
CHANGEMENT CLIMATIQUE ET EFFET D'ICU

LA VULNÉRABILITÉ DE L'ÎLE-DE-FRANCE À LA CHALEUR URBAINE,
ENJEU DE SANTÉ PUBLIQUE ET CAPACITÉS D'ADAPTATION

Atelier Adaptation du Teddif / 20 mars 2018

Erwan Cordeau (IAU Île-de-France)



CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ICU

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

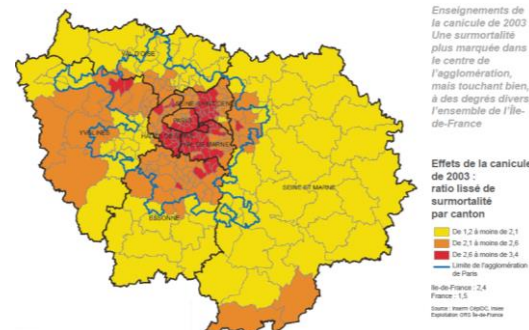
Canicule de 2003 = vague de chaleur la plus importante depuis 1947

= 15 000 décès en excès en France

= 5 000 décès en excès en IdF

= surmortalité Val-de-Marne : + 171%

Source : INSERM ; Santé
Publique France (direction
santé environnement) ;
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 région parisienne, jusqu'à 10°C d'écart entre le centre de Paris et la forêt de Fontainebleau.

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ICU

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).

Scénario A2

Développement économique tendanciel



Augmentation moyenne de la T°C terrestre

2030
+1,1°C

2050

2080
+3,4°C

Scénario A1B

Développement économique tendanciel avec équilibre entre les sources d'énergie (fossile et autres...)



Augmentation moyenne de la T°C terrestre

2030
+1,4°C

2050

2080
+2,8°C

Scénario B1

Développement engagé pour l'environnement et le développement durable



Augmentation moyenne de la T°C terrestre

2030
+1,2°C

2050

2080
+1,9°C

Température stable → Forte hausse



Sources : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), Météo France
© Région Île-de-France 2013

Paris, la petite couronne, la région 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



CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ICU

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

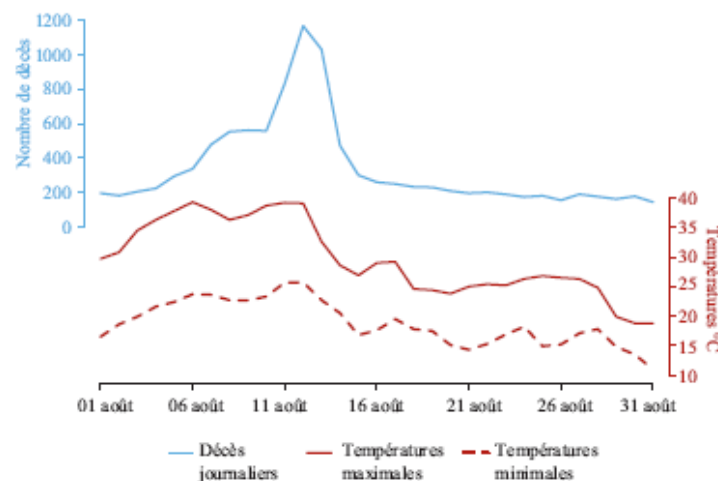
L'EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

Les ICU sont la cause d'une forte surmortalité en période caniculaire (InVS) :

- ⇒ repos nocturne et récupération empêchés
- ⇒ risque de surmortalité 2 fois plus élevé chez les personnes exposées à la chaleur, en particulier la nuit et lorsque la canicule persiste une semaine ou plus

Avec des facteurs de risque :

- individuel (perte d'autonomie, pathologies préexistantes...)
- liés à l'environnement (sous les toits, dans un quartier ICU...)



Sources : Météo France, CépiDc, exploitation ORS Ile-de-France, 2009

L'EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

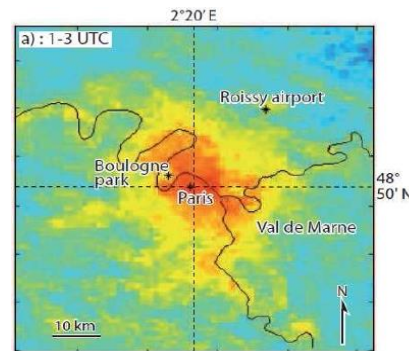
Ilot de chaleur urbain (ICU) : la différence Ville / Campagne

Contraste de température de l'air

ICU « métropolitain »

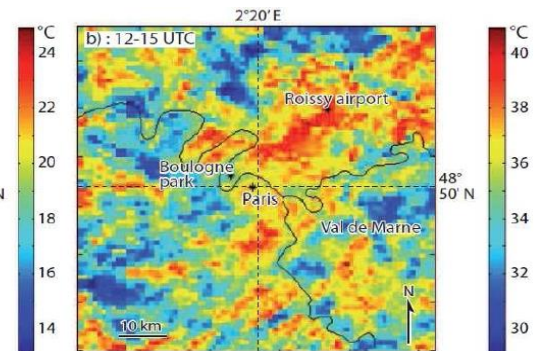
mais aussi contrastes locaux :
îlot de chaleur / îlot de fraîcheur

➔ 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

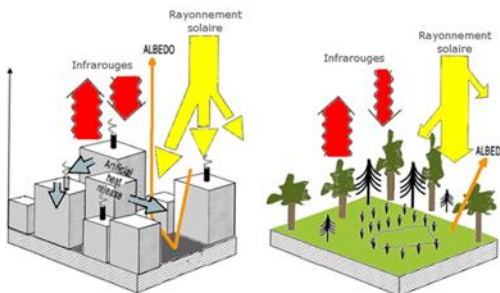
nombreuses anomalies thermiques

**Thermographie
d'été, août 2003**
Source : INVS
Température de surface en région
parisienne obtenues à partir
d'images thermiques des satellites
NOAA-AVHRR 12, 16 et 17,
durant la canicule du 4 au 13 août
2003. Températures moyennées :
A) 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 à des valeurs de bornes
différentes. Figure reproduite de :
Dousset et al. (2011), International
Journal of Climatology, John Wiley
& Sons.

