

Météorologie Urbaine :

Le modèle TEB



Valéry Masson
Météo France

Valery.masson@meteo.fr

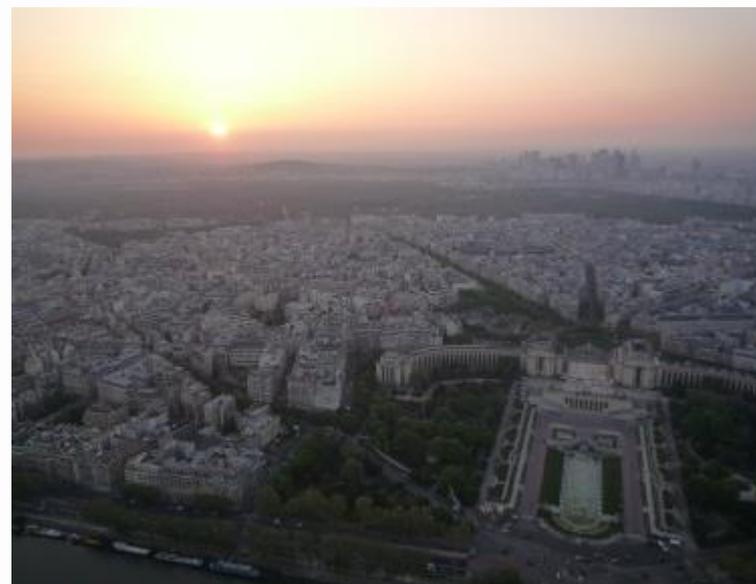


Image : collectif « Et alors »

Contexte: l'îlot de chaleur urbain



- Une ville comme Paris est *parfois la nuit* plus chaude de **10°C** que la campagne alentours
- Phénomène actuel



Le climat Urbain : Source : APC
modélisation des échanges de chaleur et de polluants
1 et 2 avril 2015

Plan



Le modèle TEB

- Aspects thermiques
- Végétation



Adaptation des villes au changement climatique

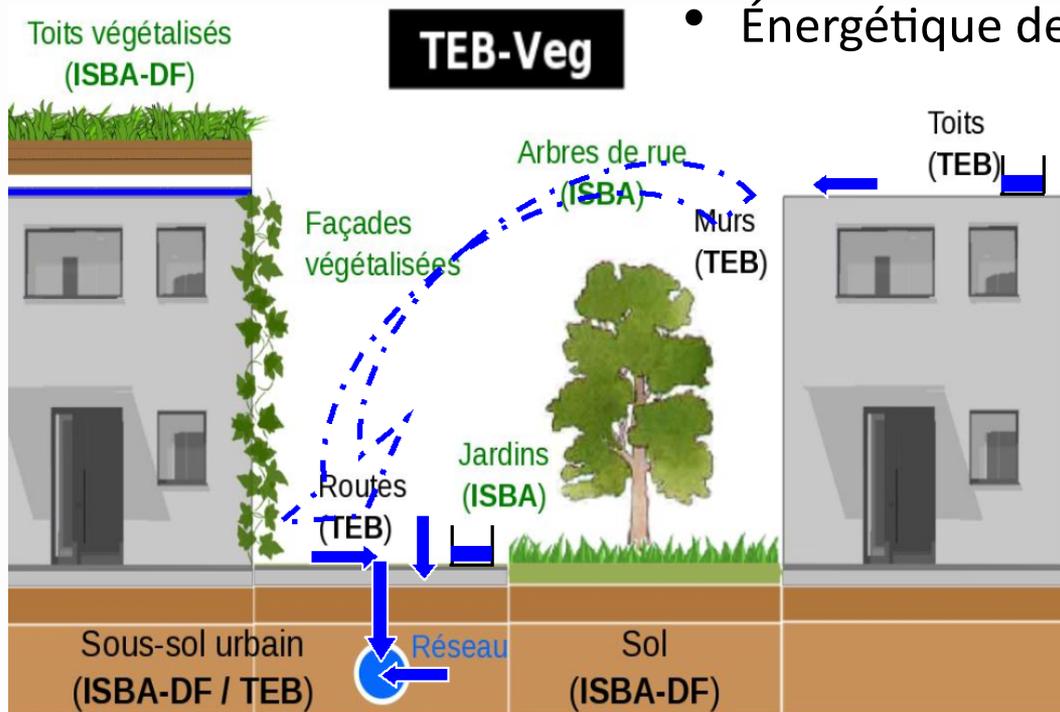
- Végétation
- Autres études d'impact

*Le climat Urbain :
modélisation des échanges de chaleur et de polluants
1 et 2 avril 2015*

Le modèle TEB

Simulation des échelles du quartier à la ville :

- Flux de chaleur, d'eau et de CO₂ vers l'atmosphère
- Influence de la végétation urbaine
- Microclimat dans les rues et les bâtiments
- Énergétique des bâtiments (chauffage et climatisation)



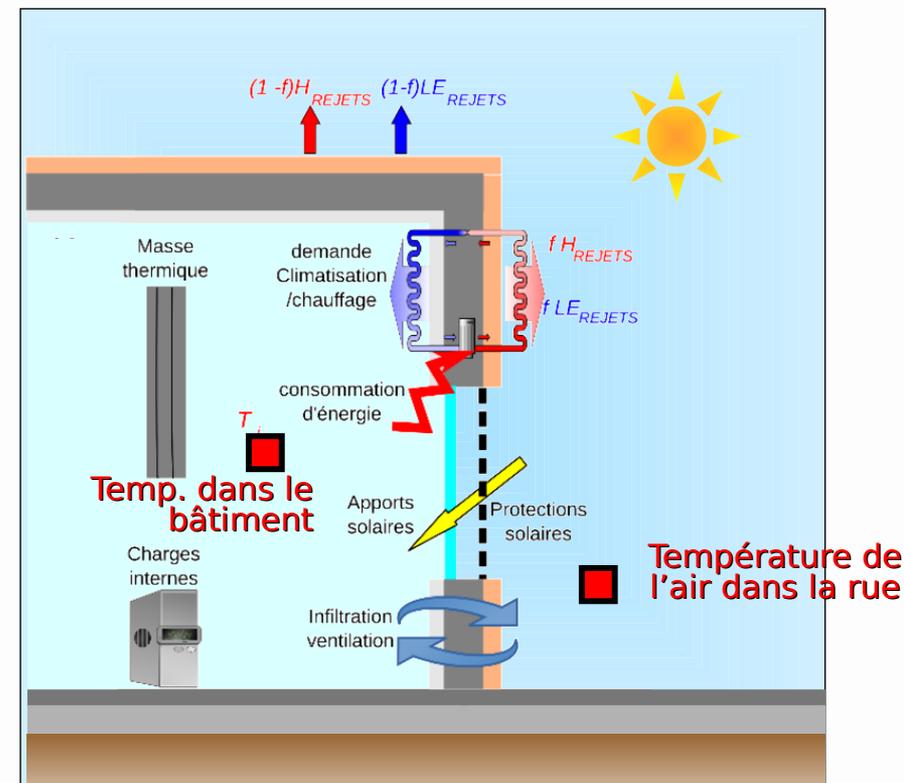
Le modèle TEB

Code en open source

Les aspects thermiques

Simulation des échelles du quartier à la ville :

- Microclimat dans les rues et les bâtiments
- Énergétique des bâtiments (chauffage et climatisation)



Le climat Urbain :
modélisation des échanges de chaleur et de polluants
1 et 2 avril 2015

Le modèle TEB

Code en open source

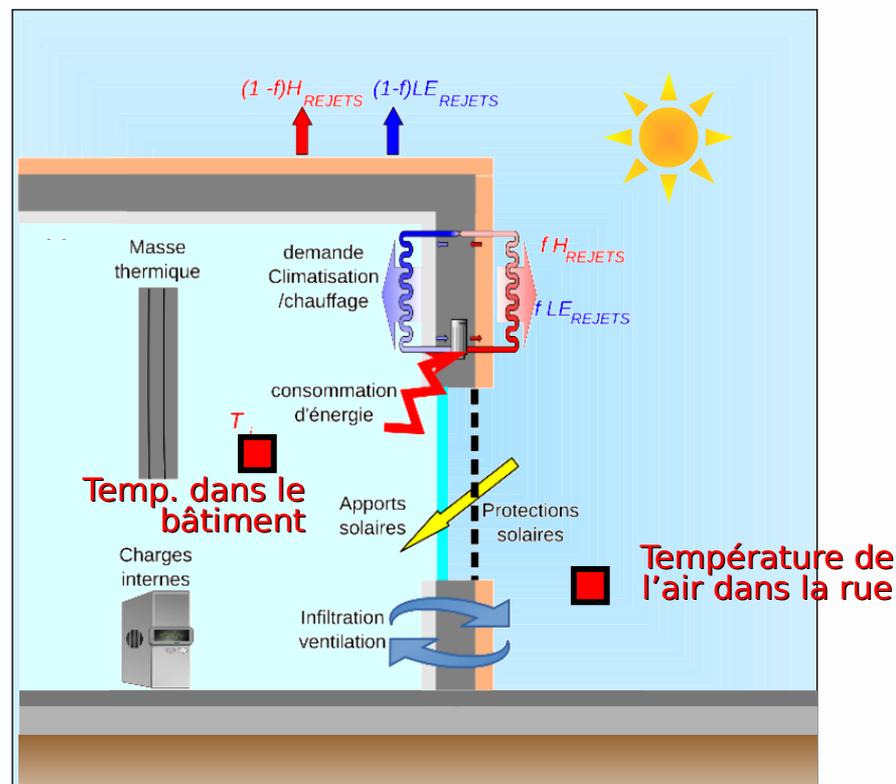
Les aspects thermiques

Simulation des échelles du quartier à la ville :

- Microclimat dans les rues et les bâtiments
- Énergétique des bâtiments (chauffage et climatisation)

En cours :

- Amélioration de la prise en compte des comportements (énergétiques)
- Comportement = f (ménage, logement)



Le modèle TEB

Code en open source

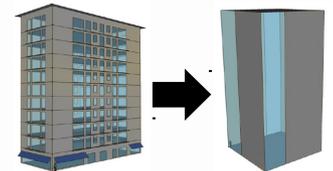
Les aspects thermiques

Simulation des échelles du quartier à la ville :

