

L'îlot de chaleur urbain à Paris

Un microclimat au cœur de la ville

Météo-France et l'Agence Parisienne du Climat : un partenariat fondamental pour appréhender la question du changement climatique à Paris.

Météo-France, membre Fondateur de l'APC, s'est engagée parmi les premiers à soutenir la création de l'Agence Parisienne du Climat.

Au travers de ce partenariat Météo-France et l'APC souhaitent construire et diffuser un socle de connaissances sur le changement climatique appliqué à l'échelle métropolitaine.

Des références scientifiques appliquées au territoire qui doivent permettre à chacun de mieux comprendre le phénomène et ses conséquences afin de développer les solutions appropriées pour agir :

Des bulletins climatiques parisiens par saison et annuels pour donner les éléments de compréhension des phénomènes climatiques observés sur le territoire parisien et passer :

- du ressenti à la réalité des faits
- de l'immédiat à une mise en perspective par rapport aux années passées
- de la météorologie à la climatologie

Retrouvez les bulletins précédents sur la page [changement climatique à Paris](#).

Des brochures pour expliquer le changement climatique à l'échelle du territoire parisien avec pour ambition de :

- Donner les clefs de lecture des phénomènes climatiques sur le territoire parisien
- Comprendre l'évolution du changement climatique à l'échelle locale
- Présenter l'état de l'art des réflexions en cours et des pistes d'actions

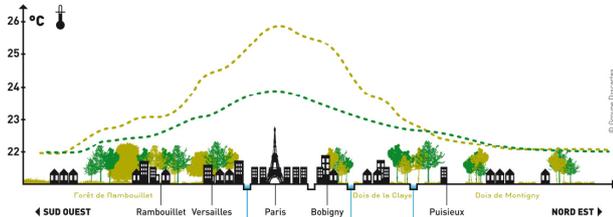
Consultez la première publication APC/Météo-France, qui revient sur l'évolution du climat à Paris depuis 1900 et présente les simulations climatiques parisiennes pour la fin du 21^{ème} siècle, sur la page [changement climatique à Paris](#).



L'Îlot de Chaleur Urbain, un « microclimat »

Une bulle de chaleur urbaine

Par nuit calme, la température en ville reste souvent plus élevée que dans les zones rurales alentour ; il se crée ainsi une sorte de « bulle de chaleur » sur la ville. L'îlot de chaleur urbain (ICU) traduit ainsi l'écart de température observé entre une agglomération et son environnement périphérique moins urbanisé.



Evolution de la température nocturne au-dessus de Paris et ses alentours lors d'une canicule

— Evolution actuelle — Modification après un ajout de végétation

« Ils prirent un fiacre découvert, gagnèrent les Champs-Élysées, puis l'avenue du Bois de Boulogne. C'était une nuit sans vent, une de ces nuits d'été où l'air de Paris surchauffé entre dans la poitrine comme une vapeur de four ».

Guy de Maupassant décrit dans *Bel-Ami* dès 1855 la principale caractéristique de la météorologie urbaine parisienne : l'îlot de chaleur urbain (ICU). Le météorologue britannique Luke Howard le remarquait aussi en 1820 à Londres : il fait bien plus chaud en ville que dans les campagnes avoisinantes.

Un refroidissement nocturne limité en ville

En journée, à la campagne, la végétation utilise de l'eau et de l'énergie solaire pour la photosynthèse. Grâce à l'énergie solaire, elle « transpire » de l'eau puisée dans le sol ; cette eau est alors évaporée vers l'atmosphère. Les sols perméables vont également utiliser l'énergie solaire pour évaporer l'eau qu'ils contiennent. La combinaison de ces deux phénomènes est appelée « évapotranspiration ». Grâce à elle, végétaux et sols n'accumulent pas l'énergie solaire qu'ils reçoivent.

En ville, l'énergie solaire est au contraire emmagasinée dans les matériaux des bâtiments, et dans d'autres surfaces imperméables comme le bitume des routes et des trottoirs. Bâtiments et voies de circulation s'échauffent, stockant ainsi l'énergie qu'ils ne peuvent pas dissiper.



Lorsque la nuit arrive, l'apport en énergie solaire cesse. A la campagne, cette absence du soleil se traduit simplement par un arrêt de l'évapotranspiration. En ville, en revanche, les surfaces imperméables restituent à l'atmosphère urbaine l'énergie accumulée durant la journée. Ainsi, à la tombée de la nuit, l'air au-dessus de la ville se refroidit moins vite qu'à la campagne.



Cet effet, essentiellement nocturne, est ce qu'on appelle l'effet d'îlot de chaleur urbain.

Facteurs favorisant l'apparition des ICU

Trois facteurs sont prépondérants :

1. le **mode d'occupation des sols**, autrement dit la présence et la répartition des surfaces minéralisées et des surfaces végétalisées,
2. les **propriétés radiatives et thermiques des matériaux**, dont leur albédo (capacité à réfléchir le rayonnement solaire),
3. la **morphologie de la ville** :
 - tailles et hauteurs des bâtiments dans les rues,
 - orientation et exposition au rayonnement solaire,
 - orientation et exposition aux couloirs de vent.