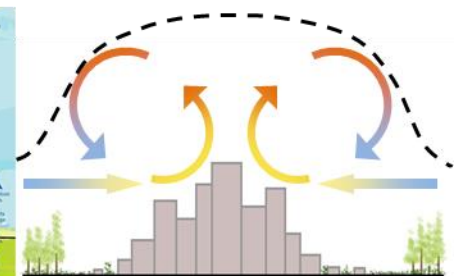
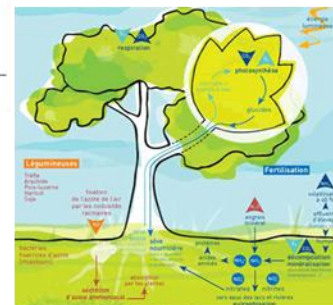
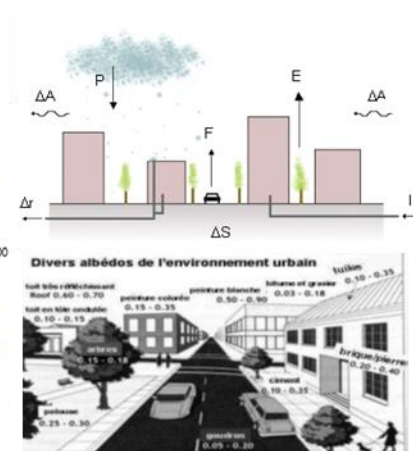
L'EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

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

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ICU

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)

VULNERABILITE A LA CHALEUR et capacités d'adaptation

« Aléa »

Probabilité d'aggravation locale d'un effet du changement climatique

- Aléas liés à des phénomènes météorologiques très divers (sécheresse, vague de chaleur voire canicule, pluie d'orage, tempête...)
- Aléas événementiels (crue d'orage, incendie de forêt...) ou diffus (retrait-gonflement des argiles, pression sur la ressource en eau...)

« Sensibilité »

Présence de personnes ou de biens sensibles à cette aggravation locale

- Enjeux ponctuels (personnes, bâtiments, activités sociales, activités économiques...) ou systémiques (réseaux d'approvisionnement en eau, en énergie...)
- Enjeux souvent « multi-exposés »

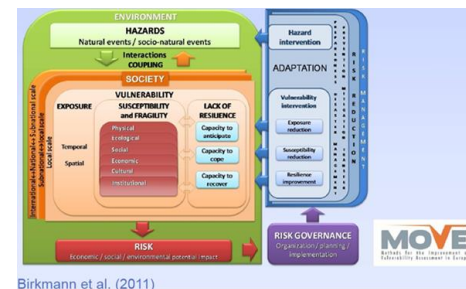
« Difficulté à faire face »

Déficit potentiel de ressources pour faire face au risque climatique

- Difficultés à faire face avant, pendant ou après
- Difficultés liées à un déficit de ressources individuelles ou collectives (notamment « territoriales » : organisation, services, aménités...)
- Difficultés liées à un déficit de ressources économiques, culturelles et/ou sanitaires...

Existence d'un risque climatique

Vulnérabilité à un risque climatique



VULNERABILITE A LA CHALEUR et capacités d'adaptation

ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ À LA CHALEUR URBAINE À L'ÎLOT

INDICATEURS DE VULNÉRABILITÉ LORS D'UNE VAGUE DE CHALEUR

"Aléa"

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

- Nombre de surfaces bâties
- Ventilation de l'îlot
- Obstacle à la vue du ciel
- Rues étroites bordées d'immeubles hauts
- Ombrage lié aux arbres
- Imperméabilisation des sols
- Propriétés thermiques des matériaux
- Présence de végétation dans l'îlot
- Proximité de l'îlot à un bois ou une forêt
- Présence d'eau dans l'îlot
- Proximité de l'îlot à un cours ou plan d'eau
- Réfléchissement de la lumière (albédo)
- Chaleur anthropique (transports, énergie, industrie)
- "Nuit tropicale (>20°C)" lors de la canicule 2003

"Sensibilité"

Fragilité des biens et personnes
lors d'une canicule

- Part de la population sensible par l'âge
- Maison de retraite
- Densité d'habitants
- Densité d'occupation des logements
- Densité d'emplois
- Présence majoritaire de bâti construit entre 1949 et 1974 (avant réglementation thermique)
- Dégradation de la qualité de l'air en 2003 (ozone)

"Difficulté à faire face"

Déficit potentiel des ressources
locales face au risque de canicule

- Part des ménages à bas revenus
- Accessibilité à un médecin généraliste de proximité
- Proximité aux urgences hospitalières
- Absence d'arbres dans l'îlot
- Carence en espaces verts et boisés publics

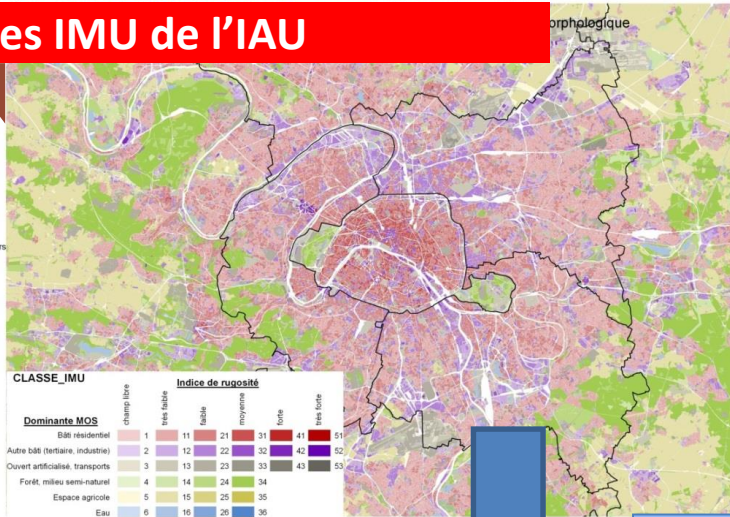
des îlots IMU,
aux types LCZ,
aux Propriétés LCZ,
à l'effet d'ICU

**Aggravation de l'aléa « Vague de chaleur »
par l'effet d'ICU** (Source : IAU île-de-France)

L'EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

Classification normalisée LCZ (Stewart & Oke)

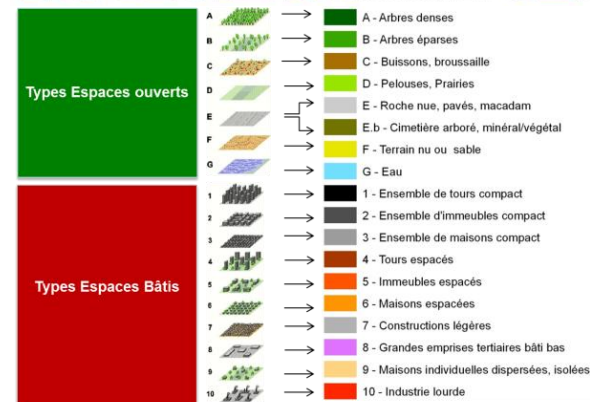
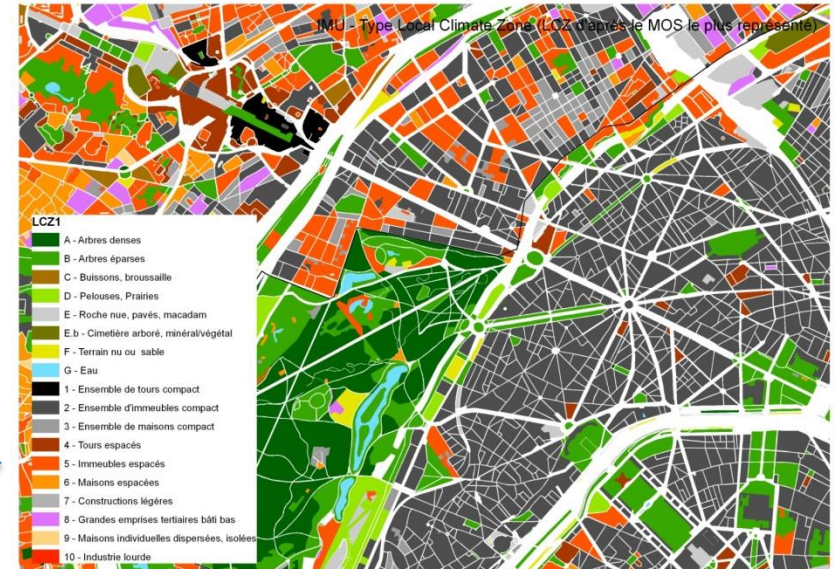
Les IMU de l'IAU