- Microclimat dans les rues et les bâtiments
- Énergétique des bâtiments (chauffage et climatisation)

Entrées :

- Conditions météorologiques (et climatiques)
- Morphologie simplifiée des bâtiments
- Propriétés thermiques des matériaux
- Végétation haute, basse, en toiture
- Comportements



*Le climat Urbain :
modélisation des échanges de chaleur et de polluants
1 et 2 avril 2015*

Le modèle TEB

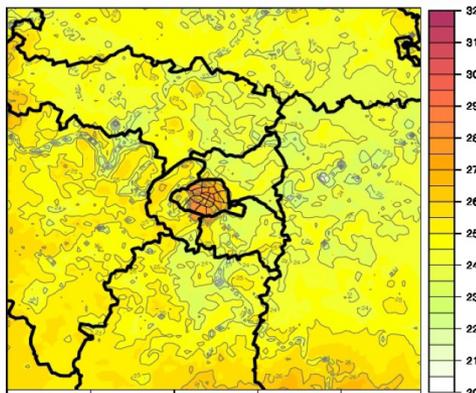
Code en open source

Les aspects thermiques

Simulation des échelles du quartier à la ville :

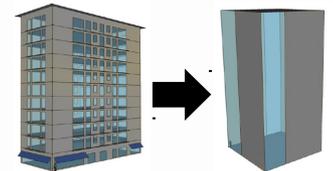
- Microclimat dans les rues et les bâtiments
- Énergétique des bâtiments (chauffage et climatisation)

Exemple : Température de l'air sur le domaine d'étude MUSCADE



Entrées :

- Conditions météorologiques (et climatiques)
- Morphologie simplifiée des bâtiments
- Propriétés thermiques des matériaux
- Végétation haute, basse, en toiture
- Comportements



Production :

- Bilans énergétiques
- Cartographies spatiales et temporelles températures

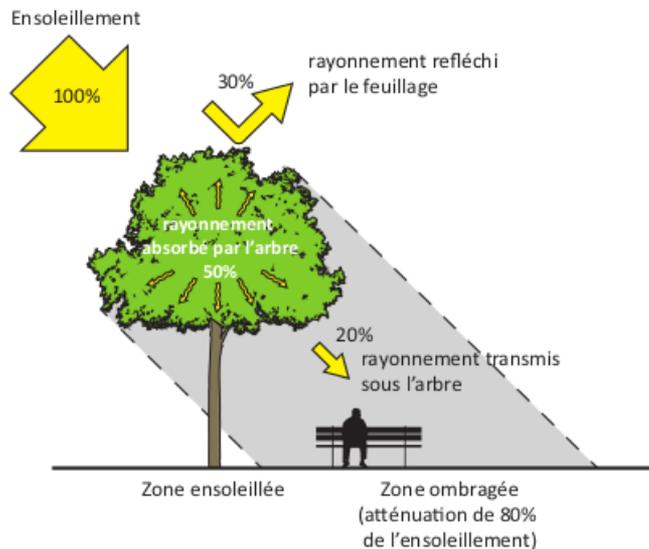


*Le climat Urbain :
modélisation des échanges de chaleur et de polluants
1 et 2 avril 2015*

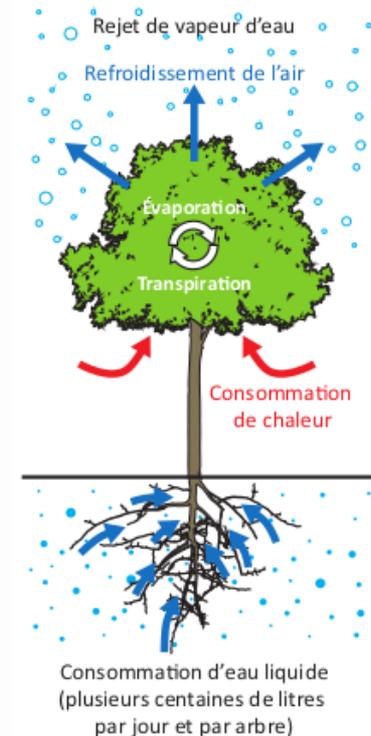
La végétation : schéma ISBA dans TEB

- Prise en compte de la végétation : jardins, arbres de rues, toits végétalisés
- Effets morphologiques, radiatifs, flux énergétiques (chaleur, eau) et CO₂

Effets d'ombrage

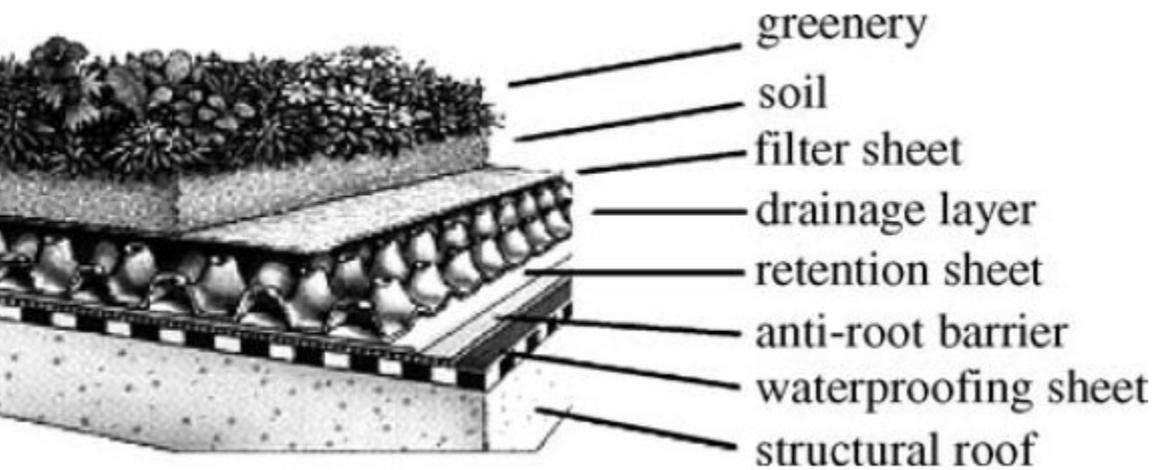


Evapotranspiration



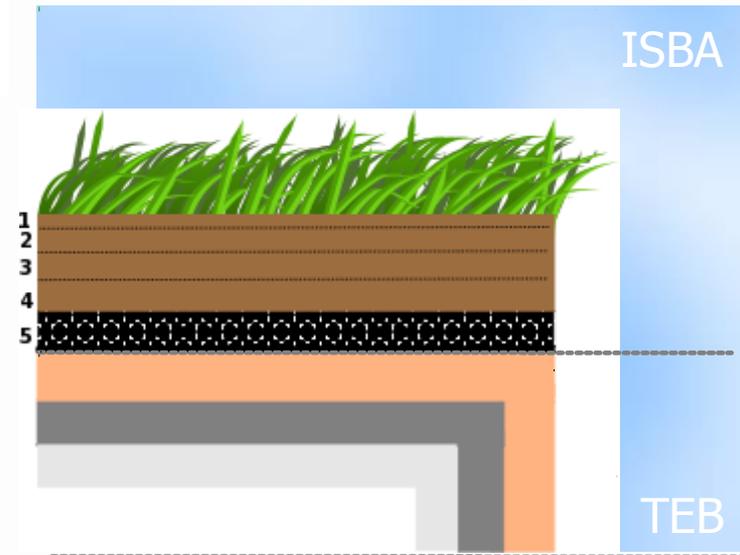
Le modèle TEB : toitures végétalisées

De la réalité ...



Les aspects liés à la végétation
toitures végétalisées
jardins et arbres de rue

... au modèle physique proposé

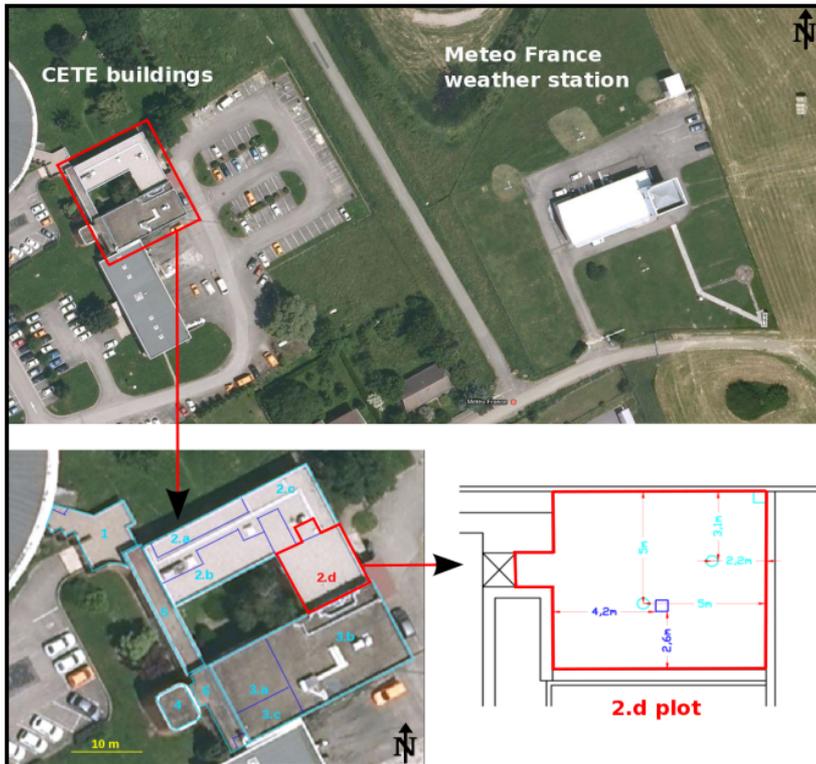


- Modélisation physique détaillée
- Interactions thermo-énergétiques
- Transferts hydrologiques
- Sous différents climats
- A l'échelle de la ville
- TVE / atmosphère
- TVE / bâti

