

# VAGUES DE CHALEUR ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

LES ENJEUX ASSOCIÉS AUX VAGUES DE CHALEUR EN ÎLE-DE-FRANCE

Visite de Sense City – Université Gustave Eiffel, organisée par l'AREC / 8 juillet 2022

Erwan Cordeau (Département Environnement urbain et rural / Institut Paris Region)



L'INSTITUT  
PARIS  
REGION

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## 1) Vagues de chaleur et canicules

Quelques éléments de définition

Vague de chaleur versus Canicule

Rétrospective événementielle  
et prospective climatologique

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## 1) Vagues de chaleur versus canicules : quelques définitions

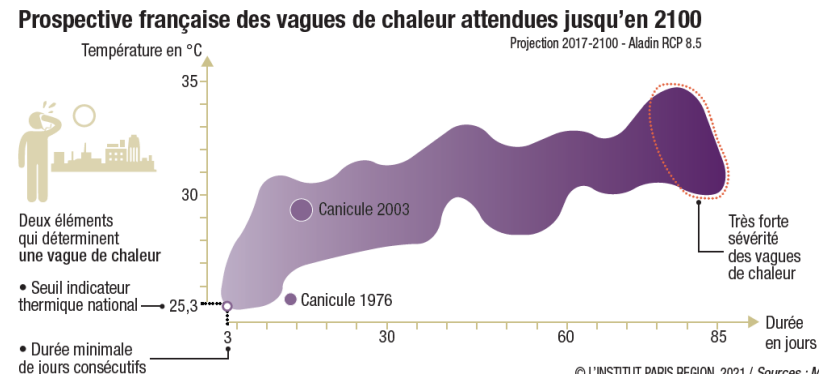
Les **vagues de chaleur**, termes **générique**, correspondent à des températures anormalement élevées, observées **pendant plusieurs jours consécutifs**.

Mais il n'existe pas de définition universelle du phénomène, les **niveaux de température** et la **durée de l'épisode** qui permettent de caractériser une vague de chaleur **varient** selon les **régions du monde** et les **domaines et objectifs considérés** : caractérisation d'un point de vue climatologique, activité de recherche, dispositif de vigilance météorologique...

En France, une vague de chaleur peut se définir comme le nombre de jours dont la température maximale est supérieure de plus de 5°C à la normale au moins 3 jours consécutifs (*Météo France*).

En Île-de-France, le portail de données *DRIAS (Météo France)*, qui fournit notamment le Nombre de jours d'une vague de chaleur, la définit comme le Nombre de jours dans une séquence de plus de 5 jours consécutifs où la température maximale quotidienne du jour est supérieure ou égale à la température maximale quotidienne de référence du jour  $i$  (calculée sur la période de référence) + 5°C.

**Exemple d'une caractérisation par Météo France d'une vague de chaleur à partir de l'indicateur thermique national** (moyenne des mesures quotidiennes de la température moyenne de l'air dans 30 stations météorologiques réparties de manière équilibrée sur le territoire métropolitain) : si la valeur quotidienne de cet indicateur atteint ou dépasse 25,3°C et reste élevée au moins 3 jours



# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## 1) Vagues de chaleur versus canicules : quelques définitions

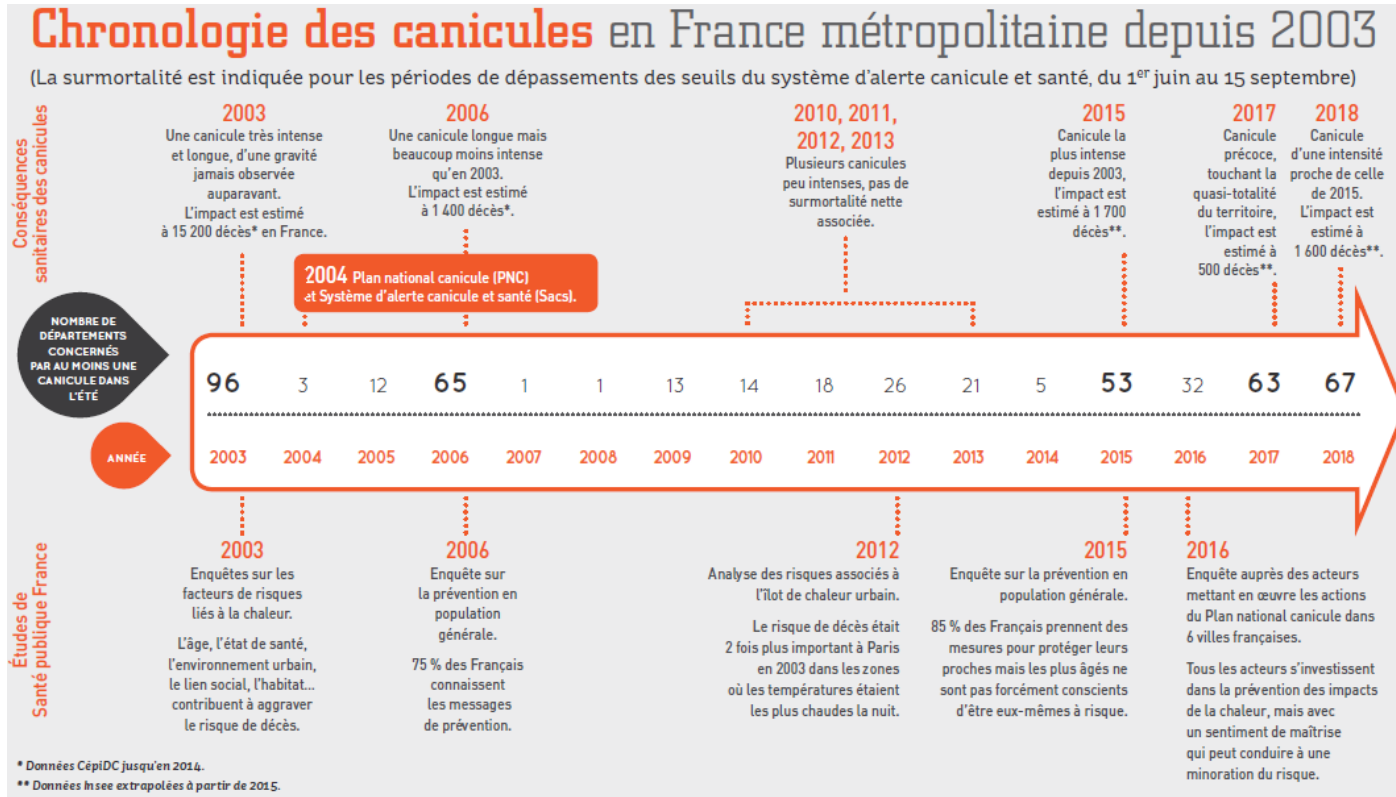
Une **canicule** correspond à une chaleur intense **pendant au moins trois jours consécutifs**, sur la base de **seuils de température diurnes** et **nocturnes** construits pour chaque département métropolitains.

Ces seuils identifient des **chaleurs inhabituellement fortes** par rapport au climat local et **qui présentent un risque pour une large partie de la population** (*Santé publique France*) : notamment pour les personnes fragiles ou surexposées (canicule ; niveau de vigilance météorologique **orange** ) et pour tout type de population (canicule extrême par sa durée, son intensité, son extension géographique ; niveau de vigilance météorologique **rouge**).

Des critères d'environnement local et de vulnérabilité de la population entrent ainsi en ligne de compte. On calcule notamment à partir de quel seuil de température s'observe une surmortalité dans chaque département.

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## 1) Vagues de chaleur et canicules : rétrospective événementielle



L'été 2019 : plusieurs canicules dont une précoce (fin juin) – 1500 décès en excès

L'été 2020 : impact sanitaire (1900 décès) le plus important depuis plan national canicule en 2004, (juste devant les étés 2015, 2018 et 2019).

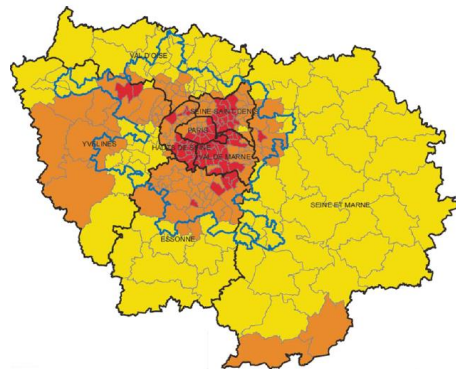
Source : Santé publique France

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## 1) Vagues de chaleur et canicules : prospective climatologique France