D'autres facteurs peuvent avoir une influence sur les intensités et les structures des ICU :

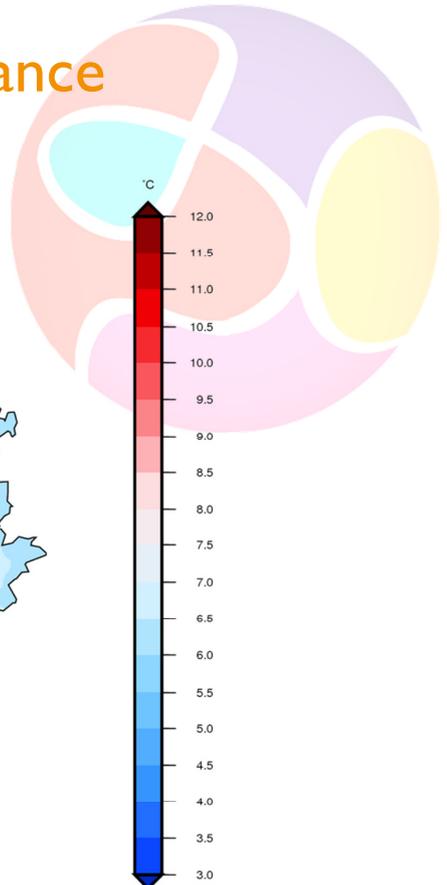
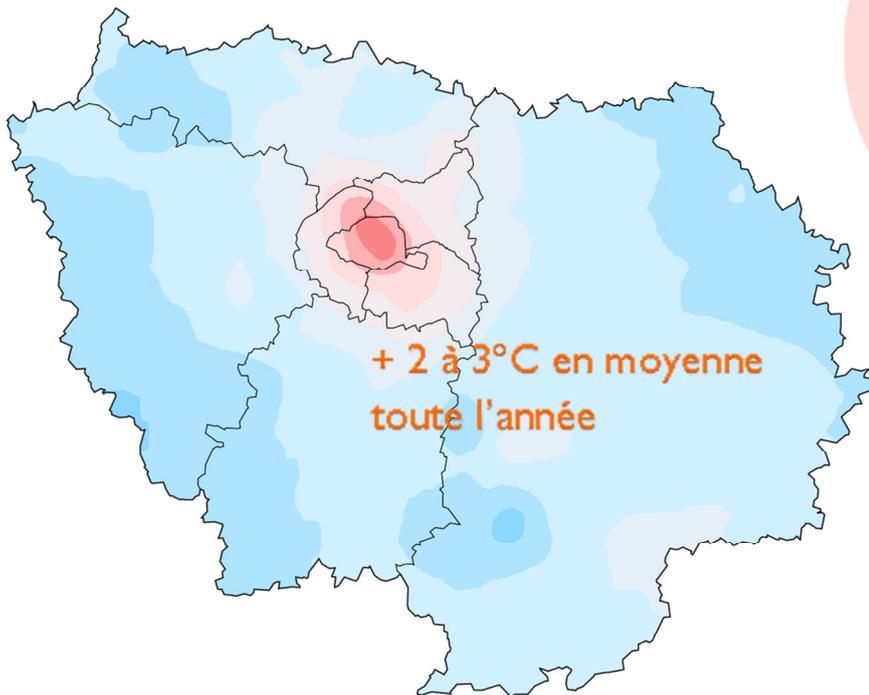
4. La **chaleur liée aux activités humaines** :
 - les déperditions énergétiques des bâtiments liées au chauffage (en hiver),
 - les rejets d'air chaud liés à la climatisation,
 - les activités industrielles, les transports et le métabolisme humain dans une moindre mesure,
5. la **faible présence d'eau**, limitant la présence d'îlot de fraîcheur en ville durant la journée,
6. l'**environnement régional** (mer, lacs et relief).

Attention aux idées reçues

Contrairement aux idées reçues, la pollution atmosphérique en ville (dans les cas extrêmes, elle se manifeste sous la forme de "smog", contraction des mots anglais smoke – fumée – et fog – brouillard –) n'est pas à l'origine de la formation des ICU et n'impacte pas non plus sa structure. **La pollution n'est donc pas responsable de la hausse des températures en ville !** Cependant, en période de fortes chaleurs et de fortes pollutions atmosphériques, le cocktail ICU, pollution et densité de population peut entraîner des risques sanitaires.

Si en été, l'ICU a plutôt des effets négatifs, en hiver, il peut en revanche être bénéfique en limitant les consommations d'énergie liées au chauffage.

L'ICU à l'échelle de la région Ile-de-France



Moyenne annuelle de référence 1981-2010 de la température minimale - Ile-de-France. Source : Météo-France

Un ICU centré sur Paris

Le climat en Ile-de-France est qualifié d'océanique « altéré » car les écarts annuels de températures sont plus prononcés et les précipitations sont moins abondantes par rapport au climat océanique. Il est assez homogène sur la région mais est influencé par la présence de l'ICU centré sur Paris. Cet îlot se traduit par **des différences nocturnes, de l'ordre de 2 à 3°C en moyenne annuelle entre Paris et les zones rurales alentour** (comme les forêts de Meudon ou Fontainebleau).

