents de planification (PLU) » des fiches actions issues de l'étude de Bordeaux Métropole.



Îlots de chaleur urbains :
niveaux de risque des tissus urbains de Bordeaux Métropole
Source : Étude ICU, a'urba, 2019



* Le niveau de risque est évalué en croisant les températures de surface avec la population et le nombre d'emplois à l'échelle de chaque famille de zonage du PLU 3.1

a'urba.
agence d'urbanisme
Bordeaux métropole Aquitaine

0 5 10 Km N
Sources : Bordeaux Métropole, a'urba

Tissu pavillonnaire - Hastignan - Source : Étude ICU, a'urba, 2019



Tissu urbain compact dense du centre ancien de Bordeaux



Phénomènes physiques liés à la forme urbaine impliqués dans la formation de l'ICU

Augmentation du bilan radiatif solaire et infrarouge

Du point de vue de l'urbanisme, il est essentiel de comprendre en quoi les formes urbaines vont potentiellement amplifier ce bilan radiatif au niveau « micro-local » d'une rue. Deux phénomènes sont ici en jeu : l'effet « canyon » de la forme urbaine, et le « facteur de vue du ciel ».

• L'effet « canyon »

Le premier phénomène observable est ce que l'on appelle le piégeage radiatif, engendré par l'effet dit de « canyon urbain ». Dans les rues en forme de canyons, le rayonnement reçu par les façades et les surfaces au sol est renvoyé (en fonction de l'albédo de ces surfaces, cf. p 15) et ricoche d'une façade à l'autre. Il en résulte un échauffement dit radiatif, où la chaleur, piégée entre les murs, est stockée et s'accumule dans des espaces de taille réduite. Cela a pour conséquence l'augmentation de la température de l'air ambiant extérieur. La formation de micro-îlots de chaleur résulte donc ici d'un phénomène dépendant directement de la morphologie de la ville.

• La diminution du rafraîchissement nocturne : le « facteur de vue du ciel »

L'autre phénomène est la diminution du rafraîchissement nocturne de la ville. Or, à cause de la configuration des rues, la part de ciel observable depuis le sol est réduite, ce qui limite le processus de refroidissement naturel pendant la nuit.

Afin d'évaluer ce phénomène, le « facteur de vue du ciel » (indice SVF¹ allant de 0 à 1) permet de comparer les capacités de refroidissement nocturne entre les tissus urbains. Par exemple, un faible indice SVF signifiera un faible rafraîchissement d'un îlot de quartier. Ces deux phénomènes mettent donc en évidence l'impact des choix opérés en termes de forme urbaine sur l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Diminution de l'évacuation de la chaleur par écoulement de l'air

Cet autre processus physique peut être à l'origine de la formation des ICU. La dynamique des masses d'air, à l'approche de la ville, va être plus ou moins perturbée en fonction de la forme urbaine. En effet, la circulation de l'air, dans et au-dessus de la ville, diffère de celle des espaces ruraux ou périurbains environnants du fait de différents facteurs et phénomènes propres au milieu urbain. Ces perturbations de la dynamique des masses d'air qui s'observent par la modification de la couche limite urbaine (CLU) constituent des phénomènes favorables à la formation et à l'intensification de l'effet d'ICU.

• L'impact des brises thermiques sur l'espace urbain

Les différences de température entre la campagne et la ville sont à l'origine de brises thermiques, qui s'écoulent des zones froides (campagne) vers les zones chaudes (ville).

Or, la morphologie de la ville fait varier les différents régimes de vent et leur vitesse par des obstacles de diverses natures qui composent l'espace urbain. Or, ces dernières permettent la dissipation d'une partie de la chaleur accumulée dans l'air, comme c'est le cas dans les campagnes environnantes. Les obstacles urbains ont un impact sur les modalités d'écoulement de l'air permettant le rafraîchissement.

Ainsi, plus la rugosité est importante, plus le frottement de l'air sur le sol est fort, ce qui ralentit la masse d'air. Ce ralentissement empêche le rafraîchissement de la ville par le vent et donc l'évacuation de la chaleur en milieu urbain.

Ce processus physique de rafraîchissement étant compromis, l'air chaud ambiant n'est plus refroidi ou dépollué par l'arrivée d'une nouvelle masse d'air. Les vents thermiques, en se heurtant à ces obstacles, vont donc remonter par convection dans la ville et dans les couches de l'atmosphère, faisant ainsi augmenter la température de l'air ambiant extérieur, ce qui participe à la surchauffe urbaine.

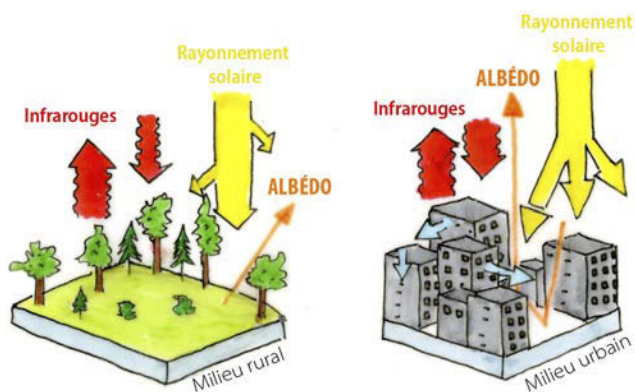
Précisons que, pour l'agglomération bordelaise, afin de garantir un confort d'hiver des espaces urbains, il est également nécessaire de protéger les espaces les plus pratiqués des vents du nord et d'ouest.

• La modification de la couche limite urbaine

Les turbulences des brises thermiques à l'approche de la ville, combinées aux déplacements de masses d'air au sein de la ville elle-même, induisent la création d'une couche atmosphérique instable, qui fonctionne en circuit fermé. C'est la « couche limite urbaine », qui prend la forme d'un dôme bloquant les masses chaudes (et polluées) au-dessus de la ville. Par ce processus physique, le phénomène d'ICU peut se constater non seulement au sol ou au niveau des bâtiments, mais aussi dans les masses d'air atmosphériques au-dessus de la ville.

Ainsi, l'évacuation de la chaleur en ville par flux sensible (écoulement de l'air) se fera de façon différenciée selon les types de tissus urbains (une zone pavillonnaire présentera une rugosité beaucoup plus faible qu'un tissu de grands ensembles).

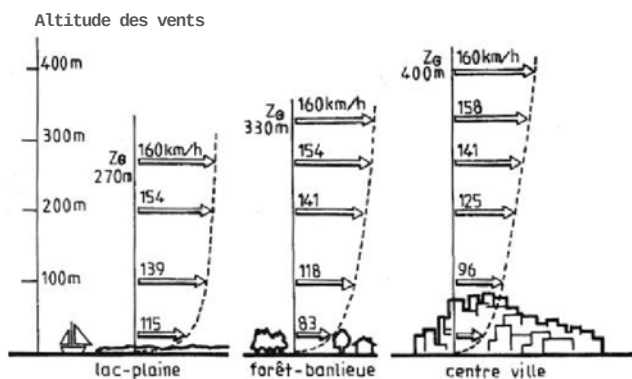
1. Sky View Factor = facteur vue du ciel



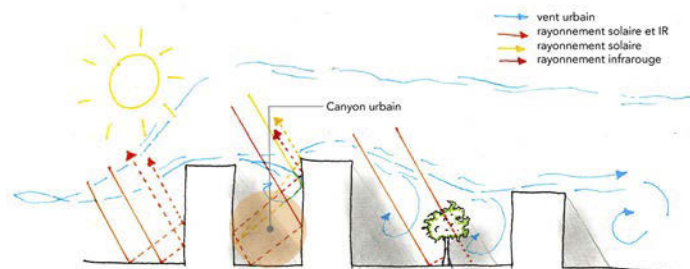
Comparaison des bilans radiatifs entre les milieux ruraux et urbains
Adapté de Colombert, 2008 (simplifié)



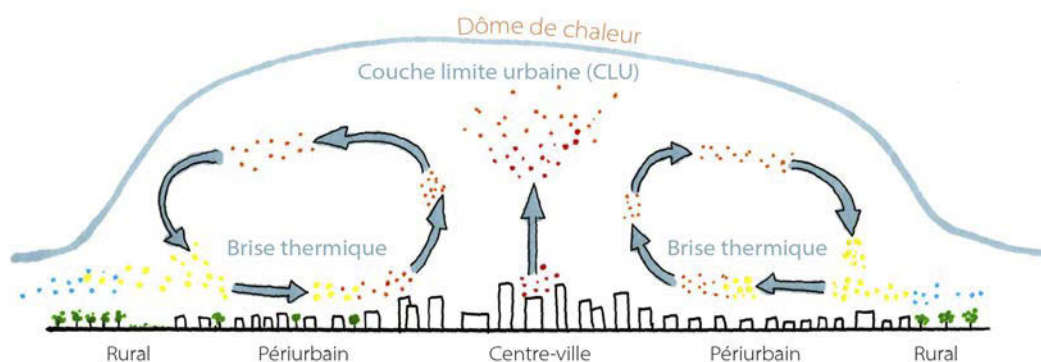
Baisse du rafraîchissement nocturne : le « facteur de vue du ciel »
D'après APUR, 2011



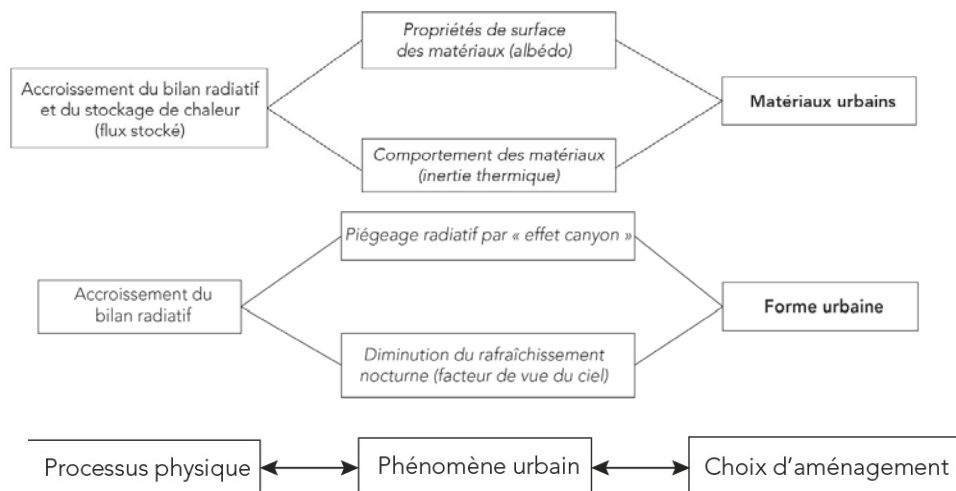
Profil de la vitesse de propagation du vent en milieu urbain
Source : Chatelet et al. 1998, in Colombert, 2008