Le modèle TEB : toitures végétalisées

Les aspects liés à la végétation

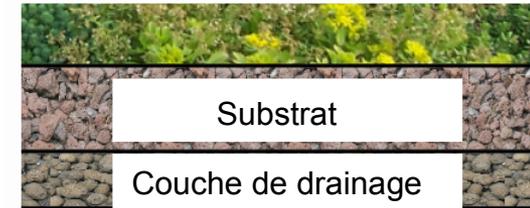
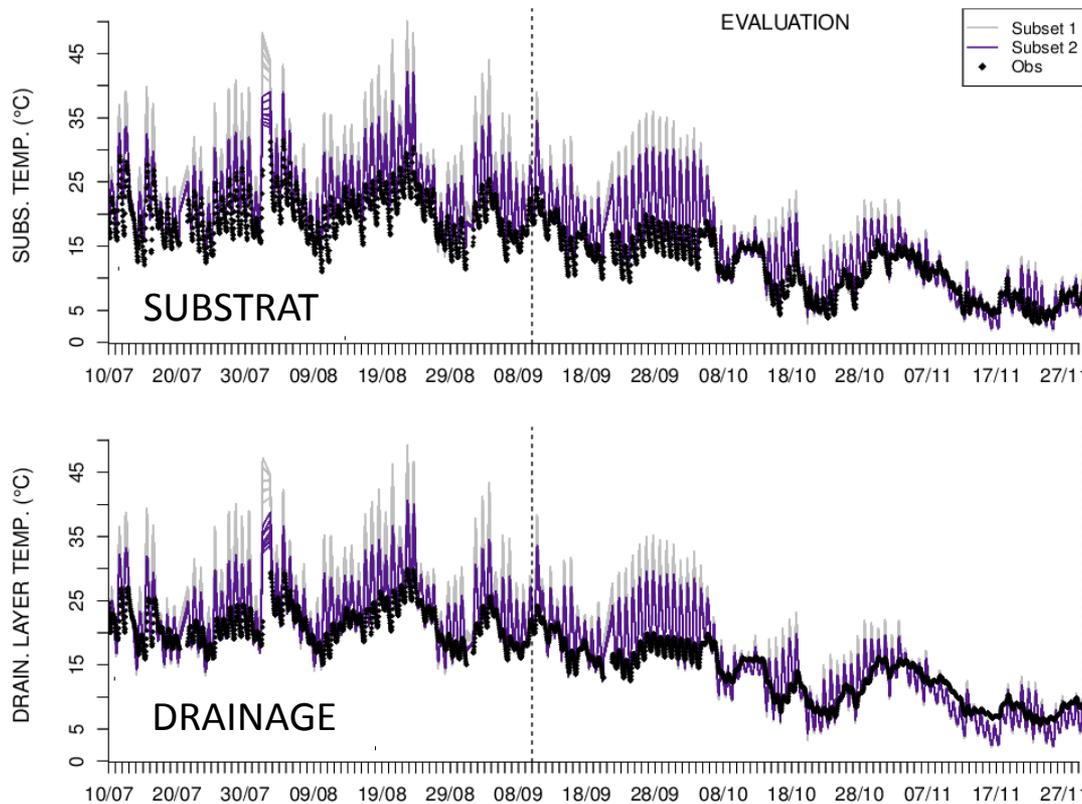
- Toitures végétalisées
- Jardins et arbres de rue



Le modèle TEB : toitures végétalisées

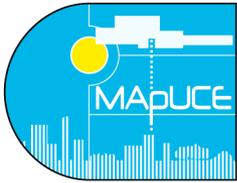
Les aspects liés à la végétation

- Toitures végétalisées
- Jardins et arbres de rue



de Munck et al. *GMD*

Les bases de données



GAME
FNAU
IRSTV
LATTS
LIENSS
LIEU
LISST
LRA

- Échelle la + fine considérée : le quartier (ou l'îlot)



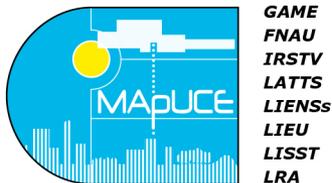
- Détermination automatique des quartiers
- Pour chaque quartier :
 - Indicateurs morphologiques
 - Indicateurs sociologiques
 - Indicateurs architecturaux
- Pour faire des simulations micro-climatiques et énergétiques



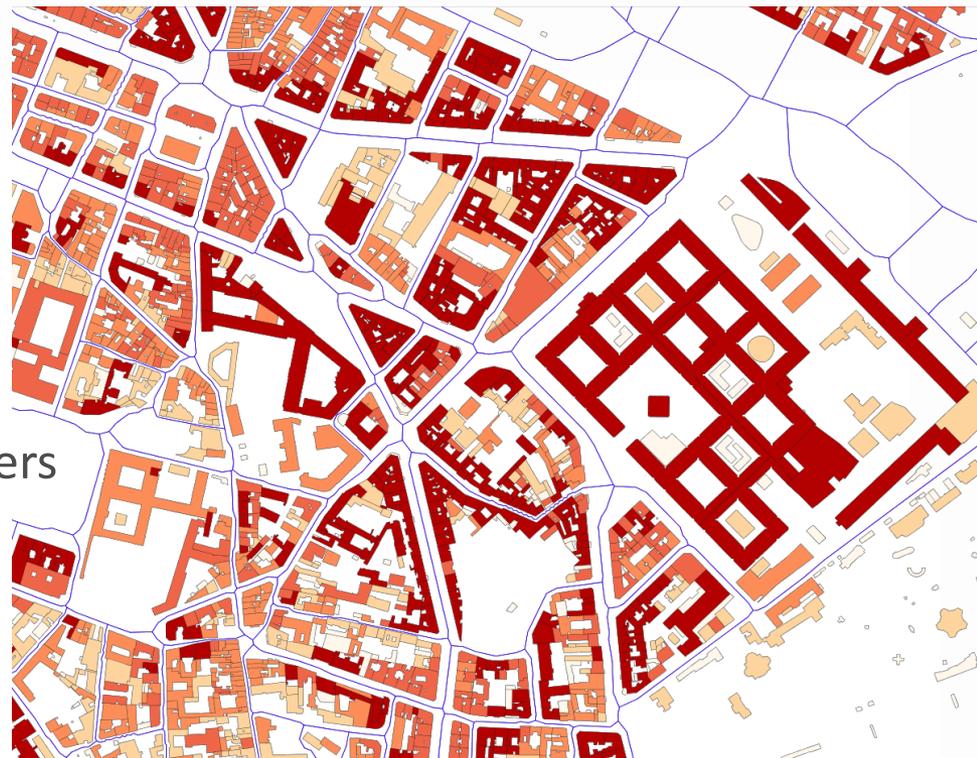
0 5 km

*Le climat Urbain :
modélisation des échanges de chaleur et de polluants
1 et 2 avril 2015*

Les bases de données



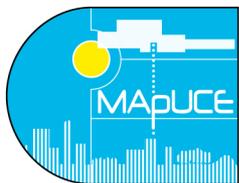
- Détermination automatique des quartiers
- Pour chaque quartier :
 - Indicateurs morphologiques
 - Indicateurs sociologiques
 - Indicateurs architecturaux
- Pour faire des simulations micro-climatiques et énergétiques



Étape 1 :
À partir des hauteurs de bâtiments

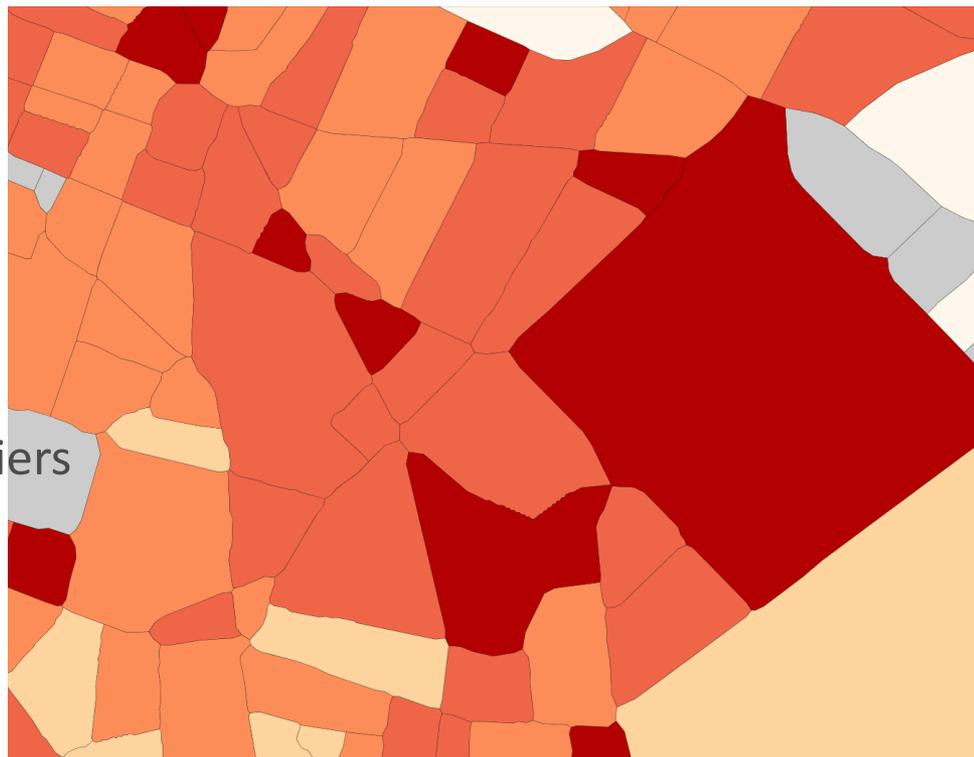
Preview	Threshold	Label
	-∞]-∞; 0.0[
	0.0	[0.0; 8[
	8	[8; 15[
	15	[15; 19[
	19	[19; 22[
	22	[22; +∞[

Les bases de données



GAME
FNAU
IRSTV
LATTS
LIENSS
LIEU
LISST
LRA

- Détermination automatique des quartiers
- Pour chaque quartier :
 - Indicateurs morphologiques
 - Indicateurs sociologiques
 - Indicateurs architecturaux
- Pour faire des simulations micro-climatiques et énergétiques



