

PERSPECTIVES

OBSERVATOIRE PARTENARIALE
ENVIRONNEMENT / JUILLET 2017

VILLES

Quels leviers pour réduire l'îlot de chaleur urbain ?

Par différents processus, les formes urbaines, la présence de végétation, l'utilisation de matériaux de construction adaptés et les usages raisonnés de l'énergie dans les bâtiments contribuent à l'atténuation du phénomène d'îlot de chaleur urbain. Ces différents leviers représentent ainsi des solutions d'adaptation des villes au changement climatique.

Réchauffement climatique et îlot de chaleur urbain : quelles différences ?

ça n'a tout simplement rien à voir ! Le réchauffement climatique est un phénomène atmosphérique global, très lent (à l'échelle du siècle) et causé par les rejets de CO₂ et autres gaz à effet de serre (GES).

L'îlot de chaleur urbain (ICU) est un phénomène atmosphérique local, rapide (quelques heures) mais récurrent, lié à l'imperméabilisation des surfaces qui emmagasinent de la chaleur pendant les journées ensoleillées. Cette chaleur est restituée la nuit suivante, empêchant le refroidissement de l'air en ville. Les rejets de chaleur directs du chauffage ou de la

climatisation contribuent également à ce phénomène.

L'ICU et le changement climatique étant deux processus atmosphériques totalement différents, ils peuvent avoir lieu en même temps !

Les habitants vont ainsi subir la hausse de température due au changement climatique, et celle due à l'ICU.

Une hausse des températures en ville modifie les demandes en énergie pour le confort intérieur (la température absolue est le paramètre majeur) et a potentiellement des impacts sanitaires, en particulier lors de vagues de chaleur, comme en 2003 (là, l'ICU est un bon indicateur).

Toute politique visant à réduire l'ICU participe à atténuer le changement climatique



Le projet ACCLIMAT a pour objectif de donner des outils aux décideurs urbains afin d'adapter l'agglomération toulousaine au changement climatique, à l'horizon de la fin du siècle. Il propose de poser les bases d'un outil de simulation numérique pour tester des mesures d'adaptation, identifier des leviers d'actions et évaluer les résultats de mesures envisagées pour adapter la ville au climat futur.

7 scénarios prospectifs ont été élaborés selon différents niveaux de facteurs considérés comme influents sur la ville (les tendances macro-économiques mondiales, socio-économiques locales, les politiques d'aménagement du territoire...) : scénario 1 « réactif », scénario 2 « réfléchi », scénario 3 « dynamique », scénario 4 « vert », scénario 5 « néfaste », scénario 6 « passif » et scénario 7 « fil de l'eau » (cf. page 7).

La plate-forme ACCLIMAT est constituée :

- d'un simulateur numérique d'expansion urbaine et de climat à l'échelle du siècle,
- d'un outil d'évaluation des mesures d'adaptation de la ville,
- d'un démonstrateur de modélisation intégrée de la ville, modulaire et évolutif.

Un double défi climatique

Sensibilité de la ville au réchauffement climatique
= phénomène atmosphérique global, lent, causé par rejets CO₂ et autres GES

Politique énergétique & réduction des émissions de gaz à effet de serre

Microclimat spécifique à la ville : l'îlot de chaleur urbain
= phénomène atmosphérique local, rapide et récurrent, non causé par rejets CO₂ et GES

