

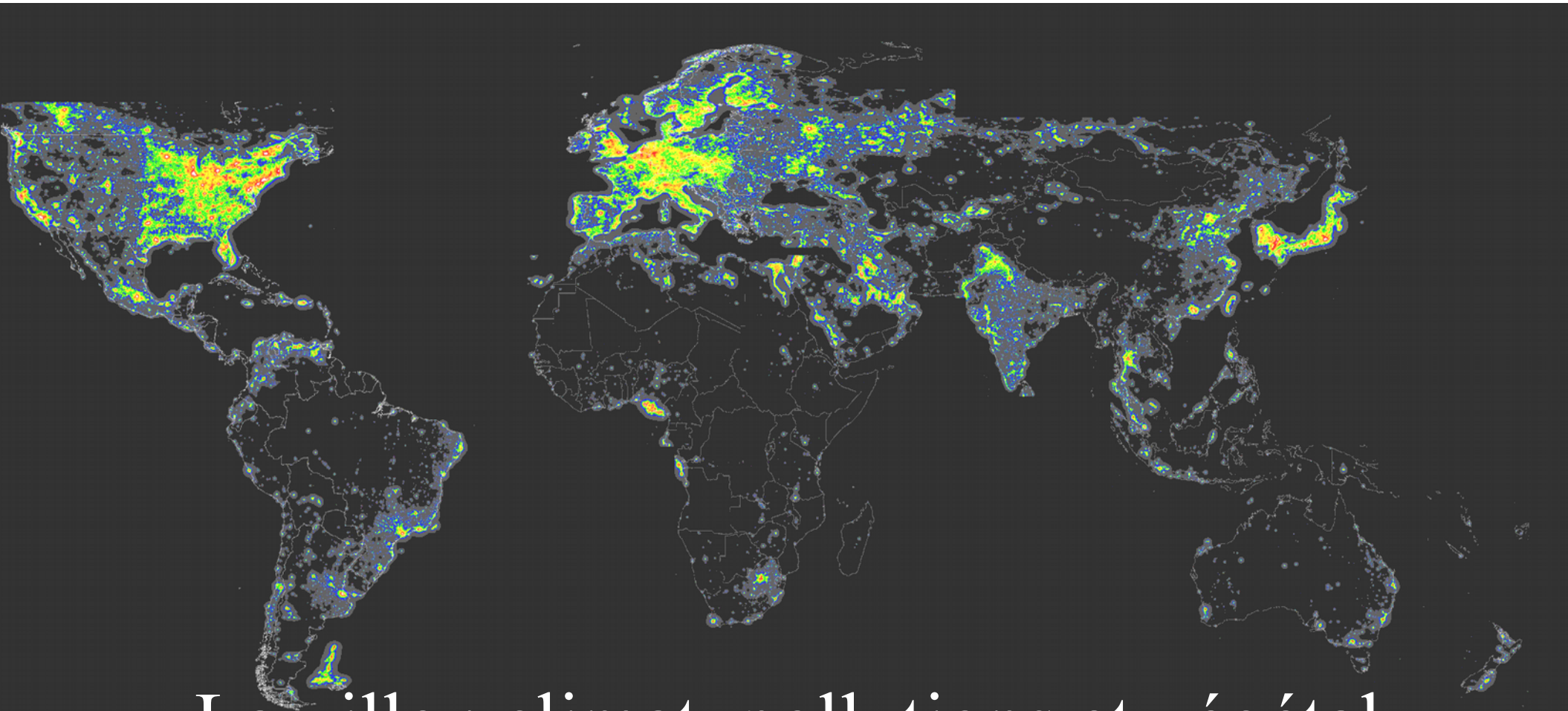
# Yves Richard

Centre de Recherches de Climatologie

Biogéosciences UMR6282 CNRS / Université de Bourgogne

yrichard@u-bourgogne.fr

<http://blog.u-bourgogne.fr/licence-geographie/>

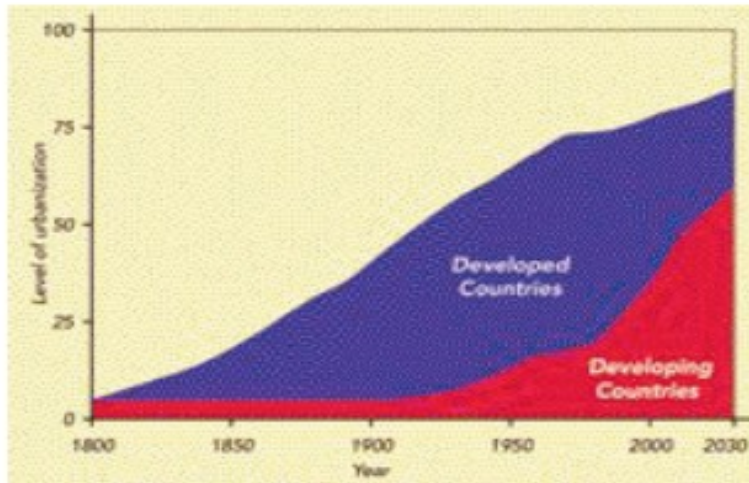


La ville : climat, pollutions et végétal

# Croissance démographique

+ Intensification de l'urbanisation

= Toujours plus d'Hommes dans les villes



[http://www.cstb.fr/dos\\_presse/fichiers/DP232\\_06\\_06\\_PDF.pdf](http://www.cstb.fr/dos_presse/fichiers/DP232_06_06_PDF.pdf)

1800 : 50 Millions  
1900 : 160 Millions  
(10% de la population mondiale)  
1950 : 735 Millions  
1990 : 2 Milliards  
2000 : 3 Milliards  
(50 % de la population mondiale)  
2025 : 5 Milliards  
(62 % de la population mondiale)  
2100 : 80 % de la population mondiale

Un taux de croissance entre 2,2 % et 1,8 %  
Chaque jour 180.000 personnes supplémentaires  
accroissent la population des villes du monde



**Ville et Environnement**

**Près de 4 Milliards d'Hommes directement concernés**

# Taux d'urbanisation par pays en 2013 et mondial 1950-2100

TAUX D'URBANISATION

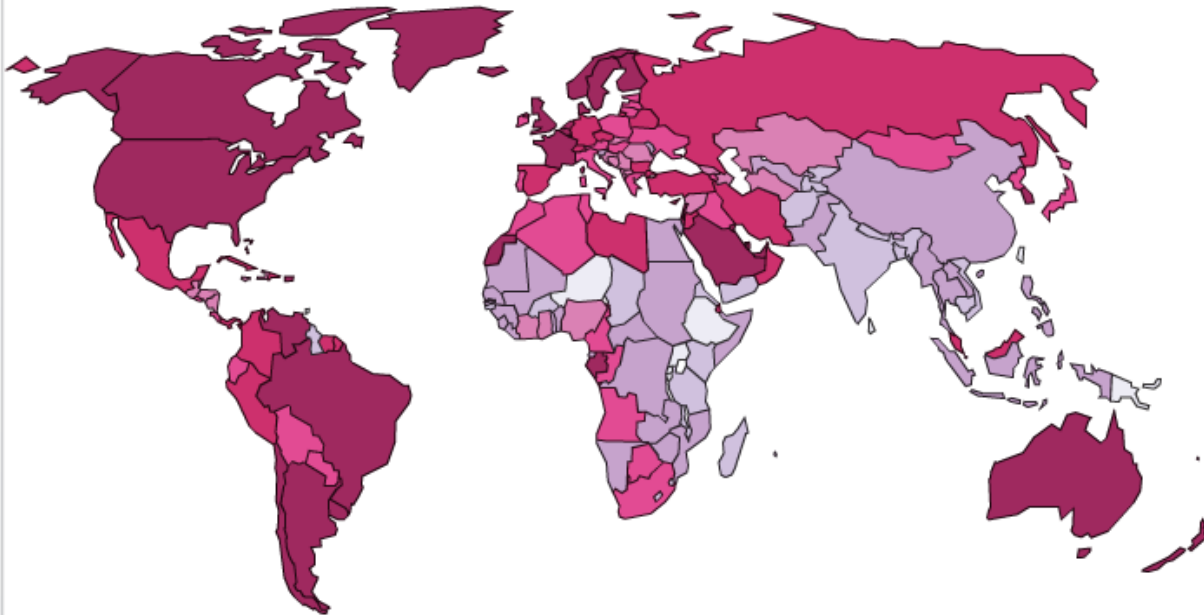
MONDE

TOUS LES PAYS

LES EXTRÊMES  
SEULEMENT



2013



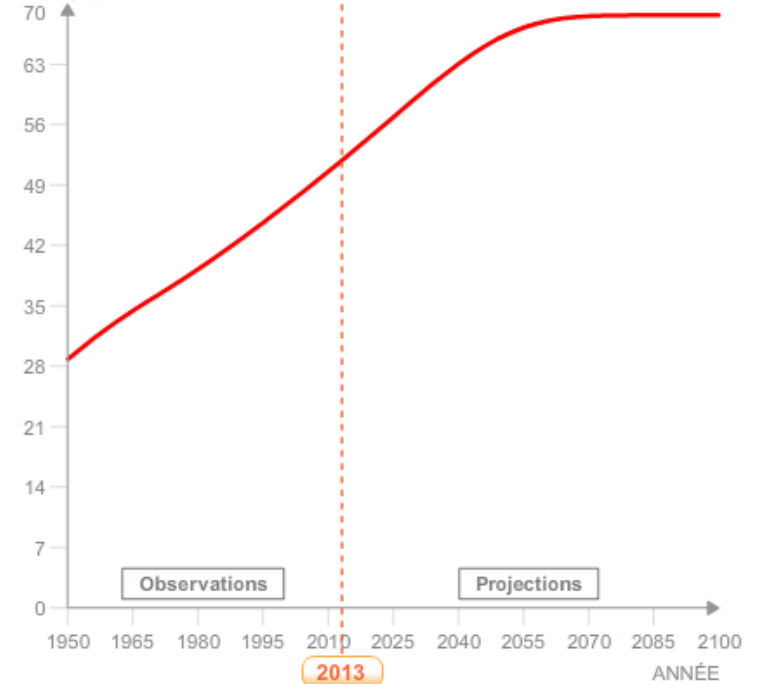
TAUX D'URBANISATION (%)

moins de 20 20 à 35 35 à 50 50 à 60 60 à 70 70 à 80 80 ou plus

Institut national d'études démographiques [www.ined.fr](http://www.ined.fr)

2013

TAUX D'URBANISATION  
(%)



MONDE

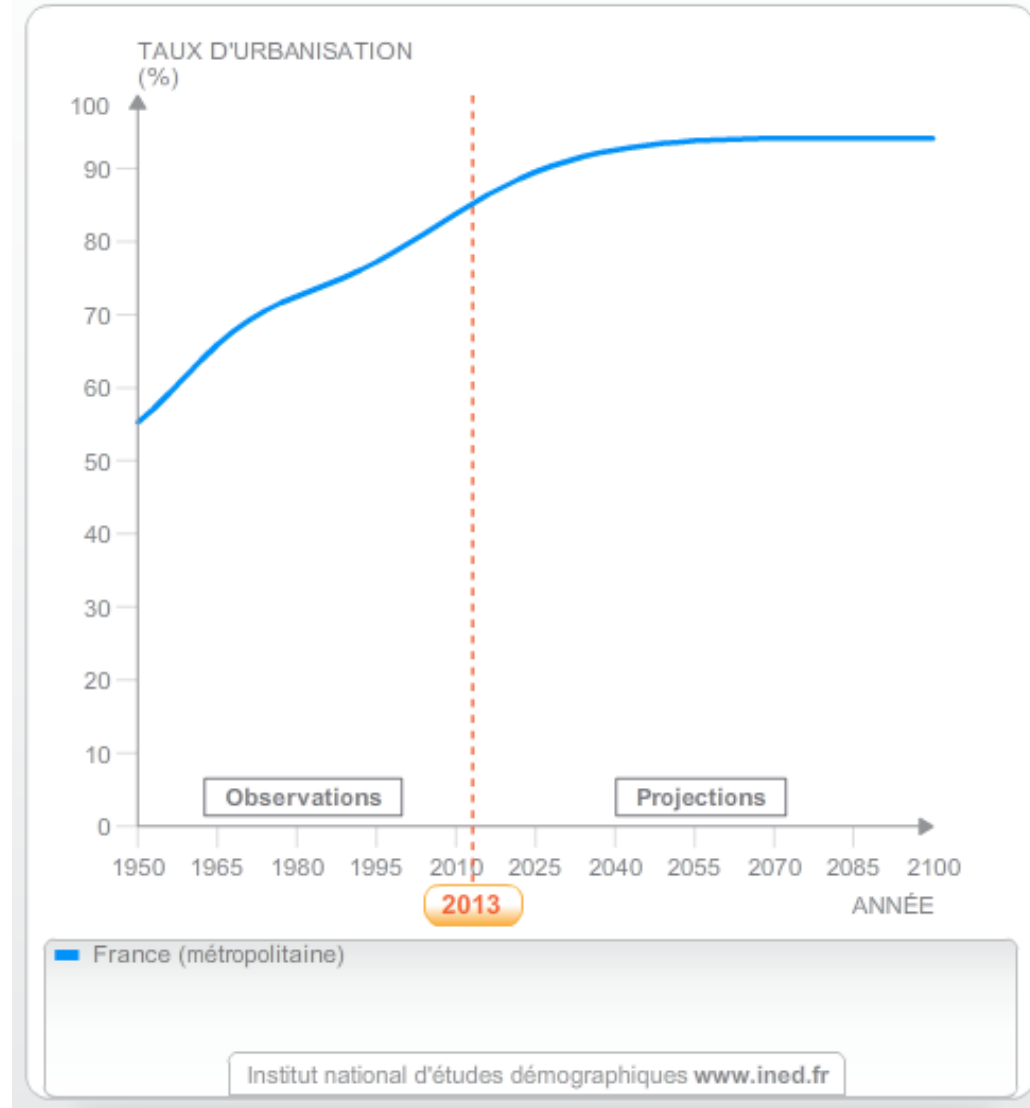
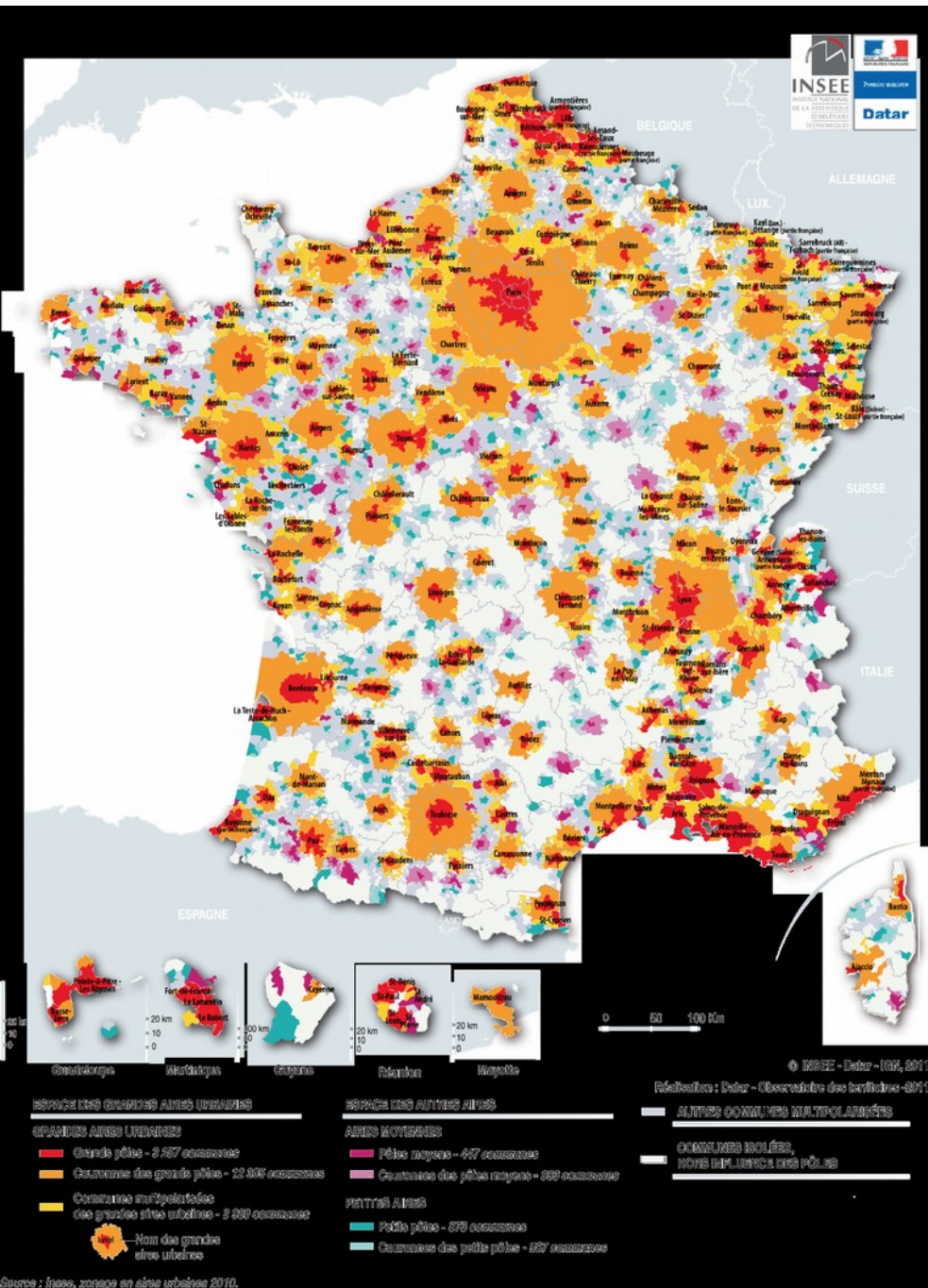
Institut national d'études démographiques [www.ined.fr](http://www.ined.fr)

1950

2100

# L'urbanisation en France

## Aires urbaines en 2008 et taux d'urbanisation 1950-2100



[http://www.ined.fr/jeux2.php?\\_movie=/CartePopulation/cartePopulation.php?html=true&titre=Les%20cartes%20interactives%20de%20la%20population%20mondiale&lg=fr](http://www.ined.fr/jeux2.php?_movie=/CartePopulation/cartePopulation.php?html=true&titre=Les%20cartes%20interactives%20de%20la%20population%20mondiale&lg=fr)

# Quelles sont les surfaces végétales en milieu urbanisé?

## Schéma des différentes couronnes urbaines en fonction du degré de végétalisation (d'après Clergeau, Marzluff)

En périphérie de la ville, la large frange qui mixe ville et campagne est appelée le **périurbain**, au-delà duquel se trouve le rural. Les frontières entre la nature issue de la campagne et celle de la ville s'estompent, avec les lotissements en bordure de champ ou de forêt. La part des sols non artificialisés y est de 80 %.