Volumétrie 3D



« Zones climatiques locales »

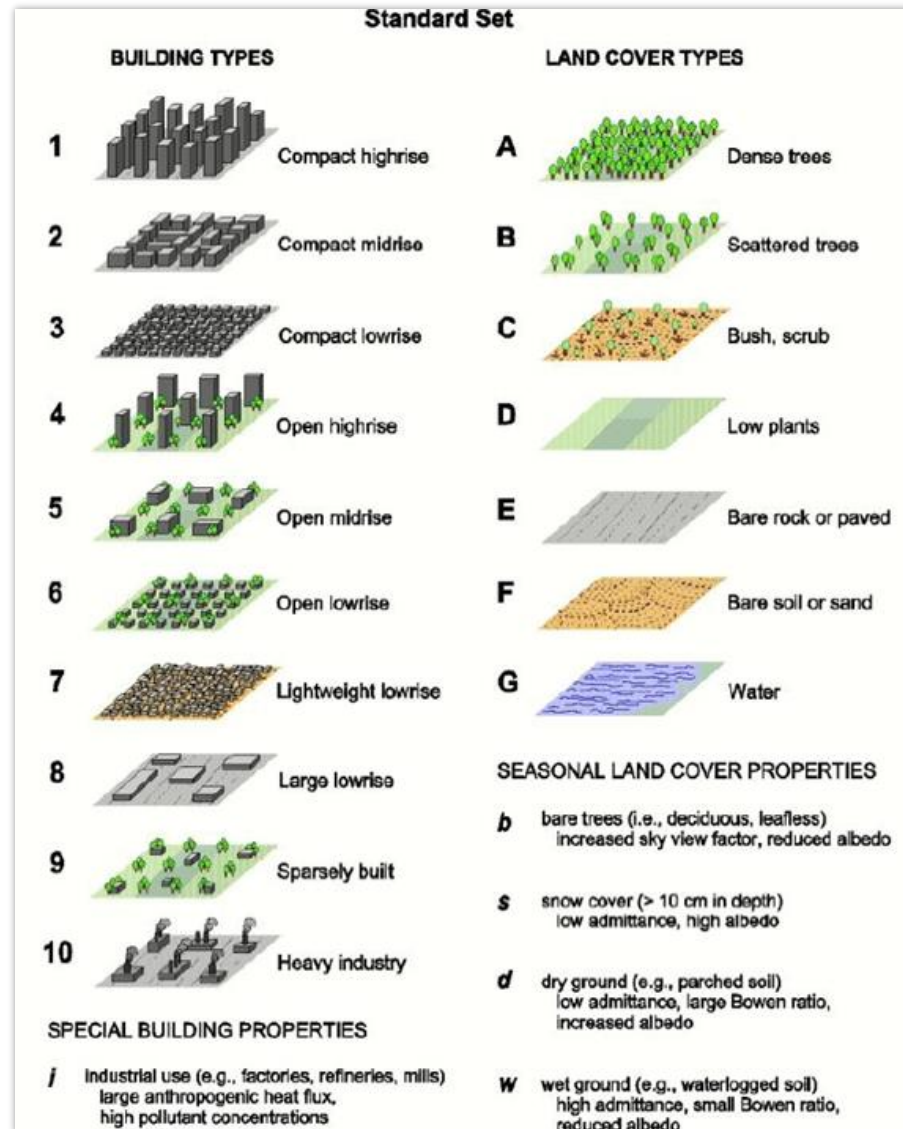


L'EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

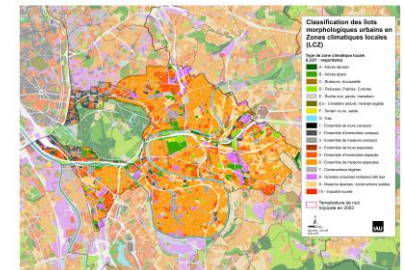
17
types
LCZ

(Stewart
& Oke)

et 10
propriétés
LCZ
pour évaluer
l'effet d'ICU
pour chaque
îlot
(« pâte de
maisons »)



Référentiel
des Zones
climatiques
Locales
« LCZ »



Attribution du type de
Zone climatique locale
de la classification
normalisée LCZ
de Stewart & Oke
à chaque îlot IMU

L'EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

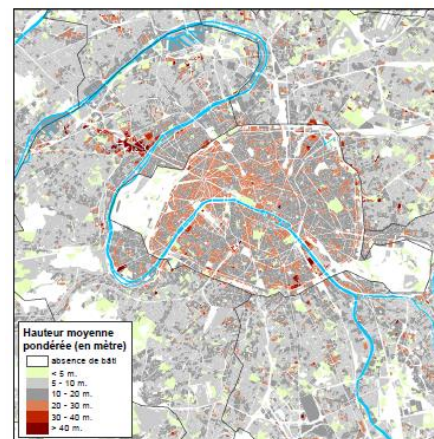
Zones climatiques locales « LCZ »

Détermination des 10 propriétés LCZ pour évaluer l'effet d'ICU à partir des caractéristiques de chaque îlot (base IMU)

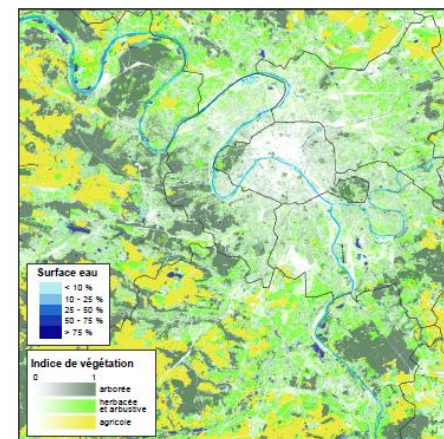
PROPRIÉTÉS LCZ

5 exemples

HAUTEUR MOYENNE PONDÉRÉE DU BÂTI



APPORTS DE FRAÎCHEUR



CALCUL DES PROPRIÉTÉS LCZ

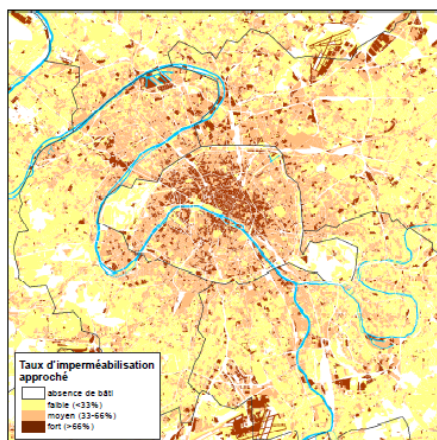
Après l'étape de classification des îlots urbains en LCZ, le calcul « théorique » de **10 propriétés** déterminantes dans la genèse et l'intensité de l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) est opéré :

- 7 propriétés sont **calculées** directement ou indirectement à partir des attributs de l'IMU (caractéristiques géométriques et nature des surfaces).

