

BOÎTE À OUTILS ÎLOTS DE CHALEUR URBAIN ET SANTÉ : SUR QUOI ET COMMENT AGIR ?

RODEZ AGGLOMÉRATION



RAPPORT D'ETUDE

Version 2 - Août 2022

TABLE DES MATIÈRES

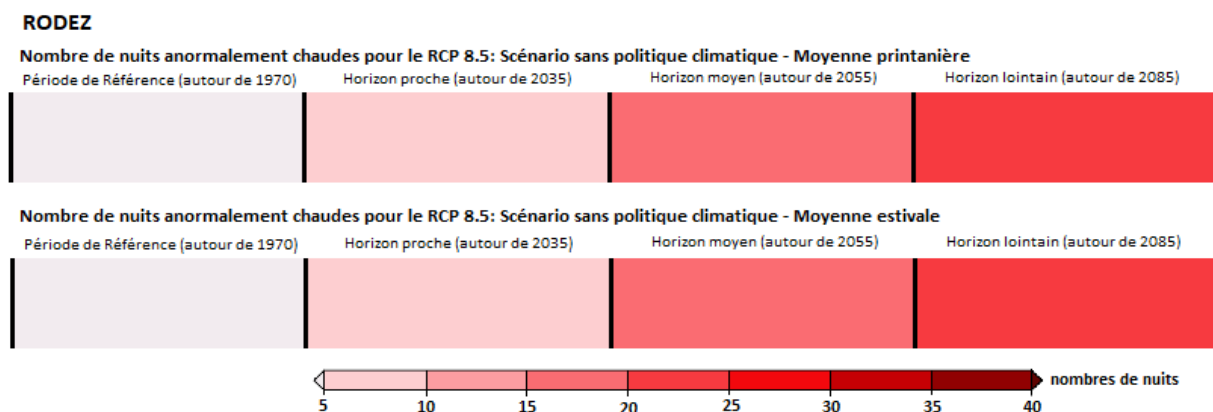
Introduction.....	3
1 – Rappel des enjeux.....	3
2 – Une stratégie opérationnelle pour des solutions d’aménagement favorables au rafraîchissement.....	4
I – De quoi parle-t-on ? Définitions, outils, méthodes.....	6
1 – Définitions.....	6
1.1 – Îlot de chaleur urbain (ICU).....	6
1.2 – Surchauffe urbaine.....	7
1.3 – Confort thermique.....	7
2 – Une méthode par les déterminants de la surchauffe urbaine.....	8
2.1 – Les paramètres anthropiques.....	9
2.2 – Les paramètres morphologiques.....	9
2.3 – Les paramètres surfaciques.....	10
3 – Méthodes de diagnostic.....	13
3.1 – Pour une première approche : le traitement d’images aériennes ou satellitaires.....	13
3.2 – Diagnostic qualitatif à l’échelle du quartier ou d’une rue.....	14
3.3 – Pour objectiver à l’échelle du piéton : des mesures fixes et des mesures mobiles et une modélisation des résultats.....	16
II - Pourquoi agir ? Impact sur la santé.....	19
1 – Quand parle-t-on de canicule ?.....	19
2 – Quelles sont les personnes vulnérables ?.....	21
3 – Quelle population vulnérable à la canicule sur un territoire donné ?.....	22
3.1 – Les populations vulnérables présentes la nuit.....	22
3.2 – L’exposition des populations vulnérables aux fortes chaleurs en journée.....	23
4 – Une attention à porter à la qualité de l’air ainsi qu’au confort thermique des espaces publics.....	23
4.1 – Mauvaise qualité de l’air et surchauffe urbaine : des effets cumulatifs.....	23
4.2 – Environnement urbain et espaces publics : un enjeu capital de santé publique.....	24
III - Comment agir ? Solutions et exemples.....	25
1 – Panorama des solutions.....	25
1.1 – Les solutions vertes et bleues.....	25
1.2 – Les solutions grises.....	28
1.3 – Les solutions douces.....	31
2 – Co-bénéfices et impacts des solutions.....	32
3 – Déclinaison opérationnelle.....	33
4 – Exemples.....	35
4.1 Le réaménagement de la place Francfort à Lyon.....	35
4.2 – Opération « Strasbourg ça pousse ».....	37
4.3 – Le réaménagement de la rue Garibaldi à Lyon.....	38
Bibliographie.....	40

Introduction

1 – Rappel des enjeux

Le sixième rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), paru en début d'année 2022 est alarmant. La température moyenne sur la terre a déjà augmenté de 1,09 °C depuis l'ère préindustrielle. Les conséquences du réchauffement climatique sont de plus en plus visibles. À titre d'exemple, environ un milliard d'humains pourraient vivre d'ici 2050 dans des zones côtières menacées par la montée des eaux. D'après le secrétaire général de l'ONU Antonio Guterres, « *près de la moitié de l'humanité vit dans la zone de danger – aujourd'hui et maintenant. De nombreux écosystèmes ont atteint le point de non-retour – aujourd'hui et maintenant* ».

Figure 1: Projections climatiques sur la ville de Rodez aux différents horizons (2035, 2055 et 2085) – Données issues de DRIAS



Une nuit anormalement chaude est une nuit où sa température minimale est supérieure de +5 °C à la normale

La période de référence est calculée sur la période 1976-2005, la période « Horizon proche », est, elle, calculée sur la période 2021-2050, la période « Horizon moyen » sur la période 2041-2070 et la période « Horizon lointain » sur la période 2071-2100. Le scénario RCP8.5¹, « scénario pessimiste » est un scénario prédictif sans politique climatique mise en place.

Sur le département de l'Aveyron, alors que sur la période 1976-2005, la température moyenne estivale variait entre 18 et 20°C, avec le scénario RCP 8.5 à horizon proche, la température moyenne attendue est comprise entre 20 et 22°C ; à horizon moyen, entre 22 et 24°C, et pour l'horizon lointain entre 24 et 26°. L'écart entre la période de référence et l'horizon lointain avec ce scénario RCP8.5 pourrait être de +6°C.

De même, le nombre de nuits anormalement chaudes pourrait augmenter, tant pour la moyenne printanière que pour la période estivale avec une augmentation comprise entre 20 à 25 nuits à horizon lointain avec le scénario RCP8.5.

1 Scénarios RCP : trajectoires représentatives de concentration (RCP) « Representative Concentration Pathways » : scénarios comprenant les séries chronologiques des émissions et des concentrations de l'ensemble des gaz à effet de serre (GES), aérosols et gaz chimiquement actifs, et celles concernant l'évolution de l'utilisation des terres et de la couverture des sols (Moss et al, 2008). Les RCP ont été utilisées pour l'établissement de projections climatiques. Le scénario RCP8,5 correspond à une trajectoire élevée dans laquelle le forçage radiatif dépasse 8,5 W m-2 en 2100. La trajectoire de concentration étendue ECP correspondante est fondée sur des émissions constantes de 2100 à 2150 et sur des concentrations constantes après 2250 (GIEC, 2018).

La surchauffe urbaine est un facteur important de surmortalité, notamment pour les personnes vulnérables telles que les personnes défavorisées socialement ou économiquement, les personnes les plus âgées, les très jeunes enfants, les personnes atteintes de maladies chroniques, ou de troubles mentaux... Le vieillissement de la population est un motif supplémentaire d'inquiétude : d'après les projections de l'Insee (Source : Insee, Omphale 2017 – scénario central), la part des personnes de 65 ans ou plus pourrait s'élever en 2050 à 35,9 %, contre 24,8 % actuellement .

2 – Une stratégie opérationnelle pour des solutions d'aménagement favorables au rafraîchissement

Rodez Agglomération souhaite anticiper les vagues de chaleur à venir en protégeant les populations les plus vulnérables aux épisodes de canicule en promouvant des aménagements urbains favorables au rafraîchissement, à toutes les échelles, du piéton au territoire de l'agglomération.

Cette politique de santé publique en milieu urbain s'intègre dans la stratégie opérationnelle du Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) et du Contrat Local de Santé (CLS) de Rodez Agglomération.

Afin de répondre à la problématique des ICU sur son territoire, Rodez agglomération a souhaité s'associer dans le cadre du présent projet avec le Cerema, établissement public de référence dans le domaine de l'aménagement, de l'urbanisme et de la transition écologique. Rodez agglomération et le Cerema (Dter Occitanie) ont ainsi été retenus dans le cadre de l'Appel à Projets de l'axe 2 du PRSE 3 « Promouvoir un urbanisme, un aménagement du territoire et des mobilités favorables à la santé » pour conduire ensemble une démarche ayant pour objet le diagnostic des îlots de chaleur urbains sur le territoire de Rodez agglomération et la proposition de solutions opérationnelles d'aménagement pour y remédier.

Pour ce faire, le Cerema a repéré et cartographié² les zones sensibles à l'effet d'îlot de chaleur urbain du fait de leurs propriétés morpho-climatiques sur l'ensemble du territoire intercommunal par la réalisation d'une cartographie (méthode dite UCZ pour Urban Climate Zone) à partir d'images satellites Pléiades (50 cm de résolution). Il a également, au cours de cette première phase, identifié des secteurs sensibles sur le plan de la vulnérabilité des populations en mobilisant la base INSEE sur les populations fragiles et relevé les établissements recevant du public sensibles (EHPAD, des MSP, des écoles élémentaires, structure d'accueil petite enfance...). À partir de ces éléments de diagnostic ainsi que des marges de progrès mobilisables sur différentes typologies de territoires, les élus ont sélectionné 4 sites qui leur semblaient représentatifs de la diversité des contextes (urbains et sociaux) et des types de solutions à mobiliser :

- Type 1 : Tissu urbain dense. Mail de Bourran et espace bâti situé à l'ouest de ce dernier.
- Type 2 : Zone d'activité. Zone de Cantaranne sur la commune d'Onet-Le-Château
- Type 3 : Établissement sensible et ses abords. École Charles Cayla à Sainte-Radegonde
- Type 4 : Lotissement. Lotissement des Genévriers à Sébazac.

Ces 4 sites ont fait l'objet de fiches [\(hyperlien\)](#) à destination des techniciens de la collectivité contenant des éléments de diagnostic et des préconisations de solutions d'adaptation adaptées à chaque contexte. Elles ont été réalisées en croisant les éléments de diagnostic recueillis lors de visites sur le terrain (et restituées par une synthèse abondamment illustrée) avec les éléments

² [Lien vers la phase 1 de l'étude](#)
4/46

apportés par l'agglomération de Rodez et l'état de l'art (Cf. ressources bibliographiques) en matière d'îlots de chaleur. Les photos ci-après visualisent les itinéraires empruntés lors de cet état des lieux.

Figure 2: Les quatre sites explorés, leur typologie et l'itinéraire de visite



Cet état de l'art, source d'inspiration tant sur la méthodologie que pour la déclinaison de préconisations les plus pertinentes possibles, est synthétisé dans le présent petit guide, qui renvoie à une annexe bibliographique des sources mobilisées, avec hyperliens pour retrouver facilement ces documents.

Cette contribution du Cerema s'articule avec les actions de sensibilisation et de communication conduites tout au long de la démarche par le Grand Rodez :

- **Sensibilisation auprès du grand public** : carte interactive des îlots de fraîcheur existants sur le territoire intercommunal complété par une plaquette d'informations des bons gestes à adopter en période de fortes chaleurs.
- **Sensibilisation auprès des élus** : réunion d'information pour exposer aux élus du territoire les enjeux et les impacts des ICU sur le territoire de Rodez Agglomération, ainsi que les propositions pour favoriser l'adaptation du territoire.

De plus, le présent guide « Sur quoi et comment agir ? » et les fiches déclinées sur les 4 sites types ont vocation à nourrir un futur guide de l'aménagement, les conseils pouvant être apportés aux différents acteurs de l'aménagement et les propriétaires fonciers par les services de Rodez agglomération, ou encore les initiatives participatives portées par les acteurs de l'environnement

ou de la santé en lien avec des populations vulnérables (écoles, Ehpad...). Ce guide se comporte de trois parties :

- De quoi parle-t-on ? Définition, outils et méthodes
- Pourquoi agir ? Impact sur la santé
- Comment agir ? Solutions et exemples

I – De quoi parle-t-on ? Définitions, outils, méthodes

1 – Définitions

1.1 – Îlot de chaleur urbain (ICU)

Un guide de l'ADEME ³, qui fait référence, définit les ICU comme suit :

L'expression « îlots de chaleur urbains » désigne la **différence de température observée entre les milieux urbains et les zones rurales environnantes**. En effet, des observations ont démontré que les températures des centres urbains sont en moyenne supérieures de 4 °C et peuvent atteindre jusqu'à 12 °C de plus que les régions limitrophes ».

L'îlot de chaleur urbain est en premier lieu un phénomène physique. Se caractérisant par des différences de températures, il est la conséquence des apports de chaleur naturels et anthropiques et des conditions climatiques et météorologiques des espaces où il apparaît .

Figure 3: Illustration du phénomène d'îlot de chaleur. Réalisation: Cerema / Dter Occitanie



Le phénomène des ICU est lié à plusieurs facteurs :

- Les propriétés thermophysiques des **matériaux** utilisés pour la construction des bâtiments, des voiries et autres infrastructures,
- L'occupation du **sol** : sols minéralisés, absence de végétation,
- La **morphologie urbaine** : voies de circulation importantes, « rugosité » urbaine diminuant la convection...),
- Le dégagement de chaleur « anthropique », c'est-à-dire issu des **activités humaines** (moteurs, systèmes de chauffage et de climatisation...).

Les matériaux urbains stockent la chaleur (15 à 30 % de plus que les zones moins denses) la journée et la libèrent la nuit. C'est pour cette raison que le phénomène d'ICU est plus marqué la nuit, empêchant les températures de redescendre.

³ Source : « Diagnostic de la surchauffe urbaine » – Guide ADEME

1.2 – Surchauffe urbaine

Le Cerema⁴ en donne la définition suivante, plus englobante que la notion d'ICU, et faisant davantage référence à la notion d'inconfort thermique ressenti par l'utilisateur :

On peut qualifier la surchauffe urbaine comme une problématique globale et composite qui s'exprime de jour comme de nuit, avec des répercussions de l'échelle globale des villes jusqu'à celle d'un citoyen dans sa rue ou son habitation. [...] La surchauffe urbaine s'exprime plutôt de manière dispersée et localisée dans des espaces urbains minéraux et confinés, et augmente le stress thermique subi par les usagers. Ce stress est d'autant plus important que la température de l'air est importante et que l'exposition au rayonnement solaire et infrarouge (« surfaces chaudes ») est importante et qu'enfin la ventilation naturelle est faible. La notion d'inconfort est alors plus ou moins impactante en fonction de la fragilité et des activités des citoyens.