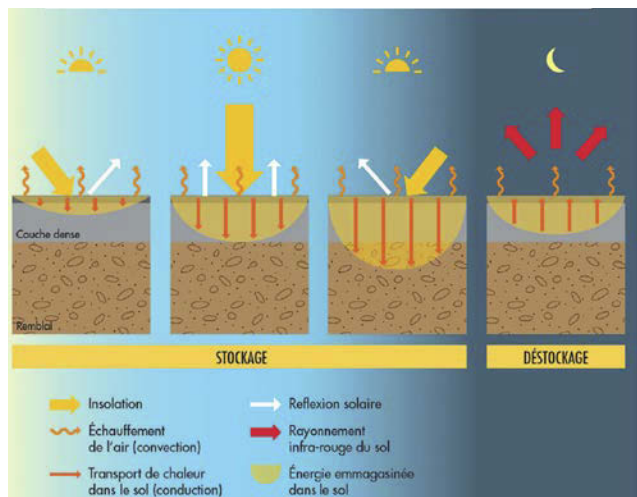
Piégeage radiatif des rayonnements : « effet canyon » de la forme urbaine
D'après IAU (2010) et Vivre en ville / Catherine Dubois (2014)



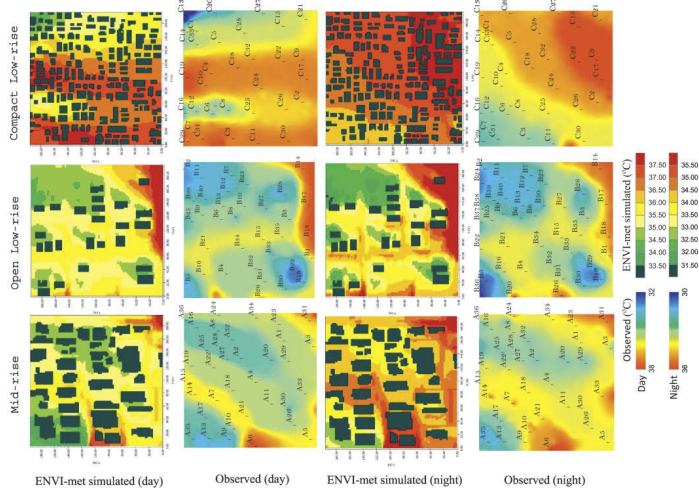
Phénomène de brise thermique en contexte urbain - D'après IAU, 2010



Impact des choix opérés en termes de forme urbaine sur l'effet d'îlot de chaleur urbain



Cycle de stockage et déstockage de l'énergie solaire par les revêtements de sol - Source : APUR, 2010



Simulation des interactions thermiques à la micro-échelle dans différents environnements de bâtiments pour atténuer les îlots de chaleur urbains. Article dans Science of The Total Environment, Février 2019

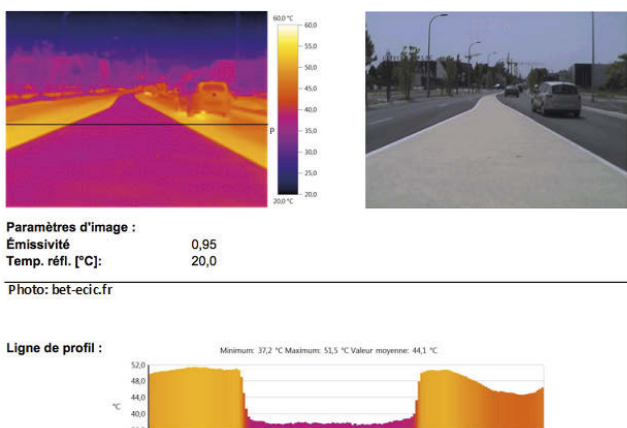
➤ Pour en savoir plus : **Guide de conception des espaces publics métropolitains (GCEPM) - Cahier 8 : Matériaux**

<https://www.bordeaux-metropole.fr/Metropole/Bordeaux-Metropole-s-engage/Nouvelles-modalites-d-amenagement-des-espaces-publics>

Matériaux et albédos correspondants

Matériau	Couleur	Utilisation	Albédo retenu
Dalles, pavés	Gris clair - beige	Espaces publics	0,45
Bois	Marron-gris clair	Espaces publics	0,35
Gazon	Vert	Surfaces naturelles	0,3
Béton	Gris	Espaces publics	0,25
Sol nu, terre	Brun	Surfaces naturelles	0,2
Béton bitumineux	Gris-noir	Espaces publics	0,15
Sable	Brun clair	Espaces publics	0,15
Asphalte	Noir	Espaces publics	0,05
Enduits superficiels	Noir	Espaces publics	0,05

Source : Grand Lyon



Source : ECIC

De façon générale, **les matériaux clairs sont très intéressants pour diminuer les îlots de chaleur** mais peuvent présenter l'inconvénient de participer à l'éblouissement des usagers, aux possibles échaudures des arbres et rendent plus visibles les salissures. Le végétal isolé, en bosquet ou en alignement joue également un rôle significatif en venant réduire la chaleur des matériaux.

Les propriétés des matériaux

Matériaux modulaires

Bétons : incidence moyenne sur la diminution des températures car inertie élevée qui peut être améliorée par la perméabilité. La teinte ou la finition peuvent toutefois participer à l'éblouissement des usagers.

Granits : incidence dépend de la teinte choisie mais inertie élevée.

Bois : peu d'incidence sur la diminution des températures mais sa structure perméable peut modifier cette caractéristique.

Revêtements alvéolaires : bonne incidence sur la diminution des températures, notamment par l'utilisation du gazon.

Matériaux non-modulaires

Bétons hydrauliques : incidence moyenne sur la diminution des températures car inertie élevée qui peut être améliorée par la perméabilité. La teinte ou la finition peuvent toutefois participer à l'éblouissement des usagers ainsi qu'à une mauvaise lisibilité du marquage au sol.

Bétons bitumineux : mauvaise incidence sur la diminution des températures du fait de son inertie, de sa teinte et de son imperméabilité.

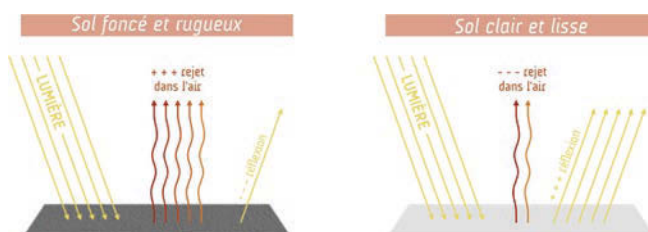
Asphaltes : incidence dépend de la teinte choisie mais inertie élevée.

Stabilisés : bonne incidence sur la diminution des températures.

Résines : bonne incidence sur la diminution des températures.

Mélange terre / pierre : bonne incidence sur la diminution des températures.

Effets des caractéristiques des matériaux



FOCUS : L'albédo et le comportement des matériaux

Les comportements et les propriétés des matériaux composant les surfaces urbaines au sol, ou celles des bâtiments, participent à la formation des ICU par leur capacité d'absorption et de stockage de la chaleur. Les matériaux urbains, utilisés dans la construction ou dans le revêtement de la voirie, ont des propriétés et des comportements variés entraînant un impact significatif sur les niveaux de température en ville.

• Les propriétés de surface des matériaux : le rôle de l'albédo

L'albédo concerne essentiellement les propriétés de surface d'un matériau. Il se définit comme un indicateur mesurable de la **capacité de réflexion solaire d'une surface exposée à la lumière**. Évaluer l'albédo d'un matériau ou de sa surface permet de connaître les caractéristiques thermo-radiatives des matériaux urbains, c'est-à-dire leur capacité d'absorption et de réflexion de l'énergie solaire et donc l'influence de ces caractéristiques sur leur température. La couleur de la surface est un facteur majeur.

Cet indice est compris entre 0 (la surface absorbe la totalité de la lumière incidente sans réflexion des rayonnements) et 1 (la surface réfléchit la totalité de la lumière incidente). Ainsi, si l'albédo est inférieur à 0,03, le matériau sera noir et s'il est supérieur à 0,8, il sera alors considéré comme blanc. Par exemple, le goudron est un matériau à faible albédo, et par sa couleur foncée, il absorbe plus d'énergie, plus de chaleur, entraînant donc une température de surface plus élevée.

• Le comportement des matériaux : capacité thermique et inertie

Si les propriétés de surface des matériaux conditionnent la part de rayonnement réfléchi ou absorbé, leurs propriétés massives vont conditionner leur capacité à stocker de la chaleur.

On parle de **capacité thermique** pour désigner cette quantité de chaleur que le matériau peut stocker.