### Canicule de 2003

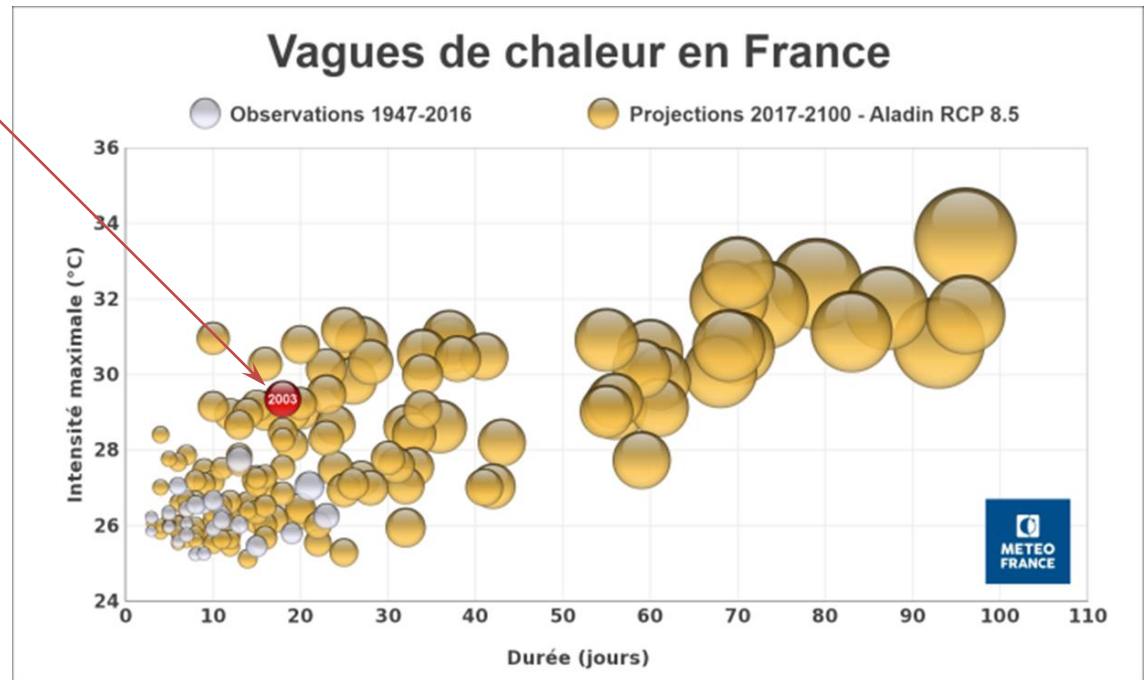
la plus importante depuis 1947  
> 5 000 décès en excès en IdF  
surmortalité Hauts-de-Seine : + 214%



Enseignements de la canicule de 2003 : Une surmortalité plus marquée dans le centre de l'agglomération, mais touchant bien, à des degrés divers, l'ensemble de l'Île-de-France

Effets de la canicule de 2003 : ratio lissé de surmortalité par canton

De 1,2 à moins de 2,1  
De 2,1 à moins de 2,6  
De 2,6 à moins de 3,4  
Limite de l'agglomération de Paris  
Île-de-France : 2,4  
France : 1,5  
Source : Insee CASP, Insee  
Extrapolation ORS Île-de-France



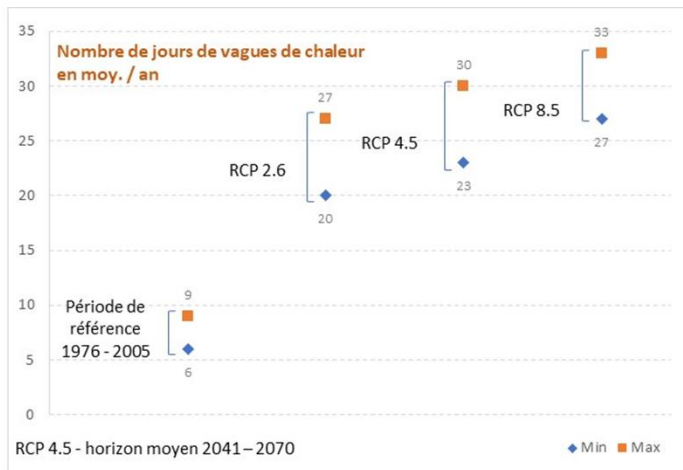
Vagues de chaleur observées en France entre 1947 et 2016 (en gris) et projetées entre 2017 et 2100 (en doré), dans un scénario de poursuite des émissions de gaz à effet de serre à leur rythme actuel. METEO FRANCE

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## 1) Vagues de chaleur et canicules : prospective climatologique IdF

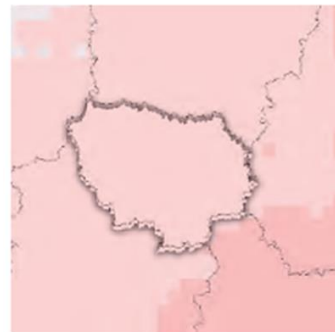
Les connaissances scientifiques récemment rassemblées pour l'Île-de-France (DRIAS, travaux du GREC francilien) confirment les premiers enseignements de l'étude cadre régionale sur la vulnérabilité de 2012.

L'Île-de-France est ainsi sujette à des **extrêmes climatiques** attribuables au CC dont :  
⇒ **des vagues de chaleur, comme celle de la canicule 2003, voir plus sévères, sont probables.** Depuis 2013, on dénombre 7 années à canicule. Les vagues de chaleur récentes deviendront fréquentes si le réchauffement global dépasse 2°C ;

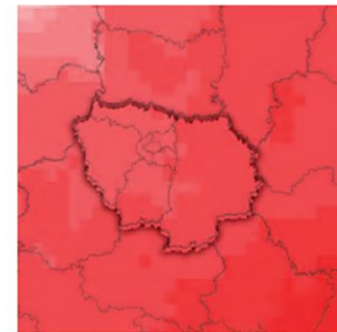


### Nombre de jours de vague de chaleur

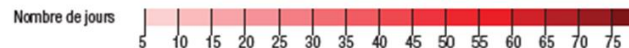
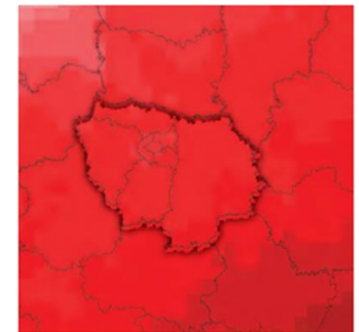
Période de référence, moyenne annuelle (autour de 1990)



Scénario avec une politique climatique visant à stabiliser les concentrations en CO<sub>2</sub> (RCP 4.5), à horizon moyen autour de 2055, moyenne annuelle



Scénario sans politique climatique (RCP 8.5), à horizon moyen autour de 2055, moyenne annuelle



N 0 50 km

© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021 / Source : Drias

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## 1) Vagues de chaleur et canicules : + prospective socio-démo-urbaine

### ⇒ Evolution du contexte mondial / local

#### 1) Les effets du réchauffement climatique

➔ Températures, sécheresse, **vagues de chaleur**

#### 2) Près des 2/3 de la population mondiale

en zone urbaine dans 25 ans (selon les Nations Unies)

➔ Effet aggravant d'**îlot de chaleur urbain (ICU)**



### ⇒ Evolution des enjeux liés au bâti

#### 1) Extension urbaine versus densification,

vers une poursuite de la « minéralisation » des villes !

#### 2) Glissement progressif vers les enjeux de confort d'été

et de disponibilité de l'eau pour les besoins vitaux et le rafraîchissement des centres urbains



# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## 2) L'Effet aggravant d'îlot de chaleur urbain (ICU)

Des disparités géographiques à différentes échelles

Des périodes contrastées (saison ; jour/nuit)

Effet d'ICU métropolitain et contrastes locaux (MICU / IFU)

Genèse de l'effet d'ICU : 6 familles de perturbations

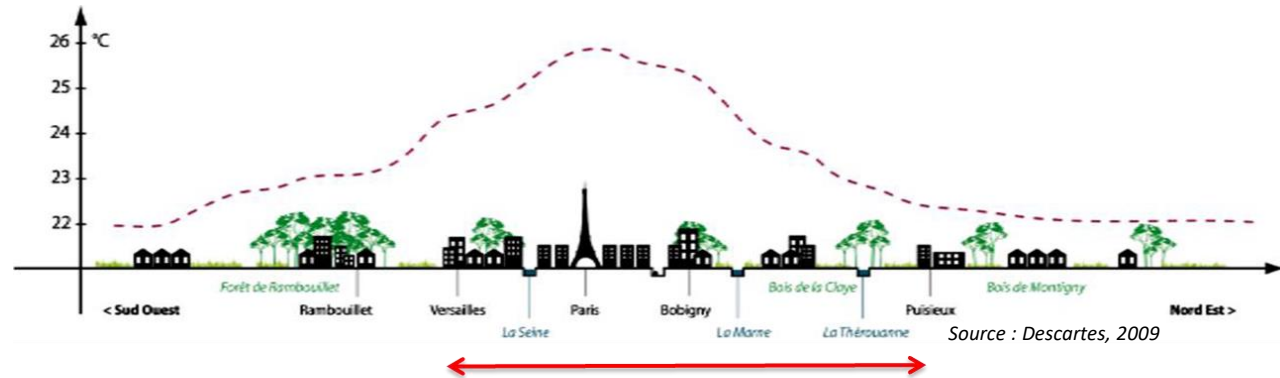
Quelques attentions particulières sur les effets d'ICU

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## Effet de l'agglomération sur la température (disparités géographiques et temporelles)

