

---

# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

LA GESTION DURABLE DE L'EAU POUR RELEVER LES DÉFIS DES EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET DE L'EFFET D'ICU

**Table ronde : La place de l'eau en ville – CYTé, Les Mureaux (78) / 25 juin 2019**

Erwan Cordeau (IAU Île-de-France)



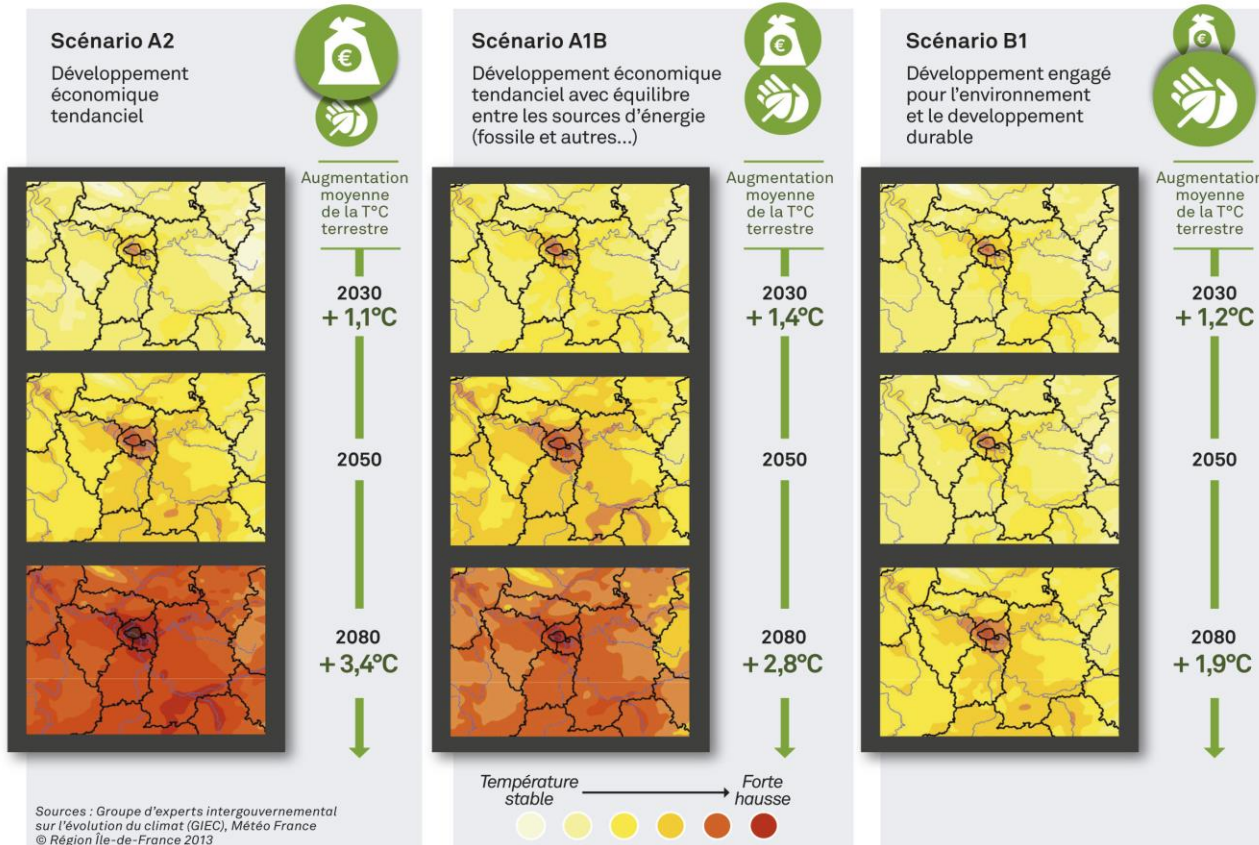
# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

Effets du changement climatique : **température, sécheresse, vague de chaleur**



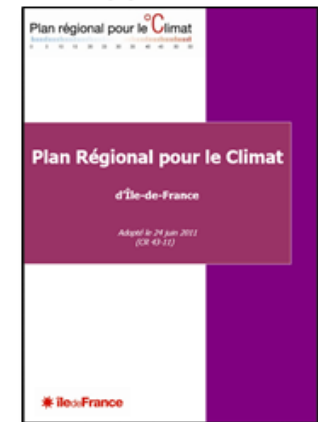
## Les scénarios de changements climatiques en Île-de-France

Les cartes sont obtenues en superposant la variation (écart à la simulation de référence) projetées par le modèle ARPEGE-Climat (résolution 50km) et la climatologie de référence à échelle fine (résolution 1km, interpolation par la méthode AURELHY).



Paris, la petite couronne, la région d'Île-de-France ont font l'objet de travaux de recherche depuis 10 ans sur énergie-climat, avec Météo-France notamment : EPICEA, MUSCADE, MAPUCE...

2010/2011  
Elaboration du PRC  
appui CRIF



# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

Effets du changement climatique : **température, sécheresse, vague de chaleur**



Quid effet Sécheresse / activités et milieux naturels : vision prospective

=> Usages de l'eau : Agriculture / Sylviculture et forêt / Industrie et Production d'énergie... / AEP

=> Compartiments Eau : Eau/Sol (RGA...) ; Milieux humides ; Rivières (débit d'étiage en baisse => dilution)