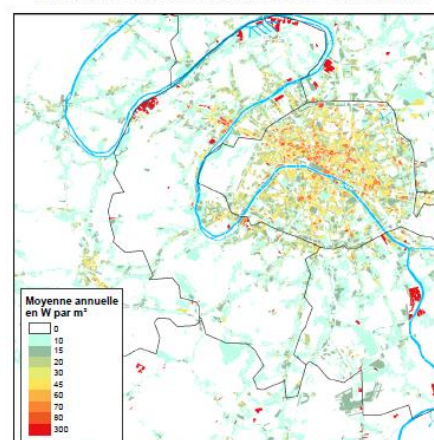
- 2 propriétés (radiatives et thermiques) sont renseignées par des **valeurs forfaitaires** selon la typologie LCZ définie par Stewart et Oke.

- 1 propriété (flux de chaleur anthropogénique) dont la valeur est issue d'un **indicateur composite** (présence d'activité industrielle, émissions linéaires de CO2 du trafic routier et consommation énergétique du bâti tertiaire).

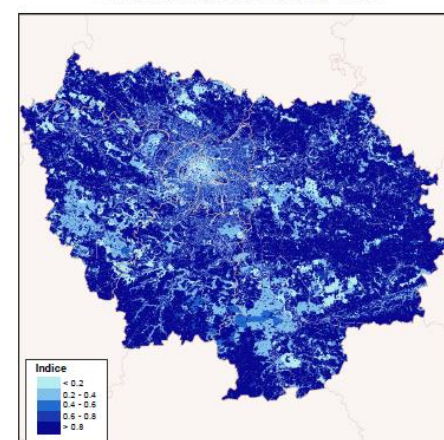
TAUX D'IMPERMÉABILISATION DES SOLS



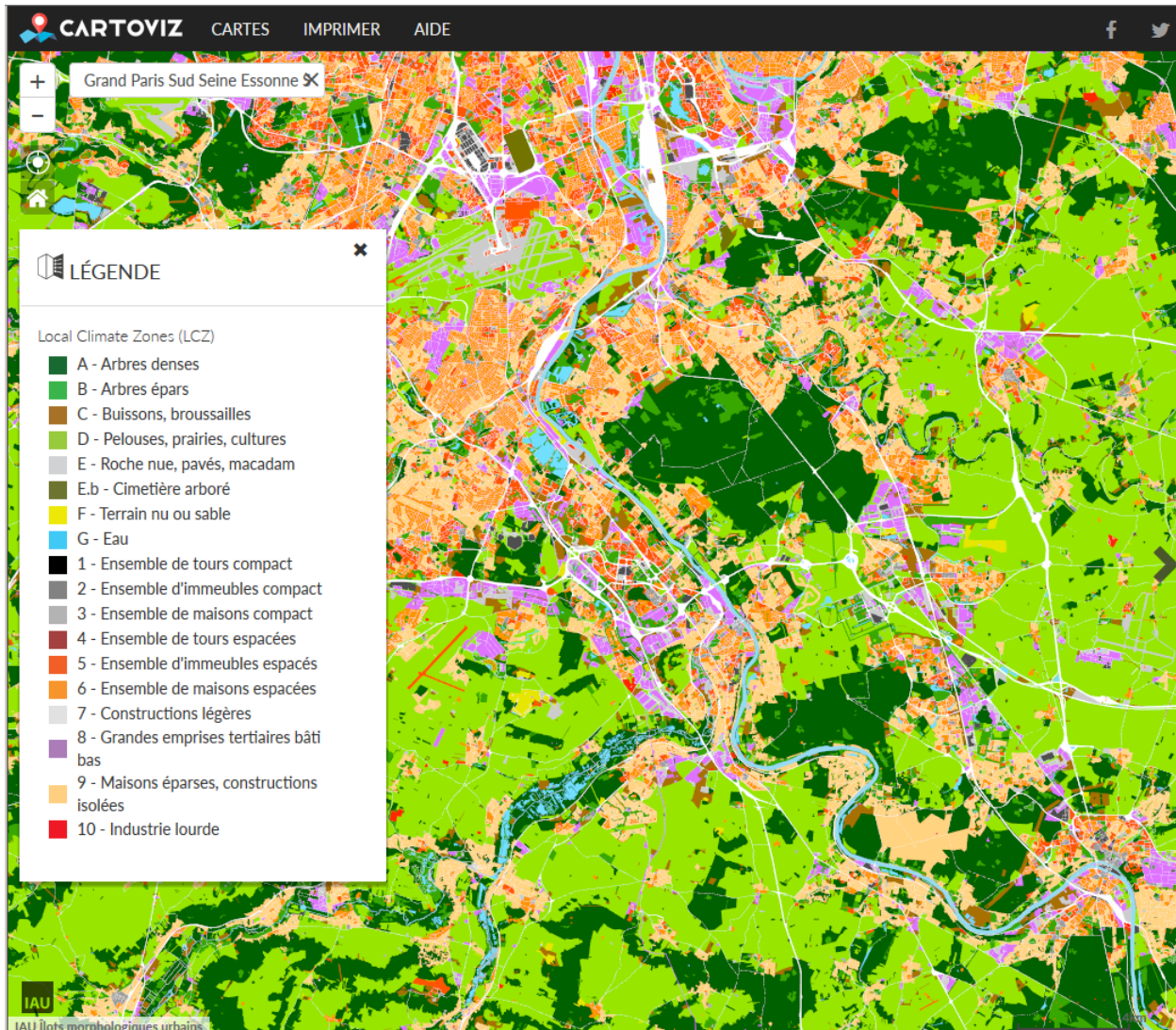
FLUX DE CHALEUR ANTHROPOGÉNIQUE



OBSTACLE À LA VUE DU CIEL

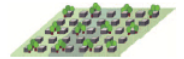


L'EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN



CHALEUR EN VILLE

6 - Ensemble de maisons espacées



• COMPRENDRE LES INDICATEURS

Pour comprendre les interactions dont découlent les indicateurs et pictogrammes de cette carte