### Îlot de chaleur urbain (ICU)

La différence  
Ville / Campagne  
Contrastes de  
température de l'air



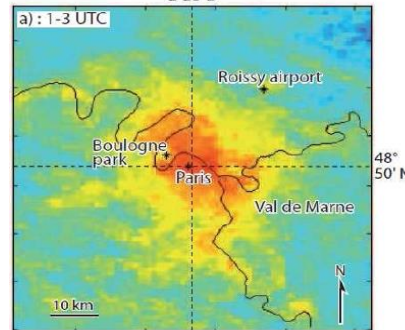
### ICU « métropolitain »

mais aussi contrastes locaux :  
îlots de chaleur / îlots de fraîcheur  
(MICU) / (IFU)

### le jour / la nuit

jusqu'à 8 à 10°C d'écart  
entre le centre de Paris et  
la forêt de Fontainebleau  
en période de canicule  
enjeu de santé publique

### la nuit

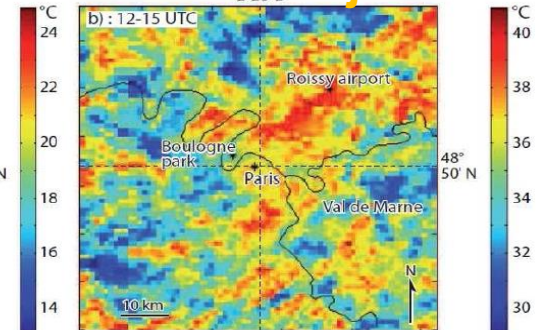


Nuit : îlot centré sur Paris =  
revêtements absorbants +  
densité urbaine qui piège la  
chaleur

magnitude d'environ 8°C

### 80 km

### le jour



Jour : îlots disséminés sur  
zones industrielles =  
propriétés des surfaces

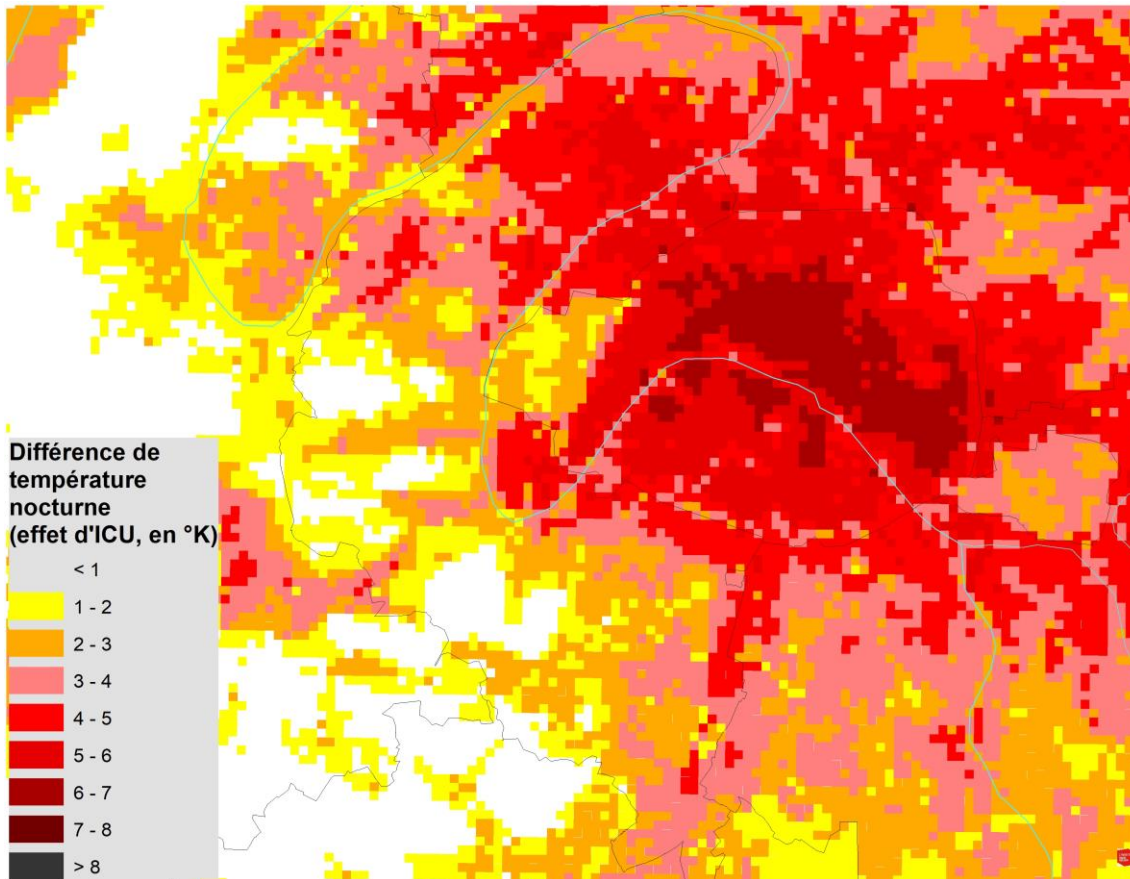
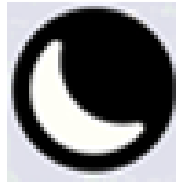
nombreuses anomalies thermiques

### Thermographie d'été, août 2003

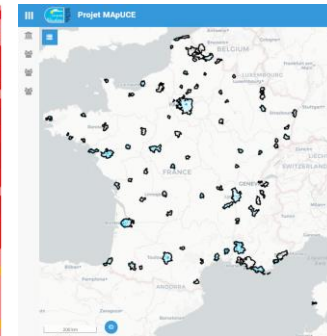
Source : InVS  
Température de surface en région  
parisienne obtenues à partir  
d'images thermiques des satellites  
NOAA-AVHRR 12, 16 et 17  
durant la canicule du 4 au 13 août  
2003. Températures moyennées  
sur 9 images, pour l'intervalle de temps  
compris entre 01 et 03  
UT (3 et 5 heure locale); 8) sur 10  
images, pour l'intervalle de temps  
compris entre 12 et 15 UT (14 et  
17 heure locale). Pour chaque  
image, échelle des températures de  
10°C de valeurs de bornes  
différentes. Figure reproduite de :  
Dousset et al. (2011), International  
Journal of Climatology, John Wiley  
& Sons

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

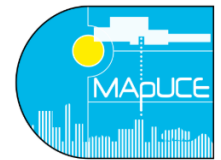
Par la modélisation de l'effet de l'agglomération sur la T° nocturne



Différence de température nocturne (effet d'ICU, en °K)



Projet  
MApUCE  
(ANR)



GAME  
CEJU CIRTA  
FNAU  
Lab-STICC  
LAVUE  
LIENSs  
LISST  
LRA

<http://mapuce.orbisgis.org>

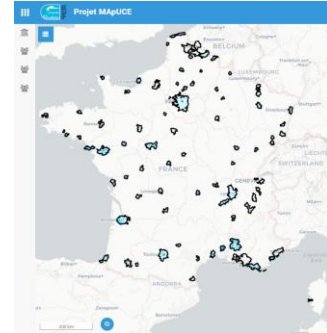
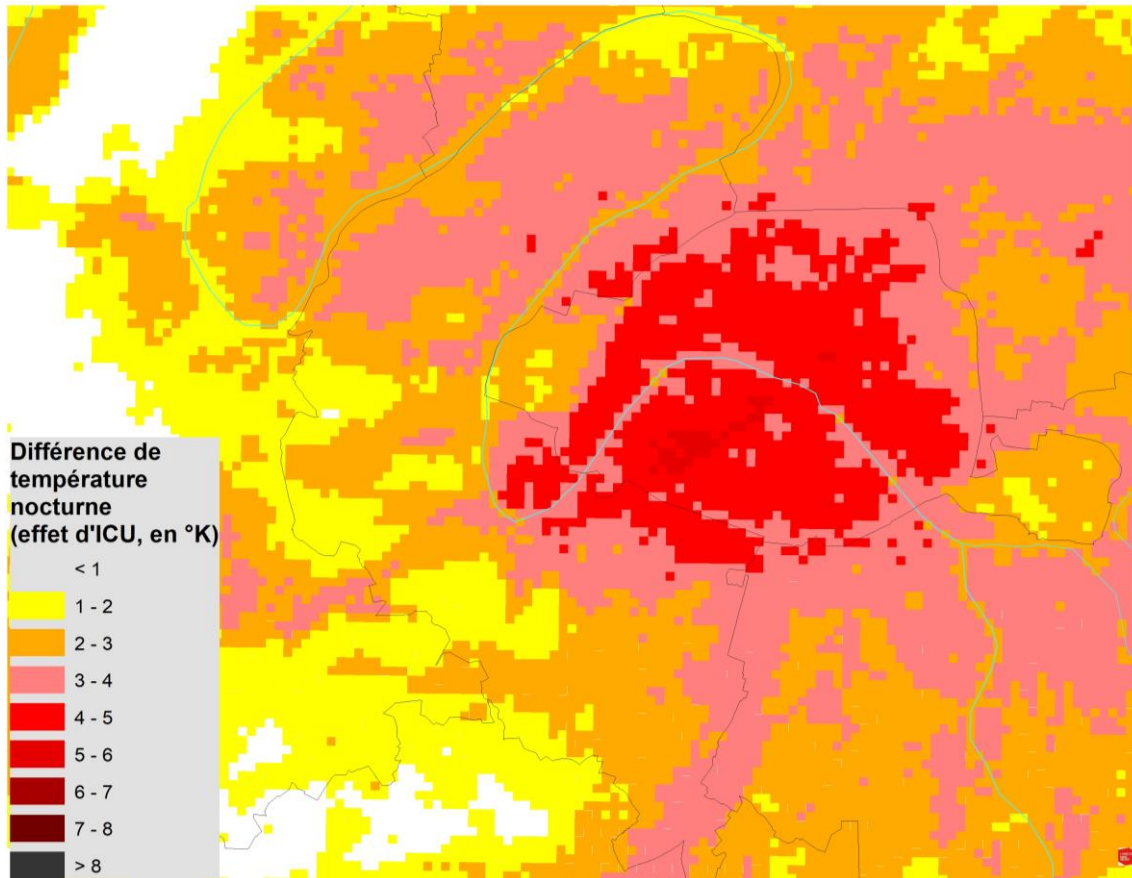
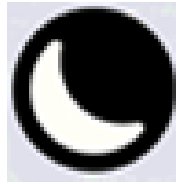
temp