Dans le **suburbain**, où la végétation est présente à travers les jardins des lotissements, les pelouses d'immeubles, des parcs tertiaires et les terrains de sport, la végétalisation peut atteindre jusqu'à 70 % de la surface.

Le **péricentre** où les habitations avec jardins sont fréquentes, compte jusqu'à 40 % de végétation. On y trouve aussi des espaces verts.

Le **centre-ville**, avec son bâti ancien et dense, présente moins de 15 % de surface de végétation. Les espaces de nature y sont généralement de petite taille (quelques arbres et de petits squares) et isolés.



**1/ Qu'est ce que le climat urbain?**

**2/ Pollutions : des spécificités urbaines?**

**3/ Quelles « politiques végétales » pour la ville?**

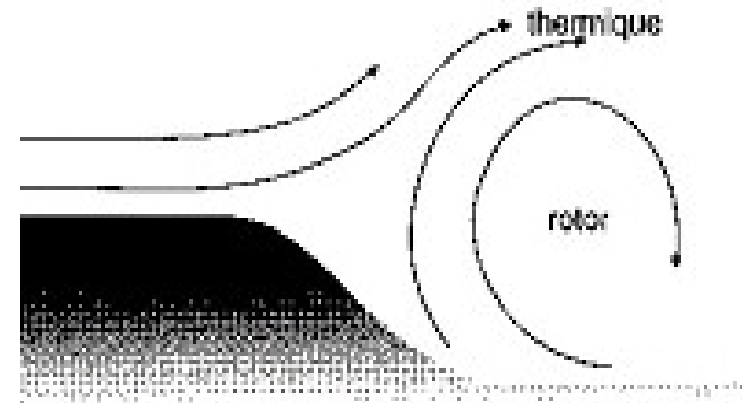
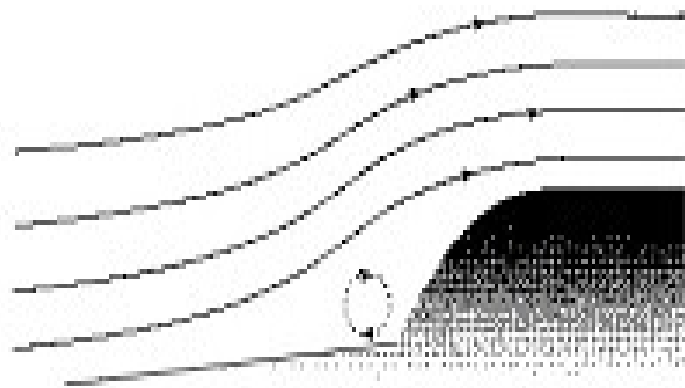


# Qu'est ce que le climat urbain?

- 1) Rugosité & vent
- 2) Rayonnement / Albédo
- 3) Températures & ICU
- 4) Précipitations & aérologie



# 1) Rugosité & vent



**Bâtir une ville c'est ériger un relief  
et tout relief perturbe le champ de vent...**



Une ville : quel(s) effet(s) sur le(s) vent(s) ? Comment connaître ce(s) effet(s)?

Ville :  $\Sigma$  surfaces horizontales et de parois verticales d'orientations diverses



Aucune station météorologique n'est dans un environnement similaire

Solution A : construire une maquette, ...  
(exemple de la Potsdamer Platz, Berlin, Allemagne)



Source : Photo: Elmar Uherek, climate exhibition Deutsches Museum Munich

[http://www.atmosphere.mpg.de/enid/0,55a304092d09/Climate\\_in\\_brief/-\\_Climate\\_in\\_Cities\\_2t9.html](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/0,55a304092d09/Climate_in_brief/-_Climate_in_Cities_2t9.html)

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le(s) vent(s) ? Comment connaître ce(s) effet(s)?

Solution A : ... que l'on place dans un tunnel de vent...  
(exemple de Bâle, Suisse)



Tunnel de vent  
de l'université de Hambourg

Modèle physique  
de la région de l'agglomération  
de Bâle (échelle 1/300)

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°2, December 2003

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le(s) vent(s) ? Comment connaître ce(s) effet(s)?

Solution A : ... puis injecter des gaz colorés et visualiser un panache



Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°6, August 2004

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

Le « Laboratory for Studies in Environmental Fluid Flow (LSEFF) », université de Waterloo, utilise un modèle physique à l'échelle avec un panache hydraulique



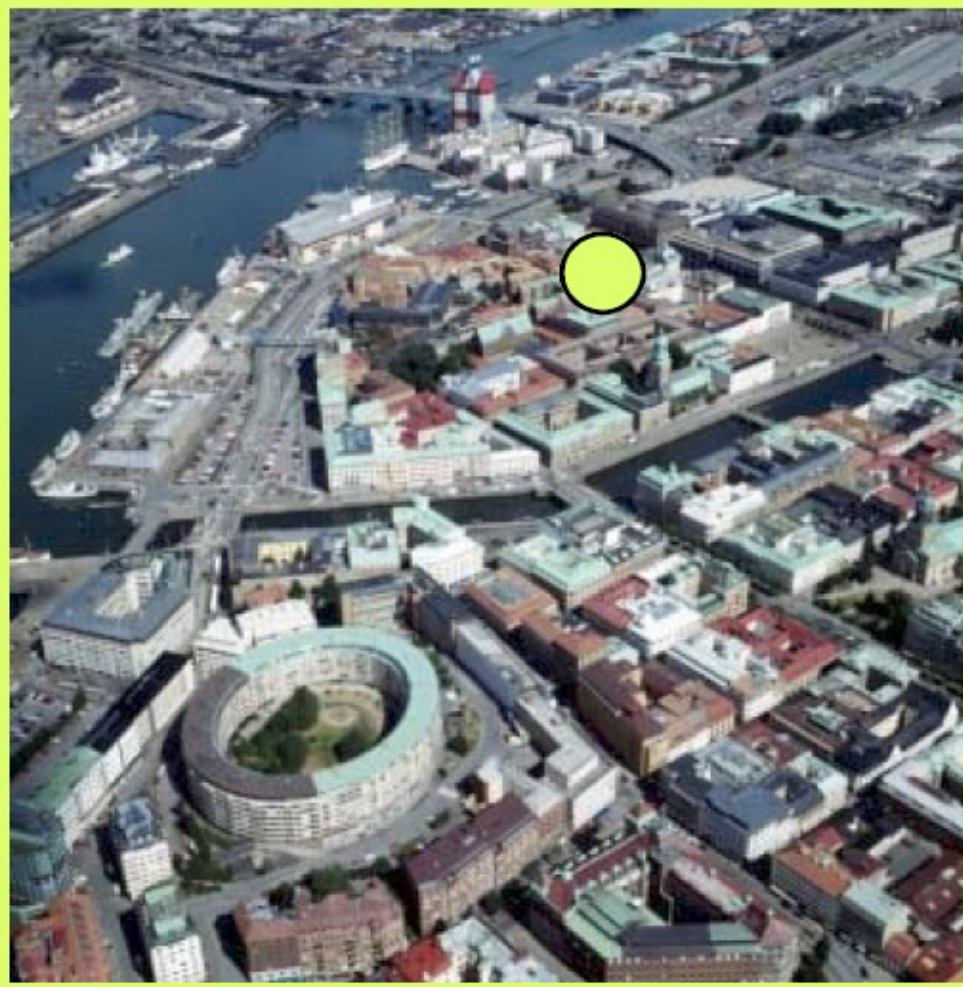
**Pédagogique, compréhensible par le plus grand nombre.  
Long, coûteux et non transposable (maquette).  
Résultats difficiles à exploiter (non numériques).**



# Une ville : quel(s) effet(s) sur le(s) vent(s) ? Comment connaître ce(s) effet(s)?

Solution B : mesurer à différentes hauteurs  
(exemple de Göteborg, Suède, phase préliminaire)

1/ Choisir un site (ici une rue cañon orientée Nord-Sud)



2/ Étalonner les anémomètres



Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°5, June 2004

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le(s) vent(s) ? Comment connaître ce(s) effet(s)?

Solution B : mesurer à différentes hauteurs  
(exemple de Göteborg, Suède, phase opératoire)

3/ Condamner l'accès à la rue



4/ Installer le matériel



5/ Sur les toits



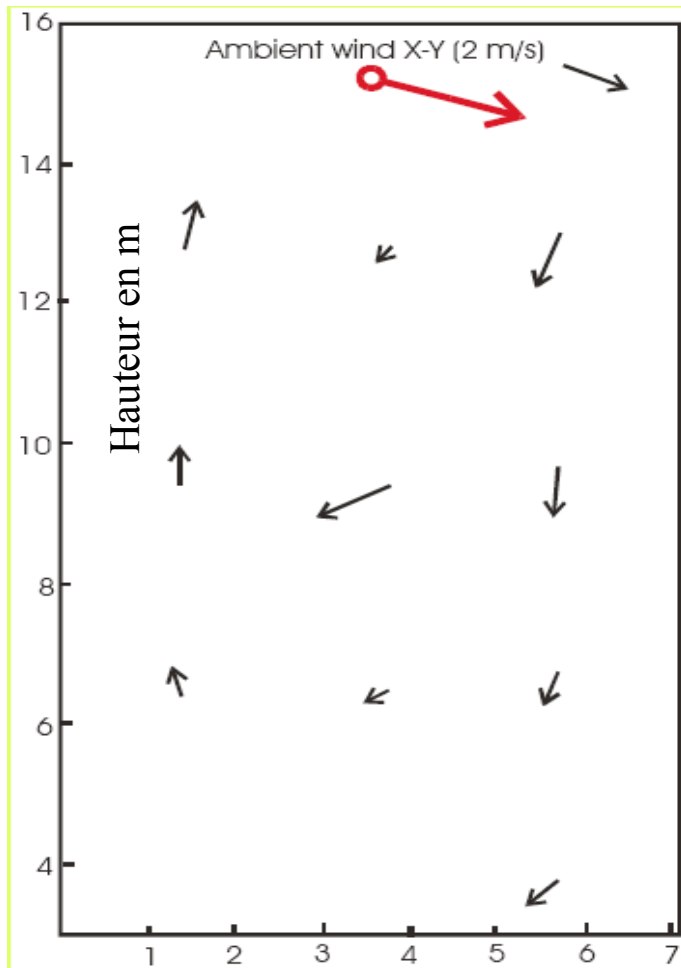
Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°5, June 2004

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le(s) vent(s) ? Comment connaître ce(s) effet(s) ?

Solution B : mesurer à différentes hauteurs  
(exemple de Göteborg, Suède, phase d'analyse)

## 6/ Analyser les résultats



Rouge : vent au-dessus des toits (synoptique?, pas vraiment)

Noir : vents au sein du cañon  
Ces vents sont multipliés par 2,  
ainsi 2 m = 1 m/s.

Note : axe des y ne va pas à zéro.

Source : International Association for Urban Climate  
Newsletter, Issue n°5, June 2004

<http://www.indiana.edu/~iauc/>



**Précis, aide à comprendre les mécanismes.  
Formateur, mais complexe à mettre en œuvre  
Quelle est la représentativité des sites?**

Distance du mur Ouest en m

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le(s) vent(s) ? Comment connaître ce(s) effet(s)?

Solution C : faire des expériences grandeur nature :  
(exemple de l'étude de traceurs en juillet 2003'Oklahoma city, États-Unis)

**Objectif : simuler la dispersion d'agents toxiques en atmosphère urbaine**



Ligne d'horizon : en haut : vers l'Est  
en bas : vers le Sud



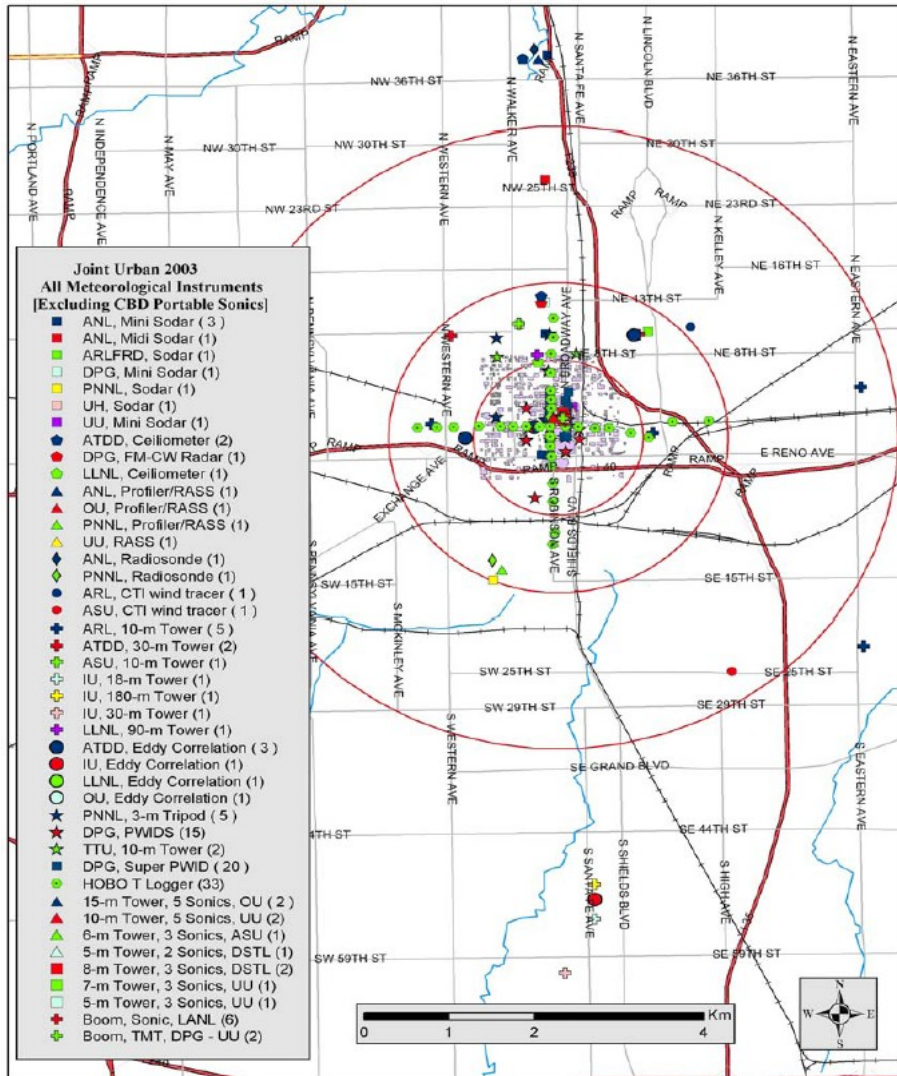
Trois sites de lâchés d'hexafluoride de soufre  
près du jardin botanique

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°4, February 2004



# Une ville : quel(s) effet(s) sur le(s) vent(s) ? Comment connaître ce(s) effet(s)?

Solution C : faire des expériences grandeur nature :  
(exemple de l'étude de traceurs en juillet 2003 à Oklahoma city, États-Unis)



Instruments météorologiques déployés lors de l'expérience

Partenaires :

1/ Department of Defence Threat Reduction Agency (DTRA);

2/ the U.S. Department of Energy (DOE) – Chemical Biological National Security Program ;

3/ Department of Homeland Security (DHS).

Mise en Oeuvre :

1/ 150 scientifiques;

2/ 20 organismes

Coût : plusieurs millions de \$



**Quelle représentativité selon type de temps ?  
Vous avez les sous?**

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°4, February 2004

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le(s) vent(s) ? Comment connaître ce(s) effet(s)?

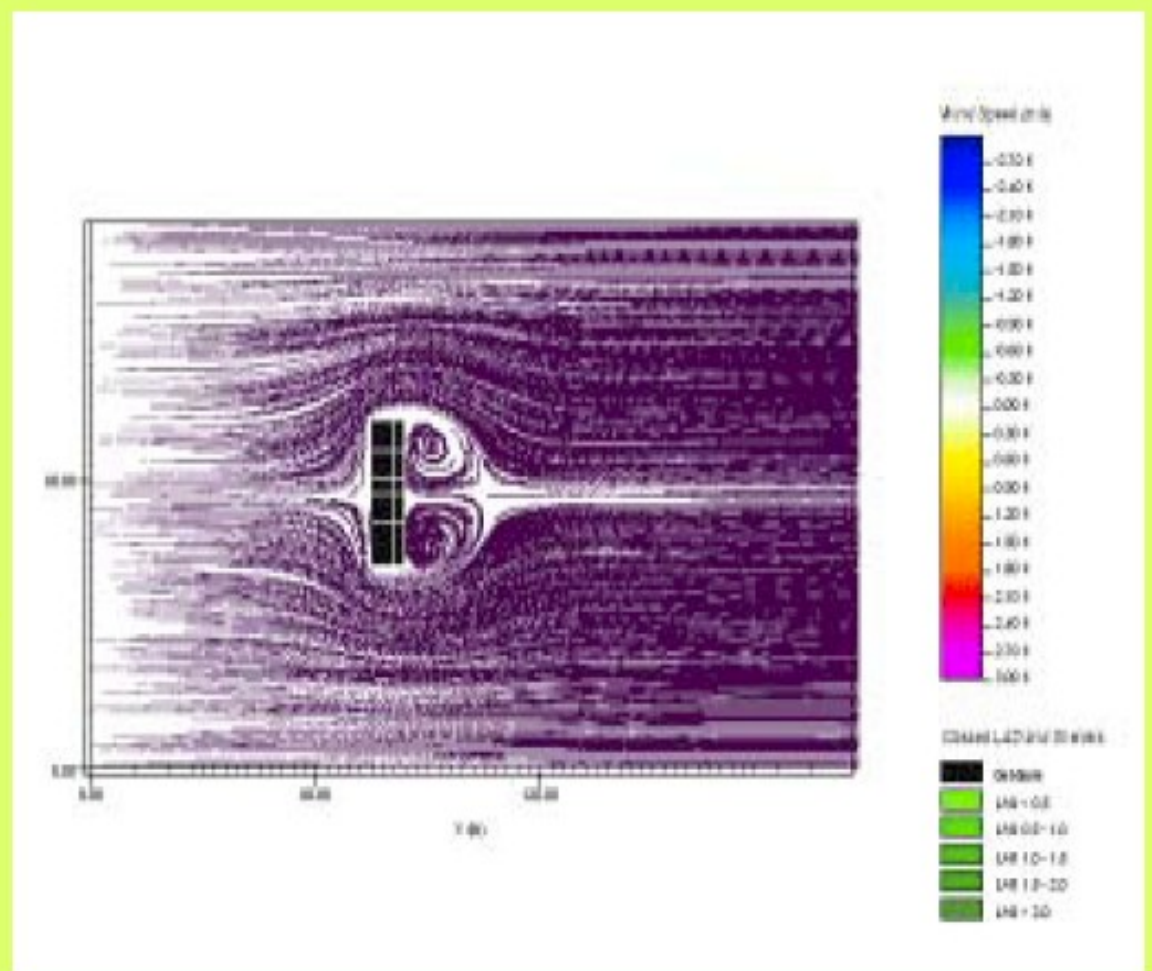
Solution D : développer des modèles numériques tri-dimensionnels :  
(exemple d'ENVI, Environnement de traitement d'images de télédétection)

Logiciel de visualisation et d'analyse d'images issues de la télédétection.