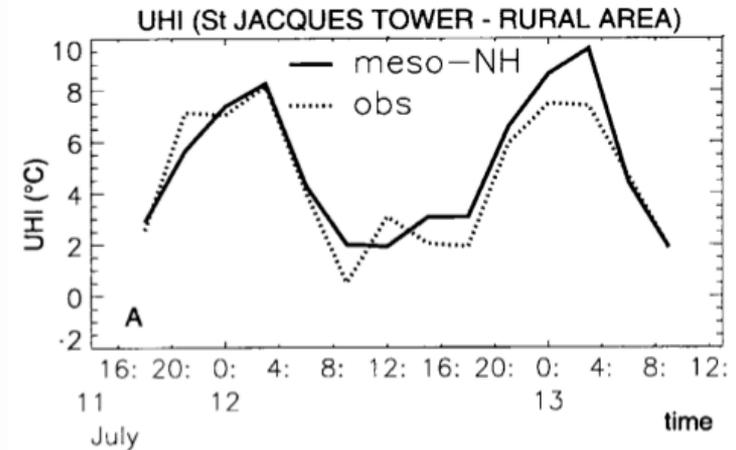
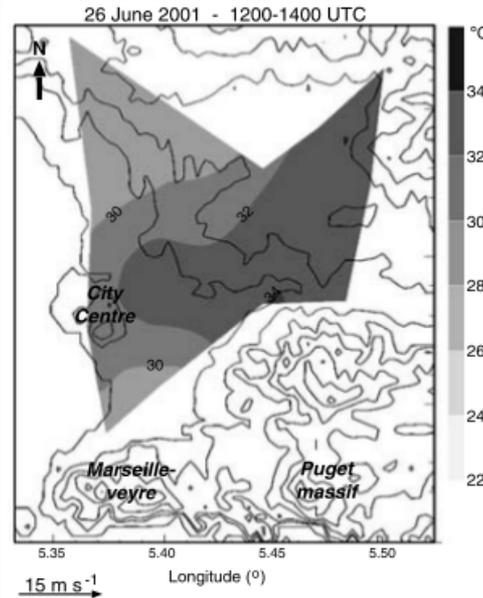
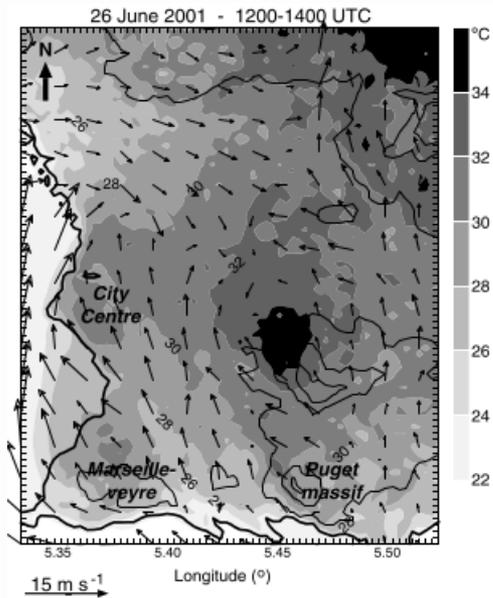
Étape 2 :
On en déduit des indicateurs par îlot
(exemple : hauteur moyenne)

Preview	Threshold	Label
	-∞]-∞; 0.0[
	0.0	[0.0; 8[
	8	[8; 15[
	15	[15; 19[
	19	[19; 22[
	22	[22; +∞[

TEB couplé à un modèle atmosphérique

Code en open source

Avec le modèle de recherche MésóNH
(aussi en open source)



Exemple de simulation d'îlot de chaleur à Paris

Température de l'air à 2m entre la simulation MesoNH-TEB
(à 250m de résolution) et les observations. Lemonsu et al 2006a.

Avec les modèles de prévision de
Météo-France et d'autres pays (EU, CA)



Le modèle TEB

- Aspects thermiques
- Végétation

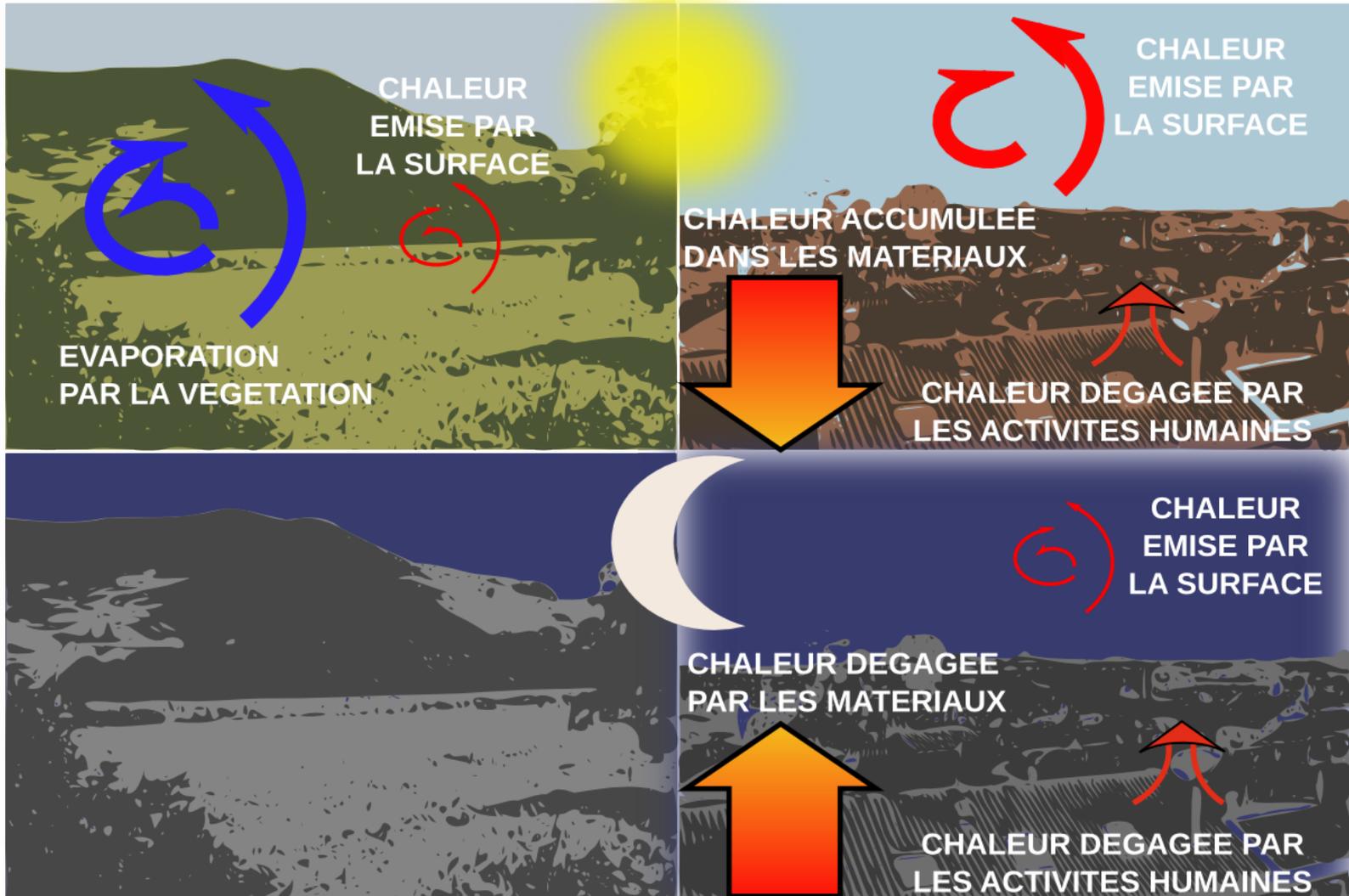


Adaptation des villes au changement climatique

- Végétation
- Autres études d'impact

Que se passe-t'il sans végétation ?

De l'imperméabilisation des surfaces



modélisation des échanges de chaleur et de polluants
1 et 2 avril 2015

La végétation : un levier pour s'adapter

- La ville **chauffe** ...
- Avec le réchauffement climatique, elle sera encore plus **chaude**...
- La végétation **refroidit** la ville...
- Un levier, mais ce n'est pas le seul.



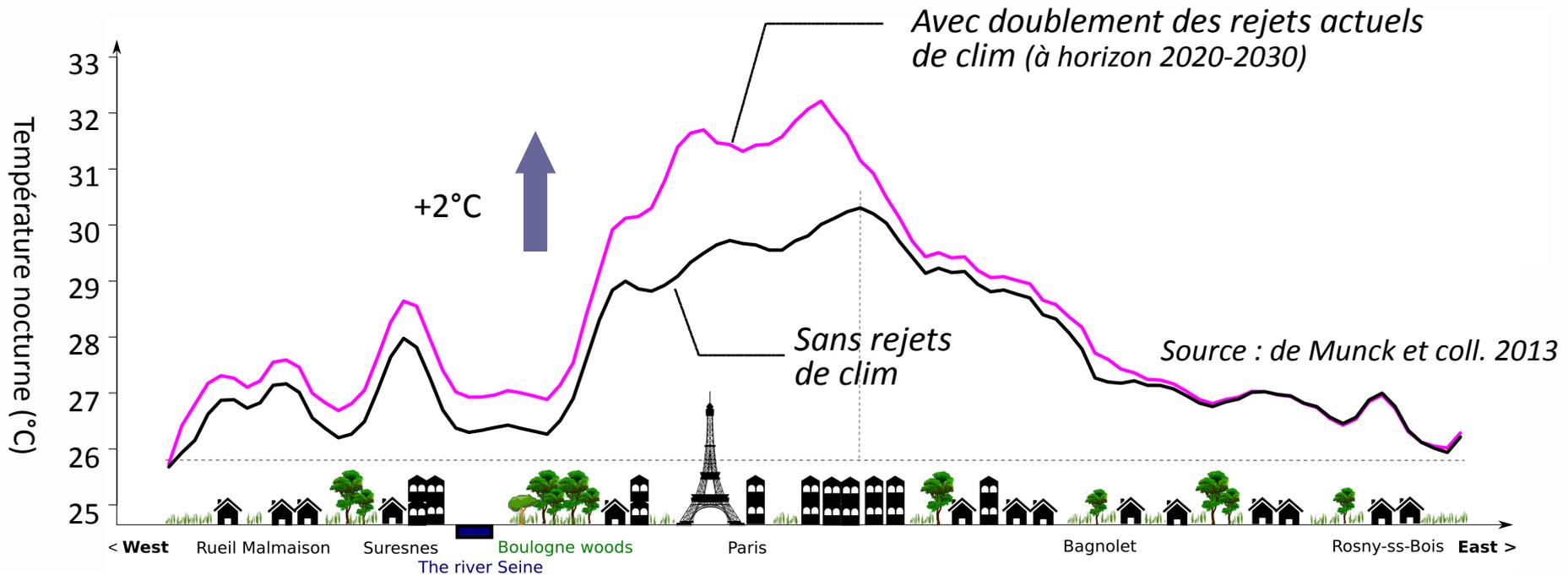
Tout climatiser ?