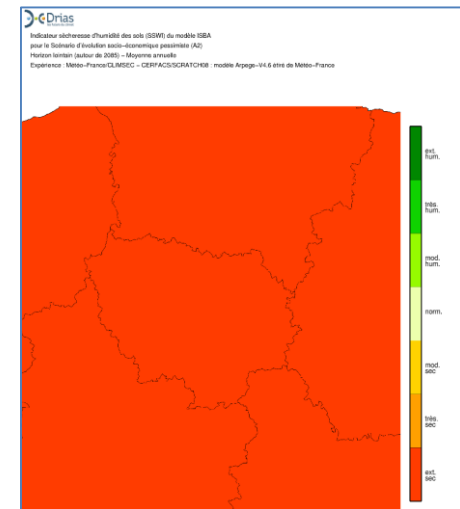
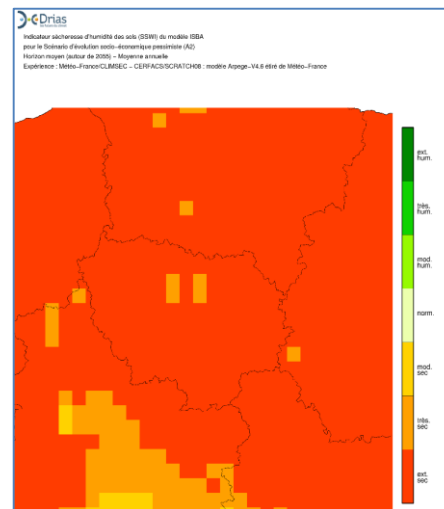
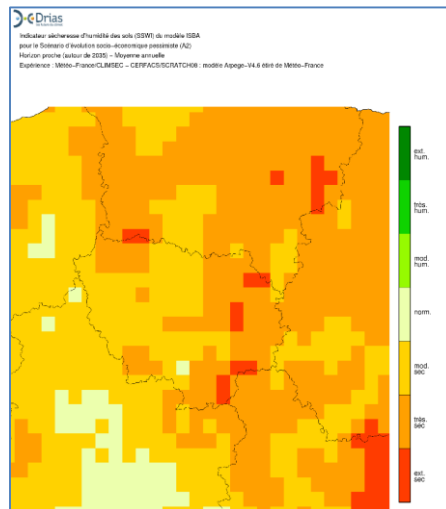
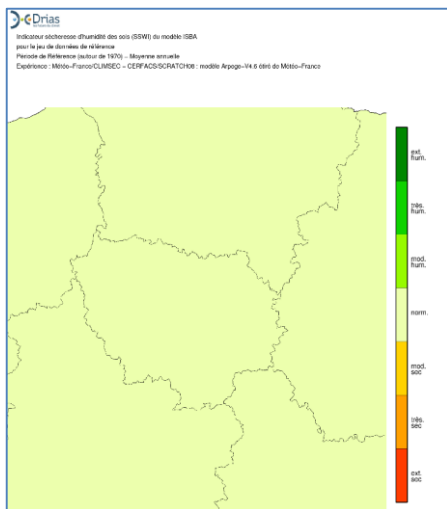
Indicateur sécheresse d'humidité des sols – moyenne annuelle (modèle ISBA – [Portail DRIAS](#), Météo France)

*Référence (1970)*

*Horizon proche (2035)*

*Horizon moyen (2055)*

*Horizon lointain (2085)*





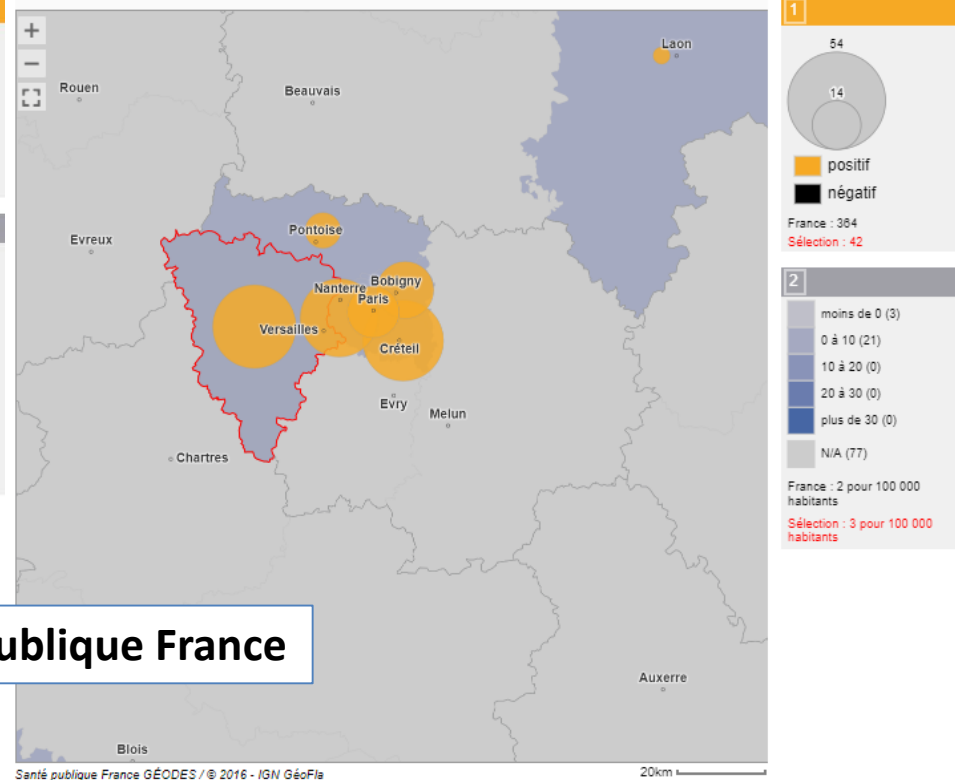
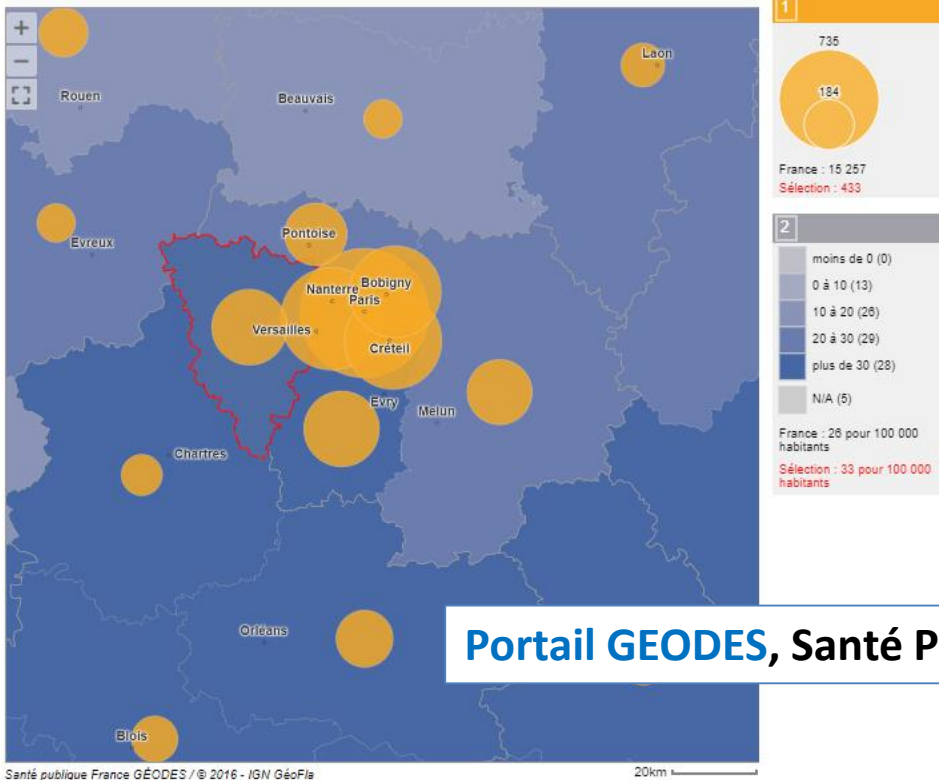
# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