Figure 1: ENVI-met is a three-dimensional model designed for use in complex urban environments. Its components allow the simulation of wind, temperature, humidity and pollution fields around complex forms. This figure illustrates a visualisation of flow around an obstacle.

ENVI-met is composed of three separate software packages:

- ENVI-met Editor that allows the user to create unique 3-D forms
- ENVI-met itself which allows the user to perform a simulations under given conditions, and
- LEONARDO that allows the user to visualise the results of the simulation (as shown opposite).

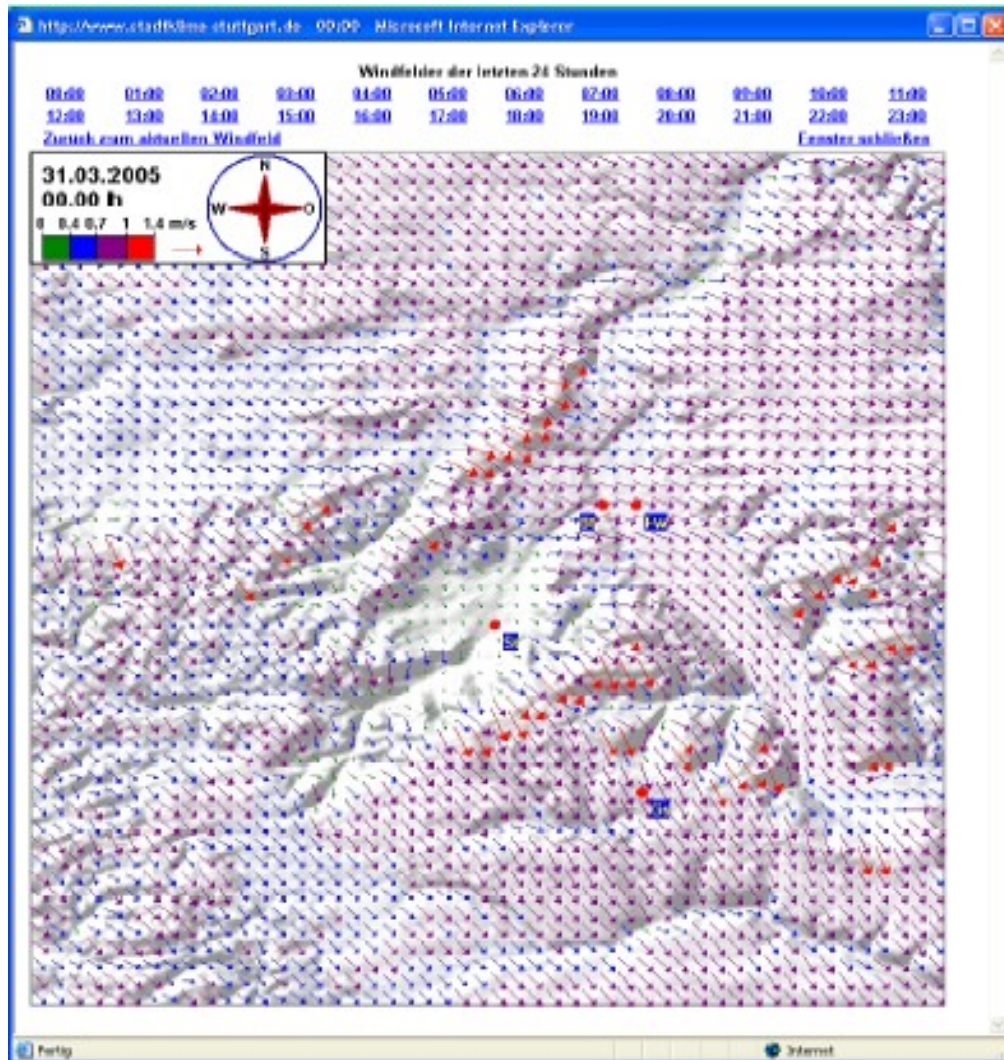


Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°5, June 2004

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le(s) vent(s) ? Comment connaître ce(s) effet(s)?

Solution D : faire des simulations numériques :  
(exemple de Stuttgart, Allemagne)



Calcul de champ de vent pour Stuttgart

[www.stadtklima-stuttgart.de](http://www.stadtklima-stuttgart.de)



**Peu coûteux, mais nécessite de  
fortes compétences.**

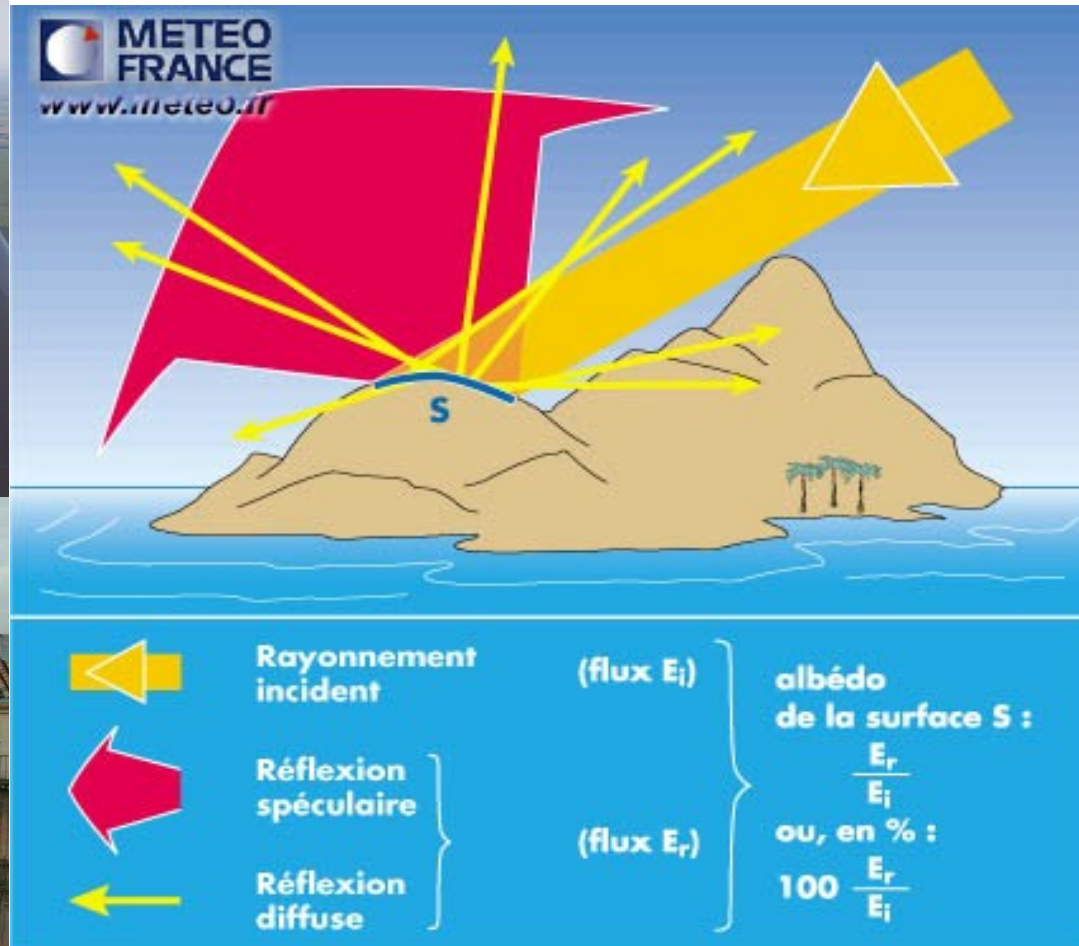
**Transposable.**

**La solution... de demain....**

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°11, June 2005

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

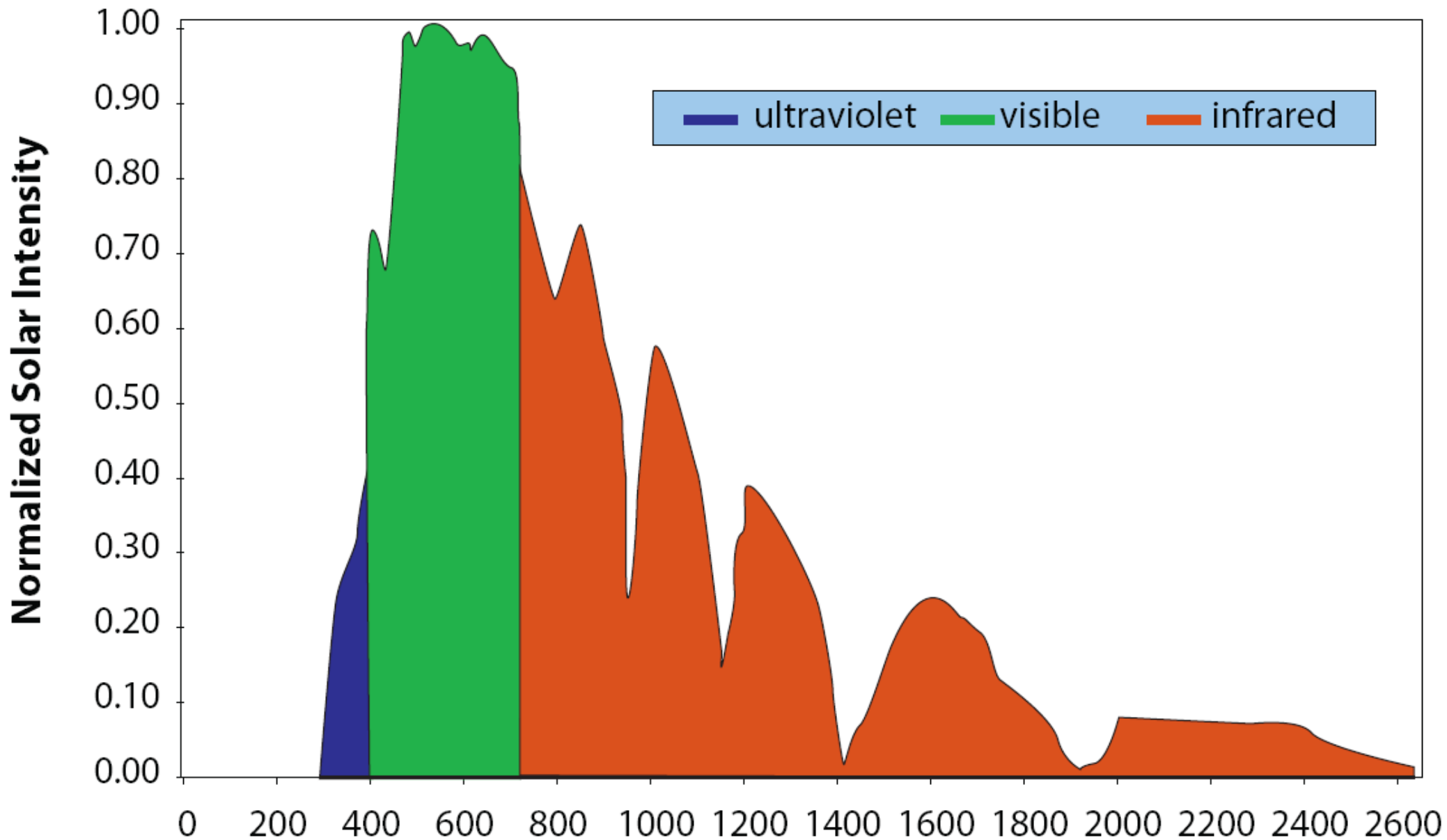
## 2) Rayonnement / Albédo



**Bâtir une ville c'est modifier des surfaces  
et ainsi l'interception et la réflexion du rayonnement solaire  
(Albédo d'une surface = énergie réfléchie / énergie reçue)**

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le rayonnement?

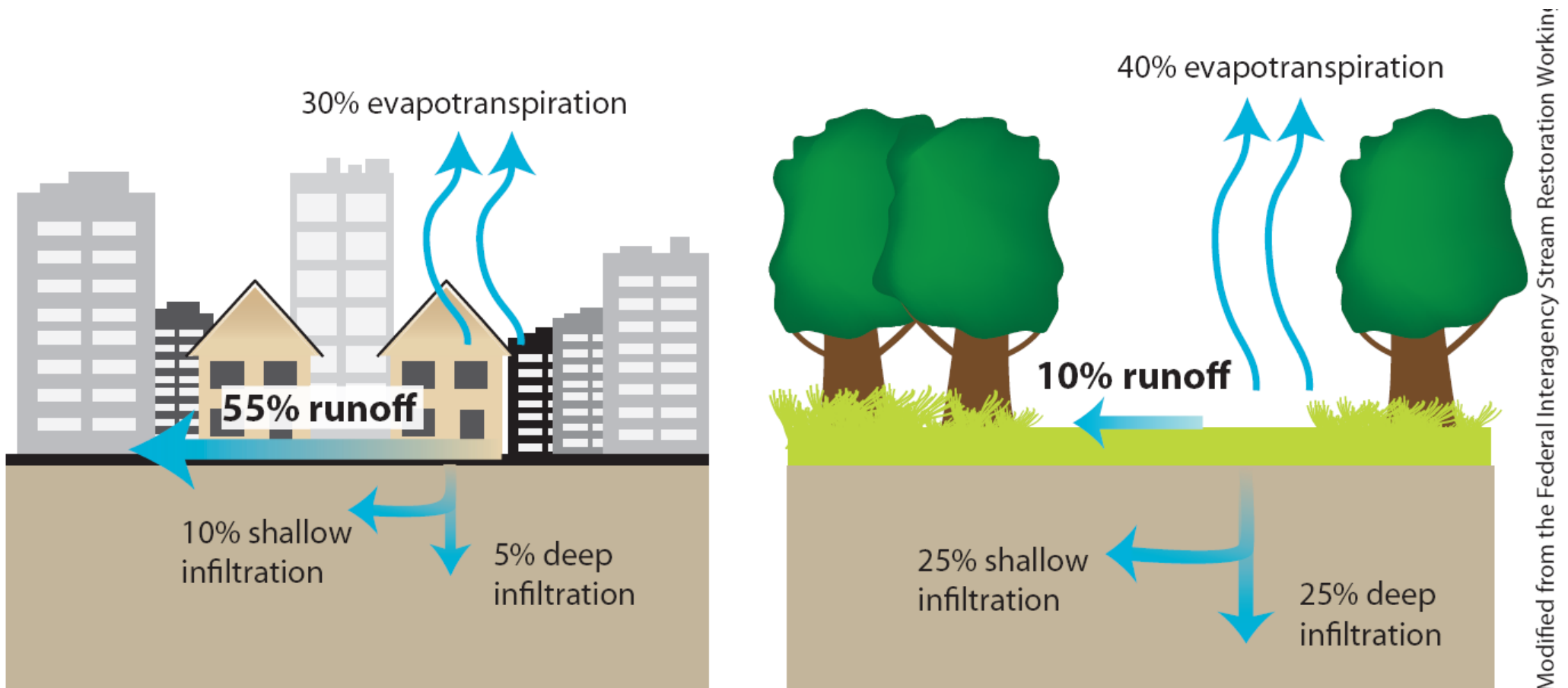
Énergiesolaireatteignant lasurfaceen fondion delalongueur d'ondes



Solar energy intensity varies over wavelengths from about 250 to 2500 nanometers

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le rayonnement?

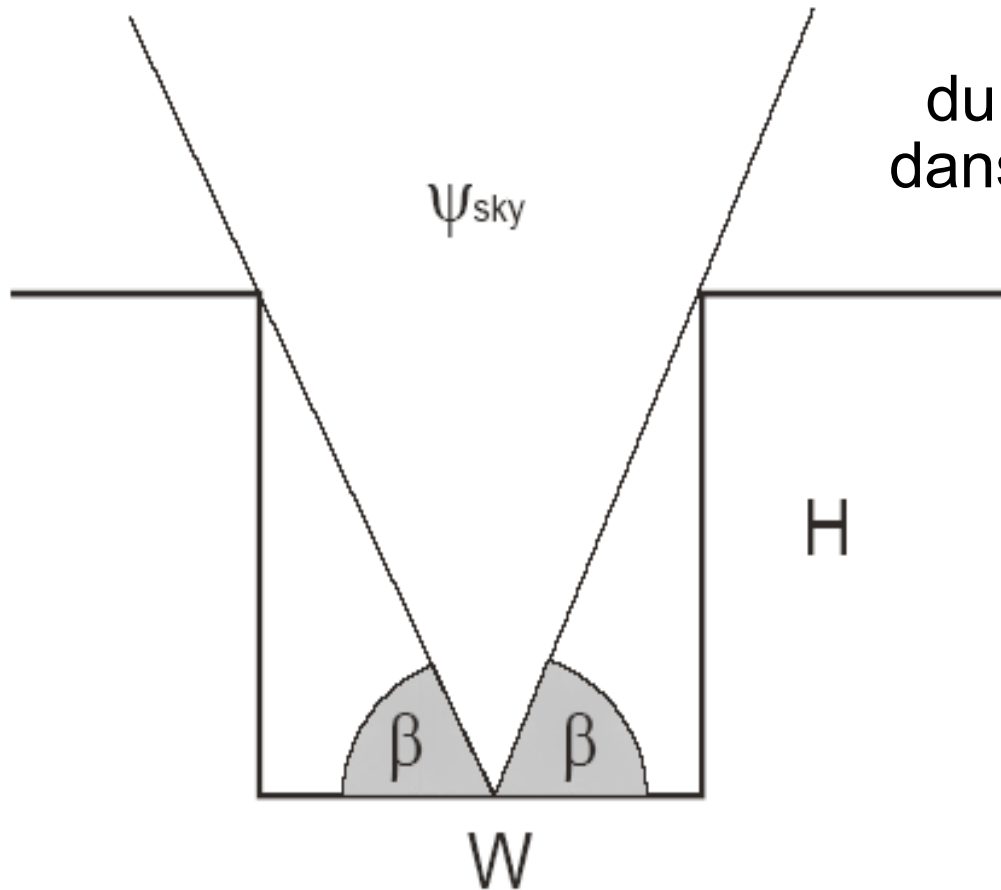
## Imperméabilisation des surfaces et réduction de l'évapotranspiration



Highly developed urban areas (right), which are characterized by 75%-100% impervious surfaces, have less surface moisture available for evapotranspiration than natural ground cover, which has less than 10% impervious cover (left). This characteristic contributes to higher surface and air temperatures in urban areas.