[Lire la fiche détaillée](#)

• EFFETS DE CHALEUR

Très faible (Fraicheur) Faible Moyen Fort

	Le jour	La nuit
Nombre de surfaces bâties	Moyen	Moyen
Ventilation de l'îlot	Faible	Faible
Nature du sol et écoulement de l'air	Moyen	Moyen
Obstacle à la vue du ciel	Moyen	Moyen
Rues étroites bordées d'immeubles hauts	Très faible	Faible
Imperméabilisation des sols	Faible	Faible
Hauteur du bâti	10.1 m	
Propriétés thermiques des matériaux	1600	
Ombre lié aux arbres	Très faible	Très faible
Présence/absence de végétation	Faible	Faible
Taux de végétation haute	8.9 %	
Taux de végétation basse	47.5 %	
Taux de végétation agricole	0.0 %	
Présence/absence d'eau	Fort	Fort
Réfléchissement de la lumière	Moyen	Moyen
Chaleur produite par l'activité humaine	Faible	Faible

• RAPPEL CANICULE 2003

https://cartoviz.iau-idf.fr/?id_appli=imu&x=652471.7001216749&y=6864526.329255548&zoom=5

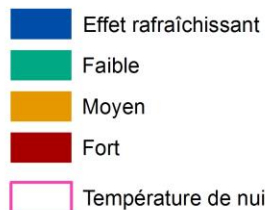
L'EFFET D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN

Zones à effet d'ICU et Température de nuit tropicale en août 2003

« Aléa » - EICU la nuit
Exposition potentielle à l'effet
d'îlot de chaleur urbain (ICU)



Amplification de
l'aléa climatique



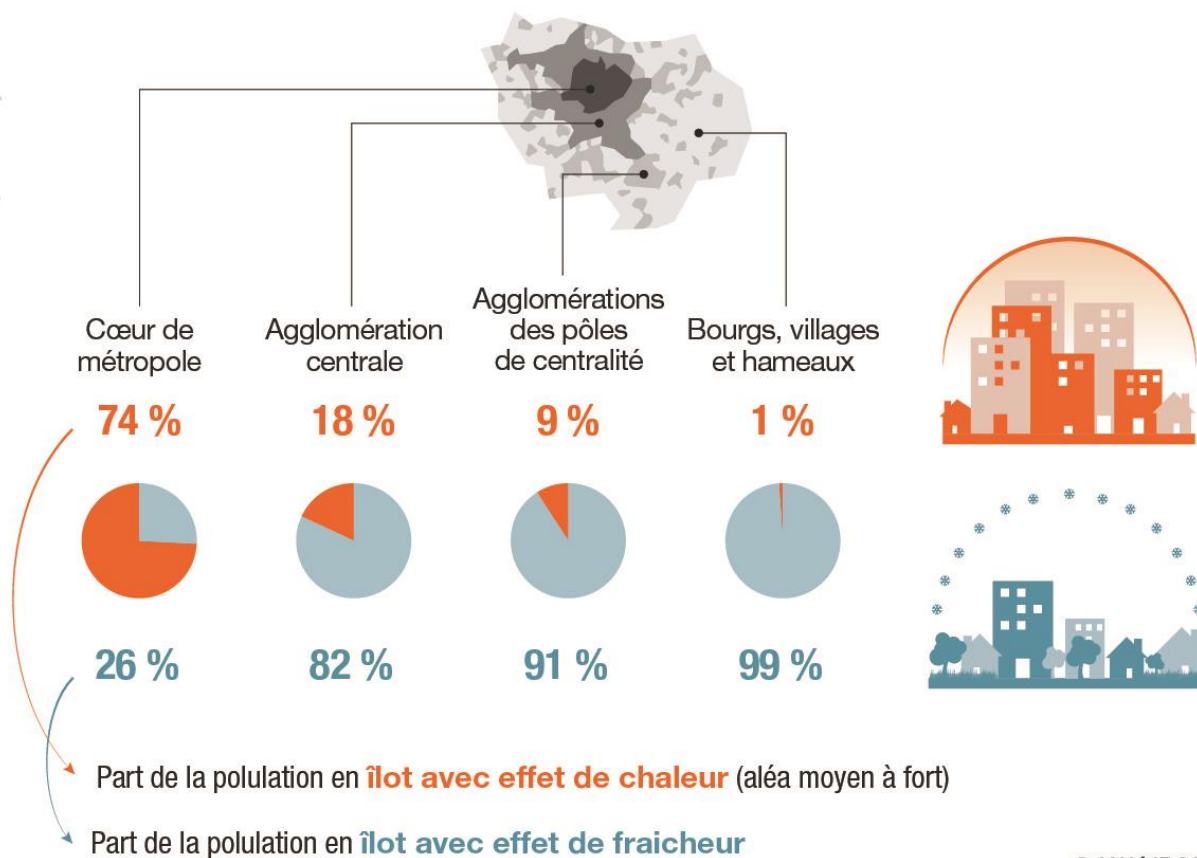
N
Sources : IAU-IdF
©IAU-IdF

IAU

VULNERABILITE A LA CHALEUR et capacités d'adaptation

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



VULNERABILITE A LA CHALEUR et capacités d'adaptation

Dégradation de la qualité de l'air en 2003

Exposition à l'Ozone (O_3)

*Un élément
essentiel de la
sensibilité :*

**Les pollutions
sensibles et la
pollution
atmosphérique
(cofacteur de risque
lors d'un épisode de
canicule)**

Sensibilité

Critère : exposition à la dégradation
de la qualité de l'air

Nombre de jours avec une
moyenne glissante de 8h
supérieure à $120 \mu g/m^3$



VULNERABILITE A LA CHALEUR et capacités d'adaptation

*Un élément essentiel
de la capacité
d'adaptation à l'effet
d'îlot de chaleur
urbain :*

***l'accessibilité aux
médecins généralistes***

Typologie des mailles
habitées selon leur
accessibilité à l'offre
en médecins
généralistes



Source : Urcam Ile-de-France 2006,
traitements IAU Île-de-France

Difficultés à faire face

Critère : Accessibilité aux médecins
généralistes

VULNERABILITE A LA CHALEUR et capacités d'adaptation

*Un élément essentiel
de la capacité
d'adaptation à l'effet
d'îlot de chaleur
urbain :*