Les causes principales de la surchauffe urbaine sont les mêmes que celles de l'îlot de chaleur et sont relatives à l'occupation du sol, à la morphologie urbaine, aux matériaux, et au dégagement de chaleur issu des activités humaines. Ce concept s'intéresse aux différentes échelles, de la plus large (le territoire) à la plus petite (échelle du piéton) et appelle à un état des lieux précis, de façon à pouvoir les croiser avec les facteurs de vulnérabilité.

1.3 – Confort thermique

Le confort thermique est une sensation de bien-être lorsqu'on est exposé à une ambiance intérieure et extérieure. Il ne dépend pas exclusivement de la température, mais également de l'humidité de l'air, du vent, de la qualité de l'air... Ce ressenti dépend donc, au-delà de la température, de l'ensemble des variables microclimatiques comme l'hygrométrie (facteurs externes) mais aussi de la régulation thermique propre à chacun et variable dans le temps (facteurs internes).

Figure 4: Confort thermique à l'échelle du piéton



Crédits : Ademe/ Tadaa

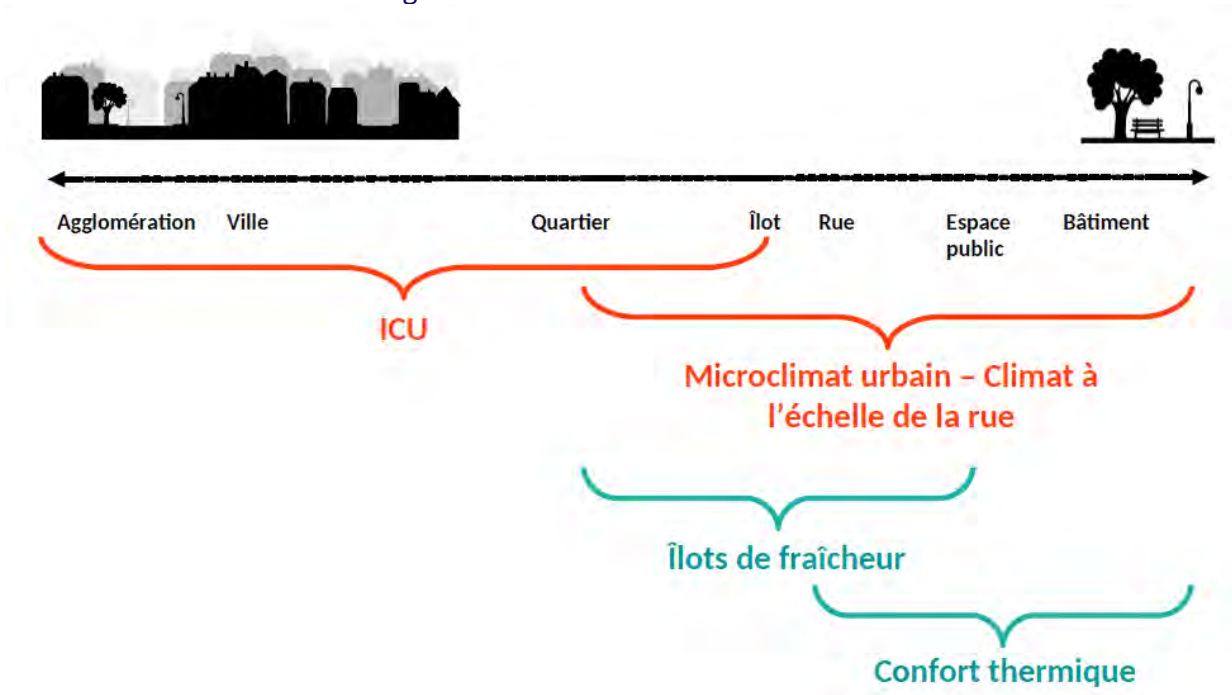
Figure 5: Facteurs externes et internes du confort thermique



Crédits : Ademe/ Tadaa

Le présent guide s'intéresse tout particulièrement à l'échelle du ressenti du confort ou inconfort thermique, la plus directement en lien avec les problématiques de santé : celle du piéton. Au-delà de préconisations plus générales (exemples : augmenter la part des espaces non imperméabilisés ou éco-aménageables, les espaces en eau, la densité arbustive...), ce sont les aménagements d'îlots de fraîcheur à l'échelle d'une rue ou d'un espace public qui sont ciblés dans ce guide.

Figure 6: Les échelles du climat urbain



2 – Une méthode par les déterminants de la surchauffe urbaine

Les causes de la surchauffe urbaine peuvent être regroupées en trois familles de déterminants⁵ :

- **Les paramètres anthropiques** : émission de chaleur
- **Les paramètres morphologiques** : rugosité aux vents, piégeage du rayonnement
- **Les paramètres surfaciques** : faible évapotranspiration et évaporation, absorption et stockage de la chaleur.

Tableau 1 : Les déterminants de la surchauffe urbaine (source : ADEME, crédits : ADEME)

les paramètres anthropiques

paramètres morphologiques

paramètres surfaciques

5 Guide « Diagnostic de la surchauffe urbaine » de l'ADEME, op. cité



2.1 – Les paramètres anthropiques

Les activités humaines participent à la fois au réchauffement climatique global et à l'échauffement local de l'air urbain, participant ainsi à accentuer l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Un guide de l'ADEME les détaille :

Dans les milieux urbains, les sources d'émission de gaz à effet de serre sont principalement les véhicules motorisés, les procédés industriels et le chauffage des immeubles à l'aide de combustibles fossiles. Les rejets de gaz à effets de serre, liés à ces activités humaines, dans l'atmosphère augmentent sa capacité à absorber le rayonnement infrarouge, et donc sa température.

De plus, à la chaleur naturelle, vient s'ajouter une chaleur directe ou indirecte produite par les activités humaines (industries, transports, systèmes de climatisation, électroménager, chaudières...). Ces rejets de chaleur perturbent l'équilibre thermique localement. Lorsque la chaleur naturelle est déjà élevée, notamment à cause du rayonnement infrarouge réfléchi de multiples fois, les chaleurs anthropiques accentuent le phénomène et rendent la ville difficilement supportable en termes de température.

2.2 – Les paramètres morphologiques

Rugosité aux vents

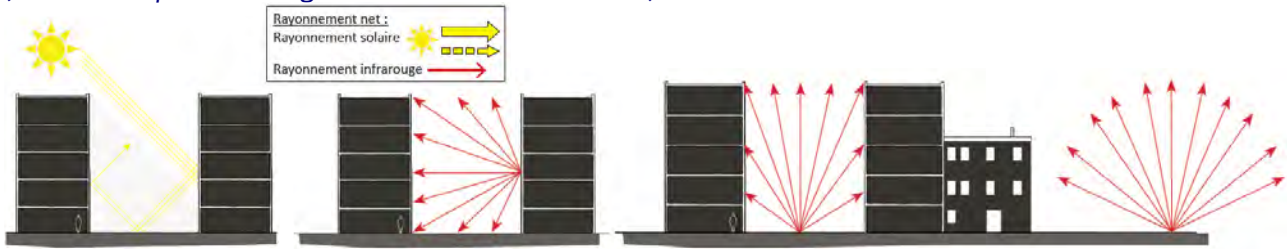
La rugosité d'un paysage est son « grain » (en termes de relief), qui atténue la force du vent dans les basses couches de l'atmosphère. Les forêts freinent la circulation de l'air (effet thermiquement compensé par ses autres propriétés) contrairement aux plaines ouvertes. Un ensemble compact de bâtiments, avec rues étroites, est lui aussi rugueux et réduit par conséquent la circulation de l'air.

Piégeage du rayonnement

Le rayonnement solaire, absorbé en journée, est piégé la nuit du fait de formes urbaines compactes (peu ouvertes vers le ciel) et de leur orientation. Il en résulte un faible dégagement de chaleur comme l'illustrent les figures ci-dessous.

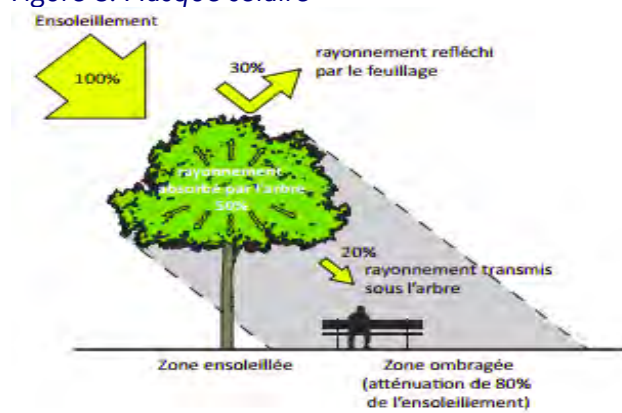
Les grands bâtiments et les rues étroites créent des canyons où la chaleur occasionnée par le rayonnement solaire et les activités humaines s'accumule et reste captive.

Figure 7: Réflexion multiple au rayonnement solaire, interception du rayonnement émis dans la rue (Source : Impacts du végétal en ville – Plante & Cité)



Pour leur part, les arbres ne transmettent vers le sol que 20 % environ du rayonnement solaire, plus ou moins selon leur pouvoir ombrant, ou **masque solaire**.

Figure 8: Masque solaire



Outre le rayonnement, les transferts de chaleur en ville, et les micro-îlots de chaleur urbains qui en résultent procèdent aussi de phénomènes de **convection** et de **conduction**, comme l'illustre la figure ci-après. Lorsque l'air chauffé par la ville s'élève, il se dilate et devient alors plus léger que l'air froid. En montant, il se refroidit et retombe : c'est le phénomène de **convection**, qui se traduit par la création d'un « dôme » au-dessus de la ville où les masses d'air se déplacent dans un mouvement ascendant.

Figure 9: Les transferts de chaleur en ville par convection et conduction - Cerema / Dter Occ

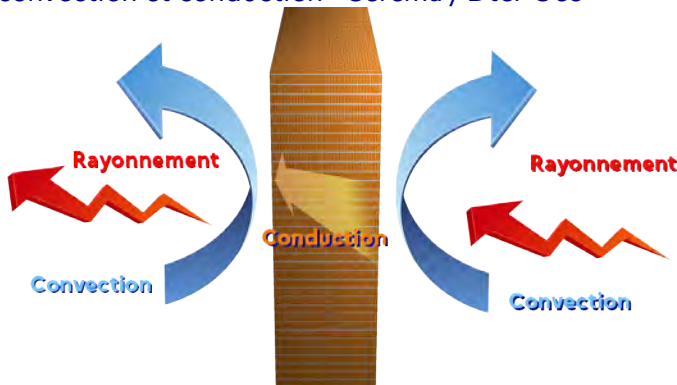


Figure 10: Refroidissement de l'air par évapotranspiration



2.3 – Les paramètres surfaciques

Faible évapotranspiration et évaporation

L'émission de la vapeur d'eau ou **évapotranspiration** (exprimée en mm), résulte de deux phénomènes : l'**évaporation**, qui est un phénomène purement physique, et la **transpiration** des plantes.

Comparée aux zones rurales, la ville possède moins de moyens de rafraîchissement naturels tels que la végétation et l'eau. Ces espaces ont en effet un important pouvoir de rafraîchissement de l'air grâce à l'évaporation de l'eau et l'évapotranspiration des plantes. En ville, la plantation d'arbres et la végétalisation peuvent cependant permettre de créer des îlots de fraîcheur significatifs, comme l'illustrent les figures ci-contre et ci-dessous.

Figure 11: Différences de mesures de température de surface entre 2 milieux – Source : Krakow dla Mieszkanow.com



Dans le guide « Diagnostic de la surchauffe urbaine », l'ADEME alerte sur la perte progressive de la végétation et la disparition de l'eau en ville :

La densification progressive des villes et le développement des infrastructures urbaines ces dernières décennies participent à la perte progressive des espaces naturels et de la végétalisation en milieu urbain. Cette perte de végétation implique une perte de fraîcheur en milieu urbain. En effet, la végétation joue un rôle essentiel de protection contre la chaleur grâce au phénomène d'évapotranspiration et d'ombrage des sols et des bâtiments. Au cours du processus naturel d'évapotranspiration de la vapeur d'eau, l'air ambiant se refroidit en cédant une partie de sa chaleur pour permettre l'évaporation.

La végétation participe également à une bonne gestion des eaux pluviales et à une meilleure qualité de l'air dans les villes. L'intensification de l'urbanisation des dernières décennies a en effet provoqué la modification des types de recouvrement des sols. Le développement des canalisations des égouts, la disparition progressive des rus affleurant et des zones les plus humides pour des raisons de salubrité ont participé à cette artificialisation des sols. Les sols naturels ont été remplacés par des matériaux imperméables, tels que l'asphalte et les matériaux utilisés pour la construction des bâtiments qui, n'assurant pas de fonctions de filtration et d'absorption de l'eau, modifient ainsi le parcours naturel des eaux pluviales. Il en résulte qu'en ville le taux d'infiltration des sols est de seulement 15 % et la quantité ruisselée de 55 %, tandis qu'en milieu naturel environ 50 % des eaux de pluie sont infiltrées dans le sol et 10 % ruissellent vers les cours d'eau.

Absorption et stockage de la chaleur

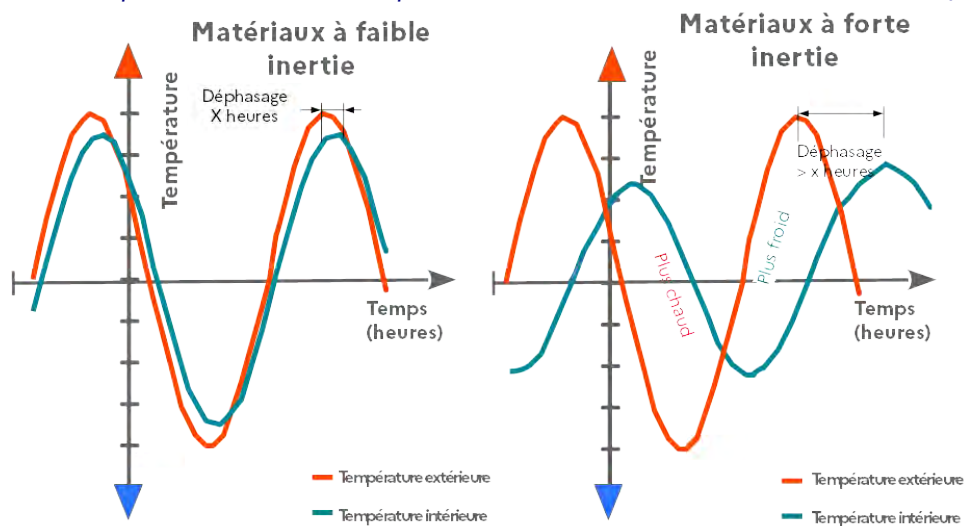
L'énergie reçue du Soleil et de l'atmosphère est absorbée et réfléchiée en partie par les matériaux de la ville. Lorsqu'elle est absorbée, elle chauffe les bâtiments et les différents revêtements et couverts urbains ; la partie réfléchiée est renvoyée. La particularité de la ville réside ici dans la multitude de surfaces sur lesquelles peut être envoyée l'énergie.