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le rayonnement?

Théorie : Une rue = un cañon qui modifie les conditions d'éclairement



Identification  
du facteur d'ouverture sur le ciel  
dans une rue « cañon » symétrique  
décrite par  
sa largeur ( $W$ )  
et sa hauteur ( $H$ ) :

$$\psi_{\text{sky}} = \cos \beta$$

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°4, February 2004

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

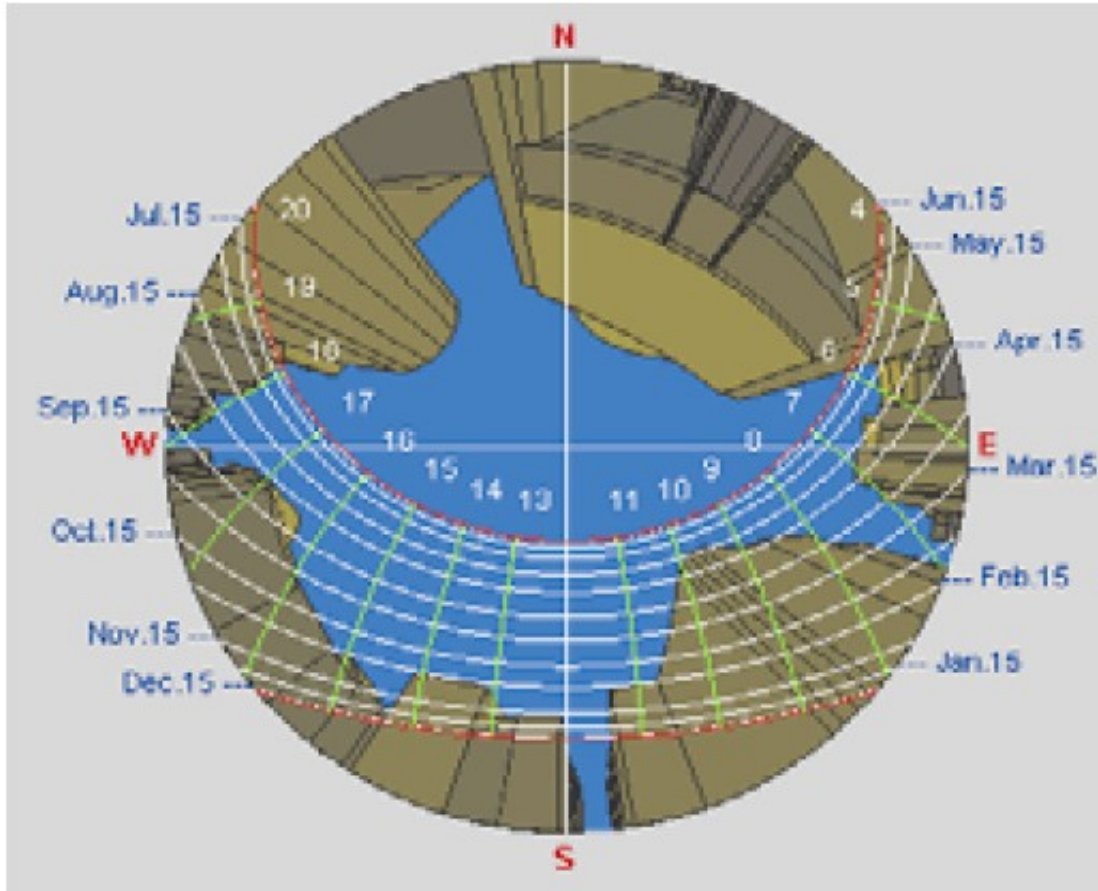


**Rue : des adrets, des ubacs, des ombres portées**

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le rayonnement?

Solution A : Simuler

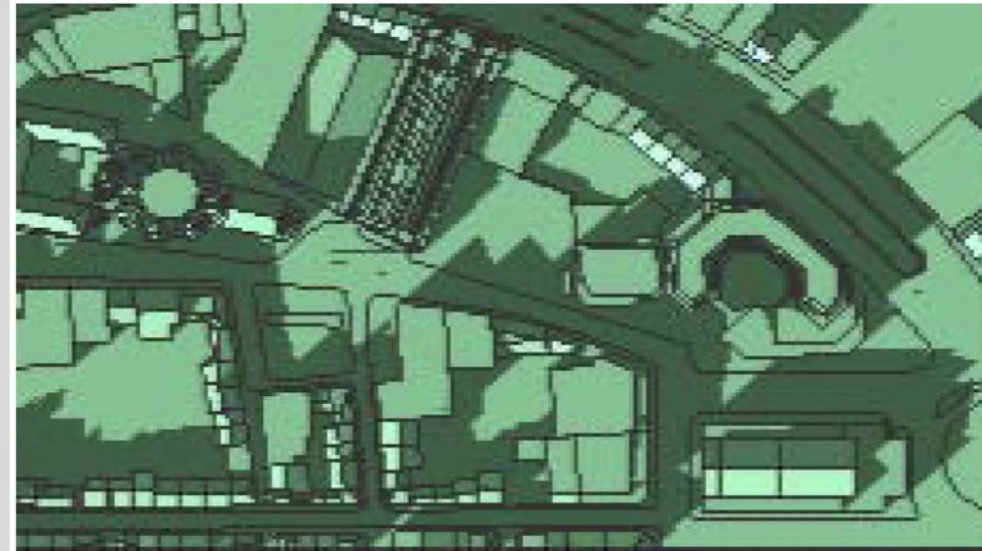
exemple du système d'information urbain tridimensionnel TownScop III  
(Laboratory of Architectural Methodology (LEMA) at the University of Liege)



Rayonnement solaire direct : heures et mois



**Facile : on sait faire depuis l'antiquité**  
**Inclus dans tout logiciel utilisé par les bons architectes**



Ombres portées

Source : International Association for Urban  
Climate Newsletter, Issue n°4, February 2004

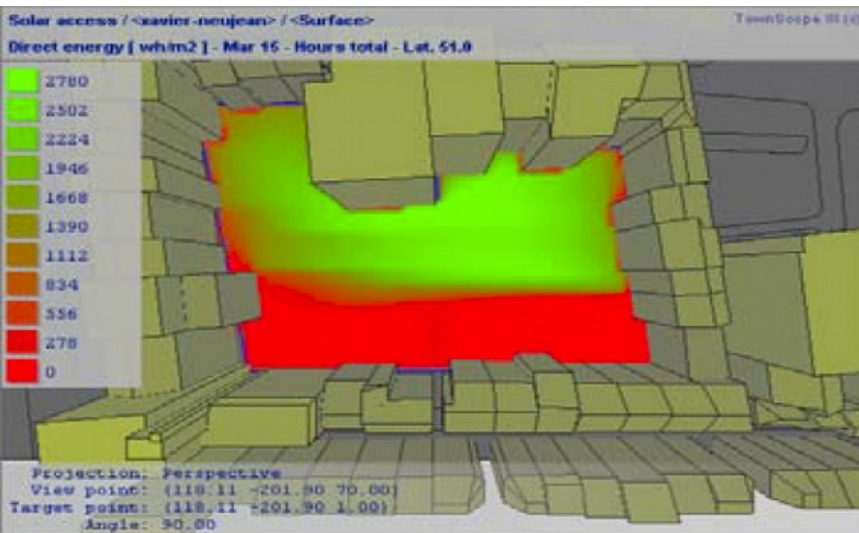
<http://www.indiana.edu/~iauc/>



# Une ville : quel(s) effet(s) sur le rayonnement?

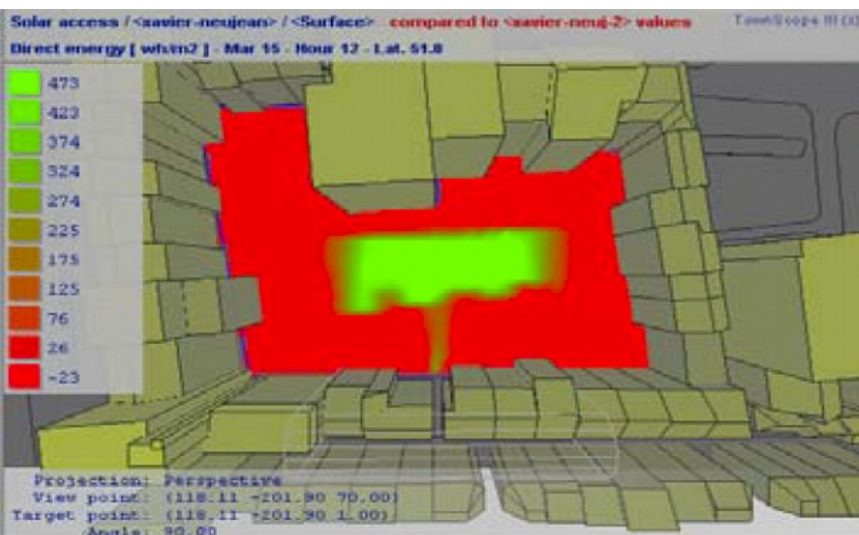
Solution A : Simuler le rayonnement direct.

Exemple du système d'information urbain tridimensionnel TownScop III (Laboratory of Architectural Methodology (LEMA) at the University of Liege)



Radiation solaire directe  
reçue sur une surface horizontale  
le 15 mars à 12h.

Projet d'urbanisme n°1



Projet d'urbanisme n°2



**Pédagogique**  
**Bon outil d'aide à la décision**  
**Permet de calculer des flux**

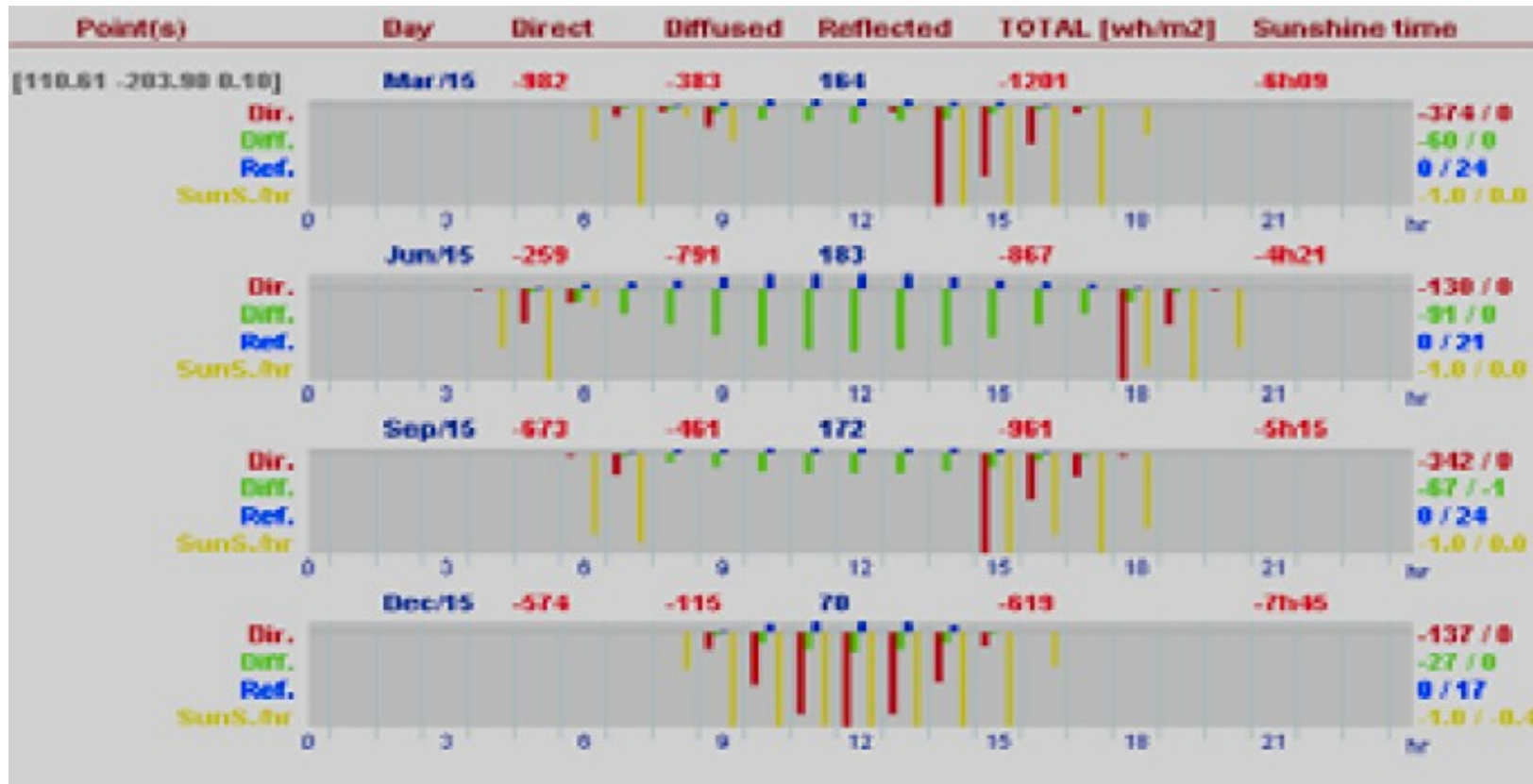
Rayonnement solaire direct : heures et mois

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°4, February 2004

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le rayonnement?

Solution A : Simuler les rayonnements direct, diffus et réfléchi.  
Exemple du système d'information urbain tridimensionnel TownScop III  
(Laboratory of Architectural Methodology (LEMA) at the University of Liege)



Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°4, February 2004

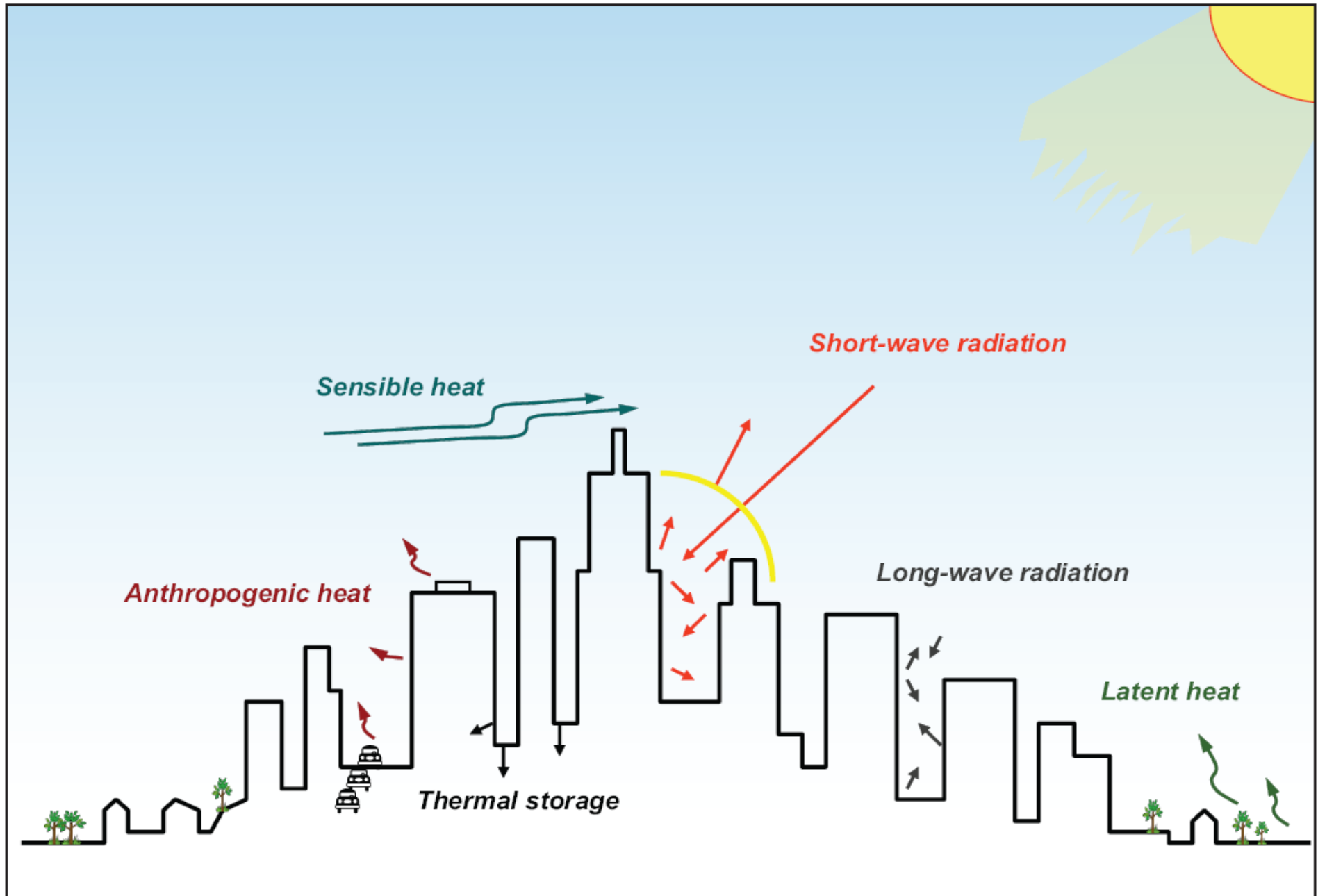
<http://www.indiana.edu/~iauc/>



Énergie totale reçue selon l'heure et la saison  
= Rayonnements direct + diffus + réfléchi.

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le rayonnement?