*l'accessibilité aux
services d'urgence*

Incapacité de l'IMU à faire face à l'effet d'ICU

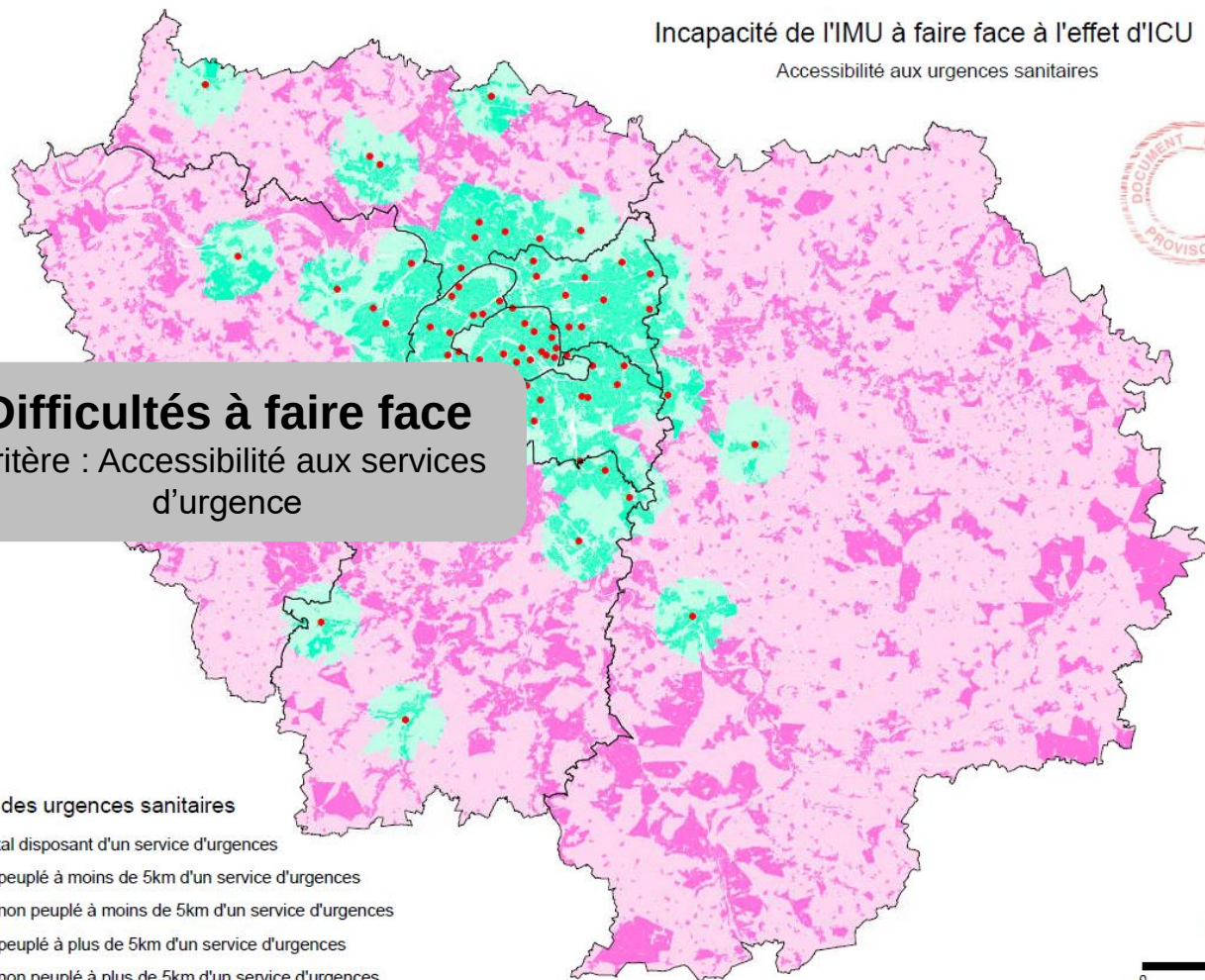
Accessibilité aux urgences sanitaires



Difficultés à faire face
Critère : Accessibilité aux services
d'urgence

Proximité des urgences sanitaires

- Hopital disposant d'un service d'urgences
- IMU peuplé à moins de 5km d'un service d'urgences
- IMU non peuplé à moins de 5km d'un service d'urgences
- IMU peuplé à plus de 5km d'un service d'urgences
- IMU non peuplé à plus de 5km d'un service d'urgences



VULNERABILITE A LA CHALEUR et capacités d'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"

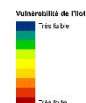
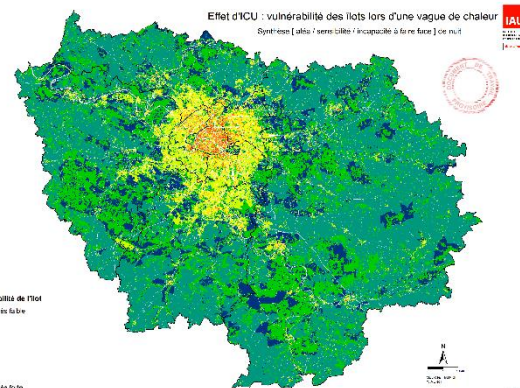
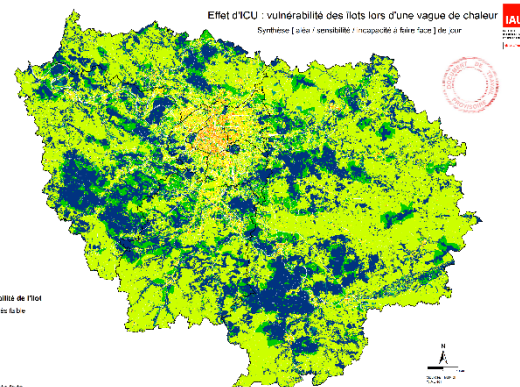
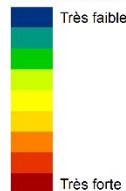
Déficit potentiel des ressources face au risque de canicule

Effet d'ICU : vulnérabilité des îlots lors d'une vague de chaleur

Synthèse [aléa / sensibilité / incapacité à faire face]