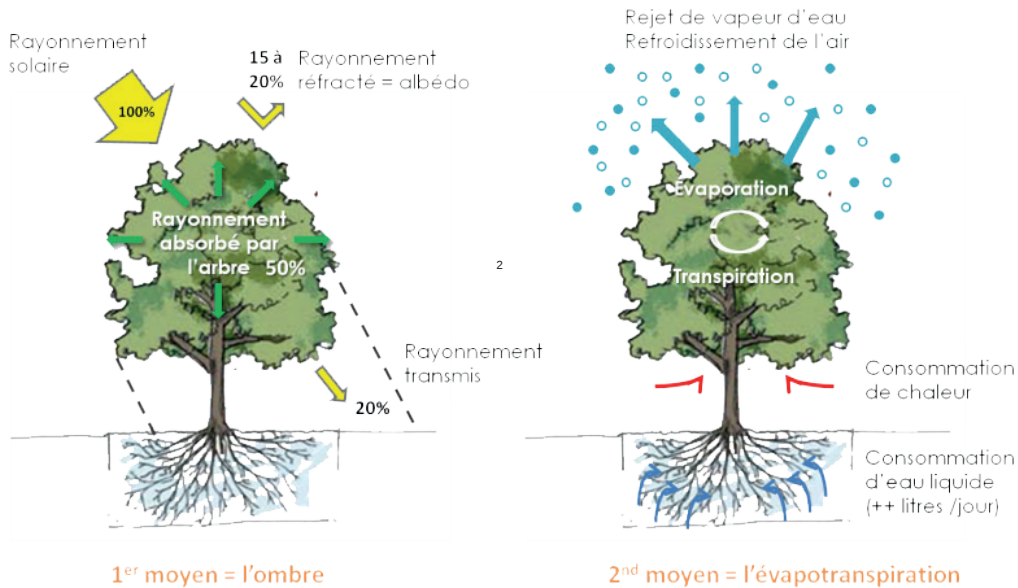
Politiques territoriales & urbaines

Le verdissement en milieu urbain, une stratégie aux nombreux avantages

La végétation joue un rôle essentiel de protection contre la chaleur grâce au phénomène d'évapotranspiration et d'ombrage des sols et des bâtiments, qui permet à l'air ambiant de se refroidir.

L'arbre un outil efficace contre les îlots de chaleur urbains

source : <http://www.arbre-en-ville.fr/>



Outre cette fonction « rafraîchissante », le processus de végétalisation en milieu urbain présente également l'avantage de résoudre ou d'améliorer d'autres problématiques urbaines telles que la gestion des eaux pluviales ou la qualité de l'air (selon la configuration, le type de végétation...), pour ne citer que ces deux exemples.

Les effets sur l'ICU seront différents selon les types de végétation que l'on met en place : sols et pelouses, arbres, toits végétalisés, façades végétales, parcs. L'effet de fraîcheur que peut ainsi procurer une surface plantée d'arbres est beaucoup plus perceptible que pour un terrain enherbé.

Cependant les conditions environnementales des arbres en milieu urbain modifient leur croissance et par conséquent leur performance de rafraîchissement. Les arbres, ayant poussé dans des sols drainant, ont des vitesses de croissance deux fois supérieures et un potentiel de rafraîchissement évapotranspiratif cinq fois supérieur, à ceux dont la croissance s'est faite en sol compacté sous pavés.

On peut également opter pour une superposition de plusieurs strates végétales, arborée, arbustive et herbacée afin d'offrir une palette végétale variée en milieu urbain.



Toiture végétalisée : tapis de sedum en fleur sur le restaurant universitaire du Mirail. L'énergie du soleil est stockée par les plantes et le substrat, elle ne participe ni au réchauffement de l'atmosphère, ni à celui du bâtiment.

Source : vegetalid.



Revêtement par du lierre directement sur la façade. Paris 16^e arrondissement

Source : Biodiv'ille

Médiathèque José Cabanis de Toulouse.

Mur végétalisé « vivant » constitué de plantes ancrées sur un substrat fixé au mur.

Ce dispositif nécessite l'ajout d'un système d'irrigation. Parmi les techniques de mur végétalisé, celle-ci permet un effet maximum sur l'atténuation du phénomène d'ICU.

Source : In 'Flor



Le maintien de l'eau en ville, un atout majeur pour lutter contre les îlots de chaleur

La présence de l'eau est un levier à développer pour rafraîchir et réduire le stockage de chaleur en ville. L'eau constitue une source de fraîcheur grâce au phénomène d'évaporation. Au cours de ce processus, l'air ambiant se rafraîchit en cédant une partie de sa chaleur pour permettre l'évaporation.

Un lien s'établit entre les températures de surface et l'occupation du sol, entre les zones bâties et non bâties. Les premières habitations proches d'un cours d'eau bénéficient d'un apport de fraîcheur existant le long du tracé du cours d'eau. Les surfaces en eau et végétalisées se réchauffent moins vite. Leur présence limite l'élévation de la

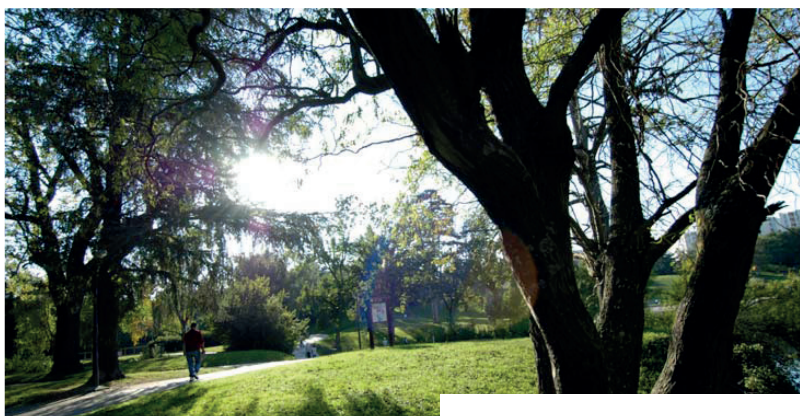
température que d'autres matériaux induisent (bitume, brique, béton...), et permet de maintenir un couloir de fraîcheur dans le tissu urbain.