Globalement, la ville stocke plus de chaleur que la campagne. Ceci est principalement dû aux propriétés des matériaux qui composent les bâtiments, les voies de circulations et les infrastructures. Deux paramètres jouent un rôle majeur : l'inertie et l'albédo des matériaux.

Inertie des matériaux

L'inertie des matériaux est la capacité de ces derniers à accumuler la chaleur et la restituer. Les matériaux à forte inertie se caractérisent par un déphasage temporel plus important quand l'air se refroidit et quand l'air se réchauffe, comme l'explique la figure ci-après :

Figure 12: Les perturbations thermiques dues à l'inertie des matériaux - Cerema / Dter Occ



Albédo (ou albedo)

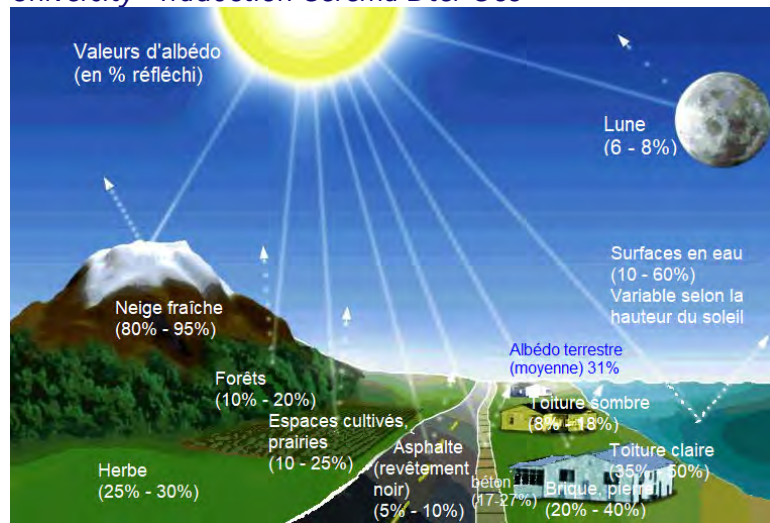
On peut reprendre cette définition toute simple de l'albédo dans Futura Sciences⁶ :

L'albédo du système Terre-atmosphère est la fraction de l'énergie solaire qui est réfléchiée vers l'espace. Sa valeur est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante, plus son albédo est élevé. Les éléments qui contribuent le plus à l'albédo de la Terre sont les nuages, les surfaces de neige et de glace et les aérosols. Par exemple, l'albédo de la neige fraîche est de 0,87, ce qui signifie que 87 % de l'énergie solaire est réfléchiée par ce type de neige.

L'albédo est parfois exprimé en pourcentage comme sur la figure ci-après :

6 <https://www.futura-sciences.com/planete/definitions/climatologie-albedo-1023/>

Figure 13: Ordres de grandeur d'albedo - Source Johns Hopkins University - Traduction Cerema Dter Occ



En ville, il est possible de réduire l'effet d'îlot de chaleur en optant pour des matériaux plus clairs, comme préconisé dans la troisième partie de la présente boîte à outils.

3 – Méthodes de diagnostic

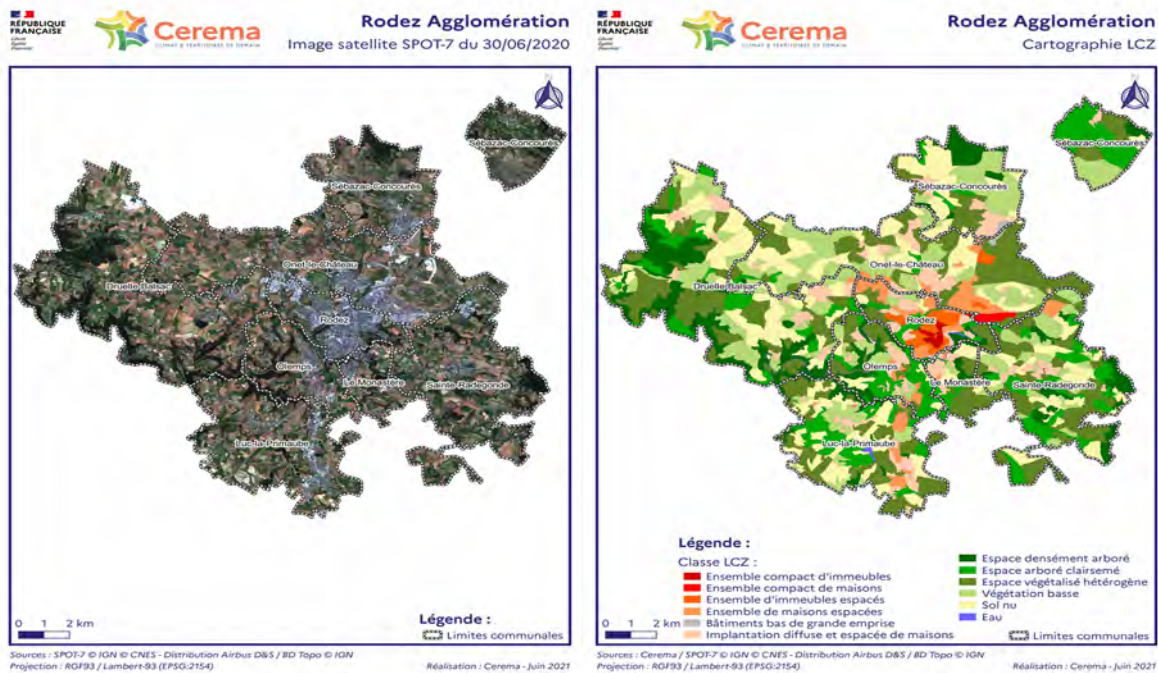
3.1 – Pour une première approche : le traitement d'images aériennes ou satellitaires

La méthode de cartographie des ICU du Cerema

Le premier volet de l'étude applique la méthodologie de production de cartographie des Local Zone Climate (LCZ) élaborée sur Rodez Agglomération. Ce travail s'est basé sur une image SPOT-7 haute résolution (1,5 m), acquise le 30 juin 2020. Elle est mise à disposition par le site Dinamis.

La cartographie LCZ obtenue est le fruit du résultat de l'algorithme LCZ Cerema qui reprend un indicateur morphologique (hauteur moyenne du bâti) et six indicateurs d'occupation du sol, dérivés de la donnée OCS (taux de bâti, taux de sol nu perméable, taux de surface en eau, etc.), comme détaillé dans ce premier rapport⁷.

Figure 14: Cartographie LCZ de Rodez Agglomération (à droite), au regard de l'image satellite (à gauche)



3.2 – Diagnostic qualitatif à l’échelle du quartier ou d’une rue

L’état des lieux réalisé par le Cerema sur les 4 sites type sélectionnés par Rodez agglomération relève d’une approche in situ qui a pour intérêt de répondre plus directement aux exigences opérationnelles. Il s’agissait⁸ :

– **De caractériser plus finement les déterminants de la surchauffe urbaine synthétisés à travers l’indicateur composite LCZ :**

Détailler et appréhender l’impact possible des différents facteurs anthropiques, morphologiques et surfaciques à travers une appréciation de synthèse (d’une subjectivité relative assumée nuancée par les éléments recueillis dans le cadre de la phase 1 de l’étude – cartographie des ICU – et des ordres de grandeur et références issus des retours d’expériences).

– **De réaliser un panorama des éléments de rafraîchissement urbain présents ou absents sur les différents sites :**

- **Éléments verts et bleus**, qui font intervenir les solutions fondées sur la nature (végétal, eau) : parcs, arbres, pelouses, prairies, toiture végétalisée, façade végétalisée, plans d’eau, rivières, ouvrages paysagés de gestion des eaux pluviales

8 Voir les fiches réalisées sur chaque site

- **Éléments gris**, qui rassemblent les solutions techniques relatives aux infrastructures urbaines comme les chaussées, le mobilier urbain, les bâtiments : forme urbaine bioclimatique, fontaines, jets d'eau, arrosage de l'espace urbain, structures d'ombrages, panneaux solaires, revêtements à albédo élevé, revêtements drainant, revêtements à changement de phase⁹, isolation et inertie thermique
- **Éléments doux**, qui relèvent des comportements et de la gestion urbaine : réduction du trafic routier, des moteurs thermiques, réduction de l'utilisation de la climatisation, adaptations individuelles et sociétales aux fortes chaleurs

Ces différents éléments sont explicités dans la partie III de la boîte à outils (panorama des solutions).

Les éléments verts/bleus, gris et doux ont été évalués grâce à l'échelle suivante :



Cette échelle représente le niveau d'impact sur le rafraîchissement des éléments verts (et bleus), gris et doux déjà présents. Ces impacts peuvent être :

- Négatifs (contribuent au réchauffement) : un (négatifs) ou deux (très négatifs) ronds rouges
- Neutres (ne contribuent pas, ni diminuent) : deux ronds gris
- Positifs (participent au refroidissement) : un (positifs) ou deux (très négatifs) ronds verts

L'absence d'une des catégories de solution n'a pas toujours le même effet. L'absence de certains éléments peut motiver en soi une notation très défavorable. La présence des solutions est quant à elle toujours valorisée par la présence d'au moins un rond vert dans son évaluation.

Tableau n°2 : Évaluation de l'impact de l'absence des différentes solutions :

Élément	Notation	Justification
Parcs	● ●	Impacts négatifs dus à l'absence d'ombrage
Arbres	● ●	Impacts négatifs dus à l'absence d'ombrage
Pelouses, prairies	● ●	Impacts négatifs dus à l'absence de végétation
Toiture végétalisée	● ●	Impacts négatifs dus à l'absence de végétation
Façade végétalisée	● ●	Impacts négatifs dus à l'absence de végétation
Plan d'eau et rivières	● ●	Pas d'impact négatif
Ouvrage de gestion des eaux pluviales	● ●	Impacts négatifs dus à l'absence de végétation
Forme urbaine bioclimatique	● ●	Une forme urbaine non adaptée a un impact fort sur les ICU
Fontaines, jets d'eau	● ●	L'absence d'eau n'a pas d'effet négatif sur les ICU
Arrosage de l'espace urbain	● ●	L'absence d'eau n'a pas d'effet négatif sur les ICU

⁹ Il s'agit d'un revêtement technique dont l'état physique se modifie selon la température, permettant ainsi d'augmenter ou de diminuer de quelques degrés la température en renforçant l'inertie des surfaces.

Structures d'ombrages	● ●	L'absence d'ombrage est très pénalisante
Panneaux solaires	● ●	Les panneaux solaires n'ont pas d'effets négatifs
Revêtements à albédo élevé	● ●	L'absence de revêtement à albédo élevé et la présence de revêtement à albédo faible a un impact fort et négatif.
Revêtement drainant	● ●	Impact négatif
Revêtement à changement de phase	● ●	Solution peu développée, son absence est courante et donc moins pénalisée.
Isolation et inertie thermique	● ●	Impact négatif
Réduction du trafic routier et des moteurs thermiques	● ●	Impact négatif
Réduction de l'utilisation de la climatisation	● ●	Impact négatif
Adaptations individuelles et sociétales aux fortes chaleurs	● ●	Difficilement évaluable et peu d'impacts négatifs

Une note est attribuée à la contribution estimée des trois groupes d'éléments au rafraîchissement (ou réchauffement) de chaque site. La note globale (positive, négative ou neutre) est là encore d'une subjectivité assumée mais sa cohérence avec le classement en LCZ (phase 1) est vérifiée. Dans le détail, l'appréciation de la contribution au rafraîchissement de chaque élément (bleu / vert, gris et doux) s'appuie sur le recueil des solutions de rafraîchissement réalisé par Tribu et le Cerema¹⁰. Le recueil des éléments verts / bleus, gris et doux réalisé sur les 4 sites de l'agglomération de Rodez est illustré de nombreuses photos prises lors des visites in situ.

Cet état des lieux permet d'identifier des enjeux prioritaires et de formuler des propositions d'aménagement (Cf. la partie 3 du présent rapport sur les solutions et les exemples) sur la base d'un croisement avec les vulnérabilités des populations et de la présence ou non d'établissements sensibles.

3.3 – Pour objectiver à l'échelle du piéton : des mesures fixes et des mesures mobiles et une modélisation des résultats

Pour quantifier le phénomène de surchauffe à l'échelle d'une rue, d'une place, d'un lieu stratégique (arrêt de bus, sortie d'école, abords d'un hôpital, etc.), il serait possible de procéder à des mesures à l'échelle du piéton, fixes ou mobiles. La mesure quantitative de la chaleur repose sur les paramètres suivants :

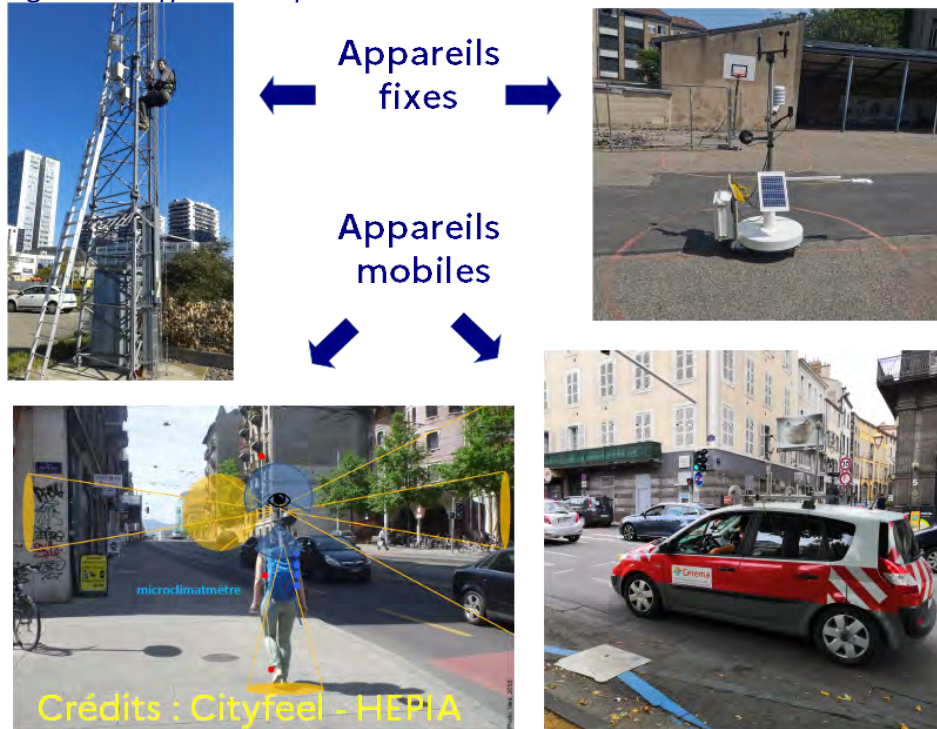
- A minima, la température de l'air
- Et pour objectiver la notion de confort thermique : le rayonnement solaire, les températures des surfaces, la température, la vitesse et l'humidité de l'air ambiant.