Effets du changement climatique : température, sécheresse, vague de chaleur

Rétrospective Canicule et surmortalités : 2003 (exceptionnelle) et exemple 2016

1 Nombre de décès en excès pendant les périodes de canicules, 2003 - Source : CépiDc et Insee, exploitation Santé publique France  
2 Taux de décès en excès pendant les périodes de canicules (pour 100 000 habitants), 2003  
- Source : CépiDc et Insee, exploitation Santé publique France

1 Nombre de décès en excès pendant les périodes de canicules, 2016 - Source : CépiDc et Insee, exploitation Santé publique France  
2 Taux de décès en excès pendant les périodes de canicules (pour 100 000 habitants), 2016  
- Source : CépiDc et Insee, exploitation Santé publique France



Portail GÉODES, Santé Publique France

# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

Effets du changement climatique : **température, sécheresse, vague de chaleur**

+ **vulnérabilité actuelle propre à l'Île-de-France : l'effet d'îlot de chaleur urbain**

Canicule de 2003 = vague de chaleur la plus importante depuis 1947

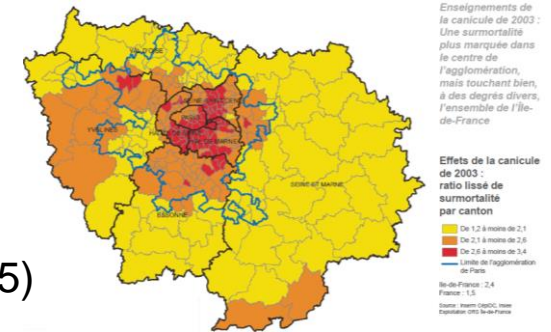
Source : INSERM ; Santé = 15 000 décès en excès en France

Publique France (direction = 5 000 décès en excès en IdF

santé environnement) ; = surmortalité Yvelines : + 145%

ORS Île-de-France

(canicules France, 2 000 décès en 2006, 3 300 décès en 2015)



**En 2100 à Paris, selon Météo-France, on pourrait connaître :**

- un été sur deux aussi chaud que celui de 2003,

- **10 à 25 journées d'alerte canicule** versus 1 jour/an en moy. actuellement

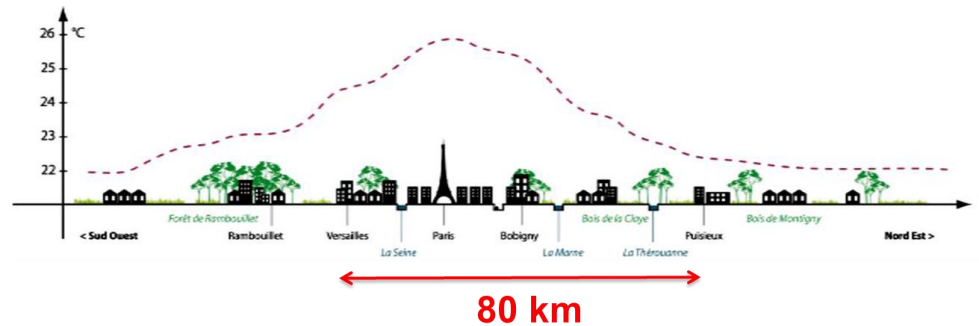
A cette situation s'ajoute le phénomène de l'îlot de chaleur urbain (ICU)

Ainsi, durant les canicules de 2003 et 2015, il a fait plus chaud à Paris qu'en périphérie d'Île-de-France, jusqu'à 10°C d'écart entre le centre de Paris et la forêt de Fontainebleau.

# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

## Ilot de chaleur urbain (ICU) : la différence Ville / Campagne

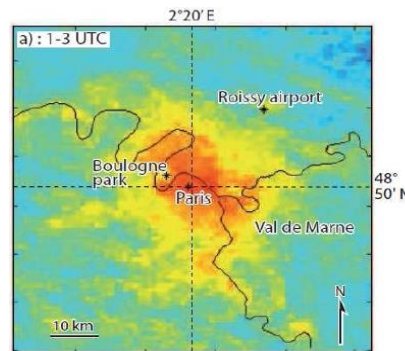
Contraste de température de l'air



ICU « métropolitain »

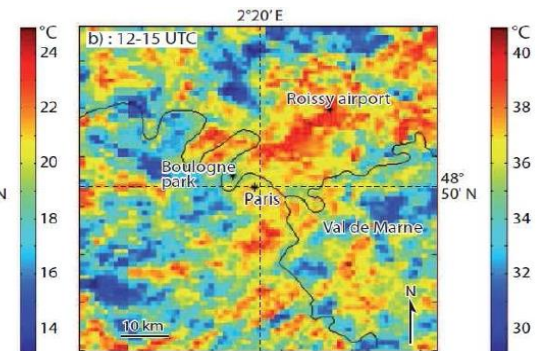
mais aussi contrastes locaux :  
îlot de chaleur / îlot de fraîcheur

➔ Période de canicule  
=> LA NUIT,  
enjeu de santé publique



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

*magnitude d'environ 8°C*



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  
NOA-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); B) sur 10  
images, pour l'intervalle de temps  
compris entre 12 et 15 UT (14 et  
17 heure locale). Pour chaque  
image, l'échelle des températures  
de 10°C a des valeurs de bornes  
différentes. Figure reproduite de :  
Dousset et al. (2011), International  
Journal of Climatology, John Wiley  
& Sons.

# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

## LES ENJEUX SANITAIRES ET SYSTÉMIQUES LIÉS AUX FORTES CHALEURS ET À LA POLLUTION DE L'AIR, UNE VULNÉRABILITÉ DÉJÀ ACTUELLE

### Vague de chaleur + effet aggravant d'ICU :

=> Risques sanitaires (canicule, stress thermique et hydrique)

=> **Dégradation de la qualité de l'air :**

L'ICU et la forte chaleur sont des facteurs aggravant de la pollution atmosphérique et de ses effets sur l'homme et sur les milieux

- air extérieur : **aggravation des phénomènes de smog**  
(T°, stagnation air) avec pollution à l'ozone
- air intérieur : **émanation de substances toxiques**

=> **Perturbation du confort thermique (activités économiques, transports)**

=> **Pression sur les ressources Energie / Eau**

pour les besoins de rafraîchissement, de réfrigération et d'eau potable

- hausse probable de la **demande en énergie** (climatisation, réfrigération)  
↗ chaleur anthropique (extraction) et ↗ GES (fluides frigorigènes)
- hausse probable **des demandes en eau** (plantations, aires rafraîchissement)

# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

## Retour sur la prise en compte de l'îlot de chaleur urbain dans l'aménagement et l'urbanisme : la place de l'eau et de l'imperméabilisation

Fin du XIXe siècle :

### Les mouvements hygiénistes

Pour lutter contre les épidémies comme la tuberculose et le choléra qui font des ravages dans des villes très denses et insalubres :

- création des grands boulevards et avenues qui doivent assainir les quartiers centraux (préfet Rambuteau, Baron Haussmann) et des grands parcs parisiens : **attention portée au végétal** dans la conception urbaine ;
- **ventilation des bâtiments et des villes** et **apport de lumière**, prônés par les concepteurs urbains inspirés par Louis Pasteur et la découverte des microbes en 1865 pour lutter contre les miasmes responsables des maladies comme le choléra, le typhus ou la tuberculose ;
- **mais rejet complet de l'eau** : « assainissement » des zones humides, recouvrement des cours d'eau transformés en égouts car synonymes d'odeurs nauséabondes et vecteurs de maladies. L'eau n'est valorisée que lorsqu'elle est entièrement maîtrisée.



EAU



# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

## Retour sur la prise en compte de l'îlot de chaleur urbain dans l'aménagement et l'urbanisme : la place de l'eau et de l'imperméabilisation

### Deuxième moitié du XXe siècle

La rupture de l'architecture avec les principes bioclimatiques apparaît au milieu du XXe siècle, après la seconde guerre mondiale.

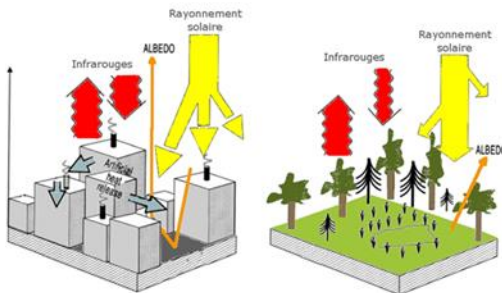
- On pense qu'**il n'est plus nécessaire de construire selon les principes hygiénistes** car les épidémies urbaines ont été enrayerées ;
  - **La qualité des constructions n'est pas une priorité** : c'est l'après-guerre et la grande période de **reconstruction** qui s'accompagne du baby-boom et de grandes vagues d'immigration; il faut construire beaucoup de logements, très vite et à des prix modérés ;
  - **Diminution de l'attention portée aux espaces publics** ;
  - Les progrès techniques, la modernité, apportent et diffusent la **climatisation** ;
  - **Généralisation de l'automobile** dans les années 1950-1960.
- => Constructions + minéralisation de l'espace public : imperméabilisation des sols**

EAU

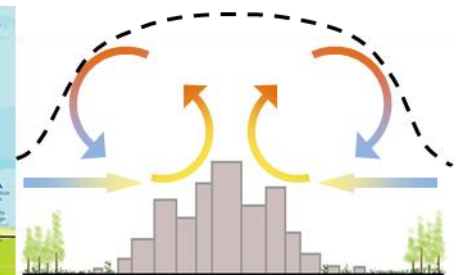
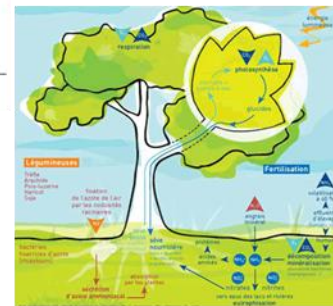
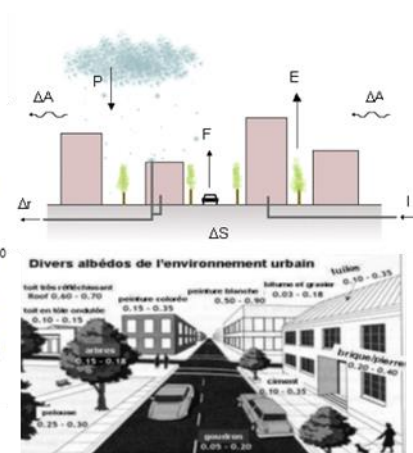
# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

## Les facteurs intervenant dans le phénomène ICU

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



Source : Colombert, 2008 (simplifié)



Source : IAU, 2010

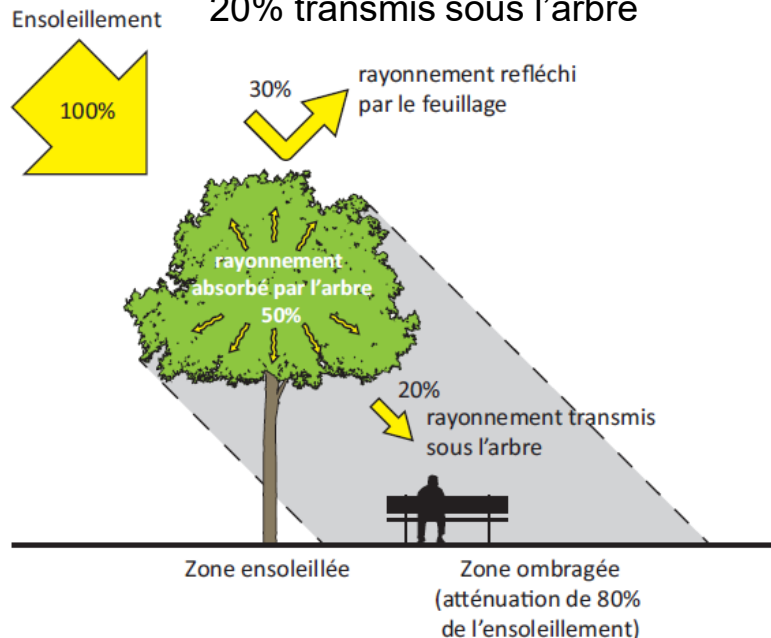
# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

## ⇒ ZOOM sur Eau et Végétation

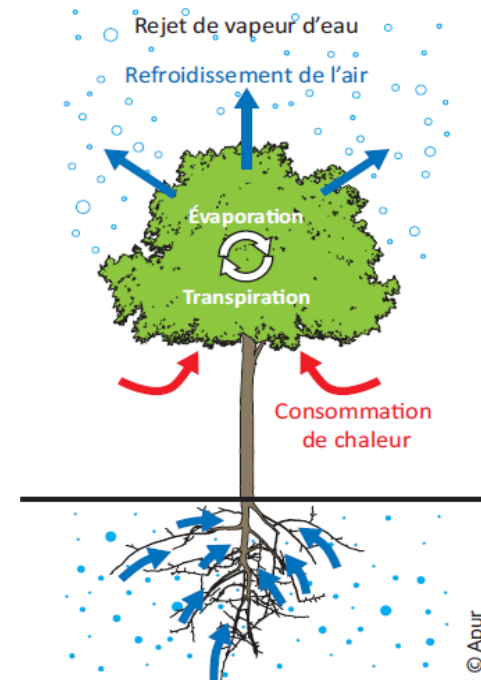
### Le rafraîchissement du milieu ambiant par la végétation