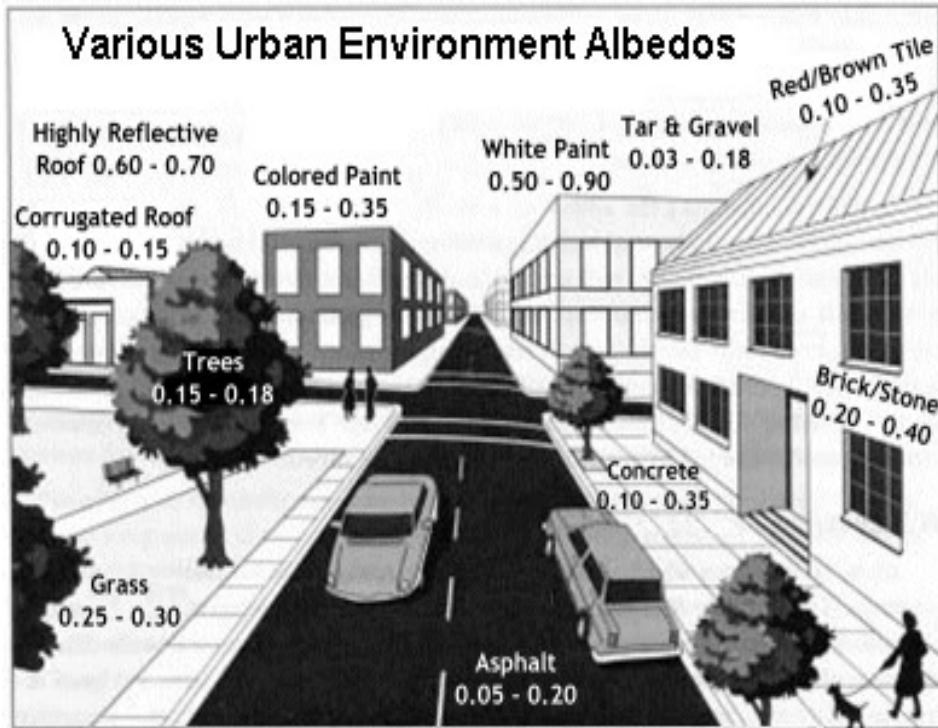
## Bilan radiatif



Adapted from David Sailor

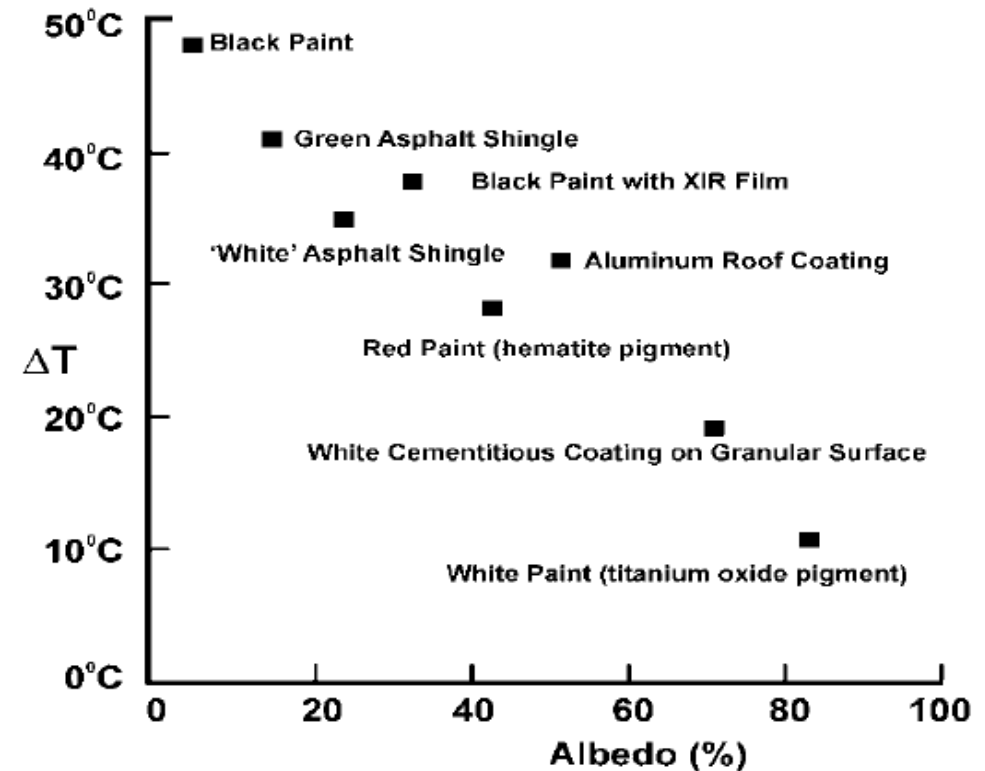
# Une ville : quel(s) effet(s) sur le rayonnement?

Théorie = L'urbanisation modifie l'albédo



Surface	$\alpha$	$\varepsilon$
Asphalt	0.05-0.20	0.95
Concrete	0.10-0.35	0.71-0.91
Urban areas	0.10-0.27	0.85-0.96
Soils: wet to Dry	0.05-0.40	0.98-0.90
Grass: long to short	0.16-0.26	0.90-0.95

Relation entre l'albédo et la différence de température pour des matériaux sur les toits face au soleil



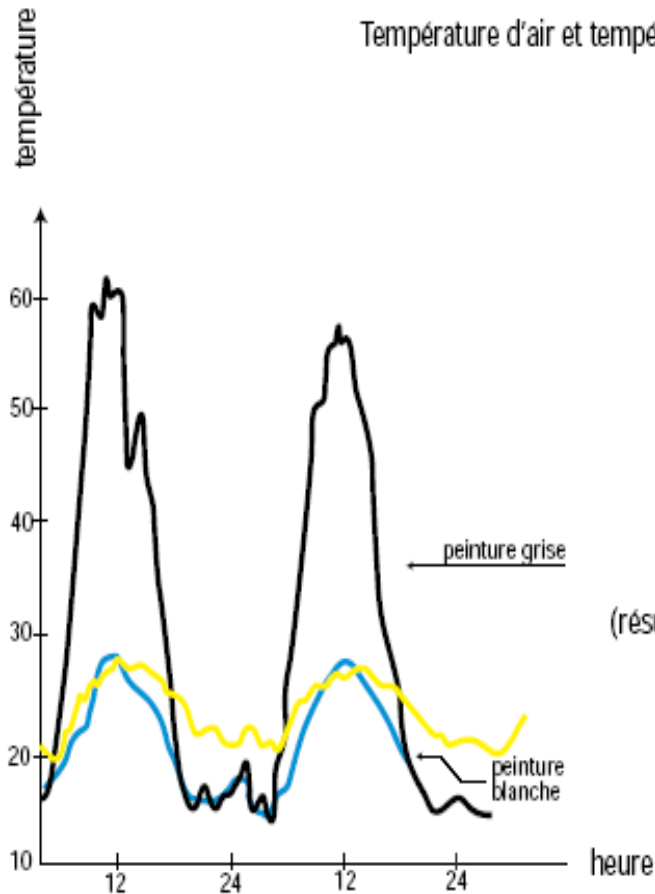
Propriétés radiatives de différents matériaux :  
( $\alpha$ ) albédo, ( $\varepsilon$ ) émissivité note : sans dimension

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°4, February 2004

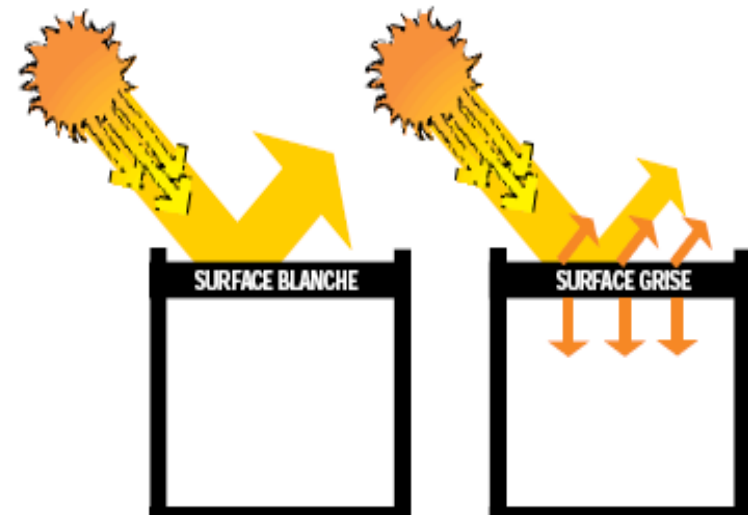
[http://www.atmosphere.mpg.de/enid/0,55a304092d09/Climate\\_in\\_brief/-\\_Climate\\_in\\_Cities\\_2t9.html](http://www.atmosphere.mpg.de/enid/0,55a304092d09/Climate_in_brief/-_Climate_in_Cities_2t9.html)

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le rayonnement?

Théorie et pratique = L'urbanisation modifie l'albédo



(résultat expérimental, 1964 - réf. Givoni, "l'homme, l'architecture et le climat")



Paradoxe : en été une toiture blanchie à la chaux, exposée au soleil, peut être à une température inférieure à celle de l'ambiance, 23 h sur 24. L'élévation de température atteint seulement 1°C pour la toiture blanche, contre 35°C pour la toiture grise.

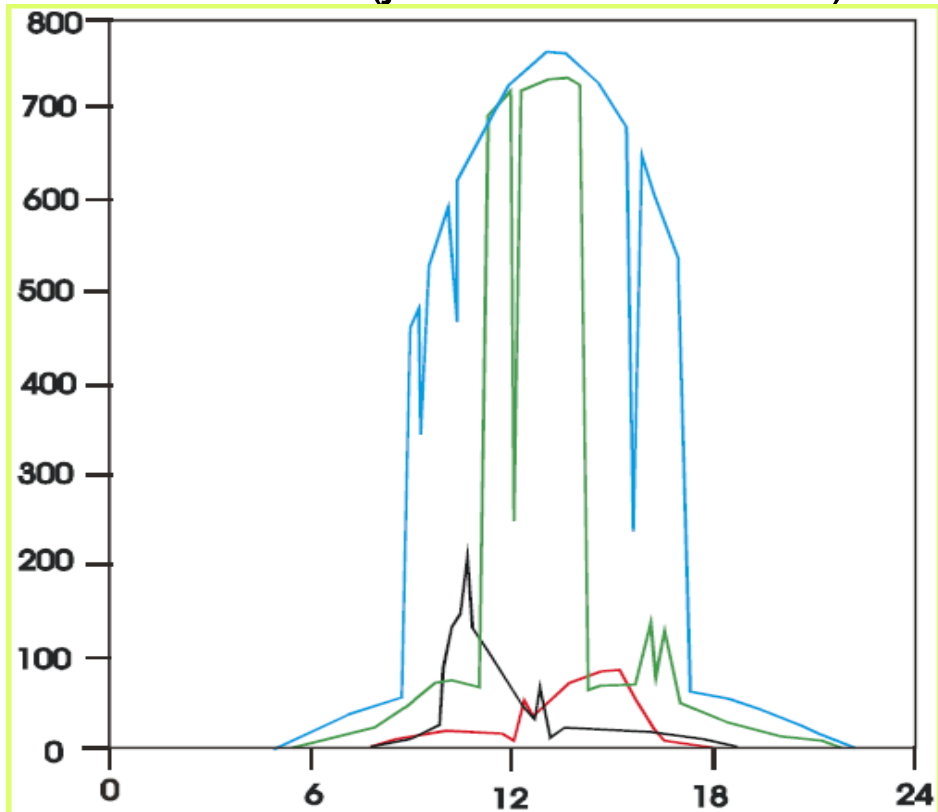


**La couleur :  
+ qu'une fonction décorative**

# Une ville : quel(s) effet(s) sur le rayonnement?

Solution B : Mesurer : 1/ le rayonnement direct  
(exemple de Göteborg, Suède)

Rayonnement courtes longueurs d'ondes  
15 Juillet 2003 (journée ensoleillée)



Les courbes représentent les mesures effectuées :

1) sur des surfaces horizontales au centre du cañon :

- à 12 m : bleu
- à 6 m : vert

2) sur des surfaces verticales à 6m

- mur ouest (regarde vers l'est) : noir
- mur est (regarde vers l'ouest) : rouge.

Source : International Association for Urban Climate  
Newsletter, Issue n°5, June 2004

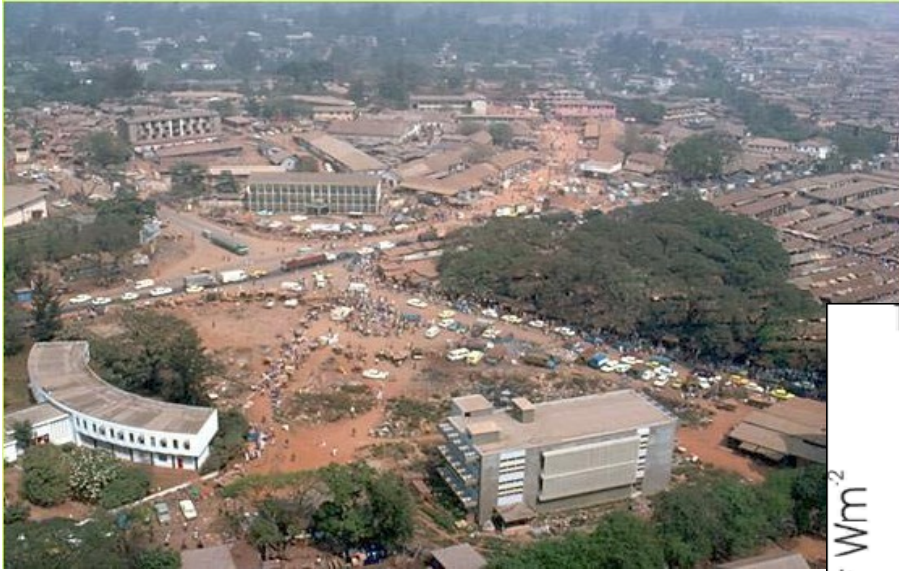
<http://www.indiana.edu/~iauc/>



Une rue : d'énormes contrastes horizontaux et verticaux

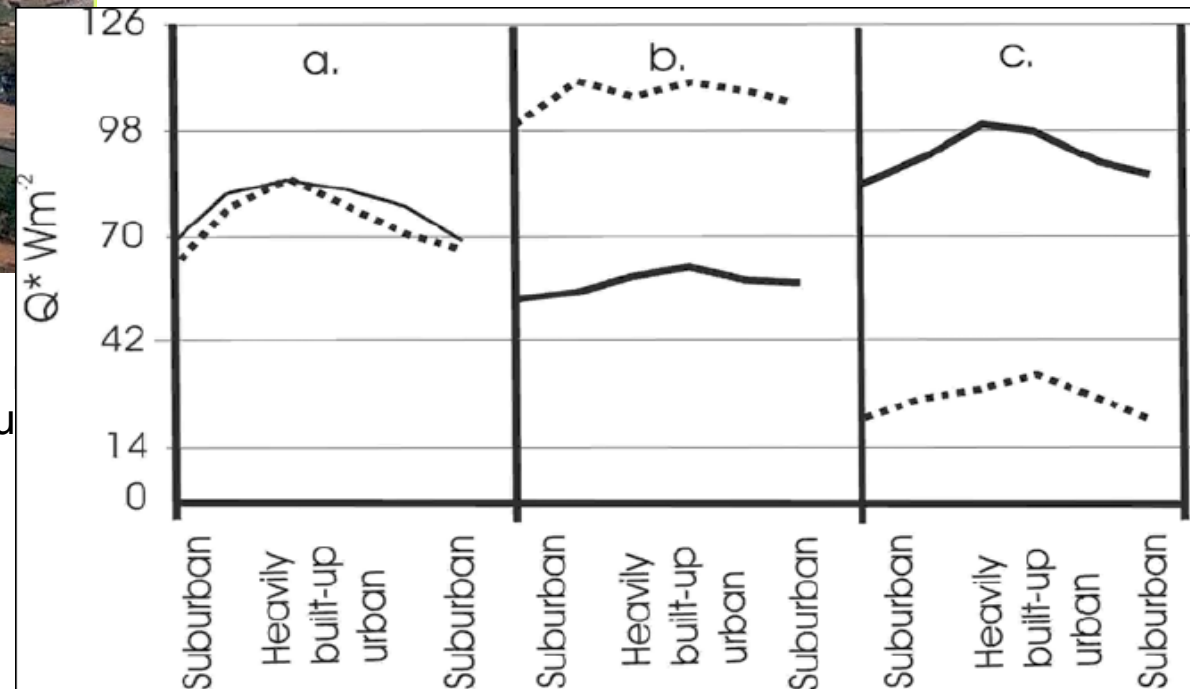
# Une ville : quel(s) effet(s) sur le rayonnement?

Solution B : Mesurer : 2/ la radiation nette (température des corps)  
(exemple d'Ibadan, Nigéria)



Photographie aérienne d'Ibadan

Radiation nette sur les principales utilisations du sol



(a.) jour calme et couvert  
(b.) matinée ensoleillée suivie par une après  
(c.) matinée nuageuse et pluvieuse suivie d'u

Pointillés : mesures entre 06h et 12h  
lignes : mesures entre 12h et 18h.

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°13, October 2005  
<http://www.indiana.edu/~iauc/>



**Le rayonnement solaire incident sur les surfaces urbaines est absorbé puis transformé en chaleur sensible au lieu d'être réfléchi.  
Une ville : globalement, un corps chaud**

### 3) Températures et Îlot de Chaleur Urbain

Attention : toujours bien distinguer :

- température des surfaces ;
- température de l'air.



L'îlot de chaleur de New York  
Les surfaces les plus chaudes sont en rouge.



# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution A : Mesurer les  $T^{\circ}$  des surfaces par télédétection (satellite)  
(exemple de San Juan, Porto Rico)



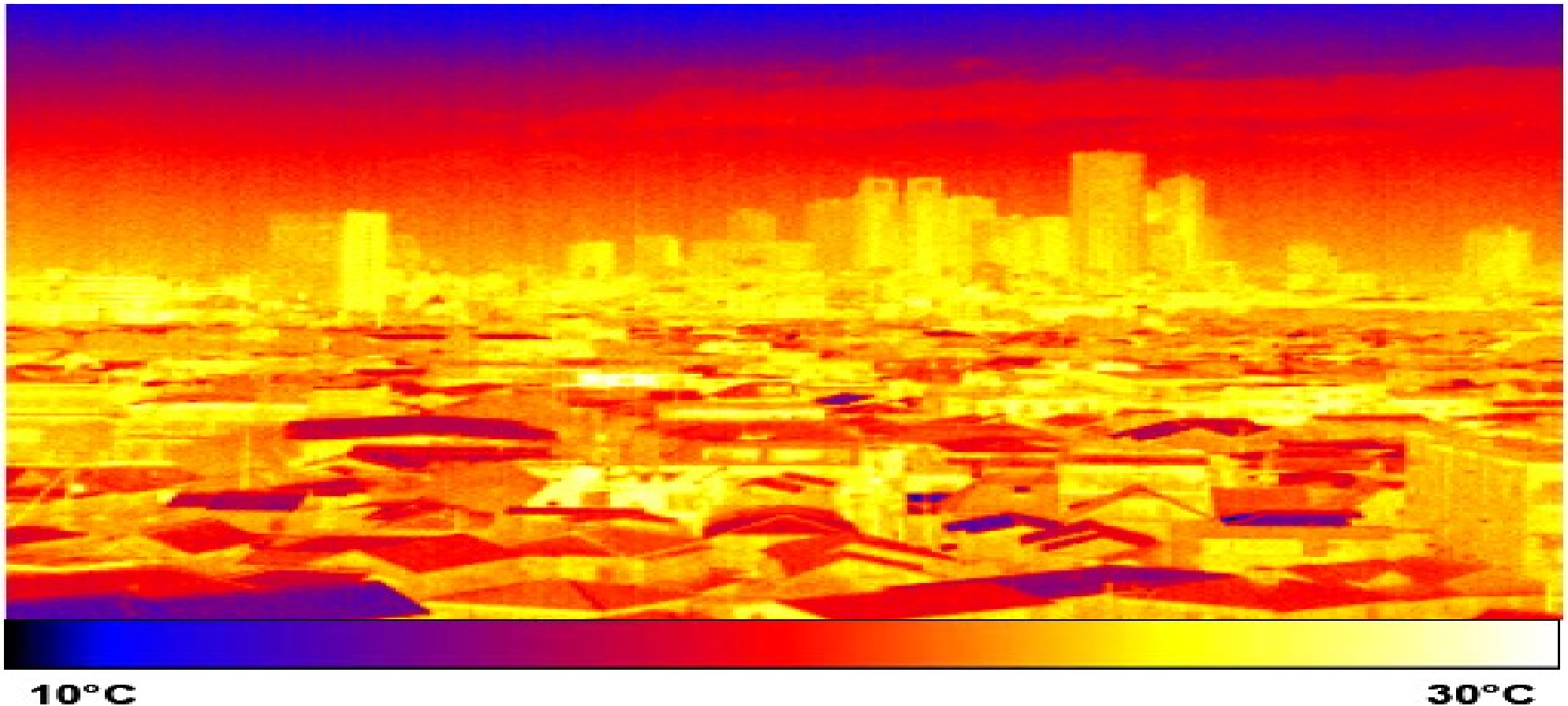
Données ATLAS utilisées pour calibrer la distribution spatiale des températures de surface à partir des images MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°10, April 2005

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution A : Mesurer les T° des surfaces par télédétection (avion)  
(exemple de Singapour)



Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°13, October 2005

<http://www.indiana.edu/~iauc/>



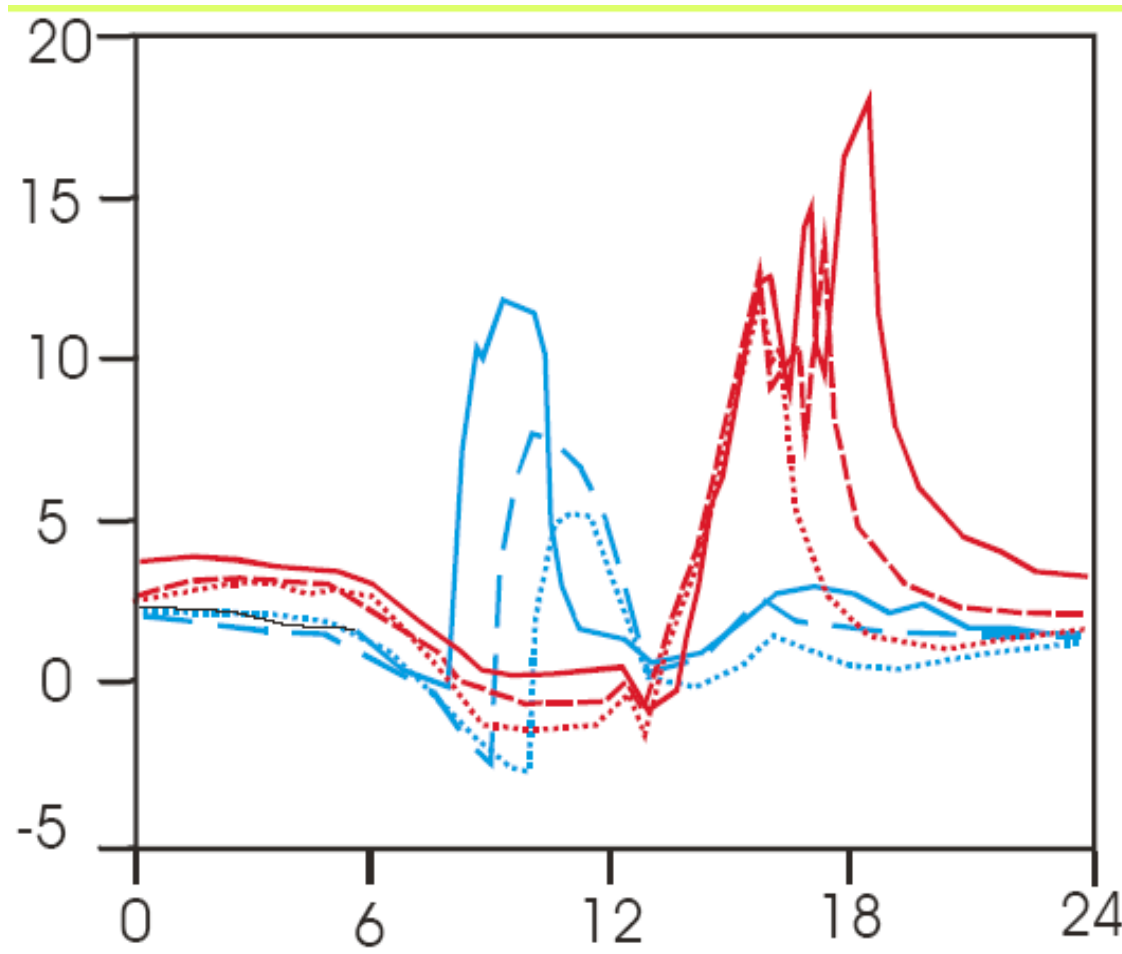
**T° des surfaces varie beaucoup en fonction :**

- des expositions (rayonnement direct, diffus ou réfléchi)
- de la rugosité et de la couleur des matériaux (albédo)

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution B : Mesurer la température sur des murs dans les rues  
(exemple de Göteborg, Suède)

Températures des surfaces 15 Juillet 2003 (journée ensoleillée)



Différences de température entre les murs et le sol au centre du cañon.

Bleu : mur ouest (regarde vers l'est)  
Rouge : mur est (regarde vers l'ouest)

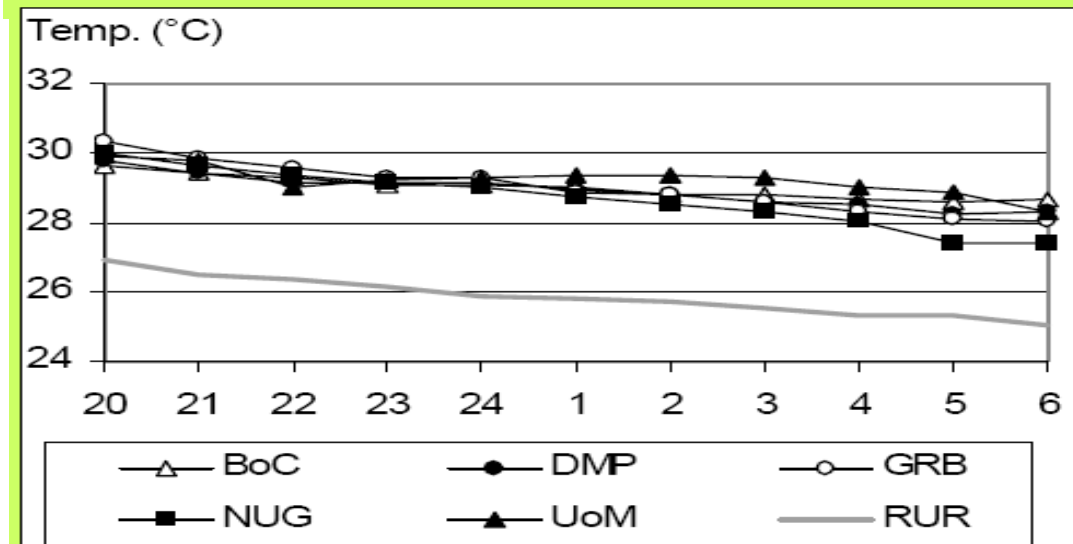
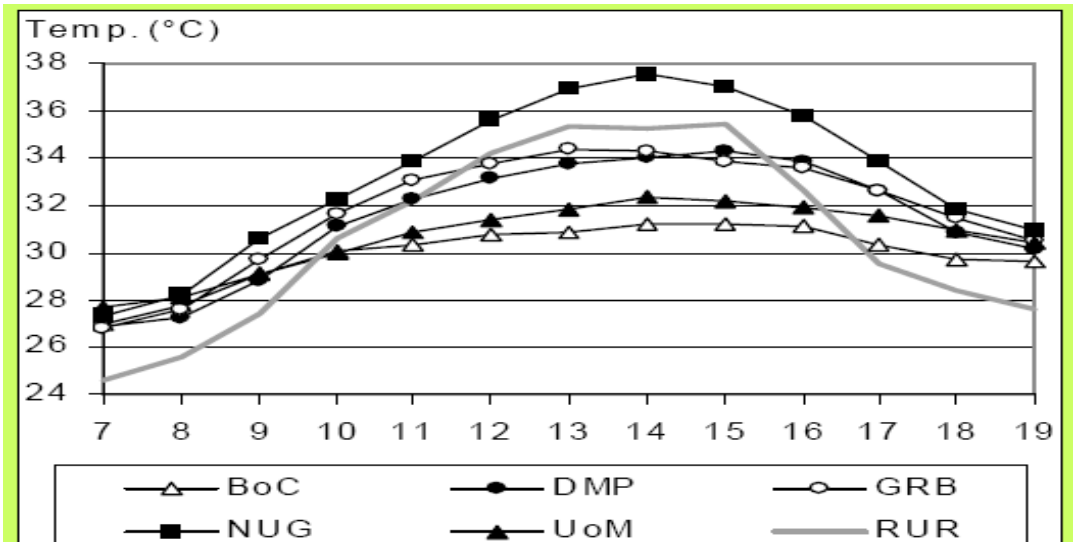
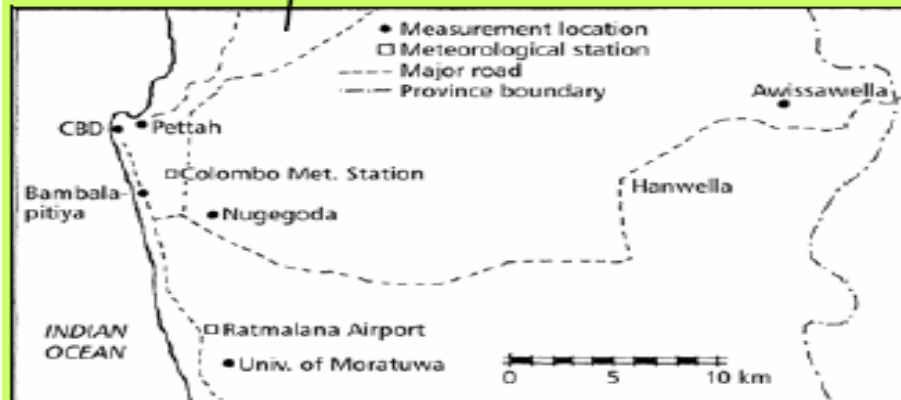
Trait continu : 12 m  
Tirets : 10 m  
Pointillés : 8 m



**Une rue : d'énormes contrastes**

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution C : Mesurer la température de l'air dans des sites dégagés  
(exemple de Colombo, Sri Lanka)



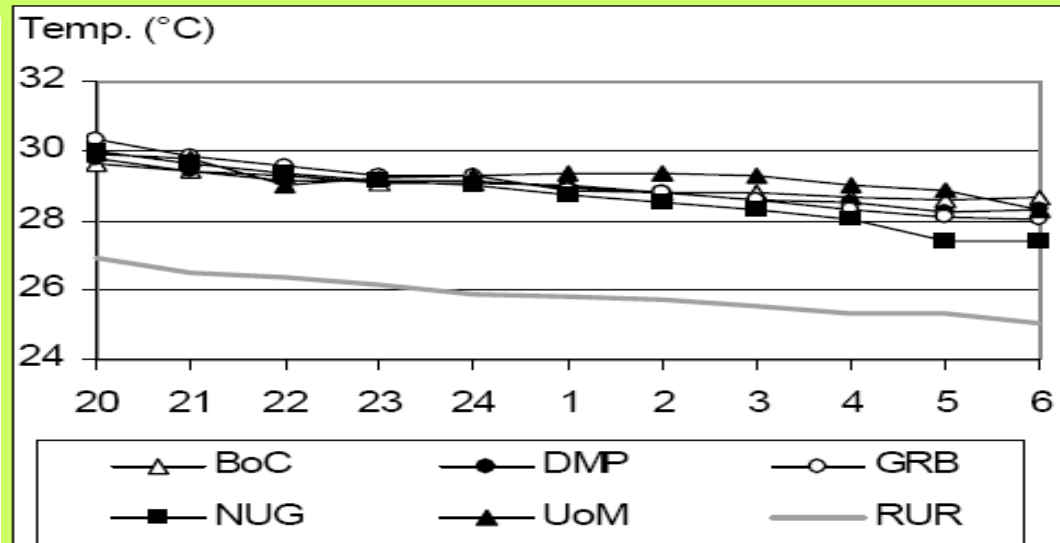
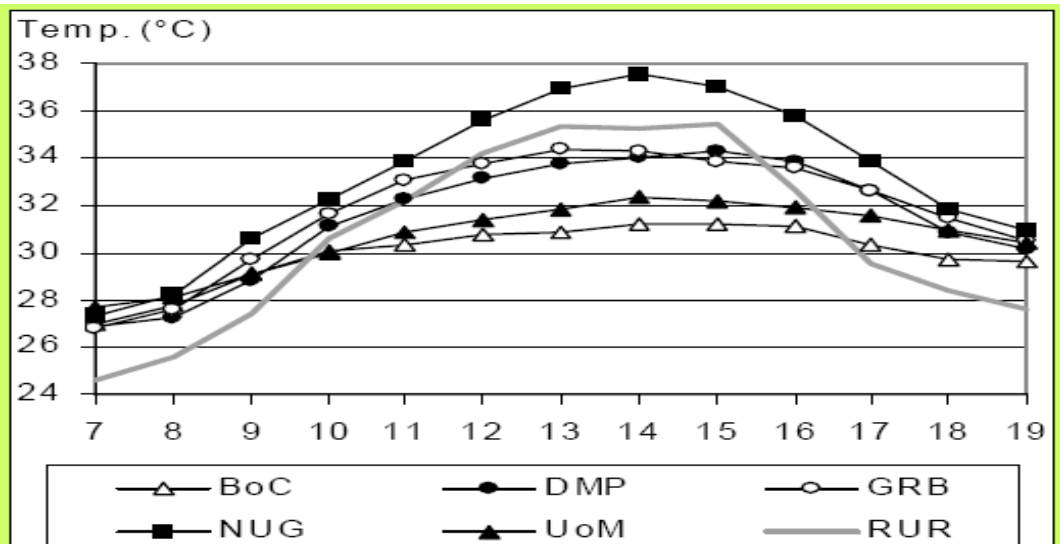
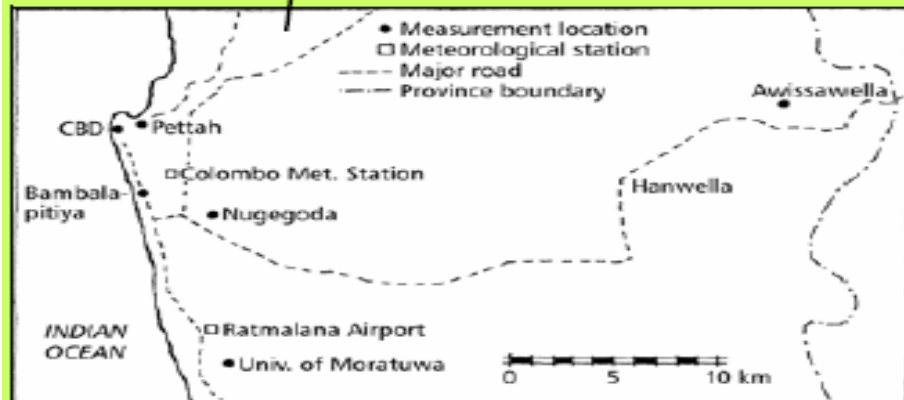
Une ville : un profil nocturne original

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°12, August 2005

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution C : Mesurer la température de l'air dans des sites dégagés  
(exemple de Colombo, Sri Lanka)



