



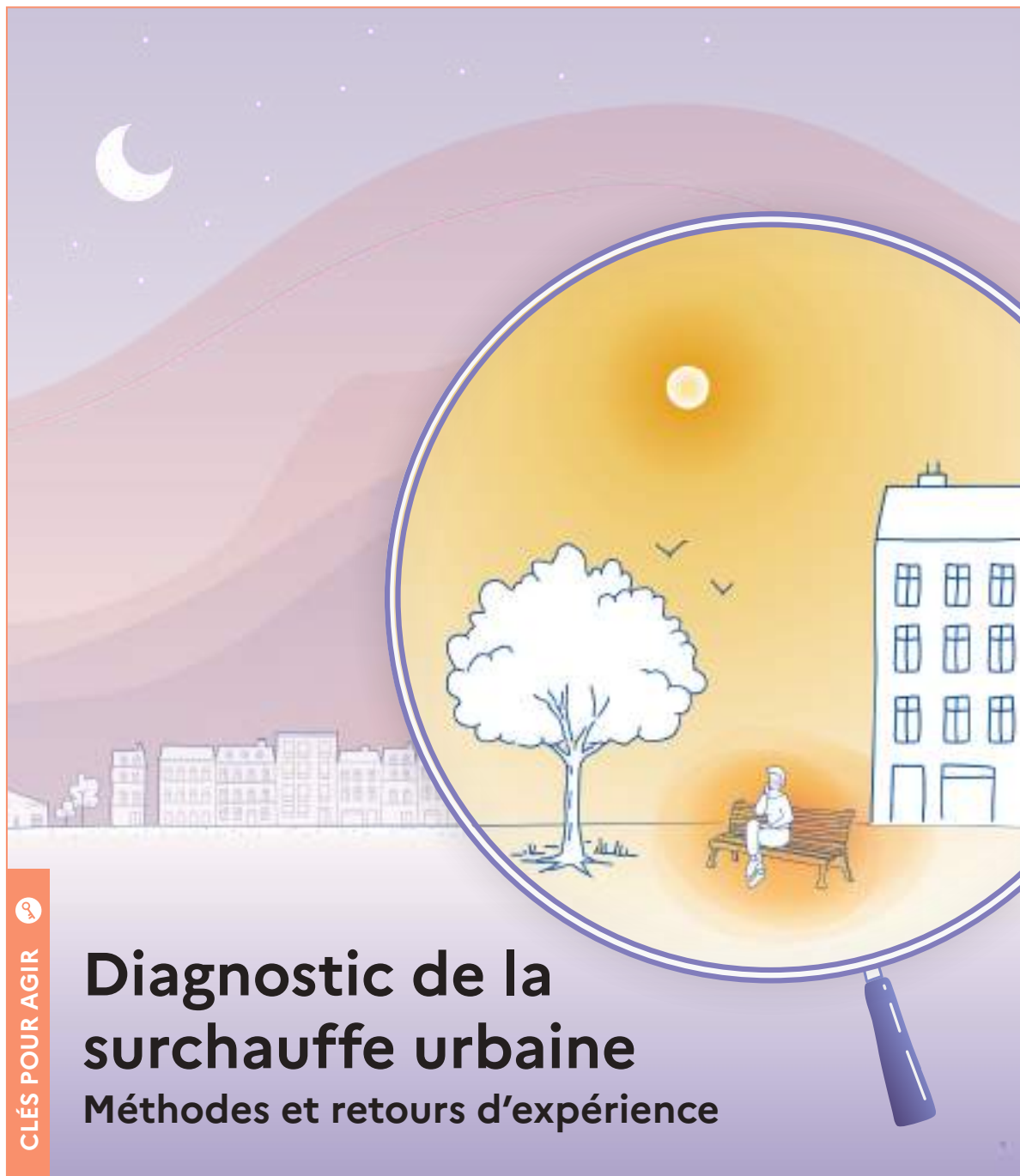
RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ADEME



AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE



CLÉS POUR AGIR

Diagnostic de la surchauffe urbaine

Méthodes et retours d'expérience

Ce document est édité par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Coordination technique : Elodie BRICHE

Relecture : Eleni ASSAFMEDAWAR, Audrey VIDAL-BLANCHARD,
Marie RACINE



Rédaction : TRIBU : Héloïse MARIE, Sophie BLANC, Marie
BRETON, Karine LAPRAY

Création graphique : Tadaa et TRIBU

Crédits photo : précisés à chaque image.

Brochure réf. 012532

ISBN : 979-1-02972-366-7 - juin 2024 -

Dépôt légal : ©ADEME Éditions, juin 2024

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.



La multiplication ces dernières années des phénomènes climatiques extrêmes liés au changement climatique, et l'intensification de la durée, intensité et de la fréquence des épisodes de canicule constituent un défi majeur de santé publique pour l'Etat et les collectivités locales. Dans ce contexte, l'élaboration de démarches ciblées d'adaptation des territoires au changement climatique, et le développement d'outils opérationnels dédiés sont une priorité pour l'ADEME dans son action auprès des collectivités.

L'avis de l'ADEME sur l'impact des vagues de chaleurs sur les occupants et les besoins de rafraîchissement des bâtiments vient compléter et enrichir les travaux en cours.

L'intervention de l'ADEME en faveur du rafraîchissement urbain vise à concilier les opérations directes d'atténuation et les initiatives de moyen et long-terme sur l'adaptation au changement climatique.

Les solutions de rafraîchissement urbain apportent de nombreux co-bénéfices, notamment en termes de santé, d'amélioration de la qualité de vie et de préservation de la biodiversité.

Ce nouveau guide a donc pour objectif d'aider les collectivités et les porteurs de projets d'aménagement à passer à l'action, en commençant par choisir la méthode de diagnostic de surchauffe urbaine la plus adéquate en fonction des spécificités des territoires et des objectifs recherchés. Centré sur l'atteinte de résultats opérationnels il présente des méthodes et analyses concrètes, appuyées sur des retours d'expérience d'initiatives déjà déployées. Ce document s'adresse en priorité aux services techniques des collectivités et autres acteurs réalisant des diagnostics de surchauffe urbaine.

Ce guide vient compléter l'accompagnement que l'ADEME propose pour lutter efficacement contre la surchauffe urbaine notamment, le service numérique public gratuit d'aide à la décision « Plus fraîche ma ville », qui éclaire les élus et agents de collectivités dans leurs choix de solutions de rafraîchissement urbain durables et pérennes. Alors n'attendez pas la prochaine vague !

Sylvain WASERMAN

Président Directeur Général de l'ADEME



SOMMAIRE

Introduction	p 6
Comprendre la surchauffe urbaine	p 8
Le changement climatique	p 8
L'îlot de chaleur urbain	p 10
L'inconfort thermique	p 12
Diagnostiquer la surchauffe urbaine	p 14
Diagnostiquer avant de passer à l'action	p 14
Quelle méthode choisir ?	p 16
Les méthodes de diagnostic	p 22
Indicateurs empiriques	p 23
Classification en zones climatiques locales	p 27
Simulation à l'échelle territoriale	p 31
Simulation à échelle fine	p 35
Mesures de température de l'air (et d'hygrométrie)	p 39
Mesures des paramètres du confort thermique	p 43
Analyse croisée des facteurs de risque	p 47
Enquêtes de confort vécu	p 51
Prospective climatique : Climadiag commune	p 55
Les retours d'expérience	p 58
Lorient : cartographie des zones à enjeux de surchauffe urbaine	p 63
Nantes : enquête sur la vulnérabilité des habitants	p 67
Libourne : classification LCZ et renaturation d'une cour d'école en Gironde	p 71
Toulouse : atlas climatique et mise en place d'un réseau de capteurs fixes	p 75
Marseille : coeur historique en transition	p 79
Grenoble : réseau de mesures et interpolation spatiale	p 83
Chambéry : diagnostic multicritère de la surchauffe urbaine	p 87
Dijon : réseau de mesures et cartographie LCZ	p 91
Nanterre : diagnostic de l'îlot de chaleur urbain et des îlots de fraîcheur	p 95
Saint-Omer : simulations, mesures, enquêtes et études micro-climatiques	p 99
Strasbourg : simulation de l'îlot de chaleur urbain et de stratégies d'adaptation	p 103
Conclusion	p 108
Annexes	p 110

INTRODUCTION

Les conséquences du changement climatique, en particulier les étés avec des canicules de plus en plus denses, fréquentes et intenses, affectent de manière significative la santé des citoyens en raison d'une exposition plus importante à la chaleur en milieu urbain, due à la surchauffe urbaine.

La surchauffe urbaine* renvoie à la fois au phénomène d'îlot de chaleur urbain, particulièrement présent la nuit en été, mais également à l'inconfort thermique ressenti en journée. Le terme « surchauffe urbaine » permet de clarifier les deux approches et utiliser à bon escient le terme « îlot de chaleur ».

Parfois, l'expression « îlots de chaleur urbains » est employée pour qualifier des espaces publics ou privés où le confort thermique est dégradé en journée. Cette utilisation ne correspond pas précisément à la définition scientifique du phénomène d'îlot de chaleur urbain - qui se caractérise par des températures de l'air plus élevées en ville par rapport à la campagne environnante-. Cela peut entraîner des incompréhensions entre le monde scientifique et le monde opérationnel.

Pourtant, que l'objectif soit de réduire l'impact de l'effet d'îlot de chaleur urbain ou d'améliorer le confort thermique estival, la solution réside dans la manière dont nous aménageons nos villes.

Collectivités, acteurs de l'aménagement, vous avez un rôle essentiel à jouer pour garantir le bien-être des habitants face au changement climatique.

Ce présent guide a pour objectif de vous aider à initier une démarche de rafraîchissement urbain sur votre territoire en commençant par une étape essentielle : le diagnostic.

Ce guide enrichit la collection de publications de l'ADEME sur le rafraîchissement urbain :

Kit technique de solutions de rafraîchissement urbain. Planifier, mettre en œuvre et s'inspirer, ADEME, 2024

Des solutions pour rafraîchir les villes, recueil international, ADEME, 2021

Rafraîchir les villes, des solutions variées
ADEME, 2021

« Plus fraîche ma ville »

Le service numérique public gratuit d'aide à la décision Plus fraîche ma ville accompagne les élus et les agents de collectivités pour rafraîchir leur territoire.

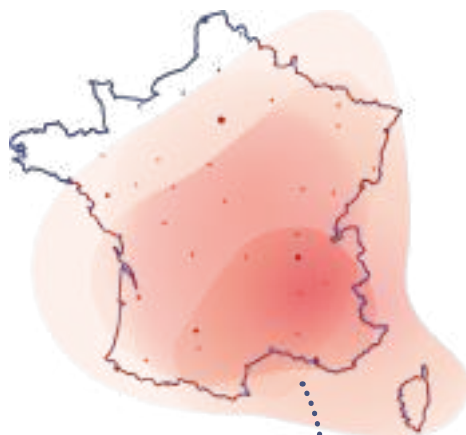
plusfraichemaville.fr



La première partie du guide présente les différents enjeux autour de la chaleur en ville et vous aidera à choisir les méthodes de diagnostic les plus adaptées à vos besoins. Chaque méthode est ensuite détaillée avec des informations clés pour passer à l'action. Enfin, onze études de diagnostic réalisées dans des collectivités en France métropolitaine sont présentées synthétiquement pour tirer parti de l'expérience des porteurs de projet.

Les termes accompagnés de *
sont définis dans le glossaire

**La surchauffe
se répercute
à toutes les
échelles**



échelle : > 50km

climat régional et au-delà

**Le changement
climatique**

Réchauffement du climat
avec augmentation des
températures estivales et des
vagues de chaleur sur tous
les territoires et à toutes les
échelles.

échelle : 100m à 50km

climat urbain

L'îlot de chaleur urbain

Surchauffe en ville par rapport
à la campagne : en été, surtout
la nuit.



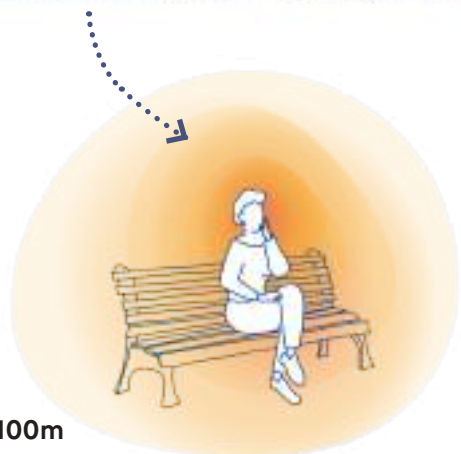
**Enjeu non
traité dans
ce guide**



thermique du bâtiment

**L'inconfort thermique
dans les bâtiments**

Surchauffe des bâtiments inadaptés à
la chaleur de jour comme de nuit.



microclimat extérieur

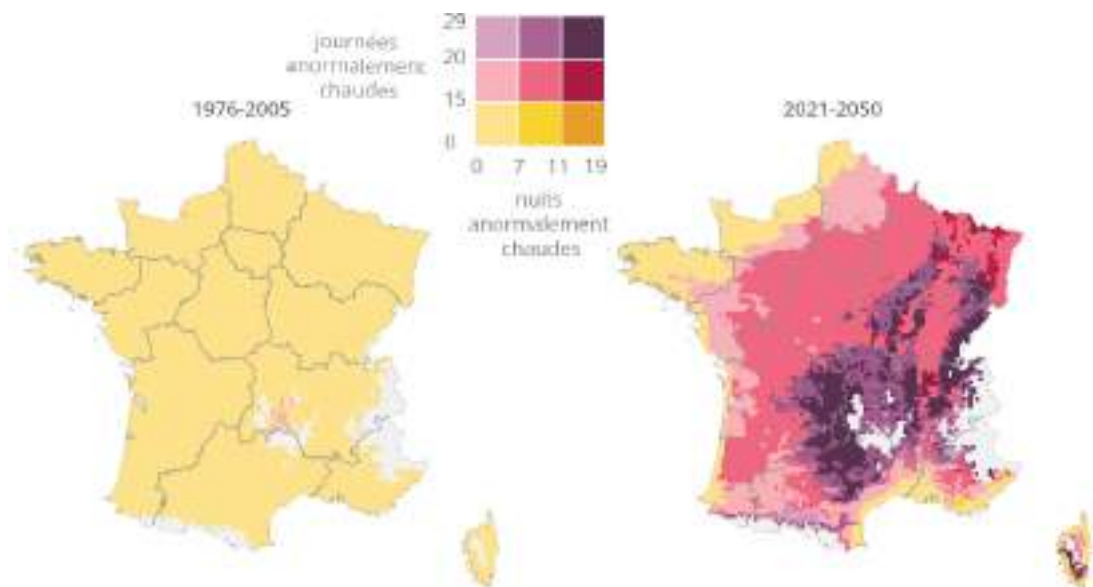
**L'inconfort thermique
dans les espaces extérieurs**

Surchauffe ressentie par les citoyens,
le jour en extérieur.

échelle : < 100m

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE

réchauffement sur tous les territoires, urbains comme ruraux



Nombre de journées et nuits anormalement chaudes pour les périodes 1976-2005 et les projections de 2021-2050
Les carreaux d'altitude moyenne supérieure à 1 000 mètres ne sont pas considérés.
Source : IGN - INSEE 2022 sur la base des données Météo-France - DRIAS 2020

Le changement climatique concerne tous les territoires et a des répercussions multiples. On constate notamment :

- une **hausse des moyennes de températures** en hiver et surtout en été ;
- une augmentation de la fréquence des **vagues de chaleur*** ainsi que leur durée et sévérité ;
- des **pics de chaleur*** plus fréquents, avec des records de températures ;
- une **modification des précipitations** avec une multiplication des sécheresses et des inondations.

Réduire les émissions de gaz à effet de serre pour limiter le changement climatique est la priorité de l'action climatique mais **tant que la neutralité carbone ne sera pas atteinte au niveau mondial, le climat continuera de se réchauffer et les impacts du réchauffement climatique s'aggraveront.**

Au regard du scénario tendanciel mondial à +3°C, la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique* (TRACC) a défini les niveaux de réchauffement et les effets que l'on peut attendre en France Métropolitaine.

+1,7°C en 2024

+2°C en 2030

+2,7°C en 2050

+4°C en 2100

de niveau de réchauffement moyen en France Métropolitaine, par rapport à la période 1900-1930

A l'horizon 2030,

2 à 5 fois plus de jours de vague de chaleur (TRACC, 2024)



EFFETS SUR LA SANTÉ

L'exposition à la chaleur a des impacts sanitaires directs comme la déshydratation et l'hyperthermie*, et des impacts indirects en aggravant des pathologies préexistantes. Les capacités cognitives, la santé mentale peuvent également être affectées en période de fortes chaleurs.

La sur-exposition (lié à l'environnement ou à l'activité physique), l'incapacité à se soustraire à l'exposition (pour des raisons matérielles ou médicales) et la susceptibilité individuelle (âge, état de santé, prise de certains médicaments...) sont les principaux facteurs de risque.

Le risque peut être parfois mortel pour les personnes fragiles. Les personnes de plus de 65 ans, les nourrissons, les enfants de moins de 4 ans, les femmes enceintes, les personnes ayant des pathologies chroniques ont des capacités de thermorégulation moins efficaces.

été 2003, le plus chaud depuis 1900
+2,7°C de température moyenne par rapport à la normale
14 800 décès en excès en France
(Inserm, 2004)

été 2022, deuxième été le plus chaud
+2,3°C de température moyenne
3 vagues de chaleur successives cumulant 33 journées.
2 816 décès en excès en France
(Santé Publique France, 2022)
60 000 décès en Europe
(Ballester, 2023)

été 2023, quatrième été le plus chaud
+1,4 °C de température moyenne
4 vagues de chaleur
5 000 décès attribuables à la chaleur
(Santé Publique France, 2023)



Comment l'évaluer ?

L'analyse des données météorologiques passées et des scénarios de projections* futures permettent d'évaluer l'exposition du territoire au changement climatique. L'analyse des perspectives climatiques est détaillée [ici](#).

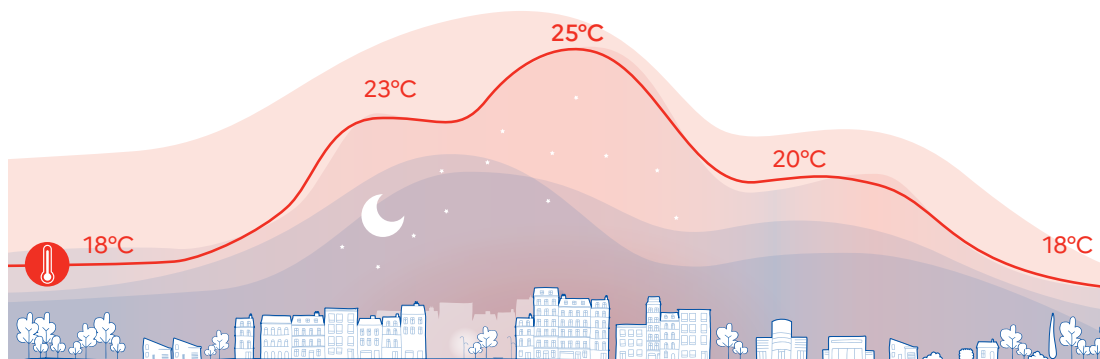
Le nombre de jours de vague de chaleur ou de nuits chaudes constituent des indicateurs intéressants pour évaluer l'impact sur la santé humaine.

Les nuits chaudes* dites aussi nuits tropicales sont les nuits où la température ne chute pas en dessous de 20°C. L'exposition prolongée à des nuits chaudes impacte directement les capacités de récupération de nos organismes à la chaleur du jour et affecte le sommeil plus généralement.

Une **vague de chaleur*** se caractérise par des températures anormalement élevées pendant plusieurs jours consécutifs. On parle aussi de canicules*, définies par des dépassements de températures diurnes et nocturnes (dont les seuils varient en fonction des départements) pour 3 jours consécutifs minimum. A la différence des pics de chaleur* qui sont courts et intenses, les vagues de chaleur s'inscrivent dans la durée ce qui accroît considérablement l'effet sur la santé humaine.

L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

en été, c'est surtout la nuit et dans les centres-villes



Îlot de chaleur urbain à 4h du matin : répartition de la température de l'air de la ville et des zones rurales environnantes

Les citoyens sont exposés d'avantage aux fortes chaleurs à cause de l'effet d'îlot de chaleur urbain.

L'îlot de chaleur urbain* (ICU) est un phénomène climatique qui se caractérise par des températures de l'air plus élevées en ville par rapport à la campagne environnante.

En hiver, l'îlot de chaleur urbain est présent de jour comme de nuit. Les températures plus douces des villes ont tendance à réduire les besoins en chauffage des bâtiments et peut avoir des effets positifs sur la biodiversité qui peut y trouver refuge dans les périodes de froid. **En été, l'îlot de chaleur urbain se manifeste principalement la nuit et en fin de journée par vent calme et ciel clair.** Le jour, les températures sont variables entre ville et campagne. Par contre, la nuit, on observe un manque de rafraîchissement nocturne particulièrement marqué dans les centres-villes.

Jusqu'à
+ 6,2°C à Grenoble
+ 10°C à Paris
par rapport à la campagne
différences de températures d'air maximales
observées (Foissard, 2021 ; Cantat, 2004)



Comment l'évaluer ?

Étudier l'îlot de chaleur urbain sur un territoire, c'est connaître la variation temporelle et la répartition spatiale de la surchauffe en comparaison à une zone rurale en périphérie.

Localiser les zones qui subissent l'îlot de chaleur urbain le plus intense permet de prioriser l'action de rafraîchissement urbain.

L'intensité de l'îlot de chaleur urbain, correspond à la différence de température de l'air entre le centre-ville et la campagne. La variation temporelle de cette intensité peut être étudiée durant un été ou une période suffisamment représentative des types de temps. On peut ainsi identifier l'intensité maximale et / ou moyenne de l'îlot de chaleur urbain.

La localisation de l'îlot de chaleur urbain, peut être représentée sous forme de cartographie du territoire.



Les paramètres responsables de l'effet d'îlot de chaleur urbain

La taille de la ville, la densité bâtie, le manque de végétation, les rejets de chaleur du trafic routier et des climatiseurs sont des paramètres qui intensifient l'effet d'îlot de chaleur urbain.



Le trafic routier, les rejets de climatisation en été, mais aussi les industries, les déperditions de chauffage en hiver rejettent de la chaleur dans les environnements urbains



La forme urbaine dense piège le rayonnement solaire et limite l'écoulement du vent ce qui limite l'évacuation de la chaleur



La faible proportion de végétal, de sols perméables et d'eau. L'évaporation de l'eau, des sols et la transpiration des végétaux, ont un rôle dans le rafraîchissement de l'air



La forte proportion de surfaces urbaines minérales avec un albédo* faible qui absorbent le rayonnement solaire la journée et qui restituent sous forme de chaleur avec un décalage de temps lié à leur forte inertie thermique*.

EFFETS SUR LA SANTÉ

Le manque de fraîcheur nocturne causé par l'îlot de chaleur urbain augmente le nombre de nuits chaudes en ville ce qui affecte directement la santé des citoyens.

+ 141% à Paris
+ 40% en zone rurale
de surmortalité lors de la canicule de 2003
(Cadot, 2006)

Mais tous les habitants des villes ne sont pas impactés de la même façon à la surchauffe urbaine : les inégalités sont à la fois sociales et spatiales. Parmi les plus exposés, on trouve les habitants des centres-villes, des logements de petite surface, sous les toits, et inadaptés (mono-orientés, mal isolés, manque d'inertie intérieure, absence de protection solaire...). Les personnes sensibles, peu mobiles, les foyers qui ne partent pas en vacances, les familles mono-parentales sont particulièrement vulnérables.

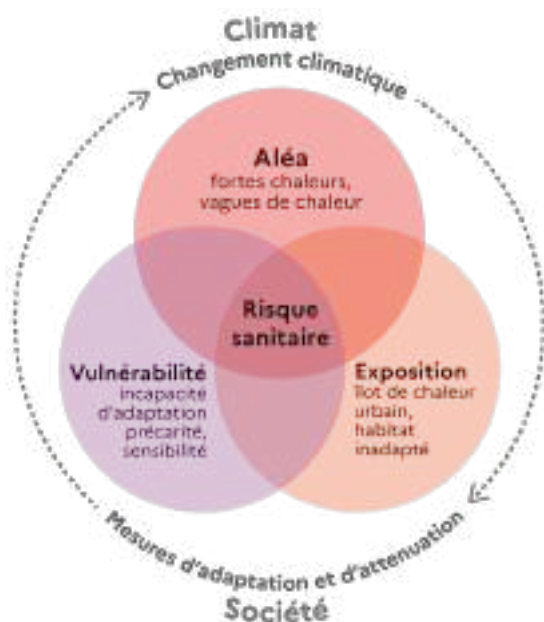
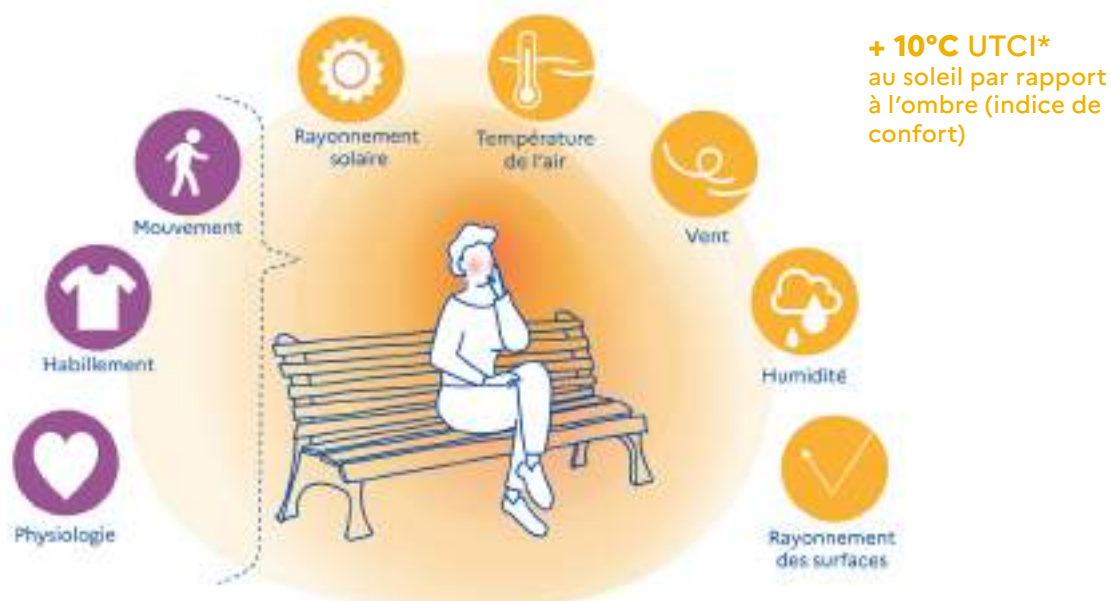


Schéma du risque sanitaire, d'après GIEC, ARS

L'INCONFORT THERMIQUE DANS LES ESPACES EXTÉRIEURS

en été en journée, ce n'est pas que la température de l'air



Les paramètres du confort thermique en extérieur en journée

En période de fortes chaleurs, les usagers des espaces extérieurs en ville souffrent particulièrement d'inconfort thermique, et même si les températures en journée ne sont pas plus élevées qu'à la campagne.

Les espaces urbains dépourvus d'ombrage, le rayonnement des surfaces minérales échauffées par le soleil combiné à un manque de vent, dégradent le confort des individus.

Le ressenti de la chaleur ne se résume pas à la température de l'air. Une diversité de paramètres rentrent en jeu :

- **le rayonnement du soleil** : c'est le paramètre le plus influent dans le confort thermique en extérieur, ainsi l'ombre est un levier important de

confort ;

- **le rayonnement des surfaces environnantes** : plus les surfaces renvoient l'énergie solaire, plus elles dégradent le confort, et plus elles absorbent l'énergie solaire, plus elles s'échauffent et échauffent l'air ambiant ;
- **la vitesse de l'air** : plus la vitesse de l'air est élevée plus il y a une sensation de fraîcheur ;
- **l'hygrométrie** : au delà de 25°C plus l'hygrométrie est élevée, plus il y a une sensation d'inconfort.

Les paramètres propres à l'individu influent également sur son ressenti thermique : l'habillement, son métabolisme et son activité physique.



EFFETS SUR LA SANTÉ

En journée, les personnes peuvent éprouver un **stress thermique*** qui peut aller jusqu'à l'**hyperthermie***, l'**insolation** et la **déshydratation**.

Les personnes sensibles, les sans domicile fixe, les sportifs et les travailleurs en extérieur sont les plus vulnérables.

Par ailleurs, l'**exposition aux UV** (ultraviolets) prolongée ou forte (coup de soleil) augmente le risque de cancer de la peau (carcinomes et mélanomes), en particulier pour les enfants et adolescents. Au delà des mesures de protection individuelle, il est donc essentiel que les aménagements urbains intègrent des éléments d'ombrage au niveau des espaces d'usage (jeux d'enfants, bancs, etc.)

Plus globalement, l'**accès à des « espaces refuges* » en ville**, également appelés « îlots de fraîcheur », accessibles à tous et à proximité du logement, constitue une mesure adaptative pour assurer un réconfort thermique si le logement ou les espaces extérieurs sont jugés inconfortables voire invivables.



Comment l'évaluer ?

Pour évaluer le confort thermique, il est nécessaire de prendre en compte les paramètres influents décrits précédemment.

Au delà de la température de l'air, le paramètre le plus influent est le rayonnement solaire qui peut être analysé par l'exposition au soleil par exemple.

Il existe également des **indices de confort** multi-paramètres qui peuvent être mesurés ou modélisés.

Voici trois indicateurs régulièrement utilisés dans les études :

- **UTCI***, « Universal thermal climate index » prend en compte les paramètres du confort : température de l'air, humidité et température moyenne radiante, vitesse de l'air ;
- **PET***, « Physiological Equivalent Temperature » correspond à une température opérative ;
- **Heat index***, prenant en compte la température et l'humidité

DIAGNOSTIQUER AVANT DE PASSER À L'ACTION

A quel moment produire un diagnostic et pourquoi ?

Le schéma ci-dessous représente un processus opérationnel théorique d'aménagement urbain, de la planification à l'évaluation en passant par toutes les étapes du projet. A chaque étape est identifié le rôle du diagnostic de la surchauffe urbaine.



STRATÉGIE TERRITORIALE

Orientations

Volet adaptation des PCAET : plan climat air énergie territorial
SCOT : Schéma de cohérence territoriale

Planification

PLU(I) : Plan Local d'urbanisme
SPR : Secteur de protection patrimoniale

PROJET URBAIN

Définition des ambitions

Approche environnementale de l'urbanisme AEU

Études pré-opérationnelles

Plan guide
Étude d'impact sur la santé EIS



Pour les collectivités, la lutte contre la surchauffe urbaine peut faire l'objet d'une stratégie territoriale intégrée dans les outils réglementaires et les processus internes des collectivités (modalités de gestion du patrimoine et espaces publics, processus d'instruction des permis de construire, etc.).

Le diagnostic permet d'évaluer l'intensité de l'îlot de chaleur et **d'identifier les secteurs les plus vulnérables, prioritaires à l'action.**



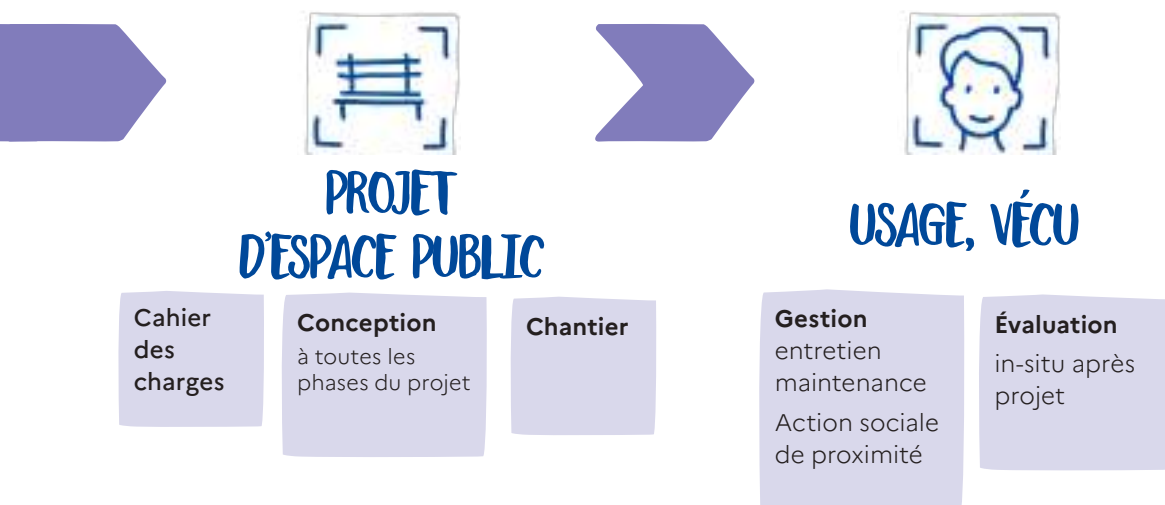
Dans les opérations urbaines encadrées visant à densifier ou à renouveler les tissus urbains existants, le **diagnostic du contexte climatique local est un intrant essentiel** d'une approche environnementale de l'urbanisme.

L'aménageur peut également s'appuyer sur un assistant à maîtrise d'ouvrage (AMO) avec une expertise sur le rafraîchissement urbain, pour l'aider à établir des préconisations et des exigences applicables sur les futures constructions et des aménagements.

Pour réduire l'impact du changement climatique et de la surchauffe urbaine, les collectivités et les aménageurs disposent d'une multitude de leviers d'action qui s'imbriquent à chaque échelle d'intervention de l'aménagement du grand territoire à l'espace public.

Le diagnostic a un rôle clé à toutes les étapes du processus d'aménagement pour identifier l'enjeu et localiser les zones de surchauffe en vue d'orienter l'action de rafraîchissement urbain.

Les méthodes de diagnostic sont également intéressantes pour comparer plusieurs scénarios d'aménagement dans le cadre des projets ou encore pour évaluer le rafraîchissement d'un projet à la livraison.



En intégrant une compétence adaptée en équipe avec le paysagiste, la conception des espaces publics peut s'appuyer sur un diagnostic afin de :

- connaître d'état initial et identifier les zones de surchauffe à traiter
- comparer des scénarios pour optimiser le confort en été de l'aménagement et créer un véritable refuge de fraîcheur.



Une fois réalisés et livrés, les aménagements peuvent être évalués par le biais de mesures climatiques et/ou au moyen d'enquêtes auprès des usagers afin d'étudier l'efficacité de la solution de rafraîchissement mise en place.

La connaissance de la vulnérabilité du territoire et des habitants a un impact direct sur l'action de proximité, en améliorant l'efficacité des plans canicule.

QUELLE(S) MÉTHODE(S) CHOISIR ?

Il existe une diversité de méthodes pour diagnostiquer la surchauffe urbaine et, plus globalement, pour évaluer le risque face au changement climatique d'un territoire.

Les méthodes de diagnostic peuvent être employées seules ou bien combinées entre-elles. Il existe des méthodes qui utilisent la mesure climatique sur site et des méthodes basées sur des modèles de calcul ou empiriques*. Les mesures confortent les modèles, tandis que les modèles permettent d'extrapoler les mesures. Ainsi une étude de diagnostic associe généralement plusieurs méthodes.

La difficulté réside dans le choix de la ou des méthodes les plus adaptées à votre besoin opérationnel. Une multitude de critères entre en jeu pour choisir une méthode. On peut la sélectionner selon :

- **l'enjeu** qu'elle évalue (changement climatique, îlot de chaleur ou vulnérabilité) ;
- **le coût mobilisable** pour élaborer l'étude ;
- **le délai** pour obtenir un résultat (le temps opérationnel par exemple nécessite une grande réactivité) ;
- **l'échelle et la résolution** de l'analyse ;
- **la précision** du résultat attendu au regard du niveau d'expertise et de la qualité scientifique associée.

Selon votre besoin opérationnel, les deux doubles-pages suivantes proposent des arbres de décision pour vous accompagner dans votre choix.

Le tableau synthétique présente les neuf méthodes les plus pertinentes pour le diagnostic de la surchauffe urbaine. Celles-ci sont détaillées en deuxième partie du guide.

Les modèles empiriques basés sur des indicateurs

Ces méthodes simplifiées relient les paramètres morphologiques du territoire à leur comportement climatique. Elles ont été définies généralement sur la base d'études plus expertes (simulations, mesures).

Les modèles de simulations numériques

Ces outils numériques reproduisent les phénomènes physiques et climatiques par des modèles de calcul complexes sur le territoire modélisé.

Les mesures

Elles se rapportent à la prise de données réelles à partir du territoire lui-même au moyen d'instruments de mesure du climat et du microclimat.

Les méthodes complémentaires

Au delà des paramètres physiques de la surchauffe urbaine, ces méthodes complètent le diagnostic en intégrant d'autres dimensions comme le ressenti des usagers ou comme la prise en compte des vulnérabilités des habitants et du changement climatique.