Rafrâichissement grâce à **ombrage** et **évapotranspiration**

Effet **permanent** durant l'été  
50% du rayonnement absorbé par l'arbre  
30% réfléchi par le feuillage  
20% transmis sous l'arbre



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



# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

## ⇒ ZOOM sur Eau et Végétation

### ICU et stratégies de végétalisation, ce que nous dit la Recherche

Projet MUSCADE (ANR, Météo-France...) et travaux de thèse

« **Modélisation de la végétation urbaine** et stratégies d'adaptation pour l'amélioration du confort climatique et de la demande énergétique en ville »

Cécile de Munck - Novembre 2013



5 typologie de bâtiments

(individuel, collectif, haussmannien, tour de bureaux, hangar)

4 types d'usages

(résidentiel, bureaux, industriel, agricole/commercial)

Simulation des caractéristiques des équipements

(climatisation, chauffage, protection solaire, ventilation)

9 scénarios  
de végétalisation

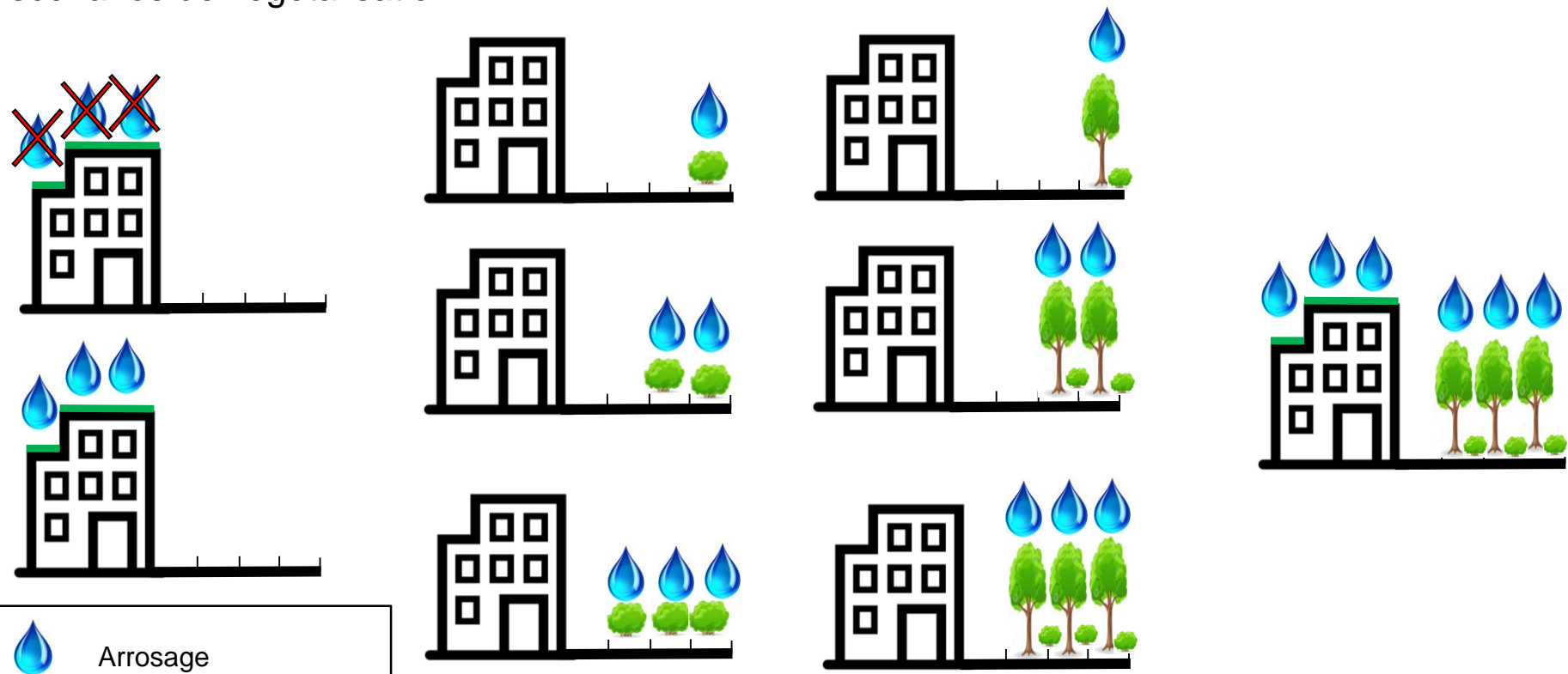
**indicateurs énergétiques** (consommation d'énergie)






**Indicateurs thermiques** (température nocturne des rues)

**indicateurs hydrologiques** (ruissellement et consommation en eau )

# ICU et stratégies de végétalisation, ce que nous dit la Recherche

## 9 scénarios de végétalisation



-  Arrosage
-  Surfaces disponibles
-  Toiture extensive 5cm
-  Végétation basse
-  Végétation mixte arborée

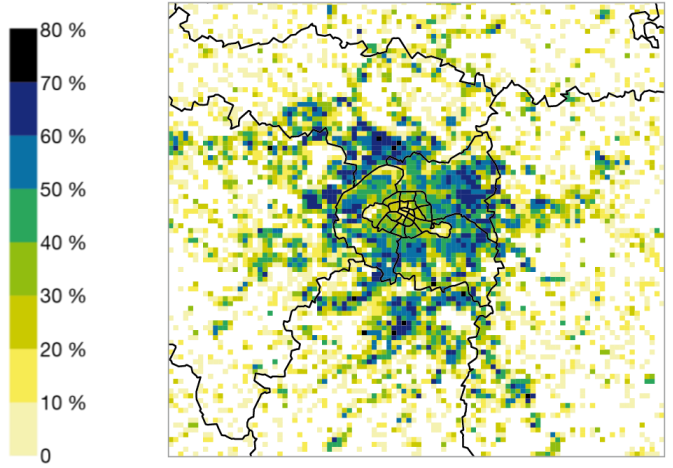
**Surface disponibles** = hors habitat et voirie (trottoirs, parking, places, ronds-points...)