Les nuits parisiennes sont plus chaudes

Contrairement aux idées reçues, l'effet d'ICU est bien plus marqué la nuit. En général, l'ICU commence à croître en fin d'après-midi. Il augmente plus rapidement au coucher du soleil et atteint son maximum au milieu de la nuit. Cet écart diminue au lever du soleil pour être minimum dans le milieu de l'après-midi. Il peut même s'annuler en journée.

Stations	9h	12h	15h	18h	21h	0h	3h	6h
Chartres	+1,0°C	+0,6°C	+0,5°C	+1,1°C	+2,0°C	+2,2°C	+2,2°C	+1,9°C
Melun	+0,8°C	+0,4°C	+0,3°C	+1,0°C	+1,7°C	+1,8°C	+1,8°C	+1,6°C
Trappes	+1,1°C	+0,9°C	+0,8°C	+1,1°C	+1,5°C	+1,6°C	+1,6°C	+1,4°C
Roissy	+0,7°C	+0,6°C	+0,5°C	+0,6°C	+0,9°C	+1,0°C	+1,0°C	+0,8°C

Différences de températures entre Paris-Montsouris et des stations alentour moins urbaines, suivant l'heure de la journée, calculées sur l'année et sur la période 2000-2012. Source : Météo-France

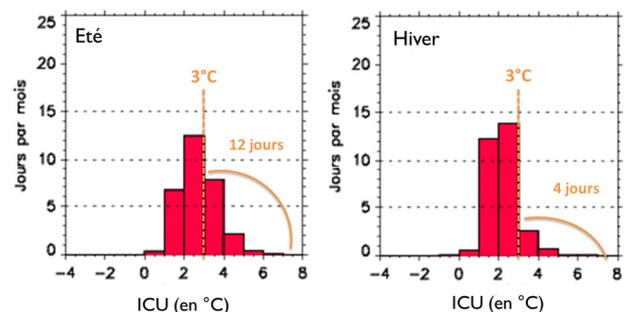
A titre d'exemple lorsqu'on relève la température à minuit aux stations de Chartres et de Paris-Montsouris, on observe 2,2°C de plus à la station de Paris ; à 15h l'écart n'est plus que de 0,5°C.

Les situations anticycloniques intensifient l'ICU

Si sa moyenne annuelle sur l'Ile-de-France est comprise entre 2 et 3°C, l'ICU parisien peut voir son intensité évoluer assez fortement tout au long de l'année.

Le phénomène d'îlot de chaleur urbain est particulièrement intense lors de la conjonction de paramètres météorologiques, notamment en cas de **vent faible** (2 à 3 m/s au maximum) et **ciel dégagé**. Lorsque ces conditions sont réunies, **l'ICU peut atteindre en région Ile-de-France près de 10°C**.

Les conditions anticycloniques de la période estivale sont ainsi bien plus favorables à la survenue d'ICU marqués que les perturbations océaniques de l'hiver.



Sur le secteur Paris petite couronne, répartition des ICU (différence de température entre les zones urbaines et rurales) pour l'hiver et pour l'été. Source : Météo-France, EPICEA

En moyenne sur 30 ans, on relève à Paris et dans la petite couronne un îlot de chaleur urbain supérieur à 3°C près de 12 jours par mois durant l'été, et seulement 4 jours par mois en hiver.

L'ICU parisien à l'échelle du quartier

Des variations importantes d'une rue à l'autre

En l'espace de quelques dizaines de mètres, la température peut varier de plusieurs degrés.

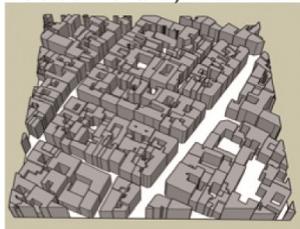
L'ICU se caractérise généralement à l'échelle d'une agglomération. Mais à l'intérieur même des villes, coexistent des quartiers plus chauds et d'autres plus tempérés que l'on appelle "îlots de fraîcheur". **Ces variations de température à petite échelle sont appelées des micro ICU.**

Les campagnes de mesures réalisées par l'Atelier Parisien d'URbanisme (APUR) au cours des étés 2011 et 2012 dans Paris mettent en évidence des différences de températures très localisées. Celles-ci s'expliquent par des variations urbaines : densité, types de matériaux, configuration géométrique du quartier, présence ou non de parcs, etc.

Des comportements climatiques différents selon les formes urbaines

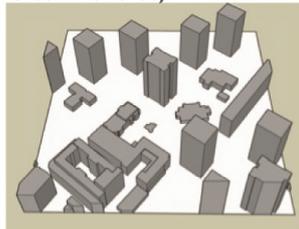
Si globalement le territoire parisien est caractérisé par un tissu urbain dense, on y trouve des morphologies urbaines différentes. L'image ci-dessous montre la modélisation numérique en 3D du bâti (en haut) et les températures au sol (en bas) pour un tissu historique ancien (à gauche) et un tissu plus moderne (à droite).