Effet de l'agglomération sur la température nocturne pendant une situation estivale propice à un fort îlot de chaleur urbain (exprimé en Kelvin) (= différence de température entre deux simulations (avec l'effet urbain et sans l'effet urbain))

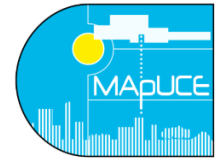
ÉTÉ 1 : Vent faible du sud-ouest

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

Par la modélisation de l'effet de l'agglomération sur la T° nocturne



Projet  
M@PUCE  
(ANR)



GAME  
CEJU CIRTA  
FNAU  
Lab-STICC  
LAVUE  
LIENSs  
LISST  
LRA

<http://mapuce.orbisgis.org>

temp

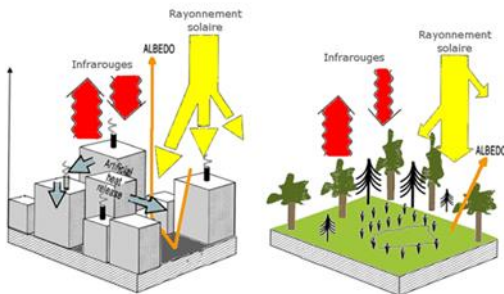
Effet de l'agglomération sur la température nocturne pendant une situation estivale propice à un fort îlot de chaleur urbain (exprimé en Kelvin) (= différence de température entre deux simulations (avec l'effet urbain et sans l'effet urbain))

ÉTÉ 2 : Vent faible du nord-est

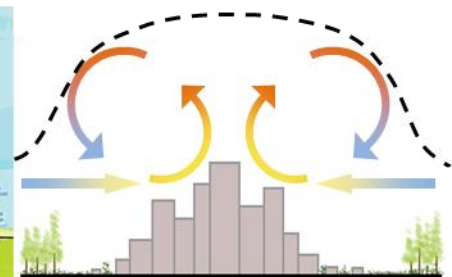
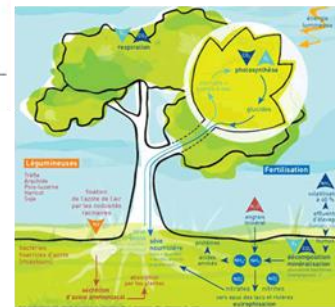
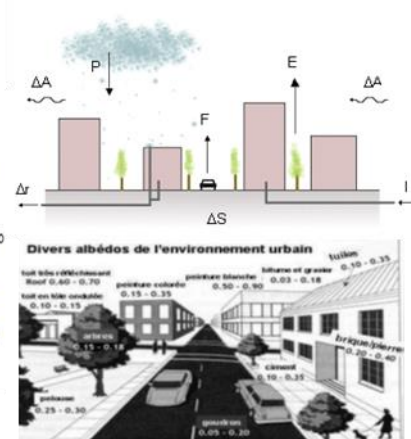
# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## Les facteurs intervenant dans le phénomène ICU

- ⇒ **Perturbations radiatives (ombres, piégeage radiatifs...)**
- ⇒ **Rugosité urbaine / ventilation naturelle, turbulences, brises**
- ⇒ **Perturbations thermiques (matériaux, surfaces disponibles...)**
- ⇒ **Sources de chaleur anthropiques de la ville**
- ⇒ **Perturbation hydrologiques (imperméabilisation, égouts...)**
- ⇒ **Carence et comportement de la végétation**



Source : Colombert, 2008 (simplifié)



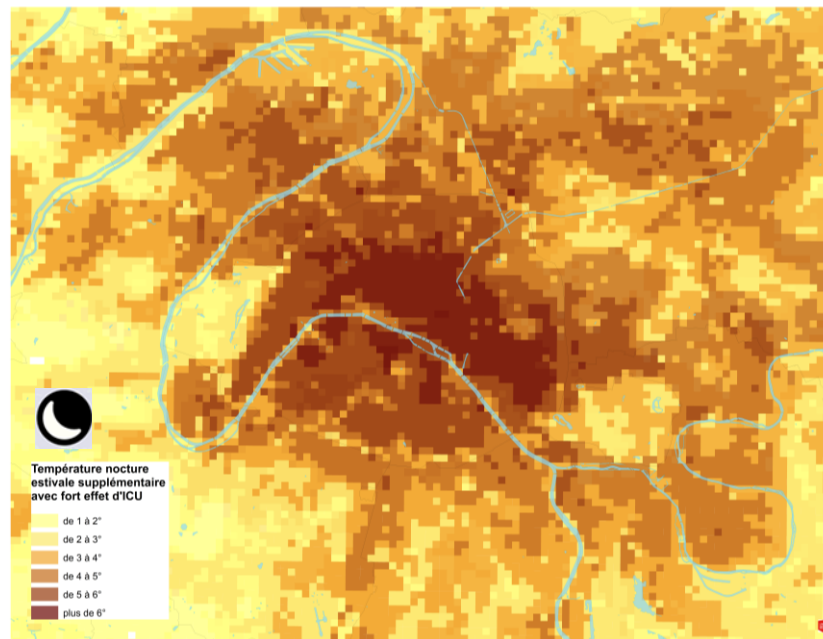
Source : IAU, 2010

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

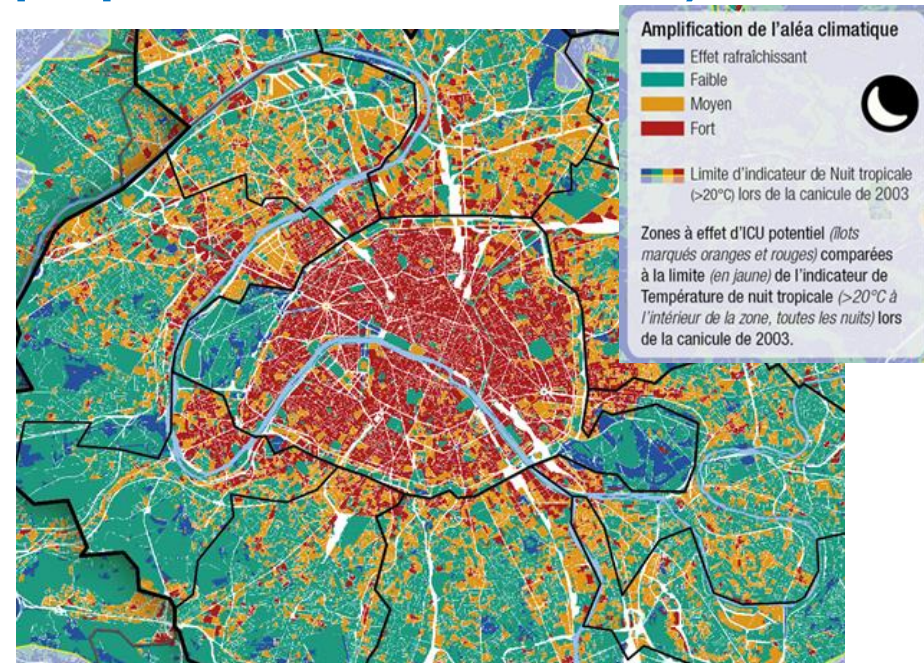
## L'Effet aggravant d'îlot de chaleur urbain (ICU) : Une géographie et deux périodes contrastées (jour/nuit)

Par la modélisation, différentiel  
de T° nocturne par effet d'ICU

Modélisation TEB - type 2003 - Projet MAPUCE (financement ANR)  
Superposition à la maille des Situations Été 1 (Vent faible du sud-ouest) et Été 2 (Vent faible du nord-est)



Par des approches empiriques (Îlot morphologique urbain, LCZ, propriétés LCZ, EICU ; IPR)