		Enjeu évalué	Durée de l'étude	Coût de l'étude 1 k€ = 10 000€
	Calcul d'indicateurs empiriques	Îlot de chaleur urbain	1 à 6 mois	2 à 10k€
	Classification en zones climatiques locales	Îlot de chaleur urbain	3 à 6 mois	8 à 12k€
	Simulation numérique à l'échelle territoriale des paramètres de l'îlot de chaleur	Îlot de chaleur urbain	6 à 10 mois	40 à 50k€
	Simulation numérique à l'échelle fine des paramètres de l'îlot de chaleur et du confort	Confort thermique	6 mois à 1 an	40 à 50k€
	Mesures de température de l'air (et hygrométrie)	Îlot de chaleur urbain	2 à 6 mois	25 à 50k€
	Mesures des paramètres du confort thermique	Confort thermique	3 à 6 mois	3k€
	Analyse croisée des facteurs de risque	Risque et vulnérabilité	3 à 6 mois	5 à 8k€
	Enquêtes de confort vécu (entretiens et observation des usages)	Confort thermique	2 à 4 mois	5 à 8k€
	Prospective climatique Climadiag	Changement climatique	immédiat	gratuit

QUELLE(S) MÉTHODE(S) CHOISIR ?

dans le cadre d'une stratégie territoriale

Pour développer une stratégie territoriale de rafraîchissement urbain sur l'ensemble de la collectivité, les méthodes en lien avec le phénomène d'îlot de chaleur urbain sont plus adaptées dans la mesure où ce phénomène s'appréhende à l'échelle urbaine.

Les méthodes peuvent être classées selon les trois enjeux, qui, associés, constituent un socle de connaissance du territoire nécessaire pour initier une politique urbaine d'adaptation.

Changement climatique

connaître le climat régional et de la prospective climatique ;

Îlot de chaleur urbain

cartographier les zones à enjeux : mobiliser une approche simplifiée d'analyse de l'îlot de chaleur pour identifier les zones de surchauffe potentielles,
et / ou cartographier l'intensité de l'îlot de chaleur urbain via une simulation numérique ou via un réseau de mesures ;

Risque et vulnérabilité

croiser l'analyse des zones à enjeux de surchauffe avec les enjeux de la vulnérabilité des habitants selon des critères de santé publique.

Pour une étude de diagnostic visant à obtenir la meilleure exhaustivité possible, deux options principales sont envisageables : la simulation numérique du climat local ou l'utilisation d'un réseau de mesures. Le réseau de mesures, associé à une interpolation spatiale, permet de produire des cartographies en tout point de la ville et offre un bon compromis entre l'expertise de l'analyse et le coût associé.

L'arbre de décision en page suivante a pour objectif de vous aider à choisir les méthodes adaptées à vos besoins.



Et la thermographie ?

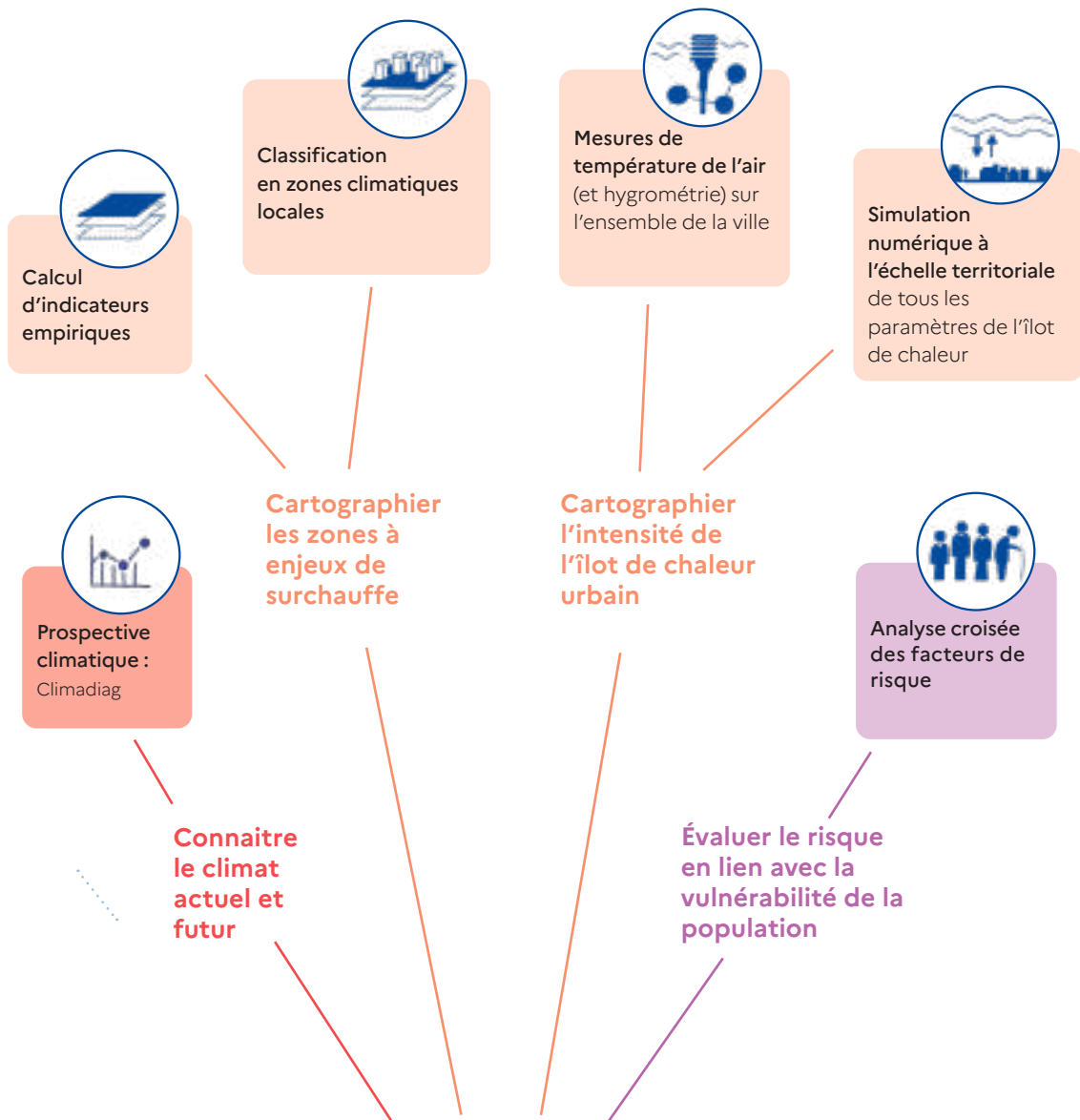
Le géotraitement d'imagerie infrarouge satellite ou aéroportée permet de produire des cartographies de température de surfaces, qu'on appelle des thermographies. Même si celles-ci sont un moyen intéressant de communication et de sensibilisation, **elles ne représentent pas l'îlot de chaleur urbain.**

La thermographie de jour indique les surfaces urbaines s'échauffant fortement à un instant donné. Ces surfaces ne sont pas toujours celles qui emmagasinent la chaleur et qui contribuent à l'îlot de chaleur.

La thermographie de nuit est plus adaptée pour évaluer le phénomène d'îlot de chaleur en identifiant les surfaces qui dégagent la chaleur la nuit (entre 23h et 5h du matin). La thermographie doit être complétée par d'autres méthodes de diagnostic intégrant la température de l'air.

Voir :

- Nanterre, Diagnostic ICU (NEPSSEN-E6)
- Chambéry, Étude de la surchauffe urbaine (TRIBU)



VILLE, GRAND QUARTIER

Définir une stratégie territoriale de réduction de la surchauffe urbaine

QUELLE(S) MÉTHODE(S) CHOISIR ?

dans le cadre d'un projet urbain ou d'espace public

Dans le cadre d'un projet de quartier ou d'espace public, le diagnostic de la surchauffe urbaine s'intègre dans le projet, il permet de :

- **produire un état initial** avant projet pour déterminer les zones à traiter et l'ampleur de l'enjeu ;
- **aider à la conception en comparant des scénarios**, avec des méthodes basées sur des modèles (indicateurs ou simulations) ;
- **évaluer le projet réalisé**, avec des mesures sur site ou des enquêtes.

L'association des méthodes selon les trois enjeux suivants apporte une vision globale nécessaire au projet :

**Changement
climatique**

connaître le climat régional et de la prospective climatique

**Îlot de
chaleur
urbain**

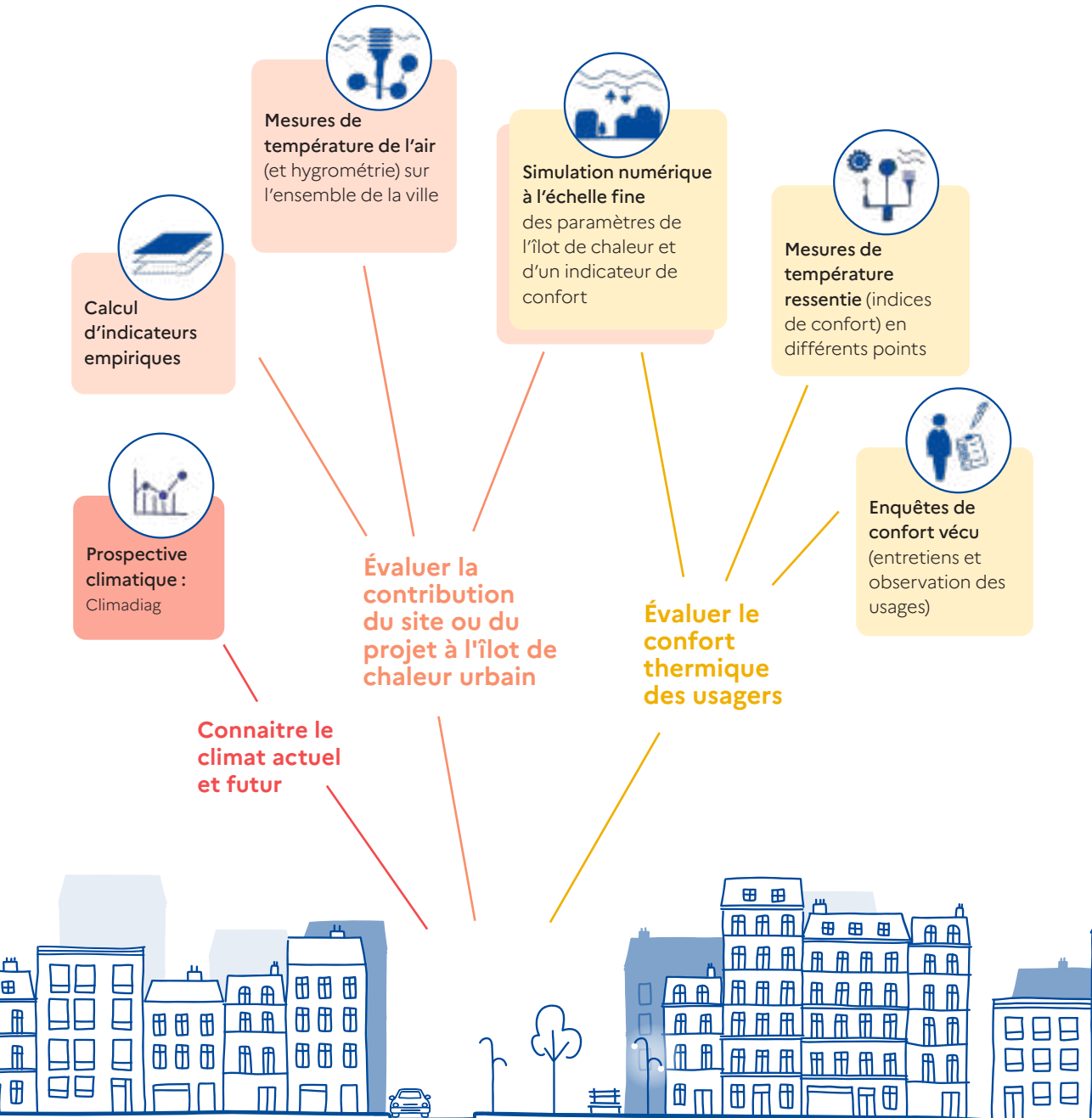
évaluer la contribution du site et/ou du projet à l'îlot de chaleur, en particulier sur des quartiers et des îlots

**Confort
thermique**

évaluer le confort thermique du site, point de départ essentiel à la conception d'un espace public

L'arbre de décision en page suivante a pour objectif de vous aider à choisir les méthodes adaptées à vos besoins.

Dans le domaine de l'évaluation de la surchauffe urbaine pour les quartiers et les aménagements extérieurs, plusieurs méthodes sont utilisées. La simulation microclimatique est une option intéressante, mais elle est rarement utilisée en raison de sa complexité de calcul et de la difficulté à adopter une approche itérative. En revanche, des méthodes plus simples, comme l'utilisation d'indicateurs et la simulation de l'ensoleillement, permettent d'aborder le sujet de manière appropriable par tous les acteurs du projet.



QUARTIER, ÎLOT, ESPACE PUBLIC

Prendre en compte la surchauffe dans un projet d'aménagement

LES MÉTHODES

pour passer à l'action

Indicateurs empiriques	p 23
Classification en zones climatiques locales	p 27
Simulation numérique à l'échelle territoriale	p 31
Simulation numérique à l'échelle fine	p 35
Mesures de température de l'air (et d'hygrométrie)	p 39
Mesures des paramètres du confort thermique	p 43
Analyse croisée des facteurs de risque	p 47
Enquêtes de confort vécu	p 51
Prospective climatique : Climadiag commune	p 55



INDICATEURS EMPIRIQUES

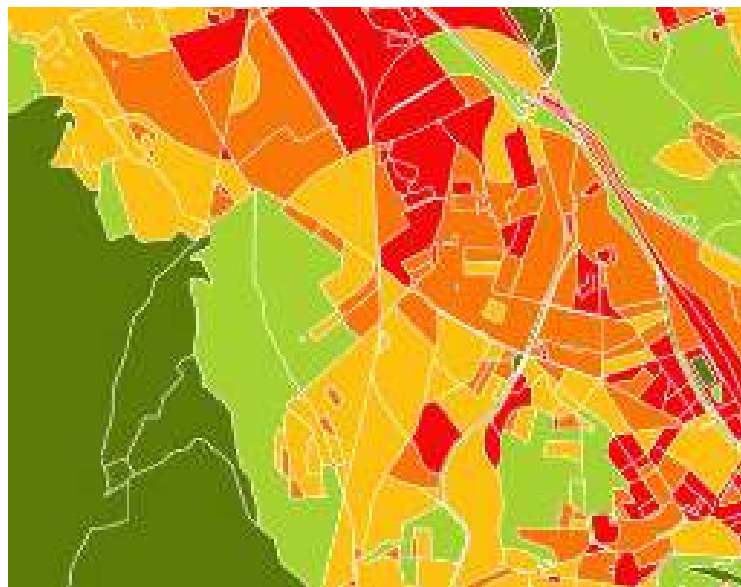
COEFFICIENT DE RAFRAÎCHISSEMENT

URBAIN, SCORE ICU, ETC.



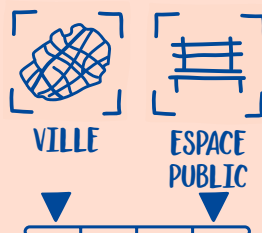
- Quels sont les secteurs les plus concernés par l'îlot de chaleur urbain ?
- Comment évaluer puis optimiser mon projet pour limiter sa contribution à la surchauffe ?
- Quels indicateurs faciles à mettre en place pour appréhender la surchauffe et l'inconfort thermique ?

Développés sur la base de connaissances établies de façon empiriques le plus souvent, les indicateurs de quantification de la surchauffe urbaine sont des approches très simples et facilement appropriables par les acteurs de l'aménagement. Ils peuvent s'appliquer à l'échelle du territoire comme à l'échelle d'un espace public et sur les phases amont de planification jusqu'aux phases opérationnelle d'aménagement. Cependant, ces outils appréhendent le phénomène de façon partielle : une expertise ou des méthodes complémentaires sont nécessaires pour aller plus loin.



Cartographie des zones à enjeux de surchauffe d'après le coefficient de rafraîchissement urbain à Chambéry (source : TRIBU)

Échelle d'analyse



Méthodes associées



Classification
Zones Climatiques
Locales



Analyse croisée
des facteurs de
risque

Temporalité

3 à 6 mois

Coûts

2 000 € - 10 000 € HT

Obtention des données
sources, géotraitement
ou calcul manuel,
restitution des résultats

Description de la méthode

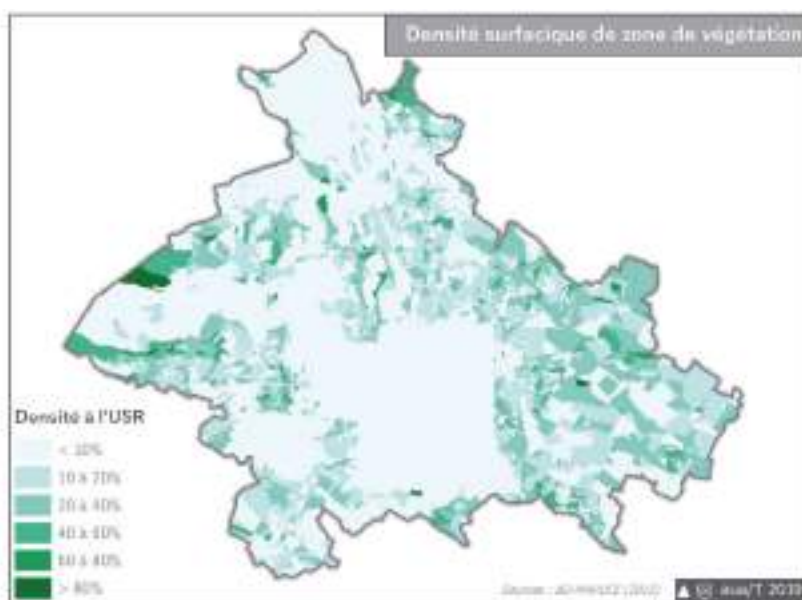
Basés sur des données morphologiques et géographiques, le calcul d'indicateurs constitue une première approche des enjeux de surchauffe urbaine.

Ils peuvent être employés à une **diversité d'échelles** : pour évaluer l'îlot de chaleur urbain à l'échelle territoriale, quantifier la contribution d'un quartier à l'îlot de chaleur, ou la qualité d'un espace public en termes de confort thermique. On peut recourir à cette méthode à **toutes les étapes du processus d'aménagement**, de la planification aux phases de conception et réalisation.

Il existe une variété d'indicateurs développés par des bureaux d'étude ou dans le cadre de la recherche.

Les principaux indicateurs étudiés :

- **Score ICU (développé par le bureau d'étude NEPSSEN- E6)** : quantification selon un score de 1 à 10 selon les surfaces et leur ensoleillement (calcul de moyenne pondérée)
- **Coefficient de rafraîchissement urbain (Indi-EN, développé par le bureau d'étude TRIBU)** : quantification de la contribution potentielle à la surchauffe ou au rafraîchissement selon les surfaces et le végétal (calcul de moyenne pondérée)
- **L'indicateur d'intensité de l'ICU**, développé dans les travaux de recherche de Oke (1967) : relation déterminant l'intensité de l'îlot de chaleur urbain en fonction de la population et de la densité sur la base d'une analyse des villes du monde.
- D'autres paramètres peuvent être utilisés dans l'opérationnel : **le pourcentage de végétation, la perméabilité des sols, le facteur de vue du ciel**, ont été identifiés comme ayant une bonne corrélation avec l'intensité de l'ICU. **Le pourcentage de canopée** a un lien également avec le confort thermique.



Modélisation d'un indicateur morphologique de la métropole de Toulouse : densité surfacique de végétation (source : Atlas Climatique de Toulouse Métropole, aua/T, 2019)

✓ AVANTAGES

- Les indicateurs sont **faciles à calculer** (voir p.26, «Étape par étape») par des professionnels de l'aménagement ayant à leur disposition des jeux de données urbaines, ce qui fait que cette méthode est facile à mettre en place.
- Les indicateurs peuvent être calculés pour produire une cartographie d'un territoire ou sur un secteur donné à l'échelle d'un quartier, d'un îlot ou d'un espace public.
- La rapidité des calculs permet des processus itératifs d'optimisation des projets d'aménagement. Ces indicateurs deviennent des **véritables outils d'aide à la décision** pour les maîtres d'ouvrage.
- Ces indicateurs sont également adaptés aux **documents de planification** pour cadrer des ambitions aménagement ou même réglementer les opérations.
- Ces indicateurs sont également utiles pour d'**autres analyses urbaines et environnementales**.

” ILS L'ONT FAIT

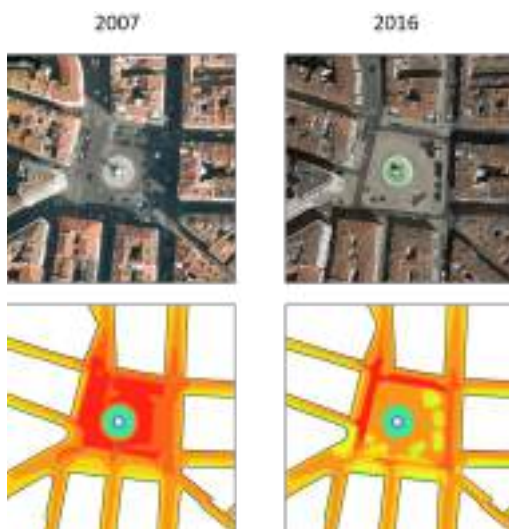
Nanterre, Diagnostic de la surchauffe urbaine et balades climatiques (ECIC-NEPSEN)

Chambéry, Étude de l'îlot de chaleur urbain (TRIBU)

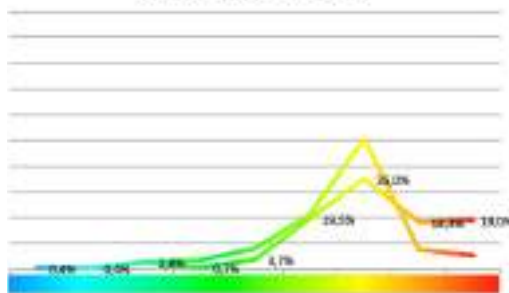
Lorient, Étude de l'îlot de chaleur urbain (Intermezzo)

⚠ POINTS DE VIGILANCE

- ▲ Le plus souvent basés sur une analyse des surfaces urbaines, les indicateurs ne fournissent **qu'une approche très partielle** du phénomène d'îlot de chaleur ou du confort thermique. En se basant uniquement sur les surfaces, **il y a un risque de tirer de fausses conclusions sur l'îlot de chaleur urbain**.
- ▲ Leur prise en main et leur analyse, notamment l'appréhension des échelles de valeur de ces indicateurs, doit être accompagnée par un expert voire d'une formation aux enjeux de la surchauffe urbaine.



Comparaison des deux profils



Score ICU appliqué à la place des Célestins à Lyon (NEPSEN-E6, 2019)

CLÉS POUR AGIR

Étape par étape

1

Collecte des données

La première étape est de collecter les données de morphologie urbaine et/ou d'occupation des sols. Plusieurs des indicateurs étudiés se basent en effet sur un calcul de surface.

2

Calcul de l'indicateur

Réalisation du calcul pour chaque unité : moyenne pondérée des types de surfaces constituant l'unité. La pondération de chaque type de surface pouvant varier suivant l'outil choisi.

L'indicateur entre 0 et 1 obtenu par le calcul correspond à la contribution de l'unité à la surchauffe. Le Score ICU attribue la valeur 0 aux unités les plus rafraîchissantes, tandis que le Coefficient de Rafraîchissement Urbain attribue aux mêmes zones la valeur 1.

3

Exploitation et restitution des résultats

Ce type d'indicateurs permet :

- de produire une cartographie du territoire,
- d'évaluer un projet dans le temps en comparant son évolution
- d'optimiser les projets d'aménagement avec des aller-retour entre conception et évaluation ou comparaison de scénarios.



Ressources et matériel

Simple calcul de surfaces ou moyenne pondérée de surfaces pour l'obtention des indicateurs à partir d'une table attributaire dans le SIG ou un fichier de calcul Excel.

Géotraitements des données urbaines par système d'information géographique (SIG)

- Données sur l'occupation des sols, la morphologie urbaine, les fonctions urbaines (IGN ou base de données territoriales)
- Plans de projets
- Images satellites (LANDSAT ou équivalent) ou orthophoto

Outil de calcul du Score-ICU (mise à disposition et formation à l'outil par NEPSSEN-E6)

Outil de calcul du Coefficient de rafraîchissement urbain (mise à disposition par TRIBU)

CLASSIFICATION

EN ZONES CLIMATIQUES LOCALES

(LOCAL CLIMATE ZONES OU LCZ)

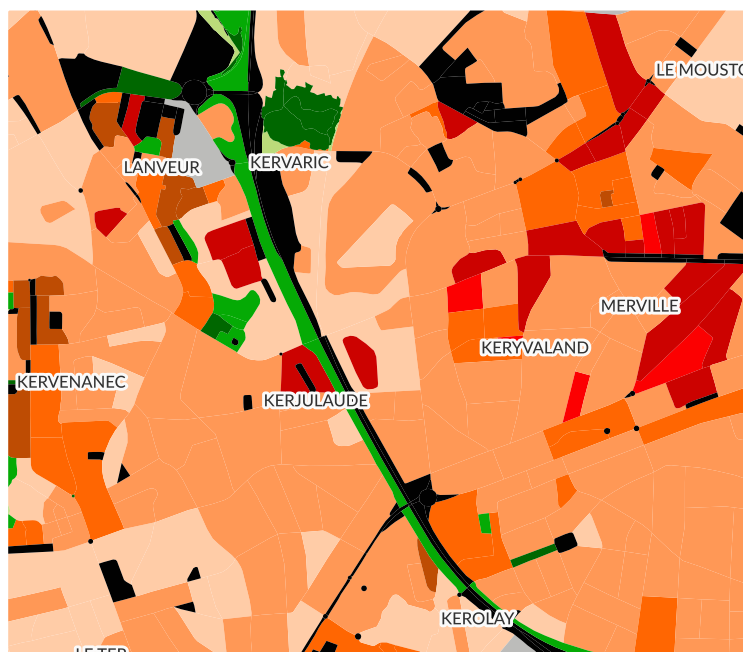


- Quels sont les secteurs les plus concernés par l'îlot de chaleur urbain ?
- Comment évaluer l'impact d'un aménagement de façon simple ?
- Quelle méthode facile à mettre en place pour cartographier les zones à enjeux d'îlot de chaleur ?

Cette méthode se base sur la classification des tissus urbains en zones climatiquement homogènes pour localiser les zones à enjeux en terme d'îlot de chaleur.

La méthode la plus connue est la classification en zones climatiques locales ou « local climate zones » ou « LCZ » est une méthode simplifiée employée à l'international.

Cette méthode simple permet d'avoir une première localisation des zones à enjeux d'îlot de chaleur urbain mais nécessite des méthodes complémentaires pour obtenir une cartographie de températures.



Extrait de la cartographie de l'agglomération de Lorient d'après le référentiel des Zones Climatiques Locales (LCZ) (source : Intermezzo, 2022)

Échelle d'analyse



Méthodes associées



Mesures de température de l'air



Analyse croisée des facteurs de risque

Temporalité

3 à 6 mois

Coûts

8 000 € - 12 000 € HT

Obtention des données sources, géotraitement, exploitation des données complémentaires, restitution des résultats

Description de la méthode

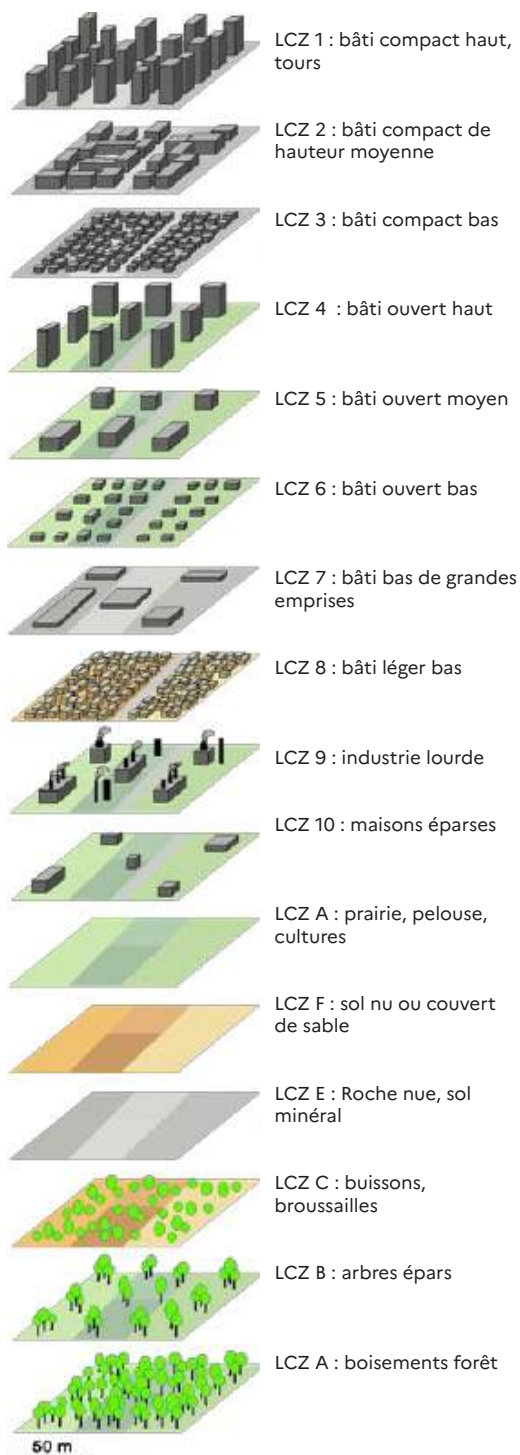
La méthode de classification géoclimatique la plus employée est la méthode des zones climatiques locales ou « local climate zones» (LCZ). Cette méthode simple, développée par les chercheurs I. D. Stewart & Oke, consiste à partitionner le territoire selon ses caractéristiques climatiques et typo-morphologiques. Partant du constat qu'il y a une relation entre le climat local et les caractéristiques morphologiques d'un secteur, **17 zones climatiques locales** ont été créées dont 10 zones de type bâti et 7 zones de type non bâti, **représentant chacune des comportements climatiques spécifiques**. L'intérêt de cette classification est d'identifier et de comparer au sein d'un territoire, des zones climatiquement homogènes à partir d'un jeu d'indicateurs disponible dans les bases de données urbaines.

Les indicateurs étudiés

Il s'agit d'une classification multicritère simplifiée en **17 zones climatiques locales dont 10 zones de type bâti et 7 zones de type non bâti**.

Les zones climatiques locales sont définies à partir d'indicateurs :

- **indicateurs morphologiques** : facteur de vue du ciel (angle solide de ciel vu), le ratio de rue canyon (ratio de hauteur par la largeur de rue) , la hauteur moyenne des bâtiments et la classe de rugosité du terrain ;
- **indicateurs d'occupation du sol** : part de surface bâtie, part de surface imperméable et part de surface perméable ;
- **indicateurs thermiques** : admittance de surface (capacité d'échange thermique), l'albédo de surface (réflectivité de l'énergie solaire) et le flux anthropogénique (lié aux activités humaines).



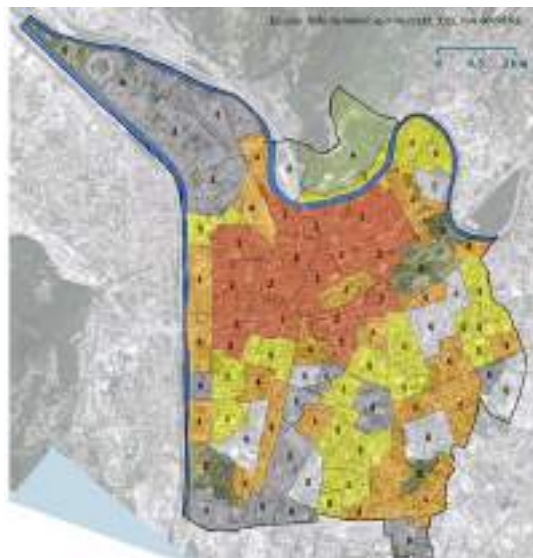
Types de zones climatiques locales
T.R. Oke, 2010

✓ AVANTAGES

- La méthode est facilement répliquable, car elle mobilise des données urbaines et géographiques faciles à obtenir et ne nécessite pas d'instrumentation.
- Elle permet de cartographier le territoire en donnant une première lecture des comportements climatiques, et constitue un bon préalable à l'intégration des enjeux climatiques dans les documents de planification et d'aménagement.
- Les indicateurs décrivant les LCZ sont également utiles pour des analyses urbaines et environnementales (hauteur bâtie, taux d'imperméabilisation, végétal, etc.).
- La cartographie LCZ et ses indicateurs constituent un premier pas pour créer une cartographie de l'intensité de l'îlot de chaleur par interpolation spatiale des données de mesures, ou par simulation climatique.

⚠ POINTS DE VIGILANCE

- ▲ La classification peut être complexe dans le cas de secteurs avec une hétérogénéité de tissus urbains.
- ▲ Cette méthode ne constitue pas en elle-même une cartographie de l'îlot de chaleur.
- ▲ Un accompagnement scientifique et technique pour lire et exploiter les données peut être nécessaire.
- ▲ La méthode ne prend pas en compte l'influence des reliefs et des vents dominants.
- ▲ La résolution d'analyse ne peut pas être inférieure à 100m.



” ILS L'ONT FAIT

Lorient, Cartographie LCZ (Intermezzo)

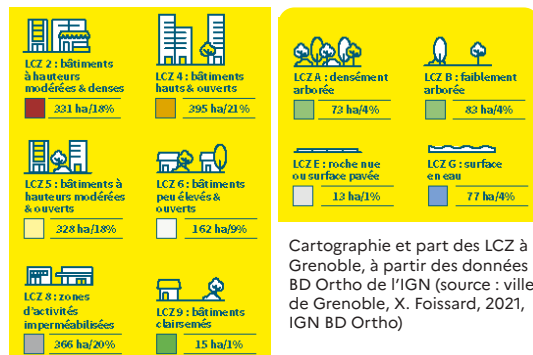
Chambéry, Étude de l'îlot de chaleur urbain et du confort des espaces publics du centre-ville (TRIBU)

Dijon, Projet SAVE-IFU (ADEME)

Libourne, Identification de la vulnérabilité des quartiers au phénomène d'ICU (CEREMA)

Toulouse, Atlas climatique de l'ICU (projet Mapuce)

Grenoble - Xavier Foissard - Mesures fixes et régression multicritères (projet CASSANDRE)



CLÉS POUR AGIR

Étape par étape

1

Collecte des données et création du zonage géoclimatique

Les données territoriales de morphologie urbaine et d'occupation des sols sont intégrées au sein d'une base de données spatialisées (SIG), la création du zonage géoclimatique consiste à découper le territoire d'analyse en unités de 100m x 100m environ. Ces unités doivent présenter des caractéristiques typo-morphologiques et environnementales relativement uniformes.

2

Classification des LCZ par géotraitement multicritères

L'étape suivante consiste à calculer des indicateurs morphologiques et d'occupation du sol pour chaque unité urbaine créée (se reporter au paragraphe «indicateurs étudiés»)

La combinaison de ces indicateurs permet de classer chaque unité urbaine dans la zone climatique locale adaptée.

Des outils et méthodes développés par la recherche existent : par exemple, LCZ Generator, WUDAPT, Geoclimate.

Le Cerema a déployé une plateforme en ligne qui fournit les LCZ des collectivités françaises de plus de 50 000 habitants.



Ressources et matériel

Système d'information géographique (SIG)
Données géomatiques sur l'occupation des sols, la morphologie urbaine, les fonctions urbaines (IGN BD Topo, OpenStreetMap; OCS, urban atlas ou base de données territoriales)

Images satellitaires (LANDSAT ou équivalent) et orthophoto

[LCZ Generator](#) base de données et méthode semblable à WUDAPT avec une simplification des process de classification.

[WUDAPT](#) World Urban Database And Access Portal Tools : base de données internationale participative des LCZ et méthodologie

[Geoclimate](#) : outil open-source développé par le LabSTICC (France)

[SatLCZ](#) : outil open source de classification LCZ développé par le Cerema dans le cadre du projet SCO.

3

Exploitation et restitution des résultats

La caractérisation des unités urbaines en LCZ permet de présupposer les zones sensibles ou plus contributrices à l'ICU.

Les cartographies produites des LCZ et de leurs indicateurs descripteurs (voir p.28, «les indicateurs étudiés») constituent un socle de connaissance à partager. Une analyse par des experts et une acculturation aux enjeux est essentielle pour comprendre et manipuler ces données pour approfondir le diagnostic.

La cartographie permet d'identifier les zones les plus pertinentes (c'est à dire les plus représentatives) pour réaliser des mesures de température, qui permettront de préciser la sensibilité de ces différentes zones à l'ICU, et de réaliser une cartographie intégrant des données de température.