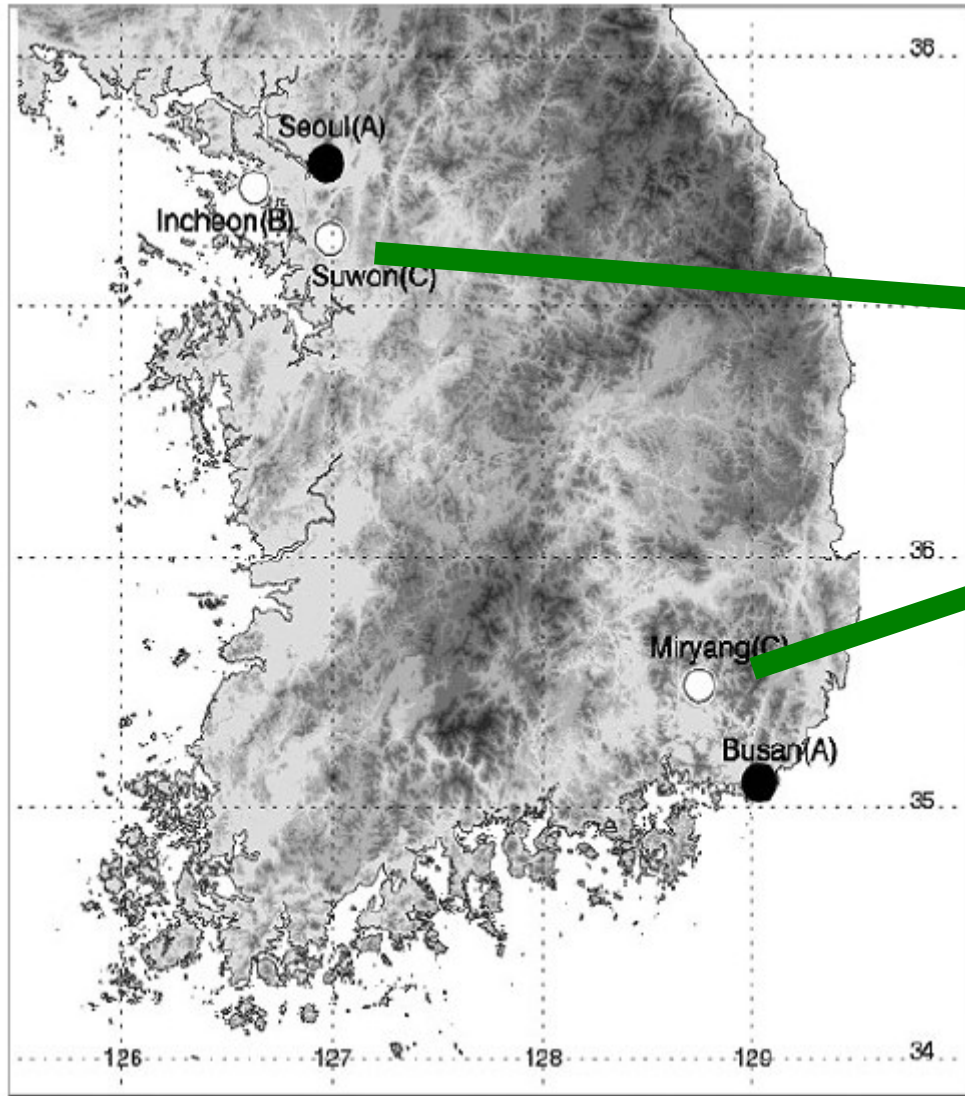
Une ville : un profil nocturne original

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°12, August 2005

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution C : Mesurer la température de l'air  
(dans des sites dégagés pour éviter les effets de site)  
(exemples de Séoul et de Busan, Corée du Sud)



Indispensable =  
séries rurales de référence

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution C : Mesurer la température de l'air  
(dans des sites dégagés pour éviter les effets de site)  
(exemple de Séoul, Corée du Sud)

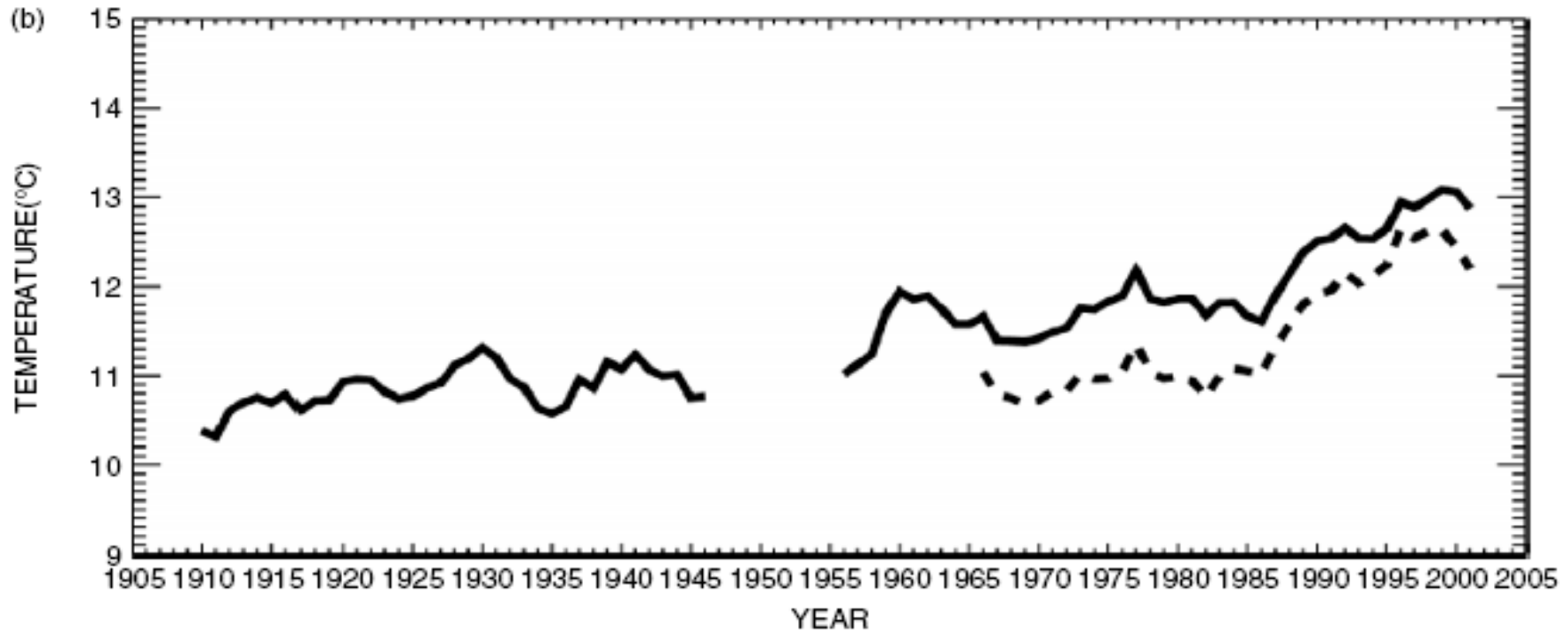
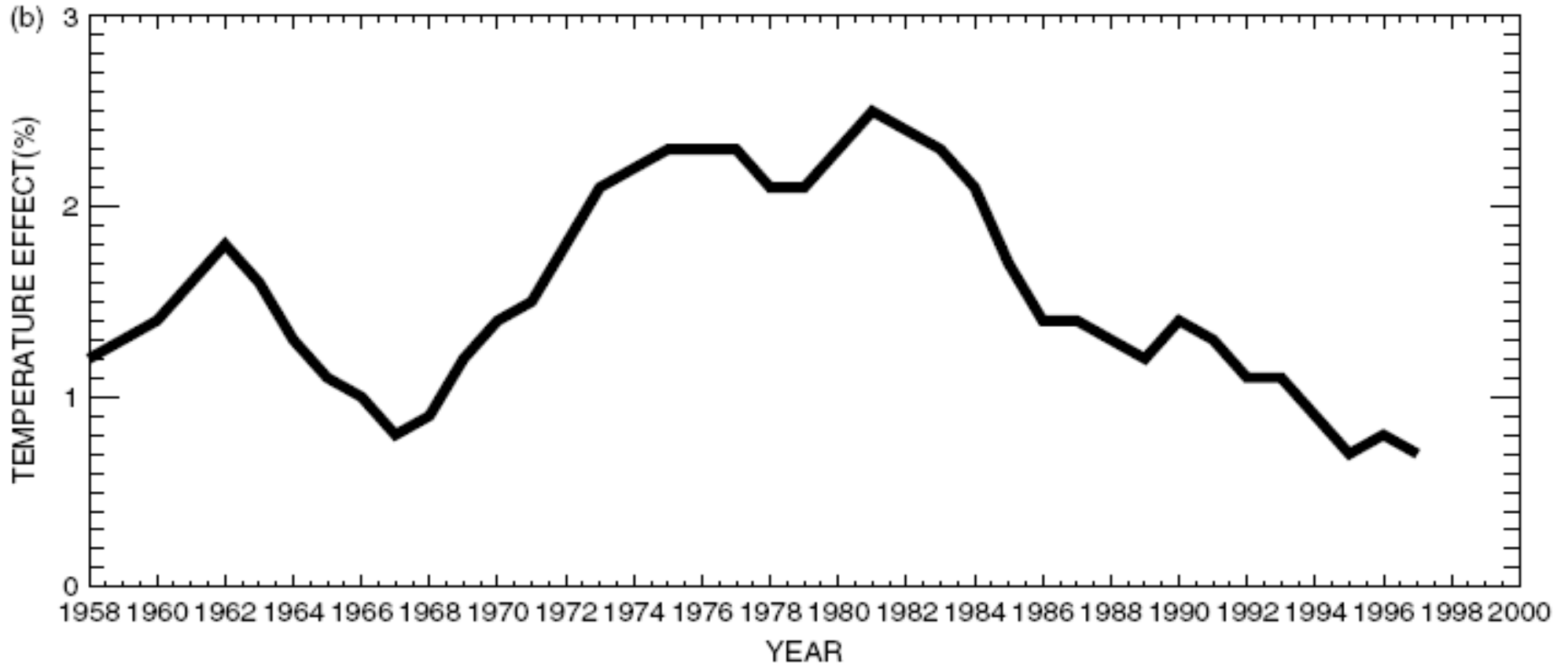


Figure 3. The variations of (a) precipitation (mm/year) and (b) near-surface temperature (°C) in Seoul (solid line) and Suwon (dashed line).

Urbain/rural : dans les deux cas la température augmente :  
changement climatique planétaire

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution C : Mesurer la température de l'air  
(dans des sites dégagés pour éviter les effets de site)  
(exemple de Séoul, Corée du Sud)

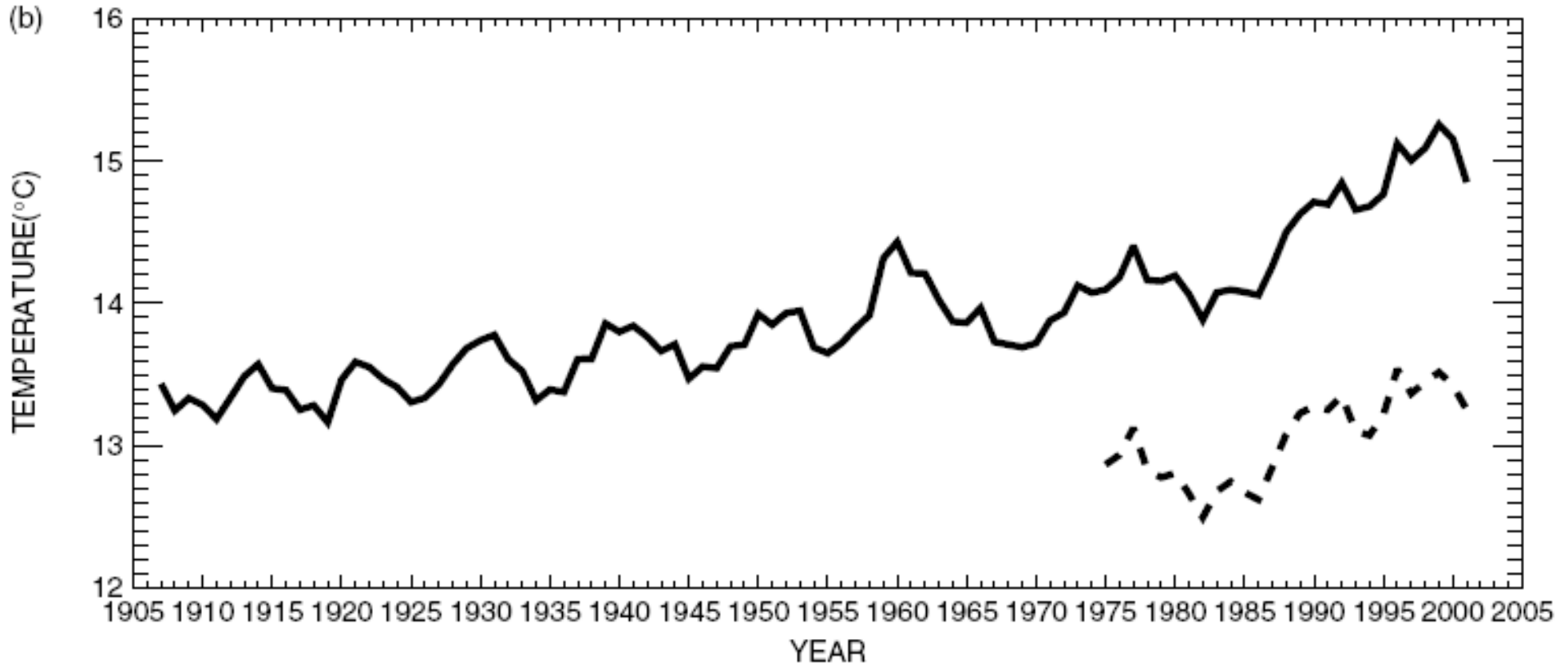


Contribution par rapport à l'ensemble des variations (interannuelle, réchauffement global ) de l'évolution de température spécifique à la série urbaine ou imputable à l'effet urbain



# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

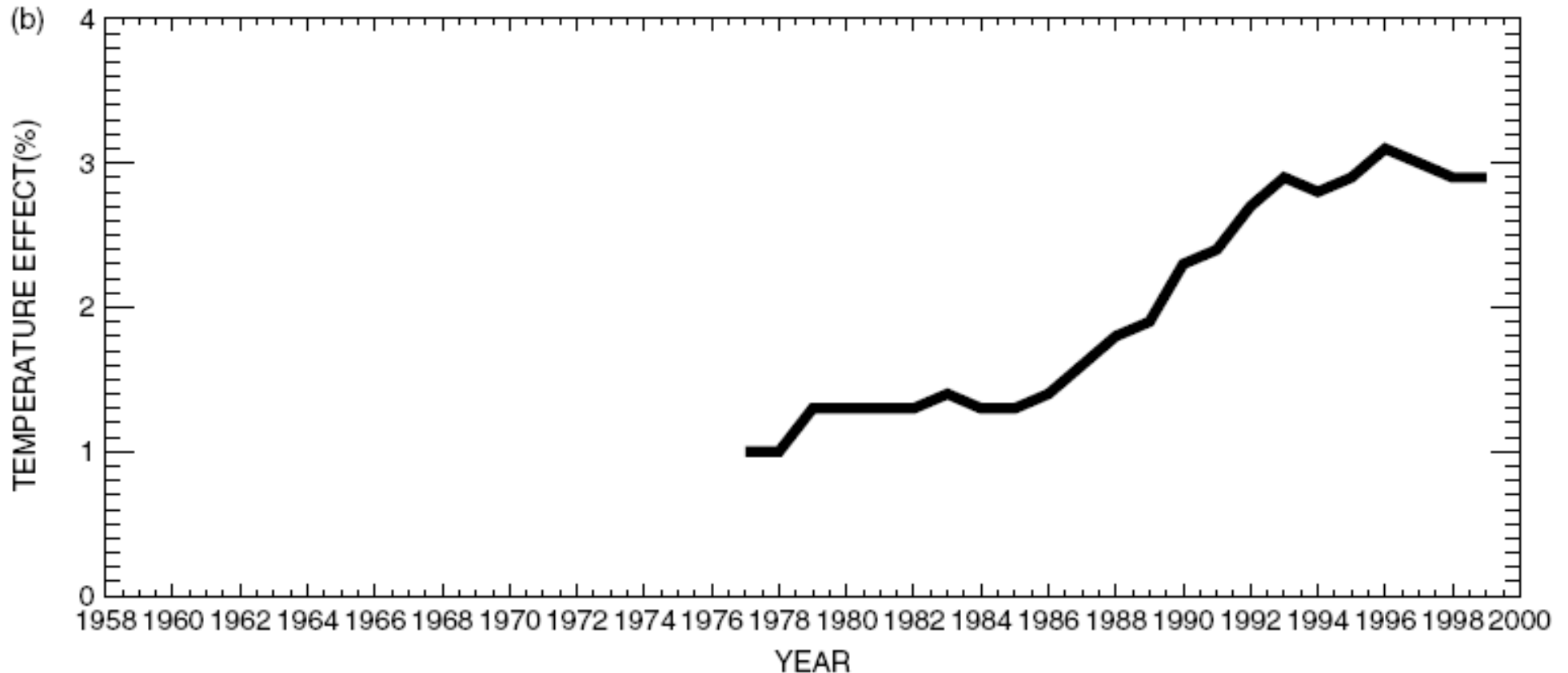
Solution C : Mesurer la température de l'air  
(dans des sites dégagés pour éviter les effets de site)  
(exemple de Busan, Corée du Sud)



Urbain/rural : dans les deux cas la température augmente :  
changement climatique planétaire

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution C : Mesurer la température de l'air  
(dans des sites dégagés pour éviter les effets de site)  
(exemple de Busan, Corée du Sud)

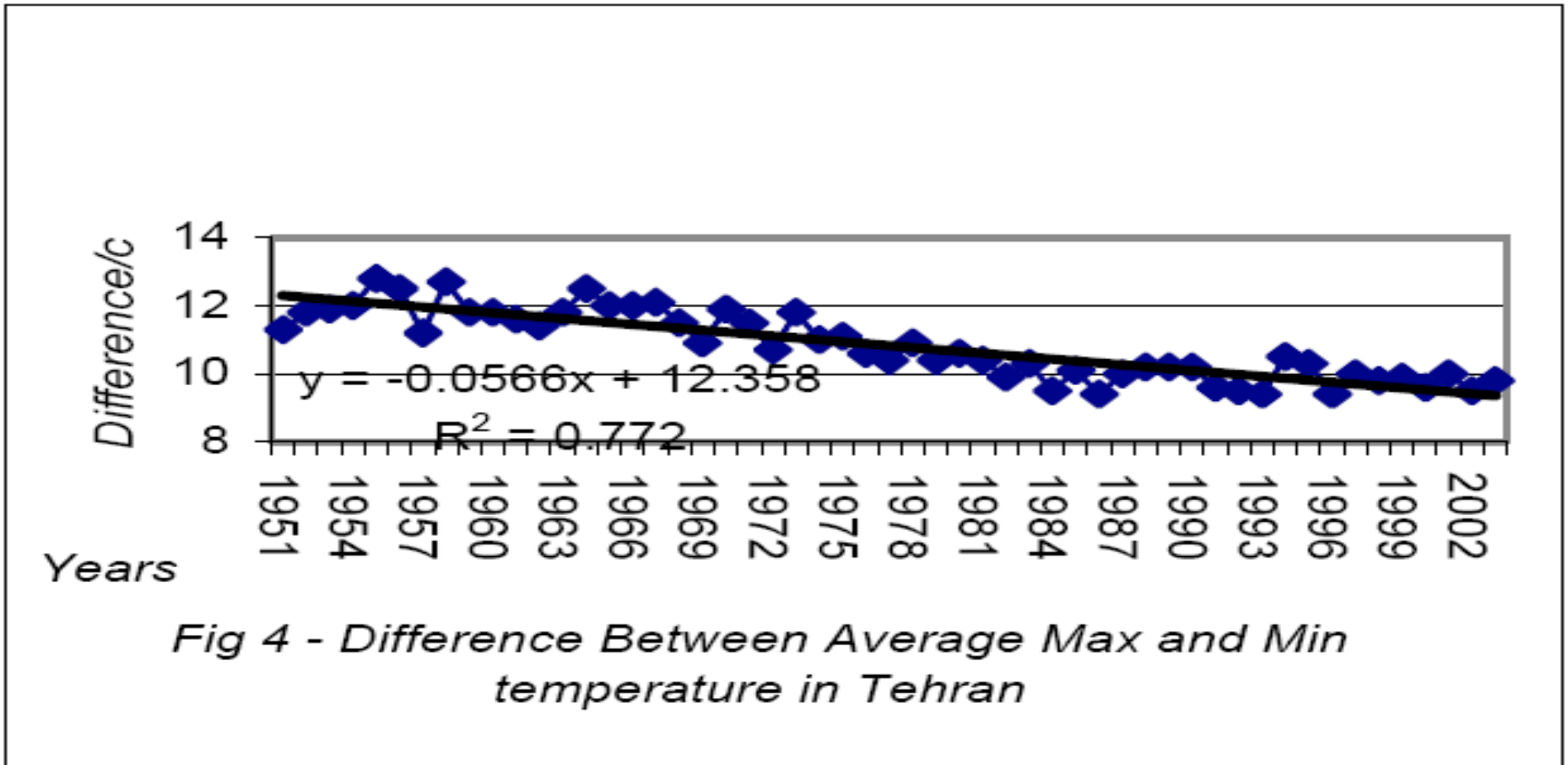


Contribution par rapport à l'ensemble des variations (interannuelle, réchauffement global) de l'évolution de température spécifique à la série urbaine ou imputable à l'effet urbain

Source : Um H.-H, Ha K.-J., Lee S.-S., 2007: Evaluation of the urban effect of long-term relative humidity and the separation of temperature and water vapor effects. International Journal of Climatology, 27, 1531-1542.