Rue du Renard, 4^e

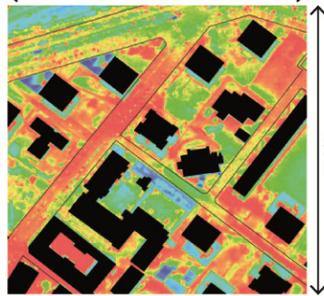
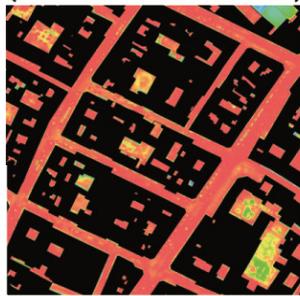


250 m

Cité Michelet, 19^e



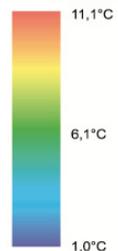
250 m



250 m

Source : APUR

Température de l'espace public

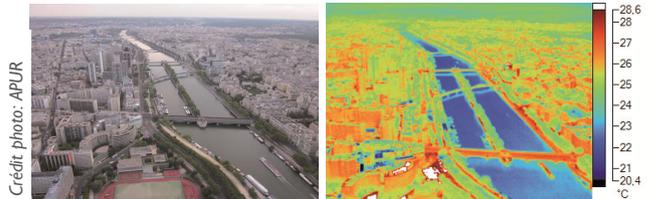


■ Emprise bâtie

Les simulations de températures effectuées par l'APUR sur ces deux extrêmes en matière de forme urbaine démontrent que chacun des tissus a des propriétés différentes de refroidissement et d'échauffement. D'un point de vue climatique ces différentes formes urbaines ont toutes deux des avantages et inconvénients. Les tissus historiques anciens, plus denses, étaient conçus pour conserver la chaleur et mettre l'espace public à l'abri du refroidissement nocturne. C'est pour cela que l'espace public est « chaud » en hiver. Au sein des tissus modernes récemment aménagés (1945-1975), en revanche, les bâtiments sont organisés en plan libre. Cette forme urbaine très ouverte est exposée au soleil, ce qui peut être un inconvénient en été. A contrario la faible densité bâtie donne de bonnes capacités nocturnes de rafraîchissement.

L'eau, source de fraîcheur

A Paris l'eau est présente par la Seine et les canaux mais également les lacs, les fontaines et les bassins. La Seine et les canaux ont la particularité de contenir de grandes masses d'eau dont la température évolue très lentement : on dit qu'ils ont une grande inertie thermique. Lors d'épisodes de forte chaleur, la température de l'eau reste plus fraîche que l'air ambiant. Ainsi l'air ambiant transmet une part de son énergie à la Seine, ce qui conduit à rafraîchir les abords du fleuve.

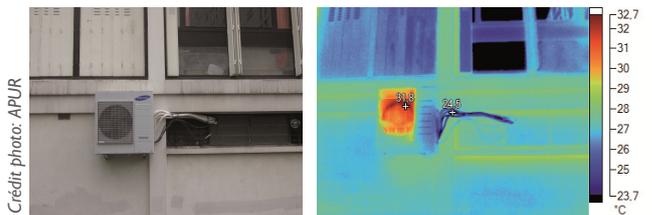


Crédit photo : APUR

A Paris l'eau non potable de la Seine et des canaux est utilisée pour le nettoyage des voies publiques et l'arrosage des parcs et jardins publics. Cette utilisation de l'eau non potable dans la ville peut également participer au refroidissement de l'air par évaporation.

Les activités humaines, source de chaleur

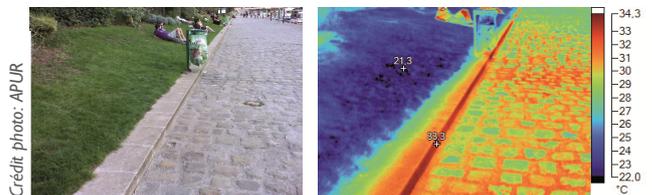
L'activité humaine (chauffage en hiver, transport, climatisation en été, etc.) peut contribuer à réchauffer l'espace public. On observe sur le cliché thermographique ci-dessous un exemple de rejet localisé d'air chaud à plus de 31°C par un climatiseur.



Crédit photo : APUR

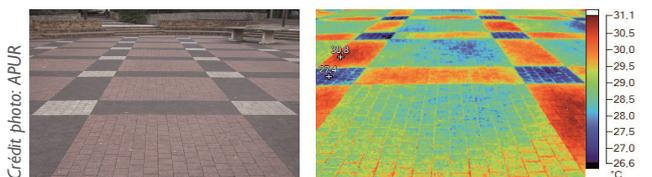
Influence des matériaux sur les micro ICU

On peut encore percevoir des différences de températures de surface selon les matériaux utilisés pour les sols ou les bâtiments. La prise de vue thermographique montre un écart de 12°C entre la pelouse et le trottoir.



Crédit photo : APUR

On voit clairement dans ces exemples les différences de température des matériaux des sols parisiens (asphalte, pavés, herbe...).