10 ADEME, Tribu, Cerema : Rafraîchir les villes des solutions variées, mai 2021

Les capteurs de mesure d'air pourraient être placés dans le site d'étude, et les mesures de surfaces, basées sur des capteurs du rayonnement infra-rouge des surfaces vues du ciel ou in situ.

Cette méthode n'a pas été mobilisée dans le cadre de l'étude mais permettrait de hiérarchiser les enjeux pressentis sur les sites visités lors de l'état des lieux qualitatif.

Figure 15: Différents capteurs de mesure en ville



Le tableau ci-après reprend, en le synthétisant, un inventaire de l'ADEME¹¹ des différents modèles de traitement des mesures effectués : par traitement spatial, par spatialisation numérique, empiriques.

Tableau n°3 : inventaire des différents modèles de traitement des mesures

Modèles de traitement spatial des mesures	Interpolations des mesures Cartographie en moyennant les résultats selon la distance entre chaque station	+ : Exploitation rapide d'un réseau de mesures - : Pour être représentative, cette méthode doit s'appliquer sur un grand territoire ou un maillage dense de mesures
	Extrapolation des mesures Cartographie sur la base d'une distribution représentative des points de mesures sur différentes classes géoclimatiques (morphologie des tissus urbain et occupation des sols)	+ : Méthode adaptée en combinaison avec la classification géoclimatique - : Nécessite de connaître un panel représentatif des quartiers étudiés et les informations s'y rattachant
Modèles par spatialisation	Simulation à grande échelle Reposent sur le bilan d'énergie des	+ : Cette méthode permet aussi d'établir des perspectives et de

numérique	tissus urbains et représentent la forme urbaine et les effets des paramètres du climat (vents, température, hygrométrie).	<p>comparer des scénarios d'évolution du tissu urbain à l'échelle de la ville</p> <p>– : Méthode qui nécessite une ingénierie qualifiée</p>
	<p>Simulation à petite échelle Reposent sur des bilans radiatifs et convectifs des interactions entre les sols et les bâtiments en 3D : Approche multi paramètres (température d'air, surfaces, vents, hygrométrie...) qui permet de donner des résultats en indice de confort.</p>	<p>+ : Cette méthode permet aussi d'établir des prospectives et de comparer des scénarios d'évolution d'aménagements</p> <p>– : Méthode qui nécessite une ingénierie qualifiée et avec des temps de calcul parfois très long par rapport aux exigences opérationnelles</p>
Modèles Empiriques	<p>Modèle global simplifié Abaque déterminant l'ampleur de l'îlot de chaleur urbain (différence de température ville campagne) pour une ville par temps clair et calme (peu de vent), en fonction de la population et de la densité de ladite ville.</p>	<p>+ : Un simple calcul permet d'évaluer l'enjeu d'îlot de chaleur sur une ville</p> <p>– : Ce modèle est très simple mais pauvre en informations spatiales et temporelles</p>
	<p>Classification géoclimatique échelle : ville, quartiers Résolution moyenne Partition du territoire selon ses caractéristiques climatiques en utilisant les paramètres relatifs à la morphologie urbaine et l'occupation du sol. Exemple : Local Climate Zones (LCZ).</p>	<p>+ : La cartographie par types de zones est une approche qui permet de produire rapidement une cartographie via des systèmes d'information géographique (SIG)</p> <p>– : L'influence du relief et des vents n'est pas prise en compte. L'hétérogénéité des tissus urbains peut rendre la classification difficile par zone</p>

Retour d'expérience : Le projet ANR-MApUCE (Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat Urbain et Énergie)

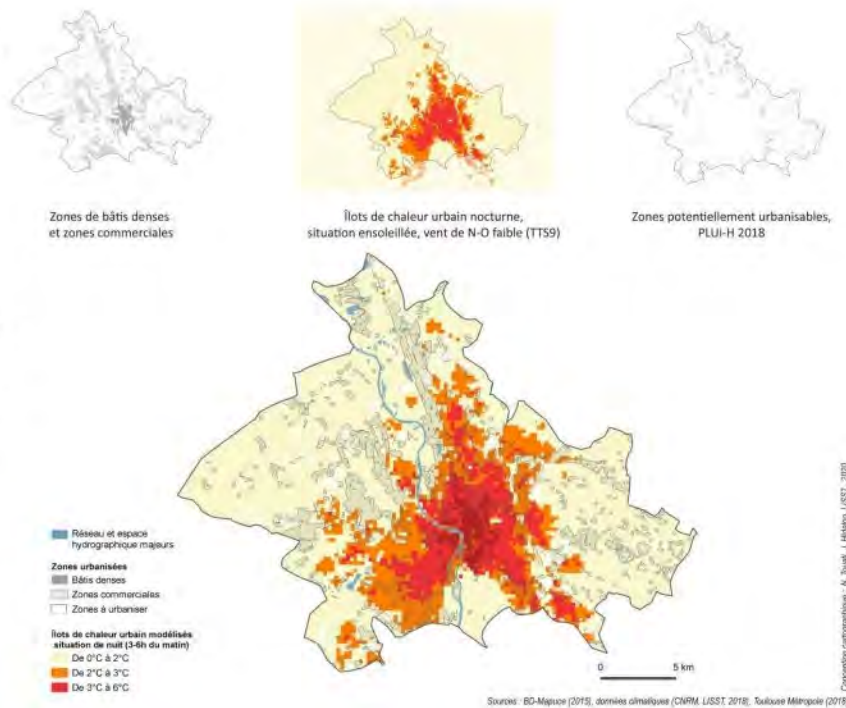
Le projet MApUCE vise à intégrer dans les politiques urbaines et les documents juridiques les plus pertinents des données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie, dans une démarche applicable à toutes les villes de France. Ces données proviennent des simulations du micro-climat urbain et de consommation d'énergie du bâti, réalisées à partir de données climatiques, architecturales, urbaines et sociales, en tenant compte des comportements des usagers des bâtiments.

Figure 16: Expérimentation du projet Mapuce par Toulouse Métropole - CNRM, LISST, 2018

Îlot de chaleur urbain

nocturne, impact de l'urbanisation sur la température de l'air

- Exposition forte de toute la commune de Toulouse et les centres-villes des communes de la première couronne.
- Zone de potentiel basculement (orange) entendue au sud-ouest et autour des centres-villes des communes de première couronne.
- La nuit les zones d'activité situées au nord et à l'ouest ne sont pas exposées
- Éléments naturels (Garonne, reliefs visibles au centre, sud et est).



Sources : BD-Mapuce (2015), données climatiques (CNRM, LISST, 2018), Toulouse Métropole (2018)

Conception cartographique : N. Buis - J. Hédouin, LISST - 2020

II - Pourquoi agir ? Impact sur la santé

1 – Quand parle-t-on de canicule ?

La **canicule**, ou vague de chaleur, est définie en France comme un épisode de températures élevées, de jour comme de nuit, sur une période d'au moins trois jours. Les températures de référence appelées « seuils d'alerte » ne sont pas les mêmes à Brest, Marseille, ou Rodez, en raison de la diversité des climats locaux et de la capacité d'adaptation des administrations régionales et de leurs habitants aux fortes chaleurs.

Le principal danger des canicules réside dans le **coup de chaleur** : une situation d'hyperthermie majeure (température corporelle supérieure à 40 °C). Une personne qui ne transpire pas assez a une température corporelle qui augmente et ne peut se maintenir à 37 °C. Les symptômes sont variés : peau chaude, malaise, étourdissements, nausée, confusion trouble de l'élocution... Ce risque concerne principalement les nouveaux-nés, les jeunes enfants et les adultes particulièrement exposés à la chaleur (sportifs ou travailleurs en extérieur).

Parmi les autres risques sanitaires, on note la **déshydratation**, l'**hyponatrémie**, ou l'**aggravation de pathologies respiratoires et cardiovasculaires**, elles-mêmes renforcées par la pollution de l'air.

L'**hyponatrémie** peut toucher une personne qui boit trop, ce qui peut entraîner un désordre hydro-électrolytique défini par une concentration trop faible en sodium dans le plasma sanguin. Les symptômes sont non spécifiques : nausées, vomissements, dégoût de l'eau, asthénie, céphalées, confusion. Ils peuvent aller jusqu'au décès. Ce risque concerne principalement les personnes âgées ayant une trop grande consommation d'eau non compensée par une alimentation variée.

Inversement, une personne qui transpire et ne boit pas assez se déshydrate (le corps manque d'eau). Ce sont les personnes âgées qui sont les plus exposées au risque de **déshydratation**.

Hyperthermie et déshydratation peuvent conjuguer leurs effets, provoquant un **syndrome d'épuisement par la chaleur**, d'autant plus dangereux que la personne est affectée de maladies cardiovasculaires, respiratoires, ou rénales ou que l'environnement est pollué.

Des épisodes caniculaires comme la vague de chaleur de l'été 2003, qui a provoqué une surmortalité de 15 000 personnes en France, ont été analysés par les scientifiques, ce qui a permis de mettre en place des outils de prévention (Plan Canicule), et de limiter la surmortalité lors des épisodes ultérieurs de canicule (comme en 2006) :

Le niveau 1 (veille saisonnière), est activé automatiquement du 1^{er} juin au 15 septembre, le niveau 2 (avertissement chaleur) correspond à une veille renforcée, correspondant à des actions de communication locales et ciblées.

La vigilance orange canicule (niveau 3) est activée pour un département par le préfet lorsque les températures, pendant au moins 3 nuits, ne descendent pas sous un certain seuil, et, pendant au moins 3 jours, dépassent un certain seuil. Elle prévoit la mise en place d'un numéro « Canicule-Info-Services », une communication rappelant les règles de prévention, un Plan Bleu dans les établissements accueillant des personnes âgées, et des aides aux personnes âgées et handicapées isolés. En cas d'événement extrême, un niveau 4 (vigilance rouge) peut être déclenché, avec activation de la cellule interministérielle de crise.

Le changement climatique expose de plus en plus de populations aux canicules. Ainsi, en Occitanie, un habitant sur deux sera potentiellement exposé à de fortes chaleurs à répétitions dans

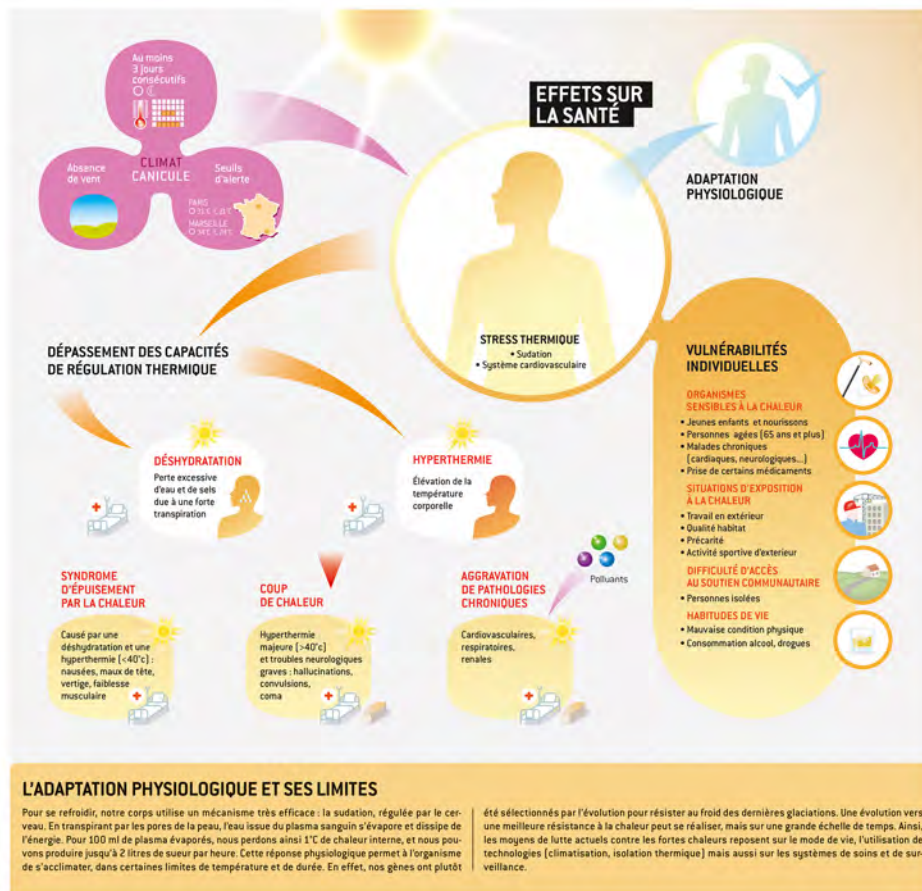
les prochaines années¹². De plus, les modifications du cycle de l'eau liées au changement climatique risquent d'aggraver la fréquence des crues et des inondations. C'est aussi un enjeu de santé, car l'inondation peut augmenter le risque infectieux et parasitaire et induire des stress post-traumatiques. L'INRS établit les niveaux de gravité d'une exposition à la chaleur comme suit :

Tableau n° 4 : Risques pour la santé d'une exposition à la chaleur : symptômes et niveaux de gravité – (Source : inrs.fr)

Niveau	Effets de la chaleur	Symptômes et conséquences
Niveau 1	Coup de soleil	Rougeurs et douleurs, œdème, vésicules, fièvre, céphalées
Niveau 2	Crampes de chaleur, syncope de chaleur	Crampes de chaleur ou spasmes douloureux (jambes et abdomen), transpiration entraînant une déshydratation, syncope de chaleur (perte de connaissance soudaine et brève, survenant après une longue période d'immobilité ou lors de l'arrêt d'un travail physique dur et prolongé)
Niveau 3	Épuisement thermique, déshydratation	Forte transpiration, froideur et pâleur de la peau, pouls faible, température normale
Niveau 4	Coup de chaleur	Température corporelle supérieure à 40,6 °C, peau sèche et chaude, pouls rapide et fort, perte de conscience possible. Décès possible par défaillance de la thermorégulation.

La figure ci-après¹³ illustre les effets des canicules sur la santé.

Figure 17: Effets des canicules sur la santé - Crédit : INSERM



12 INSEE, Analyses Occitanie, N°92, février 2020

13 INSERM – Climat et santé – Quels impacts du changement climatique sur notre santé ?

2 – Quelles sont les personnes vulnérables ?

L'infographie ci-après¹⁴ liste les personnes à risque en fonction de l'intensité de la chaleur :

- Les personnes sans-abri et les personnes en mauvaise santé, ou occupant un habitat surexposé à la chaleur sont vulnérables même sous une chaleur modérée.
- Les travailleurs surexposés à la chaleur, les nourrissons et les personnes âgées, qui résistent difficilement à une chaleur forte,
- Les adultes en bonne santé confrontés à une chaleur intense, qui sont eux aussi en danger, s'ils sont sédentaires et passent beaucoup de temps à l'intérieur, du fait d'une moindre aptitude à l'acclimatation.