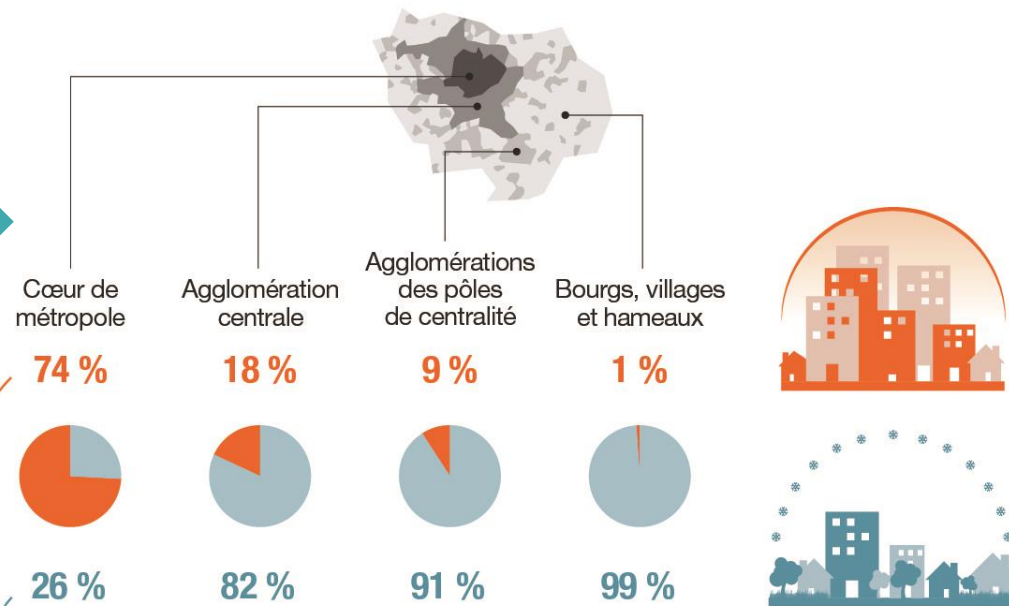
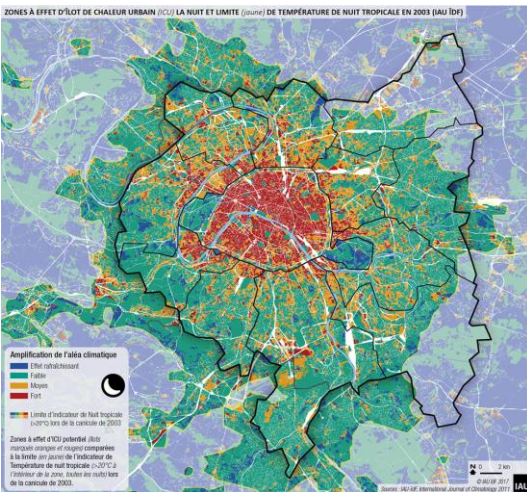
# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## L'Effet aggravant d'îlot de chaleur urbain (ICU) : enjeu humain



Répartition de la population résidant dans un quartier soumis à l'effet d'îlot de chaleur urbain ou en zone de fraîcheur

Région : **1 Francilien sur 2** vit dans un îlot avec effet de chaleur

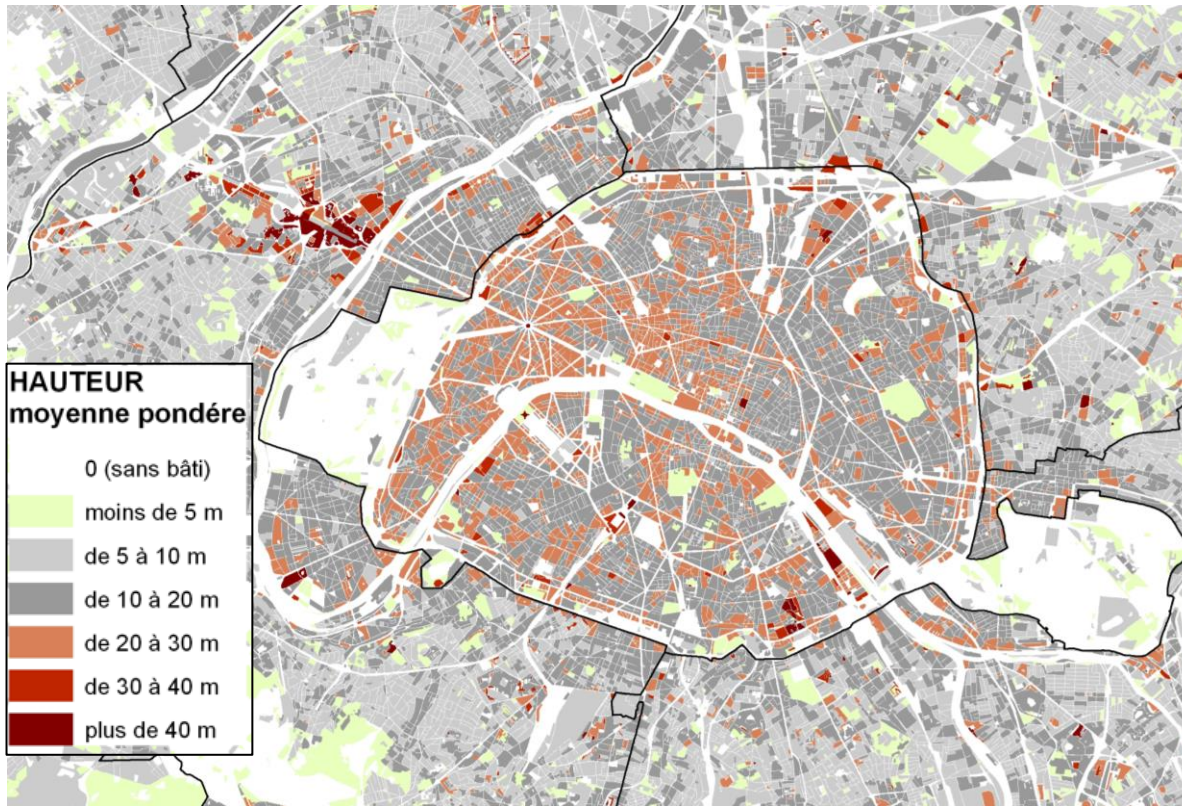


Part de la population en **îlot avec effet de chaleur** (aléa moyen à fort)

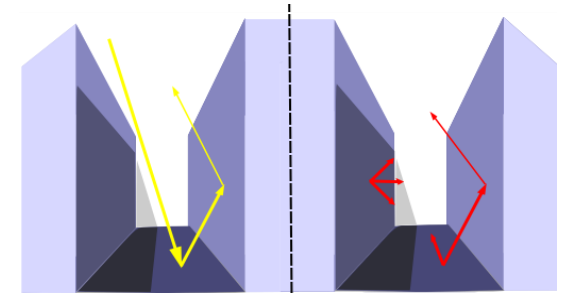
Part de la population en **îlot avec effet de fraîcheur**

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

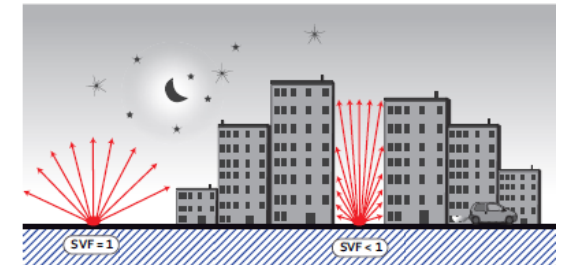
→ Une attention particulière à la morphologie de la ville



## Perturbations radiatives



Transfert de chaleur en ville par rayonnement  
Source : L'Institut Paris Region



Facteur de vue du ciel - Source : APUR

**Rue traditionnellement étroite, immeubles hauts, logements petits et mitoyens**

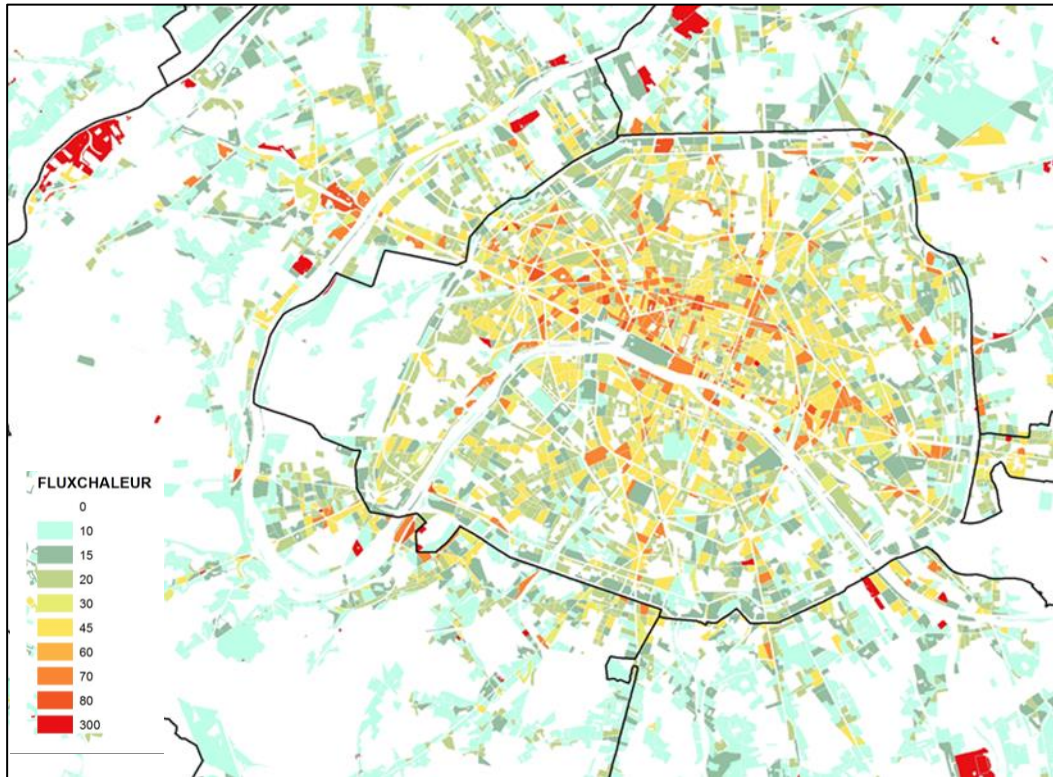
⇒ Rues offrant de l'ombre le jour (parcours de fraîcheur...), murs moins exposés aux rayonnements solaires

⇒ Mais refroidissement de la ville ralenti la nuit : obstacle à la vue du ciel, mauvais écoulement de l'air...