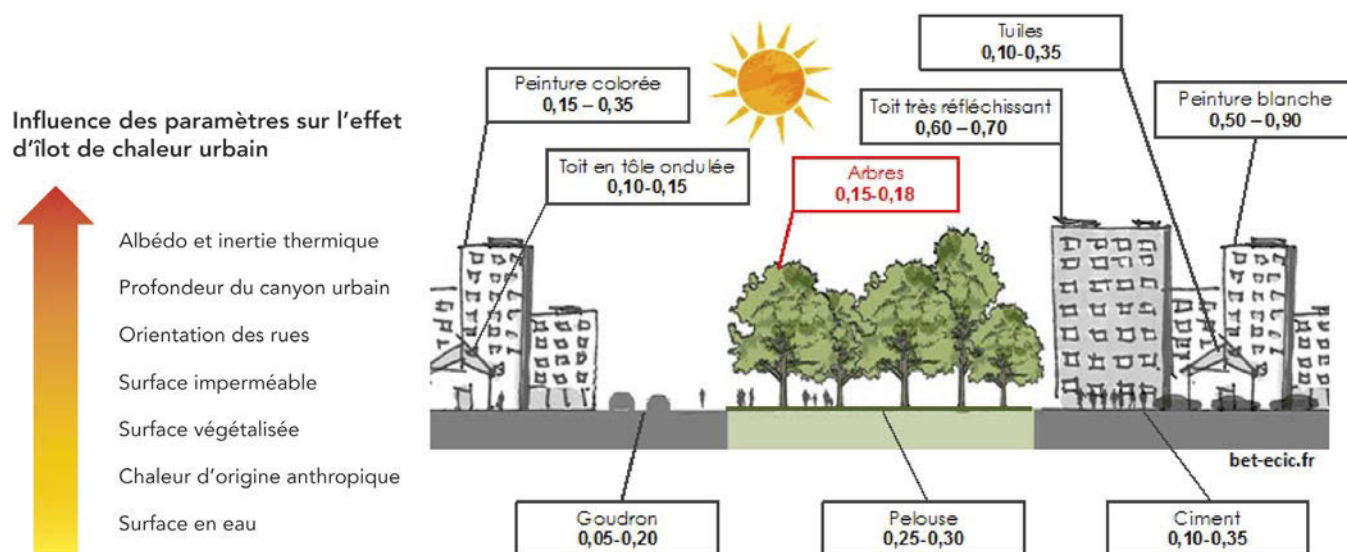
Cette capacité varie selon trois paramètres propres à chaque matériau : la capacité à répartir la chaleur au sein du matériau (la conductivité), la capacité de réchauffement du matériau (la capacité thermique massive) et enfin la densité (soit le rapport entre volume et le poids du matériau en question).

En complément, **l'inertie thermique qualifie la vitesse de réchauffement puis de refroidissement du matériau**. Dans un matériau à forte inertie, la circulation de la chaleur est ralentie et la température mettra plus de temps pour devenir uniforme (le matériau prend donc plus de temps pour se refroidir ou pour se réchauffer). Le matériau est considéré comme inerte thermiquement. Schématiquement, plus les matériaux sont lourds et épais, plus leur inertie est forte.

C'est l'effet combiné de l'ensemble des caractéristiques des matériaux (albédo, capacité thermique et inertie thermique) qui explique leur impact sur le climat local.

Prenons l'exemple de l'enrobé bitumineux utilisé sur la chaussée. Du fait de son faible albédo (couleur noire), il va absorber la quasi-totalité des rayonnements solaires et atmosphériques. En outre, du fait de sa forte capacité thermique, renforcée par la sous-couche de béton, l'absorption des rayonnements va élever fortement sa température. Enfin, ayant une inertie thermique élevée, il va se réchauffer lentement la journée accumulant ainsi de la chaleur. Par la suite, la nuit, il se refroidira très lentement par rapport au rafraîchissement nocturne de l'air extérieur ambiant et contribuera ainsi au maintien d'une température relativement élevée la nuit.

À l'inverse, les matériaux sablonneux (stabilisé, béton désactivé), en raison de leur couleur claire, auront une capacité de réflexion du rayonnement solaire presque total pendant la journée. En outre, leur faible capacité de stockage d'énergie, du fait de leur composition aérée (la couche superficielle est peu solidaire du support sur laquelle elle repose), leur confère une faible conductivité thermique, ce qui est un atout climatique supplémentaire.



Exemples d'albédo d'éléments urbains – Source : ECIC, 2014

La méthode et outil SCORE ICU

Les bureaux d'études E6 Consulting et Atelier Colin et Poli Paysages ont élaboré l'outil SCORE ICU. L'objectif de cet outil est de faciliter le dialogue avec les aménageurs.

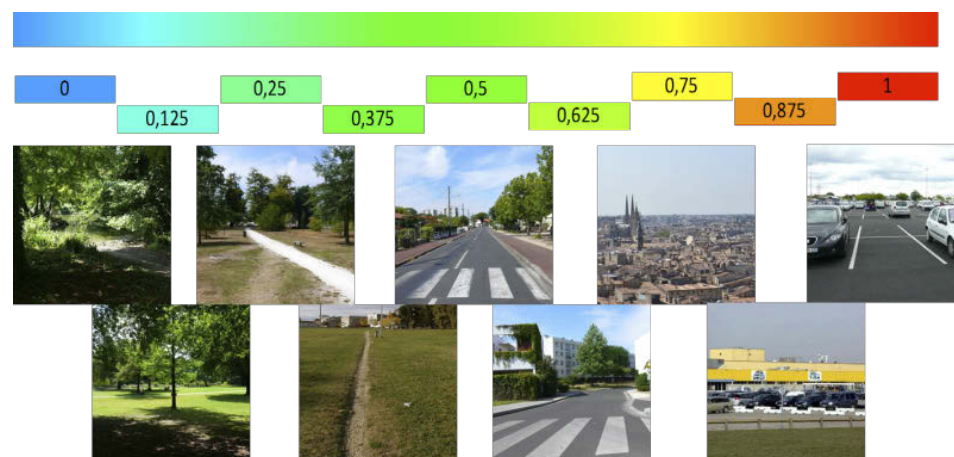
Il s'agit d'une expertise innovante et simple qui a pour objectif d'estimer l'impact des aménagements urbains sur les îlots de chaleur, selon leur nature, dans un but ultime d'adapter au mieux les projets.

SCORE ICU est d'ores et déjà utilisé par Bordeaux Métropole, qui a fait partie, avec le Grand Lyon, des agglomérations pilotes ayant contribué à développer la méthode et les technologies employées.

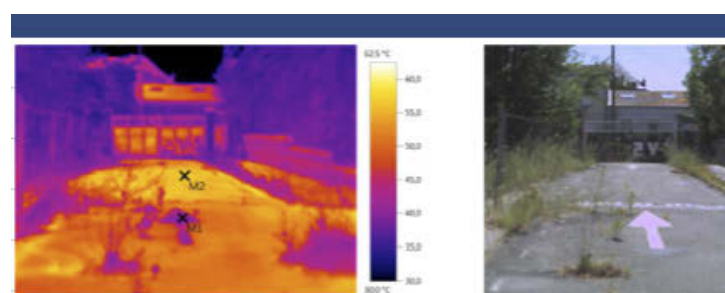
S'il est difficile de prévoir la température à venir sur un point précis d'une place, d'une rue, ou d'un projet sans modélisation, il est beaucoup plus simple de définir, de manière empirique, les zones qui seront les plus chaudes et les plus fraîches.

Cet outil n'a pas pour vocation de prédire une température, mais bien à sensibiliser sur le sujet, et permettre un dialogue constructif sur les solutions à mettre en œuvre, en comparant un avant-après et des solutions entre elles.

Il s'agit concrètement de classer les aménagements en neuf tranches de chaleur, de la plus fraîche à la plus chaude. L'outil permet ainsi de définir un score, sans unité, et d'indiquer si l'aménagement a, ou va, améliorer ou dégrader le confort thermique estival lié aux îlots de chaleur urbains.



Exemple de classement d'aménagements - Source : E6 Consulting



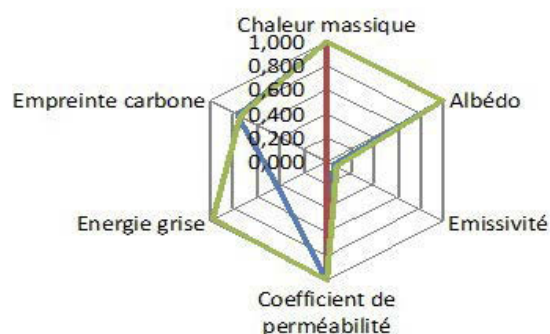
Diagnostic avec caméra thermique - Source : E6 Consulting

SCORE ICU :

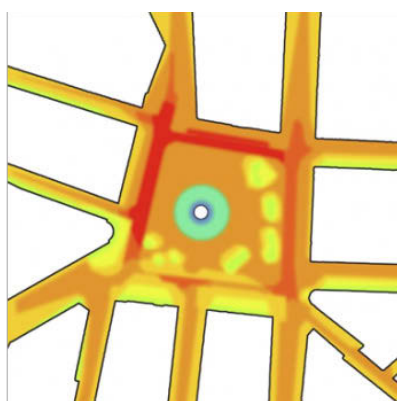
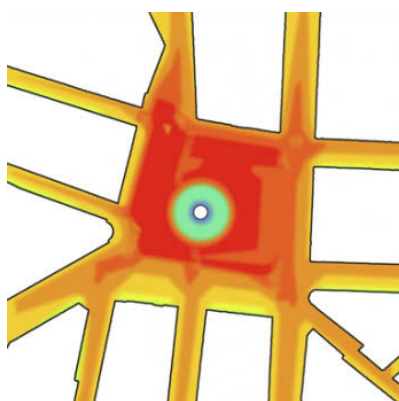
- **Traite la question des ICU afin de les réduire.**
- **Donne un score entre 0 et 1.**
- **Facilite le dialogue avec les aménageurs.**
- **Compare différents projets avec l'existant.**
- **Permet d'orienter les choix d'aménagement.**

L'outil n'a pas la prétention de se substituer à des modélisations du phénomène mais il permet, de manière simple et rapide, de prendre en compte le phénomène en quantifiant le profil îlot de chaleur d'une place, d'une rue, d'un îlot, ou d'un territoire.

Suivant la saison, la démarche peut être complétée par des campagnes de mesures (températures ambiantes, mesures d'albédo, température au thermomètre-globe mouillé) et des photographies infrarouges.

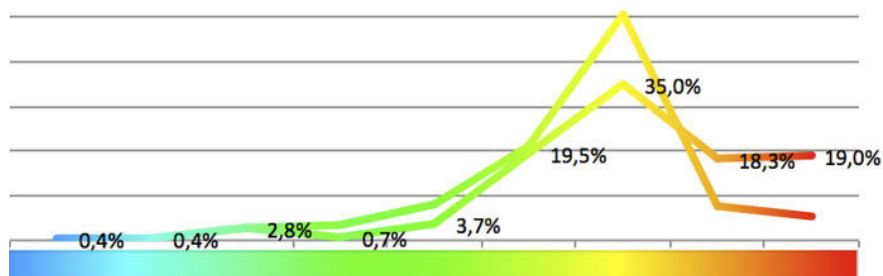


Exemple d'une place à Lyon, où l'aménagement (changement de l'albédo, développement de la végétation) permet ainsi de passer de 0,76 (chaud) à 0,69, soit une baisse de 9% du score ICU. Source: E6 Consulting



Aménagement de la place avant et après.