Figure 18: Schématisation des niveaux d'acclimatation à la chaleur selon les types de population - Santé Publique France



Notons que des chercheurs, Vicedo Cabra et al, ont estimé à environ 30 % la part du changement climatique dans la mortalité attribuable à la chaleur entre 1990 et 2018, à partir d'une comparaison entre les températures observées et celles attendues en absence de changement climatique dans plusieurs centaines de villes dans le monde.

14 Source : Santé publique France / Évolution de la relation température-mortalité en France depuis 1970, février 2022

3 – Quelle population vulnérable à la canicule sur un territoire donné ?

3.1 – Les populations vulnérables présentes la nuit

La population présente la nuit est constituée des habitants permanents (population des ménages), des populations hébergées dans des institutions (EHPAD, Centres d'hébergement, internats d'établissements scolaires, résidences d'étudiants, Maisons d'Accueil Spécialisées...) et des travailleurs de nuit. Concernant les habitants, il est possible d'identifier les concentrations de personnes potentiellement vulnérables à la chaleur intérieure, notamment nocturne, à travers les données INSEE carroyées (carreaux de 200 m ou de 1 km de côté) du Dispositif Fichier localisé social et fiscal (Filosofi), sous réserve d'un décalage de quelques années (les dernières données disponibles datant de 2017). Ce sont certaines de ces données qui ont été mobilisées dans le cadre de la phase 1 de la présente étude¹⁵, permettant de calculer un indice de vulnérabilité sanitaire (à partir de l'âge), un indice de vulnérabilité sociale (à partir du nombre d'habitants pauvres¹⁶), et un indice de synthèse, dit « de vulnérabilité socio-économique » combinant les deux indices.

En phase 1 de l'étude, cet indice de synthèse avait été croisé avec l'indicateur LCZ construit à partir d'un indicateur morphologique (hauteur du bâti) et de six indicateurs d'occupation des sols. Ce croisement de données avait permis d'identifier les secteurs de forte vulnérabilité potentielle des habitants.

Le risque sanitaire effectif dû à l'excès de chaleur intérieure, notamment nocturne, est cependant très dépendant de l'isolation thermique des logements, avec sans doute un point d'attention sur les logements construits entre 1949 et 1969, lesquels, s'ils n'ont pas été réhabilités, constituent aujourd'hui l'essentiel du bataillon des « passoires thermiques », froides l'hiver, trop chaudes l'été. Dans l'idéal, il faudrait pouvoir combiner ces indicateurs, leurs effets étant cumulatifs. Ainsi, le profil d'habitant potentiellement le plus vulnérable à la surchauffe nocturne est la personne de plus de 80 ans, résidant dans une zone locale de climat de type « ensemble compact d'immeubles » (LCZ 1) ou « ensemble compact de maisons » (LCZ 2) et vivant dans un logement construit entre 1949 et 1969, non réhabilité, non climatisé¹⁷.

Les structures hébergeant des personnes vulnérables (établissements sensibles de par les profils de personnes accueillies), peuvent aussi être répertoriés et géolocalisés : centres d'hébergement et de réhabilitation sociale (personnes sans domicile fixe), hôpitaux et maisons de santé (personnes malades), EHPAD (personnes âgées dépendantes), résidences seniors et béguinages (personnes âgées autonomes), Maisons d'Accueil Spécialisé (personnes handicapées)... Ce sont les établissements visés par le Plan Canicule et pour la plupart d'entre eux, le risque sanitaire lié à des températures nocturnes élevées est pris en compte depuis 2003. Seuls ceux présentant encore une vulnérabilité particulière à ce jour sont donc à considérer, du moins pour les problématiques liées aux conditions thermiques d'hébergement. La concentration de ces populations reste cependant un enjeu important s'agissant de l'environnement de vie « hors les murs » des personnes hébergées, d'autant plus si leur non habitude à des contrastes thermiques et/ou leur mode de vie sédentaire limitent leur capacité d'acclimatation aux températures extérieures.

15 Par souci de simplification, avaient été retenus les variables suivantes : - 5 ans, + 65 ans, ménages pauvres

16 Un individu (ou un ménage) est considéré comme pauvre lorsqu'il vit dans un ménage dont le niveau de vie est inférieur au seuil de pauvreté. En France et en Europe, le seuil est le plus souvent fixé à 60 % du niveau de vie médian.

17 Ce critère est à double tranchant : la climatisation protège les ménages qui en sont équipés de la chaleur intérieure, notamment nocturne, mais entraîne l'extraction d'air chaud vers l'extérieur, et par suite une élévation locale de la température de l'air. Cette solution ponctuelle pour protéger les personnes les plus vulnérables ne peut donc être généralisée, car elle aggrave le phénomène de surchauffe urbaine.

3.2 – L'exposition des populations vulnérables aux fortes chaleurs en journée

La localisation au lieu de résidence ou d'hébergement des personnes vulnérables est un premier élément de repérage des secteurs à enjeu pour la santé humaine, d'autant que ces personnes sont souvent parmi les moins mobiles. Ainsi au-delà des bâtiments où elles résident, l'environnement du quartier, la rue, le square voisin, ou l'itinéraire qu'elles empruntent pour se rendre à la pharmacie ou à la supérette sont des points d'attention.

Dans l'idéal, il conviendrait aussi de pouvoir localiser les personnes vulnérables là où elles se trouvent le jour, notamment aux heures les plus chaudes de la journée : les nourrissons à la crèche, les jeunes enfants à l'école maternelle, les employés du BTP sur les chantiers en plein soleil, les ouvriers, en particulier les seniors, exposés à de fortes températures (ex : sidérurgie, mécanique...) dans les usines, etc. Cela induit un besoin de repérage des établissements sensibles d'accueil de jour, comme les crèches, les centres de protection maternelle et infantile et autres centres-médicaux sociaux, les associations accueillant des publics en mauvaise santé... Certaines zones d'activité représentant un risque sanitaire potentiel lié à la surchauffe diurne du fait d'indices de type indice LCZ élevé, mauvaise isolation thermique des bâtiments et forte concentration de salariés exposés aux températures élevées (du fait des process industriels) peuvent également mériter une investigation particulière, comme c'est le cas de celle initiée sur la zone industrielle de Cantaranne dans le cadre de la présente étude.

4 – Une attention à porter à la qualité de l'air ainsi qu'au confort thermique des espaces publics

4.1 – Mauvaise qualité de l'air et surchauffe urbaine : des effets cumulatifs

L'augmentation des températures engendrée par l'effet d'îlot de chaleur aggrave la pollution atmosphérique et accroît ainsi les effets néfastes du smog sur la santé humaine. Les ICU et particulièrement les canicules se caractérisent entre autres par une stagnation des masses d'air en ville, concentrant les polluants dans l'air, ce qui peut engendrer de graves pathologies respiratoires et cardiovasculaires, comme l'explique l'ADEME Île-de-France.¹⁸

Le smog, composé de particules fines et d'ozone troposphérique, se forme lors de la réaction entre les rayons du soleil, la chaleur et les polluants (oxydes d'azote (NOx) et composés organiques volatils (COV)). Les températures au-delà de 30 °C sont particulièrement favorables à la formation d'ozone au sol, expliquant que l'été soit caractérisé par des niveaux d'ozone plus élevés. En accentuant la chaleur et en accroissant les risques de vagues de chaleur, les îlots de chaleur urbains aggravent donc le phénomène du smog. La recrudescence des problèmes respiratoires aigus, les cas de bronchites, l'athérosclérose, les infarctus, les accidents cérébrovasculaires et les morts subites sont en lien avec l'augmentation des concentrations de polluants dans l'air.

La chaleur accrue a de plus un effet sur la qualité de l'air intérieur. Elle favorise la multiplication des acariens, des moisissures et des bactéries. Certaines substances toxiques, telles que les formaldéhydes, contenues dans les colles utilisées dans la fabrication des meubles et les matériaux de construction, sont libérées lors de fortes chaleurs.

18 ADEME Île-de-France – Guide de recommandations pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain à destination des collectivités locales

4.2 – Environnement urbain et espaces publics : un enjeu capital de santé publique

Il est important de prendre en compte les espaces publics que les personnes vulnérables, et au-delà l'ensemble de la population, fréquentent au quotidien. Le coup de chaleur peut survenir en effet lors d'un déplacement dans un commerce, au jardin public, dans un véhicule surchauffé, etc. Les espaces où l'on patiente, surtout lorsque cette attente est subie, sont de ce point de vue des espaces à fort enjeu : arrêt de bus, place de gare, sorties d'écoles, files d'attente doivent être munis de structures d'ombrage (abris, pergolas, arbres...), tout comme les bancs qui jalonnent le parcours habituel de personnes âgées (dans l'idéal tous les 150 mètres). Des parkings ombragés (via des arbres ou des ombrières) gagneraient à être aménagés sur les parkings d'hôpital ou devant les EHPAD. Les trajets pédestres vers les hôpitaux ou vers les commerces et services de proximité constituent aussi des points particuliers de vigilance (exemple : quartier Bourran à Rodez). Dans les secteurs périurbains ou ruraux où les déplacements en voiture ne peuvent être évités, une polarisation des services et commerces avec cheminements piétons permet la non-reprise du véhicule pour aller de l'un à l'autre et limite en conséquence l'exposition brutale à de forts contrastes thermiques (exemple : Sainte-Radegonde). Par ailleurs, des points d'eau, notamment des fontaines d'eau potable, doivent être mis gratuitement à la disposition de la population comme des touristes, qui doivent pouvoir les localiser facilement (Cf. démarche en cours à l'agglomération de Rodez).

III - Comment agir ? Solutions et exemples

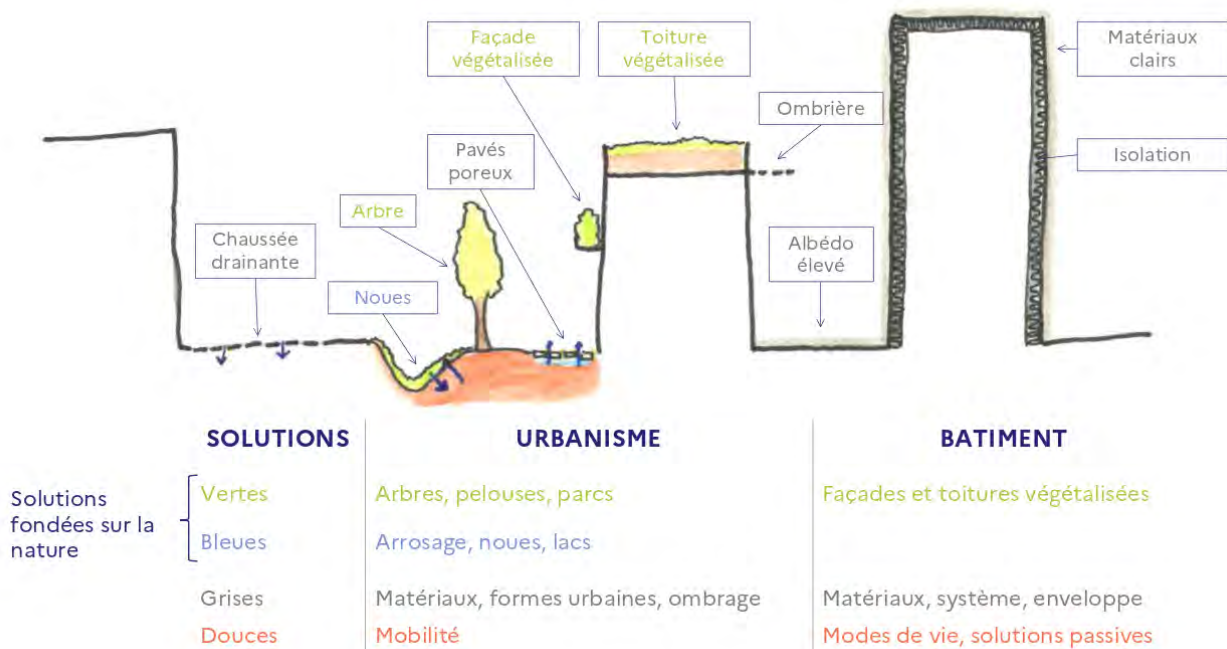
1 – Panorama des solutions

Les différentes solutions¹⁹ permettant de rafraîchir les villes sont classées en trois catégories (classification européenne EEA, 2013) :

- Les solutions vertes : ce sont des solutions fondées sur la nature comprenant l'eau et le végétal.
- les solutions grises : ce sont des solutions techniques relatives aux infrastructures urbaines comprenant le revêtement, le mobilier urbain et les bâtiments
- Les solutions douces : ce sont des solutions basées sur les comportements et la gestion urbaine.

Ces solutions (ou éléments), présentées très brièvement dans la partie I, peuvent être illustrées dans le dessin ci-après (source : Cerema Direction Territoriale Occitanie) :

Figure 19: Solutions de rafraîchissement urbain: les grandes familles



1.1 – Les solutions vertes et bleues

Les parcs

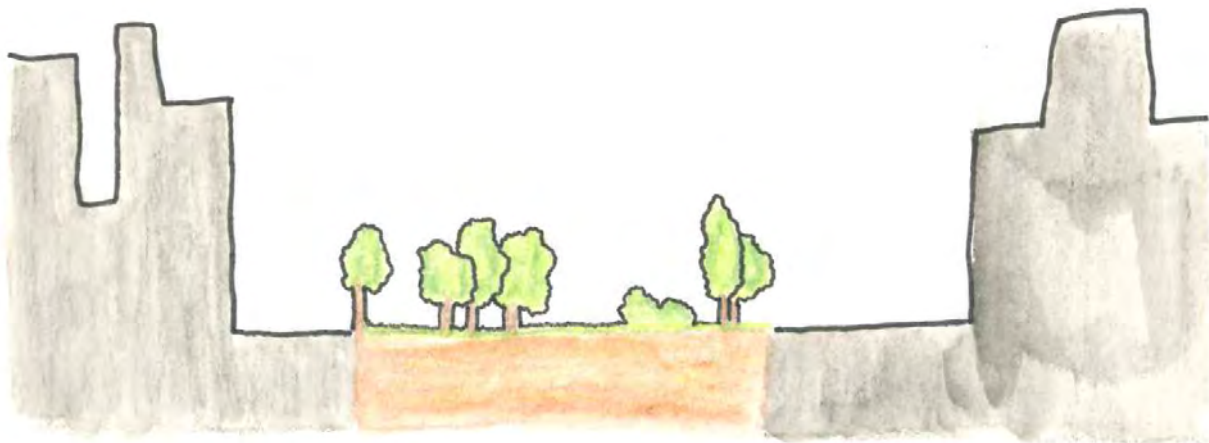
- Échelle d'application : la ville et l'espace public

Ils mettent en jeu les phénomènes d'inertie thermique, d'albédo, d'ombrage, d'évaporation et de vent.