La gestion et la récupération des eaux pluviales à la parcelle peuvent être un principe à retenir pour favoriser les puits de fraîcheur et contribuer à la limitation de l'ICU. En effet, la gestion des eaux pluviales peut être modifiée pour retenir l'eau en ville, par la perméabilisation des surfaces, la canalisation naturelle et la création de bassins de rétention. Ces plans d'eau, en plus de rafraîchir leur environnement, contribuent à varier les ambiances et les esthétiques à travers la ville et favorisent la biodiversité.



Le projet ACCLIMAT a montré que les scénarios qui font la part belle au verdissement urbain sont ceux pour lesquels l'îlot de chaleur

est le plus faible, même s'il se maintient dans le centre historique. Cependant, le scénario 4, « vert » et en expansion forte, présente un îlot de chaleur similaire aux scénarios 1 « réactif » et 2 « réfléchi » à faible expansion. L'accroissement de population ayant en grande partie lieu dans les villes définies comme polarisantes, il n'influe que peu l'îlot de chaleur.



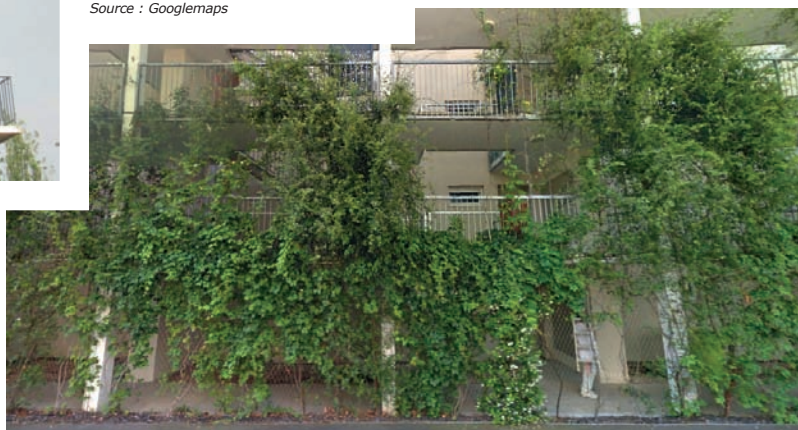
Parc de la Reynerie à Toulouse.
Les parcs urbains peuvent avoir un effet sur le climat pouvant atteindre 6°C par rapport aux rues voisines.
Source : toulouse.fr



Fossé enherbé permettant l'infiltration naturelle des eaux pluviales – ZAC Andromède à Beaulieu et Blagnac
Source : <http://www.ecoquartier-andromede.fr>



Façade constituée de plantes grimpantes enracinées au sol sur une structure à distance de la paroi. Rue Newton à Blagnac
Source : Googlemaps



Aménagement paysager intégrant l'eau avenue de la Garonne à Toulouse
Source : Wikipédia

Les formes urbaines, entre densification et limitation du phénomène d'îlot de chaleur urbain

Effet de la ventilation selon la forme urbaine observée :

Rue étroite peu ventilée



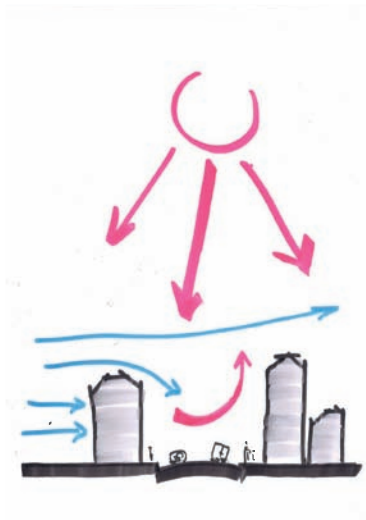
La taille, la forme et l'agencement des constructions comme celles des axes de circulation, modifient de façon singulière les apports solaires, les écoulements du vent et, par conséquent, les bilans d'énergie propres à un espace urbain.

Selon les formes urbaines, la chaleur peut s'accumuler, rester captive ou au contraire être évacuée par le vent. Par exemple, une configuration de rues étroites, entourées de hauts bâtiments, peut nuire à la bonne ventilation, car elle crée des « canyons » où se stocke la chaleur occasionnée par le rayonnement solaire ou les activités humaines.

Ainsi il existe des variations de température selon le type d'aménagement. Dans les villes denses, les surfaces imperméables et les bâtiments vont concourir à chauffer l'air, mais vont surtout se réchauffer et stocker beaucoup d'énergie. Cet effet de stockage d'énergie est fortement influencé par la géométrie 3D de la ville.

Plus généralement, les lieux fortement minéralisés comme le centre-ville, les zones industrielles et les centres commerciaux sont souvent associés à des températures plus élevées que des secteurs en partie ou intégralement végétalisés comme les parcs, les terres agricoles, les forêts et les plans d'eau qui ont des températures plus fraîches.