Source : Ville de Lyon



L'exemple montre comment l'aménagement des quais de la Garonne, îlots de fraîcheur du territoire de la métropole Bordelaise, a été encore amélioré par la suppression des parkings et la mise en œuvre du miroir d'eau. Le score ICU des berges de Garonne rive gauche passe ainsi de 0,48 (plutôt frais) à 0,40 (frais).

© Haut-Relief



4 De l'espace au milieu public, vers une perception écosystémique de la ville

La politique de décentralisation de l'état et les métropolisations ont impulsé de véritables dynamiques dans la construction et l'aménagement des villes françaises. Les réflexions perpétuelles des professionnels de l'urbanisme élaborent des courants qui se traduisent au fil des décennies à travers des opérations et des tentatives de formes urbaines renouvelées.

L'apparition du concept de trame verte et bleue a ouvert de nouveaux champs de réflexions en matière d'espaces publics. Les notions d'écologie urbaine et de maîtrise d'usage ont mis en avant l'analyse et la perception globale des tissus urbains et plus largement, tout ce qui vit et constitue la ville. Des modèles urbains du XX^e siècle comme les cités-jardins plaçaient déjà la nature comme un élément central de politiques de la ville en lien avec la santé et la production vivrière, en opposition avec les villes denses et industrielles de l'époque. C'est le thème de la biodiversité et de sa libre circulation à travers les tissus urbains qui a suscité à la fin des années 1990 l'intérêt pour les corridors et les trames.

Le sujet de la limite et de la porosité entre espaces publics et privés est progressivement entré dans le giron des documents de planification urbaine. Aujourd'hui, les défis climatiques et les crises sanitaires et sociales associées recentrent les enjeux de la planification urbaine autour des espaces et de la nature, leurs interpellations et fonctions au service de la qualité de vie.

Le concept de milieu public semble progressivement se faire une place dans le domaine de conception urbaine

puisqu'il englobe un nombre plus important de facteurs tels que les usages, les formes urbaines, le sous-sol, l'écoulement des eaux, la bioclimatologie etc. Cela permet de mieux appréhender la ville comme véritable milieu écologique dont les conditions et les besoins lui sont spécifiques.

Ainsi, la trame verte et bleue apparaît comme une composante désormais centrale dans la régulation du confort thermique du milieu public.

La perception de la végétation en ville semble devoir évoluer vers celle d'une infrastructure vivante, tenant une place essentielle dans le fonctionnement des biens et services rendus gratuitement par la nature aux citoyens. Le confort climatique est désormais un critère important pour garantir tant la qualité de vie que le fonctionnement même des activités économiques et sociales, lors des épisodes caniculaires désormais réguliers en période estivale.

Le milieu public n'est pas plus complexe à aborder que l'espace public ; il s'agit d'une appréhension écosystémique de l'ensemble des composantes urbaines permettant d'aboutir à des projets d'aménagements ayant une forte capacité de résilience et d'adaptation aux facteurs climatiques et hydriques. **La qualité du milieu urbain a un impact direct sur les températures observées en son sein.**

C'est en considérant ce milieu public, c'est-à-dire en adoptant la bonne échelle de réflexion, que la lutte contre les ICU sera la plus efficace.



Crédit: TRIBU - Oasis urbaine - CAUE 74

FOCUS : De l'espace au milieu public

1. Le domaine public

Le domaine public viaire s'apparente souvent à une certaine vision en « tube » de l'espace public, en lien avec les fonctions circulatoires qu'il permet. Dans un sens plus général, il englobe l'ensemble de l'espace public proprement dit (places, parcs, squares, jardins etc.), avec une forte composante humaine, via l'usage social fait de ces espaces.

2. Le contexte urbain

Il s'agit des rives, de ce qu'il se passe sur les bords de l'espace public : formes bâties, typologies de programmes, dynamiques en cours, pratiques, cheminements, etc.

Le citoyen en fait partie intégrante : il en est le principal usager, il peut aussi être un des co-producteurs de sa transformation (de par les usages qu'il en fait et de par son action sur les emprises privées qui bordent l'espace public).

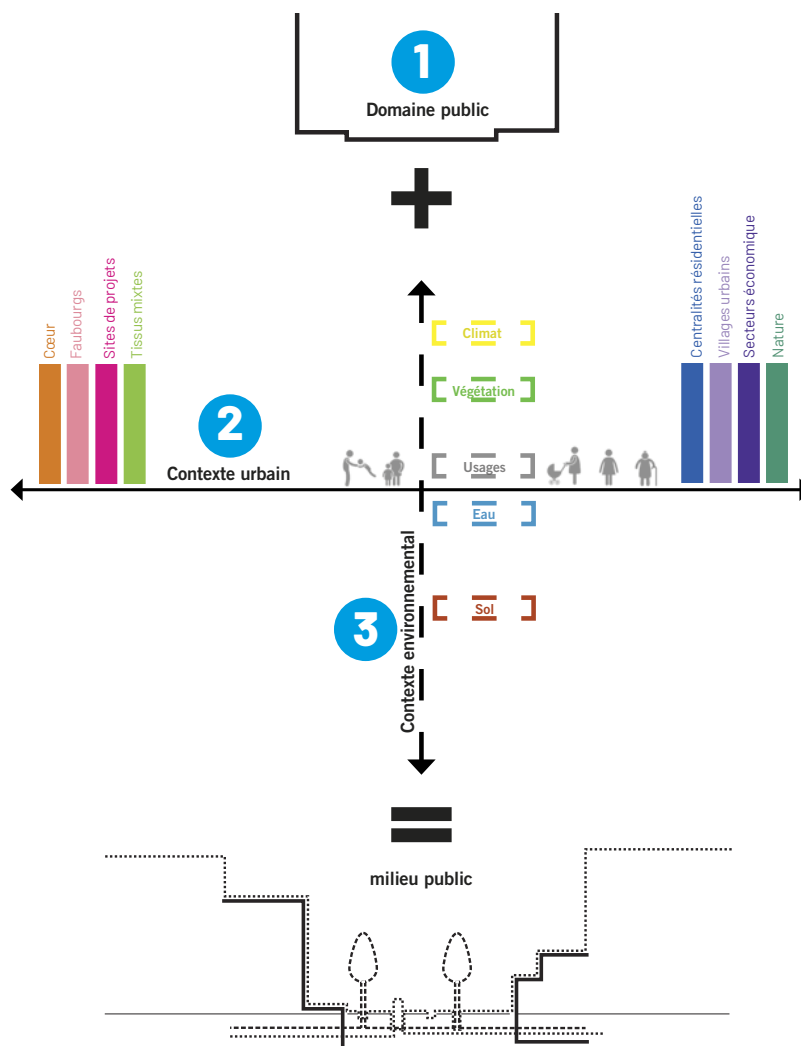
3. Le contexte environnemental

Il s'agit de ce qu'il se passe au-dessus et en-dessous de l'espace public : sol, eau, ciel, végétation mais aussi climat. Les grands milieux géographiques, les bassins versants, le micro-climat local alimentent les formes de l'espace public. Là encore, l'usager est au cœur du dispositif, notamment en termes de qualité de vie et d'ambiance.

Un nouveau prisme : de l'espace au milieu public

En croisant le domaine public avec les deux formes de contexte qui y sont imbriquées, urbain et environnemental, la programmation de l'espace public sera plus inclusive et plus riche. Sa conception implique dès lors un changement d'échelles et la prise en compte, très tôt dans le processus de projet, d'une vision décloisonnée. Ne pas s'arrêter aux limites du domaine public mais au contraire tirer parti de ses franges, travailler les entre-deux, les frontages urbains, les rez-de-villes.

Ce changement de focale amène donc à passer de l'espace au milieu public, ce dernier étant un terme plus global s'inscrivant dans un écosystème où les liens ont autant d'importance que les lieux.



> Pour en savoir plus : **Guide de conception des espaces publics métropolitains (GCEPM) - Cahier 4 : Principes**

5 Principes pour favoriser la mise en œuvre des îlots de fraîcheur

Quelques bons réflexes pour des espaces publics rafraîchissants

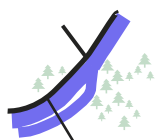
Le Guide de Conception des Espaces Publics de Bordeaux Métropole (GCEPM)¹, paru en 2018, est composé de neuf cahiers regroupant des éléments de méthode, de programmation et de conception, permettant de constituer une culture commune locale de l'aménagement des espaces publics.

Des fiches mémo reprennent les bons réflexes à avoir en tant qu'aménageur ou concepteur d'un espace public.

1. <https://www.bordeaux-metropole.fr/Metropole/Bordeaux-Metropole-s-engage/Nouvelles-modalites-d-amenagement-des-espaces-publics>

À ce titre, le GCEPM comporte des recommandations sur la mise en œuvre d'éléments permettant de limiter les ICU et des outils pour tempérer localement l'atmosphère.

> **Pour en savoir plus** : Guide de conception des espaces publics métropolitains (GCEPM) - Cahier 1 : Faire projet



Prendre en compte la trame verte & bleue :

- la carte du PLU 3.1 comme ressource ;
- identification des continuités locales liées à l'eau et à la végétation ;
- conception d'un programme d'espace public ;
- qui les valorise et les amplifie.



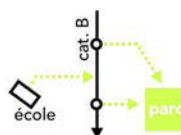
Aménager l'accès aux équipements en affirmant des continuités de nature

- l'aménagement d'un parcours piéton est l'occasion de compléter ou de connecter des continuités de nature locales ;
- mettre en réseau les parcs et jardins.



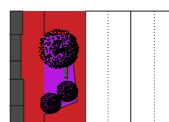
Anticiper l'évolutivité de la végétation :

- principe d'économie de la plantation : planter des sujets jeunes est moins coûteux et, après 3 ans, a le même effet qu'un sujet plus âgé et plus cher ;
- planter uniquement en saison de repos végétatif (novembre-mars) ;
- prévoir l'emplacement pour un port naturel de la végétation et éviter la taille ;
- planter en fonction de l'évolution de plusieurs sujets entre eux.