19 Source : « Rafraîchir les villes des solutions variées » - Guide ADEME, Tribu et Cerema

Cette solution est très efficace pour lutter contre les effets des îlots de chaleurs que ce soit à l'échelle du piéton ou de la ville et de jour comme de nuit. Les parcs sont des objets urbains constitués d'espaces végétalisés (arbres, buissons, pelouses) avec éventuellement la présence de surfaces d'eau et de petites infrastructures (cheminements, mobiliers, petites constructions) accessibles à tous. Les parcs ont un fort effet d'îlot de fraîcheur variant selon l'eau disponible pour la végétation, le type de couverture (pelouse ou couverture arborée) et la configuration spatiale (taille du parc, forme du parc, orientation). La taille du parc est corrélée à l'effet de rafraîchissement mais la relation n'est pas linéaire : certaines études²⁰ font apparaître un seuil à partir de laquelle le gain de fraîcheur n'est plus pertinent (de 0,7 ha à 5,6 ha selon les études). La forme du parc est également source de perte d'effet rafraîchissant. En effet des parcs de forme allongée et irrégulière perdent de l'effet en raison d'un trop grand périmètre d'interface avec les zones minérales, ce qui favorise l'entrée d'air chaud. Le type de couverture est lié à l'ombrage que produit le parc. En effet un parc entièrement enherbé et sans couverture arborée sera plus chaud que les espaces minéraux adjacents qui bénéficient de l'ombrage des bâtiments. Les effets au-delà du parc agissent sur une distance de rafraîchissement qui dépend de la couverture arborée et de la forme du parc : par exemple, à Mexico, la distance maximale d'effet de rafraîchissement observé autour du parc est de 2 km²¹.

Figure 20: Illustration parc - Cerema Direction Territoriale Occitanie



Les arbres

- Échelle d'application : la **ville** et l'**espace public**.

Ils mettent en jeu les phénomènes d'**ombrage** et d'**évaporation**.

Cette solution est un peu plus efficace le jour aux échelles de la ville et du piéton. Les arbres peuvent être de trois catégories : les arbres isolés (dans un parc, rue, place), les alignements d'arbre, ou plus largement à l'échelle de la ville comme canopée arborée urbaine qui comprend tous les arbres de la ville. L'arbre a un effet rafraîchissant essentiellement dû à sa capacité d'ombrage (en particulier dans le cas d'arbres isolés). La capacité d'évapotranspiration, quant à elle, peut créer des sensations d'inconfort liées à une augmentation de l'humidité de l'air. À l'échelle de la rue, l'arbre est un bon complément à l'ombrage des bâtiments en particulier dans les rues larges, avec un front bâti bas. Quant au choix des plantations, on peut par exemple s'inspirer du document :

²⁰ G. Yang et al, 2020 à Copenhague et Jaganmohan et al., 2016 à Leipzig

²¹ Yu et al., 2005

Palettes végétales : quels végétaux pour le Languedoc-Roussillon ?²² en adaptant les espèces proposées au contexte ruthénois.

Les pelouses et les prairies

- Échelle d'application : l'**espace public**

Elles mettent en jeu le phénomène d'**évaporation**.

Elles ont un effet de rafraîchissement modéré à l'échelle de la ville et faible à l'échelle du piéton de jour comme de nuit. Les pelouses et prairies sont également appelées espaces enherbés et sont caractérisées par une végétation très basse poussant dans des sols perméables. L'effet de ces surfaces dépend de l'ensoleillement : à ensoleillement égal, un espace enherbé ne modifie pas le confort thermique en espace dégagé. Des effets de rafraîchissement peuvent être ressentis en position assise ou allongé sur les pelouses. Le principal avantage des sols enherbés vis-à-vis de la notion d'ICU vient de l'effet de rupture qu'ils peuvent avoir sur le piégeage du rayonnement solaire, car ils n'émettent pas de rayonnement infrarouge. Ils procèdent d'autres avantages qui relèvent des co-bénéfices.

Les toitures végétalisées

- Échelle d'application : le **bâti**

Elles mettent en jeu les phénomènes d'inertie thermique, d'ombrage, et d'évaporation.

Elles ont un effet de rafraîchissement faible au niveau de la ville et du piéton de jour comme de nuit. Les toitures végétalisées sont définies selon trois catégories en fonction de la hauteur de terre. D'un point de vue plus annexe, elles ont un impact sur l'isolation du bâtiment et sur le confort intérieur des bâtiments.

Tableau n°5 : Catégories de toitures végétalisées

Toitures végétalisées extensives : épaisseur de 8 à 10 cm	Elles ont des effets négligeables sur le rafraîchissement mais sont préférable aux toitures réfléchives à albédo élevé.
Toitures végétalisées semi-intensives : épaisseur de 15 à 30 cm	Elles permettent un rafraîchissement de l'air dû à une végétation plus grande et un fonctionnement plus similaire aux parcs
Toitures végétalisées intensives : épaisseur supérieure à 30 cm	

Les façades végétalisées

- Échelle d'application : le **bâti**

Elles mettent en jeu les phénomènes d'**inertie thermique**, d'**albédo**, d'**ombrage**, d'**évaporation** et de **vent**.

Elles ont un effet de rafraîchissement non significatif au niveau de la ville et faible au niveau du piéton de jour comme de nuit. Les façades végétalisées sont définies comme à la fois les murs de plante grimpantes (plante enraciné dans le sol et grimpant sur la façade), les murs de jardinières (support de plantation posé au sol ou sur les balcons) et les murs vivants qui sont composés d'un substrat fixé sur la façade pouvant accueillir la végétation. Par rapport aux toitures végétalisées elles ont plus d'effets, car elles sont implantées dans des zones accessibles aux piétons. Les effets des façades végétalisées sont une forte réduction des températures de surface des bâtiments

²² <https://www.caue34.fr/productions-caue/quels-vegetaux-pour-le-languedoc-roussillon/>

réduisant le piégeage du rayonnement. Elles ont également des effets sur les bâtiments en tant que protection solaire.

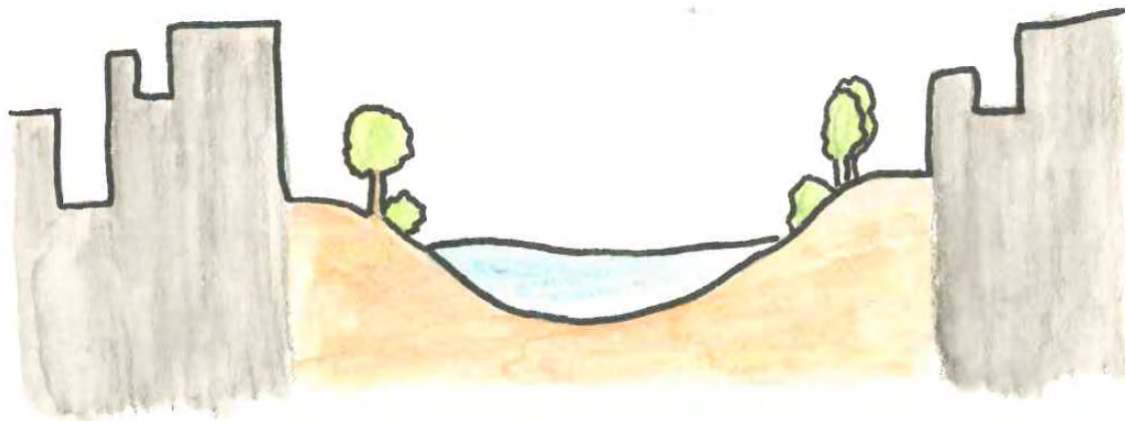
Les plans d'eau et rivières

- Échelle d'application : l'espace public

Ils mettent en jeu les phénomènes d'**inertie thermique** et d'**évaporation**.

Ils ont un effet de rafraîchissement élevé au niveau de la ville et du piéton de jour comme de nuit. Les plans d'eau et rivières sont souvent des éléments déjà présents. Leurs aménagements peuvent avoir de forts impacts (négatif ou positif) sur le rafraîchissement. L'eau joue un rôle de refroidisseur climatique lorsque sa température est inférieure à la température de l'air ambiant. Elle absorbe le rayonnement solaire et son énergie et perd cette énergie par évaporation. Les effets des plans d'eau dépendent de leur taille, de leur forme et de la température de l'air ambiant. En effet, de même que pour les parcs, les lacs ont moins d'effets si leur périmètre d'interface avec l'environnement bâti est important (forme irrégulière ou allongé).

Figure 21: Illustration lac - Cerema Direction Territoriale Occitanie



Les ouvrages paysagés de gestion des eaux pluviales

- Échelle d'application : l'espace public

Ils mettent en jeu le phénomène d'**évaporation**.

Ils ont un effet de rafraîchissement faible au niveau de la ville et du piéton de jour comme de nuit. Les ouvrages paysagers de gestion des eaux pluviales permettent de gérer l'eau de pluie et de favoriser une infiltration ou de ralentir les flux pour l'évacuation. Ce sont, soit des noues paysagères (fossé large et peu profond avec des rives en pente douce), des bassins paysagers (dépression dans le sol permettant de stocker temporairement) ou des jardins de pluie (dépression dans le sol ou jardinière planté de plantes hydrophile qui retiennent les polluants). Les effets de ces ouvrages sont similaires aux prairies avec en plus un abaissement local de la température et une hausse de l'humidité dû à l'évapotranspiration.

1.2 – Les solutions grises

Les formes urbaines bioclimatiques

- Échelle d'application : la **ville**

Elles mettent en jeu les phénomènes d'**albédo**, d'**ombrage**, et de **vent**.

Elles ont un effet de rafraîchissement fort à l'échelle de la ville de nuit comme de jour mais un effet faible voire non significatif à l'échelle du piéton. Elles ont donc un impact fort sur la lutte contre les ICU mais un ressenti immédiat très faible. Les formes urbaines sont un ensemble de voiries, de parcelles, de masses bâties et d'espaces vides qui constitue des tissus urbains plus ou moins denses. À grande échelle, la ville a un albédo effectif faible et absorbe donc la majorité du rayonnement solaire et son énergie, qu'elle diffuse sous forme de chaleur dans l'air ambiant. La forme urbaine favorise le piégeage du rayonnement solaire et perturbe l'écoulement de l'air. Mais les bâtiments sont également sources d'ombrage : ainsi une voirie alignée nord-sud garde un confort thermique favorable, car elle est fortement ombragée par les bâtiments la bordant, au contraire d'une voirie est-ouest qui est très ensoleillée toute la journée. Les formes urbaines en îlot ouvert laissent plus facilement circuler le vent ce qui favorise le rafraîchissement.

Les fontaines et jets d'eau

- Échelle d'application : l'**espace public**

Ils mettent en jeu le phénomène d'**évaporation**.

Ils ont un effet de rafraîchissement non significatif à l'échelle de la ville de nuit comme de jour mais un effet modéré à l'échelle du piéton. Ces dispositifs permettent un rafraîchissement local très ressenti par les piétons. La méthode la plus efficace est la brumisation qui permet de réduire localement la température d'air de 4 °C contre 1 °C pour les surfaces tel que les fontaines.²³ Ce sont des solutions très ponctuelles que ce soit en localisation ou en temps, mais ce sont les solutions les plus plébiscitées par les citoyens.

Les arrosages de l'espace urbain

- Échelles d'application : la **ville** et l'**espace public**.

Ils mettent en jeu le phénomène d'**évaporation**.

Ils ont un effet de rafraîchissement non significatif à l'échelle de la ville de nuit comme de jour mais un effet modéré à l'échelle du piéton. Le but de l'arrosage de l'espace urbain est d'arroser les routes et trottoirs avec pour objectif de reproduire l'effet d'une pluie d'été (via des buses ou des camions). C'est une solution efficace qui diminue fortement la température de surface des espaces urbains mais également la température de l'air ambiant par évaporation. Cette efficacité dépend de l'exposition solaire des surfaces, du type de revêtement, de la durée et fréquence de l'arrosage. Ainsi l'arrosage est le plus efficace en fin de journée pour diminuer les températures de surface et de l'air.

Les structures d'ombrages

- Échelles d'application : l'**espace public** et le **bâti**

Elles mettent en jeu les phénomènes d'ombrage et de vent.

Elles ont un effet de rafraîchissement non significatif à l'échelle de la ville de nuit comme de jour mais un effet modéré à l'échelle du piéton de jour seulement. Les structures d'ombrage sont tout un panel de petites solutions et dispositifs implantés dans l'espace urbain pour créer de l'ombre :

23 Santamouris et al., 2017

pergolas, abris, toiles, voiles d'ombrage, parasols, auvents, marquises accrochées aux bâtiments, galeries, arcades, passages dans les bâtiments. Elles ont les mêmes effets que les arbres sans le principe rafraîchissant de l'évapotranspiration.

Figure 22: Illustration structure d'ombrage - Cerema Direction Territoriale Occitanie



Les panneaux solaires

- Échelles d'application : l'espace public et le bâti

Ils mettent en jeu le phénomène d'**ombrage**.

Ils ont des effets de rafraîchissement non significatifs. Les panneaux solaires sont des dispositifs convertissant l'énergie solaire en eau chaude (panneaux thermique) ou en électricité (panneaux photovoltaïque). Du point de vue du rafraîchissement, les panneaux solaires n'ont un intérêt qu'en remplacement d'une surface à faible albédo, car ils refroidissent beaucoup plus vite, ou en tant que structure d'ombrage.

Les revêtements à albédo élevé

- Échelles d'application : l'espace public et le bâti

Ils mettent en jeu les phénomènes d'**inertie thermique** et d'**albédo**.

Ils ont un effet de rafraîchissement fort à l'échelle de la ville de nuit comme de jour mais un effet faible voir non significatif à l'échelle du piéton. Ils ont donc un impact fort sur la lutte contre les ICU mais avec un ressenti immédiat très faible. Les revêtements à albédo élevé sont des revêtements à fort pouvoir réfléchissant, ils sont souvent de couleur claire. Cette solution est très efficace à l'échelle de la ville, car elle limite le piégeage du rayonnement urbain mais peut avoir des impacts négatifs sur le piéton : sensation de chaleur due au réfléchissement de l'énergie solaire, éblouissement, etc.

Les revêtements drainants

- Échelle d'application : l'espace public

Ils mettent en jeu le phénomène d'**évaporation**.

Ils ont un effet de rafraîchissement non significatif à l'échelle de la ville et un effet de rafraîchissement faible à l'échelle du piéton. Les revêtements drainant sont des solutions alternatives à l'utilisation de revêtement imperméable. Ils réduisent le ruissellement pluvial. Ils permettent la remontée de l'eau de pluie par capillarité et se rafraîchissent par évaporation.

Les revêtements à changement de phase

- Échelle d'application : l'**espace public** et le **bâti**

Ils mettent en jeu le phénomène d'**inertie thermique**.