- La climatisation refroidit à l'intérieur
- Mais elle rejette la chaleur à l'extérieur !

→ *Plus on climatise, plus il faut climatiser*

→ *Impacte négativement les habitations non équipées*

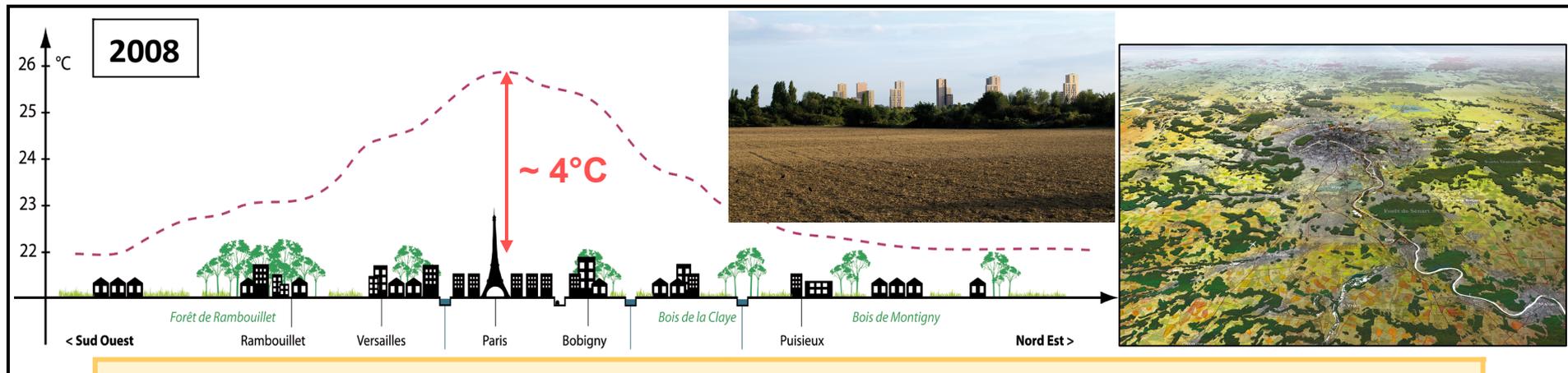


Aménager le territoire. Quels effets ?



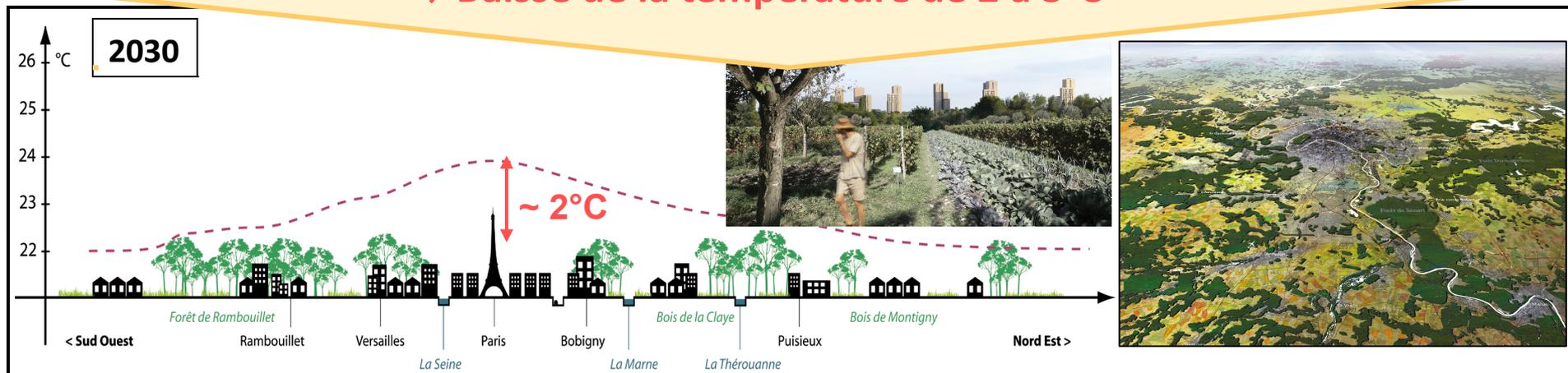
Grand Paris de l'Agglomération Parisienne (Groupe Descartes)

Source : Yves Lion et coll. 2009



Scénarios d'aménagement : 1. Cultures maraîchères & Forêts autour de Paris
2. Matériaux plus réfléchissants

→ Baisse de la température de 2 à 3°C



Adaptation : Points clés à retenir

- **Impacts exacerbés du Réchauffement Climatique en ville :**

→ En 2100, on ne pourra sans doute **pas** se passer de la climatisation

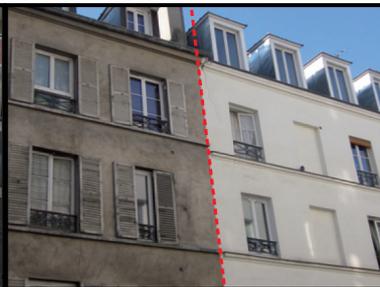
→ Hausse importante de la consommation d'énergie en été



Climatisation



**Plan canicule,
Actions ciblées**



**Rénovation
thermique des
bâtiments**



**Végétation
urbaine,
Ressource en eau**

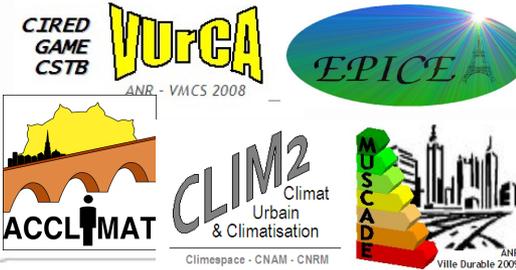


**Organisation
spatiale
Planification**

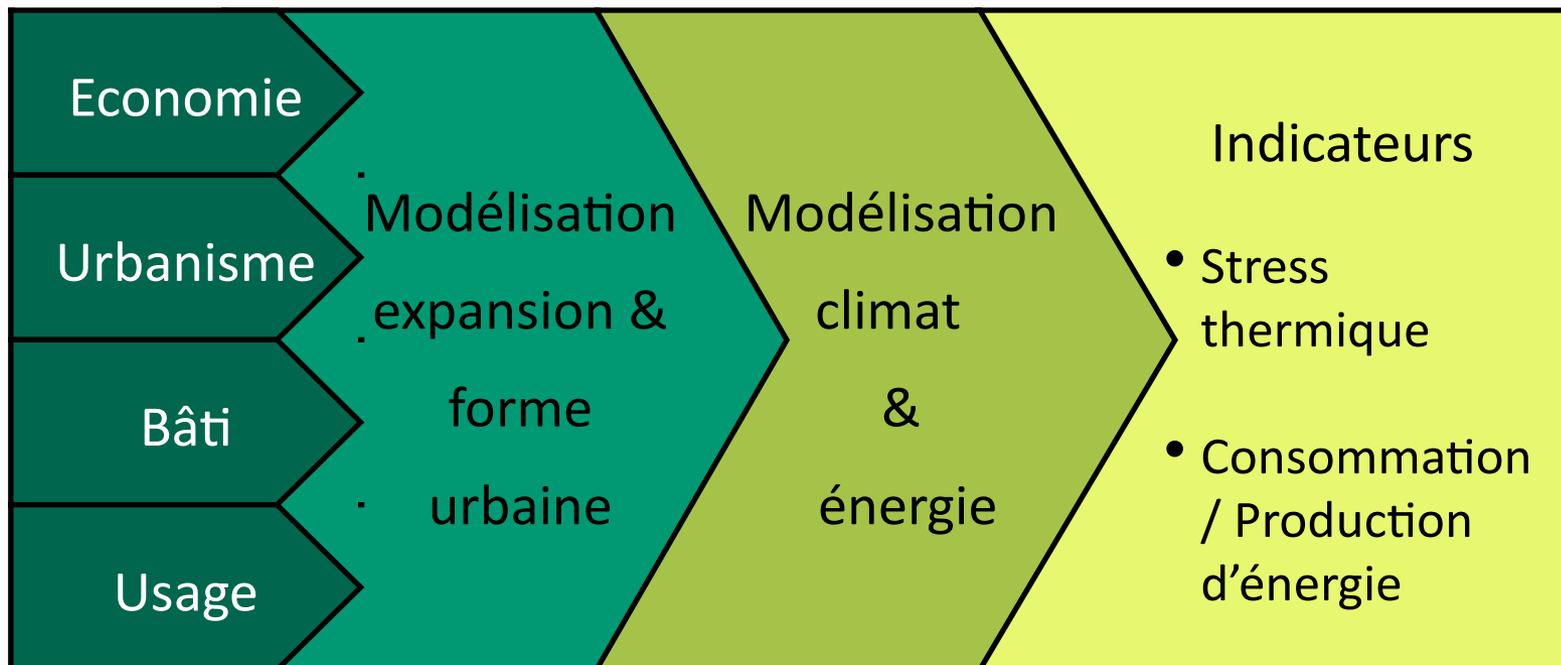
- **Des leviers d'action pour combiner adaptation et atténuation**