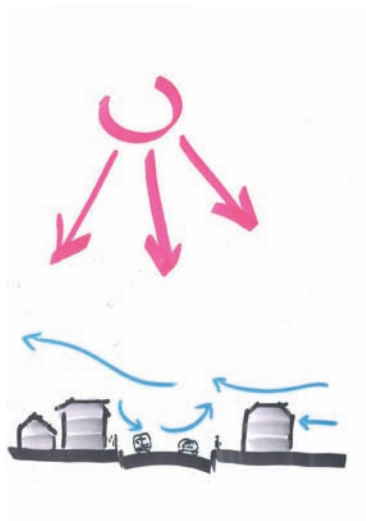
Îlot de chaleur atténué par une rue large et des immeubles de faible hauteur



Les politiques de planification urbaine peuvent favoriser le confort thermique des citoyens en intégrant les préoccupations suivantes :

- Un aménagement urbain intégrant une bonne circulation des vents en période estivale, combinée à l'aménagement d'espaces verts rafraîchissants (jets d'eau, chutes et fontaines) ;
- L'aménagement, la bonne répartition et la sauvegarde des espaces verts, reliés entre eux par des passages végétalisés au travers des villes, facilement accessibles aux piétons, et des grands espaces verts situés en amont de la ville dans l'axe des vents dominants contribuent au rafraîchissement de l'air ;
- L'aménagement de trajets continus destinés au transport actif (vélo, marche à pied) permettant l'accès aux aires récréatives ainsi qu'aux différents services, équipements, commerces de proximité ;
- La promotion du transport en commun et la limitation de l'utilisation des véhicules personnels.

Espace public librement ventilé par les courants d'air



Source : aua/T



Le projet ACCLIMAT a montré que les formes urbaines ont une influence sur le phénomène d'ICU.

Le scénario 3 « dynamique » présente un réchauffement des banlieues en été, du fait de la forte minéralisation des surfaces (un peu comme dans les villes américaines qui ont un ICU en général plus fort qu'en Europe).

Par contre, l'ICU diminue en hiver. Ceci s'explique par la transformation du centre ancien en hautes tours (comme l'esplanade de la Défense) : le vent a alors plus de prise pour ventiler et refroidir les espaces urbains et diminuer, en hiver, le confort des usagers de ces espaces.

Le projet ACCLIMAT a montré que plus une ville est peuplée, plus elle a tendance à produire un ICU important.

À Paris, il peut atteindre, la nuit, 10°C par rapport à la campagne. Une ville comme Toulouse aura un ICU de l'ordre de 5 à 6°C maximum.

Le scénario 3 « dynamique », fortement peuplé, produit un ICU en été plus important que le scénario 1 « réactif » qui est moins peuplé car en crise. Autre exemple : le scénario 7 « fil de l'eau » augmente l'ICU de 1,5°C en été par rapport à la ville actuelle, du fait de la hausse de population (950 000 ménages au lieu d'environ 550 000 aujourd'hui).

Une nouvelle échelle d'intervention : le projet architectural

Les caractéristiques et propriétés physiques des matériaux urbains influencent grandement l'effet d'îlot de chaleur. L'ICU est également aggravé par les déperditions de chaleur des bâtiments.

Albédo et inertie thermique

Deux paramètres influent sur le comportement des matériaux face à la chaleur : l'albédo et l'inertie thermique.

Les différentes surfaces, dépendant des matériaux qui les composent, n'ont pas les mêmes capacités d'absorption ou de réflexion des rayons solaires. La mesure de la portion des rayons réfléchis par une surface, par rapport aux rayons solaires incidents, s'appelle l'albédo.

L'albédo s'exprime en fraction de 0 à 1. Plus l'albédo est bas, plus la surface absorbe les rayons. Et plus un matériau absorbe les rayons du soleil, plus il accumule et émet de la chaleur. Les nombreuses surfaces artificielles des milieux urbanisés sont en grande partie composées de matières minérales, tels l'asphalte, le goudron, le gravier et le béton, toutes ayant de faibles albédos. La multiplication de ces surfaces (routes, aires de stationnement, toits goudronnés, murs de briques, etc.) est l'un des plus importants facteurs de création des îlots de chaleur urbains.

L'inertie thermique joue également un rôle déterminant dans le processus. Le principe d'inertie thermique peut se résumer comme la capacité d'un matériau à accumuler, puis à restituer un flux thermique. Plus le temps d'absorption et de restitution est long, plus le matériau est thermiquement inerte. Un matériau à forte inertie implique donc qu'il met un temps élevé à se réchauffer de manière uniforme, mais qu'à l'inverse, il met tout autant de temps à se refroidir, et contribue donc fortement à la création d'ICU.