# Enjeux associés aux vagues de chaleur

Une attention particulière à l'espace public : matériaux, rejets

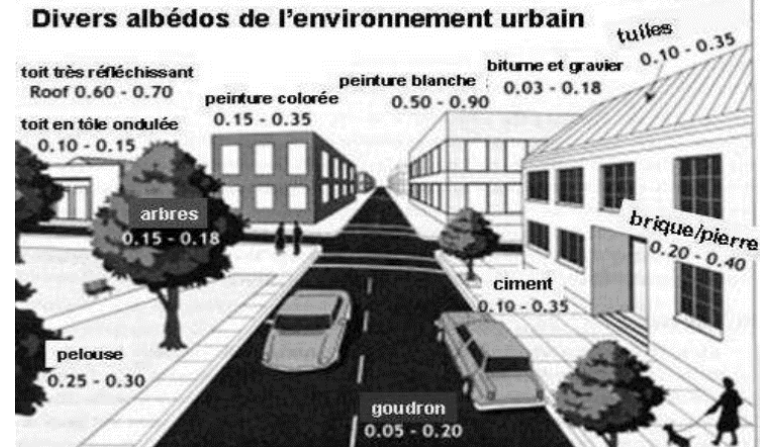


Les rues étroites et les espaces publics :

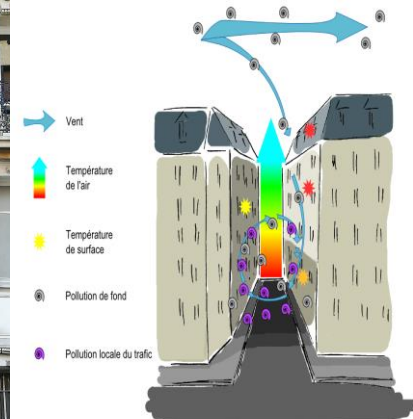
⇒ Surfaces sombres et imperméables

+ Rejets des chaleur (moteurs, climatiseurs...)

La place laissée à la voiture et aux climatiseurs en question



Asphalte, bitume : des Matériaux « chauds » : rugueux, sombre (faible albédo)  
Source : M. Colombert, 2008

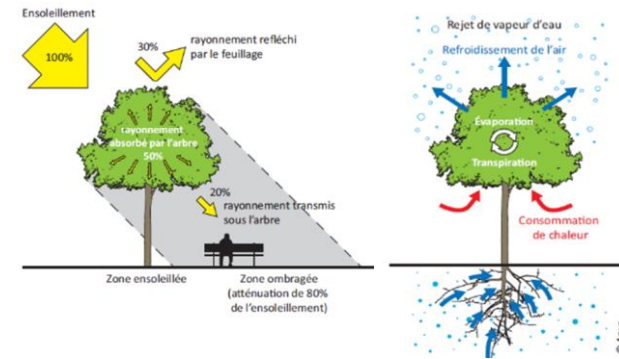


Effet canyon : dégagements de chaleur de l'asphalte, des murs et des activités anthropiques (véhicules moteurs, climatiseurs) contrariés par l'étroitesse des rue et la hauteur des façades - Source : IAU

L'Institut Paris Region

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

Une attention particulière à l'espace public : **eau, sol, végétation**



Source : « Les îlots de chaleur urbains à Paris – phase 1 », 2012, APUR



Source : E. Cordeau, L'Institut Paris Region



Noûe « château fort »,  
Infiltration naturelle  
écoquartier Les Molières  
Les Mureaux (78)  
Source : E. Cordeau,  
L'Institut Paris Region

Des évolutions historiques (mouvements hygiénistes, place de l'automobile)

Quelques grands boulevards plantés et espaces verts publics (hygiénisme)

Mais disparition de la présence d'eau dans la ville :  
assèchement zones marécageuses, création des égouts et canalisation des eaux pluviales, recouvrement des rivières urbaines, imperméabilisation des sols pour les circulations urbaines...

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## 3) Des enjeux de surmortalité humaine aux enjeux systémiques

Les parties prenantes en lien avec les enjeux de chaleur urbaine

Enjeux humain (risque Santé publique : surmortalité)

Vulnérabilité (3 composantes) et Registres de solutions

Enjeux biodiversité et ressources vitales (eau, énergie, alimentation...)

Enjeux activités économiques (fortes chaleur / inconfort thermique)

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## Les parties prenantes en lien avec les enjeux de chaleur urbaine et santé

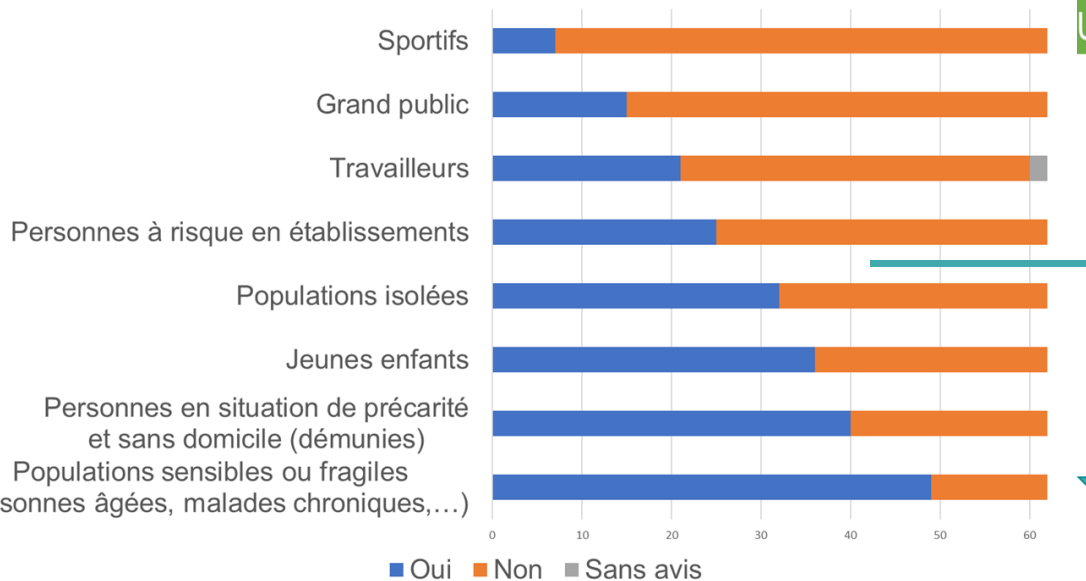
### Projet de recherche « H2C » Chaleur et Santé en Ville (CNRM, 2021/2024, ANR)

CNRM-Météo France (coordination : Aude Lemonsu),  
IPSL, LHEEA, CSTB, Prodig, Airparif,  
Santé publique France, L'Institut Paris Region

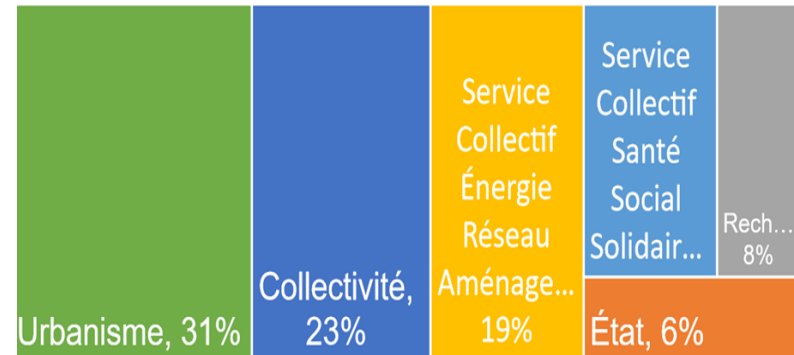
Enquête 2022



Cibles prioritaires d'intervention identifiées sur le registre populationnel  
Vision d'ensemble sur les cibles prioritaires



Profil des répondants



Oui majoritaire chez les parties prenantes enquêtées

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## Les parties prenantes en lien avec les enjeux de chaleur urbaine et santé

### Enquête 2022 du projet de recherche « H2C » Chaleur et Santé en Ville (CNRM, 2021/24, ANR)

CNRM-Météo France (coordination : Aude Lemonsu),  
IPSL, LHEEA, CSTB, Prodig, Airparif,  
Santé publique France, L'Institut Paris Region



Selon le retour d'expérience ou le niveau d'appréhension des enjeux liés à la chaleur en ville	Oui		Non		Sans avis	
sur les populations à risques	29	48%	17	28%	15	25%
sur les lieux les plus exposés	40	66%	11	18%	10	16%
sur les périodes à enjeu	19	31%	26	43%	16	26%
sur les impacts sur la santé	38	62%	13	21%	10	16%
sur les effets systémiques (multiples et interdépendants)	48	79%	6	10%	7	11%

**Les manques identifiés dans le registre de la connaissance**

Très grande diversité des déterminants individuels...