- **Evolution des comportements et usages : un levier efficace**

*Le climat Urbain :
modélisation des échanges de chaleur*



Modélisation systémique



Scénarios

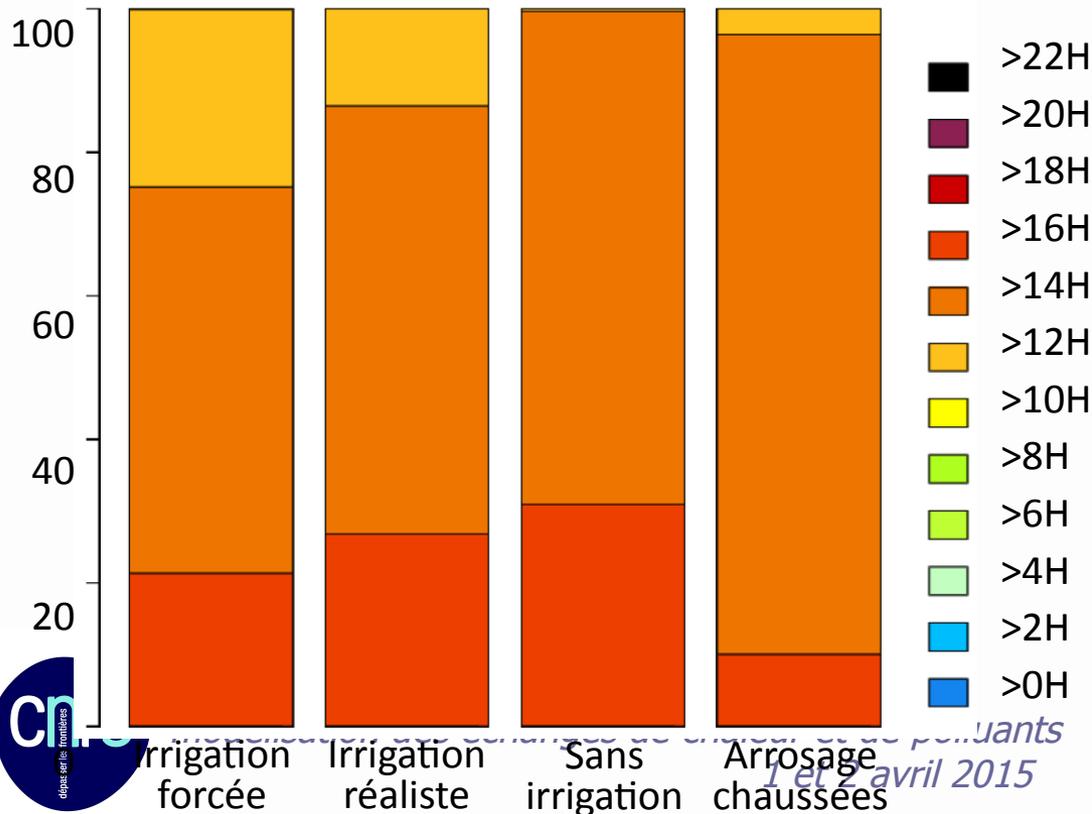
Modélisations

Résultats

VURCA : Impact de l'expansion urbaine

- Critère d'évaluation de l'impact du scénario d'expansion urbaine sur l'ICU
- Analyse de l'évolution en fonction de la canicule (intensité / durée)
- ➔ Bénéfice du verdissement MAIS importance de la disponibilité en eau
- ➔ Focus sur l'arrosage et sur la vulnérabilité de la population

% de la population en fort stress thermique

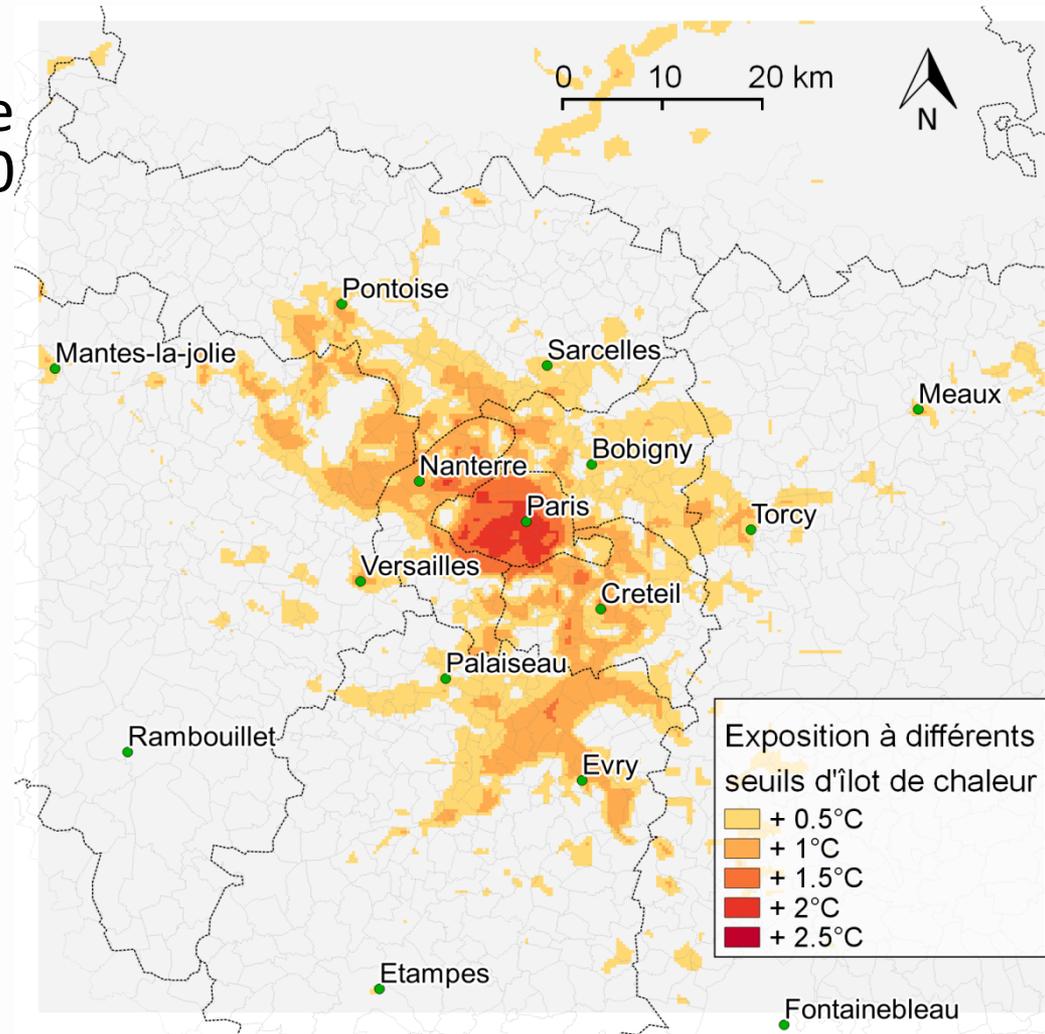


Source : Maxime Daniel



La densification peut accroître l'exposition à la chaleur

Ville étendue
2100



Le climat Urbain :

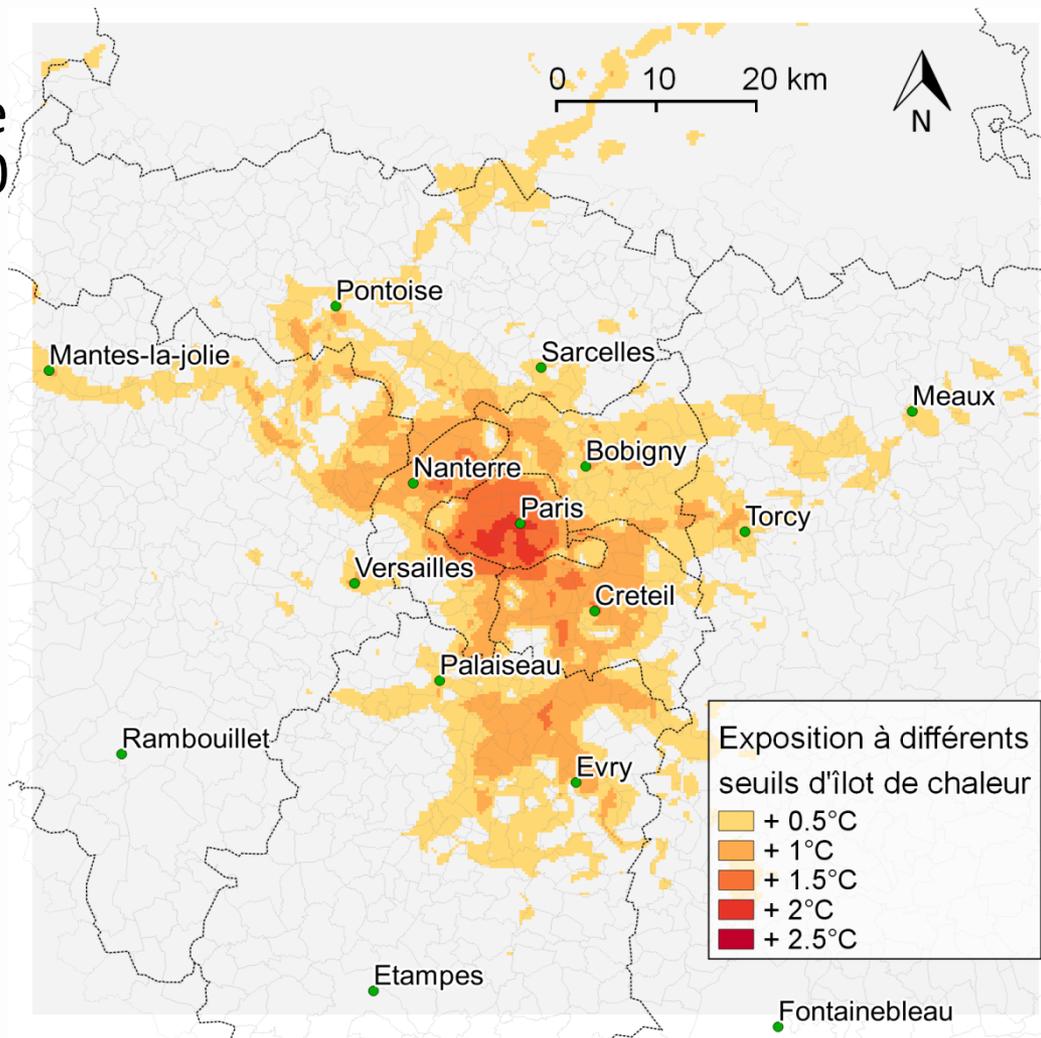
modélisation des éch.