Isolation et étanchéité

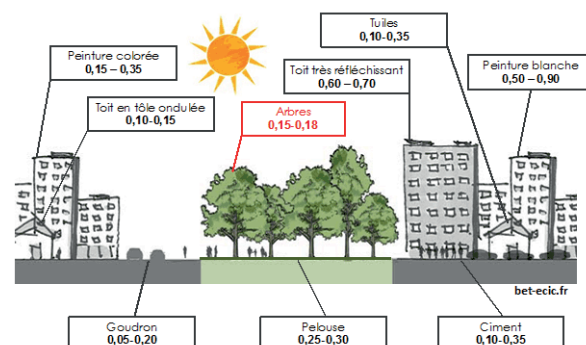
Les déperditions de chaleur des bâtiments participent à l'augmentation des consommations énergétiques en hiver. L'une des possibilités pour les réduire est alors d'utiliser des techniques permettant de limiter le phénomène et ainsi d'améliorer le confort thermique intérieur. Pour cela l'isolation et l'étanchéité des bâtiments sont essentiels.

L'isolation du bâtiment est assurée lorsque l'enveloppe ne présente pas ou présente peu de ponts thermiques. Les ponts thermiques sont des défauts de conception ou de réalisation de l'enveloppe isolante, qui laissent s'infiltrer la chaleur dans le bâtiment en été et le froid en hiver. Ils sont source d'inconfort thermique et de surconsommation d'énergie (chauffage et climatisation).

Les vitrages sont les points faibles de l'isolation thermique d'un bâtiment en été comme en hiver. Il est cependant possible d'améliorer la performance de l'isolation thermique en faisant des choix techniques spécifiques.

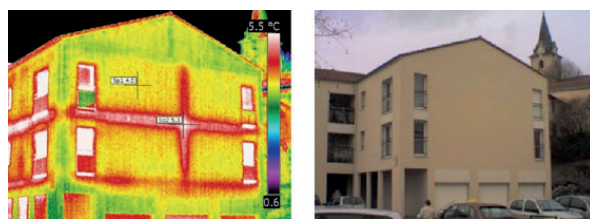
Valeur de l'albédo de différentes surfaces

Source : bet-ecic.fr



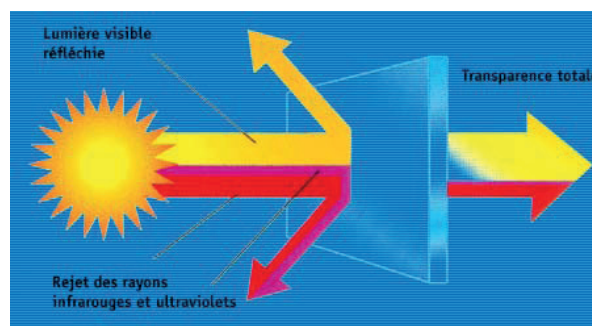
Ponts thermiques en façade révélés par une caméra thermique

Source : <http://www.ctta.fr>



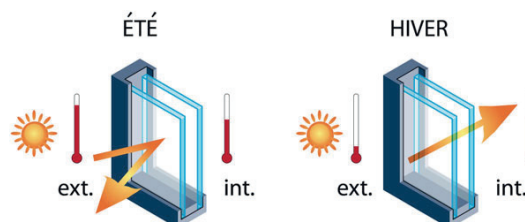
Films plastiques autocollants bloquant 98 % du rayonnement UV et 75 % de la chaleur solaire thermique

Source : <http://www.hellopro.fr/film-de-protection-pour-vitrage-habitat-2008675-393317-produit.html>



Vitrages doubles ou triples avec lame d'air. Les déperditions énergétiques sont de 75% moins qu'en simple vitrage

Source : http://conseils-thermiques.org/contenu/ouvrant_double_vitrage.php



Le projet ACCLIMAT a montré que l'isolation des murs par l'extérieur empêche le stockage de la chaleur dans les matériaux. L'utilisation des peintures réfléchissantes renvoie le rayonnement solaire et limite l'énergie stockée dans les matériaux.

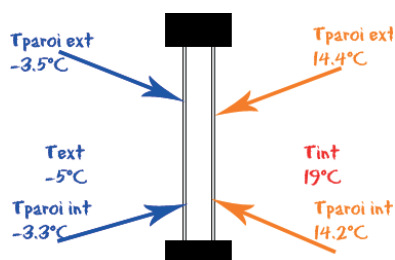
Ainsi, pour le scénario 5 « néfaste », sans rénovation du bâti et en crise (700 000 ménages), l'îlot de chaleur en été augmente autant que pour le scénario 7 « fil de l'eau » bien plus peuplé.

En hiver, l'îlot de chaleur est même plus chaud (+0,5°C) pour le scénario sans rénovation.

Vitrages antiémissifs intelligents

capable de bloquer jusqu'à 62% de l'énergie solaire en été et de laisser passer un maximum de rayonnements solaires en hiver

Source : <http://www.deltapvc.com/fenêtres/>



Le bioclimatisme : une alternative à l'usage du chauffage et de la climatisation

L'îlot de chaleur peut être accentué par des rejets de chaleur liés aux activités humaines, en particulier ceux dus au chauffage et à la climatisation. Le phénomène d'ICU sera renforcé dans les prochaines décennies avec le changement climatique. On observe déjà depuis la moitié du XX^e siècle des étés de plus en plus chauds avec une augmentation des vagues de chaleur estivales (source : Météo France).