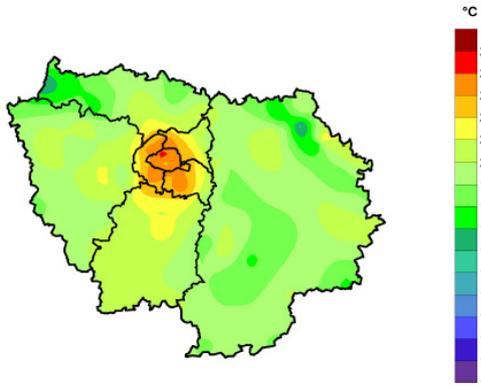
Crédit photo : APUR

La température du sol ou des bâtiments proches de nous va jouer sur le **confort ressenti dans l'espace public.**

L'ICU parisien lors de la canicule de 2003

L'ICU renforcé en période caniculaire

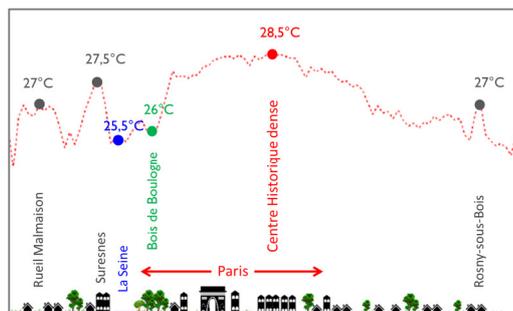
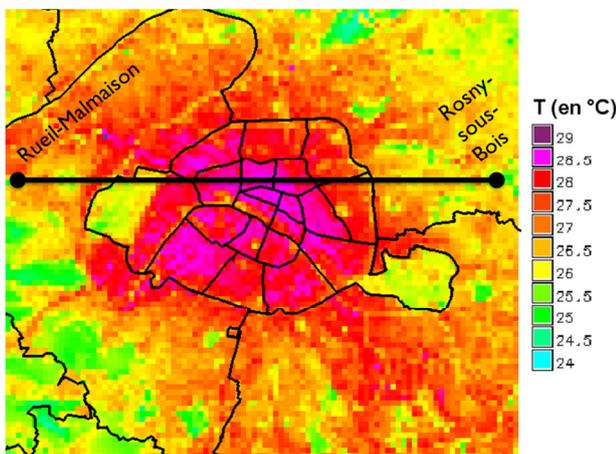
Sur l'agglomération parisienne, l'effet d'ICU peut atteindre une dizaine de degrés, en particulier lors des épisodes caniculaires. Ainsi, en 2003, des écarts de 8°C ont été relevés entre le centre de Paris et les zones rurales d'Ile-de-France.



Températures minimales moyennes observées sur la région Ile-de-France durant la canicule 2003. Source : Météo-France, EPICEA

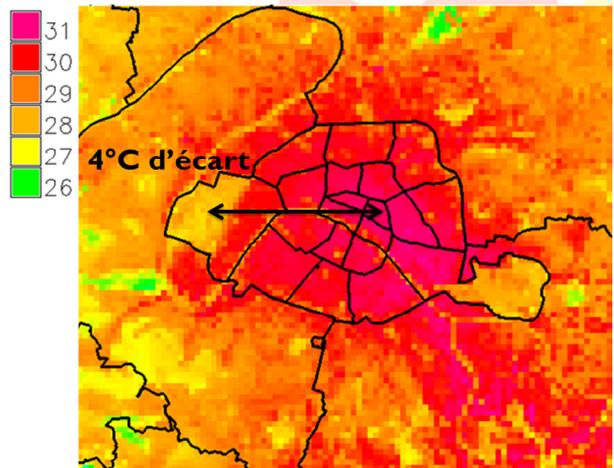
La canicule au cœur de Paris

Durant l'été 2003, la France a connu une canicule exceptionnelle par son intensité et sa durée. La ville de Paris a été très affectée, avec des températures atteignant 40°C le jour et ne descendant jamais en dessous de 25°C la nuit. En moyenne la température minimale était de 28°C dans le centre de Paris contre 23 à 26°C dans les zones plus aérées du sud-ouest et du nord de Paris et des bois de Vincennes et Boulogne. Les 2^{ème}, 3^{ème}, 9^{ème}, et 10^{ème} arrondissements ont été identifiés comme zones les plus chaudes.



Moyenne des températures à 2 m entre 4h et 6h locales des 4 dernières nuits de la canicule, 10 au 13 août (en haut) et coupe transversale (en bas). Source : Météo-France, EPICEA

Canicule 2003 : La nuit la plus chaude à Paris

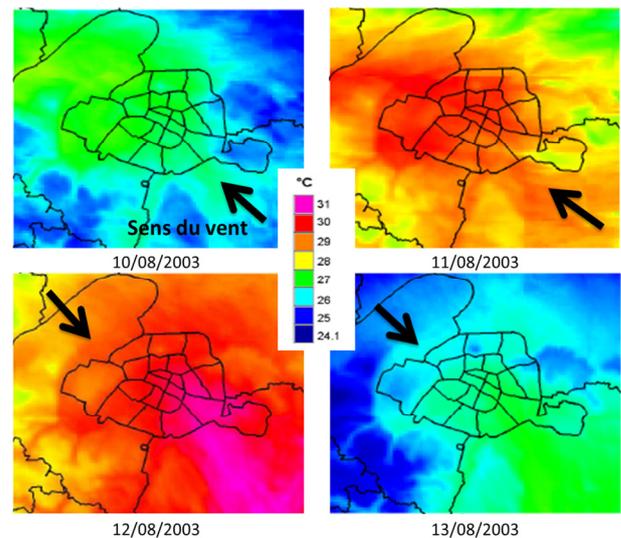


ICU simulé lors de la nuit du 12 au 13 août 2003, la plus chaude de l'épisode ! Source : Météo-France, EPICEA