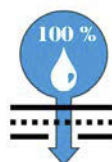
Privilégier les itinéraires indépendants de la voie et connecter les impasses :

- développer le maillage des perméabilités vertes et douces, en suivant une logique de raccourcis ;
- préférer les cheminements indépendants, à l'abri des nuisances et au contact d'une vie de quartier ;
- renforcer l'accessibilité aux équipements.



Identifier des sur-largeurs pour créer de nouvelles aménités (lieux de pause, espaces plantés en bosquets etc.)

- recul front bâti, placette, délaissé infrastructurel sont des occasions de mini-projets : un lieu de pause, une fontaine à eau, des plantations en bosquet etc ;
- dès qu'un espace public est sous-occupé, identifier si une programmation est envisageable et si oui, laquelle (à l'aune du contexte et des usages surtout).



Préciser les proportions d'espaces perméables / poreux / imperméables :

- espace perméable = gestion de l'eau, infiltration de l'eau, végétation (+ piéton) ;
- espace imperméable = modes motorisés, cycles ;
- espace poreux = espace transitoire entre perméable et imperméable : modes doux ;
- quelle est la capacité de perméabilité de l'espace public ?
- adapter en fonction du sol : nature du sol, pollution, etc.

ÊTRE EN INTERACTION AVEC UN ECO-SYSTÈME

QUESTIONS

Pourquoi, quoi, où, comment ?

- Quelle est la capacité spatiale et humaine disponible pour planter un espace public ?

Sol

- Où le projet se situe-t-il dans les paysages métropolitains ?
- Quel type de sol y trouve-t-on ?

Eau

- Dans quel bassin versant s'inscrit-il ?
- Quelle est la capacité d'infiltration existante / souhaitée ?
- Comment faire si le projet se trouve dans un secteur en risque inondation ?

Climat

- Quel est le sens des vents dominants ?
- Quelle est la course de l'ensoleillement ?

Végétation

- Quel type de végétation en présence (sur le domaine privé et public) ?
- Quel rapport aux sens développer (odeurs/couleurs/lumière etc.) ?
- Quelles variations suivant les saisons ?
- Comment faire si le projet se trouve dans un secteur en risque incendie ?
- Comment faire s'il existe des plantations allergènes dans les alentours ?
- Comment impliquer les riverains dans la plantation du végétal et/ou sa gestion ?

ORIENTATIONS

D'un espace à un milieu public

• L'espace public interagit avec un éco-système.

La différenciation des modes d'aménagement et des modes de gestion des espaces plantés en fonction des spécificités locales suit un objectif qualitatif : aménager des espaces publics propices au développement du vivant, végétation et humains ensemble. Cela suppose de prendre en compte tout au long du projet d'espace public les qualités de l'eau, du sol, du climat local, des usages qui conditionnent le végétal.

PRÉALABLES

Contexte / Économie / Eau

• Plus de contexte.

Pour plus de biodiversité et de confort.

• Plus d'économie.

Mode de conception et de gestion différenciées de l'espace public.

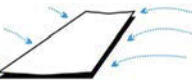
• Planter sur le chemin de l'eau.

Approche écologique et aménageuse de la plantation des espaces publics où l'eau, comme la végétation, aménage l'espace public.

Vérifier le bassin versant

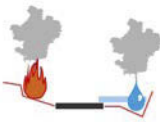
auquel appartient l'espace public :

- l'aménagement d'un espace public doit être l'occasion d'améliorer le fonctionnement du bassin versant auquel il appartient ;
- récupération / évacuation d'eaux pluviales en ce sens.



Vérifier la présence du risque inondation / incendie :

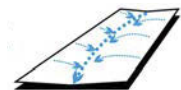
- consulter le PPRIF / le PPRI ;
- risque incendie : planter des espèces ignifuges / ne pas stratifier la végétation pour éviter la propagation du feu ;
- risque inondation : planter pour stabiliser les rives de fossés / planter des espèces hygrophiles.



Programmer l'espace public

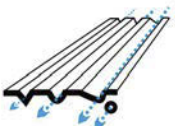
comme micro-bassin versant :

- déterminer les points d'arrivée de l'eau et les points d'évacuation ;
- déterminer le cheminement de l'eau, en lien avec les autres éléments de programmation de l'espace public ;
- distribuer les points de fraîcheur sur l'espace public sur le chemin de l'eau.



Préciser le type de gestion pluviale :

- gestion aérienne / souterraine ;
- fossé / noue ;
- fils d'eau.



Eau + sol + végétation = trois composantes essentielles pour des espaces publics bien plantés

L'îlot de fraîcheur est un terme qui s'est rapidement imposé dans la sphère technique pour évoquer une zone à dominante végétale où il fait frais, comme l'a toujours été un bosquet ombragé, un jardin ou une tonnelle.

Considérons que l'îlot de fraîcheur est la somme des facteurs : eaux pluviales + pleine terre + arbres qui sont à l'origine d'un effet naturel qui rafraîchit le milieu urbain, et ce, sans aucun apport énergétique, ni dégagement de chaleur anthropique.

Sous l'effet du phénomène naturel de pompe activée par la photosynthèse, l'eau retenue dans le sol est captée par les végétaux puis évapotranspirée par le feuillage, ce qui est à l'origine de cet effet qualifié d'oasis. L'énergie prélevée par la végétation participe au refroidissement de l'environnement, tout en générant une source d'humidité locale et d'ions négatifs améliorant le ressenti thermique et le bien-être. La végétation arborée joue un rôle supplémentaire en interceptant une partie du rayonnement solaire incident en journée, créant des effets d'ombrage sur les surfaces artificielles alentour et limitant leur réchauffement.

La végétation urbaine abaisse la température localement. Cumulées, les stratégies de verdissement ont des effets bénéfiques potentiels sur les températures ressenties en été à proximité de ces îlots. En effet, il faut prendre en compte les effets d'écoulement de l'air chaud générés par les formes urbaines et la rugosité des matériaux alentours qui peuvent dissiper rapidement la fraîcheur de l'îlot.

L'effet de rafraîchissement est d'autant plus efficace si la surface végétalisée est importante et si la proportion d'arbres est élevée, ce qui génère un effet de masse et de résistance aux écoulements d'air chaud. Selon les stratégies, on peut obtenir une baisse de 0,5°C à 2°C, et la combinaison de végétation maximale permet d'atteindre jusqu'à -3°C localement.

Pour optimiser cet effet climatisant, il faut que les trois strates de végétation (herbacée, arbustive et arborée) puissent être associées et enracinées dans une zone de pleine terre qui soit naturellement approvisionnée en eaux pluviales de ruissellement. La collecte des eaux de ruissellement doit être conçue de manière à se déverser au maximum au sein de ces espaces de pleine terre. L'objectif est double, puisqu'il s'agit de dé-saturer les réseaux collectifs d'eau pluviale en l'infiltrant dès que possible et de conditionner le bon développement d'arbres qui puissent évapotranspirer correctement. Plus leur développement est grand, plus les arbres transpirent et rafraîchissent l'atmosphère à leurs abords.

L'un des enjeux urbains pour mettre en œuvre un réseau d'îlots de fraîcheur optimum est la connaissance du sous-sol urbain et des continuités en pleine-terre qui constituent la trame brune. Le sous-sol urbain est extrêmement investi par différents types de réseaux, de canalisations et d'infrastructures lourdes comme les parkings souterrains ou certaines fondations. Planter un arbre en ville n'est pas si facile, contrairement à ce que certains se plaisent à croire. Lorsqu'il est impossible de planter en pleine terre, d'autres stratégies de végétalisation permettant la mise en œuvre de nature en ville sont envisageables. Les plantes grimpantes sur des murs ou des treilles prévues à cet effet peuvent améliorer le confort thermique très ponctuellement. Si dans ces situations le rafraîchissement par évapotranspiration est moindre, cela permet cependant de limiter l'exposition radiative des murs exposés ou des matériaux au sol.

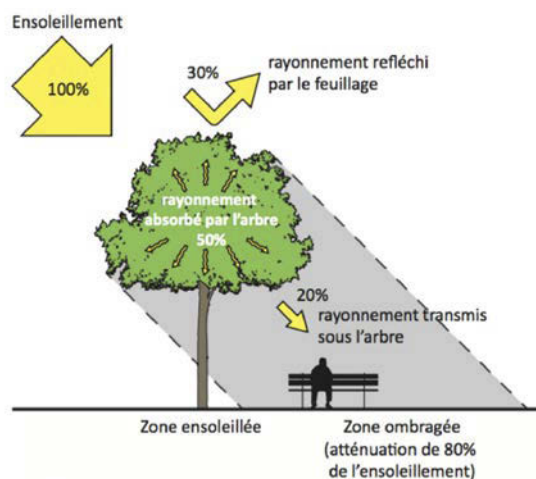
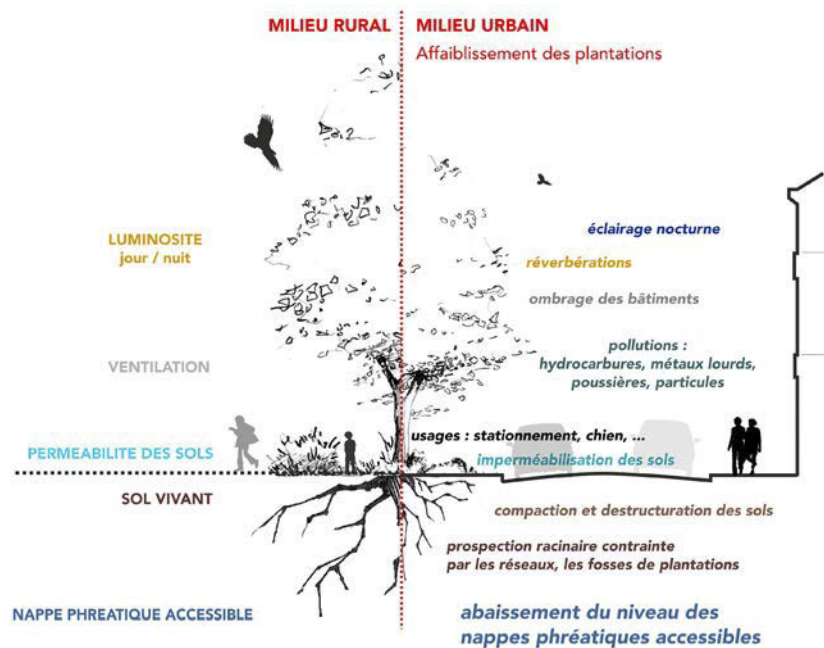
Contre-pied total aux préceptes des smart-cities, **l'aménagement et le fonctionnement de l'îlot de fraîcheur reposent sur des phénomènes naturels au service de la qualité de vie et d'usage du milieu public sans consommer aucune énergie.** Désormais incontournables, les îlots de fraîcheur associés aux trames vertes et bleues constituent l'armature générale naturelle de toute stratégie de résilience urbaine.