En période estivale, afin d'assurer un confort thermique, les climatiseurs sont souvent employés au domicile, au travail, dans les lieux publics et même dans la voiture. En plus de la grande demande en énergie qu'elle crée, une climatisation accrue et généralisée peut entraîner des impacts accentuant l'îlot de chaleur urbain : la climatisation à grande échelle peut occasionner, entre autre, la production de chaleur anthropique, par extraction de l'air chaud de

l'intérieur du bâtiment vers l'extérieur. De plus, le processus de climatisation (compression et condensation) émet de la chaleur.

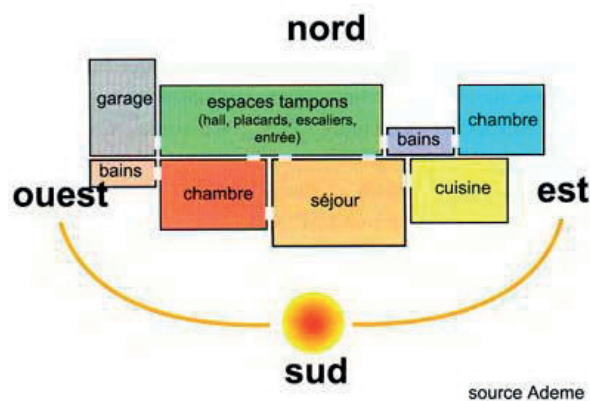
Les besoins en climatisation mais aussi en chauffage seront grandement diminués dans le cas d'un bâtiment bien isolé pensé en bioclimatique. L'architecture bioclimatique peut se définir comme l'adaptation de l'habitat au climat environnant. Elle tire parti du climat pour assurer le confort de l'occupant : se protéger du froid et capter les apports solaires en hiver, se protéger du soleil et garder la fraîcheur en été. Simplement orientée plein Sud, en retenant les matériaux adéquats, en fonction de l'environnement, de la situation géographique, la maison devient apte à capter intelligemment l'énergie naturelle, l'emmagasiner, puis à la transformer, pour ensuite la diffuser à l'intérieur de la maison.

Les principes de l'architecture bioclimatique :

1. L'orientation et les ouvertures : grandes et larges ouvertures au Sud, rares ouvertures au Nord et peu d'ouverture à l'Est et à l'Ouest.



2. Des apports gratuits : au sud, les ouvertures permettront aux pièces de vie de profiter au maximum des apports passifs. Des volets, avancées de toitures ou encore brises soleil extérieurs permettront de se protéger des surchauffes en été.



3. La répartition des pièces et la compacité : les pièces de vie sont du côté sud, tandis que les pièces annexes (par exemple les chambres), sont placées côté nord.

A noter :

Une maison n'est pas dite bioclimatique parce qu'elle comprend des équipements du type, panneaux solaires, panneaux photovoltaïques, pompe à chaleur... Elle l'est par sa conception, son orientation, son intégration à l'environnement et au terrain de façon, à tirer parti au maximum des apports de chaleur extérieurs et intérieurs en période froide et au contraire à se protéger de la chaleur l'été.



Pour le projet ACCLIMAT les rejets de chaleur dus au chauffage et à la climatisation contribuent à l'îlot de chaleur, mais légèrement. Ainsi, chauffer plus les bâtiments (scénario 7 « fil de l'eau ») induit un îlot de chaleur hivernal un peu plus élevé (quelques dixièmes de degrés) que lors d'une utilisation économe de chauffage (scénario 6 « passif »).

Le projet ACCLIMAT : prospective territoriale et adaptation au changement climatique

Simuler la ville pour le climat futur

Relever le défi climatique impose d'engager des mesures d'adaptation afin d'atténuer les effets néfastes du réchauffement climatique sur la population, l'économie et l'environnement. La question se pose particulièrement à l'échelle de la ville, système complexe en évolution constante, soumis à un microclimat spécifique : l'îlot de chaleur urbain.

Le projet ACCLIMAT (Adaptation au Changement Climatique de l'Agglomération Toulousaine 2010-2013) vise à étudier les interactions entre les processus de développement urbain et de microclimat urbain, pour quantifier certains impacts du changement climatique. Les constantes de temps propres au changement climatique et à l'évolution des villes amènent à raisonner à l'échelle du siècle.

La plateforme ACCLIMAT, démonstrateur créé dans ce cadre à l'échelle de l'agglomération toulousaine, a pour objectif de doter les décideurs urbains d'un nouvel outil de simulation numérique de l'expansion urbaine et du climat

d'ici la fin du XXI^e siècle, pour tester et évaluer les mesures d'adaptation prises à travers des choix d'aménagement urbain, et identifier ainsi les leviers d'actions les plus pertinents.