Dans Paris on a observé jusqu'à 4°C de différence entre les arrondissements denses et les bois de Vincennes et Boulogne. La différence de température observée entre le centre de Paris et les bois, lors de la nuit la plus chaude, est supérieure à ce qui a été observé en moyenne entre Paris et les communes alentour sur l'intégralité de l'épisode caniculaire.

L'air chaud se déplace sur les territoires voisins

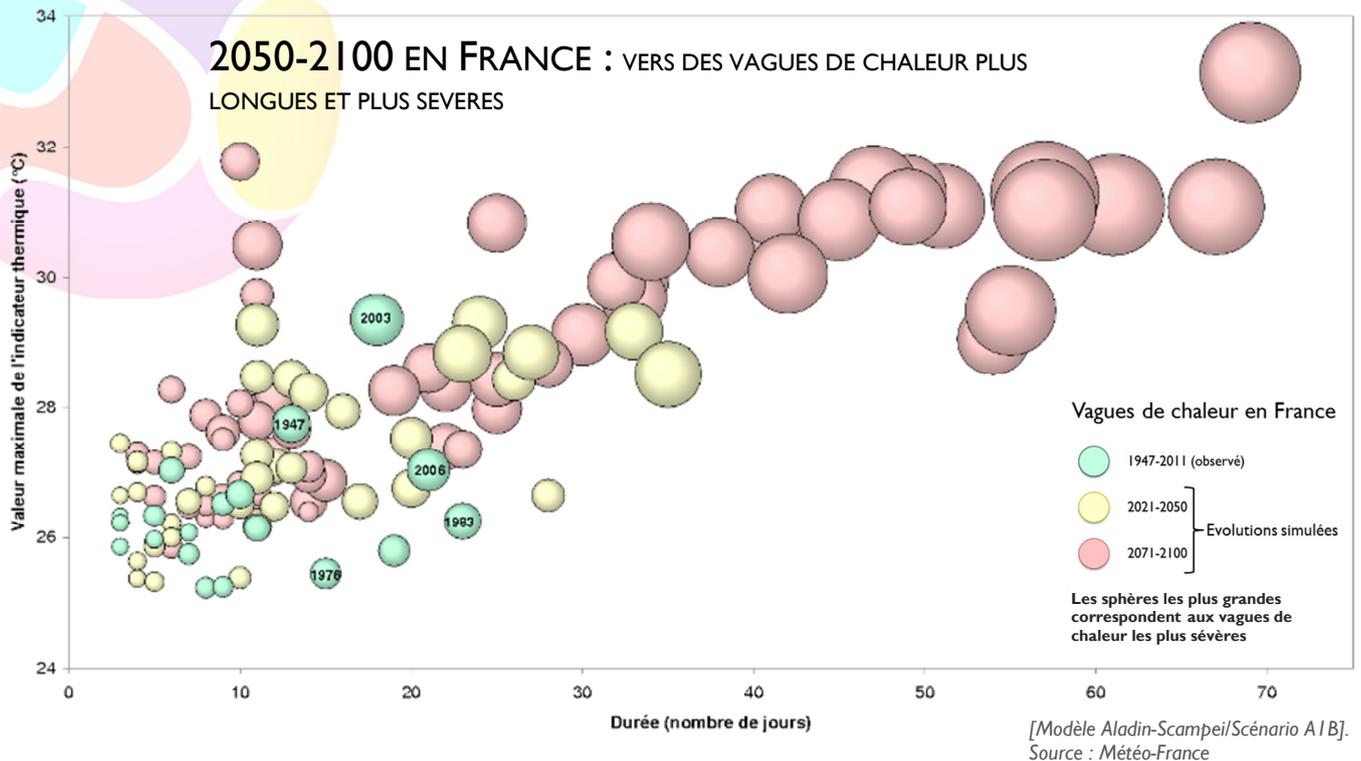
Les arrondissements parisiens fortement urbanisés ne sont pas les seuls espaces concernés par l'ICU. Durant la canicule de 2003, les météorologistes ont identifié un phénomène de « panache urbain » : les vents atmosphériques ont entraîné l'air chaud des zones les plus denses vers les arrondissements limitrophes et les communes alentour. Conséquence : ces zones, initialement peu touchées, ont vu à leur tour leur température augmenter de 2°C.



ICU observé à 30 m de hauteur du 10 au 13 août 2003 (moyenne des températures de l'air à 30 m entre 4h et 6h locales). Source : Météo-France, EPICEA.

A cause de l'ICU, les territoires urbains, comme Paris, sont particulièrement sensibles aux événements extrêmes que sont les canicules.