| Végétalisation surfaces disponibles | Ajout végétation urbaine/REF |
|-------------------------------------|------------------------------|
| 25 %                                | + 11 %                       |
| 50 %                                | + 22 %                       |
| 75 %                                | + 34 %                       |

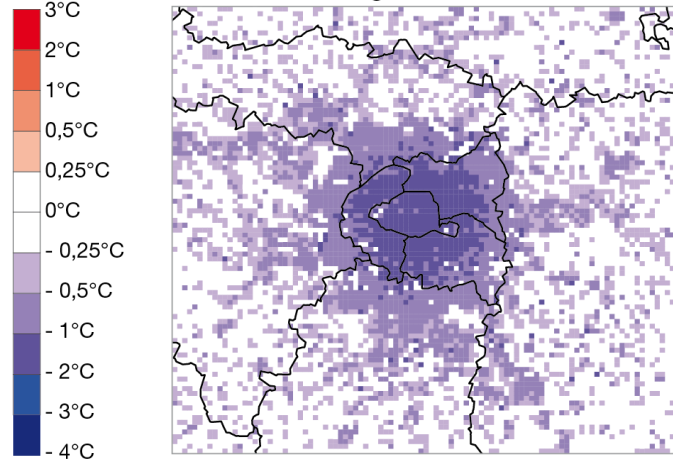


Végétalisation 75% espaces libres

Densité de végétalisation urbaine au km²



Variation de température minimale nocturne dans la rue



Augmentation de la densité de végétalisation → **baisse de la température (de -0,25 à -2° C)**  
 Le rafraîchissement est **d'autant plus fort que le taux de végétalisation est élevé**  
 La **végétation mixte arborée est de loin la plus efficace**  
**Impact moindre des toitures végétalisées** (entre -0,25 et -0,5° C)  
 Impact des toitures **que si arrosage**

Effet des toitures végétalisées que si arrosage  
 Les autres surfaces végétalisées sont systématiquement arrosées dans ce modèle



**Rafrâichissement possible MAIS arrosage nécessaire**

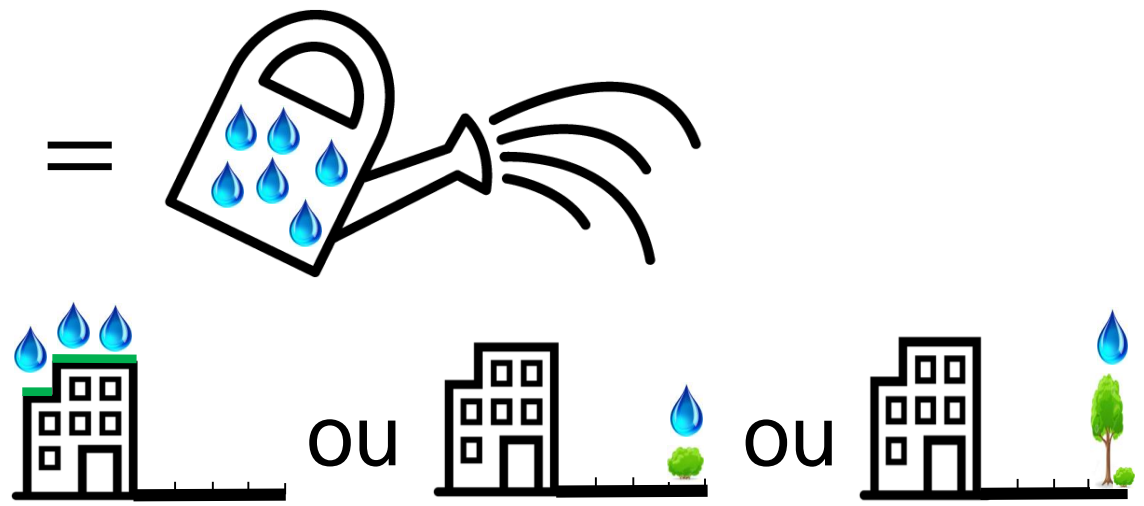


Quelle quantité d'eau pour l'ensemble du domaine d'étude pendant 6 jours de canicule ?

|   | Avant végétalisation | Végétalisation mixte arborée<br>75% espaces libres |
|---|----------------------|--|
| Volume d'eau (millions de m3)                                     | 18                   | 24   |
| Comparaison débit Seine étiage sur 6 jours (66 m³/s)              | 53 %                 | 71 %   |
| Comparaison consommation eau potable domestique sur 6 jours (IDF) | 170 %                | 230 %  |



100 % des ruissellements urbains sur un an = besoins en eau des scénarios « TVE irriguées » ou « 25 % des surfaces libres »