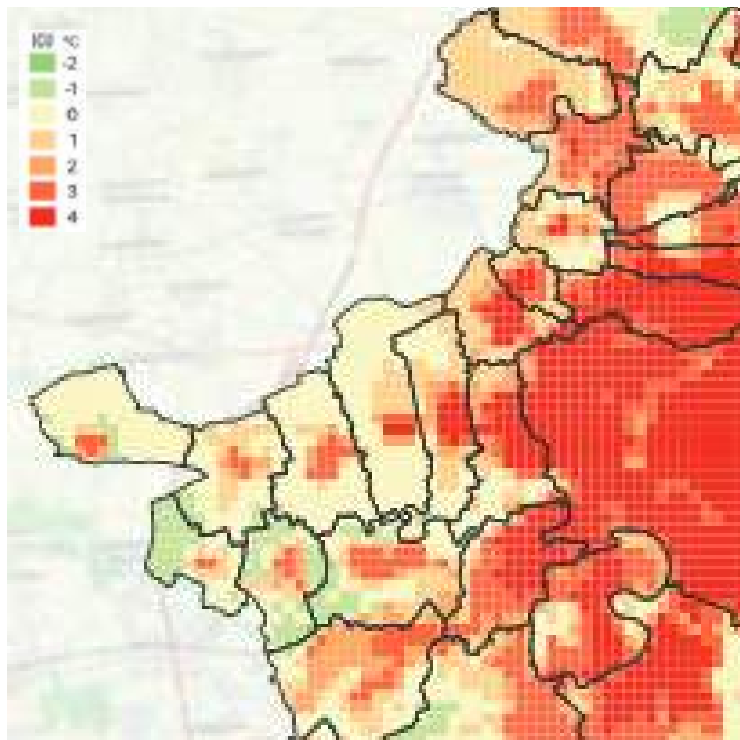
SIMULATION À L'ÉCHELLE TERRITORIALE



- Quelle est l'intensité de l'effet d'îlot de chaleur urbain sur mon territoire ?
- Quels sont les secteurs les plus exposés à ce phénomène ?
- Quel est l'impact de différents scénarios d'adaptation de mon territoire ?

La simulation à l'échelle territoriale est une approche experte qui permet d'évaluer à la fois la répartition de l'îlot de chaleur urbain sur le territoire mais aussi l'évolution temporelle du phénomène.

L'ensemble des phénomènes physiques et climatiques locaux sont modélisés et simulés. L'avantage de la méthode est de pouvoir évaluer des scénarios prospectifs de politiques urbaines, ou d'aménagement urbain de grande échelle et de l'impact du changement climatique.



Répartition spatiale de l'ICU sur l'Eurométropole de Strasbourg pour un été normal (simulation Météo-France à 250 mètres de résolution) (source : Strasbourg, Météo France, 2022)

Échelle d'analyse



VILLE



Méthodes associées



Analyse croisée
des facteurs de
risque

Temporalité

6 à 10 mois pour réaliser
la modélisation et le
calcul pour une situation
météorologique de
référence

Coûts

40 000- 50 000 euros HT
par diagnostic pour une
situation météorologique de
référence.
Acquisition des outils de
modélisation numérique,
déjà en la possession des
prestataires, non prise en
compte.

Description de la méthode

La simulation à l'échelle territoriale est basée sur le calcul de l'ensemble des phénomènes physiques et climatiques locaux. L'avantage de la méthode est de pouvoir évaluer des scénarios prospectifs de politiques urbaines, ou d'aménagement urbain de grande échelle et de l'impact du changement climatique.

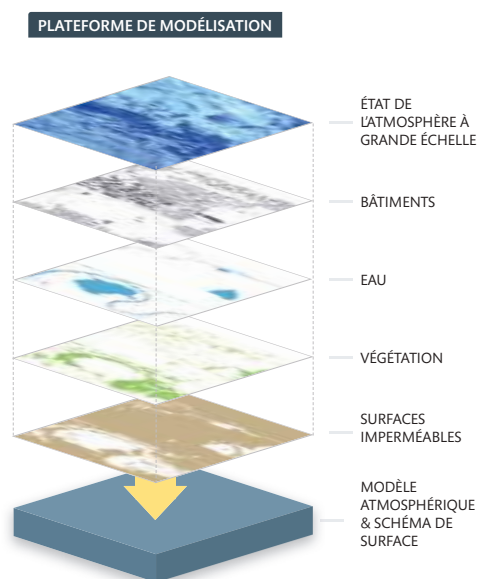
Les outils numériques utilisés pour réaliser ces simulations sont issus de centres de recherches :

- Town Energy Balance (TEB), développé par le Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) et Météo-France permet de calculer les échanges d'énergie et d'eau entre les villes et l'atmosphère.
- MESO-NH SURFEX (Masson 2000) développé par le CNRM, Météo-France, et le Laboratoire d'Aérodynamique de Toulouse, permet de simuler les mouvements atmosphériques en interaction avec les surfaces au sol.
- Le modèle SM2U (Sub-Meso Soil Model Urbain) développé à l'École Centrale de Nantes (Dupont 2001) permet également l'évaluation des échanges hydriques, thermiques et radiatifs entre le sol et l'atmosphère.
- ARPS-canopée (Rodrigues, Calmet, Maro, & Rosant, 2013).
- *Etc.*

Les indicateurs étudiés

Les simulations permettent de sortir des résultats avec une variabilité spatiale et temporelle des valeurs physiques :

- **température de l'air**
- **vents,**
- **hygrométrie,**
- **indices de stress thermique (espace urbain)**
- **consommations énergétiques du bâti (bâtiment)**



Les différents types de données modélisées pour réaliser la simulation numérique de l'îlot de chaleur sur la métropole de Strasbourg (source : Météo France, 2022)

✓ AVANTAGES

- Cette méthode propose un **diagnostic complet de la surchauffe urbaine** à l'échelle d'une commune.
- Elle permet de cartographier la répartition spatiale du phénomène d'ICU, ainsi que sa **variabilité temporelle** (jour, nuit, saisons) des températures et autres grandeurs physiques.
- L'intérêt de la simulation est de pouvoir **comparer des scénarios d'évolution** du tissu et des aménagements urbains pour aider efficacement les politiques publiques.
- L'outil permet aussi d'établir des perspectives climatiques pour évaluer **l'impact du changement climatique sur un territoire**.

” ILS L'ONT FAIT

Strasbourg (Météo-France) Diagnostic de l'îlot de chaleur urbain

Toulouse, Atlas climatique de l'ICU (projet Mapuce)

⚠ POINTS DE VIGILANCE

- ▲ **Ce type de simulation nécessite une ingénierie très qualifiée**, souvent prise en charge par des organismes de recherche, et des temps de calcul assez long et coûteux.
- ▲ Le microclimat urbain reste un phénomène complexe à simuler, **les modèles simplifient le réel** : l'enjeu est de comparer les scénarios.
- ▲ Les valeurs obtenues par simulation restent toujours moins réalistes que des mesures in-situ.
- ▲ **La résolution ne peut être inférieure à 100 mètres**. La forme urbaine et la végétation sont représentées de manière assez approximative, en raison du maillage des résultats.



Strasbourg, Modélisation de l'îlot de chaleur par Météo-France (source : Météo France, 2022).

CLÉS POUR AGIR

Étape par étape

1

Collecte des données, définition et saisie des hypothèses de modélisation

Sur la base des données de morphologie urbaine ou des *local climate zones*, la forme urbaine est simplifiée par ses caractéristiques moyennes (rugosité, albédo...) sur des mailles de l'ordre de la centaine de mètre.

Ces données sont couplées à un modèle numérique de l'atmosphère et du climat local. Les épisodes météorologiques modélisés sont choisis avec la collectivité, par exemple : une journée «estivale classique» et une journée «caniculaire extrême».

2

Réalisation de la simulation de référence

La simulation est lancée à partir des situations météorologiques de références choisies. Le modèle calcule le bilan énergétique de la ville avec son atmosphère prenant en compte : le flux radiatif (lié au soleil et l'albédo des surfaces), le flux de chaleur sensible (conduction), le flux de chaleur latente (évaporation de l'eau et des végétaux) et le stockage de chaleur (inertie thermique des matériaux).

Les résultats d'évolution de l'îlot de chaleur urbain (différence de température de l'air) et du stress thermique ressenti par les habitants (indice UTCI - *Universal Thermal Climate Index*) sont produits pour l'épisode météorologique choisi et sur une maille de 100m.



Ressources et matériel

Données météorologiques territorialisées

Données de morphologie urbaine et d'occupation du sol (maillage entre 250 et 100m)

Outils de modélisation numériques issus de la recherche permettant le calcul des échanges énergétiques de la ville et son atmosphère. Ces outils sont principalement utilisés par des laboratoires de recherche dans le cadre de programmes spécifiques.

3

Simulation de scénarios d'adaptation

L'étude peut être approfondie en choisissant avec la collectivité des scénarios d'adaptation dont elle souhaite évaluer l'impact (végétalisation, modification des matériaux, *etc.*), et qui permettront de modifier les données saisies dans le modèle numérique.

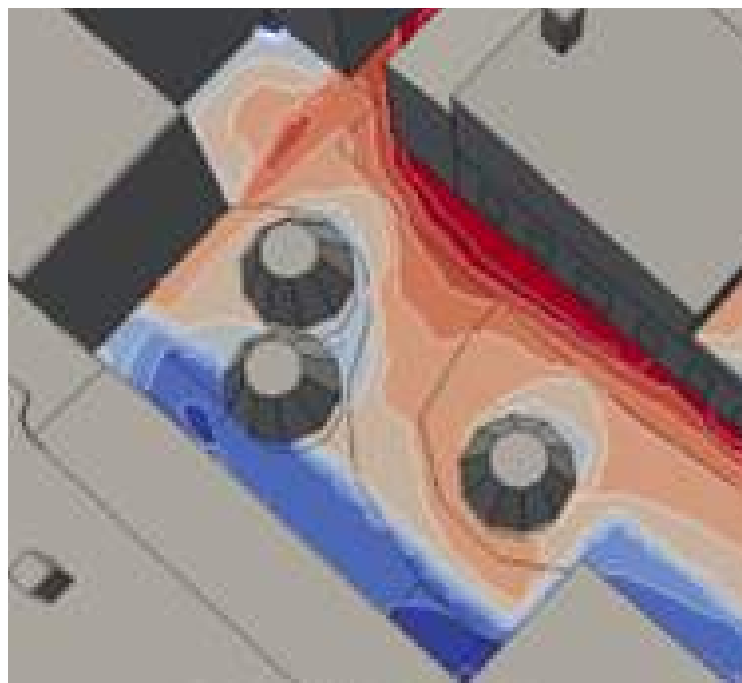
La comparaison des résultats entre la simulation de référence (étape 2) et la simulation avec un scénario d'adaptation permettent d'évaluer directement l'impact et le degré d'efficacité de la stratégie d'adaptation envisagée sur l'ICU et le stress thermique.

SIMULATION À L'ÉCHELLE FINE

- Où et quand sont les zones d'inconfort thermique de cet espace public ?
- Quel serait l'impact de différents scénarios d'aménagements sur la surchauffe urbaine?

La simulation à l'échelle urbaine se base sur une modélisation 3D du quartier, îlot ou espace public, pour calculer les caractéristiques physiques et climatiques à une résolution de plus ou moins d'1 mètre.

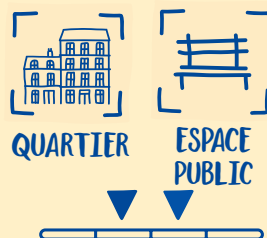
La simulation microclimatique qui prend en compte l'ensemble des paramètres du confort thermique est une méthode experte tandis que des simulations d'ensoleillement simples apportent une approche simplifiée du confort.



Cartographie de l'UTCI à 14h (heure solaire) pour le projet du groupe solaire Ivry Levassor -Paris réalisé avec le logiciel SOLENE - Microclimat (Source : Soleneos, Groupe Scolaire Ivry Levassor -Paris)



Échelle d'analyse



Méthodes associées



Enquêtes de confort vécu

Temporalité

2 mois à 6 mois

6 à 1 an

Coûts

1 000€ - 5 000€ HT

Approches simplifiées
ensoleillement

40 000- 50 000 € HT

pour la simulation et
l'exploitation des données.

Acquisition des outils de
modélisation numérique,
déjà en la possession des
prestataires, non prise en
compte.

Description de la méthode

La simulation numérique à l'échelle urbaine permet d'analyser **le confort thermique** d'un quartier, d'un îlot ou d'un espace public à une maille fine (1 mètre).

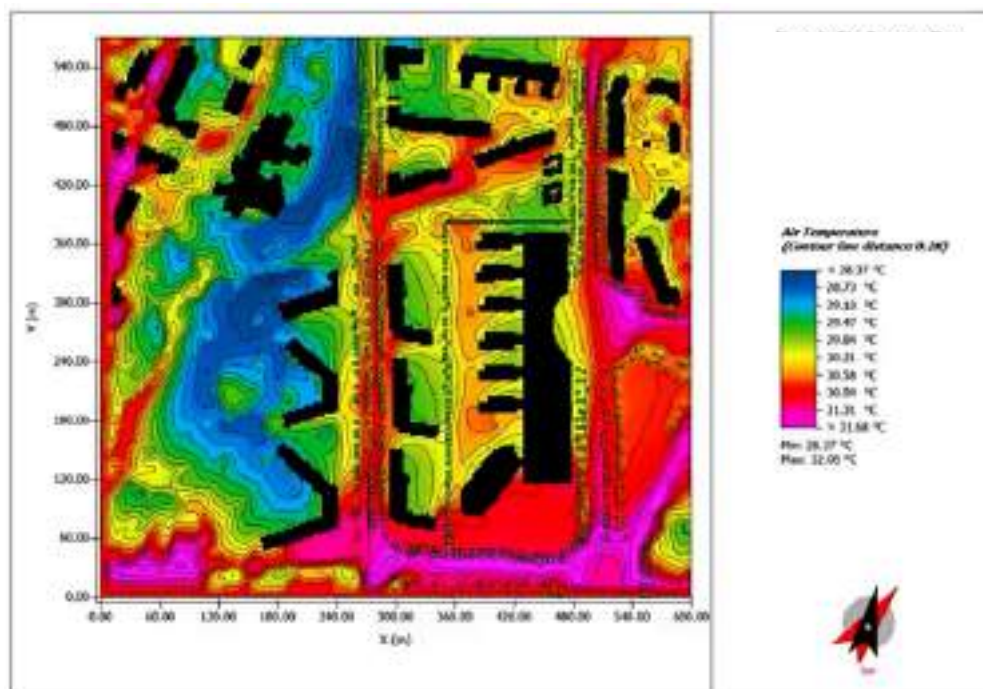
La simulation permet aussi de **comparer des scénarios d'aménagement**.

Une simulation microclimatique repose sur le bilan énergétique des volumes urbains (sols, bâtiments, végétation, *etc.*) et le climat (vents, température, hygrométrie). Elle permet d'évaluer l'impact de l'aménagement sur l'îlot de chaleur.

La simulation d'un seul paramètre tel que l'ensoleillement est plus simple et plus utilisée dans le monde opérationnel. L'accès à l'ombre est en effet un paramètre déterminant du confort thermique en journée.

Les indicateurs étudiés

- **Nombre d'heures d'ensoleillement, insolation des surfaces, températures des surfaces, vitesse de vent, *etc.***
- **Température de l'air et de surface** jour/ nuit, **hygrométrie, stress thermique, propriétés radiatives des matériaux** (espace urbain)
- **Consommations énergétiques du bâti** (bâtiment)
- **Indicateurs de confort thermique** (espace urbain et bâtiment)



Température de l'air modélisée Cité Descartes (Paris), scénario pour l'été 2050 à 13h00, exposition aux vents du Sud/Sud-Ouest (source : logiciel Envi-MET, 2017)

✓ AVANTAGES

- La résolution micro (1 mètre) des simulation est adaptée aux problématique des projets d'aménagement.
- Les modèles experts proposent une approche complète des phénomènes microclimatiques qui permet de calculer à la fois la répartition spatiale et la variabilité temporelle.
- Les simulations d'un seul paramètre (ensoleillement par exemple) ne nécessitent pas d'expertises pointues et sont plus légères et plus aisées à mobiliser dans le cadre de projets d'espaces publics ou de quartiers.
- L'approche 3D apporte une meilleure visualisation et communication efficace de l'analyse.

⚠ POINTS DE VIGILANCE

- ▲ Malgré les améliorations progressives des technologies, les modèles microclimatiques sont complexes à saisir, et avec des temps de calculs assez longs ce qui limite le reproductibilité de cette méthode.
- ▲ Les modélisations microclimatiques nécessitent une ingénierie qualifiée pour la réalisation de la modélisation et l'exploitation des résultats, avec un budget à adapter en conséquence.
- ▲ Par ailleurs, les modélisations partielles restent simplistes mais facilite l'optimisation par processus itératif.

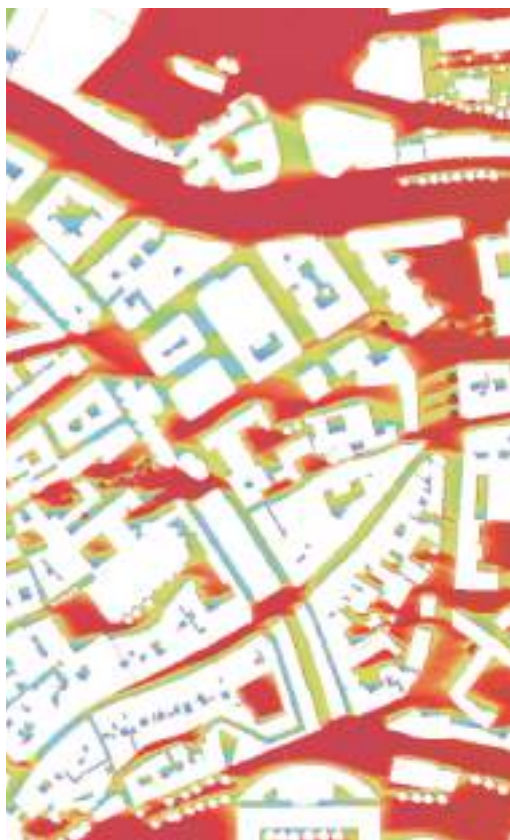
” ILS L'ONT FAIT

Marseille centre ancien (Inddigo et Soleneos)

Nanterre (NEPSEN, E6) Diagnostic de l'îlot de chaleur et balades climatiques

Chambéry (TRIBU) Diagnostic de la surchauffe urbaine

St Omer, Diagnostic et modélisation de scénario d'aménagements (CAPSO, AUD, projet Cool Towns)



Simulation d'ensoleillement, centre ville de Chambéry (source : TRIBU)

CLÉS POUR AGIR

Étape par étape

1

Collecte des données et modélisation

La modélisation nécessite la récupération de données sur l'occupation des sols et la typologies d'activités qui s'y trouvent, la présence de masses végétales et d'eau, la volumétrie des bâtiments.

2

Simulation

La simulation apparaît plus ou moins complexe selon les paramètres pris en compte : ensoleillement (tracé des ombres par heures de la journée, nombre d'heures de soleil/ombre), énergie thermique récupérée (bilan radiatif), vent (modèle aérodynamique), modèle hydrique (végétation), etc.

3

Comparaison de scénarios et résultats

- La simulation permet d'évaluer l'impact de scénarios d'aménagement adaptés au processus d'optimisation du projet.
- La sorties peuvent être des vues 3D, des cartographies (variabilité spatiale) et des valeurs de la variabilité temporelle de l'ICU (jour, nuit, saisons) sous forme de graphiques d'évolution des températures, ou avec des indicateurs de confort comme l'UTCI.



Ressources et matériel

Données de morphologie urbaine et de caractérisation des surfaces sur les trois dimensions

Données climatiques (ensoleillement, rose des vents, évapotranspiration)

Outils de modélisation numériques issus de la recherche : Solène- Microclimat (gratuit en accès libre), EnviBatE (gratuit sur demande), Envi-MET (licence annuelle payante),

Outils opérationnels : ICETool (Elioth, open-source), Archiwizard (ensoleillement), CitySim (modèle radiatif)
liste non exhaustive

Quelques éléments de différenciation entre les logiciels :

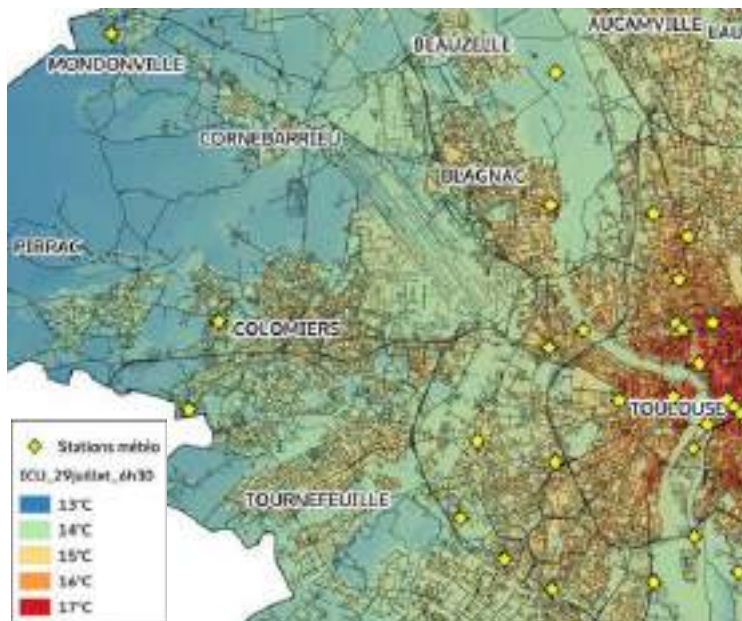
- Temps de simulation : quelques minutes à quelques heures pour EnviBatE, quelques minutes à quelques jours pour Envi-Met et Solene-Microclimat
- Échelle de la simulation : quartier (Envi-Met, EnviBatE, Solene-Microclimat) ou ville (Envi-Met)
- Échelle temporelle : annuelle (EnviBatE) ou journalière (Envi-Met, Solene-Microclimat)
- Le couplage aérodynamique, radiatif, thermique est réalisé par le couplage d'outils (Solene - microclimat, EnviBatE) ou un développement intégré (Envi-Met).

MESURES DE TEMPÉRATURE DE L'AIR INTENSITÉ DE L'ÎLOT DE CHALEUR SUR L'ENSEMBLE DE LA VILLE



- Dans quelle mesure mon territoire est-il concerné par le phénomène d'îlot de Chaleur Urbain (ICU) ?
- Quelle est la variabilité spatiale temporelle de l'effet d'ICU dans ma commune ?
- Quels sont les secteurs les plus concernés par ce phénomène ?

Les mesures de température de l'air sont effectuées au moyen de capteurs simples et/ou de stations météorologiques, fixes ou mobiles, pour quantifier à un instant donné, le phénomène d'îlot de chaleur. Ce réseau de mesures permet d'étudier la variabilité spatiale du phénomène d'îlot de chaleur urbain en plus de sa variabilité temporelle. L'acquisition de ces données peut se faire ponctuellement un été ou bien annuellement pour en suivre l'évolution dans le temps.



Carte des températures le 29 juillet 2019 à 6h30 (Guillaume Dumas, QGIS 3, 2020, Toulouse Métropole, Météo France), extrait du Guide de recommandation pour la prise en compte du climat dans la construction de la métropole de demain (Toulouse métropole)

Échelle d'analyse



Méthodes associées



Analyse croisée des facteurs de risque



Mesures des paramètres de confort thermique



Classification en zones climatiques locales

Temporalité

2 à 6 mois pour réaliser les mesures l'été et exploiter les résultats. Les mesures peuvent être répliquées d'une année sur l'autre pour augmenter leur fiabilité

Coûts

25 000 € - 50 000 € HT

acquisition du matériel, pose, traitement cartographique des mesures (coût variable suivant la méthode choisie)

Description de la méthode

Cette méthode consiste à **mesurer la température de l'air dans différents quartiers de la ville, et dans sa périphérie. Cela permet d'identifier le phénomène d'îlot de chaleur urbain en comparant les températures en ville et en périphérie.** Avec un réseau de capteurs denses dans la zone urbaine, il est également possible de **définir les variations de l'îlot de chaleur urbain en fonction des ambiances thermiques locales, et de leur hétérogénéité.** Ces capteurs sont installés durant une période estivale au minimum, et peuvent rester en place de manière pérenne afin d'enrichir les données climatiques de la ville.

Une ou plusieurs stations météorologiques mesurant tous les paramètres peuvent également être installées (s'il n'existe pas déjà de station Météo France installée) afin de fournir des données sur le cycle journalier des températures et permettent des comparaisons journalières, saisonnières et même historiques de la mesure en ville et de la référence rurale.

La caractérisation d'indicateurs morphologiques et la classification climatique constituent une base de données afin d'interpoler les mesures et ainsi **produire une cartographie de l'îlot de chaleur en tout point du territoire.**



Appareil de mesures fixe, Dijon (source : Yves Richard)

Les indicateurs étudiés

Cette méthode permet l'étude de grandeurs physiques

- **Température de l'air jour / nuit (°C)**
- **Humidité relative Hr (%)**

Indicateurs intensité de l'îlot de chaleur :

- **Différence de température maximale entre une station à la campagne et les stations en ville ;**
- **Différence de température moyenne entre une station à la campagne et les stations en ville ;**

Indicateurs de santé publique :

- **Nombre de jours et de nuits chaudes**
- **Nombre de jours de vague de chaleur**

✓ AVANTAGES

- La méthode est relativement simple et répliquable, car elle ne nécessite pas de logiciel complexe et/ou coûteux pour la récolte et la transmission des données enregistrées (sans traitement géostatistique associé) ;
- Elle constitue une bonne approche de l'intensité et de la variabilité de l'effet d'ICU, et cela même avec un nombre limité de points de mesures (si leur choix des points est approprié) ;
- En permettant l'identification de secteurs plus ou moins exposés à la surchauffe, ce type de diagnostic est une étape intéressante avant d'établir une stratégie territoriale. La cartographie des mesures peut ainsi servir de support à l'établissement de documents de planification, avec des objectifs particuliers d'aménagement.

” ILS L'ONT FAIT

Grenoble, Cartographie de l'îlot de chaleur urbain (Xavier Foissard)

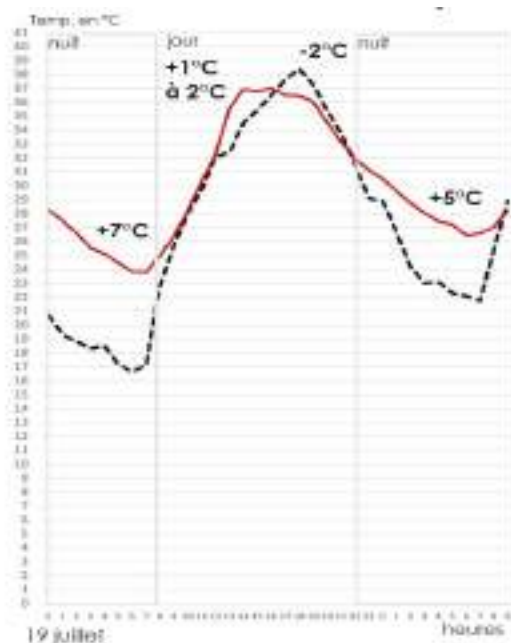
Dijon, Réalisation d'un réseau de mesures (SAVE-IFU)

Chambéry, Étude de l'îlot de Chaleur Urbain (TRIBU)

Toulouse, mise en place d'un réseau de capteurs fixes (Toulouse métropole)

⚠ POINTS DE VIGILANCE

- ▲ Cette méthode ne permet pas d'établir de prospective urbaine ;
- ▲ La qualité et la fiabilité des mesures réalisées sur une saison estivale est tributaire de la météo ;
- ▲ La zone de représentativité d'une mesure est de 100m environ en zone dense / 200m en zone ouverte. Une expertise scientifique spécifique est nécessaire pour interpoler ou extrapoler les résultats et voir une vision plus étendue de l'effet d'ICU ;
- ▲ L'implantation des stations à 2m du sol nécessite la mobilisation d'un personnel compétent ou d'autorisations (en cas d'implantations sur des bâtiments privés ou sensibles).



Comparaison des températures entre le centre-ville et la station Météo-France sur la ville de Chambéry (source : TRIBU)

--- Météo France
— Centre-ville

CLÉS POUR AGIR

Étape par étape

1

Analyse spatiale du territoire et définition des points de mesure

Les points de mesures doivent couvrir des typomorphologies urbaines diversifiées. On peut s'appuyer pour cela sur les zones climatiques locales (LCZ) ou l'occupation des sols de la commune.

Parmi la sélection des points de mesures, on pourra choisir d'installer des appareils enregistreurs aux emplacements de futurs projets urbains.

Une station météorologique complète dont on peut récupérer les données devra être installée en périphérie s'il n'en existe pas. D'autres stations peuvent être installées suivant le relief et le micro-climat du site.

2

Paramétrage et installation des appareils

Un pas de temps horaire est recommandé pour l'enregistrement des mesures.

Les capteurs doivent être installés en hauteur (3m du sol environ) et dans un endroit suffisamment ventilé pour une température correcte de l'air ambiant. Ils doivent être placés sous abri anti-radiation, et orientés vers le Sud pour leur éviter l'ombrage de leur support.

Des poteaux ou candélabres constituent des support idéaux. On pourra solliciter une entreprise équipée d'un camion nacelle pour leur pose (par exemple l'entreprise en charge de l'entretien du mobilier d'éclairage public).



Ressources et matériel

Appareils enregistreurs de température et humidité avec abris anti-radiation

A l'échelle d'une ville, plusieurs dizaines (10 à 30) de capteurs peuvent être nécessaires. Une précision de l'ordre de 0.1°C est recommandée pour les appareils.

1 station météorologique (s'il n'en existe pas déjà sur la commune)

Données de morphologie urbaine et d'occupation du sol (pour le choix des points de mesures)

3

Récolte et exploitation des mesures

Le relevé des mesures peut être automatisé via une transmission réseau, ou manuel (relevé régulier de l'enregistreur).

À partir des résultats il est possible de définir : des fréquences du phénomène d'ICU, son intensité moyenne ou maximum, les variabilités de température entre les différents points de mesure, le nombre de nuits chaudes, etc.

Les résultats peuvent être présentés sous la forme d'une coupe théorique de la ville, de la campagne vers le centre-ville, en passant par différents quartiers.

Pour cartographier l'ensemble de la ville, un traitement des données est possible :

- régression multicritère à partir des déterminants des classes LCZ et d'une distribution représentative des points de mesure
- traitement géostatistique en moyennant les résultats selon la distance entre chaque station.

MESURES DES PARAMÈTRES DU CONFORT THERMIQUE

INDICE DE CONFORT (UTCI, PET, ETC.)

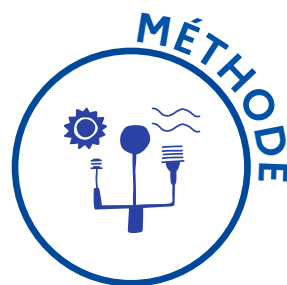
- Quels espaces sont des les plus exposés à un risque d'inconfort thermique pour les habitants de ma commune ?
- Cet espace public est-il bien aménagé du point de vue du confort thermique par rapport aux usages qu'on y trouve ?

Cette méthode est utilisée en complément de mesures de températures de l'air (qui donnent des indications sur l'intensité de l'îlot de chaleur urbain) pour évaluer le niveau de confort thermique à l'échelle d'un individu.

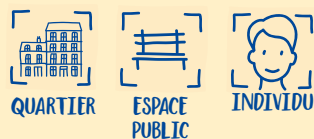
Sur la base de mesures réalisées dans un espace public de différents paramètres liés au confort (vitesse d'air, humidité, température de l'air, température rayonnante...), on peut ainsi estimer la température ressentie par les usagers de cet espace, caractériser plus finement les ambiances thermiques au sein d'un espace, et évaluer l'efficacité d'un aménagement.



Mesures de micro-climat à l'aide d'un appareil de mesures multi-paramètres (température de l'air, température de globe noir, humidité, vitesse de vent) à Lyon (source : TRIBU)



Échelle d'analyse



Méthodes associées



Enquêtes de confort vécu



Mesures de température de l'air



Analyse croisée des facteurs de risque

Temporalité

3 à 6 mois pour réaliser la campagne de mesure en saison estivale et exploiter les résultats.

Les mesures peuvent être répliquées d'une année sur l'autre pour augmenter leur fiabilité.

Coûts

A partir de 3000€ HT par espace étudié

sans compter l'acquisition du matériel qui peut être fourni par le prestataire.

Description de la méthode

La température de l'air et l'humidité ne suffisent pas à exprimer le confort d'une personne. Pour se rapprocher au mieux du ressenti d'un passant ou d'un habitant, on peut utiliser des indices de confort thermiques. Ces indices nécessitent alors de réaliser des mesures de différents paramètres (température de l'air et humidité relative, rayonnement global des surfaces environnantes, la vitesse de vent) mais également de prendre en compte l'habillement, ou encore l'activité physique.

Il existe plusieurs indices de confort en extérieur basés sur des mesures :

- L'indice universel du climat thermique (UTCI)
- L'indice de température physiologique équivalente (PET)
- L'indice Wet Bulb Globe Temperature (WBGT), peu utilisé en Europe

Les indicateurs étudiés

Dans le cas de cette fiche méthode, il s'agit d'**indicateurs de confort thermique** (UTCI, PET, WBGT), calculés à partir des variables suivantes, mesurées in situ :

- Température de l'air (°C)
- Humidité relative Hr (%)
- Vitesse de vent (en m/s)
- Température de globe noire, qui correspond à la température moyenne rayonnante

On mobilise également pour calculer ces indicateurs des données par défaut adaptées au contexte de l'étude.

- Pression atmosphérique
- Température opérative
- Habillement
- Activité



Présentation d'une balade thermique organisée pour la ville de Nanterre dans le cadre du diagnostic des îlots de chaleur et îlots de fraîcheurs. Des mesures ont été effectuées au cours de ces balades dans les lieux identifiés comme chauds et froids par l'analyse cartographique. (source : NEPSEN)

✓ AVANTAGES

- La méthode est relativement simple et répliquable, car elle ne nécessite pas de logiciel complexe et/ou coûteux pour la récolte et transmission des données enregistrées ;
- La prise de mesures localisée au sein d'un espace public, met en visibilité les outils de mesures auprès des usagers des espaces concernés, et peut permettre une sensibilisation aux enjeux de surchauffe.
- Cette méthode est intéressante pour compléter des mesures fixes en s'intéressant au confort thermique des individus et à l'échelle du piéton. Elle est un outil pour évaluer l'efficacité d'un dispositif à l'échelle du piéton, et constitue ainsi un point de départ pour réaménager les espaces publics existants.

” ILS L'ONT FAIT

Grenoble, Cartographie de l'îlot de chaleur urbain (Xavier Foissard)

Marseille, Étude du centre ancien (Inddigo et Soleneos)

Nanterre, Diagnostic ICU (NEPSEN-E6)

Chambéry, Étude de la surchauffe urbaine (TRIBU)

St Omer, Diagnostic de la surchauffe en centre-ville ancien (projet Cool Towns)

⚠ POINTS DE VIGILANCE

- ▲ L'acquisition du matériel de prise de mesures, si elle souhaité par la commune ou le porteur de projet, constitue un petit investissement initial, et nécessite une formation à la prise de mesures et au calcul de l'indicateur de température ressentie choisi ;
- ▲ Le protocole de réalisation des mesures, et la qualité des mesures qui en découle, est tributaire des conditions météorologiques ;
- ▲ S'agissant de mesures réalisées à l'instant T, leur fiabilité reste moyenne.



Statut météo posée dans la cour d'une école élémentaire parisienne dans le cadre du projet de recherche OASIS UIA-FEDER, afin d'évaluer le confort thermique. (crédits : LIED-Paris Diderot-ESIEE Parisweb)

CLÉS POUR AGIR

Étape par étape

1

Analyse spatiale pour définir les points de mesure

Les mesures doivent couvrir des zones à enjeux de confort thermique : potentiels espaces refuges ou espaces très exposés. Il est donc intéressant de choisir des espaces fréquentés par les piétons, selon des usages plus ou moins statiques.

Des enregistreurs peuvent également être installés aux emplacements stratégiques de futurs projets d'espaces publics.

2

Réalisation de la campagne de mesures

La campagne de mesures doit permettre d'acquérir des données sur les différents paramètres du confort thermique :

- au sein d'un même espace, à plusieurs moments de la journée, permettant d'en observer les variabilités micro-climatiques au fil de la journée ;
- sur une succession d'espaces présentant des ambiances différentes, et ainsi en permettre la comparaison, dans des conditions climatiques similaires.

Les mesures doivent être réalisées sur une journée ensoleillée sans nuages. La durée d'une prise de mesure doit être de 15 minutes au minimum.