Vulnérabilité du territoire parisien



Perspective d'un nouveau contexte climatique, Paris sur la tendance française

Paris doit faire face à un réchauffement encore plus marqué d'ici la fin du siècle avec :

- Une augmentation des températures moyennes quotidiennes (+2 à 4°C).
- Une augmentation du nombre de jours chauds (températures maximales dépassant 25°C), très chauds et extrêmement chauds (températures maximales dépassant respectivement 30 et 35 °C).
- Une forte augmentation du nombre d'épisodes caniculaires, de 10 à 20 jours par an, au lieu d'un jour par an en moyenne actuellement.

Les ICU ne sont ni une cause, ni une conséquence du changement climatique, mais les effets de l'un sur l'autre aggravent les impacts de chacun. L'augmentation des températures due au changement climatique rendra l'ICU encore plus intense. Et dans une moindre mesure, les facteurs responsables de la formation des ICU et leurs conséquences (pollutions, consommations d'énergie pour le chauffage ou la climatisation...) agissent sur le changement climatique.

La nécessaire adaptation du territoire parisien

Cette perspective d'un nouveau contexte climatique incite à l'adaptation et à la mise en œuvre de solutions de thermorégulation pouvant influencer l'intensité des ICU. Du fait de l'ICU, Paris est plus sensible aux événements extrêmes que sont les canicules. Durant celle de 2003, la ville de Paris a été très affectée, avec une augmentation des décès de 141% (1070 décès sur Paris).

Le territoire parisien devra faire face à une amplification de l'inconfort thermique en raison de son îlot de chaleur urbain particulièrement intense en période de fortes chaleurs.

A Paris, les premières actions d'adaptation

Certaines pistes d'action cherchent à limiter les effets d'ICU en réduisant les températures nocturnes importantes en zones urbaines denses. D'autres solutions visent à procurer à la population des îlots de fraîcheur durant la journée. Parmi ces différentes solutions, déjà appliquées ou encore au stade d'études, pour améliorer le confort des parisiens l'été (extrait des grandes orientations du Plan Climat Energie de Paris, 2012) :

- **Améliorer la conception et la réhabilitation thermique des bâtiments en prenant en compte le confort d'été** (orientation bioclimatique, ventilation, humidification, stores, volets, pare-soleil, puits canadiens, meilleures propriétés réfléchissantes des matériaux...);
- **Végétaliser l'espace public et les bâtiments**, car les plantes permettent d'humidifier et de rafraîchir l'air grâce à l'évapotranspiration ;
- **Intégrer et utiliser l'eau en Ville** pour ses capacités de thermorégulation : l'eau dans les mares, lacs, fontaines ou en circulation dans les parcs favorise une baisse des températures et contribue ainsi à l'amélioration du bien-être en Ville.



Pour aller plus loin, prochaine édition : « Comment adapter une ville dense aux canicules futures » (APC/ Météo-France/ CIREDE/ Mairie de Paris), travaux de recherche, solutions identifiées et premières actions d'adaptation.

L'ICU, difficile à mesurer !

Les observations au sol

Le réseau météo pour une information climatologique de l'ICU à l'échelle de l'agglomération

Un ICU peut être observé à l'échelle d'une agglomération à l'aide de **capteurs météorologiques** classiques (thermomètres, hygromètres, etc.). Pour la région parisienne, le réseau automatique météorologique dispose de stations rurales mais également urbaines comme à Paris-Montsouris et Belleville. Ces stations permettent de mesurer en temps réel les différences de températures.

Des mesures thermiques pour mieux comprendre les mécanismes en jeu à l'échelle d'un quartier

Le réseau actuel d'observation au sol francilien n'est pas suffisamment dense en ville pour détecter finement les différences locales de températures qui caractérisent les micro ICU. D'autres méthodes sont employées pour pallier ce déficit, comme des **campagnes de mesures thermiques**. Limitées dans le temps, elles sont généralement mises en œuvre dans un contexte de recherche et dans des conditions estivales.

Plusieurs villes françaises se sont lancées dans la démarche de **balades thermiques** avec des habitants lors de l'aménagement de nouveaux quartiers, ou encore dans la prise d'images **thermographiques** de certains endroits comme ci-dessous à Paris, afin de mieux comprendre les particularités locales du phénomène. La thermographie infrarouge permet de visualiser les températures des objets qui nous entourent.



Crédit photo : Ville de Paris

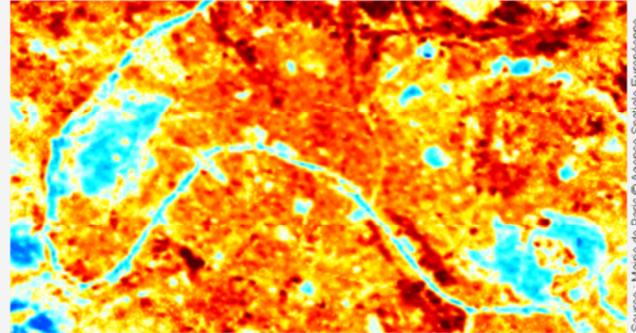
Les campagnes de recherche récentes CAPITOU, PIRVE et EUREQUA déploient sur des villes comme Paris, Marseille et Toulouse une grande variété de capteurs fixes ou embarqués, mesurant la température (parfois sur des mâts de 30 m installés sur des toitures) et des flux d'énergie.