Ils ont un effet de rafraîchissement faible à l'échelle de la ville et du piéton. Les revêtements à changement de phase (MCP) ont la particularité de changer d'état physique (de solide à liquide) dans une plage de température (10 °C à 80 °C). Ce changement de phase consomme l'énergie thermique et permet qu'elle ne soit pas diffusée dans l'air ambiant par rayonnement.

L'isolation et l'inertie thermique des bâtiments

- Échelle d'application : le **bâti**

Elles mettent en jeu le phénomène d'**inertie thermique**.

Elles ont un effet de rafraîchissement non significatif à l'échelle de la ville mais modéré à l'échelle du piéton. L'isolation par l'extérieur et l'inertie des façades et du toit du bâtiment participent à la réduction de la température de surface de ceux-ci (en plus d'améliorer le confort intérieur).

1.3 – Les solutions douces

La réduction du trafic routier et des moteurs thermiques

- Échelle d'applications : la **ville** et l'**espace public**

Elle met en jeu le phénomène de **chaleur anthropique**.

Cette solution a un effet de rafraîchissement moyen à l'échelle de la ville et faible à l'échelle du piéton de jour et de nuit. Les actions de réduction des émissions de chaleur associées au trafic routier sont de plusieurs types : limitation de la circulation de tous les véhicules motorisés (péages urbains), piétonisation des rues, zones 30, zones de rencontre, gabarit des rues, etc.), limitation des vitesses de circulation, sensibilisation à la conduite économe et à l'utilisation raisonnée de la climatisation, report modal, encouragement à la sobriété des déplacements (ex : mixité fonctionnelle), utilisation de la voiture partagée (aménagement d'infrastructures).

La réduction de l'utilisation de la climatisation

- Échelle d'application : le **bâti**

Elle met en jeu le phénomène de **chaleur anthropique**.

Cette solution a un effet de rafraîchissement moyen à l'échelle de la ville et faible à l'échelle du piéton de jour et de nuit. La climatisation consiste à réguler les conditions climatiques. Les installations les plus courantes sont les systèmes à air sec, lesquels, pour refroidir l'air intérieur, rejettent de l'air chaud en extérieur et contribuent au phénomène d'ICU. Il existe des alternatives : une conception bioclimatique des bâtiments (construction et rénovation), avec une isolation et des protections solaires, l'augmentation des consignes des locaux climatisés (28 °C), les dispositifs de refroidissement géothermique, les réseaux urbains de froid.

Les adaptations individuelles et sociétales aux fortes chaleurs

- Échelle d'application : la **ville**

Elles mettent en jeu le phénomène de **métabolisme**.

Cette solution a un effet de rafraîchissement non significatif à l'échelle de la ville et moyen à l'échelle du piéton de jour et de nuit. L'adaptation aux effets du changement climatique est définie par le GIEC par « la démarche d'ajustement au climat actuel ou à venir, ainsi qu'à ses conséquences ».

2 – Co-bénéfices et impacts des solutions

Dans une approche multicritère les différentes solutions présentent également d'autres bénéfices mais également des impacts sur les enjeux environnementaux sociaux et économique. Les critères pris en considération sont les suivants :

Co-bénéfices :

- Biodiversité : capacité à accueillir la faune, la flore
- Gestion de l'eau pluviale : Capacité à gérer les eaux pluviales et les épisodes orageux
- Séquestration carbone : Capacité à stocker les dioxydes de carbone
- Qualité urbaine et paysagère : Contribution à l'attractivité et à l'esthétique
- Santé : impacts sur la santé hors chaleur (allergies, toxicité, risques infectieux, substances cancérigènes)
- Confort : autre que le confort thermique (acoustique, visuel, etc.)

Tableau n°6 : Effets des co-bénéfices des différentes solutions

Co-bénéfices	Solutions avec effets très positifs	Solutions avec effets positifs	Solutions avec effets négatifs
Biodiversité	Parcs, Arbres, Plan d'eau	Pelouses, Toiture végétalisée, Façade végétalisée, Ouvrage paysager de gestion des eaux pluviales, Réduction du trafic routier	
Gestion de l'eau pluviale	Parcs, Arbres, Plan d'eau, Ouvrage paysager de gestion des eaux pluviales	Pelouses, Toiture végétalisée, Revêtement drainant, Réduction du trafic routier	
Séquestration carbone	Parcs, Arbres	Pelouses, Toiture végétalisée, Façade végétalisée, Plan d'eau, Ouvrage paysager de gestion des eaux pluviales, Réduction du trafic routier	
Qualité urbaine et paysagère	Parcs, Arbres, Pelouse, Façade végétalisée, fontaines, Structure d'ombrage, Réduction du trafic routier	Toiture végétalisée, Ouvrage paysager de gestion des eaux pluviales, Forme urbaine bioclimatique, Panneaux solaires, Revêtements (3 catégories), Réduction de la climatisation	
Santé	Parcs, Réduction du trafic routier	Arbres, Pelouses, Toiture végétalisée, Façade végétalisée, Plan d'eau, Ouvrage paysager de gestion des eaux pluviales, Forme urbaine bioclimatiques, Structure d'ombrage, réduction de l'usage de la climatisation, Adaptation individuelle	Fontaines et jets d'eau, Arrosage de l'espace urbain

Confort	Parcs, Arbres, Pelouses	Toiture végétalisée, Façade végétalisée, Plan d'eau, Ouvrage paysager de gestion des eaux pluviales, Fontaines, Structure d'ombrage, Isolation et inertie thermique, Réduction du trafic routier, Réduction de l'usage de la climatisation, Adaptation individuelle	Arrosage de l'espace urbain, Revêtement à albédo élevé
----------------	-------------------------	---	--

Impacts :

- Empreinte carbone : émission de gaz à effets de serre lors du cycle de vie
- Consommation énergétique : consommation en électricité ou en chaleurs
- Consommation en eau potable
- Ressources : consommation de ressources non renouvelable au cours du cycle de vie
- Coût global : coût direct lié à l'investissement

Tableau n°7 : Impacts des différentes solutions

Impacts	Effets positifs	Effets négatifs
Empreinte carbone	Parcs, Arbres, Pelouse, Plan d'eau, Panneaux solaires, Isolation et inertie thermique, Réduction du trafic routier, Réduction de l'utilisation de la climatisation	Ouvrages paysagers de gestion d'eaux pluviales, Fontaines, Arrosage de l'espace urbain, Structure d'ombrage, Revêtement à albédo élevé, revêtement drainant, Revêtement à changement de phase
Consommation énergétique	Toiture végétalisée, Façade végétalisée, plan d'eau, Panneaux solaires, Revêtement à changement de phase, Isolation et inertie thermique, Réduction du trafic routier, Réduction de l'utilisation de la climatisation, Adaptation individuelle	Fontaines, Arrosage de l'espace urbain
Consommation d'eau potable		Parcs, Arbres, Pelouses, Toiture végétalisée, Façade végétalisée, Fontaines, Arrosage de l'espace urbain, Adaptation individuelle
Ressources	Arbres, Pelouses, Isolation et inertie thermique, Réduction du trafic routier, Réduction de l'utilisation de climatisation	Façade végétalisée, Fontaines, Arrosage de l'espace urbain, Structure d'ombrage, Panneaux solaires, Revêtements (3 catégories)
Coût global	Panneaux solaires, Isolations et inertie thermique, Réduction de la climatisation, Adaptation individuelle	Parcs, Arbres, Pelouses, Toiture végétalisée, Façade végétalisée, Ouvrage paysager de gestion des eaux pluviales, Fontaines, Arrosage de l'espace urbain, Structure d'ombrage, Revêtements (3 catégories)

3 – Déclinaison opérationnelle

La mise en œuvre des différentes solutions précédemment explicitées peut se faire via divers leviers. Ces leviers s'intègrent dans différentes échelles et dans les différentes étapes du processus opérationnel urbain. Ce processus comprend trois étapes :

- **Diagnostiquer** : établir un diagnostic préalable de la surchauffe urbaine
- **Agir et optimiser** : intégrer les solutions de rafraîchissement urbain dans les outils de planification urbaine et stratégique et dans les projets dès les phases de programmation et de conception
- **Évaluer** : Évaluer l'efficacité des solutions et capitaliser les enseignements et bonnes pratiques

Tableau n° 8 : Exemples d'outils et méthodes opérationnels

Solutions	Outils de planification	Outils opérationnels
Parcs, arbres, pelouses, toiture végétalisée, façade végétalisée, plans d'eau, rivières, ouvrages paysagers de gestion des eaux pluviales, revêtements poreux	<ul style="list-style-type: none"> • PCAET, plan climat : actions de rafraîchissement urbain • PLU, PLUI, plan local d'urbanisme: intégration des trames vertes et bleues, coefficient de biotope, coefficient de ruissellement, de pleine-terre, volume de rétention minimal paysagé • OAP, orientations d'aménagement et SPR, secteur patrimonial : préconisations sur la végétalisation, sur la palette végétale • Démarches volontaires : Plan Canopée, Plan arbre, Plan de désimperméabilisation et de végétalisation, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intégrer un bureau d'études spécialisé dans les opérations • Programmation et cahiers des charges des bâtiments, des espaces publics • Labels EcoQuartier et autres • Permis de végétaliser, végétalisation participative, initiatives citoyennes • Aides à la végétalisation et à la désimperméabilisation pour les parcelles privées
Forme urbaine bioclimatique	<ul style="list-style-type: none"> • SCOT : objectifs de densités adaptés • PLU : règlement du bâti, emprise au sol (CES), densité bâtie (COS), hauteurs, prospectifs (H/L) • OAP : principes de composition 	<ul style="list-style-type: none"> • Intégrer un bureau d'études spécialisé • Études de plan masse • Programmation • Cahiers des charges • Labels EcoQuartier et autres
Arrosage de l'espace urbain, brumisateurs, fontaines, structures d'ombrages extérieures		<ul style="list-style-type: none"> • Programmation et cahiers des charges des espaces publics • Intégrer un bureau d'études spécialisé
Revêtements à albédo élevé, matériaux à changement de phase, panneaux solaires, Isolation thermique• PLU, SPR : préconisations sur le traitement des toitures	<ul style="list-style-type: none"> • PLU, SPR : préconisations sur le traitement des toitures • Mise en place d'un référentiel des espaces publics pour le choix des matériaux • OPAH, OPATB, plateformes de rénovation 	<ul style="list-style-type: none"> • Programmation et cahiers des charges des bâtiments, des espaces publics • Intégrer un bureau d'études spécialisé • Aides à la rénovation
• Mise en place d'un référentiel des espaces publics pour le choix des matériaux		
• OPAH, OPATB, plateformes de rénovation		

Réduction du trafic routier, moteurs	<ul style="list-style-type: none"> • PDM : Plan de mobilité • ZFE : Zone à faible émission 	<ul style="list-style-type: none"> • Programmation et cahier des charges des aménagements de voiries : limiter l'emprise automobile
Réduction de l'utilisation de la climatisation		<ul style="list-style-type: none"> • Programmation et cahiers des charges des bâtiments, • Réglementation RE2020 et labels de constructions (HQE, LEED, BREEAM, etc), • Aides à la rénovation
Comportements adaptatifs, politiques d'adaptation aux fortes chaleurs	<ul style="list-style-type: none"> • Plan canicule • Campagnes de sensibilisation • Plan des espaces de fraîcheur de proximité 	<ul style="list-style-type: none"> • Accompagnement des habitants et usagers aux bonnes pratiques

4 – Exemples

4.1 Le réaménagement de la place Francfort à Lyon

Figure 23: Le réaménagement de la place Francfort à Lyon



Avant travaux (août 2016) : un cheminement pour les piétons circonscrit au centre d'une place très minérale



Après réaménagement : un confort d'usage nettement amélioré pour les piétons

La place de Francfort²⁴ se situe au sein du pôle d'échanges de la gare de la Part-Dieu à Lyon, elle-même située dans l'hyper-centre de Lyon. Première gare de correspondance en Europe, cette place draine au quotidien un flux continu et croissant d'utilisateurs prédominé par les piétons. Ainsi, la gare accueille aujourd'hui plus de 120 000 personnes par jour et plus de 200 000 sont prévus d'ici 2030.

Avant réaménagement, la place était principalement revêtue d'un enrobé bitumineux et ne disposait que de 2 % d'espace vert. La place constituait un ICU de 8 500 m².

Le réaménagement de place a été conduit par la société publique de Lyon (SPL) en 2017 et 2018 dans le cadre d'un projet plus large sur Lyon Part-Dieu. Le projet avait entre autres comme objectif d'améliorer le confort général (via un nouveau revêtement pour les piétons, compatible avec la gestion future et les contraintes réglementaires, un nouvel éclairage public, un nouveau mobilier urbain, une amélioration de la signalisation, et la création d'un abri pour les voyageurs) et de réduire l'effet de l'îlot de chaleur urbain (plantation de nombreux arbres, choix de matériaux, gestion alternative des eaux pluviales).

24 (<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/adapter-espace-public-aux-enjeux-climatiques-quel-cout-quels>)

Le projet a bénéficié d'une phase d'expérimentation pour trouver le type de sol le plus adapté à la fois pour la réduction du phénomène d'ICU mais également pour son entretien et son confort.

Les solutions mises en œuvre dans ce projet sont :

– Mise en place d'un dallage gris clair

L'enrobé bitumineux présent dans la configuration initiale de la place, a un albédo de l'ordre de 0,1 et une température de surface pouvant monter à plus de 60 °C au pic d'une journée caniculaire (plutôt en fin de journée). Le granit clair retenu a un albédo compris entre 0.3 et 0.4 et une température de surface atteignant au maximum 40 °C. La chute de la température au sol de 15 à 20 °C entraîne un ressenti de rafraîchissement de 5 à 7 °C à hauteur de piéton selon les critères de l'Universal Thermal Climate Index (UTCI).