Îlot de chaleur estival (moyenne sur le mois d'août)

Scénario de ville étendue, climat de 2100

La densification peut accroître l'exposition à la chaleur

Ville compacte
2100



Le climat Urbain :

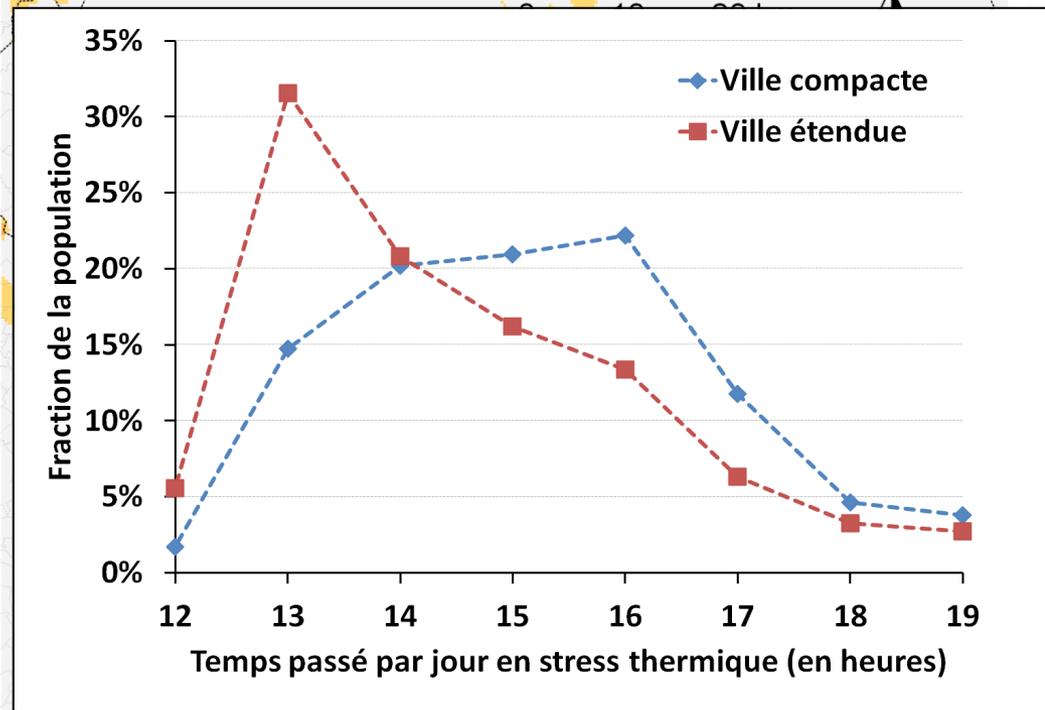
modélisation des éch.

Îlot de chaleur estival (moyenne sur le mois d'août)

Scénario de ville compacte, climat de 2100

La densification peut accroître l'exposition à la chaleur

Ville compacte
2100



- la densification accroît l'exposition à la chaleur, surtout en petite couronne

➤ c'est bénéfique l'hiver mais pénalisant l'été

Le rafraîchissement par la végétation: une affaire complexe (1/3)

Effets potentiels de la végétation

- Refroidissement local
- Atténuation de l'îlot de chaleur sur toute la ville
- Amélioration de l'isolation des bâtiments (toitures végétalisées)

Mais la végétation ne refroidit l'air que si elle est arrosée

- Peut présenter une difficulté lors de périodes de canicule
- Importance des systèmes de gestion de l'eau à échelle locale



Graze the Roof (detail) Photo by Sergio Ruiz/
(<https://secure.flickr.com/photos/urbanists/sets/72157631664273852/>)

Le rafraîchissement par la végétation: une affaire complexe (2/3)

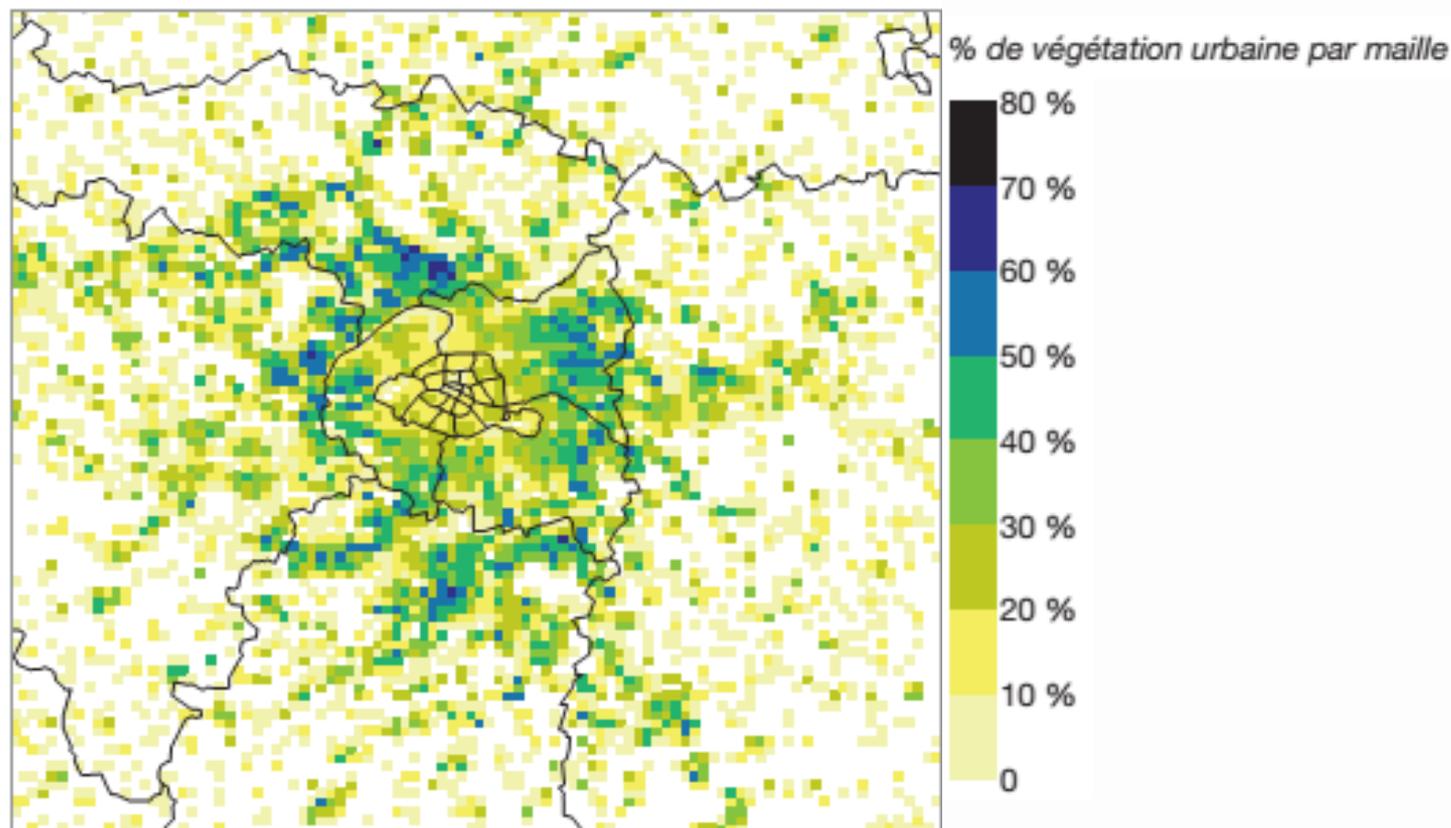
Pour rafraîchir les rues, la végétation de pleine terre (= au niveau des rues) est beaucoup plus efficace que les toitures végétalisées

- entre **- 0.5°C** et **- 2°C** selon les stratégies, sans tenir compte de l'effet d'ombrage

Les toitures végétalisées rafraîchissent principalement les logements via leur effet sur l'isolation

- Il existe beaucoup d'autres moyens d'isoler les bâtiments et les toitures de manière aussi efficace.
 - Il faut relativiser le rôle potentiel joué par les toitures végétalisées dans la lutte contre les canicules.
- **Importance de la place au sol libérée par les différentes formes de bâti**
 - La place au sol, et donc le potentiel de végétalisation au sol, peut jouer un grand rôle dans les consommations énergétiques
 - C'est un facteur à ne pas négliger

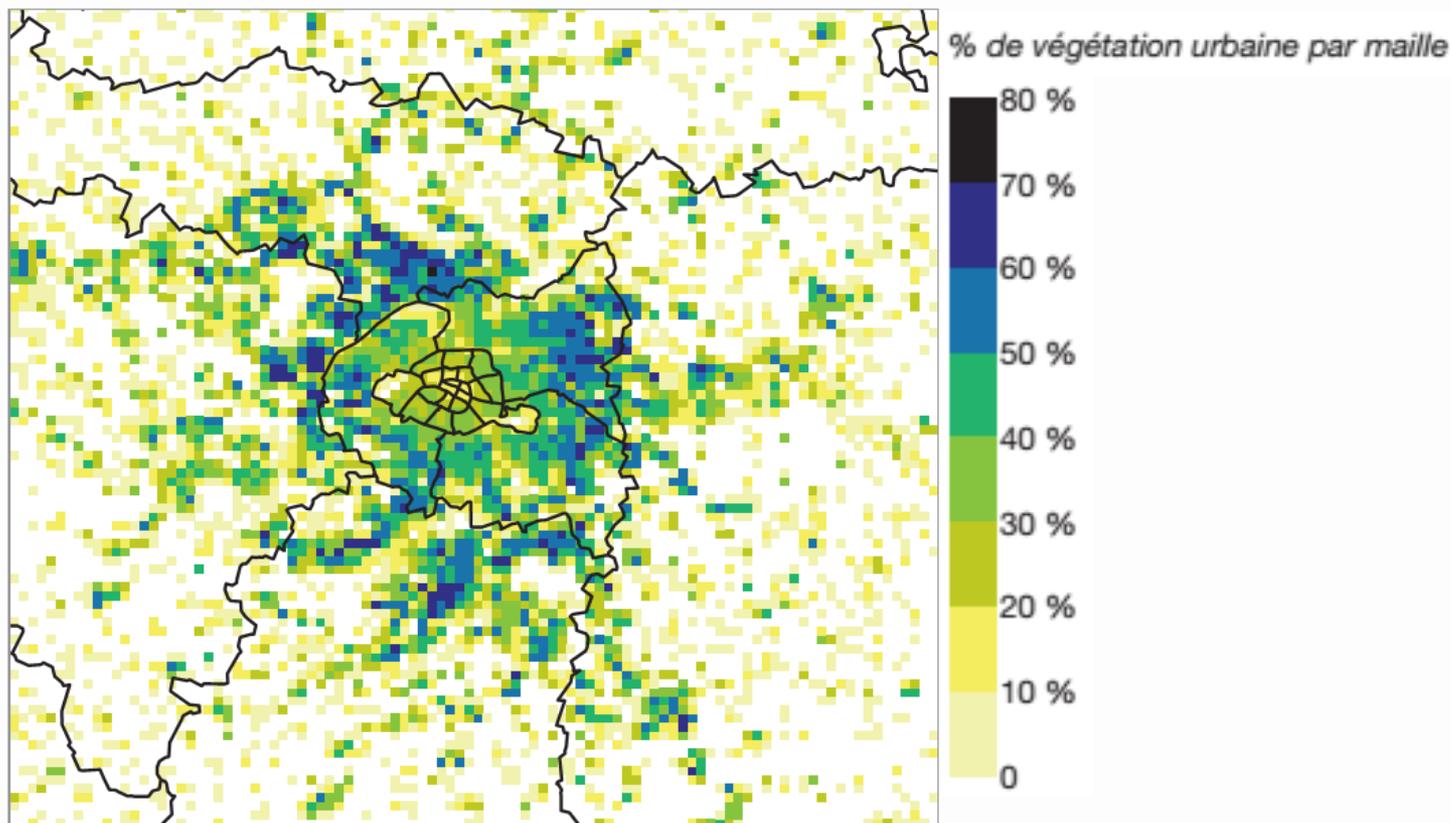
Le rafraîchissement par la végétation: une affaire complexe (3/3)