Vulnérabilité de l'îlot

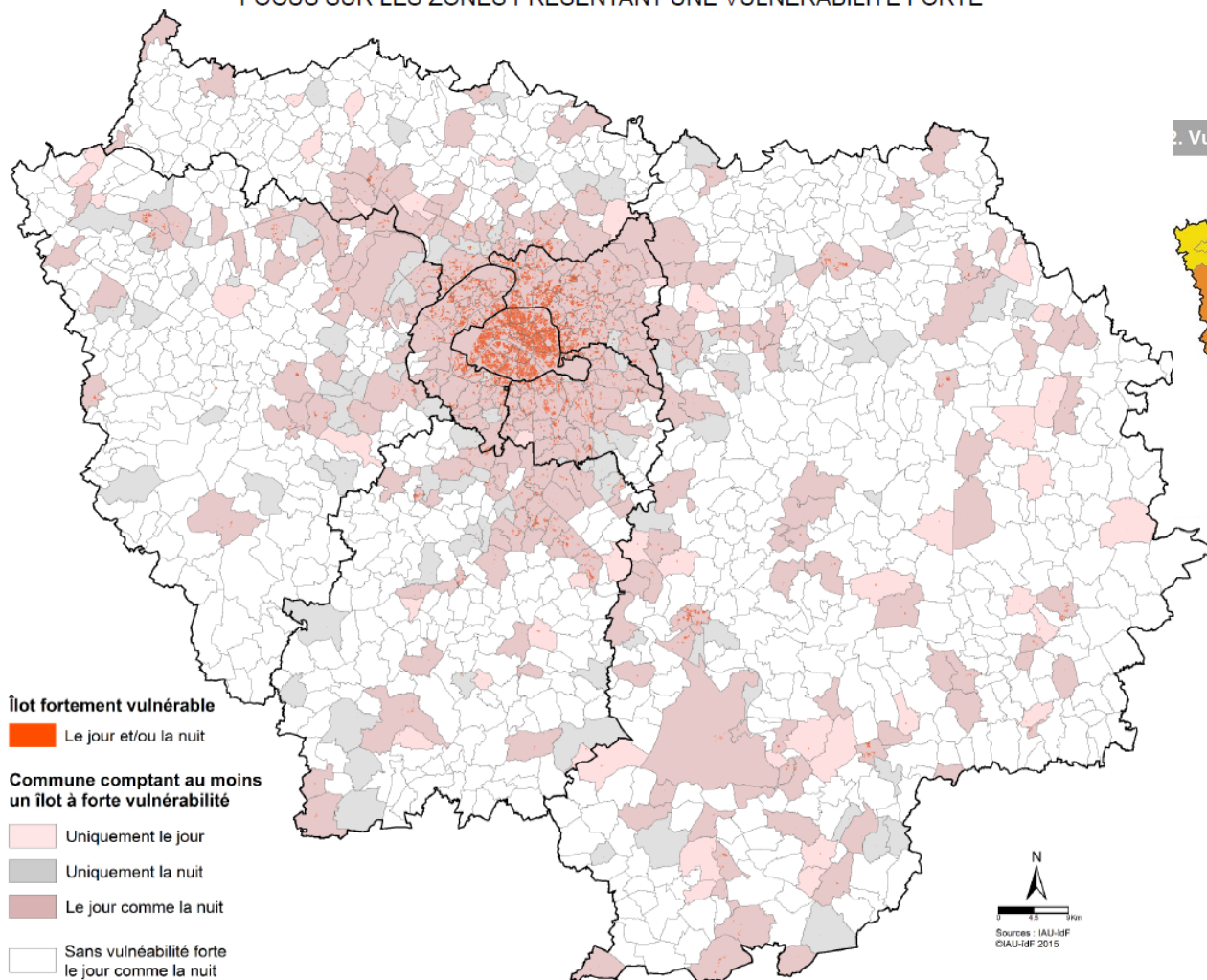


Sources : IAU-IdF
GVAU-IdF

194 du 21-10-2015

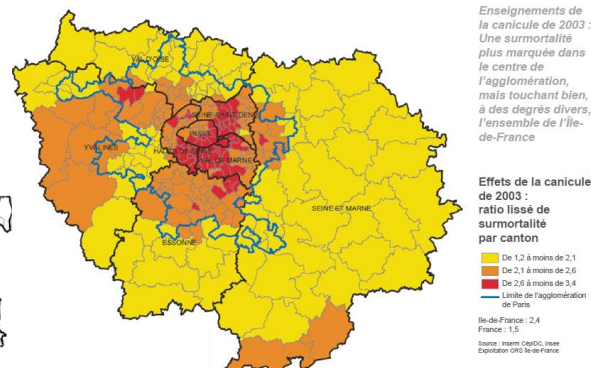
VULNERABILITE A LA CHALEUR et capacités d'adaptation

FOCUS SUR LES ZONES PRÉSENTANT UNE VULNÉRABILITÉ FORTE



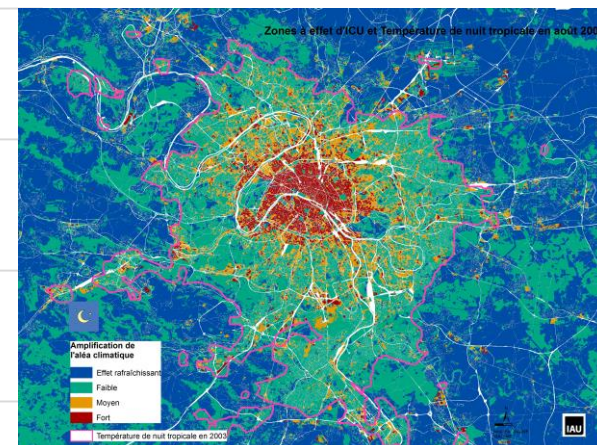
Retour sur l'effet de la canicule 2003 Surmortalité par canton

2. Vulnérabilité à la chaleur



VULNERABILITE A LA CHALEUR et capacités d'adaptation

Distribution des critères Sensibilité / Difficulté à faire face
au sein des classes d'aléa "effet d'ICU" la nuit



**Amplification de
l'aléa climatique**



Vulnérabilité des îlots lors d'une vague de chaleur



Aléa "effet d' îlot de
chaleur urbain (ICU)"
+
Sensibilité à la chaleur
des populations/habitat
+
Difficulté à faire face
des populations

Très faible

VU

Îlot A

8 – Fo

Très forte

NOTE DE VULNERABILITÉ

Îlot A Îlot B
8 – Forte 8 - Forte

Très forte

☐ T_Grand Paris Sud Seine Orge SENA

Température de nuit tropicale en 2003



Sources : IAU-îdF
©IAU-îdF



ADAPTATION

"Aléa"

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

NOTE D'ALEA EFFET D'ICU



îlot A

3 – Fort (14)

îlot B

3 – Fort (13)

SA_vegbati

Plus de végétation sur le bâti (pieds d'immeubles, murs, terrasses, toits...)

SA_vegtoit

Potentiel de végétalisation des toitures terrasses

SA_ev

Plus de végétation de pleine terre : espaces verts, trames vertes...

SA_recupsol

Potentiel de récupération d'eau en pied d'immeuble, amélioration de la gestion de l'eau

SA_recuptoit

Potentiel d'usage de l'eau pour toitures végétalisées

SA_perm

Plus de sols perméables (rétention d'eau par le sol)

SA_eau

Plus d'aires de rafraîchissement de proximité : bassins, aires aquatiques, brumisateurs, miroirs d'eau, fontaines...

SA_arbre

Plus d'arbres pour plus d'ombrage

SA_ombre

Plus de protections solaires du bâti : ombrières solaires, pergolas...

SA_albedo_sol

Augmentation de l'albédo des surfaces au sol (revêtements des chaussées...)

SA_albedo_toit

Augmentation de l'albédo des toitures terrasses et des toits

SA_materiau

Plus d'inertie des matériaux (confort thermique dans le logement...)

SA_trafic

Facilitation des circulations douces, encouragement TC, plus de fluidité du trafic

SA_clim

Moins de climatisation en mode sec, privilégier les systèmes collectifs (réseaux de froid...) ou individuels (VMC double flux, puits Canadien...)