Il peut être intéressant de réaliser les mesures de confort à proximité d'appareils de mesures de température de l'air plus fixes, afin de confronter la température de l'air avec la température ressentie estimée.



Ressources et matériel

Une station météorologique ou des instruments de mesures

mobiles comprenant à minima un anémomètre, un thermomètre, un capteur d'humidité, et un appareil de température globe noir

Un appareil photo permettant d'enregistrer les conditions de prise des mesures (emplacement de la station, revêtements environnants, etc.)

3

Recueil et exploitation des mesures

La température ressentie est calculée en croisant les différentes variables mesurées (cf. Indicateurs).

En ce qui concerne l'UTCI, un espace est ainsi considéré comme :

- confortable si l'UTCI estimé est compris entre 9 et 26.
- frais si l'UTCI est compris entre 0 et 9
- plutôt chaud si l'UTCI est supérieur à 26

Au delà de 32, on considèrera que l'individu est soumis à un fort stress thermique

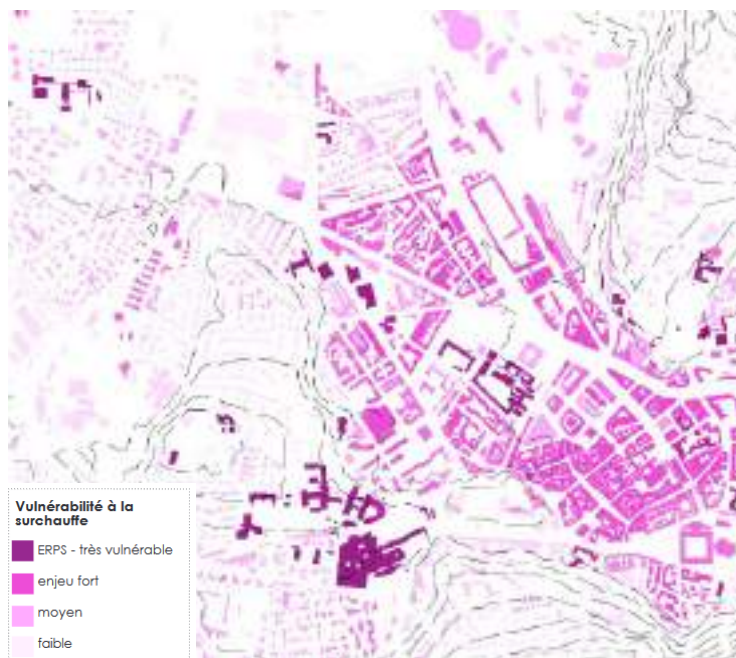
Il est intéressant de confronter ces résultats avec une observation de l'usage des lieux, ou des enquêtes réalisées in situ.

ANALYSE CROISEE DES FACTEURS DE RISQUE



- Quels sont les principaux risques d'incidence liés à la surchauffe propres à ma population et à mon territoire ?
- Quels sont les quartiers à la fois les plus exposés et les plus vulnérables à la surchauffe ?
- Quelles actions prioriser dans ma stratégie d'adaptation ?

En complément d'un diagnostic de l'îlot de chaleur urbain, l'analyse croisée de facteurs de risque d'incidences pour la population, associés à la surchauffe, est une donnée essentielle pour définir une stratégie de rafraîchissement au bénéfice de la santé publique, et adaptée aux besoins spécifiques de ses habitants.



Carte de Vulnérabilité à la Surchauffe, Chambéry (TRIBU, 2023), réalisée en croisant les données suivantes : densité d'habitants à l'hectare (indicateur INSEE), nombre de ménages en dessous du seuil de pauvreté (indicateur INSEE), qualité de l'air (données ATMO-AURA), effet d'îlot de chaleur (données TRIBU après réalisation d'une campagne de mesures)

Échelle d'analyse



Méthodes associées



Classification en zones climatiques locales



Mesures de température de l'air



Simulation territoriale

Temporalité

3 à 6 mois pour le traitement de données existantes

2 ans à minima sont nécessaires si besoin de produire de nouvelles données fiables du point de vue statistique

Coûts

5 000 € - 8 000 € HT

Obtention des données sources, analyse croisée, synthèse et restitution.

Description de la méthode

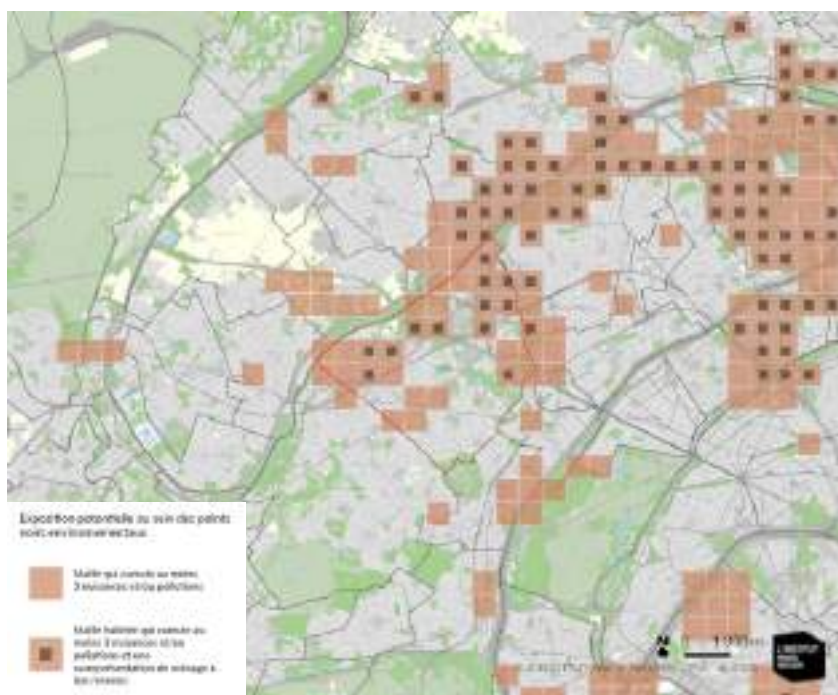
L'objectif de cette méthode est d'**identifier les risques d'incidence climatique pour les populations**. Ce niveau de risque s'évalue en **combinant la probabilité et l'intensité des vagues de chaleur et de l'effet de surchauffe à la capacité des individus et des systèmes urbains à y faire face**.

Les données sociologiques, socio-économiques et urbaines sont donc utilisées conjointement aux diagnostics climatiques réalisés. En effet, des logements mal isolés, l'isolement des habitants, la précarité et l'âge aggravent les conséquences sanitaires des vagues de chaleur, de même la carence en espaces verts ou frais limite considérablement leur capacité à faire face à ces vagues de chaleur.

Les indicateurs étudiés

Il s'agit de compléter des données cartographiées sur la surchauffe par des **indicateurs sociologiques, démographiques et sanitaires** :

- **indicateurs de vulnérabilité** : répartition des publics sensibles (précarité, âge, état de santé) et des établissements sensibles (crèches, écoles, hôpitaux, maison de retraite); et des infrastructures ou bâtiments mal adaptés (âge du bâti, absence d'isolation), etc.
- **indicateurs d'exposition** : densité habitée dans les zones à enjeux, exposition à un cumul de nuisances (atmosphériques et acoustiques notamment), accessibilité et taille des espaces verts et rafraichissants, etc.
- **indicateurs climatiques** : cartographie des zones à enjeux de surchauffe ou de l'intensité de l'ICU.



Points noirs environnementaux (cumul d'au moins 3 nuisances et/ou pollutions) et sur-représentation des ménages à bas revenus sur la commune de Nanterre (Insee 2012, Institut Paris Région).

✓ AVANTAGES

- Cette méthode apporte une lecture plus approfondie et transversale du territoire, et une application directe de la climatologie aux enjeux de santé ;
- Cette approche centrée sur l'humain, met en valeur des secteurs d'intervention, non pas nécessairement par rapport à l'intensité de l'îlot de chaleur mais par rapport aux risques associés (et/ou cumulés) à la surchauffe qui sont encourus par les populations qui s'y trouvent ;
- Le croisement des données acquises sur le climat et l'urbain, avec des données statistiques sur la population est un bon levier pour l'intégration de mesures d'adaptation au changement climatique et de santé publique dans les documents de planification.

⚠ POINTS DE VIGILANCE

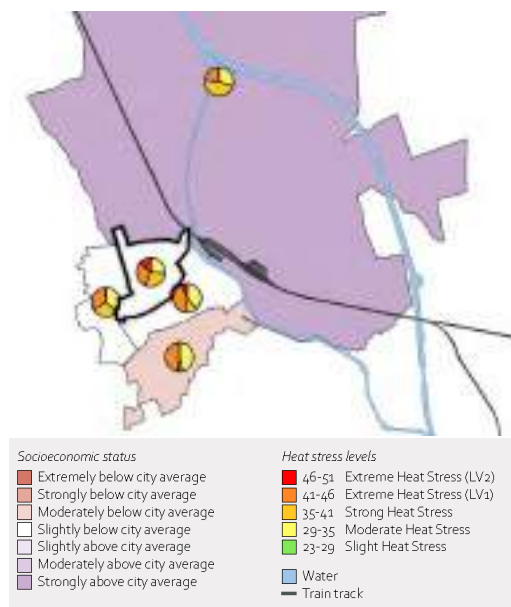
- ▲ Cette méthode ne constitue pas une cartographie de l'îlot de chaleur, mais une analyse de ses impacts sur la population. L'obtention de données sur la surchauffe urbaine est donc un préalable nécessaire à cette analyse ;
- ▲ La définition des indicateurs de vulnérabilité, l'acquisition des données et leur exploitation peut s'avérer complexe suivant les territoires, et nécessiter la mobilisation d'une expertise scientifique spécifique ;
- ▲ L'exploitation des données nécessite une certaine vigilance, compte tenu du maillage spécifique des données INSEE, par rapport aux maillages employés pour traiter des données climatiques.

” ILS L'ONT FAIT

Nantes, Cartographie LCZ (Intermezzo)

Chambéry, Étude de l'îlot de chaleur urbain et du confort des espaces publics du centre-ville (TRIBU)

St Omer, Diagnostic de la surchauffe en centre-ville ancien (projet Cool Towns)



Analyse croisée du statut socio-économique de la population à St-Omer, et des niveaux de stress thermique modélisés, réalisée dans le cadre du projet Cool-Towns (source : Spanjar, G. et al., The Urban Heat Atlas: A standardised assessment for mapping heat vulnerabilities in Europe., Université des Sciences Appliquées de Amsterdam, 2022)

CLÉS POUR AGIR

Étape par étape

1

Collecte des données de vulnérabilité et de surchauffe urbaine

Les données suivantes sont à collecter et à intégrer au sein d'une même base de données géo spatialisée (SIG) :

- Données cartographiées sur la surchauffe urbaine : cartographie des zones à enjeux de surchauffe ou cartographie des températures réalisées préalablement
- Données sociales, sanitaires, démographiques, économiques de la population et du territoire
- Données sur la trame verte et bleue du territoire, la présence de l'eau en ville (à partir de données interne ou disponibles en accès libre)

2

Réalisation de cartographies associées à la vulnérabilité de la population

L'association des données suivantes (non exhaustives) permet de caractériser la vulnérabilité de la population :

- Sensibilité de la population : localisation des logements sociaux, Quartier Politiques de la Ville, ERPS, populations vieillissantes, équipements d'accueil de la petite enfance et de santé, *etc.*
- Sensibilité de l'habitat à la surchauffe : ventilation des tissus, végétalisation du parcellaire, isolation du bâti, accès à la ventilation traversante des logements, *etc.*
- Accessibilité des espaces de fraîcheur : isochrone autour des espaces verts publics, trame arborée et cheminements piétons et/ou cycles, localisation des fontaines, zones de baignade, *etc.*
- Exposition aux nuisances : évaluation de la pollution de l'air et de la pollution sonore, exposition de certains secteurs à des risques naturels, *etc.*



Ressources et matériel

Système d'information géographique (SIG)
Données cartographiées sur l'îlot de chaleur urbain (diagnostic préalable).

Données sociales, démographiques et sanitaires issues d'enquêtes statistiques quantitatives, de l'INSEE, ou de documents de planification.

3

Croisement et exploitation des données

La superposition de l'ensemble des données cartographiées permet de réaliser une analyse croisée des enjeux et d'identifier des secteurs prioritaires d'intervention, notamment :

- L'exposition du public au sein d'un environnement résidentiel dégradé, à partir du croisement des données air/bruit/ surchauffe et des données sur la vulnérabilité des tissus/ localisation des publics sensibles ;
- Le degré de vulnérabilité futur de secteurs opérationnels, par le croisement des données air/bruit/ surchauffe et des données sur les secteurs mutables ou en cours d'aménagement.

ENQUÊTES DE CONFORT VÉCU

ENTRETIENS ET OBSERVATION DES USAGES

- Comment sont pratiqués les espaces publics en périodes de fortes chaleurs ?
- Quels sont les espaces dont l'usage est limité par une trop forte exposition à la surchauffe ?
- Quelle perception de la chaleur dans ma ville en ont les habitants ?

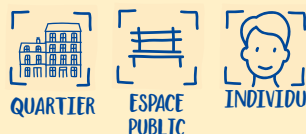
Cette méthode permet de documenter le ressenti des habitants durant les périodes de forte chaleur (canicules, vagues de chaleur), dans des configurations urbaines et des conditions microclimatiques données. Elle renseigne également les stratégies adaptatives mises en œuvre par les habitants pour faire face à la chaleur, et permet de documenter la qualité d'un aménagement donné. Les enquêtes sont particulièrement intéressantes quand elles interviennent en complément à des mesures de confort ou des simulations réalisées sur les mêmes lieux.



Ci-dessus : Extrait de l'étude du confort thermique à Chambéry (source : TRIBU)



Échelle d'analyse



Méthodes associées



Mesures des paramètres de confort



Simulation à échelle fine d'un indicateur de confort



Analyse croisée des données climatiques et de santé publique

Temporalité

2 à 4 mois (période estivale)

Coûts

5 000 € - 10 000 € HT
suivant la méthodologie d'enquête employée

Description de la méthode

Les enquêtes qualitatives et quantitatives permettent de recueillir le ressenti des habitants pendant les périodes de forte chaleur (canicules, vagues de chaleur), et d’observer les usages associés à certains lieux exposés. Cette méthodologie peut prendre la forme d’entretiens, de questionnaires ou d’échanges rapides type « micro-trottoirs » auprès des usagers. Combinée à d’autres formes d’analyse de la surchauffe urbaine, elle est pertinente pour qualifier le confort thermique.

Les enquêtes peuvent mettre en lumière les inégalités socio-spatiales, qui expliquent la diversité des ressentis : elle contribuent à identifier les populations les plus vulnérables, et l’enjeu de santé publique lié à la chaleur en ville. Elles peuvent faire émerger des attentes de part des habitants ou des pratiques insoupçonnées quant à l’aménagement des espaces urbains, cela afin d’optimiser la conception d’un projet.

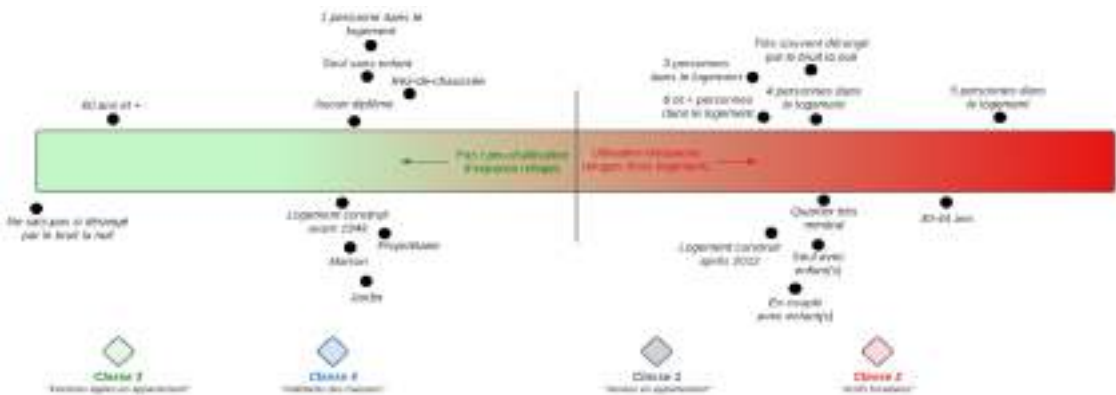
L’échelle d’analyse peut éventuellement concerner la ville toute entière (dans le cas d’une enquête quantitative à large déploiement), un quartier, un îlot, un espace public ou un bâtiment pour une approche plus localisée et fine.

Les indicateurs étudiés

Il s’agit de recueillir le **ressenti thermique immédiat** (dans le cas d’enquêtes in situ) ou faisant appel à la mémoire (dans le cas d’enquêtes réalisées hors site) et les stratégies adaptatives mises en oeuvre :

vocabulaire associé au lieu et aux notions de confort (frais/chaud/très chaud/confortable, etc.)

- cartographies ou schémas des usages
- comportements observés (habillement, niveau d’activité, etc.)



Extrait d’analyse de la fréquence d’utilisation des espaces refuges selon les types de ménages à Nantes (source : Molina, Lamberts 2023)

✓ AVANTAGES

- Cette méthode permet de mettre en perspective des simulations ou mesures de confort à des données plus qualitatives sur l'appréhension de la chaleur en ville;
- Le recueil du ressenti et des pratiques des habitants in situ peut mettre en lumière des situations très localisées de confort/inconfort dans certains espaces publics, et les usages qui leur sont associés en période de forte chaleur. Cela afin d'orienter le réaménagement des espaces en question, au plus près des pratiques et besoins identifiés;
- La réalisation d'entretiens est un bon moyen en soit de sensibiliser les citoyens à la surchauffe urbaine et de concerter sur la programmation d'un lieu dans un cadre plus opérationnel ;
- Une enquête quantitative réalisée à distance (par exemple, déploiement d'un questionnaire en ligne), peut permettre d'obtenir des données statistiques et de réaliser une étude socio-spatiale si le panel d'habitants mobilisés est suffisamment important.

” ILS L'ONT FAIT

Nanterre, Diagnostic de l'îlot de chaleur et balades climatiques (ECIC-NEPSEN)

Nantes, Enquêtes habitantes (ESO, Géraldine Molina)

Chambéry, Étude de l'îlot de chaleur urbain et du confort des espaces publics du centre-ville (TRIBU)

St Omer, Diagnostic de la surchauffe en centre-ville ancien (CAPSO, AUD, projet Cool Towns)

⚠ POINTS DE VIGILANCE

- ▲ Il s'agit d'une appréhension subjective de l'espace qui dépend de multiples paramètres (poids, âge, sexe, habillement, activité physique). Les résultats sont donc soumis à une grande variabilité, et difficilement généralisables d'un espace à un autre;
- ▲ En cas de recours à un questionnaire d'entretien fermé, celui-ci doit être testé en amont pour vérifier sa clarté ;
- ▲ L'analyse doit être guidée par un protocole d'enquête bien défini qui dépend de l'objectif visé : validation d'hypothèses pré-établies, de corrélations entre facteurs, ou questionnements plus ou moins ouverts, *etc.*



Enquête usager dans le cadre du projet de recherche Nature4Cities, 2019
(source : TRIBU)

CLÉS POUR AGIR

Étape par étape

1

Définition de la méthodologie

Différentes méthodologies sont possibles selon les objectifs recherchés et les moyens disponibles :

- entretien semi-directif (plus qualitatif) ou questionnaire fermé (plus quantitatif),
- observations flottantes (déambulation attentive à tous les aspects d'un lieu étudié et de ses pratiques) ou organisées.

Le choix du lieu d'enquête peut correspondre à un espace ayant fait l'objet d'études ou mesures de confort, réputé inconfortables, ou destiné à faire l'objet d'un projet d'aménagement.

L'enquête peut être réalisée *in situ* ou à distance.

- In situ, les usagers sont interpellés directement sous la forme de micro-trottoirs, ou par le biais d'un événement organisé
- A distance, on pourra avoir recours à un institut de sondage pour enquêter par téléphone, ou à une plateforme de participation libre (sans garantie sur le panel mobilisé, et sa représentativité).

2

Réalisation de l'enquête

Les enquêtes peuvent être couplées à des mesures mobiles pour croiser indicateur de confort ressenti et le confort vécu par les individus.

Selon les lieux choisis, une enquête *in situ* pourra être réalisée :

- sur un créneau horaire spécifique, correspondant à une occupation plus importante d'un espace permettant de réaliser un plus grand nombre d'entretiens
- sur plusieurs jours et créneaux horaires, afin d'avoir une approche plus globale de la chaleur et des usages au fil du temps.



Ressources et matériel

Matériel d'enregistrement des entretiens réalisés dans l'espace public (permettant d'éviter la prise de notes pendant les échanges et facilitant l'analyse de l'ensemble des verbatims à l'issue de l'enquête)

Questionnaire sous forme de grille permettant de diriger partiellement les entretiens

Carnet de notes ou fonds de plans de l'espace étudié permettant de noter les déplacements et les usages observés au sein de cet espace

Logiciel de retranscription automatique des entretiens

3

Analyse et restitution des résultats

Suivant la longueur des entretiens, leur retranscription peut être manuelle ou automatisée avec un logiciel dédié. Elle permet la sélection des verbatims éclairants sur la manière dont les espaces sont vécus en période de forte chaleur.

L'analyse des résultats implique :

- une mise en perspective des entretiens avec des données spatiales (par rapport aux usages repérés), des mesures ou simulations réalisées sur le lieu de l'enquête le cas échéant ;
- dans le cas d'une enquête à distance, la mobilisation éventuelle d'outils de traitement de données statistiques.

Les résultats de l'enquête pourront être restitués au grand public et/ou aux élus, mais également servir à alimenter les réflexions programmatiques autour des futurs aménagements notamment.

PROSPECTIVE CLIMATIQUE

CLIMADIAG COMMUNE



- Quelles évolutions du climat sont à prévoir pour ma commune dans les prochaines décennies ?

Climadiag commune permet, pour chaque commune, d'accéder en un clic à une synthèse des évolutions climatiques à trois horizons temporels (2030, 2050, 2100) et niveaux de réchauffement attendus, autour de thématiques clés pour l'adaptation des territoires (climat, agriculture, risques naturels, tourisme, santé).

Cet outil disponible gratuitement peut notamment permettre aux élus de connaître et de s'approprier ces évolutions au plus près de leur territoire.



Ci-dessus : page d'accueil de la plateforme Climadiag (source : Météo France)

Échelle d'analyse



Méthodes associées



Simulation
numérique
à l'échelle
territoriale



Analyse croisée
des facteurs de
risque

Temporalité

Immédiate

Coûts

Service en ligne accessible
gratuitement depuis un
ordinateur ou un téléphone
portable : [meteofrance.com](https://meteofrance.com/climadiag-commune)
[/climadiag-commune](https://climadiag-commune)

Description de la méthode

Climadiag est une plateforme développée par Météo France, disponible gratuitement en ligne, qui donne accès aux évolutions climatiques projetées pour chaque commune. La trajectoire de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC) est le fil conducteur de ces évolutions. Cette trajectoire correspond à une hausse des températures en France métropolitaine de +2°C en 2030, + 2,7 °C en 2050 et + 4 °C en 2100.

Pour chacun de ces trois niveaux de réchauffement et horizons temporels correspondants, Climadiag propose des indicateurs du changement ciblés par commune.



Les indicateurs étudiés

La plateforme renseigne des **indicateurs climatiques** organisés en cinq thématiques :

- **Climat** : indicateurs météorologiques généraux (température moyenne, jours de gel, cumul de pluie, jours avec pluie) ;
- **Risques naturels** : indicateurs liés à des événements intenses (jours avec pluies intenses, pluie exceptionnelle, sécheresse du sol, risque de feu de forêt, niveau de la mer) ;
- **Santé** : indicateurs liés aux risques spécifiques pour la santé (jours très chaud, nuits chaudes, vagues de chaleur, vagues de froid) ;
- **Agriculture** : jours consécutifs sans pluie, reprise de la végétation, disponibilité thermique pour le blé, jours échaudants ;
- **Tourisme** : jours estivaux, enneigement à basse altitude, enneigement à haute altitude.

Ces indicateurs sont calculés à partir des projections climatiques de référence sur la métropole (DRIAS-EXPLORE2-Climat 2022)



Autres ressources

Le portail DRIAS - les futurs du climat met à disposition des projections climatiques régionales réalisées dans les laboratoires de modélisation du climat : www.drias-climat.fr

Le portail DRIAS - EAU met également à disposition des projections hydrologiques des eaux de surface et souterraines sous forme de carte : www.drias-eau.fr

Climat HD permet de visualiser les évolutions passées et futures du climat, aux échelles nationale et régionale : www.meteofrance.com/climathd

Climadiag Chaleur en Ville permet de cartographier la surchauffe urbaine, de modéliser les impacts de différents scénarios d'adaptation de la ville, et d'accompagner les collectivités pour adapter leur territoire dans une France à +4°C : <https://services.meteofrance.com/changement-climatique/ilot-de-chaleur-urbain>

✓ AVANTAGES

- C'est un bon outil de sensibilisation citoyenne, qui permet d'accéder à un premier niveau d'information sur le profil climatique à différents horizons temporels d'une commune, et d'agir en conséquence.
- Les familles d'indicateurs correspondent aux secteurs clés de la planification des territoires, ce qui facilite l'intégration de l'information dans les documents d'urbanisme (PCAET, PADD, SCOT, PLUi), notamment sur le volet de l'adaptation.
- Les données fournies permettent d'alimenter le profil socio-sanitaire et socio-économique d'une commune.

CLEFS POUR AGIR

Étape par étape

1

Saisie de la commune sur la plateforme

La plateforme est accessible à partir de n'importe quel navigateur web, à l'adresse suivante : meteofrance.com/climadiag-commune

Le nom de la commune / intercommunalité (ou son code postal) d'intérêt doit être saisi directement dans la barre de recherche située sur la page d'accueil.

L'horizon temporel qui nous intéresse peut également être sélectionné dès la page d'accueil.

⚠ POINTS DE VIGILANCE

- ▲ A chaque indicateur sont associées trois valeurs : valeur basse, médiane et haute des projections climatiques. La valeur médiane ne doit pas être utilisée indépendamment des deux autres. Pour l'adaptation, il est souhaitable de retenir la valeur la plus contraignante pour une politique donnée.
- ▲ Les modélisations climatiques et les projections qui en découlent évoluent, ce qu'une veille scientifique permet de suivre. De fait, les jeux de données support de Climadiag Commune seront mis à jour au fur et à mesure des progrès de la science en matière de simulations climatiques.

2

Sélection de l'horizon et lecture des indicateurs

Les indicateurs de climat/santé/risques naturels sont renseignés par défaut en déroulant la page qui s'affiche. Il est possible de sélectionner les indicateurs supplémentaires (agriculture / tourisme) sur le menu à droite de la page. L'horizon temporel peut également être modifié à tout moment par sélection en tête du menu à droite.

Chaque indicateur est présenté sous la forme d'une infographie, qui indique sa valeur pour la période référence (1976-2005) et son évolution pour l'horizon temporel sélectionné d'après :

- la valeur médiane des projections
- les valeurs basse et haute des projections (intervalle de confiance à 90%)

La synthèse des données est téléchargeable à tout moment en pdf depuis cette page.

LES RETOURS D'EXPÉRIENCE

pour donner envie d'agir

Les collectivités sont de plus en plus nombreuses à **passer à l'action** face aux enjeux de surchauffe urbaine, **en commençant par la réalisation d'un diagnostic.**

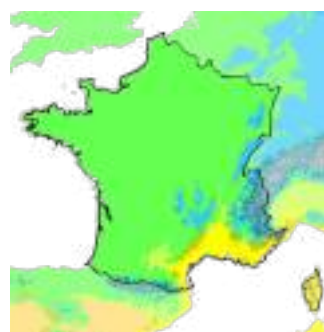
Cette troisième partie de recueil présente **onze retours d'expérience** de diagnostics réalisés en France hexagonale. Ils ont été sélectionnés car ils couvrent **une diversité de contexte climatique, d'échelle d'analyse, de méthodes et d'outils employés**, (et parfois même combinés).

La connaissance des enjeux de surchauffe propres à chaque territoire et la montée en compétence des différents acteurs mobilisés sur ces questions ont ainsi permis le déploiement d'actions et solutions multiples : aide à la conception de projets d'aménagement ou d'espaces publics, mise à jour de documents de planification, évaluation des politiques publiques, communication auprès des élus et/ou du grand public, *etc.*

Pour davantage d'information, les personnes référentes, sur chaque retour d'expérience, sont mentionnées. Un grand merci à elles de nous avoir donné de leur temps pour nous permettre de réaliser ce travail de synthèse !

Ci-contre :
Zones climatiques selon la classification des climats de Köppen-Geiger (Beck et al. 2018)
Climat futur 2071-2100 d'après le RCP 8,5 (scénario sans politique climatique mondiale) et **Climat actuel référence 1980-2016** (en bas à gauche)





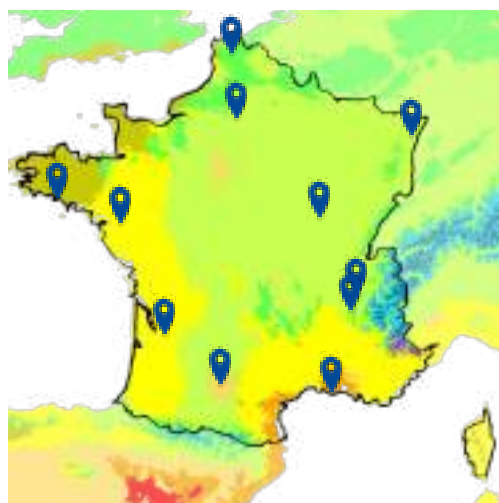
BWh	Climat désertique chaud
BSh	Climat semi-aride chaud
BSk	Climat semi-aride froid
Csa	Méditerranéen chaud // Climat tempéré chaud à été chaud et sec
Csb	Méditerranéen tempéré // Climat tempéré chaud à été sec
Cfa	Subtropical humide // Climat tempéré chaud sans saison sèche et à été chaud
Cfb	Océanique tempéré // Climat tempéré chaud sans saison sèche et à été tempéré
Cfc	Océanique froid // Climat tempéré chaud sans saison sèche à été court et frais
Dfb	Climat continental froid, sans saison sèche et à été tempéré

LES RETOURS D'EXPÉRIENCE

pour donner envie d'agir

Le schéma ci-contre synthétise la variété des expériences présentées.

Certains diagnostics s'inscrivent dans des projets de recherche plus larges sur le climat et micro-climat urbain, tandis que d'autres ont été réalisés dans le cadre d'un marché public dédié, et motivé par différents facteurs. Les **différents acteurs mobilisés sur ces études** (collectivités commune, intercommunalité, métropole, agences d'urbanisme, laboratoires et organismes publics de recherche, bureaux d'études...) , et la **richesse des valorisations et suites qui leurs sont données**, illustrent également du caractère et de l'intérêt pluridimensionnel de mener un diagnostic de surchauffe urbaine.



Zones climatiques selon la classification de Köppen-Geiger (Beck et al. 2018) - Climat futur 2071-2100 d'après le scénario RCP 8,5

BWh	■	Csb	■
BSh	■	Cfa	■
BSk	■	Cfb	■
Csa	■	Cfc	■
		Dfb	■

climat
(présent
/ futur)

périmètre
de l'étude

Retrouvez la zone climatique concernée sur la carte ci-contre et p. 59.

Lorient	— Cfb / Csb —	Ville de Lorient 58 000 hab. (agglo : 124 000)
Nantes	— Cfb / Csa —	Ville de Nantes 320 722 hab. (métropole : 672 000)
Libourne	— Cfb / Csa —	Ville de Libourne 25 000 hab.
Toulouse	— Cfa / BSk —	Métropole de Toulouse 818 000 hab.
Marseille	— BSk / Bsh —	Centre ancien de Marseille 45 000 hab. environ (ville : 875 000)
Grenoble	— Cfb / Cfa —	Ville de Grenoble 160 000 hab.
Chambéry	— Cfb / Cfa —	Ville de Chambéry 60 000 hab.
Dijon	— Cfb / Cfa —	Métropole de Dijon 257 000 hab.
Nanterre	— Cfb / Cfa —	Ville de Nanterre 95 000 hab.
St Omer	— Cfb / Cfb —	Ville de St Omer 14 903 hab.
Strasbourg	— Cfb / Cfa —	Eurométropole de Strasbourg 512 000 hab.

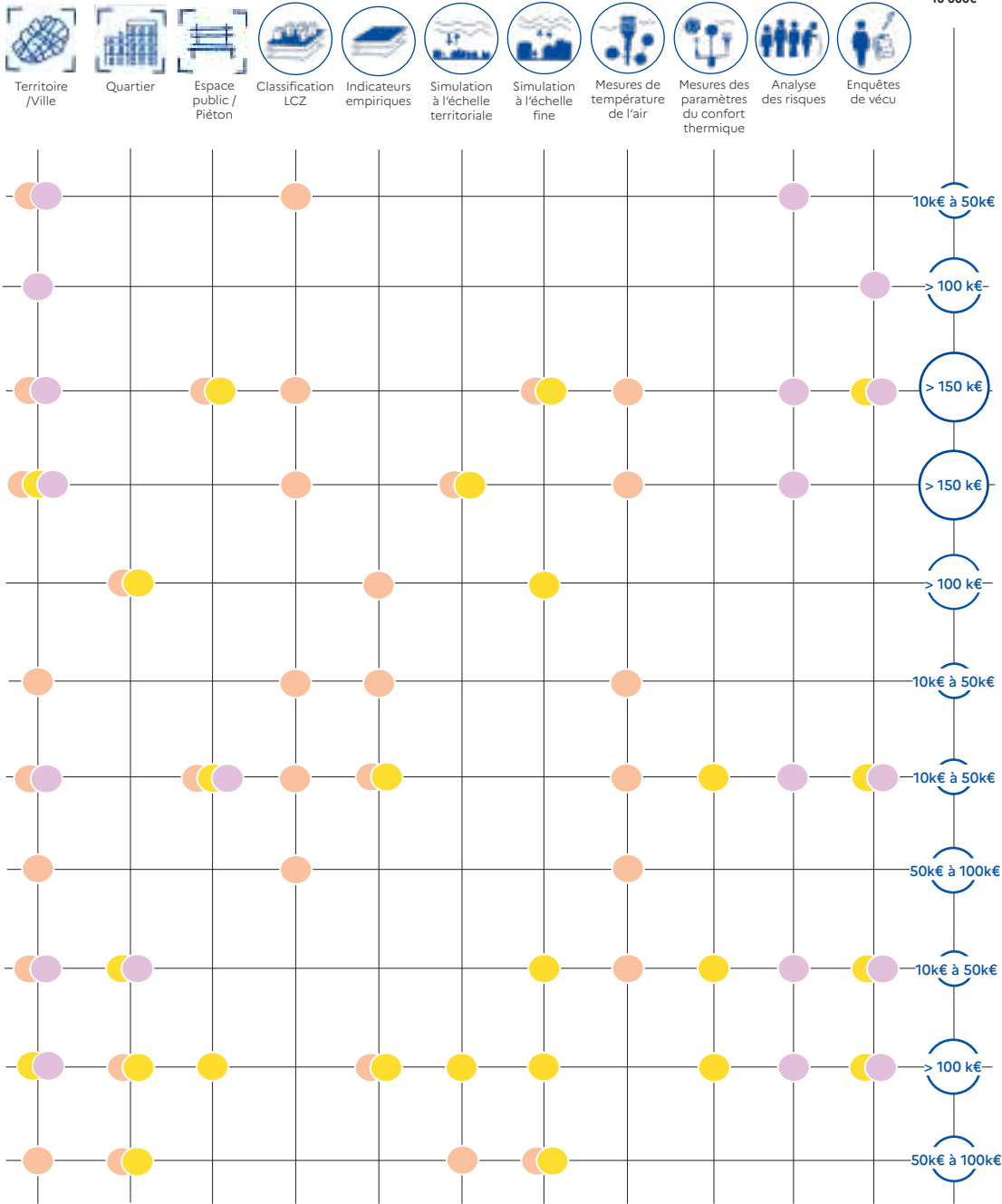
enjeu(x) étudié(s)

- îlot de chaleur urbain
- Confort thermique
- Risque climatique

échelle(s)

méthode(s)

coût



LES RETOURS D'EXPÉRIENCE

pour donner envie d'agir

Lorient : cartographie des zones à enjeux de surchauffe urbaine	p 63
Nantes : enquête sur la vulnérabilité des habitants	p 67
Libourne : classification LCZ et renaturation d'une cour d'école en Gironde	p 71
Toulouse : atlas climatique et mise en place d'un réseau de capteurs fixes	p 75
Marseille : coeur historique en transition	p 79
Grenoble : réseau de mesures et interpolation spatiale	p 83
Chambéry : diagnostic multicritère de la surchauffe urbaine	p 87
Dijon : réseau de mesures et cartographie LCZ	p 91
Nanterre : diagnostic de l'îlot de chaleur urbain et des îlots de fraîcheur	p 95
Saint-Omer : simulations, mesures, enquêtes et études micro-climatiques	p 99
Strasbourg : simulation de l'îlot de chaleur urbain et de stratégies d'adaptation	p 103





Périmètre de l'étude

Ville de Lorient
58 000 habitants
(agglomération : 205 000 habitants)

Climat

Actuel : Tempéré à été frais
sans saison sèche (Cfb)

Futur : Tempéré chaud à été
sec (Csb)

Année de réalisation

2022

Acteurs

- **Ville de Lorient** : collectivité
- **Intermezzo** : Bureau d'études spécialisé en appui des politiques territoriales dans le domaine de la transition écologique
- **Fondation Geomanum** : Fondation abritée du CNRS en Géographie, Humanité et Numérique
- **Laboratoire Lab-STICC** du CNRS – UMR 6285

Coûts

14 000 € HT

Financements

Ademe (dans le cadre de
du projet PAENDORA 2) :
financement partiel

LORIENT

CARTOGRAPHIE DES ZONES À ENJEUX DE SURCHAUFFE URBAINE

Initiée par la ville et l'agglomération de Lorient suite à plusieurs épisodes de très fortes chaleurs au cours de l'été 2022, l'étude vise à mieux prendre en compte l'adaptation au changement climatique dans sa stratégie d'aménagement territoriale.