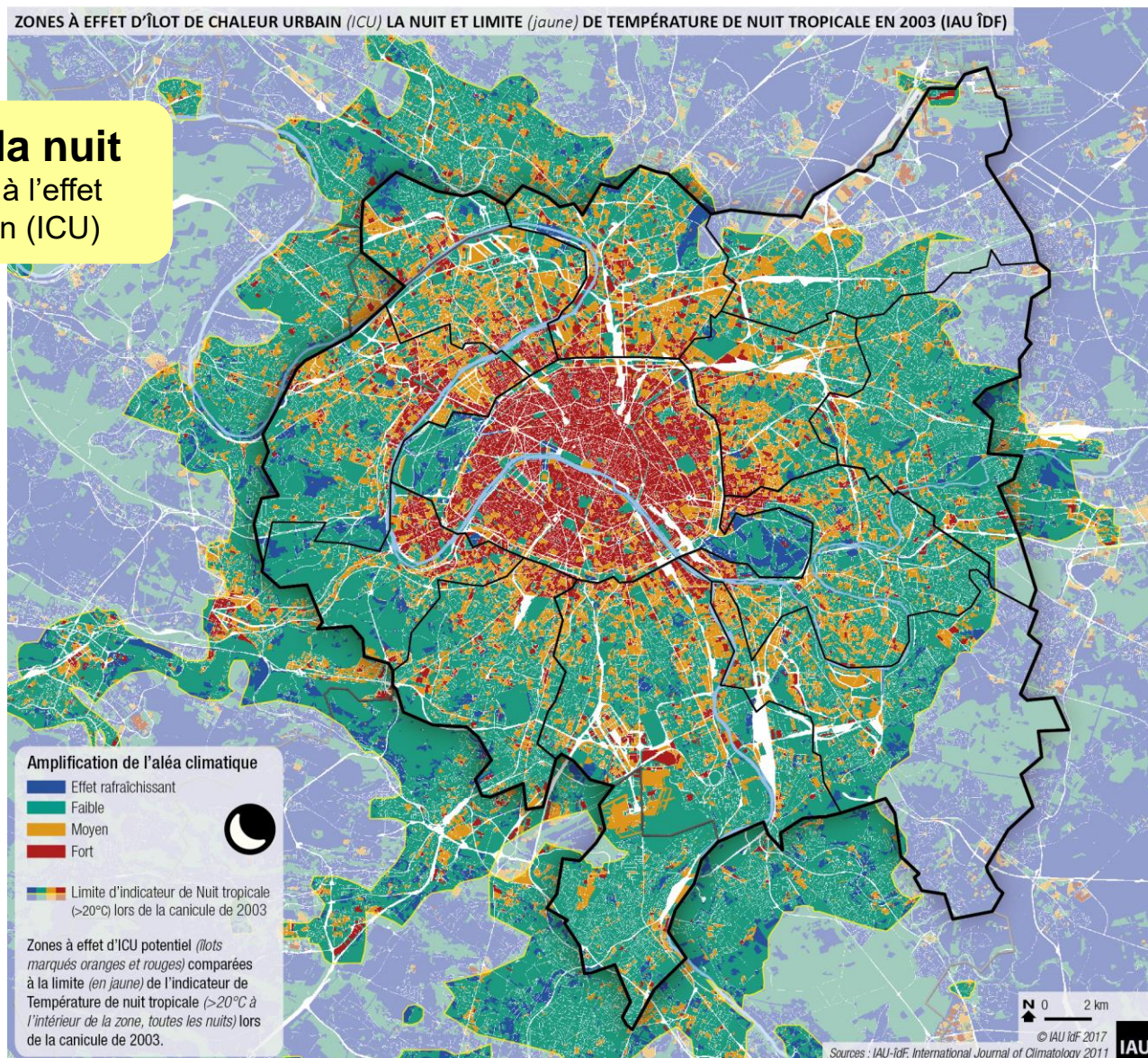
# ALEA CHALEUR URBAINE - EFFET D'ICU

ZONES À EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN (ICU) LA NUIT ET LIMITE (jaune) DE TEMPÉRATURE DE NUIT TROPICALE EN 2003 (IAU ÎDF)

## « Aléa » - EICU la nuit

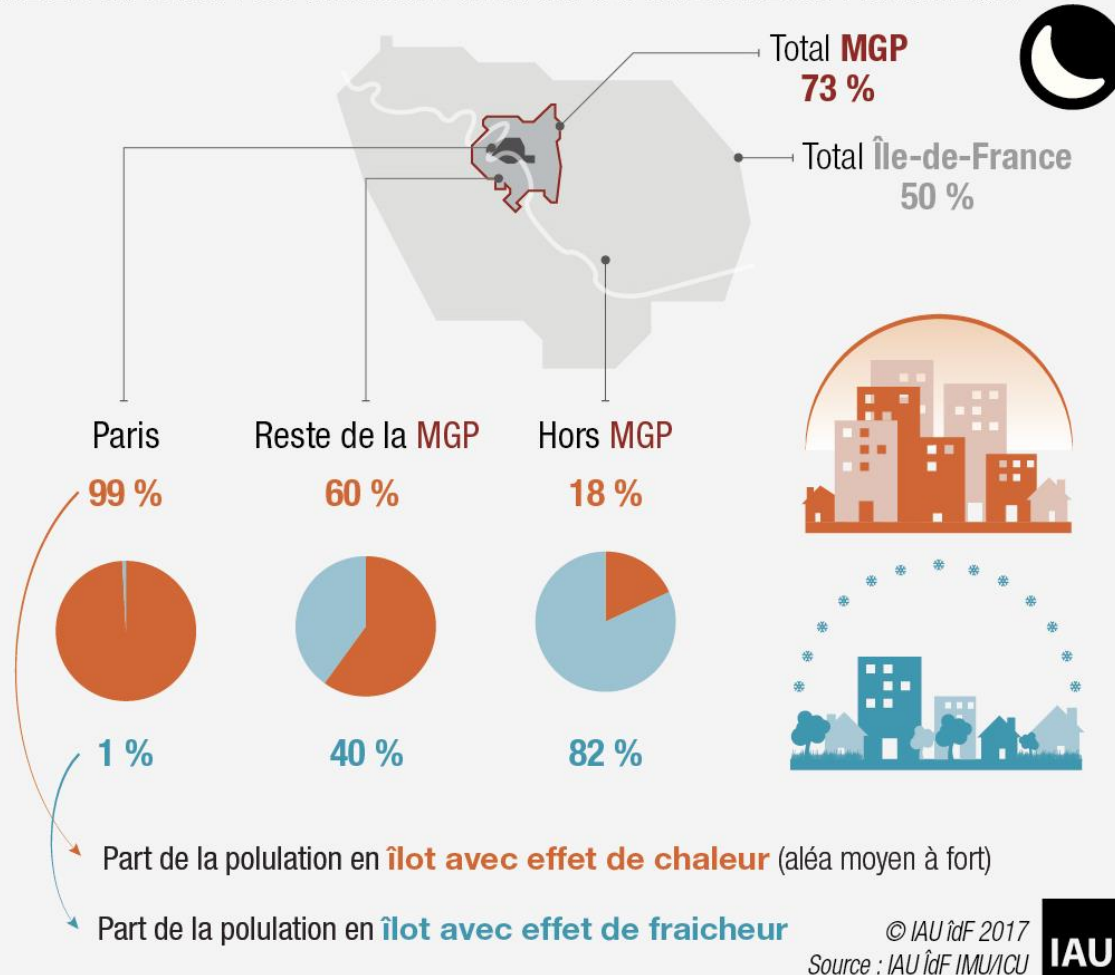
Exposition potentielle à l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU)

Pré-diagnostic  
du Plan Climat Air  
Energie (PCAEM)  
de la MGP



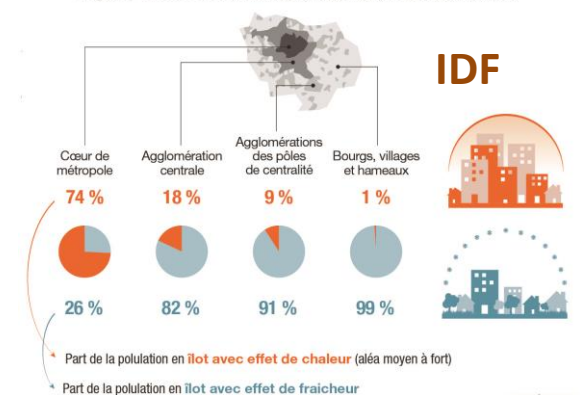
# ALEA CHALEUR URBAINE - EFFET D'ICU

## RÉPARTITION DE LA POPULATION RÉSIDANT DANS UN QUARTIER SOUMIS À L'EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN OU EN ZONE DE FRAÎCHEUR