Des scénarios pour Toulouse jusqu'en 2100

A l'instar d'une démarche prospective menée dans le cadre de l'élaboration d'un SCoT, des scénarios prospectifs d'évolution ont été élaborés selon 4 niveaux de facteurs considérés comme influents sur la ville : les tendances macro-économiques mondiales, les tendances socio-économiques locales, les politiques d'aménagement du territoire, ainsi que les avancées technologiques liées à l'énergétique du bâtiment.

Par une approche originale, combinant récits narratifs et simulation numérique, 7 scénarios systémiques ont été construits, sous le pilotage de l'aua/T partenaire du projet. Ils représentent 7 futurs possibles et contrastés pour l'agglomération toulousaine, mis en cohérence avec des scénarios climatiques locaux élaborés à partir

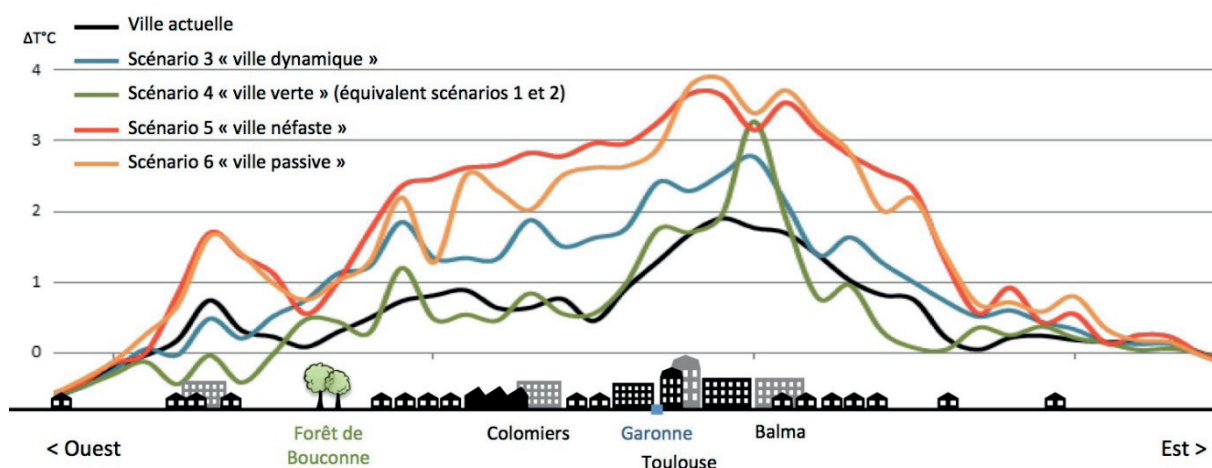
du 4^e rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

En couplant un modèle socioéconomique d'expansion urbaine à un modèle géographique d'occupation des sols, le projet a fait évoluer les projections d'évolution de la ville jusqu'à la fin du XXI^e siècle. Complémentaire, un modèle de morphologie urbaine a proposé une évolution des types d'îlots urbains, de leur forme architecturale et du taux de végétation. Des modèles de météorologie et d'échanges d'énergie entre la ville et l'atmosphère ont permis de modéliser, à l'échelle de la ville, l'impact du changement climatique et de l'urbanisation sur le climat local et son évolution.