Un travail autour de la caractérisation des zones climatiques locales a été mené en parallèle de l'identification des enjeux climatiques locaux, à l'échelle des quartiers. Ce travail a servi de socle à la collaboration entre agents aux compétences diverses dans l'élaboration de recommandations sur les sujets d'adaptation. La démarche s'inscrit dans un objectif global d'apporter des réponses opérationnelles aux problématiques de surchauffe rencontrées.

À cette occasion, la ville et l'agglomération de Lorient ont rejoint le programme de recherche PAENDORA2, financé par l'ADEME pour partager les résultats.

Méthodologies déployées



Classification
LCZ



Croisement des
facteurs de risque

Contexte

Suite à un inventaire spécifique des espaces de nature en Ville, la Ville de Lorient a souhaité approfondir plus spécifiquement la question de la surchauffe urbaine et du confort thermique.

L'été 2022 constitue un tournant dans la prise de conscience des collectivités et élus sur le sujet, auparavant considéré comme moins prioritaire du fait de sa position littorale.

La ville de Lorient et l'agglomération décident alors de lancer une étude sur la surchauffe urbaine et de s'impliquer dans le programme de recherche PAENDORA 2, visant à « guider l'action des collectivités territoriales dans le cadre de la gestion du confort estival et la surchauffe urbaine ». C'est dans un souci d'interprétation et de valorisation des travaux et résultats du programme auprès des élus et des agents que le cabinet Intermezzo est sollicité.

Méthodes

- **Caractérisation des LCZ (Local Climate Zones / Zones Climatiques Locales)** via l'outil Geoclimate, développé par le LAB-STICC
- **Analyse croisée des données climatiques et de santé publique** à partir des données INSEE et des indicateurs associés à la classification LCZ

DÉROULÉ DE L'ÉTUDE

1

Une cartographie des zones climatiques locales a été réalisée automatiquement grâce à l'outil Geoclimate (modélisation automatique des LCZ), à partir de référentiels de données urbaines issues de la BD Topo de l'IGN, ou OpenStreetMap. Ce travail a permis de faire apparaître de nombreux indicateurs de morphologie urbaine et de faire ressortir les zones problématiques au regard de la surchauffe urbaine.

2

Cette cartographie a été croisée avec des données socio-économiques de la ville de Lorient (âge de la population, répartition spatiale de publics sensibles), et avec des indicateurs spécifiques aux thématiques d'inondation, de ruissellement, de fraîcheur.

Le travail réalisé «en chambre» a ensuite été partagé auprès des acteurs locaux, ce qui a permis d'affiner l'interprétation et la qualification des enjeux à l'échelle des différents quartiers. **Un atelier participatif** conduit en ce sens avec une multitude de services, autour de secteurs géographiques préidentifiés, a permis d'aboutir à la rédaction de recommandations et fiches action. Ces allers retours avec la ville, ont permis d'enrichir les algorithmes de traitement de Geoclimate.

L'ensemble de ces recommandations ont été présentées aux élus pour être intégrées dans diverses actions de la Ville, de la planification urbaine à la reconquête végétale.

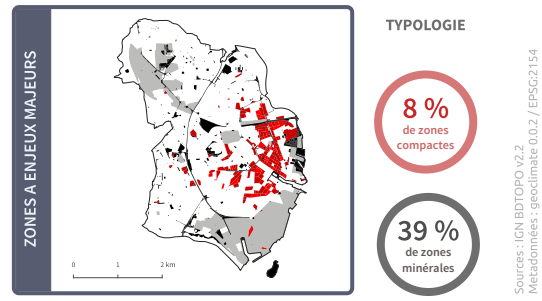
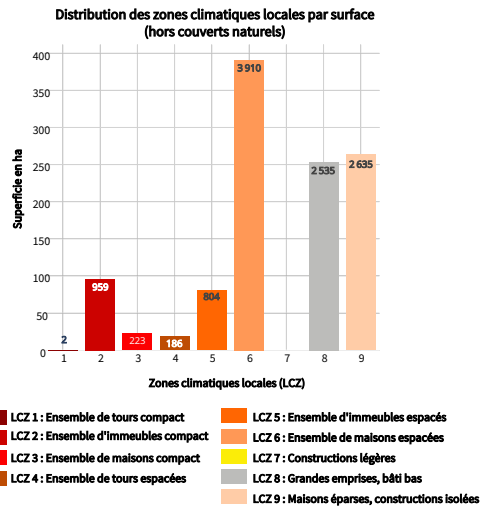
Principaux résultats

L'étude a permis la réalisation de plusieurs cartographies associées aux enjeux de surchauffe et aux vulnérabilités associées :

- cartographie des zones climatiques locales ;
- cartographie de l'exposition des personnes vulnérables ;
- cartographie des îlots de fraîcheur ;
- cartographie de l'indice d'imperméabilité.

Le croisement de ces données a notamment mis en avant des zones à enjeux prioritaires qui n'avaient pas été identifiées comme telles dans les études précédentes : développement de la nature dans le centre-ville ancien, imperméabilisation de la zone portuaire de Lorient et des différents établissements scolaires.

L'atelier collaboratif entre agents a permis de faire ressortir 26 recommandations co-conçues sur les sujets d'adaptation.



Distribution des zones climatiques locales par surface (hors couverts naturels) et zones à enjeux majeurs dans la ville de Lorient (Intermezzo, 2022, d'après IGN BD TOPO v2.2 et Geoclimate 0.0.2)

Suites de l'étude

Elaboration de documents stratégiques à plusieurs entrées : une stratégie de reconquête végétale devrait être formalisée en 2024, cumulant des recommandations issues des études sur la surchauffe urbaine et la nature en ville.

Intégration des données sur le climat dans la planification urbaine (PLU) avec une première traduction opérationnelle à travers la prise en compte des questions d'adaptation par l'architecte conseil dans le cadre de l'instruction des permis de construire.

Actions de sensibilisation à destination du grand public : balades urbaines et climatiques en partenariat avec l'architecte conseil, les élus de l'agglomération et le haut conseil breton pour le climat.

Mise en place d'études pré-opérationnelles et opérationnelles comme la création d'un plan guide pour la création ou la réhabilitation d'un espace public (mise en place par le service voirie), ou le lancement d'une étude pluviale et urbaine.

Valorisation du territoire à travers la labellisation Territoire Engagé pour la Transition Écologique permettant de définir des zones plus faciles à planter.

ENSEIGNEMENTS

Appropriation de la méthode : les zones climatiques locales sont pertinentes pour identifier les enjeux et la spatialisation mais celles-ci comportent néanmoins plusieurs imperfections liées à la complexité des phénomènes observés, aux limites intrinsèques de la méthode, et à la qualité des données d'entrée par rapport à la réalité du terrain. Un manque de détail concernant la végétalisation des coeurs d'îlot a été remarqué, lié au manque d'information dans les données d'entrées (issues de BD TOPO). Néanmoins, l'unité spatiale de référence, déterminée par l'outil à l'échelle de l'îlot, facilite l'appropriation des résultats

Accessibilité des résultats et acculturation aux enjeux de surchauffe : le partage de cette étude aux services mais également aux citoyens favorise l'acculturation globale à ces thématiques. Il est cependant nécessaire de trouver la bonne méthode de diffusion afin de rendre les cartographies les plus accessibles possible. La classification automatique de l'outil Geoclimate en open-source rend accessible la classification des LCZ à tous les acteurs.

Le croisement des regards enrichit l'interprétation et la valorisation des résultats : un accompagnement scientifique est nécessaire pour l'interprétation des résultats issus des cartographies, et leur valorisation auprès des élus et des agents. Un dialogue poussé entre les acteurs locaux et les experts du territoire permet quant à lui une interprétation des résultats à une échelle plus fine, et leur déclinaison aussi bien stratégique qu'opérationnelle.



« Se retrouver autour de ces cartographies d'enjeux de surchauffe et de perméabilité a permis de se créer une culture commune dans la transversalité des services. »

Katell Chomard — Agglomération de Lorient, Directrice planification et dynamiques urbaines

POUR ALLER PLUS LOIN

Contacts

Katell Chomard : agglomération de Lorient - responsable planification et dynamiques urbaines - travail études en amont et étude LCZ (kchomard@agglo-lorient.fr)

Marine Clavel : ville de Lorient - service environnement - chargé d'adaptation au CC + travail réemploi et éco circulaire (mclavel@lorient.bzh)

Pierre Crepeaux : ville de Lorient - responsable du Service Environnement & Energie (pcrepeaux@lorient.bzh)

Simon Georget : associé-cogérant de Intermezzo (simon@intermezzo-coop.eu)

Erwan Bocher : Directeur de recherche au CNRS, LAB-STICC, Président de la Fondation GEOMANUM (erwan.bocher@cnrs.fr)

Documentation

[Intermezzo. \(2023\). Lorient initie une politique d'adaptation au changement climatique](#)



MA



Dessin Malou Alagnat

Périmètre de l'étude

Ville de Nantes
320 722 habitants
(métropole : 672 000)

Climat

Actuel : Tempéré à été frais
sans saison sèche (Cfb)

Futur : Tempéré à été chaud
et sec (Csa)

Année de réalisation

2022 - 2023

Acteurs

- **ESO Nantes** : Laboratoire
Espaces et SOciétés
(Sciences Humaines et
Sociales)
- **IRSTV** : Institut de
recherche en sciences et
techniques de la ville
- **Nantes Métropole**
- **COHDA** : institut de
sondage

Coûts

120 000 € HT
dont 40 000 € HT pour la
réalisation du sondage

Financements

CNRS, Nantes Métropole
(mission COHDA), Réseau
RN-MSH (financement de
stage)

NANTES ENQUÊTE SUR LA VULNÉRABILITÉ DES HABITANTS

Sur la base d'un partenariat entre le laboratoire de recherche ESO et Nantes Métropole, cette enquête qualitative a sondé le rapport aux fortes chaleurs de l'été 2022 (particulièrement chaud) de 1300 habitants de Nantes. Menée sur un échantillon représentatif de la diversité d'une population d'un territoire (méthode des quotas) avec 90 variables sondées, elle a identifié les vulnérabilités des individus et groupes sociaux, leurs vécus, les impacts sur leur santé physique et mentale, leurs stratégies adaptatives et les principaux espaces refuges qu'ils investissent.

Cette enquête de grande ampleur permet d'apporter de nouvelles connaissances robustes sur les dimensions sociales des phénomènes microclimatiques afin de développer des solutions concrètes « sur mesure » davantage adaptées aux différents profils et besoins différenciés des individus et groupes sociaux. Elle ouvre ainsi sur un large champ en matière d'application pour les acteurs des territoires, ce tout autant à l'échelle des politiques publiques d'un territoire, que de l'aménagement d'un espace public ou de la construction d'un logement.

Méthodologie déployée



Enquêtes
de vécu

Contexte

Cette enquête s’inscrit dans la continuité des recherches menées sur les relations entre habitants, climat et ville par le laboratoire Espaces et SOciétés Nantes (ESO) et l’Institut de Recherche en Sciences et Techniques de la Ville. L’objectif de cette nouvelle recherche est avant tout la production de données quantitatives de qualité sur un territoire (Ville de Nantes) à la suite des fortes chaleurs de l’été 2022. Elle s’est construite sur un socle robuste en prenant appui sur les résultats précédents des études qualitatives menées sur d’autres territoires.

L’enjeu était de pouvoir hiérarchiser et quantifier les phénomènes observés précédemment par un travail de statistiques socio-spatiales, en travaillant sur un échantillon de population représentatif de la diversité sociale de la population d’une ville. Cette enquête s’inscrit dans la rubrique «connaissance» du plan vagues de chaleur porté par Nantes Métropole.

Méthodes

- **Sondage à large diffusion (1300 individus au total) auprès des habitants du territoire :** 90 questions fermées administrées par appels téléphoniques de 12 à 25 minutes. L’échantillon des 1300 individus a été construit avec la méthode des quotas pour être le plus représentatif possible ;
- **Analyse statistique des données** (tris à plat, tris croisés, analyse multivariée) réalisée à l’aide de logiciels de traitement spécifiques.



DÉROULÉ DE L'ÉTUDE

- 1

Le questionnaire a été conçu en collaboration entre Nantes Métropole et l'ESO, à partir des recherches qualitatives menées dans des travaux précédents.
- 2

L'institut de sondage COHDA a été désigné dans le cadre d'un appel d'offre lancé par la Métropole pour la diffusion du questionnaire par téléphone. Après quelques ajustements, **l'enquête a été réalisée en Novembre 2022, sur une période d'environ 10 jours**. Une équipe de 10 personnes a été mobilisée pour la passation. D'autres canaux de communication (réseaux sociaux) ont aussi été utilisés pour essayer de solliciter des groupes sociaux plus difficiles à atteindre (ex. jeunes et ouvriers).
- 3

L'analyse des réponses s'est basée sur des modèles empiriques issus de la recherche. Nantes Métropole n'est pas intervenue pendant cette étape. Cette indépendance offerte aux chercheurs était un point important du partenariat.
- 4

La restitution des résultats se fait progressivement auprès des professionnels (politiques publiques, aménageurs...). Les résultats ont été publiés pendant l'été 2023 (HAL science ouverte). D'autres actions de sensibilisation à la surchauffe urbaine sont en cours.



Méthodologie de l'enquête : structure du questionnaire (adapté de Molina, Hureau et Lamberts, 2023)

Principaux résultats

L'étude a mis en lumière les inégalités des vulnérabilités des habitants et des vécus climatiques selon les caractéristiques des profils des habitants en croisant de nombreux facteurs (caractéristiques individuelles, conditions de vie dans le logement, modes d'habiter, etc.).

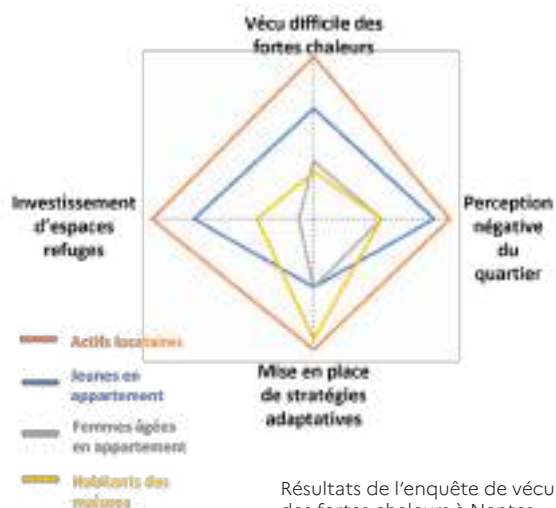
Les 30-44 ans, les familles avec enfant(s), en particulier monoparentales, ont été identifiées comme plus vulnérables aux vagues de chaleur. Les personnes âgées de plus de 60 ans ont exprimé les vécus les plus positifs qui s'expliquent par différents facteurs (thermophysiques, conditions de vie dans le logement, modes d'habiter, etc.).

Selon l'enquête, 35 % des Nantais trouvent l'intérieur de leur logement insupportable de jour comme de nuit pendant les vagues de chaleur.

L'enquête a également permis d'identifier la mise en place de stratégies différenciées d'adaptation à la chaleur et des inégalités de fréquentation des espaces refuges selon

les profils des habitants (mobilités vers des espaces refuges à l'intérieur ou l'extérieur de la ville).

Des enjeux différenciés apparaissent ainsi en termes d'application pour penser des logements, des espaces publics et aménagements adaptés aux besoins de ces profils pour mieux protéger les populations des fortes chaleurs.



Résultats de l'enquête de vécu des fortes chaleurs à Nantes en 2022 (adapté de Molina, Hureau et Lamberts, 2023)

Suites de l'étude

Formations d'une centaine d'agents de Nantes Métropole de services différents (urbanisme, espaces verts, aménagement, santé, inclusion sociale, proximité du territoire, climat et énergie) permettant la montée en compétence de la collectivité face à la problématique de la surchauffe urbaine.

Création d'une carte interactive des espaces refuges par la ville de Nantes. Disponible sur son site internet dans une première version, elle répertorie les lieux de fraîcheur où se réfugier en cas de fortes chaleurs.

Mise à jour du registre communal d'alerte : des discussions avec les travailleurs sociaux pour inclure les groupes sociaux identifiés comme les plus vulnérables.

Publication d'un article, à destination du grand public sur le site internet de Nantes Métropole (moyen privilégié de communication de la collectivité).

« Cette étude est le fruit d'un partenariat de longue date entre l'ESO, l'IRSTV et Nantes Métropole. Elle permet la montée en compétence des agents de nombreux services de la collectivité face à la surchauffe urbaine. »

Alban Mallet — chargé de mission transition écologique et climat - volet adaptation à Nantes Métropole à Nantes Métropole

ENSEIGNEMENTS

POUR BÉNÉFICIER D'UN TRANSFERT DES RÉSULTATS

Des conférences-ateliers sont envisageables dans d'autres territoires avec les chercheurs de l'équipe ESO-IRSTV pour présenter les résultats des recherches menées sur les relations entre habitants et climat. L'enjeu pour les acteurs des politiques publiques, de l'aménagement, de l'urbanisme et de la construction est de pouvoir s'appuyer sur ce socle pour développer des solutions sur mesure mieux adaptées aux profils des habitants pour faire face à la chaleur. L'accès au rapport en ligne sur le site de science ouverte : HAL.

POUR LA RÉALISATION DE PROCHAINES ENQUÊTES

La méthodologie et le modèle de questionnaire sont fournis dans le rapport. Il est aussi possible de solliciter l'équipe de chercheurs pour la direction scientifique de l'enquête et bénéficier ainsi de leurs expériences et compétences.

La taille et la représentativité de l'échantillon doivent être suffisantes pour rendre compte de la diversité sociale et spatiale de la population étudiée et valider la généralisation des résultats (méthodes des quotas). L'échantillon idéal pour une ville comme Nantes est de 2000 personnes afin d'obtenir des données représentatives aussi à l'échelle des IRIS.

Le sondage doit être réalisé peu de temps après les vagues de chaleur : il faut s'assurer d'un délai court par rapport à la période d'étude afin d'éviter des effets d'oubli et d'atténuation des vécus des fortes chaleurs. La période idéale est fin septembre ou début octobre.

Dans l'objectif d'effectuer des comparaisons pour une même ville à quelques années d'intervalle ou entre différentes villes la même année, **il est nécessaire de conserver une méthodologie et un questionnaire proches de ceux présentés dans le rapport pour autoriser des comparaisons pertinentes scientifiquement.**

L'étude doit se focaliser sur un territoire avec une certaine cohérence relative au climat et aux modes d'habiter.

Une telle enquête requiert de solliciter un institut de sondage pour la passation, cette étape doit se faire sous contrôle des chercheurs dirigeant l'enquête afin d'assurer la robustesse scientifique. Le coût de cette prestation externe et la durée administrative du marché public sont des points importants à anticiper.

POUR ALLER PLUS LOIN

Contacts

Géraldine Molina : chercheuse CNRS à ESO Nantes, docteure en Géographie et Urbanisme, spécialiste dans l'étude de la vulnérabilité des habitants des villes au climat (geraldine.molina@univ-nantes.fr)

Alban Mallet : chargé de mission transition écologique et climat - volet adaptation à Nantes Métropole à Nantes Métropole (alban.mallet@nantesmetropole.fr)

Documentation

[Molina et al. \(2023\). Les citoyens face aux fortes chaleurs : vulnérabilités, santé et adaptations des habitants. Enquête sur 1 300 habitants de Nantes et leurs vécus de l'été 2022.](#)

[Nantes Métropole et Ville. \(2023\). « Les femmes seules avec enfants et les 30-44 ans ont des vécus de la chaleur plus négatifs ».](#)

[Nantes Métropole et Ville. \(2023\). \[Carte\] Fortes chaleurs : où trouver de la fraîcheur à Nantes ?](#)



Périmètre de l'étude

Ville de Libourne
25 000 habitants

Climat

Actuel : Climat tempéré à été frais sans saison sèche (Cfb)

Futur : Tempéré à été chaud et sec (Csa)

Année de réalisation

2021 - 2024

Acteurs

- **Ville de Libourne**
- **Cerema :** Centre d'études et d'expertise sur les risques, la mobilité et l'aménagement

Coûts

Coût global de l'étude multi-thématique :
180 000 € HT

Coût de la cartographie
ICU : 8 200 € HT

Financements

Ville de Libourne (21%),
région Nouvelle-Aquitaine
(4%), ADEME (14%), CERE-
MA (50%), Agence de l'Eau
Adour-Garonne (11%)

LIBOURNE CLASSIFICATION LCZ ET RENATURATION D'UNE COUR D'ÉCOLE EN GIRONDE

Initié par le Cerema, ce diagnostic intervient dans une étude plus globale sur l'adaptation de la ville au changement climatique s'appuyant sur les solutions fondées sur la nature. Cette approche est transversale aux différentes politiques publiques, croisant les regards des acteurs de l'urbanisme, de la biodiversité, des espaces publics, de la planification et de la sensibilisation citoyenne.

Réalisé à partir d'une classification en zones climatiques locales, ce diagnostic a servi de support pour définir la stratégie de renaturation de la ville. Une simulation numérique, des mesures de température et des analyses de confort thermique ont permis d'estimer l'efficacité de solutions de rafraîchissement urbain mises en place sur un site démonstrateur choisi à partir des résultats initiaux.

Méthodologies déployées



Classifica-
tion LCZ



Simulation
à l'échelle
fine



Mesures de
température
de l'air



Croisement des
facteurs de risque



Enquêtes
de vécu

Contexte

En 2021, un partenariat se monte entre la ville de Libourne et le Cerema pour élaborer un plan « Nature en ville ». La démarche s'inscrit dans un objectif global de faire évoluer le territoire au regard du changement climatique et de répondre aux besoins exprimés par les habitants de renaturation du cœur de ville.

Initialement centrée autour de l'outil de renaturation urbaine Sésame du Cerema, l'étude intègre progressivement d'autres problématiques pour aboutir à l'élaboration de 7 axes d'étude multi-thématiques, incluant la cartographie de l'ICU, menée en 2021.

Méthodes

- **Classification LCZ** : analyse semi-automatique de la typo-morphologie de la ville croisant en entrée les données vecteur de bâti 3D (BD Topo de l'IGN) et les données raster d'occupation du sol (issue d'une image satellite Pléiades ou SPOT-6/7).
- **Croisement avec des données INSEE de vulnérabilité socio-économique** : personnes de moins de 5 ans et de plus de 65 ans, ménages sous le seuil de pauvreté, établissements accueillant du public sensible.
- **Simulation numérique simplifiée via l'outil ICETool** pour évaluer l'impact de nouveaux aménagements sur l'îlot de chaleur urbain.
- **Capteurs fixes de température** : en amont et en aval des travaux sur la cour d'école.
- **Enquête de confort thermique auprès des élèves de l'école réaménagée.**

DÉROULÉ DE L'ÉTUDE

1

Afin de cartographier l'ICU, le Cerema a développé une méthode semi-automatisée de classification LCZ. Elle est basée sur des indicateurs de morphologie urbaine et d'occupation du sol. Après un pré-traitement des données d'entrée, un algorithme croise les indicateurs dérivés de ces données pour associer à chaque maille une classe LCZ.

2

Les résultats de la cartographie LCZ ont ensuite été croisés avec des données de vulnérabilité socio-économique afin d'identifier les secteurs à enjeux.

3

Suite à la classification LCZ, la cour de l'école Jules STEEG a été choisie comme site démonstrateur pour mettre en place une stratégie de renaturation. L'impact des travaux réalisés a été analysé au vue de la température et du confort thermique. Le diagnostic a été réalisé grâce à plusieurs outils : modélisation avec l'outil ICETool, pose de capteurs de température pendant 3 mois l'été avant les travaux et pendant 4 mois et demi l'été après les travaux, enquêtes auprès des élèves pour questionner les usages de la nouvelle cours et la chaleur ressentie.

ENSEIGNEMENTS

La transversalité de l'étude et la complémentarité de ses différents volets ont apportées des clés de lecture approfondies sur les enjeux bioclimatiques de Libourne, permettant d'en tirer des leviers d'actions opérationnels.

Grâce à l'étude, les acteurs de la ville ont appris à mieux dissocier les questions de ressenti thermique du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Les résultats de l'étude montrent que seule la zone centrée autour du cœur de la ville est soumise à un ICU fort, alors que selon le ressenti des acteurs du territoire, le confort thermique estival est dégradé sur une plus large zone.

La résolution du découpage du territoire en zones climatiques locales est de 300m. Cet ordre de grandeur est recommandé par la communauté scientifique pour assurer l'homogénéité des zones urbaines en terme de morphologie et d'occupation du sol. Pour un territoire de petite taille tel que Libourne (20 km²), le nombre de mailles est donc limité.



« Le partenariat avec le Cerema a été un formidable accélérateur dans le travail à mener pour contribuer au rafraîchissement de la ville : en hiérarchisant les actions à mettre en œuvre, nous avons gagné en efficacité et en temps. »

Agnès SEJOURNET - Maire-adjointe en charge du défi climatique, de la transition écologique, des mobilités et de la nature en ville, conseillère communautaire

POUR ALLER PLUS LOIN

Contacts

Pierre Ouallet : chargé d'étude en environnement et aménagement – Cerema (pierre.ouallet@cerema.fr)

Benjamin Piccinini : responsable d'étude Observation satellitaire – Cerema (benjamin.piccinini@cerema.fr)

Documentation

[Cerema. \(2021\). Rapport d'étude : Plan «Nature en ville et Adaptation au changement climatique» à Libourne, Cartographie «Local Climate Zones».](#)

[Outil ICETool](#)

[Cerema. \(2021\). A Libourne \(Gironde\), la nature se met au service de l'adaptation de la ville face au changement climatique.](#)



Périmètre de l'étude

Métropole de Toulouse

818 000 habitants

Climat

Actuel : Tempéré à été chaud sans saison sèche (Cfa)

Futur : Semi-aride frais (Bsk)

Année de réalisation

2015-2020

Acteurs

- **ANR** : Agence Nationale de la Recherche
- **Laboratoire LISST** : Solidarités, Sociétés, Territoires - Université de Toulouse
- **Toulouse Métropole**
- **AUAT** : Agence d'urbanisme et d'aménagement Toulouse aire métropolitaine
- **CNRM** : Centre National de Recherches Météorologiques

Coûts

Atlas climatique : coût intégré au projet MAPUCE
Réseau de capteurs : 80 000 € HT

Financements

MAPUCE : financement ANR
Réseau de capteurs : Toulouse Métropole

TOULOUSE

ATLAS CLIMATIQUE (PROJET MAPUCE)

ET MISE EN PLACE D'UN RÉSEAU DE CAPTEURS FIXES

Le programme de recherche interdisciplinaire MAPUCE, initié en 2014, avait pour but de développer les liens entre la planification et la prise en compte des données climatiques. La métropole de Toulouse a servi de terrain expérimental du programme. La collaboration des acteurs du projet a notamment permis la publication d'un atlas climatique, élaboré à partir de la méthode des Zones Climatiques Locales et d'une simulation numérique de l'ICU. Aujourd'hui mis à disposition des différents acteurs de l'aménagement, opérateurs notamment, il leur permet d'intégrer la donnée climatique dans leurs démarches de projet. Les résultats du programme ont également conduit au déploiement d'un réseau de stations météorologiques par Toulouse Métropole sur l'ensemble de son territoire. Ce réseau est le premier observatoire météorologique français possédé par une collectivité.

Méthodologies déployées



Classification LCZ



Simulation à l'échelle territoriale



Mesure de température de l'air



Croisement des facteurs de risque

Contexte

Le projet de recherche MAPUCE, financé par l'ANR et initié en 2014 a deux objectifs : obtenir des données climatiques quantitatives à partir de simulations numériques et en proposer une méthodologie d'intégration dans les documents de planification. Toulouse Métropole est choisie comme l'une des agglomérations expérimentales du projet, dont l'enjeu est de créer une méthode reproductible dans toutes les villes de France. Une collaboration est alors établie entre l'équipe de chercheurs du projet MAPUCE, l'agence d'urbanisme locale AUAT et les services de la Métropole. Le développement du réseau de stations météorologiques qui suivra en 2019, s'effectue dans le cadre d'une thèse co-financée par le CNRM et Toulouse Métropole.

Méthodes

- **Cartographie des Zones Climatiques Locales et analyse croisée des données de vulnérabilité**
- **Simulation numérique territoriale de l'ICU et de l'indicateur de confort UTCI :** modèle couplé TEB + MESO-NH (résolution 250m).
- **Réseau de mesures fixes :** 78 stations météo installées en 2019 sur la ville de Toulouse, mesurant la température de l'air, l'humidité, la vitesse de vent.

« Faire le choix d'internaliser un réseau de capteurs, comme l'a fait Toulouse Métropole, implique de se questionner sur la gestion du système sur le long terme : entretien des appareils de mesure, traitement et stockage des données, exploitation des résultats. »

Guillaume Dumas — urbaniste climatologue et conseiller Toulouse + Fraïche à Toulouse Métropole

DÉROULÉ DE L'ÉTUDE

1

Dans le cadre du projet MAPUCE, **une cartographie des Zones Climatiques Locales (LCZ)** a permis dans un premier temps d'identifier les secteurs à enjeux face à la surchauffe urbaine.

2

En parallèle, des simulations numériques à l'échelle territoriale ont été réalisées par l'équipe de chercheurs avec le modèle TEB MESO-NH pour caractériser l'îlot de chaleur urbain (nocturne) et le niveau de stress thermique (diurne) dans la métropole. Les résultats ont été croisés par l'AUAT avec des données de vulnérabilité : exposition de la population (densité de population, nombre de salariés des établissements privés, établissements recevant du public sensible) et données d'environnement (végétation et hydrographie). Les cartographies ainsi obtenues ont été déclinées pour chacune des 37 communes du territoire.

3

La mise en place progressive d'un réseau de stations suite à la réalisation de l'Atlas, les résultats ayant permis de sélectionner des zones pertinentes où installer les stations météo. Le réseau est aujourd'hui constitué de 78 stations. Les données sont exportées en continu toutes les 15mn. Un traitement par interpolation permet la retranscription cartographique sur une plateforme dédiée. L'exploitation et maintenance du réseau est actuellement portée en régie par la métropole.

Principaux résultats

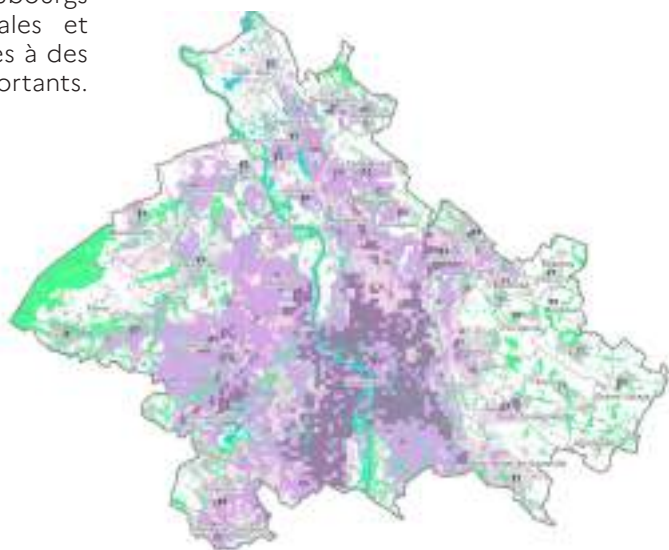
Le phénomène d'ICU se manifeste plus particulièrement lors de situations ensoleillées et très chaudes d'été, avec du vent de nord-ouest de 2 m/s à 4 m/s. Sous ces conditions, Toulouse présente un ICU nocturne qui atteint 4°C en moyenne, et peut aller jusqu'à 6°C.

La zone la plus exposée n'est pas le cœur historique dense mais les faubourgs immédiats. Les zones commerciales et zones d'activités sont aussi soumises à des niveaux de stress thermique importants.

L'impact de l'urbanisation sur la première couronne pourrait faire basculer certaines zones vers des niveaux d'exposition forts.

L'étude a montré que l'hyper centre se comportait comme un îlot de fraîcheur en journée, en raison de l'étroitesse des rues produisant de l'ombrage le matin et en fin d'après-midi.

Cartographie du confort thermique UTCI sur la métropole Toulousaine (AUAT, 2020)



Suites de l'étude

Publication d'un atlas climatique qui contient des cartes du microclimat urbain Toulousain.

Réalisation du guide de recommandations «Prise en compte du climat dans la construction de la métropole de demain», à destination des aménageurs, promoteurs, et services de la Métropole, qui en portent l'édition et la publication.

Aide à la planification : mise en place d'une échelle de lecture simplifiée de l'ICU identifiant trois niveaux d'intensité (fort, à bascule ou faible), permettant de prioriser et adapter les projets d'aménagement du territoire.

Intégration des résultats dans les documents d'urbanisme (PLUi), notamment d'orientations stratégiques dans le PADD pour améliorer le confort thermique dans la métropole.

Accompagnement de la Direction de l'Environnement, projet «100 000 arbres»: réalisation d'un diagnostic et d'actions de verdissement (ex. : désimperméabilisation des cours d'école de Toulouse).

Création d'un service dédié aux questions climatiques au sein de la Métropole, avec pour vocation d'apporter à l'ensemble des communes une ingénierie climatique dans leurs projets d'aménagements.

ENSEIGNEMENTS

La modélisation numérique est un processus complexe. Des difficultés ont été rencontrées lors du projet MAPUCE pour modéliser les surfaces, une composante pourtant essentielle à la simulation du micro-climat.

Le réseau de capteurs apporte une connaissance fine du phénomène de surchauffe urbaine sur un site précis. Alors que la modélisation numérique ne peut simuler l'ICU que sous certaines conditions météorologiques choisies au préalable (les plus défavorables dans cette étude), le réseau de capteurs a permis de visualiser l'ICU en toute saison. Il permet également de faire apparaître des situations de surchauffe propres à certains moments de la journée (par exemple, à proximité d'un carrefour routier en heure de pointe), et d'identifier des zones sous influence de l'ICU.

La mise en place et gestion d'un réseau de capteurs requiert pour la collectivité de posséder en interne de multiples compétences : électronique, traitement des données, climatologie et urbanisme. Ce système bénéficie toutefois à l'ensemble de la métropole et des communes qui la constituent : la collectivité constitue un appui technique important pour les communes sur les questions climatiques.

La pérennité du réseau de capteur repose sur la capacité de la collectivité à bien définir les tâches liées à l'exploitation du système : maintenance des capteurs, stockage et traitement des données. La désignation d'un responsable d'exploitation et de maintenance du réseau au sein de la collectivité permet de fluidifier la démarche.

La création d'une échelle de lecture de l'ICU facilement appropriable par les services et les élus s'est avérée très pertinente : l'échelle ICU (ICU fort / ICU à bascule / ICU faible) développée à partir de l'Atlas climatique facilite l'appropriation des enjeux dans les différents quartiers par les porteurs de projet, et le développement de stratégies d'aménagement efficaces.

Le projet MAPUCE a permis la production de données sur l'ICU d'une quarantaine de villes en France. Les données sont disponibles en libre accès sur l'article de référence mentionné dans la documentation ci-dessous.