Milieu public «éponge» prenant en charge le traitement des eaux pluviales - Copenhague Cloudburst Masterplan - Atelier Dreiseitl

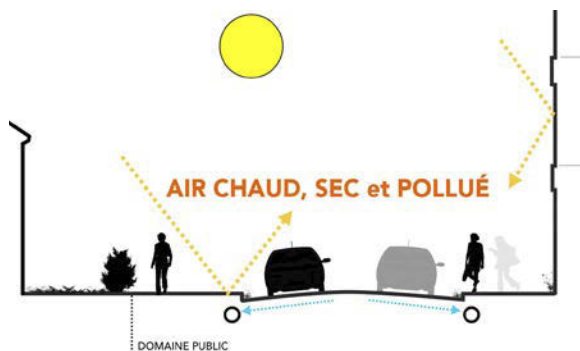


Le rôle de l'arbre -

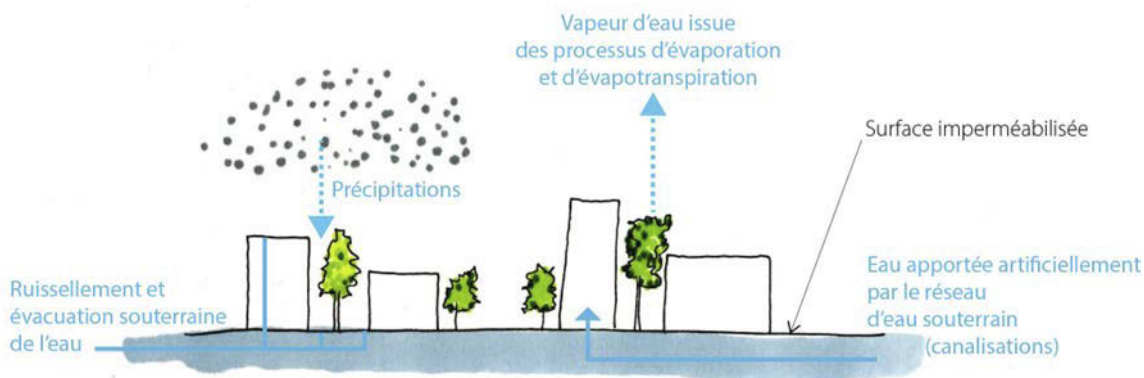
Guide de Conception des Espaces Publics Métropolitains - carnet 7 « végét-eau », a'urba, 2018



Rôle de climatiseur du végétal dans l'espace urbain par les processus d'ombrage et d'évapotranspiration
D'après APUR (2012) et ECIC (2014)



En absence d'humidité dans l'espace public au réchauffement climatique - Adapter les tissus urbains de la métropole bordelaise, a'urba, 2019



Perturbation du bilan hydrique dans l'espace urbain - D'après Colombert, 2008

DIMENSIONNER

BIEN CONCEVOIR LA PLANTATION

D'UN ÎLOT DE FRAÎCHEUR

1 – GÉRER DÈS LA CONCEPTION

- Quels sont les modes de gestion adaptés à la plantation du milieu public, à ses usages et à la capacité d'entretien des services ?

2 – PLANTER MIEUX

Usages

- Comment sont composés les espaces plantés dans le milieu public par rapport aux usages courants et à leur mode de gestion ?

Climat local

- Comment sont composés les espaces plantés pour aménager localement des îlots de fraîcheur et favoriser la bonne santé des usagers ?

Biodiversité

- Comment sont composés les espaces plantés pour favoriser la croissance de la biodiversité en ville ?

3 – PRÉSERVER LE SOL

L'aménagement et la gestion du techno-sol de l'espace public

- Quelle est la qualité agronomique et sanitaire du sol en place ?
- Quel est le degré de pollution du sol en place ?
- Quelle est la capacité de drainage du sol en place ?
- Quelle est la disponibilité spatiale du sol pour le bon développement racinaire des végétaux ?
- Comment les réseaux occupent-ils le sous-sol de l'espace public ?

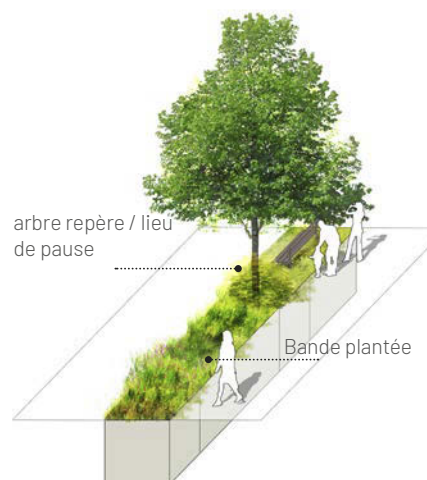
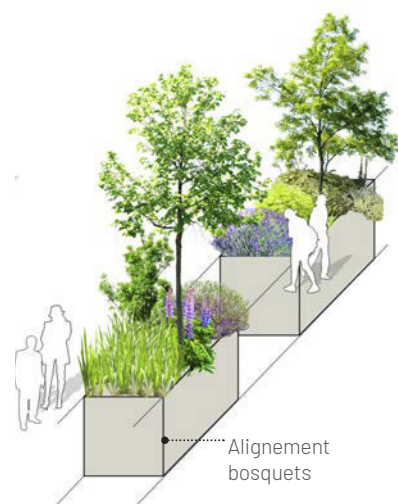
4 – GÉRER LES EAUX PLUVIALES

L'aménagement du micro-bassin versant de l'espace public

- Quelle est la disponibilité en eau sur l'espace public et autour pour alimenter les espaces plantés ?
- Quels sont les dispositifs d'espaces plantés qui récupèrent / transfèrent / évacuent les eaux de pluie ?
- Quel est le degré d'infiltration des eaux de pluie sur place ? (quelle proportion d'espace poreux / perméable ?)
- Quel système d'arrosage complémentaire envisager pour alimenter les espaces plantés en été et en cas de sécheresse ?

5 – SENSIBILISER ET IMPLIQUER

- Quel degré de participation attendue de la part des riverains pour la plantation et la gestion des espaces publics ?



FOCUS : Villes végétales – entretien avec Luc Schuiten, architecte utopiste

« L'utopie, c'est ce qui n'a pas encore été expérimenté. Ce n'est pas suivre les voies qui sont connues, mais chercher comment répondre à nos vrais besoins avec des solutions innovantes. Les politiciens voient l'utopie comme une injure, car cela paraît irréalisable. Alors que c'est de continuer à avancer vers un monde de consommation et d'argent qui n'est pas réaliste. Mon métier d'architecte utopiste c'est finalement de trouver des solutions réalistes. Des solutions qui correspondent beaucoup plus à la planète et qui nous réconcilient avec le vivant ».

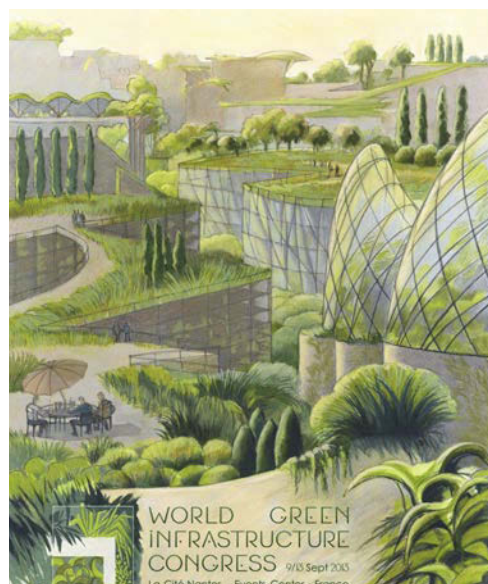
« Il s'agit surtout de faire comprendre à un maximum de gens que d'autres futurs sont possibles et que c'est à nous, maintenant, de les réaliser ».

« Le dessin est alors un formidable moyen de se projeter dans le futur et d'imaginer ce à quoi on voudrait qu'il ressemble ».

« Dans le programme *Archi Human*, l'idée était de faire de nouvelles constructions en matériaux biosourcés. Elles pourront alors revenir un jour à la nature sans devenir des déchets. Nous avons élaboré une réflexion autour de la circularité des matériaux et sur les délaissés urbains, pour les transformer en quelque chose de précieux. On peut d'ailleurs faire un parallèle avec ces humains qui ont, eux aussi, été rejetés par la société ».

« Construire peut passer simplement par un dessin, toute réalisation passe par un dessin. Pour un architecte, dessiner quelque chose, c'est déjà anticiper sur le futur. C'est le secret qui est le fondement de la pensée, c'est là-dedans que va s'inscrire le langage qui est ensuite mis en scène. C'est bien un travail prospectif, mais je ne dirais pas que ce que j'imagine est nécessairement le plus probable. C'est plutôt ce qu'il serait intéressant de bâtir, le sens vers lequel il faudrait aller ».