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



Pré-diagnostic  
du Plan Climat Air  
Énergie (PCAEM)  
de la MGP



# ADAPTATION EICU CONCEPTION QUARTIERS

## Principes à intégrer dans la conception des quartiers

### Augmenter la couverture végétale

- **En pleine terre** : Plus de végétation de pleine terre : espaces verts, trames vertes...
- **Sur le bâti** : Plus de végétation sur le bâti (pieds d'immeubles, murs, terrasses, toits,...)
- **Potentiel de toits plats** : Potentiel de végétalisation des toitures terrasses

### Augmenter les surfaces en eau

- **Dés-imperméabilisation du sol** : Plus de sols perméables (rétention d'eau par le sol)
- **Récupération bâti & systèmes** : Potentiel de récupération d'eau en pied d'immeuble, amélioration de la gestion de l'eau
- **Rétention d'eau via substrat toit à végétaliser**: Potentiel d'usage de l'eau pour toitures végétalisées
- **Surface d'eau & équipement au sol** : Plus d'aires de rafraîchissement de proximité : aires aquatiques, bassins, brumisateurs, miroirs d'eau, fontaines...

### Augmenter la surface d'ombrage / Mieux gérer les apports solaires (bioclimatisme)

- **Arbres** : Plus d'arbres pour plus d'ombrage
- **Protections solaires** : Plus de protections solaires du bâti : ombrières solaires, pergolas, volets...

### Utiliser des matériaux à propriétés thermiques et optiques plus adaptées

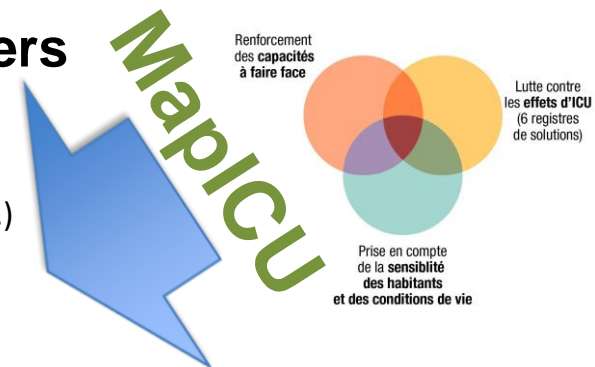
- **Couleur claire sol & chaussées** : Augmentation de l'albédo des surfaces au sol (revêtements des chaussées...)
- **Couleur claire des toits**: Augmentation de l'albédo des toitures terrasses
- **Isolation bâti & matériaux** : Plus d'inertie des matériaux (confort thermique dans le logement...)

### Diminuer les sources de chaleur anthropique

- **Modes actifs & TC** : Facilitation des circulations douces, encouragement TC, plus de fluidité du trafic
- **Ventilation/climatisation vertueuses** : Moins de climatisation en mode sec, privilégier les systèmes collectifs (réseaux de froid...) ou individuels (VMC double flux, puits Canadien...)
- **Récupération chaleur fatale** : Récupération de la chaleur perdue par les procédés industriels (chaleur fatale)

### Adapter la morphologie urbaine à l'occasion de projets (position et orientation du bâti)

- **Ventilation horizontale de l'îlot** : Plus de ventilation de l'îlot (meilleure circulation des masses d'air, front urbain moins continu)
- **Ventilation verticale de l'îlot** : Moins d'obstacles à la vue du ciel (accélération du refroidissement nocturne)







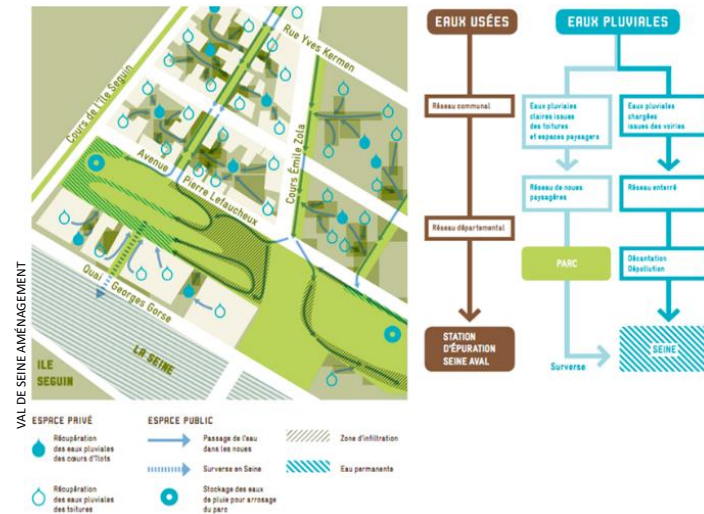
# ADAPTATION EICU CONCEPTION QUARTIERS

## Quartier du Trapèze (Boulogne-Billancourt, 92)

### Gestion durable de l'eau

- ☑ Augmenter la couverture végétale
- ☑ Augmenter les surfaces en eau
- ☐ Augmenter la surface d'ombrage / bioclimatisme
- ☐ Utiliser des matériaux à propriétés thermiques /optiques
- ☐ Diminuer les sources de chaleur anthropique
- ☐ Adapter la morphologie urbaine à l'occasion de projets

Schéma du principe de gestion des eaux pluviales à l'échelle du macro-lot



Triple réseau d'assainissement dont réseau Eaux pluviales claires :  
des toitures et espaces paysagers => réseau de noues paysagères => Parc anti-crue

- inondations fortes pluies
- qualité des eaux rejetées
- conso d'eau potable
- qualité paysagère



☹ ombrage en devenir





# ADAPTATION EICU CONCEPTION QUARTIERS

## Parc Robert Auzelle (Clamart, 92)

### Citée jardin de la Plaine

- ☑ Augmenter la couverture végétale
- ☑ Augmenter les surfaces en eau
- ☑ Augmenter la surface d'ombrage
- ☐ Utiliser des matériaux à propriétés thermiques /optiques
- ☑ Diminuer les sources de chaleur anthropique
- ☐ Adapter la morphologie urbaine à l'occasion de projets



Equilibre végétal/minéral (construit)

Ombrage arboré

Plan d'eau avec plantes aquatiques alimenté par la récupération d'eaux pluviales des toitures des bâtiments limitrophes contenues dans un réservoir enterré de 170 m3



# CHALEUR URBAINE, ICU : ENJEU DE L'EAU

Merci de votre attention

[erwan.cordeau@iau-idf.fr](mailto:erwan.cordeau@iau-idf.fr)



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



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



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



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