SA_process

Récupération de la chaleur perdue par les procédés industriels (chaleur fatale)

SA_vent

Plus de ventilation de l'îlot (meilleure circulation des masses d'air, front urbain moins continu)

SA_svf

Moins d'obstacles à la vue du ciel (accélération du refroidissement nocturne)

ADAPTATION

NOTE DE SENSIBILITE



"Sensibilité"

Fragilité des biens et personnes
lors d'une canicule

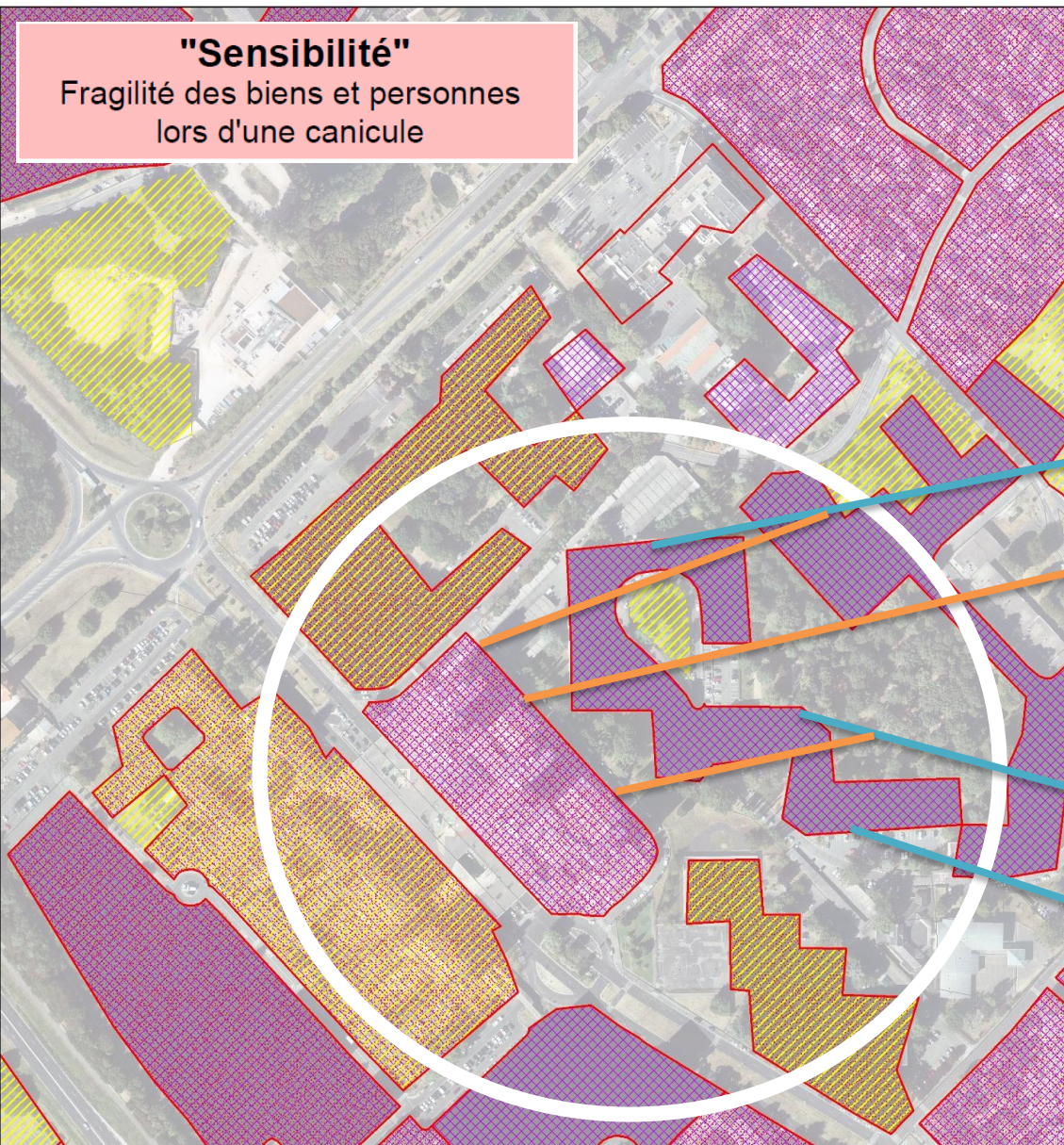
Îlot A

2 – Moyenne (14)

Îlot B

3 – Forte (16)
(personnes

sensibles...)



SS_pollair

Diminution de la pollution de l'air (cofacteur de surmortalité) :
diminution du trafic automobile et des vitesses de circulation...

SS_bati

Isolation des bâtiments, ventilation naturelle, inertie et albédo
des matériaux (façades, toits) à considérer attentivement

SS_confort

Confort thermique au travail (bâti tertiaire, espaces extérieurs,
enceintes de transports collectifs) à considérer attentivement

SS_sensible

Risque sanitaire lié à la proportion de personnes sensibles
à considérer attentivement

SS_densite

Risque sanitaire lié à la suroccupation potentielle
des logements à considérer attentivement

ADAPTATION

"Difficulté à faire face"

Déficit potentiel des ressources locales face au risque de canicule

NOTE DE DIFFICULTE A FAIRE FACE



Îlot A

3 – Forte (8)
(bas revenus...)

Îlot B

2 – Moyenne (4)

SI_frais



Apporter des solutions de rafraîchissement dans les cœurs d'îlots, les cours et pieds d'immeuble

SI_medecin



Soutien à l'amélioration de l'offre en médecine généraliste (présence, accessibilité)

SI_habitat



Soutien à l'amélioration des conditions d'habitat potentiellement difficiles (bas revenus, sur-occupation logement)

SI_urgence



Soutien à l'amélioration de l'offre en services d'urgences (présence, accessibilité)

SI_chalex



Incitation à l'inscription volontaire au Registre nominatif confidentiel des personnes fragiles (personnes âgées de 75 ans et plus)

SI_fragile



Accompagnement/sensibilisation à la mise en œuvre du Plan canicule pour les personnes fragiles (bas revenus)

SI_evprox



Promouvoir l'îlot de fraîcheur que constitue l'espace vert ouvert au public de proximité ; identifier les possibilités de son ouverture exceptionnelle la nuit.

SI_evcarance



Améliorer l'accessibilité aux espaces verts de proximité ouverts au public ; sinon identifier les possibilités de création d'un nouvel îlot de fraîcheur de proximité

CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ICU

Merci de votre attention

erwan.cordeau@iau-idf.fr

Chaleur
sur
la ville



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



Cop21_scenario1 <https://youtu.be/vnZequHjFYJ>



Cop21_scenario2 <https://youtu.be/sCC5Zz2-w84?t=5>



Cop21_scenario3 https://youtu.be/aeoDn_PmsNk