Luc Schuiten – Cité végétale



HUIT HABITATS AH A SAINT GILLES



TROIS HABITATS AH A WOLUWE-SAINT-PIERRE, VUE DE LA RUE



TROIS HABITATS AH A WOLUWE-SAINT-PIERRE VUE DU PARC



TROIS HABITATS AH A SCHAEERBEEK RUE DU TILLEUL



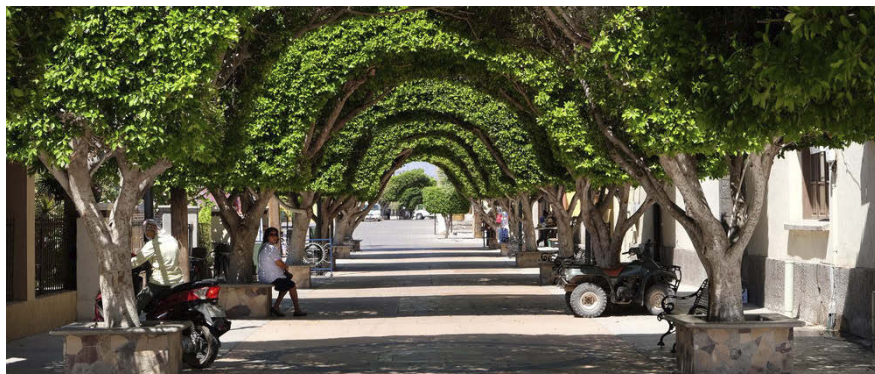
SEPT HABITATS AH A FOREST RUE DE KERSBEEK



DOUZE HABITATS AH DANS LA REGION DE BRUXELLES

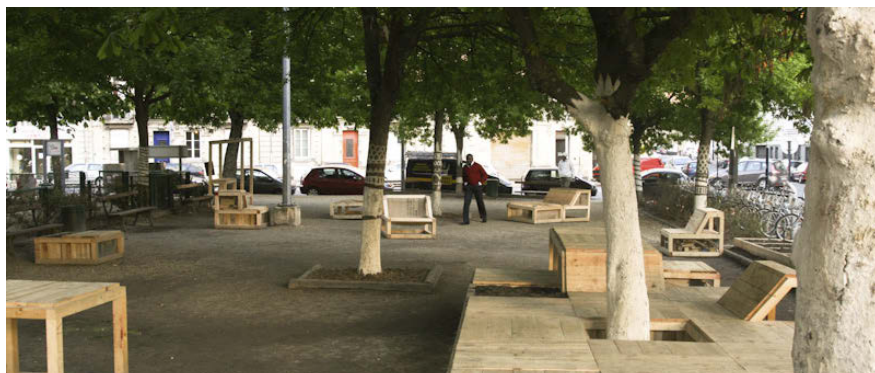
6 Références

L'îlot de fraîcheur s'avère être un des outils de la résilience urbaine qui remet au devant de la scène des bons principes d'aménagement urbain qui ont fait leurs preuves. De l'ombre, de l'humidité, de la végétation, du mobilier urbain, des matériaux poreux. Une somme d'éléments tout aussi frugaux qu'indispensables à la qualité d'usage du milieu public.



Tonnelles végétales - Place de Loreto - Mexique © Lavidablabla

La mise en œuvre du végétal passe parfois aussi par sa mise en scène, au point de devenir un lieu d'intérêt dans la ville pouvant stimuler l'activité (commerciale, touristique etc.) et le lien social.



Place arborée - Place Dormoy - Bordeaux © Collectif Etc

L'îlot de fraîcheur doit constituer une zone refuge, une oasis permettant aux usagers de faire baisser leur propre température. Certains îlots existants s'y prêtent, mais ne sont pas équipés en mobilier urbain. Le collectif Etc. est intervenu place Dormoy à Bordeaux, pour offrir aux citoyens la possibilité d'en profiter et de s'y rafraîchir.



Cour d'école - cour OASIS - Paris © Laurent Bourgogne Ville de Paris.

Les cours d'écoles sont un des maillons faibles du milieu urbain. Peu arborées et très minérales, elles accueillent un public de jeunes enfants qui doit pouvoir se dépenser en toute saison. Paris a initié en 2017 le programme des Cours OASIS dans le but de les déminéraliser et de les arborer. Des réflexions sont en cours pour les écoles de la ville de Bordeaux.



Rue commerçante - rue Herning - Danemark © Lindsay Frost

Les secteurs commerçants sont désertés lors des canicules. Associer îlot de fraîcheur et activités économiques est crucial pour assurer un minimum de résilience à ces espaces souvent minéralisés (par souci d'entretien et d'accès). La végétation apporte une dimension ornementale et esthétique qui favorise leur fréquentation et le confort des terrasses.



Pergola - Mint Plaza - San Francisco © CMG Landscape Architecture

La Mint Plaza est un cœur d'îlot situé sur un parking souterrain au cœur de San Francisco. Afin d'ombrager une façade commerçante et abriter du mobilier urbain de pause, une pergola de grande envergure a été conçue pour y faire grimper de la bignone.

Malgré la minéralité du projet, cette solution apporte une fraîcheur d'appoint.



Préau végétalisé - Tours © S. Rouleau

Cette structure existante en béton est agrémentée de bignonnes qui forment un rideau et conservent la fraîcheur sous ce préau, en évitant aux courants d'air chaud de dissiper la fraîcheur. Du mobilier urbain pourrait améliorer le confort d'usage sous cet abri.



Pergola - Résidence Jas de Boussan - Aix en Provence © Baldassari-Sibourg architectes

Certains projets urbains proposent des structures pour que des plantes grimpantes s'y développent. Ces choix sont souvent motivés par l'impossibilité de planter des arbres de grands développements.

Néanmoins, il est important de préciser que ces projets nécessitent un suivi pour guider les plantes au début de leur développement et un entretien dans la durée à ne pas négliger.



Brumisation - aménagements estivaux - Paris Plage 2012 © Isabelle Zdanevitch

Paris Plage a été l'un des premiers événement ayant recours à la brumisation et à l'aspersion pour rafraîchir les personnes. Ces aménagements comportent une dimension ludique et saisonnière.



Aspersion de chaussée - expérimentation - Lyon © Grand Lyon

Lorsqu'il est impossible d'ombrager une rue, le fait de l'arroser permet de capter les calories et relarguer de la vapeur d'eau. La ville de Lyon expérimente ce principe grâce à un dispositif de buses d'aspersion aménagées dans la bordure du trottoir.



Noue plantée - jardin de pluie - San Francisco © North Carolina Urban Forest Council



Noue plantée - jardin de pluie - South Haven street © Michigan Cottage Cook



Rue végétalisée - boulevard et piste cyclable centrale - Lyon ©Métropole de Lyon - Laurence Danière



Plateforme multimodale -place Pey Berland - Bordeaux



Mail - platanes menés en ombrelles - Dournes © Panoramio - TripSuggest

Le bon développement des arbres d'alignement est conditionné par la qualité du sous-sol sur lequel il se développe et son bon approvisionnement en eau pluviale. La conception du milieu public doit intégrer l'étude des écoulements d'eaux pluviales vers les zones de pieds d'arbres. Cela approvisionne le système racinaire et soulage les réseaux.

L'accompagnement des infrastructures de transport et voies dédiées aux mobilités actives par de la végétation est un enjeu qui remplit plusieurs objectifs. Les surfaces bitumées sont abritées du soleil et dégagent ainsi moins de chaleur nocturne. Les usagers qui empruntent les voies dédiées ne sont pas découragés en été car ils peuvent y circuler à l'ombre.

Le sol au pied des alignements de platanes de la Place Pey Berland est un stabilisé qui infiltre l'eau de pluie et participe à l'îlot de fraîcheur. Bien connu par les usagers pour ne pas être le plus abouti des aménagements (flaques et poussière), cette manière d'aménager reste très adaptée du point de vue de la lutte contre les ICU.

Les mails plantés du XVIII^e siècle sont un héritage précieux pour le patrimoine arboré, mais aussi des exemples intéressants dans la manière d'aménager sobrement ces espaces hybrides qui accueillent de nombreux usages et événements (marchés, brocantes, fêtes populaires, jeux de boules, etc.).



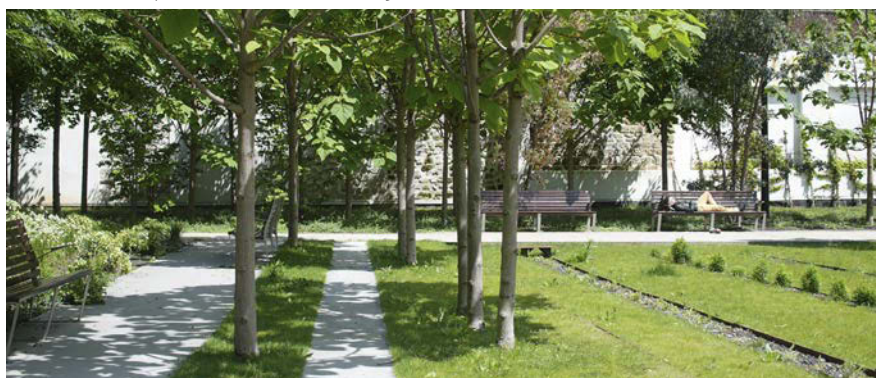
Mail - marché - Bassens © Twitter-Alexandre Rubio



Place arborée - Place Carnot - Carcassonne © Office de Tourisme de Carcassonne.



Parc urbain - parc du Contades - Strasbourg © DNA / Laurent Réa



Parc urbain - pelouse accessible - ancienne usine Bic - Clichy-la-Garenne, 2014 ©atelier CAP Paysage urbanisme



Parc urbain - Parc aux Angélique - Patrick Ecoutin et Pascal Cribier - Bordeaux

Les marchés de plein-air et les champs de foire sont des espaces où la présence d'arbres s'avère indispensable sur de telles étendues. Bien implantés, ils guident les déambulations des usagers tout en apportant ombre et fraîcheur. L'espace étant souvent dégagé, il est possible d'y planter des arbres à grand développement (si le sous-sol le permet).

Les grandes places plantées du Sud de la France sont de véritables modèles en matière de confort thermique. La place de l'arbre et de l'eau y est majeure. L'utilisation de matériaux sobres et poreux comme les pavés posés sur sable ou le stabilisé répond aussi à des exigences de coût pour traiter sobriement de si grandes surfaces.

Parcs urbains et cœurs d'îlots végétalisés sont des zones refuge qui doivent pouvoir être facilement accessibles aux usagers. La bonne répartition de ces zones constituant un archipel où une trame verte urbaine est une des clés de la résilience. Elle est liée à la question du logement en ville qui n'offre pas toujours la possibilité d'un jardin particulier.