Identification encore peu précise des MICU & IFU...

Et la nuit ?  
Et hors seuil canicule ?

Risque minoré (sportifs...),  
Et long terme ?

Mal connus,  
Volontairement ignorés ?

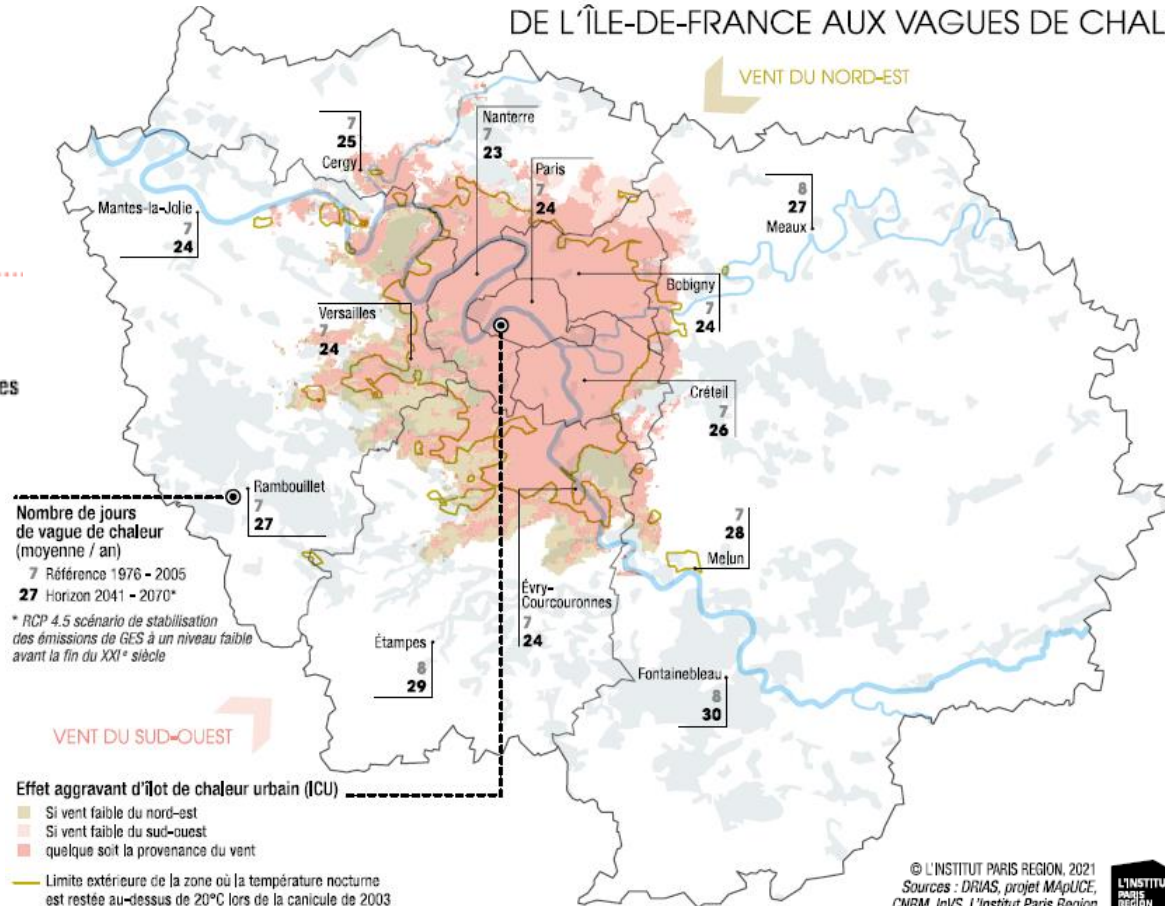
# Enjeux associés aux vagues de chaleur

## Des enjeux de surmortalité humaine aux enjeux systémiques

Impacts systémiques potentiels d'une vague de chaleur



### VULNÉRABILITÉS ACTUELLES ET FUTURES DE L'ÎLE-DE-FRANCE AUX VAGUES DE CHALEUR



Exemple :  
**Baisse de productivité en raison du stress thermique (étude OIT)**

La productivité du travail ralentit à des températures supérieures à 24-26 °C. À 33-34 °C, et pour une intensité de travail modérée, la performance du travailleur chute de 50%

Secteur de la construction : 6% en 1995 du total des heures de travail perdues devrait passer à 19% en 2030

© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021  
Sources : DRIAS, projet MAPUCE, CNRM, InVS, L'Institut Paris Region



# Enjeux associés aux vagues de chaleur

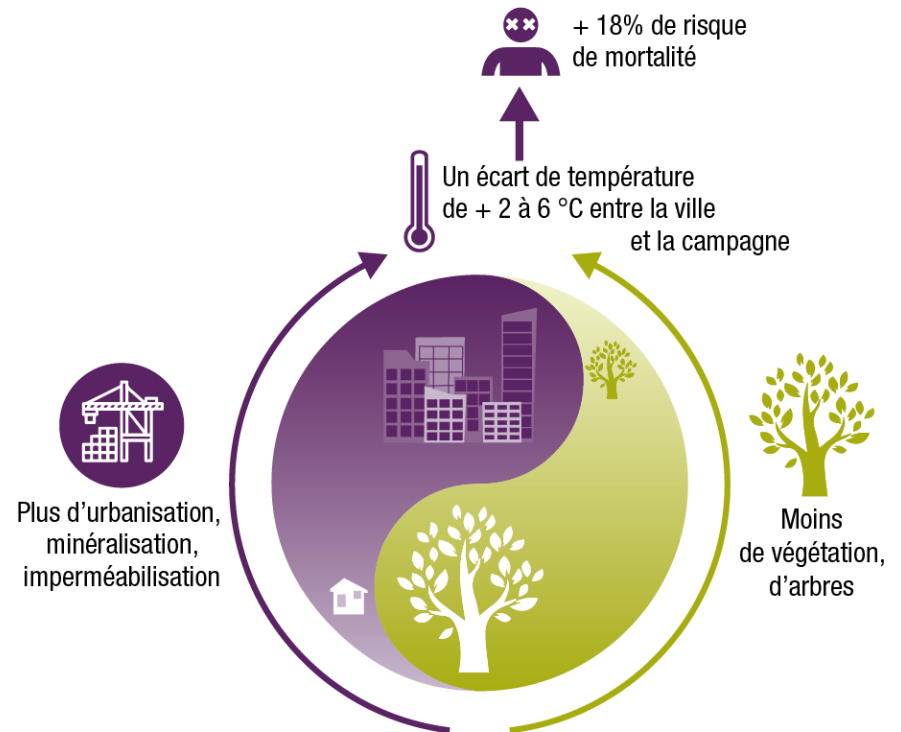
=> Focus Enjeux humain : risque Santé publique (surmortalité)

## Risque de surmortalité et carence en végétation arborée (caractéristique ICU)

- Collaboration 2019/2020 Santé publique France / L'Institut Paris Region et l'ORS

« Influence de caractéristiques urbaines sur la relation entre température et mortalité en Île-de-France »

### L'environnement urbain augmente les risques des effets sanitaires



© L'INSTITUT PARIS REGION - ORS, 2021 / Source : Santé Publique France 2020

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

=> Focus Enjeux humain : composantes de la vulnérabilité et adaptation

"Aléa"

Effet d'îlot de chaleur urbain (élévation des températures en ville)

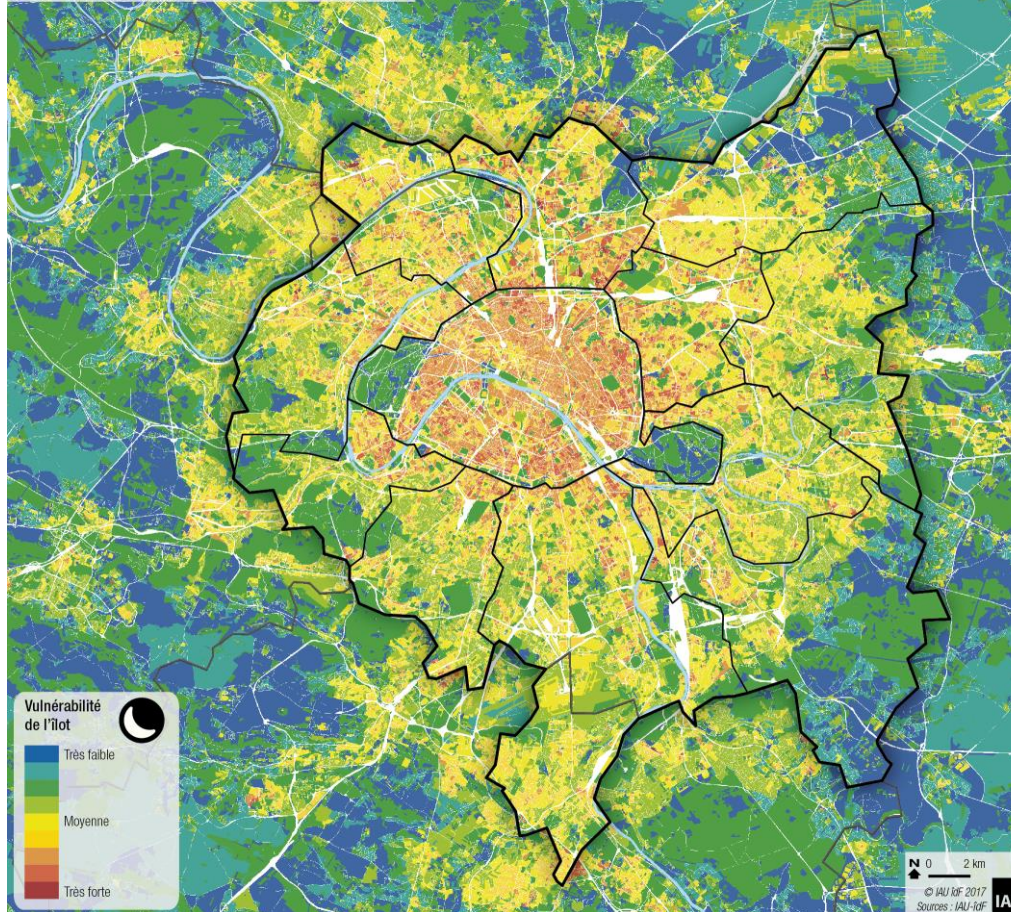
"Sensibilité"