POUR ALLER PLUS LOIN

Contacts

Julia Hidalgo : directrice de recherche en climat urbain et politiques urbaines au laboratoire LISST - université Toulouse Jean Jaurès (julia.hidalgo@univ-tlse2.fr)

Guillaume Dumas : urbaniste climatologue - Mission Observatoire Climat et Transition Ecologique, direction Climat et Transition Ecologique à la direction Générale aux Transitions de Toulouse Métropole, Conseiller Toulouse + Fraîche (guillaume.dumas@toulouse-metropole.fr)

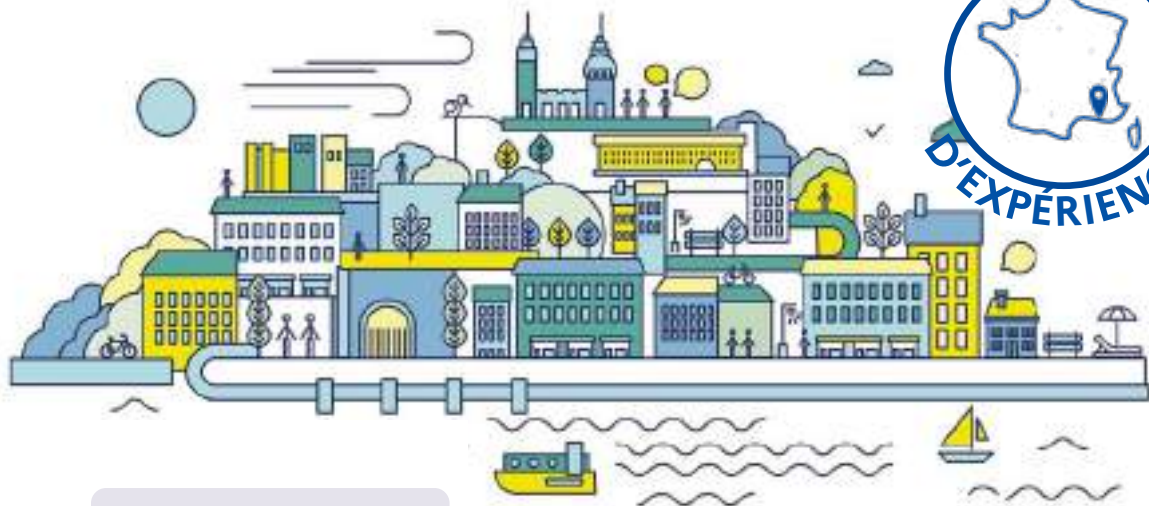
Geneviève Bretagne : responsable transition écologique à l'AUT (genevieve.bretagne@aua-toulouse.org)

Documentation

[AUAT. \(2020\). Atlas climatique sur le périmètre de Toulouse Métropole.](#)

[Toulouse Métropole & LISST. \(2021\). Guide de recommandations : Prise en compte du climat dans la construction de la métropole de demain.](#)

[Suher-Carthy et al. \(2023\). Urban heat island intensity maps and local weather types description for a 45 French urban agglomerations dataset obtained from atmospheric numerical simulations. Data in brief.](#)



Périmètre de l'étude

Site patrimonial
remarquable (SPR) de la ville
de Marseille

Climat

Actuel : Semi-aride frais
(Bsk)

Futur : Semi-aride chaud
(Bsh)

Année de réalisation

2016 - 2019

Acteurs

- **INDDIGO** : cabinet de conseil & ingénierie en développement durable
- **SOLENEOS** : bureau d'étude nantais spécialisé dans le traitement des îlots de chaleur urbains
- **Ville de Marseille**
- **Métropole Aix Marseille Provence**

Coûts

Cout total de l'étude :
280 000 € HT
Analyse bioclimatique des
rues : 10 200 € HT
Simulation numérique :
29 500 € HT

Financements

Ville de Marseille
Métropole AMP
Programme
d'Investissements d'Avenir
(PIA)

MARSEILLE

COEUR HISTORIQUE EN TRANSITION

Le centre historique de Marseille a été au coeur d'une étude multithématique entre 2016 et 2019 visant à élaborer un plan guide pour concevoir un centre-ville durable d'ici 2030. Cette étude avait pour objectif de comprendre les effets qu'auront les évolutions du climat méditerranéen à horizon 2050 sur le centre historique de Marseille.

Concernant la surchauffe urbaine, une analyse bioclimatique des rues du centre historique a d'abord permis d'identifier les secteurs à enjeux. Des simulations numériques sur 3 secteurs démonstrateurs ont ensuite été réalisées pour comparer l'intensité de la surchauffe urbaine entre 2017 et 2050, et l'impact de solutions d'aménagement.

Méthodologies déployées



Indicateurs
empiriques



Simulation
à l'échelle
fine

Contexte

Dans le cadre du Plan d'Investissement d'Avenir (PIA) Ville Durable, la ville de Marseille et la Métropole Aix Marseille Provence lancent en 2016 une étude conséquente sur le centre ancien de Marseille. Cette étude avait pour objectif de mesurer les effets du changement climatique sur le périmètre de l'Aire de mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine (AVAP) et de proposer un panel de solutions pour un centre-ville résilient. L'étude a été confiée à un groupement porté par le bureau d'étude INDDIGO. Parmi les six thématiques abordées, le diagnostic de la surchauffe urbaine se décline en deux approches, aux échelles du quartier / îlot, de la rue et du bâti.

Méthodes

- **Indicateurs géoclimatiques** : analyse de la typomorphologie des rues pour estimer leur confort thermique en été.
- **Simulation numérique à l'échelle locale et calcul d'un indicateur de confort** : analyse réalisée sur 9 jours avec le logiciel SOLENE-microclimat, sur un pas de temps horaire. Résolution très fine (de l'ordre du m² environ).



Analyse bioclimatique du centre historique de Marseille : ensoleillement des rues (INDDIGO, 2021)



DÉROULÉ DE L'ÉTUDE

1

Dans le cadre de la thématique 1 «Coeur historique méditerranéen», une analyse bioclimatique du périmètre de l'Aire de mise en Valeur de l'Architecture et du Patrimoine (AVAP) a permis d'évaluer le confort d'été et d'hiver des rues selon deux paramètres : l'ensoleillement et le vent. Pour ce faire, différents facteurs morphologiques ont été pris en compte : le couple largeur / hauteur des rues, la présence ou non d'alignements d'arbres créant de l'ombrage, la rugosité urbaine, la longueur et l'orientation des rues.

2

Dans le cadre de la thématique 5 «Coeur historique résilient», **des simulations numériques micro-climatiques ont ensuite été réalisées par SOLENEOS avec l'outil SOLENE-microclimat** sur trois secteurs pilotes: Noailles (hyper centre), Porte d'Aix (centre nord) et Puget (centre sud). Deux simulations par secteur ont été analysées : un diagnostic en 2017 et une simulation prospective en 2050. Les données climatiques de 2050 proviennent du recueil Meteonorm, à partir du scénario RCP 8.5 du GIEC. La période analysée s'étend du 13 au 21 juin. Les deux années comparées sont 2017 et 2050. La forme urbaine a pu être modélisée de manière très fine grâce à des données acquises pour le SIG 3D.

3

Une simulation supplémentaire sur le quartier Noailles a permis d'étudier l'impact des leviers d'adaptation visant à être mis en place à horizon 2030. Une journée de 2050 a été observée, avec ou sans mesures d'adaptation.

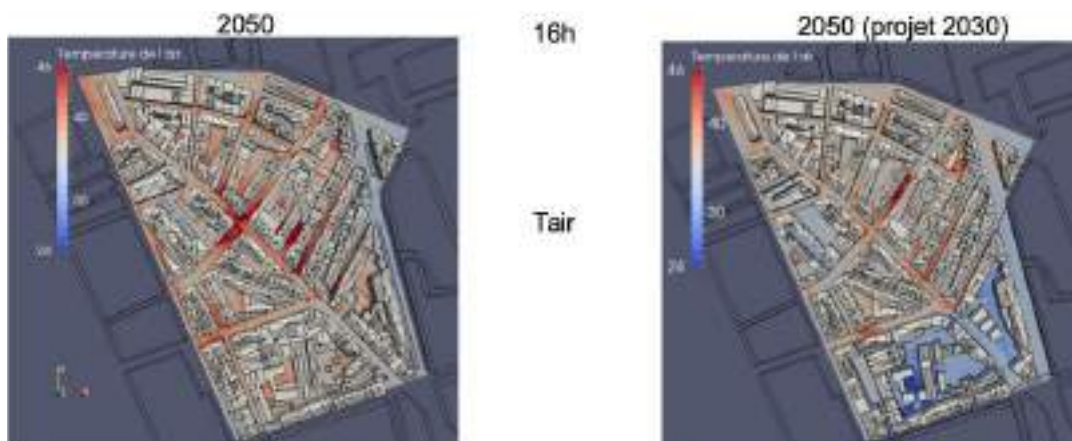
Principaux résultats

L'analyse bioclimatique a permis d'identifier les rues très exposées à l'ensoleillement, majoritaires dans ce secteur, et les rues plantées d'arbres qui constituent des axes fortement ombragés. Les rues profondes peu ventilées ont tendance à surchauffer en période caniculaire. C'est le cas notamment des quartiers de Préfecture, Vauban, Castellane, une partie du Camas et Longchamp.

Les simulations numériques sur le quartier de Noailles ont permis de pointer du doigt la condition critique du quartier en termes de confort thermique d'été : très peu de

végétation, une morphologie très dense ne permettant pas de ventilation naturelle, une minéralité quasi-totale. A titre d'exemple, la température de l'air pourrait augmenter jusqu'à +8°C en 2050 si le quartier ne change pas, atteignant 46°C. Le trafic routier et la climatisation contribuent chacun à augmenter jusqu'à +4 °C la température de l'air aux rez-de-chaussées et premiers étages.

Toutefois, les leviers d'adaptation analysés sur le quartier Noailles permettraient de diminuer la température des coeurs d'îlots de 40°C à 32°C.



Simulation numérique des températures de l'air sur la quartier Noailles en 2050 sans mesures d'adaptation au changement climatique (à gauche) et avec implantations de mesures d'ici 2030 (à droite) (SOLENEOS, 2021)

Suites de l'étude

Réalisation d'une feuille de route cœur historique en transition 2030 composée de la synthèse des vulnérabilités du cœur historique, l'identification et la planification des 6 axes stratégiques d'adaptation à 2030.

Partage des enseignements : un séminaire en partenariat avec la région, la métropole et la ville a été organisé pour partager transversalement les résultats de l'étude et échanger sur les mesures de résilience à mettre en place.

Support d'aide à la décision et à la conception : l'étude a permis d'impulser différentes stratégies sur le territoire, notamment la création d'espaces refuges. Trois projets sont en cours de réalisation: la place de la Providence, la place Carli et la place Sébastopol. La Société Publique Locale d'Aménagement d'Intérêt National Aix Marseille Provence (SPLA-IN AMP) se fonde également sur les principes de l'étude et les approfondit dans le cadre de sa mission sur les îlots démonstrateurs du Projet Partenarial d'Aménagement (PPA).

ENSEIGNEMENTS

L'étude a permis aux élus de mieux comprendre les enjeux environnementaux du centre ancien et de se les approprier politiquement. La représentation visuelle et la mise à disposition d'éléments chiffrés contribue à la sensibilisation des différents acteurs du territoire, en plus de faciliter l'intégration des éléments dans les déclinaisons politiques publiques de la ville de Marseille.

Cette étude a fait converger les approches patrimoniales et bioclimatiques, tout en combinant les enjeux du tryptique sol / végétation / eau. Cette vision multithématique permet de proposer des leviers d'actions efficaces et pertinents pour développer une ville plus résiliente.

La simulation numérique est une méthode évolutive et adaptable. Les outils de simulation évoluent constamment, améliorant ainsi la précision et la fiabilité des résultats depuis la réalisation de l'étude en 2021.

La complexité d'une simulation varie selon les besoins du commanditaire, les indicateurs à calculer, et le degré de précision de la forme urbaine modélisée notamment.



« L'étude réalisée sur le centre ancien de Marseille sert aujourd'hui d'outil d'aide à la décision pour les services et les élus de la ville. Les résultats sont réutilisés pour communiquer sur les enjeux du territoire, sensibiliser les différents acteurs de l'aménagement et développer des espaces refuges. L'appropriation de ce diagnostic adossé aux orientations et priorités de la municipalité ont permis la formalisation des ambitions de résilience et d'adaptation de la ville de Marseille au travers du manifeste pour des espaces publics méditerranéens accueillants, résistants et résilients. »

Perrine Prigent — Adjointe au Maire de Marseille en charge de la valorisation du patrimoine, de l'amélioration des espaces publics, de la place de l'eau dans la ville et de la ville résiliente

POUR ALLER PLUS LOIN

Contacts

Stéphanie Gaucher : cabinet de conseil & ingénierie INDDIGO (s.gaucher@inddigo.com)

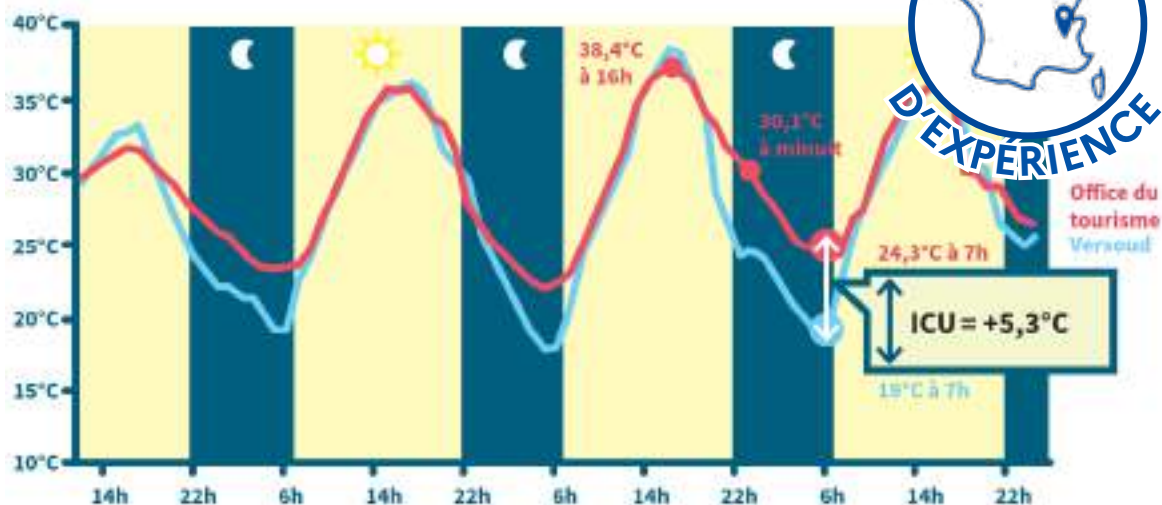
Benjamin Morille : bureau d'étude SOLENEOS (benjamin.morille@soleneos.fr)

Perrine Prigent : adjointe au Maire de Marseille en charge de la valorisation du patrimoine, de l'amélioration des espaces publics, de la place de l'eau dans la ville et de la ville résiliente (pprigent@marseille.fr)

Documentation

[INDDIGO. 2022. Marseille 2030 - Coeur historique en transition : Présentation de l'étude 22 mars 2022.](#)

[INDDIGO. 2020. Élaboration d'un plan guide pour concevoir un centre historique durable à Marseille - stratégie à l'horizon 2030.](#)



Périmètre de l'étude

Ville de Grenoble
160 000 habitants

Climat

Actuel : Climat tempéré à été frais sans saison sèche (Cfb)

Futur : Tempéré à été chaud sans saison sèche (Cfa)

Année de réalisation

2020 - 2021

Acteurs

- Ville de Grenoble : collectivité
- Xavier Foissard, recherche

Coûts

Coût de l'étude de diagnostic :
40 000 € HT

Financements

Ville de Grenoble

GRENOBLE RÉSEAU DE MESURES ET INTERPOLATION SPATIALE

Cette étude de caractérisation de l'îlot de chaleur urbain a été initiée par la Ville de Grenoble afin d'identifier l'étendue, la fréquence et l'intensité du phénomène, en particulier lors d'épisodes de chaleur intense.

La Ville de Grenoble a ainsi mis en place un réseau de trente capteurs de température et de deux stations météorologiques durant l'été 2020. À partir des résultats, une cartographie de l'îlot de chaleur urbain a été réalisée pour mettre en évidence la variabilité spatiale et temporelle de l'îlot de chaleur grenoblois ainsi que les mouvements d'air associés aux brises thermiques.

Méthodologies déployées



Indicateurs empiriques



Classification LCZ



Mesures de température de l'air

Contexte

L'étude résulte du volet Adaptation du Plan Climat de la ville visant à avoir une compréhension plus fine du climat urbain pour orienter les choix d'aménagement. Cette étude a été commandée par la ville de Grenoble afin de caractériser l'îlot de chaleur urbain sur son territoire.

Méthodes

- **Analyse spatiale des indicateurs morphologiques** : fraction bâtie, degré d'ouverture du ciel vu du sol, part des surfaces imperméabilisées, fraction de végétation haute et basse.
- **Classification en Zones Climatiques Locales (LCZ)** : analyse multicritères de la morphologie de la ville pour déterminer les classes LCZ dominantes de chaque secteur
- **Un réseau de 30 capteurs fixes de température** au pas de temps horaire (modèle Tinytag Talk2, Gemini, monté avec un abri RS3, Onset). Chaque capteur a été installé sur un mât d'éclairage public, à environ trois mètres du sol, permettant ainsi de pallier d'éventuels risques de dégradations.
- **Deux stations météorologiques** (modèle Vantage Pro 2, Davis Instruments), une dans le centre-ville de Grenoble, et une à l'est de la ville pour mesurer l'état de l'atmosphère (température, humidité relative, précipitations, intensité et direction des vents et pression atmosphérique).
- **Modèle d'interpolation spatiale par régression multicritère** : croisement des mesures avec les morphologies urbaines des stations pour prédire de l'intensité moyenne de l'îlot de chaleur en tout point et ainsi établir une cartographie.

DÉROULÉ DE L'ÉTUDE

1

Analyses spatiales de la morphologie urbaine et cartographie des Zones Climatiques Locales : analyse spatiale des données d'occupation du sol (bâtiment, surfaces imperméabilisées, végétation) et des principaux indicateurs de formes urbaines, reconnus pour influencer sur l'ICU. Cette cartographie a permis de définir les caractéristiques des différents quartiers pour ensuite décider du lieu d'implantation des capteurs.

2

Installation et exploitation du réseau de mesure (été 2020) : un réseau de mesure de haute densité spatiale a été mis en place sur l'ensemble de la ville

3

Étude de l'intensité de l'îlot de chaleur (différence de température de nuit) selon les types de temps (vent faible et ciel clair, vent supérieur à 2m/s, etc.)

Spatialisation de l'îlot de chaleur urbain moyen

Définition de l'intensité moyenne de l'ICU sur l'ensemble des points de mesure et analyse des indicateurs de forme urbaine afin d'établir les relations entre l'occupation du sol et les gradients de température.

4

Modélisation des gradients de température à partir des résultats de l'analyse spatiale.

Restitution des résultats et publications

Principaux résultats

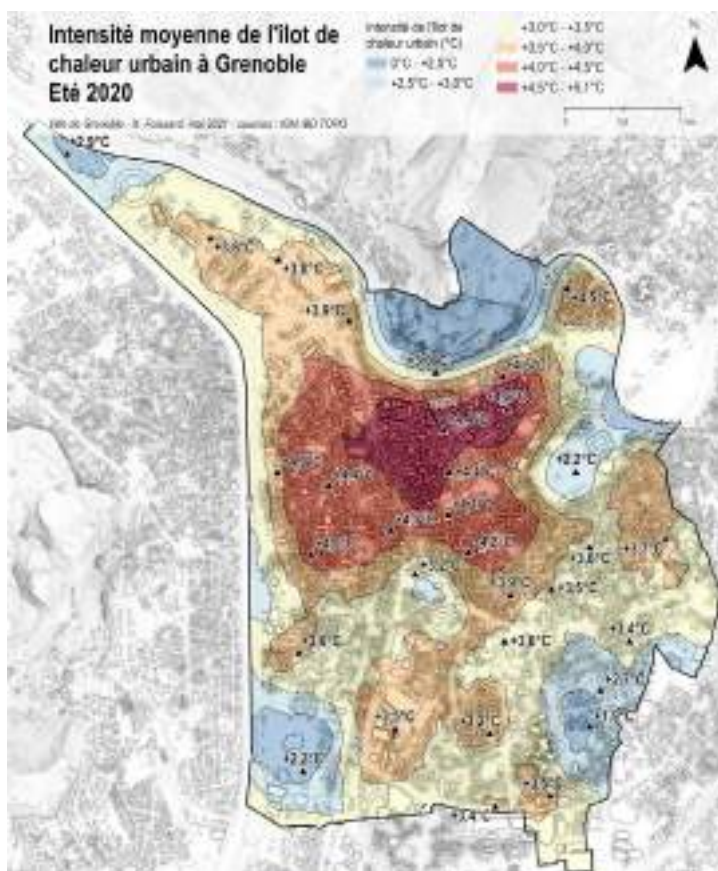
L'analyse des températures sur 71 nuits de l'été 2020 (du 22/07/2020 au 30/09/2020) à permis de conclure que :

- L'effet d'îlot de chaleur est présent une nuit sur deux et principalement par vent faible et ciel clair.

- L'îlot de chaleur urbain le plus intense est observé en centre ville avec +4,4°C en moyenne et l'intensité maximale observée est de +6,2°C (le 10 août 2020).

- 16 nuits tropicales ont été enregistrées en centre-ville de Grenoble contre zéro nuit tropicale au Versoud (station à l'extérieur de la ville).

- L'étude a mis en avant l'influence des brises thermiques qui provoque un déplacement de l'îlot de chaleur vers les quartiers à l'ouest du centre-ville.



Cartographie de l'îlot de chaleur urbain à Grenoble
Crédit : X. Foissard

Suites de l'étude

Présentation des résultats aux élus et services techniques de la Ville afin de les sensibiliser sur les enjeux de l'ICU.

Plaquette pédagogique grand public et datavisualisation des résultats de l'étude sur la plateforme open data Ville-Métropole.

Identifier des zones prioritaires grâce aux cartographies produites pour engager une démarche de réduction de l'ICU.

Analyse de deux projets urbains (ZAC Flaubert et Cambridge) permettant ainsi d'aider à arbitrer sur le choix des formes urbaines et sur les objectifs de part de végétal.

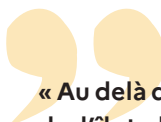
Sensibilisation des aménageurs du territoire.

ENSEIGNEMENTS

La méthode associant un réseau de mesure et un modèle prédictif pour produire une cartographie constitue un compromis optimum entre enjeux scientifiques et opérationnels. Le réseau de mesures est la méthode la plus adaptée pour analyser la variabilité temporelle et spatiale de l'îlot de chaleur dans sa complexité (influence des vents, du relief...). La représentation cartographique de l'îlot de chaleur est un outil opérationnel essentiel pour communiquer et définir une stratégie de rafraîchissement urbain.

L'installation du réseau de capteurs doit être effectué selon un protocole rigoureux : les capteurs doivent être installés dans des conditions microclimatiques comparables éloignés des façades et à 3m, afin d'éviter une marge d'erreur mais également les risques de dégradation.

Plus le réseau de mesures est dense et plus les mesures sont longues, plus la représentativité de l'îlot de chaleur est bonne. Les points doivent se répartir sur les différentes classes LCZ et situations géographiques. Les mesures doivent s'effectuer sur une période d'analyse suffisamment longue afin de s'assurer de couvrir l'ensemble des vagues de chaleur estivales.



« Au delà d'une meilleure connaissance de l'îlot de chaleur grenoblois, cette étude a initié un partenariat entre la recherche et la Ville et se poursuit avec le projet de recherche CASSANDRE (2021-2025) qui croise les résultats obtenus aux problématiques de santé en ville, financé par l'ADEME (APR PACT2e) »

Anne-Cécile Fouvet, Ville de Grenoble, chargée au Plan Climat

POUR ALLER PLUS LOIN

Contacts

Xavier Foissard : xavier.foissard@univ-grenoble-alpes.fr

Anne-Cécile Fouvet, ville de Grenoble (anne-cecile.fouvet@grenoble.fr)

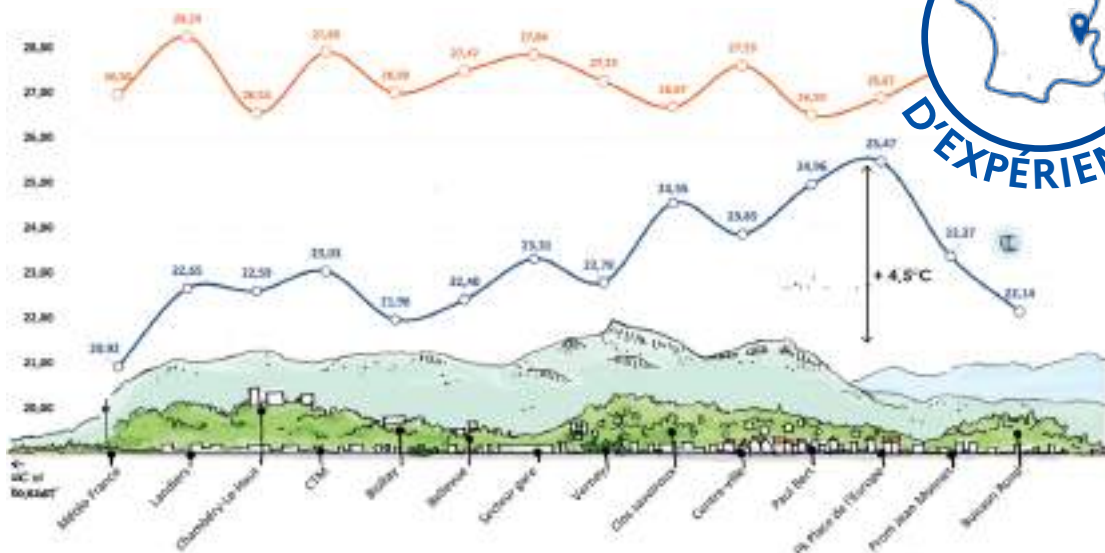
Documentation

[Foissard, X., Rome, S., Bigot, S., Fouvet, A.-C. \(2022\). Réseau de mesures et analyses spatio-temporelles de l'îlot de chaleur urbain grenoblois : l'été 2020.](#)

Grenoble Air Energie Climat & Ville de Grenoble. (2022). L'îlot de chaleur urbain grenoblois.

[Accès à la plateforme Open Data de la Métropole grenobloise.](#)

—●— température moyenne de jour —●— température moyenne de nuit



Périmètre de l'étude

Ville de Chambéry
60 000 habitants

Climat

Actuel : Tempéré à été frais
sans saison sèche (Cfb)

Futur : Tempéré à été chaud
sans saison sèche (Cfa)

Année de réalisation

2021 - 2022

Acteurs

- Ville de Chambéry
- Bureau d'étude TRIBU

Coûts

Diagnostic : 31 000 € HT
hors coût d'installation du
réseau de mesures

Financement

Ville de Chambéry
AAP «Ville perméable»
Agence de l'eau

CHAMBÉRY

DIAGNOSTIC MULTICRITÈRE DE LA SURCHAUFFE URBAINE

Le diagnostic réalisé par le bureau d'étude TRIBU sur la ville de Chambéry avait pour objectif de caractériser le phénomène d'îlot de chaleur urbain, la vulnérabilité des habitants à la surchauffe urbaine et le confort thermique de certains espaces publics. Plusieurs méthodologies ont ainsi été croisées pour fournir un diagnostic détaillé et multicritère.

Les résultats de l'étude ont ainsi permis de développer des stratégies d'adaptation à différentes échelles (préconisations sur des secteurs à enjeux, plan d'actions à l'échelle de la ville). Un travail de sensibilisation et de pédagogie auprès de la collectivité et des acteurs de projets urbains d'une part, du grand public d'autre part, a été mené tout du long de l'étude.

Méthodologies déployées



Indicateurs
empiriques et
classification
LCZ



Croisement des
facteurs de risque



Mesures de
température
de l'air



Mesures de
température
ressentie



Enquêtes
de confort
vécu

Contexte

La ville de Chambéry mène une politique ambitieuse de transition écologique, avec un volet spécifique sur la lutte contre les effets du réchauffement climatique, la désimperméabilisation et la végétalisation de son territoire. Elle a ainsi fait appel au bureau d'étude TRIBU pour réaliser un diagnostic détaillé de la surchauffe urbaine sur son territoire.

Méthodes

- **Réseau de mesures fixes durant l'été 2022** : 14 capteurs ont été répartis dans la ville, relevant la température de l'air avec un pas de temps horaire, ceux-ci sont comparés avec la station Météo-France Chambéry-Aix les Bains ;
- **Analyses spatiales par indicateurs** : coefficient de rafraîchissement urbain, densité bâtie, occupation des sols, part de canopée ;
- **Classification des zones climatiques locales LCZ sur la base des indicateurs** ;
- **Croisement avec des données de vulnérabilité des populations** : exposition des habitants (densité d'habitants, pollution atmosphérique et sonore), sensibilité des populations (ERPS, établissements scolaires et de santé, secteurs « politique de la ville », ménages en dessous du seuil de pauvreté) ;
- **Mesures mobiles de confort thermique** : calcul de l'UTCI (vitesse du vent, de température de l'air, de température globe, d'humidité et de rayonnement) ;
- **Enquêtes auprès des passants dans l'espace public** : questionnaire sur leur ressenti et leur comportement face à la chaleur.

DÉROULÉ DE L'ÉTUDE

1

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain a été cartographié grâce à une analyse multicritère croisant les méthodes suivantes : réseau de capteurs fixes, calculs d'indicateurs géoclimatiques, classification par zones climatiques locales (LCZ), topographie, thermographie satellite de jour et de nuit. L'intensité (nuit et jour) et la répartition spatiale du phénomène d'îlot de chaleur urbain ont été caractérisées par îlots urbains par régression linéaire. Le croisement des données de surchauffe urbaine avec les enjeux de sensibilité des populations et du bâti ont produit une cartographie de la vulnérabilité.

2

Le confort thermique a été évalué pour cinq espaces publics de la ville par le biais d'une campagne de terrain d'une journée (en juillet 2022). Cette campagne croissait mesures in situ de l'indice de confort UTCI, mesures des températures de surface (caméra thermique), observation d'usages et enquêtes auprès des passants.

3

Les résultats ont été restitués afin d'identifier les secteurs prioritaires à traiter autant d'un point de vue de l'îlot de chaleur urbain (de nuit) que du confort thermique en journée.

Principaux résultats

L'analyse des données météo met en avant des conditions propices à l'effet d'îlot de chaleur urbain (temps clair, vent faible) quasi omniprésentes en juillet et août 2022 (90% du temps). L'intensité du phénomène atteint +4,5°C en moyenne et 8°C maximum la nuit. Ont été mesurées 3 fois plus de nuits tropicale en centre-ville.

Le centre-ville est particulièrement impacté par l'effet d'îlot de chaleur urbain et il est également le secteur le plus vulnérable car il cumule les facteurs de sensibilité, d'exposition et d'aléas.

Les enquêtes de terrain ont permis de caractériser les 5 espaces publics étudiés en terme de confort ressenti, mesuré et d'usages. Les espaces refuges investis par les Chambériens en cas de forte chaleur ont également été identifiés.



ENSEIGNEMENTS

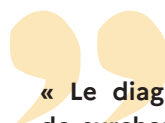
La commande portant sur l'îlot de chaleur urbain a été élargie aux questions de confort thermique d'été afin d'avoir une approche globale des enjeux de surchauffe de jour et de nuit. Cela permet d'établir une déclinaison opérationnelle adaptée à toutes les échelles.

Les thermographies jour et nuit réalisées apportent peu d'élément de connaissance supplémentaires à l'analyse des indicateurs par télédétection de l'occupation du sol.

La cartographie de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain à l'échelle de l'îlot urbain a nécessité un travail d'explication et de sensibilisation pour comprendre l'enjeu.

Deux sondes ont dû être retirées car les données recueillies étaient anormalement élevées en raison du manque de ventilation du lieu. Des capteurs ont disparus après l'étude car ils n'étaient pas suffisamment protégés.

Les capteurs doivent être placés de façon à représenter la diversité spatiale du territoire étudié. Les zones à enjeux d'îlot de chaleur et les zones de projets potentiels sont aussi des emplacements pertinents.



« Le diagnostic a révélé les enjeux de surchauffe par quartier et sur les espaces publics de centre-ville. Cette base a permis de requestionner le PLUi et le plan guide du centre ville pour que chaque opération participe à la fraîcheur. »

Jimmy BAABAA - élu à la transition écologique de la ville de Chambéry

POUR ALLER PLUS LOIN

Contacts

Isaure Adam : Responsable mission Transition Ecologique - ville de Chambéry (i.adam@mairie-chambery.fr)

Marie-Paule Morisset : Directrice Générale Adjointe, en charge des services techniques, de l'aménagement et de la transition écologique - ville de Chambéry (mp.morisset@mairie-chambery.fr)

Héloïse Marie : cheffe de projet en urbanisme durable au bureau d'étude TRIBU (lyon@tribu-concevoirdurable.fr)

Documentation

[Chambéry et TRIBU. \(2022\). Pourquoi fait-il plus chaud en ville ?](#)

Périmètre de l'étude

Métropole de Dijon
257 000 habitants

Climat actuel

Actuel : Climat tempéré à
été frais sans saison sèche
(Cfb)

Futur : Climat tempéré à
été chaud sans saison sèche
(Cfa)

Année de réalisation

Depuis 2014

Acteurs

- **Dijon Métropole**
- **Université de Bourgogne**: laboratoire **CRC** biogéosciences (Centre de Recherches de Climatologie) et laboratoire **ThéMA** (Théoriser et Modéliser pour Aménager)
- **ADEME** : direction régionale Bourgogne Franche-Comté

Coûts

Non renseigné

Financements

CNRS, ADEME, Dijon Métropole, Université Bourgogne Franche-Comté, ARS Bourgogne Franche-Comté, POPSU Métropoles, Région Bourgogne Franche-Comté, Contrats de plan État-région

DIJON RÉSEAU DE MESURES MUSTARDIJON ET CARTOGRAPHIE LCZ

La métropole de Dijon fait l'objet de plusieurs projets de recherche en climatologie urbaine, liés notamment à la présence d'une équipe de recherche en climatologie au sein de l'université de Bourgogne. En 2014, la collaboration avec Dijon Métropole, Théma, et l'antenne locale de l'ADEME permet de lancer le programme MUSTARDijon (réseau de Mesures Urbaines de la Température dans l'Agglomération du gRand Dijon).

Ce réseau de mesures assure le relevé en continu des températures et de l'humidité de l'air à l'échelle de l'agglomération dijonnaise (92 stations en 2024), permettant de suivre l'évolution du climat urbain de Dijon dans la durée et d'évaluer l'impact des développements urbains. Le réseau MUSTARDijon a ensuite été mobilisé pour caractériser les îlots de fraîcheur urbains (IFU) sur la métropole dijonnaise, dans le cadre du programme SAVE-IFU (Santé Aménagement Végétation Environnement - Îlots de Fraîcheur Urbain).

Méthodologies déployées



Classification
LCZ



Mesures fixes et mobiles
de température de l'air

Contexte

Le projet MUSTARDijon est mis en place en 2014 sous l'impulsion de l'ADEME, en collaboration avec la métropole de Dijon et l'université de Bourgogne (Centre de Recherches de Climatologie et laboratoire Théma). Il a pour objectif de caractériser l'îlot de chaleur urbain sur la métropole dijonnaise.

Méthodes

- **Réseau de mesures fixes** : 92 stations installées par étapes depuis 2014, relevant la température de l'air et l'humidité au pas de temps horaire ;
- **Classification géoclimatique LCZ** avec l'outil GeoClimate qui calcule les LCZ en se basant sur des bases de données telles que OpenStreetMap ou BD Topo de l'IGN ;
- **Mesures mobiles de température de l'air**.

DÉROULÉ DE L'ÉTUDE

1

Le premier réseau de 50 stations a été installé en 2014, avec un relevé manuel des données. 10 points de mesure supplémentaires ont ensuite été ajoutés en 2016. En 2024, le réseau MUSTARDijon est constitué de 92 stations connectées dont 25 disposant également de capteurs de vent et de rayonnement solaire.

2

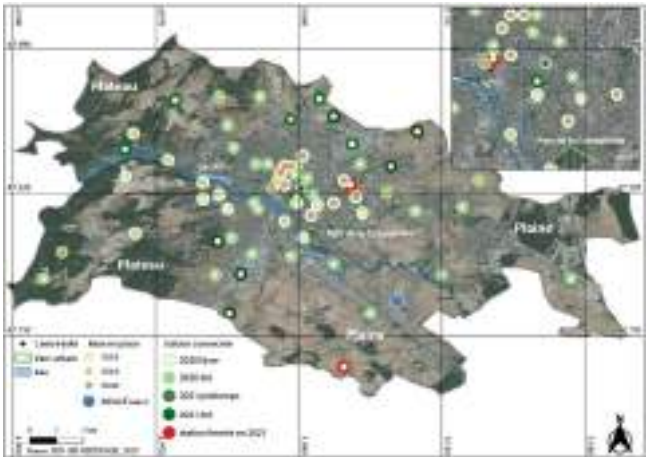
Des mesures itinérantes ont été réalisées à vélo et à pied pour comparer les relevés de certains secteurs, dans une même temporalité.

3

Des réseaux de mesures éphémères ont servi à évaluer les impacts de projets d'aménagement (exemple quartier Heudelet) sur le climat à l'échelle locale.