Coupler les méthodes pour une information complémentaire

Il est difficile de généraliser à l'ensemble d'une agglomération les mesures météorologiques et observations réalisées en quelques endroits particuliers de la ville. Afin de mieux comprendre les phénomènes d'îlots de chaleur urbains, il est donc nécessaire de **coupler les observations au sol avec d'autres moyens de mesure** comme la détection aérienne ou encore la modélisation urbaine.

La détection aérienne

Pour obtenir une description plus fine de la variation spatiale tout en limitant le nombre d'instruments, les équipes de recherche ont recours à des hélicoptères ou des avions instrumentés, et plus récemment de moyens de **téledétection par satellite**, notamment dans l'infrarouge thermique. Un satellite mesure simultanément la température de surface en de nombreux points de la ville. L'estimation de l'ICU, autrement dit la température de l'air, à partir des températures de surface mesurées par satellite est encore rare et donne lieu à de nombreux travaux de recherche.



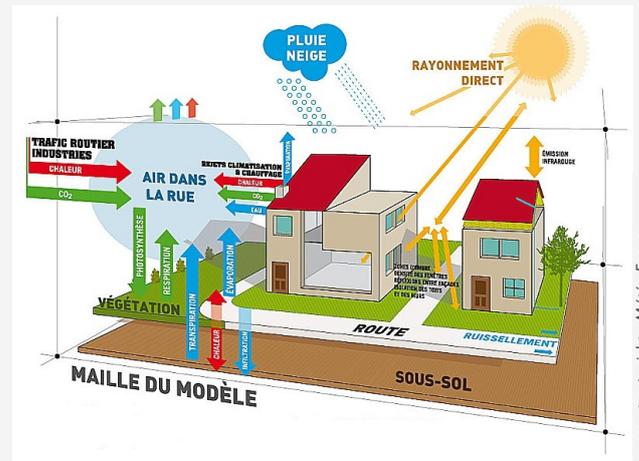
Source : Mairie de Paris © Agence Spatiale Européenne (LST été 2006)

Thermographie d'été de Paris par satellite le 30 juin 2006 à 10h30. On distingue nettement les surfaces plus froides de Paris que sont les bois de Vincennes, bois de Boulogne et la Seine, mais aussi les grands parcs (Buttes Chaumont, Luxembourg, Montsouris, Bercy...) et cimetières (Père Lachaise, Montmartre...) qui apparaissent en bleu.

Source : Agence Spatiale Européenne / Mairie de Paris

La modélisation urbaine

Une autre stratégie adoptée est la modélisation numérique des échanges d'énergie et d'eau entre les surfaces du bâti, le végétal et l'atmosphère urbaine. Ainsi, des **modèles atmosphériques**, à l'image de ceux utilisés pour la prévision du temps, sont **combinés à des modèles urbains** décrivant les caractéristiques de différents quartiers d'une ville (morphologie, type de matériaux, isolation des bâtiments, occupation des sols, etc.). Ils sont utilisés en particulier par les climatologues.



Source et copyright : Météo-France

Afin de mieux comprendre les rôles respectifs des différentes particularités urbaines locales, les urbanistes utilisent généralement d'autres types de modèles, appelés « **Computational Fluid Dynamics** » (CFD), qui simulent à petite échelle, les circulations de l'air et les interactions complexes au sein d'un tissu urbain.



 01 58 51 90 20

 info-conseil@apc-paris.com

 Agence Parisienne
du Climat, pavillon du lac,
parc de Bercy,
3 rue François Truffaut,
75012 Paris.
www.apc-paris.com

Retrouvez-nous sur :



Pour aller plus loin :

Le changement climatique à Paris – APC
www.apc-paris.com

Etude Pluridisciplinaire des Impacts du
Changement Climatique à l'Echelle de
l'Agglomération parisienne (EPICEA)
www.cnrm-game-meteo.fr

Analyse et étude du climat passé et futur
www.meteofrance.fr

Les îlots de chaleur urbains à Paris,
phase I – APUR www.apur.org

Coordination éditoriale : Cécile Gruber, Elsa Meskel (Agence Parisienne du Climat),
Rédaction : Julien Desplat (Météo-France), Hélène Perrin (Météo-France), Isabelle Doudelle (Météo-France),
Elsa Meskel (APC), Marie Gantois (Ville de Paris)
Crédits Photos de couverture : Henri Garat/Mairie de Paris, Sophie Robichon/Mairie de Paris,
Anne Thomas/Mairie de Paris, Marie Gantois/Mairie de Paris, Elsa Meskel/Agence Parisienne du Climat
Impression : Météo-France – Février 2014
ISBN : 978-2-9548167-1-5

Ce document a été réalisé par l'Agence Parisienne du Climat et Météo-France, avec l'appui de la Mairie de Paris et la contribution de l'Atelier Parisien d'Urbanisme, respectivement membres fondateurs et adhérent de l'APC.

MAIRIE DE PARIS



METEO FRANCE