Fragilité des biens et des personnes lors d'une canicule

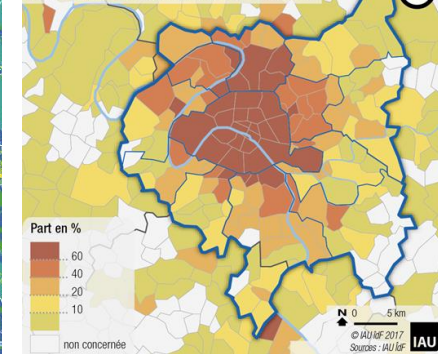
"Difficulté à faire face"

Déficit potentiel des ressources face au risque de canicule

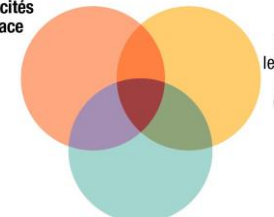
VULNÉRABILITÉ DES ÎLOTS À LA CHALEUR URBAINE LA NUIT



POPULATION SENSIBLE PAR ÂGE RÉSIDANT LA NUIT DANS DES ÎLOTS TRÈS VULNÉRABLES À LA CHALEUR



Renforcement des capacités à faire face



Lutte contre les effets d'ICU (6 registres de solutions)

Prise en compte de la sensibilité des habitants et des conditions de vie



# Enjeux associés aux vagues de chaleur

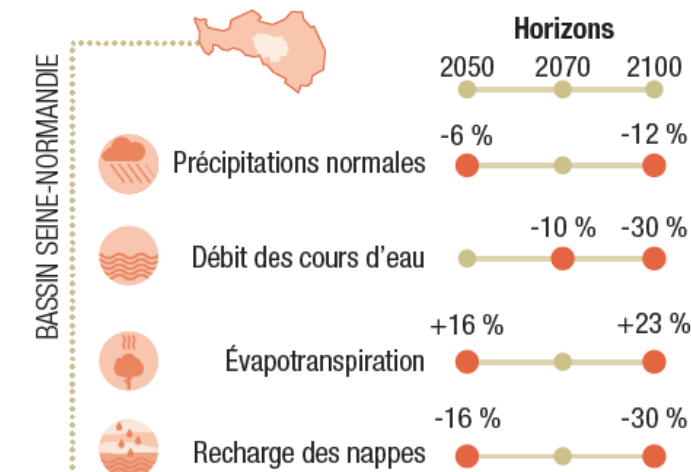
=> Focus Végétation, SaFN : Vague de chaleur + Sécheresse

**En stress thermique + ozone :**  
**affaiblissement, nécroses, ↘ de rendement**  
**forte évapotranspiration : sécheresse sols**

+ **stress hydrique** (disponibilité de l'eau)

+ **probabilité risque incendie ↗**

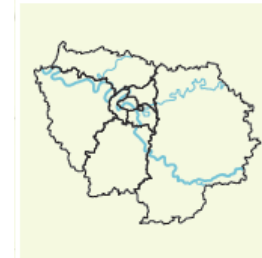
+ **insectes ravageurs, autres pathogènes**



© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021 / Sources : Drias, GREC ÎdF, AESN, SDAGE

## Sécheresse des sols

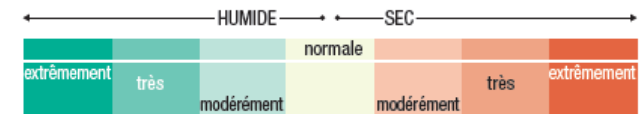
Période de référence (autour de 1970)



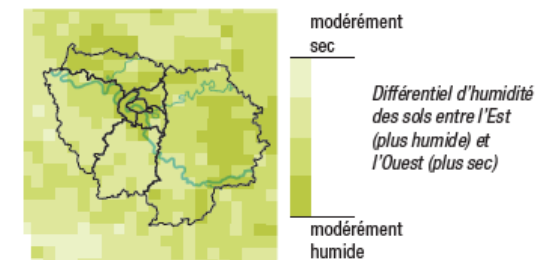
Évolution à moyen terme, scénario intermédiaire\* du GIEC, autour de 2055



\* Développement économique tendanciel avec équilibre entre les sources d'énergie.



Détail de la classe « normale » de la période de référence (autour de 1970)



0 40 km

© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021

Source : Drias, indice de sécheresse d'humidité des sols SSWI, moyennes annuelles

# Enjeux associés aux vagues de chaleur

=> Focus Végétation, SaFN : Vague de chaleur + Sécheresse

## Physiologie végétale

### Circulation des sèves

Eau et les sels minéraux (sève brute)  
puisés dans le sol

Conduction vers les feuilles, siège photosynthèse  
Sucres redistribués à l'organisme (sève élaborée)

### Comment l'eau monte-t-elle ?

Transport passif de la sève brute

Ouverture de pores (stomates) au niveau des feuilles

L'évaporation de l'eau « tire » la colonne de sève

### 4 rôles de la transpiration :

Hydratation / Nutrition / Photosynthèse / Régulation thermique

**Stress hydrique = danger**



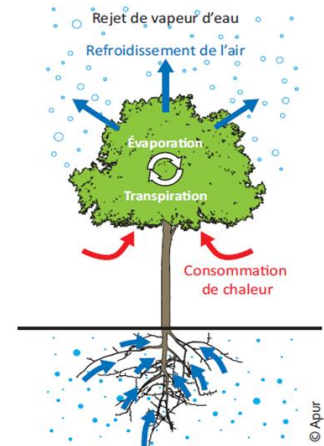
Fermeture des stomates = protection



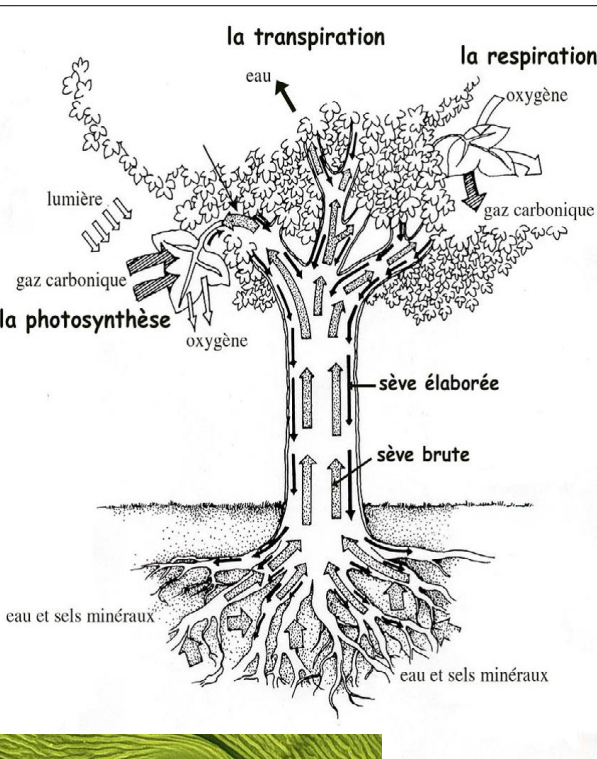
**~~Hydratation / Nutrition / Photosynthèse / Régulation thermique~~**

**! évapotranspiration**

Effet **dépendant**  
**des conditions**  
(disponibilité en eau)



© Apur



Un stomate  
(environ 30 µm)



# Enjeux associés aux vagues de chaleur

Merci de votre attention

[erwan.cordeau@institutparisregion.fr](mailto:erwan.cordeau@institutparisregion.fr)



<https://cartoviz.iau-idf.fr/>



Cop21\_scenario1 <https://youtu.be/vnZequHjFIY>



Cop21\_scenario2 <https://youtu.be/sCC5Zz2-w84?t=5>



Cop21\_scenario3 [https://youtu.be/aeoDn\\_PmsNk](https://youtu.be/aeoDn_PmsNk)