4

Une cartographie des zones climatiques locales (LCZ) sur le territoire de Dijon Métropole a été réalisée afin de caractériser l'occupation des sols dans la ville (LCZ) et d'établir une corrélation avec les effets sur le climat. Deux types d'ambiances climatiques ont été distinguées : les ambiances urbaines basées sur la compacité, la densité et la hauteur du bâti, et les ambiances rurales basées sur le type de végétation.



Localisation des stations du réseau MUSTARDijon (2014 à 2021). Cadre en haut à droite : zoom sur le centre-ville. Cercle intérieur : date de déploiement. Cercle extérieur : passage de la récupération manuelle à la récupération automatique des données. Grand cercle rouge : station fermée. Grand cercle bleu : station de Météo-France utilisée pour identifier et caractériser la période de canicule. Crédit : Richard et al, 2022.

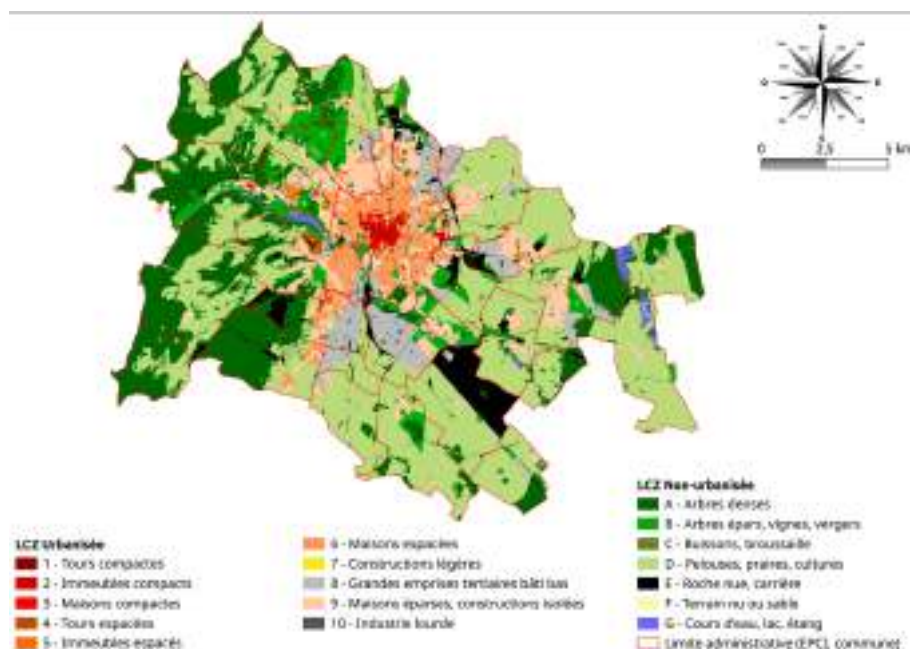
Principaux résultats

Les températures nocturnes sont plus élevées en ville que dans les milieux ruraux : 24°C en centre-ville contre 19°C en milieu urbain lors de la canicule de 2018.

L'agglomération dijonnaise présente un double noyau chaud séparé par un axe frais : Dijon et Chenôve sont les zones les plus soumises à l'effet d'ICU alors que le prolongement de la vallée de l'Ouche, avec le lac Kir, constitue une trame verte et bleue rafraîchissante.

Les plateaux, les bourgs des communes et les grands équipements (tel que le campus universitaire) présentent également des températures nocturnes élevées. À l'inverse, le parc de la Colombière fait effet d'îlot de fraîcheur.

Le phénomène d'ICU est intermittent. Il se produit la nuit, principalement de la mi-février à la mi-octobre, et pose un problème de santé publique lors des vagues de chaleur.



Cartographie de la classification LCZ sur la métropole de Dijon. Source : GeoClimate - BD Topo V2.

Suites de l'étude

Communication sur les résultats : diffusion de la plaquette « Enseignements du programme MUSTARDijon ».

Mise en place d'un protocole avec Météo-France pour l'installation de stations météorologiques et d'abris.

Observation de l'impact de la construction d'un nouveau quartier sur la température.

Poursuite et approfondissement des travaux à travers le programme SAVE-IFU.

Mené entre 2020 et 2021, ce dernier s'appuie en partie sur le réseau MUSTARDijon et sur la classification LCZ pour éprouver l'impact des formes urbaines sur la température de l'air selon des scénarios de croissance urbaine à l'horizon 2050.

ENSEIGNEMENTS

Il est préférable de choisir des stations connectées, suivant la densité du réseau mis en place : les stations qui nécessitent des relevés manuels des données, et qui avaient été mises en place initialement n'étant pas pratiques à exploiter en grand nombre.

Les stations doivent être placées de manière à obtenir des mesures représentatives de l'ambiance thermique du secteur. Dans ce projet, les stations sont orientées au sud et situées dans un abri fixé sur un candélabre ou un poteau électrique à 3m du sol. Les sites sont ouverts et peu sujets à des ombres portées qui pourraient provenir d'arbres ou de bâtiments. La localisation des stations est un enjeu majeur pour la réussite de l'étude, encore plus important que la qualité des appareils de mesure.

La cartographie LCZ réalisée dans le cadre du programme SAVE-IFU est une étude pertinente à l'échelle d'une agglomération. Elle requiert des services SIG que les collectivités n'ont pas à plus petite échelle.

Le réseau de stations nécessite un entretien constant : les abris et les stations doivent être entretenus, il faut également anticiper les risques de panne.

Une fois le diagnostic réalisé, les collectivités ont besoin d'accompagnement pour une mise en oeuvre opérationnelle basée sur les résultats de l'étude.

« L'engagement dans la lutte contre le réchauffement climatique et l'adaptation à ses effets est au cœur du projet métropolitain, de même que l'attention portée à la biodiversité, autre crise environnementale majeure. Pour être éclairé, partagé et mobilisateur, cet engagement nécessite de la connaissance concrète et accessible aux acteurs et aux citoyens. Il faut comprendre pour agir. Le projet MUSTARDijon répond à cet impératif sur un registre essentiel à la préservation de notre qualité de vie présente et future. »

Jean-Patrick MASSON - vice-président de Dijon Métropole délégué à la transition écologique

POUR ALLER PLUS LOIN

Contacts

Yves Richard : Professeur à l'université de Bourgogne - Centre de Recherches de Climatologie (yves.richard@u-bourgogne.fr)

Mario Rega : Ingénieur d'étude à l'université de Bourgogne (mario.rega@u-bourgogne.fr)

Patricia Dubois : Coordinatrice du pôle Territoires Durables - référente Adaptation au Changement Climatique - ADEME Bourgogne-Franche-Comté (patricia.dubois@ademe.fr)

Documentation

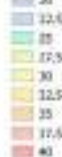
[ADEME. \(2020\). Climatologie urbaine - Enseignements du programme MUSTARDijon - Réseau de Mesures Urbaines de la Température dans l'Agglomération du Grand Dijon.](#)

[Dudek et al. \(2023\). Cartographier la végétation et les Local Climate Zone dans six agglomérations de Bourgogne-Franche-Comté.](#)



Données : Jacobelli
Température de surface (2007/2008)
20°C lors de la phase de nuit

Carte des ICU Nanterre



Nombre personnes mesurées
Température min : 27,6+40,7°C
Température max : 41,6+78,9°C

Ville de Nanterre

95 000 habitants

Périmètre de l'étude

Ville de Nanterre

Climat

Actuel : Climat tempéré à été frais sans saison sèche (Cfb)

Futur : Climat tempéré à été chaud sans saison sèche (Cfa)

Année de réalisation

2020-2021

Acteurs

- **Ville de Nanterre**
- **NEPSSEN-E6 :** bureau d'étude spécialisé en environnement
- **ÎLÖ Paysages :** bureau d'étude de maîtrise d'oeuvre et adaptation au changement climatique

Coûts

Coût total : 49 500 € HT
dont enquête du ressenti thermique : 19 500 € HT

Financements

Ville de Nanterre

NANTERRE

DIAGNOSTIC DE L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN ET DES ÎLOTS DE FRAÎCHEUR

Cette étude initiée par la ville de Nanterre visait à identifier les points les plus chauds et les plus frais de la ville. Ce diagnostic du territoire avait pour but de proposer des actions de lutte contre l'îlot de chaleur urbain. L'étude mêlait plusieurs méthodologies permettant une meilleure prise en compte de l'îlot de chaleur urbain dans l'aménagement urbain et le renforcement du végétal face aux enjeux d'adaptation au changement climatique. L'identification, la cartographie et la caractérisation de l'îlot de chaleur urbain et du confort thermique à l'échelle de la ville, croisées aux données de vulnérabilité ont permis d'apporter un premier niveau de lecture, complété par un volet conséquent de concertation réalisé avec les Nanterriens et Nanterriennes.

Méthodologies déployées



Simulation à l'échelle fine



Mesures de température de l'air



Mesures de température ressentie



Croisement des facteurs de risque



Enquêtes de vécu

Contexte

La lutte contre le phénomène d'îlot de chaleur urbain a été identifiée comme un des axes stratégiques du plan climat de la ville de Nanterre en plus d'être un enjeu dans le Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) et du Plan Local d'Urbanisme (PLU).

De cet enjeu découle la volonté d'atténuer l'amplitude géographique et thermique de l'îlot de chaleur en l'intégrant dans les réflexions autour de l'organisation et de l'aménagement urbain, et notamment en renforçant la place du végétal en ville.

Le diagnostic est ainsi commandé par la ville pour orienter la mise en œuvre d'actions pour l'amélioration du cadre de vie et de la santé des habitants.

Méthodes

- **Thermographie satellite et aérienne :** utilisation des données satellites Landsat du 1er juillet 2018 à 14h (résolution 30m) et analyse aérienne par drone sur quelques sites de la ville.
- **Croisement avec des données de sensibilité des populations :** moyenne d'âge, année de construction des logements, offre de soin, revenu médian.
- **Mesures fixes de la température de l'air :** installation de 9 dispositifs de mesure.
- **Mesures mobiles de confort thermique :** parcours à vélo avec un thermomètre à boule noire.
- **Enquête du vécu des habitants :** questionnaire en ligne, micro-trottoir et balades thermiques.

DÉROULÉ DE L'ÉTUDE

1

La cartographie de l'îlot de chaleur urbain à l'aide d'**une thermographie satellite et aérienne de jour constitue la première étape du diagnostic**. Les résultats obtenus ont été croisés avec les caractéristiques socio-économiques de la population, des données relatives à la pollution atmosphérique et acoustique, les températures médianes de surface et le pourcentage d'espaces verts publics. L'objectif était de montrer l'impact sanitaire lié aux fortes chaleurs et d'identifier la vulnérabilité du territoire.

2

Une campagne de mesures a été réalisée au cours de l'été 2020 pour préciser les résultats obtenus précédemment. Deux types de mesures ont été effectués. La température de l'air a été mesurée à l'aide de 9 capteurs fixes localisés sur des points à enjeux divers selon la thermographie satellite : points très chauds, frais ou intermédiaires. Le confort thermique a été évalué grâce à une déambulation à vélo avec un thermomètre à boule noire.

3

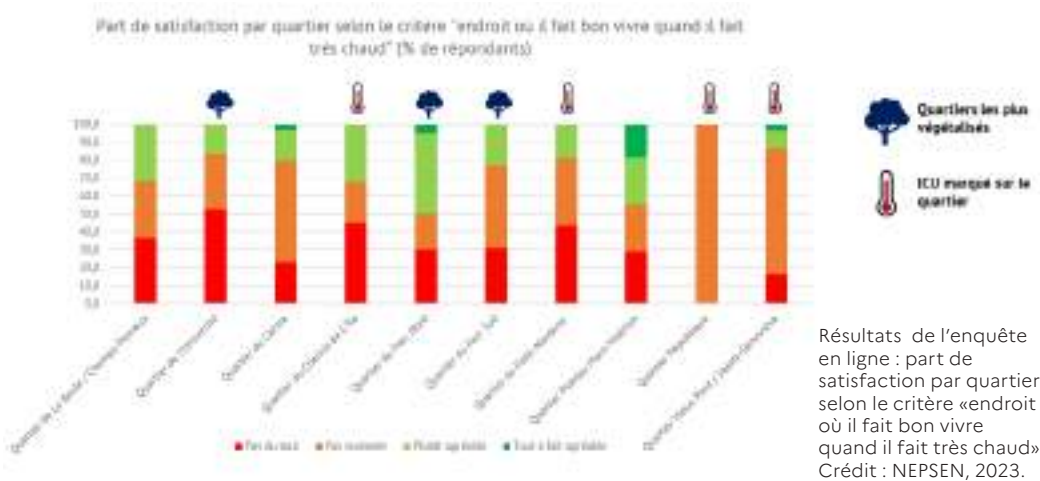
La dernière étape du diagnostic est axée sur la concertation avec les habitants de Nanterre. Trois méthodes ont été appliquées au cours de l'été 2020 : enquête en ligne (280 réponses), micro-trottoirs (24 réponses) et 6 balades thermiques. L'objectif était d'investiguer le ressenti des usagers et des habitants face aux fortes chaleurs.

Principaux résultats

Au regard des résultats de la thermographie satellite, les zones d'activités commerciales et industrielles, qui représentent 25% de la ville, sont les principaux points chauds du territoire. Le quartier du Petit Nanterre a été identifié comme étant le plus vulnérable au phénomène d'ICU.

Les capteurs fixes ont permis de confirmer les secteurs présentant un ICU le plus fort, identifiés au préalable à l'aide de la thermographie satellite. Les mesures mobiles ont mis en évidence l'inconfort thermique des aires de jeux pour enfants.

Les enquêtes de vécu ont montré qu'en cas de forte chaleur, 41% des répondants considèrent leur quartier comme un endroit où il ne fait « pas vraiment » bon vivre et 32% « pas du tout » bon vivre. Les quartiers les plus touchés par cet inconfort sont ceux identifiés comme étant les plus chauds lors des analyses précédentes. Les répondants ont proposé des solutions pour améliorer le confort lors des fortes chaleurs.



Suites de l'étude

Création d'une boîte à outils opérationnels pour prévenir l'expansion et l'augmentation de l'ICU : des fiches actions permettent aux acteurs de la ville d'intégrer l'enjeu de la surchauffe urbaine dans les projets d'aménagement urbains, de manière curative ou préventive.

Elaboration de préconisations adaptées au contexte local de la ville de Nanterre à destination des aménagements préventifs sur les quartiers futurs.

Cessions de formation à destination des services municipaux et production de supports pédagogiques : plusieurs agents de la ville ont été formés à l'utilisation de l'outil Score ICU de NEPSSEN.

Intégration de l'enjeu d'ICU aux documents de planification : futur PLUi (OAP, règlement) et documents annexes (charte qualité des constructions neuves, charte des espaces publics, plan canicule).

Approfondissement de l'étude ICU avec la caractérisation des types d'occupation des sols du territoire afin de comprendre le fonctionnement des tissus urbains, des espaces publics et des bâtiments publics face à la surchauffe. L'objectif est de développer une stratégie opérationnelle (priorisation) pour lutter contre l'ICU, basée sur les préconisations issues du diagnostic.

ENSEIGNEMENTS

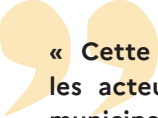
La réussite de cette étude s'explique par le portage poussé de la mission par les élus, la très bonne collaboration avec les services et l'ambition portée par la ville de Nanterre.

L'association des services municipaux et des élus dans cette étude a permis de placer les thématiques de l'îlot de chaleur urbain au cœur des préoccupations et de les intégrer systématiquement dans les projets d'aménagements urbains.

L'utilisation d'une diversité de méthodes a permis d'obtenir un diagnostic complet et de palier les différentes limites de chaque méthode. L'utilisation d'une thermographie à elle seule ne permet pas l'établissement d'une cartographie de l'îlot de chaleur urbain mais bien d'une cartographie des températures de surface, élément à valoriser d'un point de vue pédagogique auprès des élus. Il est nécessaire de coupler ces résultats à des mesures de terrain et à des facteurs de vulnérabilité et d'inconfort afin de caractériser la surchauffe urbaine sur le territoire.

Le croisement de ces résultats à une démarche de concertation permet également la prise en compte du ressenti des usagers, ajoutant ainsi le volet du confort thermique. Afin de partager au mieux ces résultats, un travail de synthèse cartographique a été effectué, permettant ainsi de mettre en avant les zones à enjeux.

Le croisement de trois méthodes d'enquête de vécu permet de cibler des publics différents. Les réponses ainsi obtenues représentent un plus large spectre de la population du territoire étudié. La méthode mise en place est cependant différente d'une enquête sociologique respectant les quotas socio-économiques de la population.



« Cette étude a mobilisé tous les acteurs : habitants, services municipaux en lien avec la petite enfance, la santé, l'aménagement, ainsi que les opérateurs et les aménageurs locaux. »

Alexis MARTIN - adjoint à la transition écologique et au patrimoine communal

POUR ALLER PLUS LOIN

Contacts

Olivier Papin : bureau d'étude NEPSSEN (olivier.papin@nepsen.fr)

Alexandra Collin : chargée de projet transition écologique et développement durable - mairie de Nanterre (Alexandra.COLLIN@mairie-nanterre.fr)

Raphael Martin : responsable de la mission transition écologique - mairie de Nanterre (Raphael.MARTIN@mairie-nanterre.fr)

Alexandre Colin : paysagiste concepteur et co-gérant de ÎLÔ (alexandre.colin@ilo-paysages.fr)

Documentation

[Ville de Nanterre. \(2021\). Étude sur les îlots de chaleur urbains de la Ville de Nanterre : Comprendre pour agir.](#)

[Ville de Nanterre. \(2020\). Îlots de chaleur et de fraîcheur urbains : balades thermiques pour la ville de nanterre. Compte-rendu des balades des 18 et 19 septembre 2020.](#)



Périmètre de l'étude

Ville de Saint-Omer
14 903 habitants
(agglomération : 105 000)

Climat

Actuel : Climat tempéré à été frais sans saison sèche (Cfb)

Futur : Tempéré à été frais sans saison sèche (Cfb)

Année de réalisation

2018 - 2022

Acteurs

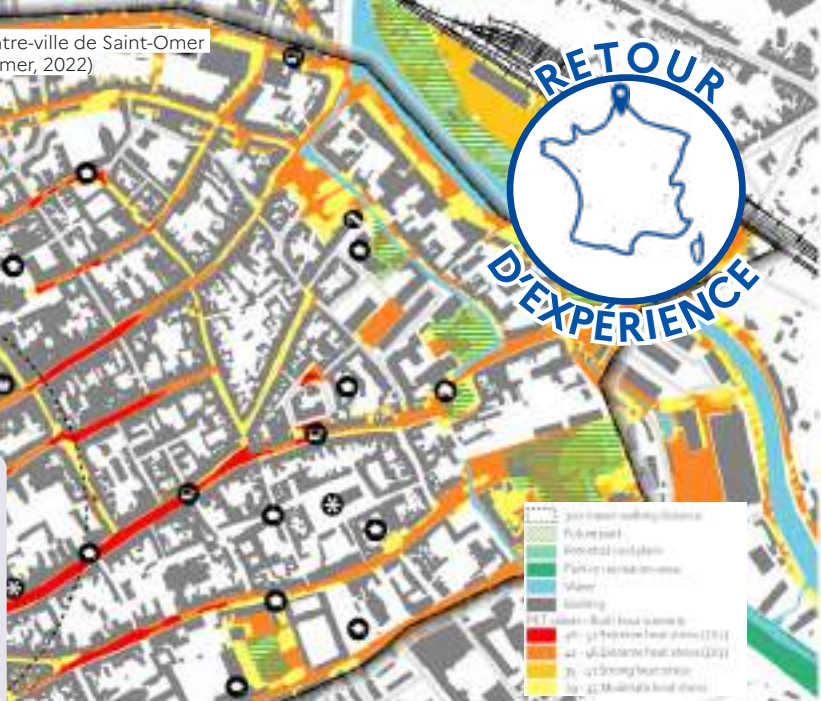
- **CAPSO :** Communauté d'Agglomération du Pays de Saint-Omer
- **L'Agence d'urbanisme, de développement et du patrimoine du Pays de Saint-Omer**
- **Ville de Saint-Omer**
- **Université d'Amsterdam**
- **Université Jules Verne de Picardie**
- **Groupe Atelier Iris Chervet / Franck Boutté Consultants** (études friche de la Cour Frêt)

Coûts

Intégrés à l'enveloppe du projet Cool Towns
(coût global : 8 millions €)
Ville de Saint-Omer :
460 000 €
CAPSO : 260 000 €
L'Agence : 240 000 €

Financements

Projet COOL TOWNS
financé à 60% par le fond
FEDER – INTERREG V 2
MERS, OS3



SAINT-OMER

SIMULATIONS, MESURES, ENQUÊTES DE CONFORT ET ÉTUDES MICRO- CLIMATIQUES (PROJET COOL TOWNS)

Entre 2018 et 2022, la Communauté d'Agglomération du Pays de Saint-Omer (CAPSO), la ville de Saint-Omer et l'Agence d'urbanisme, de développement et du patrimoine du Pays de Saint-Omer (l'Agence) se sont engagées sur le projet européen COOL TOWNS (programme Interreg 2 Mers), qui vise à développer des outils et des solutions concrètes d'adaptation à la surchauffe urbaine. Cette collaboration a permis de réaliser un diagnostic de la surchauffe urbaine à plusieurs échelles (ville, centre-ville, espace public, école, friche) et au moyen de nombreux outils (simulations, mesures, enquêtes), en s'appuyant sur l'expertise et l'accompagnement technique des universités partenaires. Ce projet a également conduit à la réalisation d'opérations pilotes, tel que le réaménagement d'une cour d'école et de ses environs, et à l'élaboration d'une feuille de route pour la prise en compte de l'ICU dans l'aménagement urbain.

Méthodologies déployées



Simulation
à l'échelle
territoriale



Simulation
à l'échelle
fine



Mesures de
température
ressentie



Croisement des
facteurs de risque



Enquêtes
de confort
vécu

Contexte

Le projet COOL TOWNS bénéficie de Fonds Européen de Développement Régional (FEDER) dans le cadre du programme «Interreg 2 Mers Seas Zeeën 2014-2020 ». Il réunit 14 partenaires néerlandais, belges, britanniques et français (universités, collectivités, entreprises privées), ayant pour objectif commun de développer et éprouver des solutions concrètes pour adapter les petites et moyennes villes aux effets attendus du changement climatique. La Communauté d'Agglomération du Pays de Saint-Omer (CAPSO) a rejoint initialement ce programme dans le but de réaménager un secteur en friche. Cet engagement se formalise par une fiche action au sein du Plan Climat-Air-Energie Territorial (PCAET) de l'Agglomération. Il a permis de sensibiliser les élus à cette problématique, alors peu conscientisée dans la région.

Méthodes

- **Simulation numérique du stress thermique à l'échelle de la ville** : modèle développé par l'université d'Amsterdam basé sur l'indicateur de confort PET (Température Physiologique Equivalente), la morphologie urbaine et le climat ;
- **Croisement avec des données de vulnérabilité** : part de végétation, densité et âge de la population, statut socio-économique, accès à un espace extérieur rafraichissant ;
- **Mesures de confort thermique à l'échelle du piéton** basées sur l'indicateur PET, avec des appareils de mesure mobiles, mesure de l'impact du projet ;
- **Enquêtes de sensibilité des habitants** : questionnaire sur leur ressenti et leur comportement face à la chaleur.
- **Simulation numérique du confort thermique à l'échelle fine** avec le logiciel Envi-Met pour l'aménagement de la friche de la cour frêt (état existant et scénarios d'aménagement).

DÉROULÉ DE L'ÉTUDE

1

Le premier volet a consisté en la modélisation et cartographie du stress thermique à l'échelle de la ville. Ce travail fut réalisé par l'Université d'Amsterdam, à l'appui des données cartographiques fournies par l'Agence.

2

Le croisement des modélisations thermiques avec des données urbaines et sociologiques a permis de réaliser une cartographie de la vulnérabilité au stress thermique du centre-ville historique de Saint-Omer et d'identifier des secteurs prioritaires d'intervention.

3

Ce diagnostic a ensuite été approfondi par l'Agence, la ville de Saint-Omer et la CAPSO à l'échelle de deux projets «pilotes» : la requalification de la cour de l'école Montaigne et l'étude de faisabilité en vue du futur réaménagement de la friche de la Cour Fret en éco-quartier. Le confort thermique a été évalué sur ces deux sites et leurs abords par le biais de mesures (indicateur PET) et d'enquêtes in situ, en suivant un protocole élaboré par l'Université d'Amsterdam.

4

Une étude micro-climatique et bioclimatique poussée a été menée sur le site de la Cour Fret, intégrant dans un premier temps les caractéristiques actuelles du site (revêtements de sol, bâtiments et végétation, canal), et des données météorologiques représentatives des épisodes de fortes chaleurs sur le territoire. Dans un deuxième temps, l'analyse de scénarii, puis du schéma d'aménagement retenu ont permis d'évaluer l'impact des formes urbaines et des espaces publics projetés sur le confort thermique.

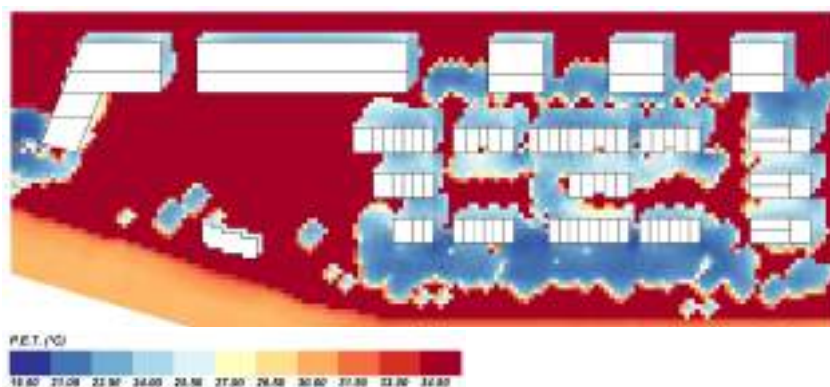
Principaux résultats

Les cartes ont mis en évidence l'intensité du stress thermique diurne dans le centre-ville de Saint-Omer. A 17h, ce stress s'intensifie dans les zones urbaines les plus denses et diminue progressivement en périphérie de la ville. La plupart des espaces extérieurs de la ville, dont la cour de l'école Montaigne et la friche de la Cour Frêt, sont soumis à un stress thermique extrême à ce moment de la journée.

La carte avancée des vulnérabilités (cf. p.70), zoomée sur le centre-ville de Saint-Omer, permet d'identifier les espaces publics les plus inconfortables face à la surchauffe et les lieux de fraîcheur pouvant servir de

refuge lors de fortes chaleurs. Le Jardin Public est le lieu de refuge le plus large du centre-ville, même si les chemins pour y accéder présentent un faible confort thermique.

La modélisation complète du quartier de la Cour Fret a permis de hiérarchiser les espaces selon leur comportement thermique et d'établir des recommandations urbaines, architecturales et paysagères à destination des futures maîtrises d'oeuvre cohérentes et ambitieuses pour limiter la surchauffe.



Modélisation du confort thermique via l'indicateur PET à 16h sur la friche de la Cour Fret, scénario d'aménagement projeté (Atelier Franck Boutté Consultants, à partir d'un plan masse de l'Atelier Iris Chervet)

Suites de l'étude

Publication d'outils d'aide à la décision pour les collectivités locales et concepteurs, réalisés à partir des travaux de COOL TOWNS : atlas cartographique de la chaleur urbaine, feuille de route pour lutter contre le stress thermique, catalogue de solutions de rafraîchissement à l'échelle de la rue et à destination des habitants, guide «Rafraîchir les villes» (L'Agence).

Réalisation de travaux dans la cour de l'école Montaigne (projet pilote) et les rues de Cassel et d'Hazebrouck pour améliorer le confort des usagers, notamment thermique. Les mesures effectuées avant/après les travaux ont permis d'orienter le projet et d'évaluer l'efficacité des solutions mises en place.

Développement d'une stratégie urbaine transversale aux questions de nature, biodiversité, gestion de l'eau, et stress thermique : plan de rénovation des cours d'école de la ville de Saint-Omer, consolidation d'un réseau d'îlots de fraîcheur, étude de végétalisation et désimperméabilisation des espaces publics.

Renouvellement de partenariats de recherche européens : projets COOL CITIES et COOL NEIGHBOURHOODS.

Ateliers de sensibilisation des services techniques de la ville et équipes pédagogiques sur la surchauffe urbaine.

ENSEIGNEMENTS

L'intégration de projets tels que COOL TOWNS dans des programmes de coopération territoriale européenne permet d'obtenir des soutiens, financiers comme techniques, pour intégrer et mettre en avant la problématique de la surchauffe dans le cadre d'opérations de réaménagement urbain. Le partenariat est d'autant plus intéressant quand il permet d'associer l'expertise scientifique pour la réalisation du diagnostic à l'expertise de terrain pour mettre en place les solutions les plus adaptées au contexte.

L'efficacité démontrée des solutions repose sur la mise à disposition d'un protocole de mesure appropriable par l'ensemble des partenaires, qui a permis de comparer les résultats au regard des spécificités des territoires. Toutefois, une partie de la production ayant été effectuée par l'Université d'Amsterdam, la répliquabilité de l'étude reste limitée. C'est l'objet d'un nouveau projet (COOL CITIES) visant à former les techniciens à ces pratiques.

La réalisation et l'instrumentation de bout en bout de petits projets, comme la requalification de la cour de l'école Montaigne, fait référence. Elle permet de redéfinir le degré d'ambition des projets à venir, et leur appropriation. Les «ballades thermiques» sont notamment utiles à la prise de conscience des techniciens et des élus.

La volonté d'intégrer l'enjeu de surchauffe dans les projets urbains peut se heurter à des problématiques techniques, que ce soit pour la réalisation de mesures ou la mise en place de solutions. Formation des agents, transversalité entre les services, partenariats de compétences sont indispensables pour pérenniser les savoirs. La mobilisation des habitants favorise également la transformation des quartiers et l'appropriation des solutions (objet du projet COOL NEIGHBOURHOODS).

La collaboration au sein d'un projet européen soulève des enjeux pratiques qu'il faut anticiper pour réaliser les travaux. Outre la barrière linguistique, ce sont des projets exigeants sur les plans technique et administratif, qui nécessitent du personnel formé.



« Le plus difficile est de faire différemment. Nous devons développer une vision environnementale globale qui inclue la surchauffe. L'entrée par le projet nous a ici permis d'obtenir des financements et une méthode pour amorcer cette nouvelle logique de travail. »

Sabine Courouble — chargée de mission Europe et financements à la CAPSO

POUR ALLER PLUS LOIN

Contacts

Sabine Courouble : chargée de mission Europe et financements à la CAPSO (s.courouble@ca-psy.fr)

Sylvain Pauwels : référent Qualité de vie à la Ville de Saint-Omer (sylvain-pauwels@ville-saint-omer.fr)

Philippe Bourel : chargé d'études transition écologique à l'Agence d'Urbanisme, de Développement et du Patrimoine du Pays de Saint-Omer (philippe-bourel@aud-stomer.fr)

Documentation

[L'Agence de Saint-Omer. \(2023\). Rafrâichir la ville : comment adapter les espaces publics aux vagues de chaleur](#)

[Projet COOL TOWNS.](#)

[Spanjar, G., Bartlett, D., Schramkó, S., & Kluck, J. \(2022\). The Urban Heat Atlas: A standardised assessment for mapping heat vulnerabilities in Europe. Hogeschool van Amsterdam, Kenniscentrum Techniek.](#)



Périmètre de l'étude

Eurométropole de
Strasbourg
512 00 habitants

Climat

Actuel : Climat tempéré à
été frais sans saison sèche
(Cfb)

Futur : Climat tempéré à
été chaud sans saison sèche
(Cfa)

Année de réalisation

2018 -2022

Acteurs

- Eurométropole de
Strasbourg
- Météo-France
- Université de Strasbourg
(laboratoire ICUBE)
- Agence Régionale de
Santé Grand-Est

Financements

Étude Météo-France

Agence régionale de santé
Grand-Est: 30 000 €
Météo-France : 10 000 €
Eurométropole de
Strasbourg : 20 000 €

Thèse CIFRE

50% par l'ANRT et 50% par
l'Eurométropole
Laboratoire ICUBE : licence
du logiciel ENVI-Met,
gestion du réseau de
capteurs, dispositifs de
mesures mobiles

STRASBOURG

SIMULATION NUMÉRIQUE DE L'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN ET DE STRATÉGIES D'ADAPTATION

Initiée par l'Eurométropole de Strasbourg, une étude de diagnostic et d'impact de scénarios d'adaptation a été réalisée par Météo-France et l'université de Strasbourg. Cette étude s'est basée sur des modélisations numériques du climat urbain sur tout le territoire de l'agglomération. À l'échelle de deux sous-secteurs, des scénarios d'adaptation à la surchauffe urbaine ont également été analysés.

La réalisation en parallèle d'une thèse CIFRE au sein de la métropole a complété ce diagnostic par la simulation plus fine de trois quartiers de la ville, l'accompagnement à la formalisation de documents de planification, et la montée en compétence des agents de la métropole sur le sujet.

Ces travaux ont permis de comparer plusieurs logiciels de simulation et d'illustrer l'intérêt de combiner les échelles d'analyse.

Méthodologies déployées



Simulation
à l'échelle
territoriale



Simulation
à l'échelle
fine

Contexte

Depuis 1999, l'Université de Strasbourg travaille sur la caractérisation de l'îlot de chaleur urbain de la métropole, à travers la réalisation de nombreuses campagnes de mesures. En 2014, l'agence d'urbanisme de Strasbourg Rhin supérieur (ADEUS) réalise une cartographie des températures de surface du territoire strasbourgeois grâce à l'exploitation d'images satellitaires. Cette première cartographie, malgré son approche simplifiée de la surchauffe urbaine, permet une première prise de conscience des acteurs de l'agglomération.

En 2021, c'est dans le cadre d'un projet lancé par l'Agence régionale de santé du Grand Est que l'Eurométropole de Strasbourg passe une convention institutionnelle avec Météo-France afin d'évaluer la vulnérabilité du territoire à l'îlot de chaleur urbain. Une collaboration étroite entre Météo-France et l'Université de Strasbourg, par l'intermédiaire d'une thèse CIFRE entre l'Eurométropole et le Laboratoire ICUBE de l'Université de Strasbourg permet par la suite d'enrichir cette étude.

Méthodes

- **Simulation numérique à l'échelle territoriale (méso-climatique)** s'appuyant sur le modèle atmosphérique de fine échelle Méso-NH et le schéma de surface SURFEX incluant TEB (résolution 100 à 250m)
- **Simulation à l'échelle fine** sur trois secteurs de la ville à l'aide des outils ENVI-Met et LASER/F (résolution 0,5 à 5m)

DÉROULÉ DE L'ÉTUDE

1

La simulation numérique de l'ICU à l'échelle de la métropole est basée sur deux situations météorologiques : période de canicule de l'été 2015 et période normale de l'été 2016. Les modèles de simulation ont été vérifiés en comparant les résultats avec les données récoltées sur ces mêmes périodes par le réseau de stations météo installées à Strasbourg.

2

Deux scénarios d'adaptation ont ensuite été étudiés par Météo-France pour évaluer l'efficacité de solutions d'aménagement : le scénario « Vegu20 » ajoutant 20% de végétation irriguée sur la zone d'étude, et le scénario « Vegu20-cool » ajoutant 20% de végétation irriguée couplé avec une couche extérieure réfléchissante sur les murs et les toits de tous les bâtiments. Les deux secteurs étudiés sont le centre-ville, densément bâti et fortement exposé à l'ICU, et une zone au sud-ouest de Strasbourg, moins dense et moins sujette au phénomène d'ICU. Les scénarios ont été comparés en termes de température nette et de température ressentie (indice de confort thermique UTCI) au soleil ou en intérieur.

3

Le laboratoire ICUBE s'est basé sur l'étude de Météo-France pour modéliser à une échelle plus fine le confort thermique sur plusieurs quartiers de la ville de Strasbourg, dans le cadre de la thèse CIFRE. Les quartiers à étudier ont été choisis en collaboration avec le service d'urbanisme de l'Eurométropole de Strasbourg.

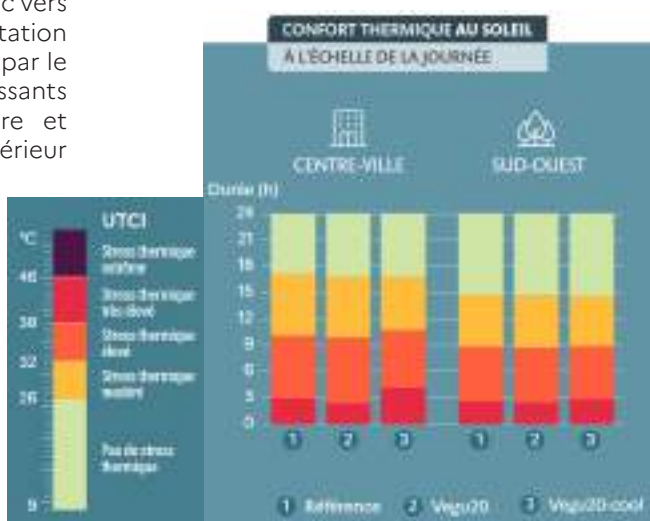
Principaux résultats

La simulation numérique de Météo-France a mis en évidence les disparités spatiales et temporelles de l'ICU. L'ICU est maximal vers 1h du matin, et se fait ressentir d'autant plus pendant les périodes de canicule, allant jusqu'à +3°C / +4°C en milieu urbain. Les zones les plus touchées sont celles les plus densément bâties.