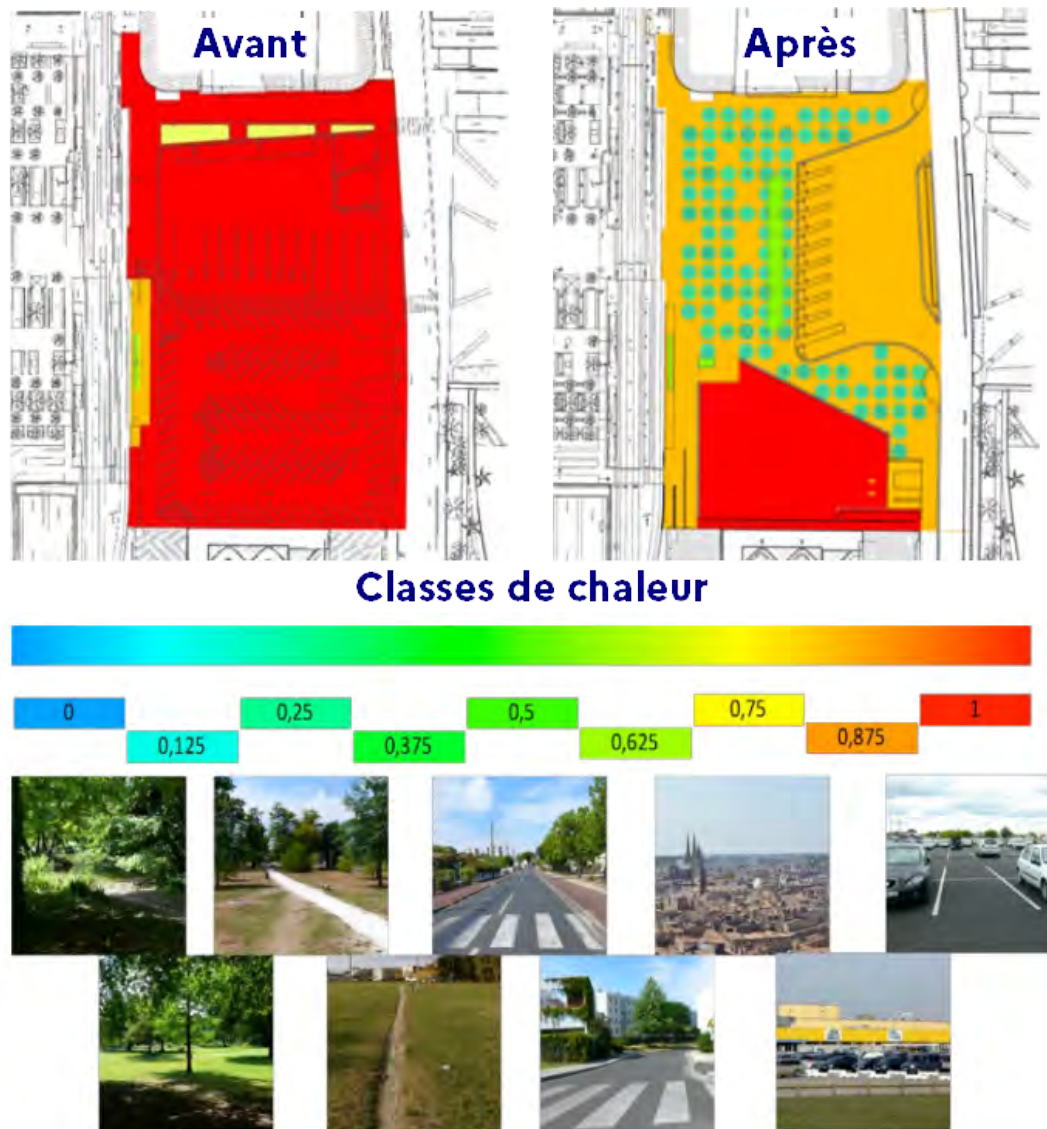
– Recours à une solution d'infiltration des eaux pluviales

La structure mise en œuvre sous le dallage est composée d'une succession de couches drainantes (selon un ordre du sol vers le sous-sol). En surface, l'espace entre les dalles est comblé par un joint poreux assurant l'infiltration dans les couches sous-jacentes composées en premier lieu d'un lit de pose sablé puis d'une couche en béton drainant (granulométrie 16/32). Placé sous le béton drainant, un massif de diffusion (granulométrie 31,5/50) présentant un indice de vide de 30 % assure les fonctions de stockage puis de répartition de l'ensemble des eaux de pluie sur toute la surface de la place. Enfin, le tout repose sur une plateforme homogène de 3 000 m² en mélange terre-pierre présentant un indice de vide de 10 % sur une épaisseur de 1,20 m.

– Implantation de 93 arbres

Les essences d'arbres ont été sélectionnées en raison de leur pérennité et de leur capacité, à résister aux effets des températures chaudes, à fournir de l'ombrage au profit des piétons et à rafraîchir l'air ambiant grâce à l'évapotranspiration qu'elles génèrent. En revanche, il ne s'agit pas d'essences locales.

Figure 24: Aménagement de la place Francfort: Répartition en neuf classes de chaleur de la plus fraîche à la plus chaude



4.2 – Opération « Strasbourg ça pousse »

Il s'agit d'une démarche participative de désimperméabilisation engagée en 2017.

« Strasbourg, ça pousse »²⁵ avait comme objectif une simplification administrative de la procédure de convention permettant aux associations d'utiliser l'espace public pour créer des espaces de jardinage. Une plateforme internet est ouverte à tout citoyen, porteur d'un projet, qui lui permet de faire une demande en ligne de jardins familiaux, jardins partagés, potagers urbains collectifs, jardinage de trottoirs, pieds d'arbre, façades, sur le site Internet suivant : strasbourcapousse.eu

25 (<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/desimpermeabilisation-renaturation-sols#chapters>)

Figure 25: Strasbourg ça pousse



Dès réception du projet, le porteur est convié par la ville à le présenter et si besoin à l'améliorer. Une étude de faisabilité est ensuite engagée comprenant :

- La consultation de tous les concessionnaires réseaux (gaz, électricité...) pour valider la possibilité de plantations ;
- L'assurance du maintien de l'accessibilité (laisser un passage sur le trottoir d'au moins 1,40 m) ;
- La réalisation d'un constat d'huissier quand le projet se trouve non loin d'une façade et d'estimation du coût des travaux (du ressort de la ville).

À l'issue de cette étude, une fiche projet est présentée en commission composée de la chargée de mission ville-nature, des référents « espaces verts » et « ingénierie espaces publics », d'une élue en charge de la thématique, d'une AMO paysagiste/écologue, des services techniques, en lien avec la construction, l'éducation, la communication, la trame verte et bleue ainsi que l'architecte des bâtiments de France.

Les bénéfices pour la commune sont de :

- Développer la Nature en ville, sensibiliser les citoyens au sujet et les impliquer dès le début de la démarche
- Créer un espace fédérateur, nouveau lieu de vie des habitants (point de rencontre des riverains, jardinage urbain, réappropriation de l'espace public)

4.3 – Le réaménagement de la rue Garibaldi à Lyon

La rue Garibaldi a été réaménagée²⁶ pour offrir un partage de l'espace public entre tous les modes de déplacements tout en structurant l'espace par des aménagements paysagers. Les nouveaux carrefours traversant créés à l'emplacement des anciennes trémies ont permis de récupérer environ la moitié des espaces pour d'autres usages et en particulier :

- une promenade piétonne plantée et des espaces publics ;
- un aménagement cyclable double sens, séparé des circulations automobile et piétonne ;
- un aménagement évolutif pour un site propre de transports en commun ;

26 (<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/desimpermeabilisation-renaturation-sols#chapters>)
40/46

- des trottoirs confortables ;
- un bassin enterré récupérant les eaux de pluie.

Figure 26: La rue Garibaldi à Lyon

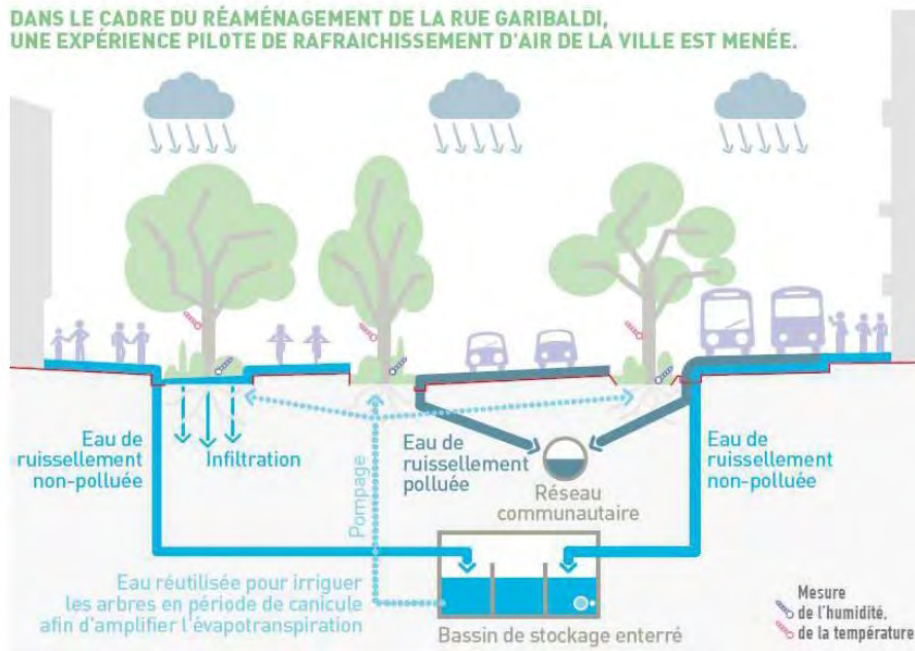


Les bandes plantées, véritables corridors écologiques, sont un lieu de reconquête de la biodiversité mais aussi d'infiltration des eaux pluviales.

La métropole a réalisé les aménagements suivants :

- un bassin de stockage enterré
- des noues pour l'infiltration d'eaux de pluie
- revégétalisation avec 3 strates de végétation adaptée au climat et peu consommatrice en eau

Figure 27: Rue Garibaldi (Lyon): expérimentation pilote de rafraîchissement d'air



Les bénéfices pour la Métropole sont :

Figure 28: La rue Garibaldi (Lyon) avant et après aménagement



Avant

Après

- Une déconnexion du réseau unitaire, évitant ainsi de surcharger davantage le réseau existant par la création d'un bassin enterré.
- Des bénéfices économiques :
 - pas de création de nouvelles conduites d'assainissement ni de station d'épuration,
 - moins de consommation d'eau potable car c'est l'eau de pluie qui est réutilisée.
 - Un espace fédérateur et nouveau lieu de vie
- L'appropriation des nouveaux espaces créés (lieux de rencontre et de vie) par les riverains et usagers qui ont apprécié les nouvelles ambiances diverses (terrasses, bancs, nature et biodiversité).
- La contribution à l'adaptation au

changement climatique

Les aménagements paysagers sont marqués par une forte présence du végétal et une large désimperméabilisation des sols. Ce projet permet d'offrir des îlots de fraîcheur et une réponse aux aléas climatiques.

Bibliographie

- CA Rodez Agglomération / Cerema : Cartographie des ICU , juillet 2021
- INSEE, Analyses Occitanie, N°92, février 2020
- INSERM – Climat et santé : Quels impacts du changement climatique sur notre santé ?
- Santé publique France : Évolution de la relation température-mortalité en France depuis 1970, février 2022
- Guide ADEME : Rafrâichir les villes, Des solutions variées (<https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/4649-rafraichir-les-villes-9791029717475.html>)
- ADEME Île-de-France – Guide de recommandations pour lutter contre l’effet d’îlot de chaleur urbain à destination des collectivités locales
- Guide ADEME : Surchauffe urbaine : recueil de méthodes de diagnostic et d’expériences territoriales (<https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/1812-surchauffe-urbaine-recueil-de-methodes-de-diagnostic-et-d-experiences-territoriales-9791029709234.html>)
- Guide ADEME : Kit des données clés de l’adaptation, Diagnostiquer l’adaptation au changement climatique dans les documents d’urbanisme (<https://librairie.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/3889-kit-des-donnees-cles-de-l-adaptation.html>)
- Webinaires Cerema sur « La résilience urbaine et le confort thermique face aux effets des îlots de chaleur urbains » (<https://www.cerema.fr/fr/actualites/retour-webinaires-resilience-urbaine-confort-thermique-face>)
- Exemple Cerema : la place Delille à Clermont-Ferrand (<https://www.cerema.fr/fr/actualites/fonctionnement-du-phenomene-ilot-chaleur-clermont-ferrand>)
- Exemple Cerema : Le réaménagement de la place de Francfort à Lyon (<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/adapter-espace-public-aux-enjeux-climatiques-quel-cout-quels>)
- Exemples Cerema, lots de fiches : Désimperméabilisation et renaturation des sols (<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/desimpermeabilisation-renaturation-sols#chapters>)
- Impacts du végétal en ville – Fiches de synthèse (https://www.plante-et-cite.fr/ressource/fiche/85/vegudud_impact_du_vegetal_en_ville)
- Palettes végétales CAUE 34 (<https://www.caue34.fr/productions-caue/quels-vegetaux-pour-le-languedoc-roussillon/>)

Index des figures

Figure 1: Projections climatiques sur la ville de Rodez aux différents horizons (2035, 2055 et 2085) – Données issues de DRIAS.....	3
Figure 2: Les quatre sites explorés, leur typologie et l'itinéraire de visite.....	5
Figure 3: Illustration du phénomène d'îlot de chaleur. Réalisation: Cerema / Dter Occitanie.....	6
Figure 4: Confort thermique à l'échelle du piéton.....	7
Figure 5: Facteurs externes et internes du confort thermique.....	7
Figure 6: Les échelles du climat urbain.....	8
Figure 7: Réflexion multiple au rayonnement solaire, interception du rayonnement émis dans la rue (Source : Impacts du végétal en ville – Plante & Cité).....	9
Figure 8: Masque solaire.....	10
Figure 9: Les transferts de chaleur en ville par convection et conduction - Cerema / Dter Occ.....	10
Figure 10: Refroidissement de l'air par évapotranspiration.....	10
Figure 11: Différences de mesures de température de surface entre 2 milieux – Source : Krakow dla Mieszkanow.com.....	11
Figure 12: Les perturbations thermiques dues à l'inertie des matériaux - Cerema / Dter Occ.....	12
Figure 13: Ordres de grandeur d'albedo - Source Johns Hopkins University - Traduction Cerema Dter Occ.....	12
Figure 14: Cartographie LCZ de Rodez Agglomération (à droite), au regard de l'image satellite (à gauche).....	13
Figure 15: Différents capteurs de mesure en ville.....	16
Figure 16: Expérimentation du projet Mapuce par Toulouse Métropole - CNRM, LISST, 2018.....	18
Figure 17: Effets des canicules sur la santé - Crédit : INSERM.....	20
Figure 18: Schématisation des niveaux d'acclimatation à la chaleur selon les types de population - Santé Publique France.....	21
Figure 19: Solutions de rafraîchissement urbain: les grandes familles.....	25
Figure 20: Illustration parc - Cerema Direction Territoriale Occitanie.....	26
Figure 21: Illustration lac - Cerema Direction Territoriale Occitanie.....	28
Figure 22: Illustration structure d'ombrage - Cerema Direction Territoriale Occitanie.....	30
Figure 23: Le réaménagement de la place Francfort à Lyon.....	35
Figure 24: Aménagement de la place Francfort: Répartition en neuf classes de chaleur de la plus fraîche à la plus chaude.....	36
Figure 25: Strasbourg ça pousse.....	37
Figure 26: La rue Garibaldi à Lyon.....	38
Figure 27: Rue Garibaldi (Lyon): expérimentation pilote de rafraîchissement d'air.....	39
Figure 28: La rue Garibaldi (Lyon) avant et après aménagement.....	39



Cerema

CLIMAT & TERRITOIRES DE DEMAIN