La température d'une surface végétalisée ou des pelouses d'un parc est inférieure à la température ambiante car elle relargue de l'humidité dans l'atmosphère. Ces surfaces ne participent pas à l'effet radiatif et ne relarguent pas de chaleur la nuit. Elles sont donc utiles pour ces qualités intrinsèques et les usages offerts aux citoyens en quête de fraîcheur.

7 Repères de mise en œuvre

Stratégies

- **Atténuer** les risques du réchauffement climatique sur les populations urbaines c'est travailler à l'échelle de la planification territoriale et urbaine.
- **Articuler** les échelles (du micro au macro) et les types d'outils au service de l'adaptation au réchauffement climatique.
- **Penser** l'îlot de fraîcheur urbain comme une déclinaison locale de stratégies supra-communales.
- **Garantir** l'îlot de fraîcheur comme partie intégrante des stratégies de trames vertes et bleues, d'abaissement de la température, de confort thermique et hydrique, de captage de CO² et de réduction de la pollution atmosphérique.
- **Assurer** la pérennité de toute activité urbaine c'est assurer la résilience du milieu urbain face aux multiples effets du changement climatiques. Les secteurs de l'économie et de l'habitat sont particulièrement vulnérables en périodes de canicules et de crises sanitaires.
- **Associer** les risques sanitaires liés aux ICU aux réflexions et diagnostics préalables à la révision d'un PLU 3.1.
- **Programmer** les espaces publics comme des milieux publics, c'est-à-dire en interaction avec un contexte urbain et un contexte environnemental.
- **Dépasser** le clivage entre espaces publics et espaces privés pour développer des îlots de fraîcheur de bonne taille et selon un maillage efficace.

Outils et modes de faire

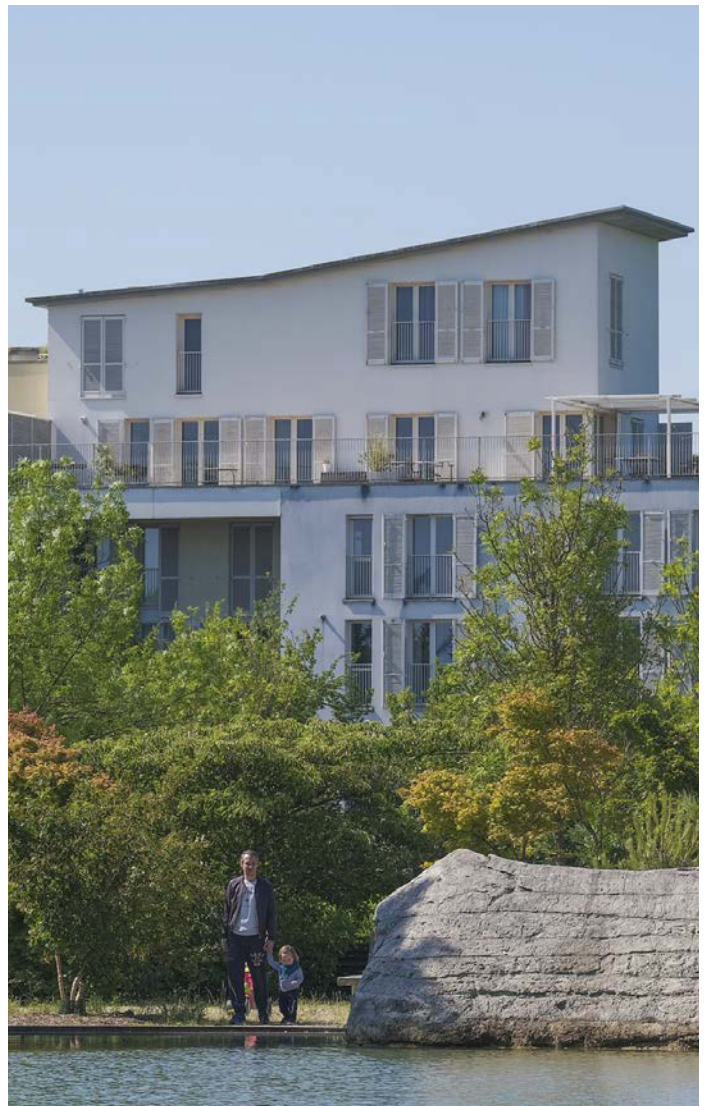
- **Intégrer** une déclinaison locale d'outils IFU dans les documents de planification adaptée à chaque tissu urbain.
- **Expertiser** la programmation, la conception et la gestion d'un espace public en fonction de ces documents-cadres.
- **Évaluer** les facteurs à l'origine de l'ICU (matériaux avec un albedo faible accumulant la chaleur par exemple) dès les phases de conception des projets urbains via l'outil SCORE ICU, et porter une attention particulière aux résultats sur l'espace public afin de le programmer au mieux.
- **Étudier** les spécificités du contexte urbain dans toutes ses composantes, notamment la composition du sous-sol et la capacité d'infiltration, afin de planter dans de bonnes conditions.
- **Penser** la mise en réseau des îlots de fraîcheur du plus petit au plus grand, pour la pause comme pour le déplacement.
- **Aller au-delà** de l'emprise publique pour penser la programmation et la conception de l'espace public en harmonie et cohérence avec l'espace privé, et vice-versa.
- **Concevoir et gérer** des espaces publics plantés dès que possible, pour favoriser les corridors de biodiversité et le rafraîchissement, tout en offrant plus de confort aux usages de déplacement et aux activités récréatives et de loisirs.
- **Stratifier** la végétation sur l'espace public afin d'amplifier les services rendus.
- **Planter** les espaces publics sur le chemin de l'eau et mettre en place aussi souvent que possible une gestion intégrée des eaux pluviales.
- **Aménager** des sols poreux, perméables dès que les usages souhaités le permettent.
- **Choisir** de manière éclairée les teintes et textures des matériaux (revêtements de sols, mobiliers urbains, etc.) afin de lutter contre la réverbération.

Conclusion

Les contraintes environnementales et sanitaires sont-elles sur le point de menacer certains modèles urbains ?

L'accélération du réchauffement climatique préoccupe les sphères de la planification urbaine et met au-devant de la scène des sujets longtemps perçus comme contraignants à mettre en œuvre, mais qui s'avèrent désormais incontournables. Les notions de trames vertes et bleues, impulsées il y a deux décennies pour permettre à la biodiversité de circuler sur le territoire, tardent à être appliquées. Il aura fallu que nos sociétés soient directement affectées par les aléas climatiques pour accélérer le pas et reconsidérer les mêmes bénéfices rendus gratuitement par la nature au service de la pérennité urbaine.

L'îlot de fraîcheur suscite un intérêt soudain et partagé tant il implique des enjeux transversaux à la santé publique, l'économie, les liens sociaux, etc. La crise sanitaire de la Covid-19 amplifie l'enjeu d'élaborer à l'échelle des communes et de la métropole une stratégie de résilience urbaine basée sur la place de la nature dans nos espaces publics. Les preuves de cette nécessité s'accumulent. Les prochains documents de planification et autres référentiels ne pourront pas faire l'impasse sur la question du projet politique territorial sans l'appuyer sur une armature verte et accessible à tous, composée de multiples îlots de fraîcheur, du plus petit au plus grand.



Jardin botanique de Bordeaux

Bibliographie

- ADEUS, « Les îlots de fraîcheur dans la ville », novembre 2014. 8 p. Disponible sur : <http://www.adeus.org/productions/les-notes-de-ladeus-ndeg140-environnement>
- a'urba, « Adapter les tissus urbains de la métropole bordelaise au réchauffement climatique », septembre 2019. 126 p. Disponible sur : <https://www.aurba.org/productions/adapter-les-tissus-urbains-au-rechauffement-climatique/>
- Bordeaux Métropole, « Îlots de chaleur et de fraîcheur urbains : diagnostic et préconisations sur le territoire de Bordeaux Métropole », ECIC, ACMG, 2014-2016.
- Emilie Barrau (Gret), Pierre-Arnaud Barthel (LATTES-ENPC), Valérie Clerc (IRD), Bénédicte Hermelin (Gret), Eric Huybrechts (IAU-îdF), Aurélie Landon, Vincent Vigié (CIRED), « Territoires urbains durables et adaptation aux changements climatiques : revue bibliographique », Gret, octobre 2014. 79 p. Disponible sur : <https://www.gret.org/publication/territoires-urbains-durables-et-adaptation-aux-changements-climatiques-revue-bibliographique/>
- Entretien avec Luc Schuiten, Frédérique Triballeau, « Habiter les interstices », 14 juillet 2019 [consulté le 26 août 2020]. Disponible sur : <https://dixit.net/habiter-les-interstices/>
- Hervé Le Treut (Dir), « Les impacts du changement climatique en Aquitaine : un état des lieux scientifique », Pessac, Presses Universitaires de Bordeaux, LGPA-Editions, 2013. 365 p. Disponible sur : <http://www.acclimaterra.fr/rapport-page-menu/>
- Hervé Le Treut (Dir), « Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Aquitaine. Pour agir dans les territoires », Éditions Région Nouvelle-Aquitaine, 2018. 488 p. Disponible sur : <http://www.acclimaterra.fr/rapport-page-menu/>
- Morgane Colombert, « Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville », Université Paris-Est, École Doctorale Ville et Environnement, décembre 2008, 541p. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00470536/document>
- Olivier Papin, « Îlots de chaleurs urbains, l'outil score ICU », 20 juillet 2017 [consulté le 26 août 2020]. Disponible sur : <http://www.e6-consulting.fr/ilots-de-chaaleur-urbains-outil-score-icu/>

Sous la direction de : Sophie Haddak-Bayce

Chef de projet : Dimitri Boutleux

Équipe projet : Bob Clément, Claire Dutilleul, Claire Sèze – PAO a'urba

Crédits photo : a'urba sauf mention contraire –

« Bien que tous les efforts possibles aient été effectués pour entrer en contact avec les propriétaires des droits d'auteurs des illustrations et photos figurant dans cette étude, nous n'avons pas toujours réussi à les retrouver. Si une de vos illustrations ou photos apparaît ici sans copyright, veuillez-nous en avertir »