L'ajout de végétation irriguée dans les secteurs étudiés permet d'améliorer le confort thermique extérieur. Le phénomène est plus prononcé quand le soleil est au zénith à 14h et quand l'ICU est à son pic vers 1h du matin. L'ombre créée par la végétation n'a toutefois pas été prise en compte par le modèle. L'ajout de matériaux réfléchissants permet de diminuer la température et d'améliorer le confort thermique extérieur

pendant la nuit. Cependant, le confort thermique extérieur en journée est dégradé, montrant l'effet contre productif de murs réfléchissants.

Les recherches faites pendant la thèse CIFRE ont permis d'analyser plusieurs scénarios d'adaptation et d'atténuation à la surchauffe urbaine sur le secteur Malraux, le quartier Starlette, le quartier de l'Esplanade et le quartier du Neudorf.



Influence des différents scénarios d'aménagement sur le confort thermique des deux sous-secteurs (Météo-France, 2022)

Déclinaisons

Prise en main des enjeux de surchauffe par la direction de l'urbanisme : les résultats des études sont utilisés en interne lors des projets d'aménagement d'espaces publics et d'équipements publics et partagés également aux porteurs de projets privés. Les projets localisés sur les zones à fort enjeu de surchauffe sont soumis à des attentes plus ambitieuses en termes de confort thermique.

Prise en compte des résultats de l'étude dans les documents de planification : la modification 4 du PLUi va intégrer un volet spécifique sur le confort thermique.

Priorisation des projets d'aménagement: les projets situés dans des zones à forts enjeux de surchauffe sont réalisés en priorité, notamment les écoles à désimperméabiliser. Cette priorisation est nuancée par d'autres facteurs tels que l'équité territoriale et la vulnérabilité des populations.

Renforcement de la prise en compte des enjeux de surchauffe dans le cadre de la stratégie d'adaptation au changement climatique - partage des connaissances avec les acteurs du territoire : le pourcentage de population exposé à l'ICU (+3°C) a été décliné dans les portraits communaux établis à lors du bilan à mi-parcours du plan climat.

ENSEIGNEMENTS

La validation des modèles de simulation avec des mesures sur site est souhaitable, sans toutefois être nécessaire car les modèles ont été validés pour des usages similaires et variés. Les résultats de la simulation ont été comparés avec les données de stations météorologiques situées sur la métropole de Strasbourg.

La prise en compte de l'ombrage créé par la végétation pourrait démontrer un effet encore plus bénéfique de la végétation sur le confort thermique. Une meilleure connaissance des caractéristiques architecturales des bâtiments du territoire d'étude permettrait également une meilleure évaluation du confort thermique intérieur.

L'accompagnement de thèses CIFRE nécessite des moyens financiers et un socle de connaissances techniques que seules les grandes collectivités possèdent. Il permet en contrepartie de faire monter en technicité l'ensemble des agents du service concerné, et au-delà dans la collectivité.

Les logiciels de modélisation sont souvent contraints par leur temps d'exécution. Une simulation à l'échelle d'un quartier nécessite plusieurs jours, voire plusieurs semaines. La collectivité a donc dû revoir ses objectifs initiaux et choisir des périmètres limités en taille et en nombre.

La modélisation à différentes échelles permet une analyse plus complète de l'effet de surchauffe urbaine. L'échelle territoriale (mésos-échelle) et l'échelle locale (micro-échelle) ont chacune leurs avantages et inconvénients. Alors que la première donne une vision globale de la situation sur le territoire, permettant de comparer les milieux urbains et ruraux, elle n'est pas assez précise pour analyser un quartier ou une rue spécifique. Une modélisation à l'échelle microclimatique permet en comparaison une analyse plus fine de certains secteurs spécifiques. Chaque échelle requiert des modèles de simulation différents, ajoutant de la complexité à l'étude.



« Les acteurs de ces deux études ont travaillé en collaboration, permettant une complémentarité des approches. Ce travail nous permet ainsi de renforcer la résilience de notre territoire et son adaptation au changement climatique en apportant de la connaissance scientifique et des réponses opérationnelles pour lutter contre la surchauffe urbaine. »

Danielle Dambach - Présidente déléguée de l'Eurométropole de Strasbourg en charge de la coordination de la transition écologique et de la planification.

POUR ALLER PLUS LOIN

Contacts

Météo-France : etudes_icu@meteo.fr

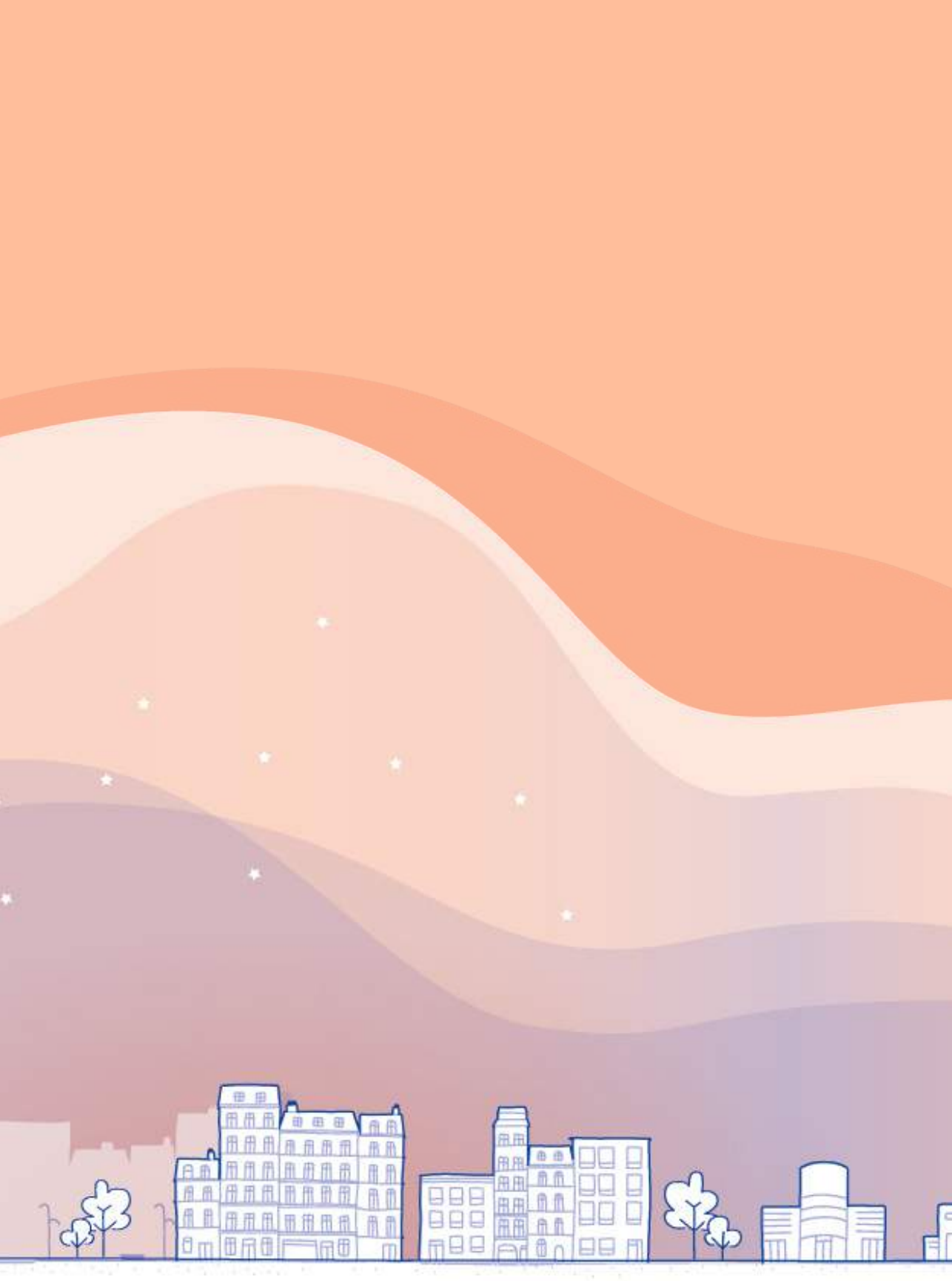
Nathalie Leclerc : cheffe du service Climat Air - Ville et Eurométropole de Strasbourg (nathalie.leclerc@strasbourg.eu)

Adine Hector : cheffe du département Écologie du territoire - Ville et Eurométropole de Strasbourg (adine.hector@strasbourg.eu)

Documentation

Météo-France. (2022). L'îlot de chaleur urbain sur l'Eurométropole de Strasbourg : diagnostic et scénarios d'adaptation.





CONCLUSION

La surchauffe urbaine est un enjeu croissant pour les collectivités. **Son diagnostic permet de mettre en lumière les disparités spatiales, temporelles et sociales face au changement climatique afin d'optimiser les stratégies d'adaptation à mettre en place.**

Chaque méthode de diagnostic présentée dans ce guide répond à des besoins différents selon l'enjeu et l'échelle à analyser, la précision souhaitée, les moyens financiers, techniques et matériels pouvant être mis en oeuvre. Différents phénomènes peuvent ainsi être évalués : l'îlot de chaleur urbain, le confort thermique, la vulnérabilité des populations et l'évolution du climat. En tant que commanditaire d'un tel diagnostic, **il est donc fondamental de bien cadrer les attentes et le contexte du territoire, en amont du déploiement de solutions de rafraîchissement urbain, pour choisir la ou les méthodes les plus appropriées.** Certaines méthodes permettent d'ores et déjà un diagnostic à moindre coût, servant de première approche et pouvant être approfondi par la suite.

Une approche multithématique, intégrant les problématiques de gestion de l'eau, de désimperméabilisation des sols, de végétalisation et de biodiversité, est à privilégier afin d'améliorer la cohérence de la stratégie environnementale qui découlera du diagnostic.

De nombreuses collectivités ont déjà effectué un diagnostic sur leur territoire. **L'initiation d'une telle démarche peut être facilitée par la collaboration avec un laboratoire de recherche en climatologie urbaine, par l'intégration de l'étude dans le développement d'un projet opérationnel ou par l'appui d'un projet de recherche.**

La difficulté du diagnostic de la surchauffe urbaine ne repose pas tant sur la production de données et de connaissances mais sur leur traduction en actions opérationnelles. **Quelle que soit la méthode choisie, la collaboration entre les différents acteurs du territoire est donc essentielle.** Le croisement d'expertises techniques, politiques et opérationnelles permet une valorisation pertinente des résultats. Alors que le diagnostic est généralement initié par les services climat et transition écologique des collectivités, son appropriation doit être commune à tous les services afin de permettre une montée en compétence transversale.

Le diagnostic de la surchauffe urbaine s'adresse à toutes les collectivités, quelque soit leur taille ou leur exposition à l'îlot de chaleur urbain. Outre la mise en place d'actions pour lutter contre la surchauffe urbaine, **une telle étude a pour but de sensibiliser les élus, les agents des différents services de la collectivité et le grand public.** La capitalisation et le partage de ces expériences permettra d'accompagner les acteurs publics désirant diagnostiquer leur territoire.

GLOSSAIRE

ENJEUX DU CLIMAT

Adaptation

Démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. Pour les systèmes humains, il s'agit d'atténuer les effets préjudiciables et d'exploiter les effets bénéfiques. Pour les systèmes naturels, l'intervention humaine peut faciliter l'adaptation au climat attendu ainsi qu'à ses conséquences.

Aléa

Perturbation du fonctionnement normal d'une population ou d'une société due à l'interaction de phénomènes physiques dangereux qui provoque sur le plan humain, matériel, économique ou environnemental des effets indésirables.

Canicule

Une canicule est définie à l'échelle départementale. Un département est considéré en canicule lorsque pendant au moins trois jours consécutifs la température de jour atteint une température maximale seuil et les températures de nuit de descendent pas en dessous d'une température minimale seuil.

Capacité d'adaptation

Capacité d'ajustement des systèmes, des institutions, des êtres humains et des autres organismes, leur permettant de se prémunir contre les risques de dégâts, de tirer parti des opportunités ou de réagir aux conséquences.

Changement climatique

Changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables.

Classification de Köppen-Geiger

Classification des climats fondée d'une part sur la température et d'autre part sur l'importance des précipitations. Un codage en deux ou trois lettres permet de caractériser chaque climat de manière précise à l'échelle du globe.

GIEC, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

Organisme scientifique créé en 1988 en vue de fournir des évaluations détaillées de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques sur les changements climatiques.

Pic de chaleur

Il désigne un épisode bref, de 24 à 48 heures durant lequel les températures sont supérieures aux normales de saison.

RCP, « Representative Concentration Pathways » ou « Profils représentatifs d'évolution de concentration »

Scénarios à quatre profils d'évolution des concentrations des gaz à effet de serre qui ont été retenus par les experts du GIEC :

- RCP 8.5 : pas de politique de lutte contre le changement climatique (le plus pessimiste) ;

- RCP 6.0 et RCP 4.5 : scénarios intermédiaires intégrant des politiques de réduction ;

- RCP 2.6 : politique de réduction des émissions susceptibles de limiter le réchauffement planétaire à 2°C.

Réchauffement climatique

Augmentation progressive, prévue ou observée, de la température à la surface du globe, à laquelle l'activité anthropique contribue considérablement.

Risque

Éventualité d'effets néfastes sur les personnes, les modes de subsistance, la santé, les écosystèmes et les espèces, le patrimoine économique, social et culturel, les services (y compris les services environnementaux) et les infrastructures. Le risque est la conjonction de deux éléments : la probabilité de survenance d'un événement dangereux, et sa gravité, ou la sévérité de ses conséquences.

TRACC, Trajectoire de Réchauffement de référence pour l'Adaptation au Changement Climatique

Trajectoire de réchauffement climatique adoptée par la France en 2023. Basée sur les travaux du GIEC, cette trajectoire sert de référence à toutes les actions d'adaptation menées en France et a pour objectif de faire évoluer les référentiels, normes et réglementations techniques dans tous les secteurs (bâtiment, transport, énergie, risques naturels...) et d'accompagner l'adaptation des collectivités et de l'activité économique. La TRACC servira de socle à la définition des actions du 3e Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC). La trajectoire de référence retenue prévoit une augmentation continue du réchauffement jusqu'à une stabilisation à +4°C en 2100 en France Métropolitaine. Ce scénario correspond à la poursuite des politiques mondiales existantes, sans mesures additionnelles.

Vague de chaleur

Période de conditions atmosphériques anormalement chaudes et désagréables. En France, une vague de chaleur se produit lorsque la température moyenne quotidienne sur le territoire métropolitain est supérieure ou égal à 25,3 °C pendant un jour et supérieur ou égal à 23,4 °C pendant au moins 3 jours.

Vulnérabilité

Propension ou prédisposition à subir des dommages. Cela englobe divers concepts, notamment les notions de sensibilité ou de fragilité et l'incapacité de faire face et de s'adapter.

GRANDEURS MÉTÉOROLOGIQUES

HR, Hygrométrie, Humidité Relative

Rapport de la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air sur la quantité de vapeur d'eau maximale possible. L'humidité relative s'exprime en pourcentage. 100 % correspond à un air saturé en vapeur d'eau (risque de nuage, pluie, brouillard, rosée ou givre), 0 % à un air parfaitement sec (cette valeur d'humidité relative n'est jamais atteinte dans la nature, pas même dans les déserts).

Rayonnement Infrarouge

Rayonnement électromagnétique dont le domaine de longueurs d'onde est compris entre celui du rayonnement visible, qui s'achève avec la lumière rouge entre 0,75 et 0,80 m, et celui des ondes radioélectriques, qui commence conventionnellement à 1 mm, soit 1 000 m.

Température d'air en °K ou °C

Degré de chaleur de l'air. L'unité internationale est le Kelvin (K) dont le 0 est le zéro absolu, la température la plus basse de l'univers où il n'y a aucune agitation moléculaire. En France la température s'exprime en degré Celsius (°C) dont 0°C est le point de congélation de l'eau et 100°C le point d'ébullition.

Thermomètre globe noir

Mesure la température de rayonnement utilisant un thermomètre à l'intérieur d'une sphère de cuivre peinte en noir de 15,2 cm de diamètre.

T_{MRT} Température Moyenne Radiante en °K ou °C

Température uniforme qui permet de globaliser les échanges thermiques par rayonnement avec l'environnement. Elle rend compte de la contribution de toutes les surfaces « vues » par le corps humain (parois, ciel, soleil, etc.).

Vitesse du vent

Mouvement de l'air et dont la vitesse s'exprime en mètre par seconde.

CARACTÉRISTIQUES ET PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

Albédo

Pouvoir réfléchissant d'une surface, c'est-à-dire le rapport de l'énergie solaire réfléchie à l'énergie solaire incidente. L'albédo dépend de la couleur et de la rugosité de la surface en question. Un revêtement noir ou foncé aura un albédo proche de 0 alors qu'une surface blanche aura un albédo se rapprochant de 1.

Chaleur anthropique

Chaleur produite par les activités humaines (climatisation en été rejetant de la chaleur, émission de chaleur des industries et des véhicules). En ville, la chaleur anthropique est l'un des paramètres de l'îlot de chaleur urbain.

Conductivité thermique

Mesure du flux de chaleur par conduction à travers un matériau. La conduction est le principal type de transfert de chaleur par l'isolation. Plus la conductivité thermique est faible, plus les performances du matériau en tant qu'isolant va augmenter.

Évapotranspiration

Quantité d'eau évaporée dans l'atmosphère, que ce soit par évaporation d'eau liquide (eau libre ou du sol) ou par transpiration de la biomasse (Beltrando et Chéméry, 1995).

ICU, îlot de chaleur urbain

Phénomène du climat local qui se caractérise par des températures plus élevées en ville par rapport à la campagne environnante, ou à une moyenne régionale. Il est causé par le cumul de phénomènes liés à la morphologie urbaine, aux surfaces fortement minérales et aux apports de chaleur anthropique. En moyenne, l'ICU est plus intense en hiver du fait des déperditions de chauffage. En été, l'ICU est principalement marqué en fin de journée et la nuit et il est plus problématique en période de fortes chaleurs.

Inertie thermique

Capacité physique d'un élément à conserver, stocker puis restituer la chaleur. Elle permet d'obtenir un déphasage thermique (décalage dans le temps) par rapport aux températures extérieures et d'aplanir des pics de températures, de jour comme de nuit. L'inertie thermique d'un matériau est élevée si ce matériau dispose d'une effusivité élevée et d'une diffusivité faible. Les revêtements urbains minéraux (enrobé, béton, asphalte...) ont une inertie forte c'est-à-dire qu'ils stockent la chaleur du soleil en journée et la restitue jusque dans la nuit, cela est une des causes de l'effet d'îlot de chaleur.

Microclimat

Climat d'une petite couche atmosphérique adjacente à une surface quelconque : sol, tronc d'arbres, prairie, talus, etc. La notion de microclimat est parfois étendue de façon inexacte à une petite région (ville, vallée...). Dans ce cas-là, il vaut mieux parler de climat local ou topoclimat.

Surchauffe urbaine

Ensemble des phénomènes liés à la dégradation du ressenti thermique en ville en période de forte chaleur, de jour comme de nuit, à l'échelle du piéton jusqu'à l'échelle urbaine. La surchauffe urbaine renvoie à la fois à l'effet d'îlot de chaleur urbain et à l'inconfort des piétons dans les espaces urbains (rayonnement du soleil et des surfaces minérales, manque de ventilation, etc.).

INDICES DE CONFORT

PET, Physiological Equivalent Temperature

Indice de confort qui agrège la température d'air (°C), l'humidité relative (%), le rayonnement global (W/m²).

UTCI, Universal Thermal Climate Index

L'indice UTCI est un indicateur de confort qui agrège le rayonnement solaire, les températures des surfaces, la température, la vitesse et l'humidité de l'air ambiant. Il produit une température équivalente au ressenti thermique jusqu'à un niveau de stress thermique. Le calcul de l'indice UTCI s'appuie sur plusieurs hypothèses : l'activité de référence est la marche avec une vitesse de 4km/h pour un niveau métabolique de et l'isolation des vêtements moyen.

HI, Heat Index

L'indice de chaleur, en anglais heat index (HI) combine la température de l'air ambiant et l'humidité relative, dans des zones ombragées.

GLOSSAIRE

Stress thermique

Incapacité du corps humain à maintenir une température corporelle normale en raison de conditions de température et d'humidité trop élevées. Cela expose les personnes à des maladies liées à la chaleur (crampes de chaleur, l'épuisement et les coups de chaleur) voir à la mort.

MODÈLES URBAINS ET ENVIRONNEMENTAUX

Facteur de vue du ciel

Portion de ciel observable à partir de la surface considérée. Il caractérise la morphologie urbaine.

COS, coefficient d'occupation du sol ou densité bâtie

Rapport entre la somme des surfaces de plancher et la surface totale du terrain étudié.

CES, coefficient d'emprise au sol ou emprise bâtie

Empreinte du bâtiment au sol par rapport à la surface au sol du terrain.

Compacité

Relation entre l'espace utilisable des immeubles (volume) et l'espace occupé par l'urbain (superficie).

Géoclimatique

Interaction entre les éléments géographiques et climatiques d'une région pour comprendre leur influence sur la biodiversité, les écosystèmes, les ressources naturelles et l'occupation humaine. Les indicateurs géographiques incluent notamment la topographie, la latitude et la proximité des masses d'eau.

Modèle climatiques

Représentation numérique du système climatique fondée sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques de ses composantes et leurs processus d'interaction. Le système climatique peut être représenté par des modèles d'une complexité variable. Les modèles climatiques sont des outils opérationnels de recherche pour l'étude et la simulation du climat.

TEB, Town Energy Balance

Modèle de surface et hydrologiques développé par le Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM) et Météo-France pour calculer les échanges d'énergie et d'eau entre les villes et l'atmosphère. Il peut s'appliquer à l'échelle d'une ville, d'un quartier ou d'un bâtiment. Le modèle tient compte d'un grand nombre de processus physiques : ombres, piégeage radiatif, conduction de chaleur à travers les toits, routes et murs, interception de l'eau de pluie, évaporation et ruissellement, échanges turbulents et microclimat dans la rue, thermique du bâtiment.

Typomorphologie

Analyse d'un espace urbain basée sur les formes urbaines bâties et non bâties, les volumes et l'implantation des bâtiments, la trame viaire, etc.

OUTILS D'URBANISME

OAP, Orientation d'Aménagement et de Programmation

Pièce intégrée au PLU qui vise à définir des intentions d'aménagement sur un secteur donné, quelle qu'en soit l'échelle (îlot, quartier, commune, groupe de communes, territoire intercommunal...).

PCAET, Plan Climat Air Energie Territorial

Outil stratégique et opérationnel, obligatoire pour les collectivités de plus de 20 000 habitants. Il cadre la politique d'un territoire de lutte pour la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'adaptation au changement climatique, la sobriété énergétique, la qualité de l'air, le développement des énergies renouvelables.

SCOT, Schéma de Cohérence Territoriale

Document de planification à l'échelle d'un bassin d'emploi servant de cadre de référence pour les différentes politiques sectorielles, (urbanisme, habitat, mobilités, économie, environnement...)

PLU, Plan Local d'Urbanisme PLUI, Plan Local d'Urbanisme

Intercommunal : document d'urbanisme réglementaire qui concerne à la fois les terrains publics et privés. Il sert de référence obligatoire à l'instruction des diverses demandes d'occupation ou d'utilisation des sols comme les permis de construire.

Nature en ville – Renaturation

La Nature en ville est une approche de l'aménagement qui lie la nature et la qualité urbaine. Elle contribue à la qualité des espaces urbains et du cadre de vie, et permet également de protéger et de développer la biodiversité.

Projet urbain

Un projet urbain désigne la définition et la mise en œuvre d'aménagements sur un territoire urbain donné. Il aboutit à la réalisation d'infrastructures à différentes échelles, du bâtiments à la ville, en passant par l'îlot, l'espace public, le quartier...

QPV, Quartier prioritaire de la politique de la ville

Quartiers caractérisés par un «décrochage» du revenu des ménages par rapport aux revenus de l'unité urbaine et de la France métropolitaine. Issus de la loi de nouvelle géographie prioritaire de 2014 (loi «Lamy»), les QPV bénéficient de dispositifs de la politique de la ville notamment en matière fiscale et autour des enjeux éducatifs, d'emploi ou d'insertion.

Registre canicule

Registre municipal de personnes vulnérables permettant en cas de canicule d'appeler les personnes inscrites pour vérifier qu'elles vont bien et, si besoin, leur apporter conseil ou aide(d'après santé publique france).

OUTILS ET MÉTHODES DE CALCUL

Géotraitement

Traitement de données géographiques afin d'effectuer une analyse spatiale. Le logiciel QGIS, un système d'information géographique en libre accès, permet ce type de traitement de données.

Interpolation numérique

Opération mathématique consistant à insérer des valeurs intermédiaires dans une série de données en les estimant ou en les calculant à partir de valeurs connues environnantes.

Simulation numérique

Représentation de phénomènes physiques complexes rendue possible grâce à une série de calculs et de modèles mathématiques.

SANTÉ ET USAGES

Espaces refuges

Correspondent aux espaces dans lesquels les individus viennent chercher un réconfort thermique pour tenter de se protéger de l'aléa météorologique extrême et court-circuiter ou minimiser ainsi leur vulnérabilité. Il s'agit donc d'espaces potentiellement « protecteurs », d'espaces du « bien-être » ou du moins, du mieux-être, dont les caractéristiques micro-climatiques apparaissent davantage favorables au regard de leur confort thermique par rapport à d'autres espaces jugés inconfortables, voire invivables par les habitants, une fois leur seuil de tolérance dépassé. La mobilité est ainsi utilisée par les individus (qui le peuvent) pour échapper aux conditions atmosphériques inconfortables, stressantes voire invivables rencontrées dans certains espaces.

Hyperthermie

Appelée aussi coup de chaleur ou insolation, se réfère à une élévation anormale de la température à l'intérieur des cellules, d'un organe ou des organismes homéothermes qui doivent maintenir leur température interne grâce des mécanismes de thermorégulation physiologique permettant d'augmenter les pertes de chaleur. Les symptômes sont généralement les suivants : fièvre, étourdissements, nausées, vomissements, sudation excessive, maux de tête et, occasionnellement, de la somnolence.

BIBLIOGRAPHIE

Enjeux

- Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez Turrubiates, R.F., Pegenaute, F., Herrmann, F.R., Robine, J.M., Basagaña, X., Tonne, C., Antó, J.M. and Achebak, H. (2023). Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. *Nature Medicine*, [online] 29(29), pp.1-10.
- Cadot, E. et Spira, A. (2006). Canicule et surmortalité à Paris en août 2003. *Espace populations sociétés*, 2006/2-3, 239-249.
- Cantat, O. (2004). L'îlot de chaleur urbain parisien selon les types de temps. *Noréis*, 191, 75-102.
- Chancibault, K. (2021). Îlot de chaleur urbain et changement climatique - Fondamentaux. Webinaire Projet DEVELOPPE.
- DRIAS (Collectif), 2021. Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS 2020 pour la métropole.
- Dubreuil V., 2022. Le changement climatique en France illustré par la classification de Köppen. *La Météorologie*, 116, 37-47.
- Fritzsche, K. (2015). Guide de référence sur la vulnérabilité: Concept et lignes directrices pour la conduite d'analyses de vulnérabilité standardisées
- GIEC. (2014a). Changements climatiques 2014: Incidences, adaptation et vulnérabilité – Résumé à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
- GIEC. (2014b). Changements climatiques 2014 : Rapport de synthèse. Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation.
- du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat [Sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer].
- GIEC, Genève, Suisse, 161 pINSEE. (2022). Un habitant sur sept vit dans un territoire exposé à plus de 20 journées anormalement chaudes par été dans les décennies à venir. INSEE Première n°1918.
- Institut de veille sanitaire (InVS). (2003). Impact sanitaire de la vague de chaleur d'août 2003 : premiers résultats et travaux à mener.
- Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm). (2004). Surmortalité liée à la canicule d'août 2003.
- Météo-France. (2020). Météo-France éclaire le climat en France jusqu'en 2100.
- Météo-France. (2023). Bilan climatique de l'été 2023 : 1er juin - 31 août.
- Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. (2023). La Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC).
- Ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires. (2024). La France s'adapte : vivre à +4°C.
- Ministère de la Transition Énergétique. (2022). Chiffres clés du climat : France, Europe et Monde. Édition : décembre 2022.
- Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC). (2023). Les vagues de chaleur dans un contexte de changement climatique. La Documentation française.
- ONERC. (2023). Les vagues de chaleur dans un contexte de changement climatique.

- Santé Publique France. (2022a). Bulletin de santé publique canicule. Bilan été 2022.
- Santé Publique France. (2022b). Bulletin de santé publique canicule en Auvergne-Rhône-Alpes. Bilan été 2022.
- Santé Publique France. (2023a). Canicule et santé. Bulletin de santé publique, bilan de l'été 2023.
- Santé Publique France. (2023b). Chaleur et santé : surveillance et prévention des impacts de la chaleur dans un contexte de changement climatique. Dossier de presse.

Méthodes

Indicateurs empiriques

- Beltrando et Chémery. (1995). Dictionnaire du climat. Paris: Larousse.
- Oke, T.R. (1967). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment*, 7(8), p. 769-779.
- Papin, O. (2017). Îlots de chaleur urbains, l'outil score ICU.

Classification en zones climatiques locales

- CEREMA. (2021). Rapports d'étude : SCO SatLCZ - Cartographie LCZ par satellite.
- Ching, J. et al. (2018). WUDAPT: An Urban Weather, Climate, and Environmental Modeling Infrastructure for the Anthropocene. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 99(9), 1907-1924.
- Demuzere, M., Kittner, J., Bechtel, B. (2021). LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. *Frontiers in Environmental Science* 9:637455.
- GEOMANUM. (2024). Projet GeoClimate +.
- Space for Climate Observatory (SCO). (2024). SatLCZ.
- Stewart, I.D. and Oke, T.R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), pp.1879-1900.

Simulation à l'échelle territoriale

- Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM). (2014a). TEB.
- Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM). (2014b). SURFEX.
- Masson. (2000). A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models. *Boundary Layer Meteorol.*, 94, 357-397.
- Rodrigues et al. (2013). Large-eddy simulation of flow and dispersion in an heterogeneous urban area: comparison with field data.

Simulation à l'échelle fine

- Muanda Lutete, M. (2021). Adaptation urbaine au changement climatique : Regard croisé sur les connaissances scientifiques et les pratiques et attentes des praticiens.
- Egis Group. (2022). En finir avec la surchauffe urbaine avec ICETool !

Mesure de température ressentie

- Grundstein & Vanos. (2021). There is no 'Swiss Army Knife' of thermal indices: the importance of considering 'why?' and 'for whom?' when modelling heat stress in sport. *Br J Sports Med*. Aug;55(15):822-824.

- Zare, S., Hasheminejad, N., Shirvan, H.E., Hemmatjo, R., Sarebanzadeh, K. and Ahmadi, S. (2018). Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices/environmental parameters during 12 months of the year. *Weather and Climate Extremes*, 19, pp.49–57.

Climadiag commune

- Météo-France. (2024). Climadiag commune.

Retours d'expérience

Nantes

- Molina G., Hureau L., Lamberts C. (2023). Les citoyens face aux fortes chaleurs : vulnérabilités, santé et adaptations des habitants. Enquête sur 1 300 habitants de Nantes et leurs vécus de l'été 2022, rapport du programme de recherche CNRS - IRSTV – Nantes.
- Métropole de Nantes & Ville de Nantes. (2023). « Les femmes seules avec enfants et les 30-44 ans ont des vécus de la chaleur plus négatifs ».
- Métropole de Nantes & Ville de Nantes. (2023). [Carte] Fortes chaleurs : où trouver de la fraîcheur à Nantes ?

Toulouse

- AUA/T. (2020). Atlas climatique sur le périmètre de Toulouse Métropole.
- Projet MAPUCe. (2019). Guide méthodologique issu du projet MAPUCe – Urbanisme et (micro-)climat : outils et recommandations générales pour les documents de planification.
- Toulouse Métropole & LISST. (2021). Guide de recommandations : Prise en compte du climat dans la construction de la métropole de demain.
- Suher-Carthy et al. (2023). Urban heat island intensity maps and local weather types description for a 45 French urban agglomerations dataset obtained from atmospheric numerical simulations. Data in brief.

Saint-Omer

- Amsterdam University of Applied Sciences. (2020). Cool Towns Heat Stress Measurement Protocol.
- AUD St-Omer. (2023). Réfraîchir la ville : comment adapter les espaces publics aux vagues de chaleur.
- AUD St-Omer. (n. a). Cool Towns.
- Franck Boutté Consultants. (n. a.). Planifier les microclimats de demain : les enseignements de la Cour Fret à Saint-Omer - Programme COOLTOWNS.
- Spanjar, G., Bartlett, D., Schramkó, S., & Kluck, J. (2022). The Urban Heat Atlas: A standardised assessment for mapping heat vulnerabilities in Europe. Hogeschool van Amsterdam, Kenniscentrum Techniek.

Chambéry

- Chambéry et TRIBU. (2022). Pourquoi fait-il plus chaud en ville ?

Dijon

- ADEME. (2020). Climatologie urbaine - Enseignements du programme MUSTARDijon - Réseau de Mesures Urbaines de la Température dans l'Agglomération du Grand Dijon.
- Richard et al. (2022). Comment et pour qui cartographier l'îlot de chaleur urbain (ICU) ? 35ème colloque annuel de l'Association Internationale de Climatologie – AIC 2022.

- Richard et al. (2018). Îlot de Chaleur Urbain et canicules : quelles relations ? 35ème colloque annuel de l'Association Internationale de Climatologie – AIC 2018.

Marseille

- INDDIGO. (2022). Marseille 2030 – Cœur historique en transition : Présentation de l'étude 22 mars 2022.
- INDDIGO. (2020). Élaboration d'un plan guide pour concevoir un centre historique durable à Marseille - stratégie à l'horizon 2030.

Libourne

- Cerema. (2021). Rapport d'étude : Plan «Nature en ville et Adaptation au changement climatique» à Libourne, Cartographie «Local Climate Zones».
- Cerema. (2021). A Libourne (Gironde), la nature se met au service de l'adaptation de la ville face au changement climatique.

Nanterre

- Ville de Nanterre. (2021). Étude sur les îlots de chaleur urbains de la Ville de Nanterre : Comprendre pour agir. Colloque «Une seule santé à l'échelle des territoires : des leviers d'action» - 15 décembre 2021.
- Ville de Nanterre. (2020). Îlots de chaleur et de fraîcheur urbains : balades thermiques pour la ville de Nanterre. Compte-rendu des balades des 18 et 19 septembre 2020.

Lorient

- Intermezzo. (2023). Lorient initie une politique d'adaptation au changement climatique.

Strasbourg

- Kastendeuch, P. P. (2022). Climatologie urbaine à Strasbourg, îlot de chaleur nocturne et confort thermique : de la mesure à la modélisation. Habilitation à Diriger des Recherches. Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie (ICube)
- Météo-France. (2022). L'îlot de chaleur urbain sur l'Eurométropole de Strasbourg : diagnostic et scénarios d'adaptation.
- Philipps, N., Kastendeuch, P.P. and Najjar, G. (2020). Analyse de la variabilité spatio-temporelle de l'îlot de chaleur urbain à Strasbourg (France). *Climatologie*, 17, pp.10–10.

Grenoble

- Foissard, X., Rome, S., Bigot, S., Fouvet, A.-C. (2022). Réseau de mesures et analyses spatio-temporelles de l'îlot de chaleur urbain grenoblois : l'été 2020.
- Grenoble Air Energie Climat & Ville de Grenoble. (2022). L'îlot de chaleur urbain grenoblois.

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, du ministère de l'économie, des finances et de la souveraineté industrielle et numérique et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche.

Les collections de l'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur :

Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert :

Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent :

Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir :

Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*



CLÉS POUR AGIR

Diagnostic de la surchauffe urbaine

Méthodes et retours d'expérience

Ce recueil présente neuf types de méthodes pour diagnostiquer la surchauffe urbaine d'un territoire.

Ces dernières varient selon leur échelle d'application, les outils mis en place, leur coût, l'expertise requise et le phénomène à observer.

Onze retours d'expérience d'études menés en France métropolitaine permettent d'illustrer la mise en place de ces méthodes et leurs déclinaisons en actions opérationnelles et stratégiques.

Ce guide donne les éléments clés aux acteurs publics pour adapter le diagnostic de la surchauffe urbaine à leur territoire.