Densité de végétation urbaine actuelle (calculs à partir des données du MOS)

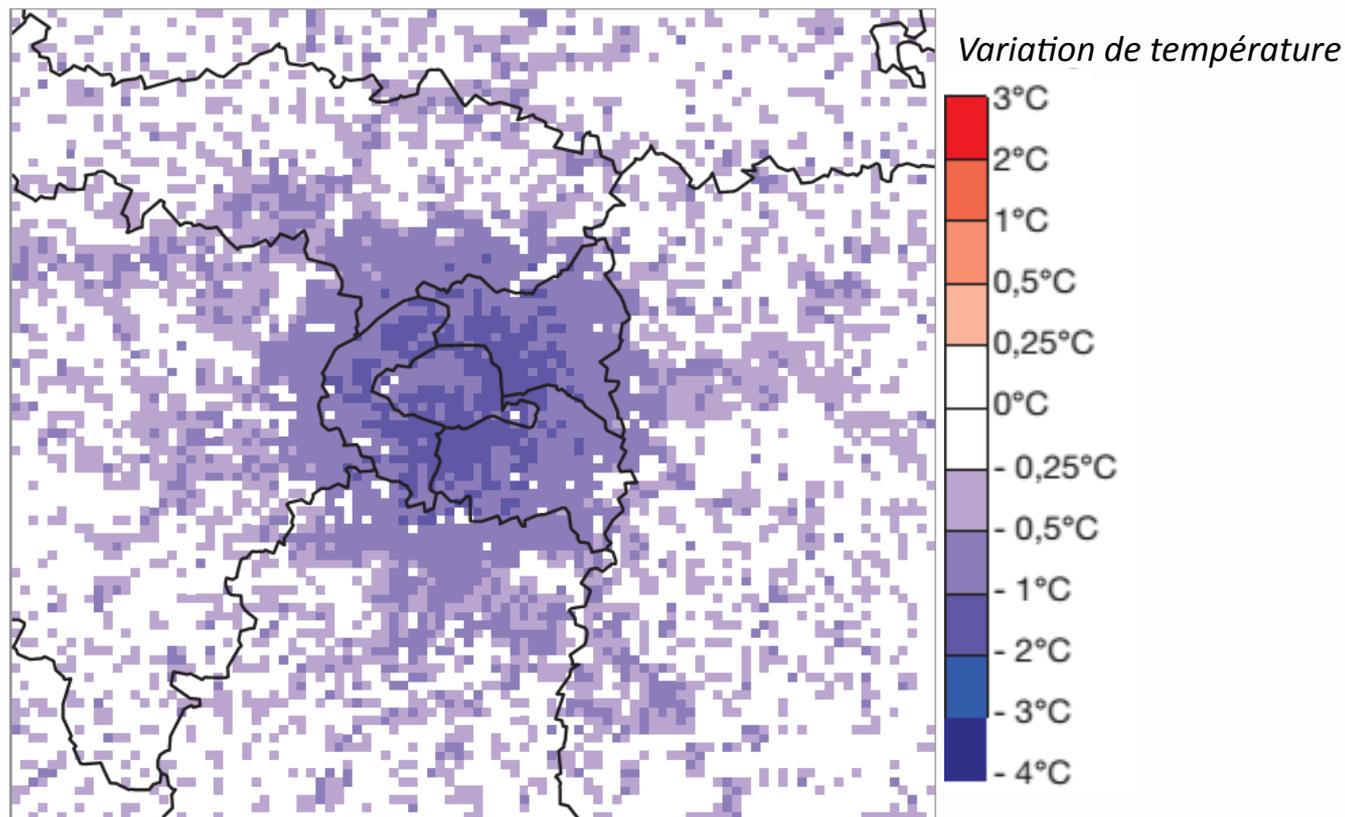
*Le climat Urbain :
modélisation des échanges de chaleur et de polluants
1 et 2 avril 2015*

Le rafraîchissement par la végétation: une affaire complexe (3/3)



*Densité de végétation, simulation avec +50% de végétation
dans les espaces libres (+22% de végétation au total)*

Le rafraîchissement par la végétation: une affaire complexe (3/3)



*Variations de température dues à l'augmentation de 50%
de végétation dans les espaces libres*

MUSCADE : Paris végétalisé

Modélisation de scénarios de verdissement
« réalistes » :

- Végétation de pleine terre (+/- arborée)
- Toitures végétalisées (irriguées ou non)

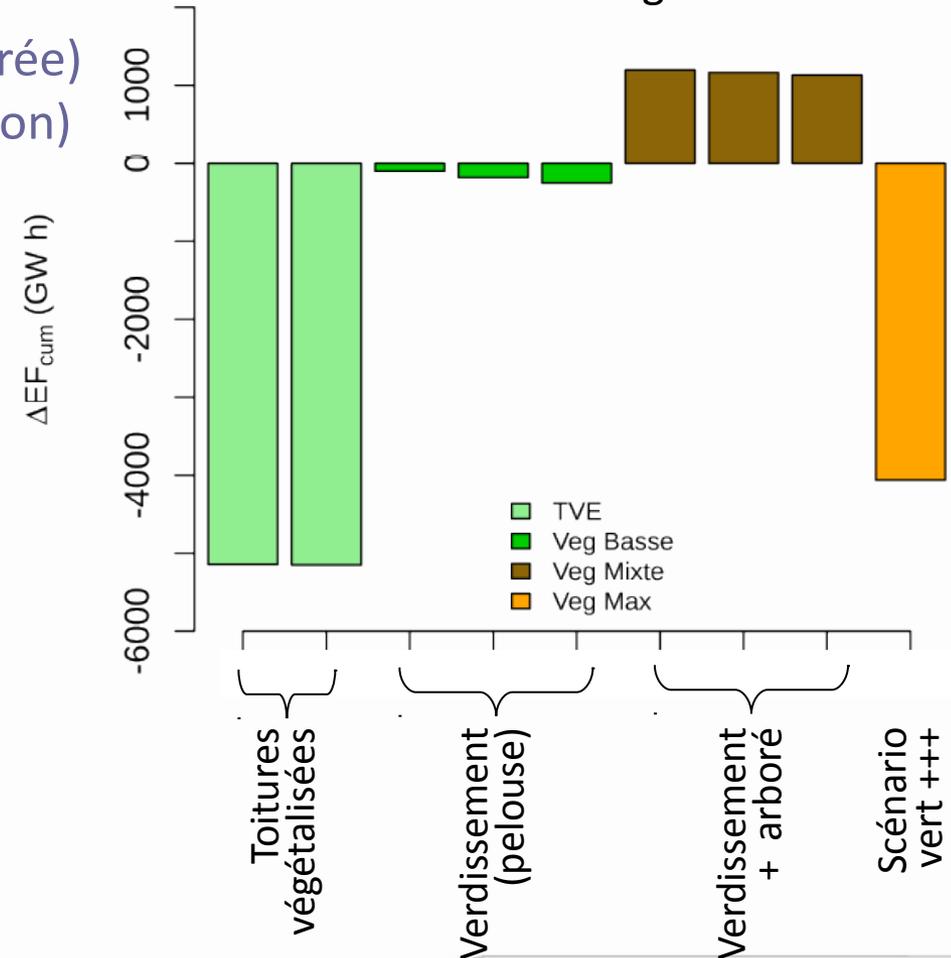
Impact des scénarios de
verdissement sur :

- le climat urbain
- la consommation d'énergie
- le confort thermique
- la demande en eau

Évaluation et comparaison des
scénarios en situation de canicule

Analyse multi-annuelle et saisonnière

Économie d'énergie annuelle

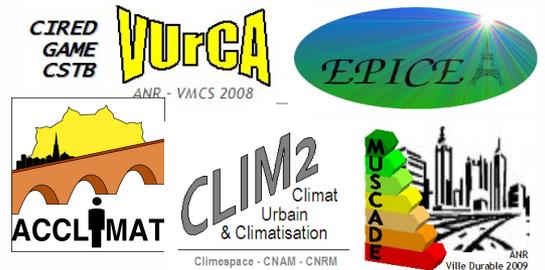


Le climat Urbain :
modélisation des échanges de chaleur et de polluants
1 et 2 avril 2015

Source : Cécile de Munk

Pour en savoir plus...

- Le laboratoire de recherches de Météo-France :
<http://www.cnrm-game.fr/>
<http://www.cnrm.meteo.fr/ville.climat/>



- L'agence Parisienne du climat

www.apc-paris.com



- L'Atelier Parisien d'Urbanisme (APUR)

www.apur.org



- L'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Île de France

www.iau-idf.fr



*Le climat Urbain :
modélisation des échanges de chaleur et de polluants
1 et 2 avril 2015*