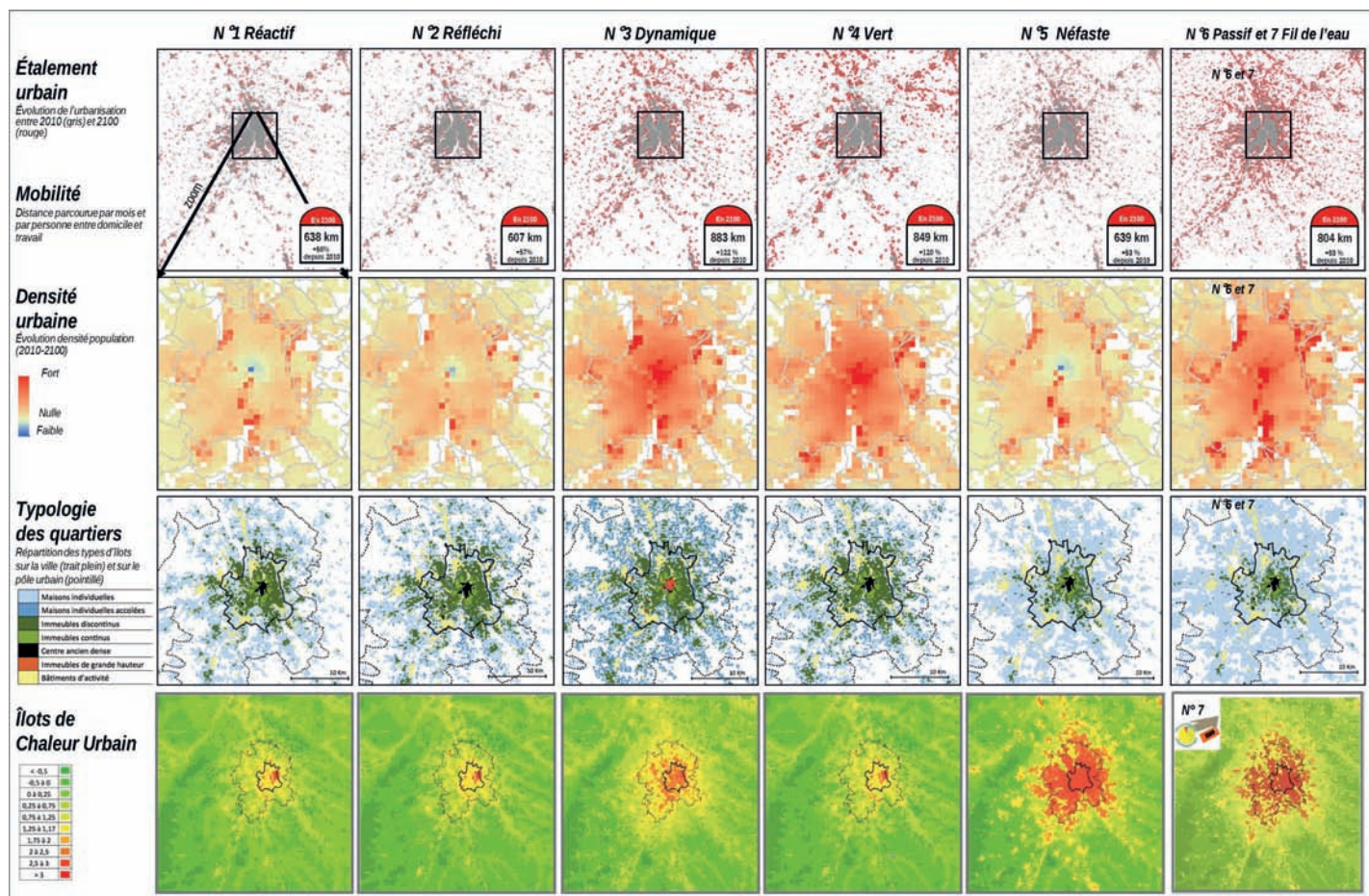
ACCLIMAT a permis d'apporter de nouveaux éclairages sur les impacts à très long terme de leviers d'aménagement urbain : ceinture verte, végétation en ville, comportement des usagers, rénovation des bâtiments existants, mais surtout sur la nécessité de mettre en œuvre, sans tarder, une politique ambitieuse d'urbanisation pour réellement adapter la ville de demain au changement climatique.

Coupe transversale de l'îlot de chaleur urbain en climat présent

Source : ACCLIMAT-Adaptation au Changement CLIMatique et l'Agglomération Toulousaine



Comparaison des 7 scénarios systémiques : image en 2100, aménagement du territoire, mobilité, morphologie des quartiers et îlots de chaleur urbain



ACCLIMAT

Le projet ACCLIMAT a montré que la forme urbaine la plus à même de limiter le phénomène d'îlot de chaleur urbain, malgré l'augmentation des températures due au réchauffement climatique, serait une ville contrôlant son expansion urbaine, privilégiant les multipolarités urbaines (seules les communes situées à moins de 15 minutes en transport en commun sont autorisées à se développer), une architecture compacte et la végétalisation de ses espaces publics.

ACCLIMAT a bénéficié d'une aide de la Fondation de Coopération Scientifique STAE Toulouse.

Pour en savoir plus

- Projet ACCLIMAT : <http://www.umar-cnrm.fr/ville-climat/spip.php?rubrique46>

Partenaires :

- Météo France – coordinateur scientifique
- aua/T : agence d'urbanisme et d'aménagement Toulouse aire métropolitaine
- CERFACS : Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique
- CIREN : Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement
- GEODE : Géographie de l'Environnement
- LRA : Laboratoire de Recherche en Architecture
- IMT : Institut de Mathématiques de Toulouse
- ONERA : Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales

Publications sur le site de l'aua/T :

- Adaptation au Changement CLIMatique de l'Agglomération Toulousaine : <http://www.aula-toulouse.org/spip.php?article518>
- CLIMAT/iser la planification : <http://www.aula-toulouse.org/spip.php?article1185>
- Observer l'environnement en ville : <http://www.aula-toulouse.org/spip.php?article870>

aua/T

Agence d'urbanisme et d'aménagement Toulouse aire métropolitaine
Le Belvédère - 11 bd des Récollets - CS 97802 - 31078 Toulouse cedex 4 - Tél. 05 62 26 86 26 - www.aula-toulouse.org