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution C : Mesurer la température de l'air dans des sites dégagés  
(exemple de Téhéran, Iran)



Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°13, October 2005

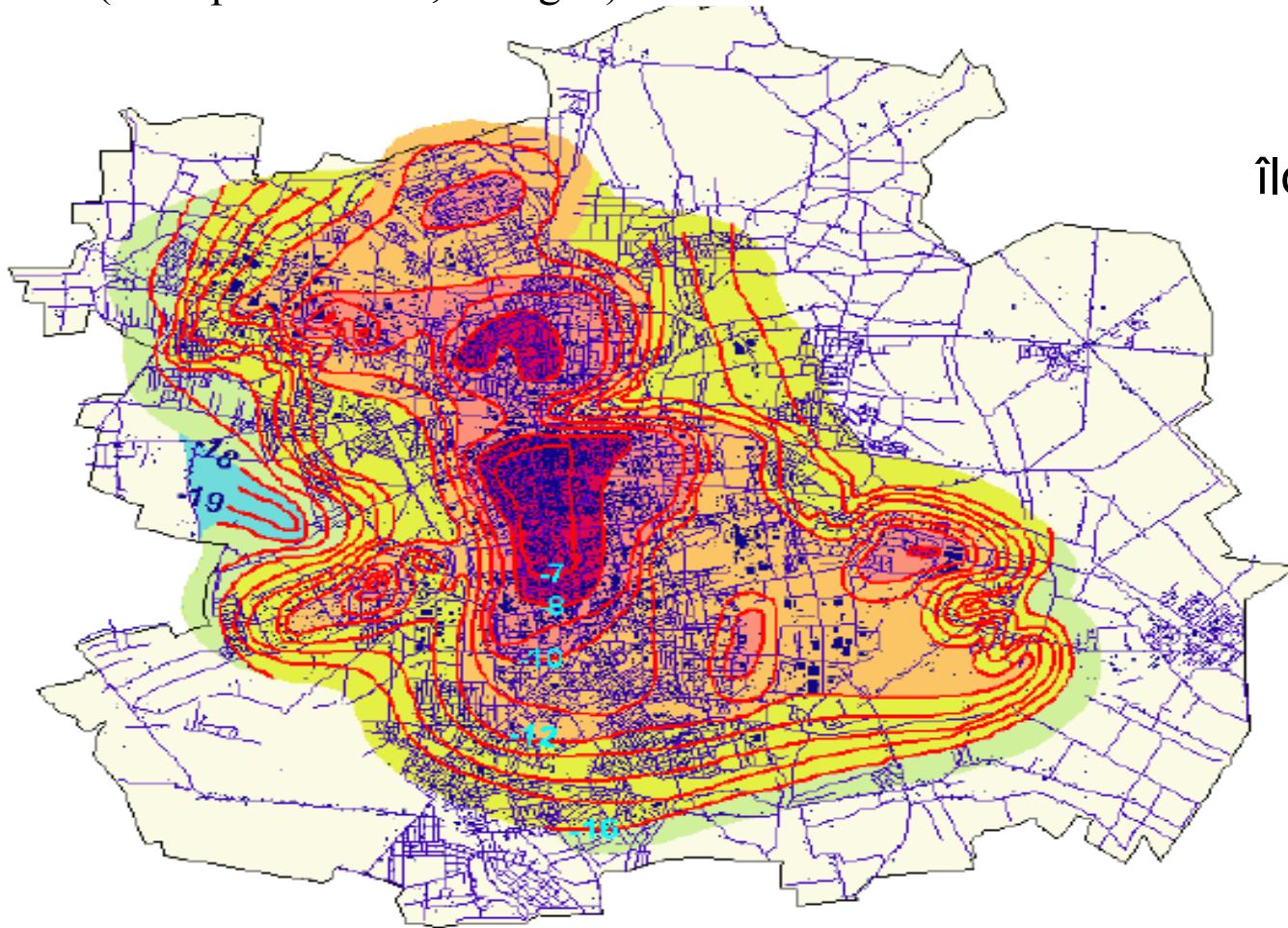
<http://www.indiana.edu/~iauc/>



**Urbaniser = réduire l'amplitude diurne**

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution C : Mesurer la T° de l'air dans des sites dégagés puis interpoler  
(exemple de Lodz, Pologne)



îlot de chaleur urbain à Łódź  
la nuit du 5 février 1996

Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°10, April 2005  
<http://www.indiana.edu/~iauc/>

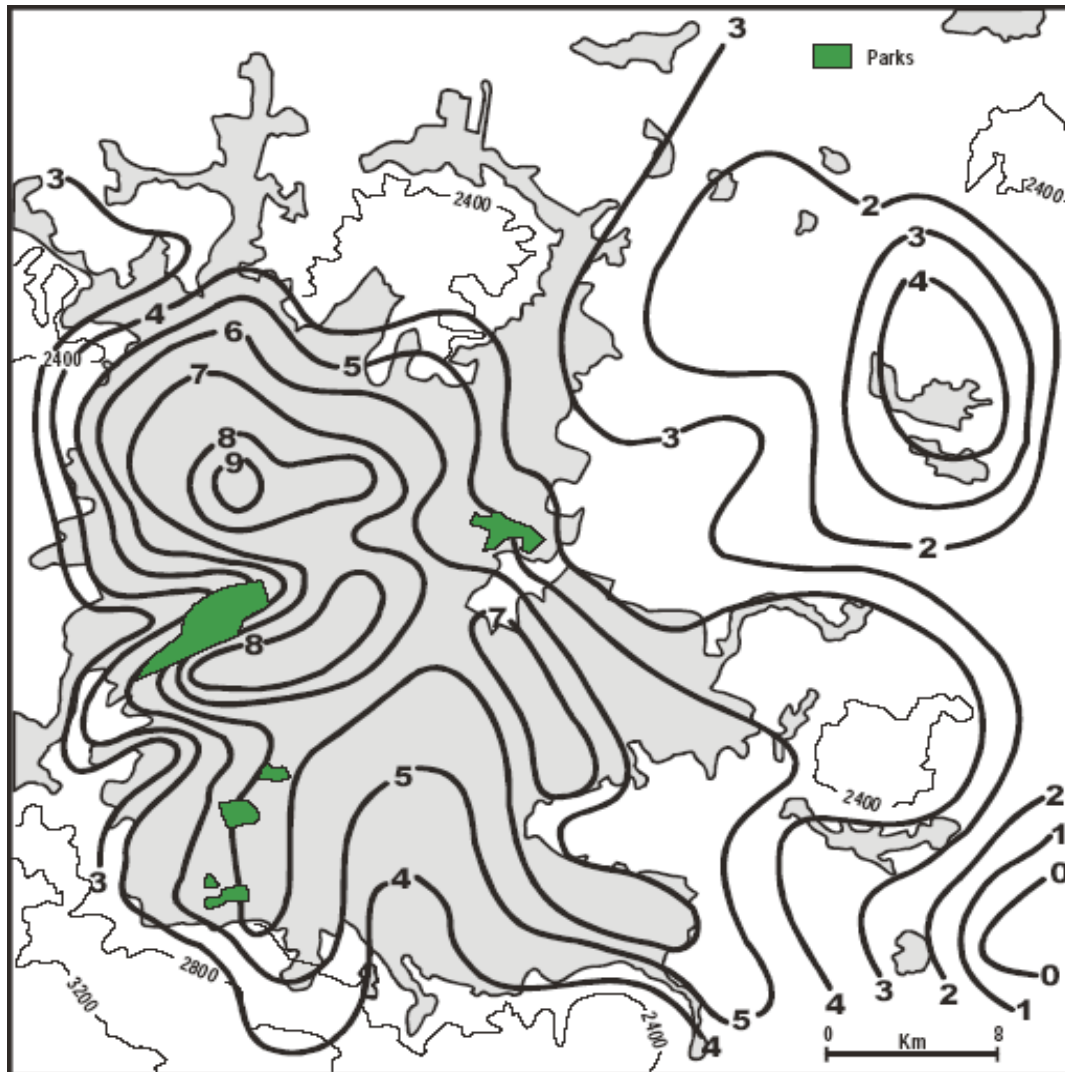


**12° C : + grandes différences (urbaines/rurales)  
de températures enregistrées en Pologne**

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

Solution C : Mesurer la T° de l'air dans des sites dégagés puis interpoler  
(exemple de Mexico, Mexique)

Température minimale moyenne de Novembre 1981 à Mexico



Source : International Association for Urban  
Climate Newsletter, Issue n°4, February 2004

<http://www.indiana.edu/~iauc/>



Parcs urbains : des lieux froids au sein de l'île urbaine chaude

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

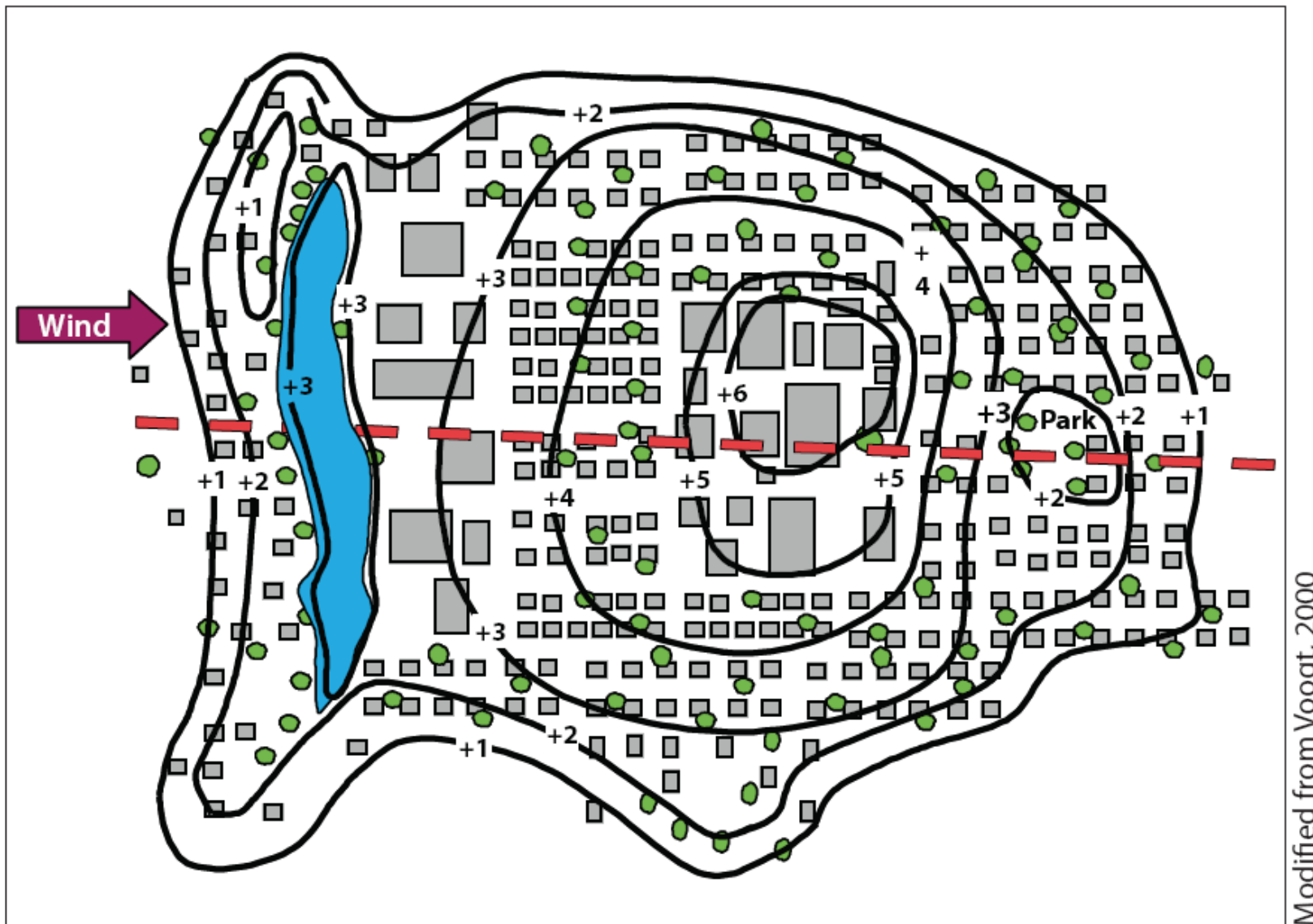
## Solution D : Simuler la T° de l'air (exemple de Christchurch, Nouvelle-Zélande)



Simulation des variations spatiales de la température près de la surface au sein de l'îlot de chaleur urbain de Christchurch à 1h45am le 28 février 2000 lors d'un épisode de foehn (vents de Nord-Ouest) d'après Charlton (2000). Les températures de l'air vont d'environ 8°C en zone rurale à plus de 15°C dans le Central Business District (CBD).

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

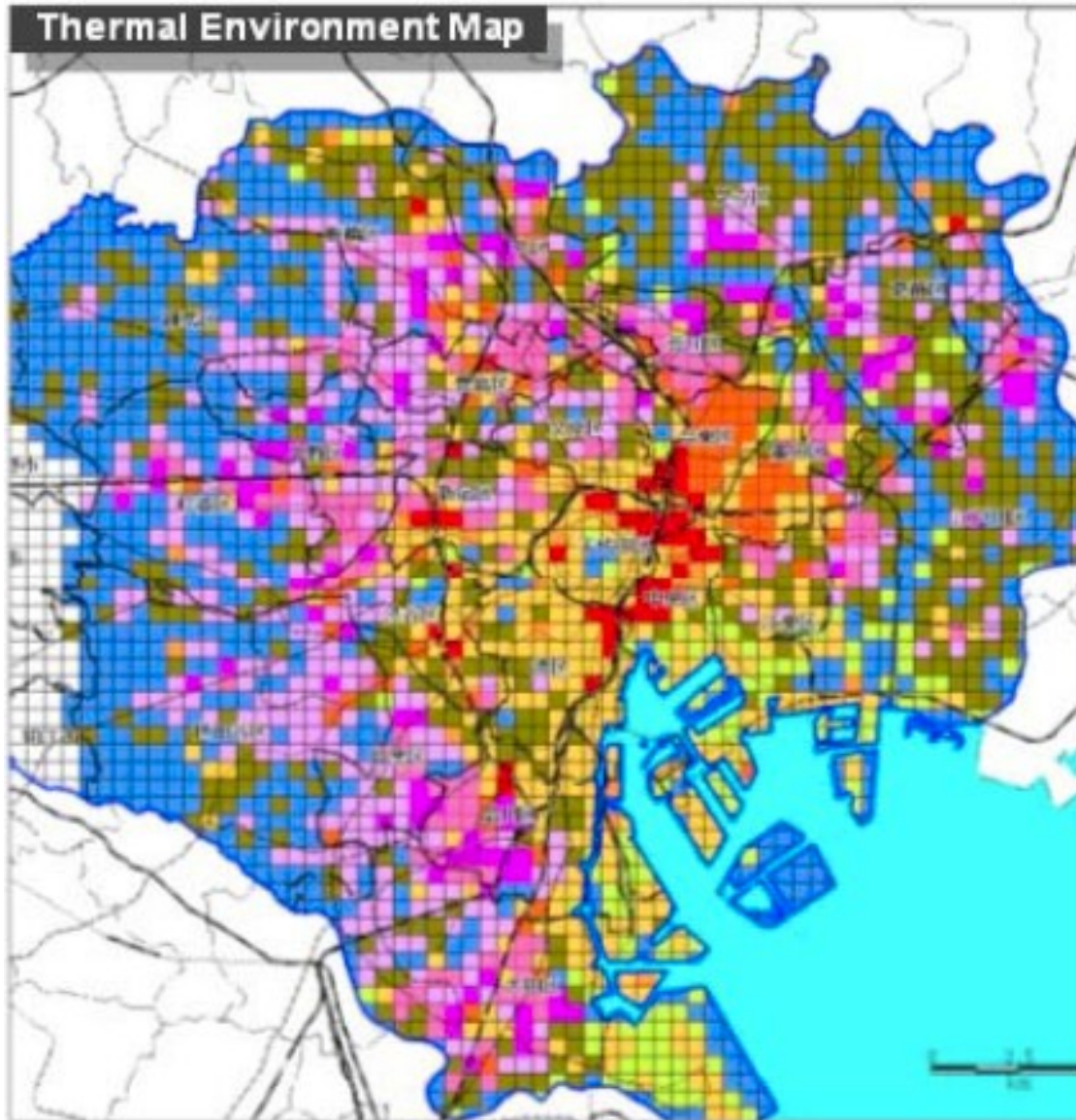
## Isotherm Map Depicting an Atmospheric Night-time Urban Heat Island



This conceptual map with overlaid isotherms (lines of equal air temperature) exhibits a fully developed night-time atmospheric urban heat island. The dotted red line indicates a traverse along which measurements are taken.

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

## Bilan qualitatif spatialisé de l'impact thermique anthropique (exemple de Tokyo, Japon)



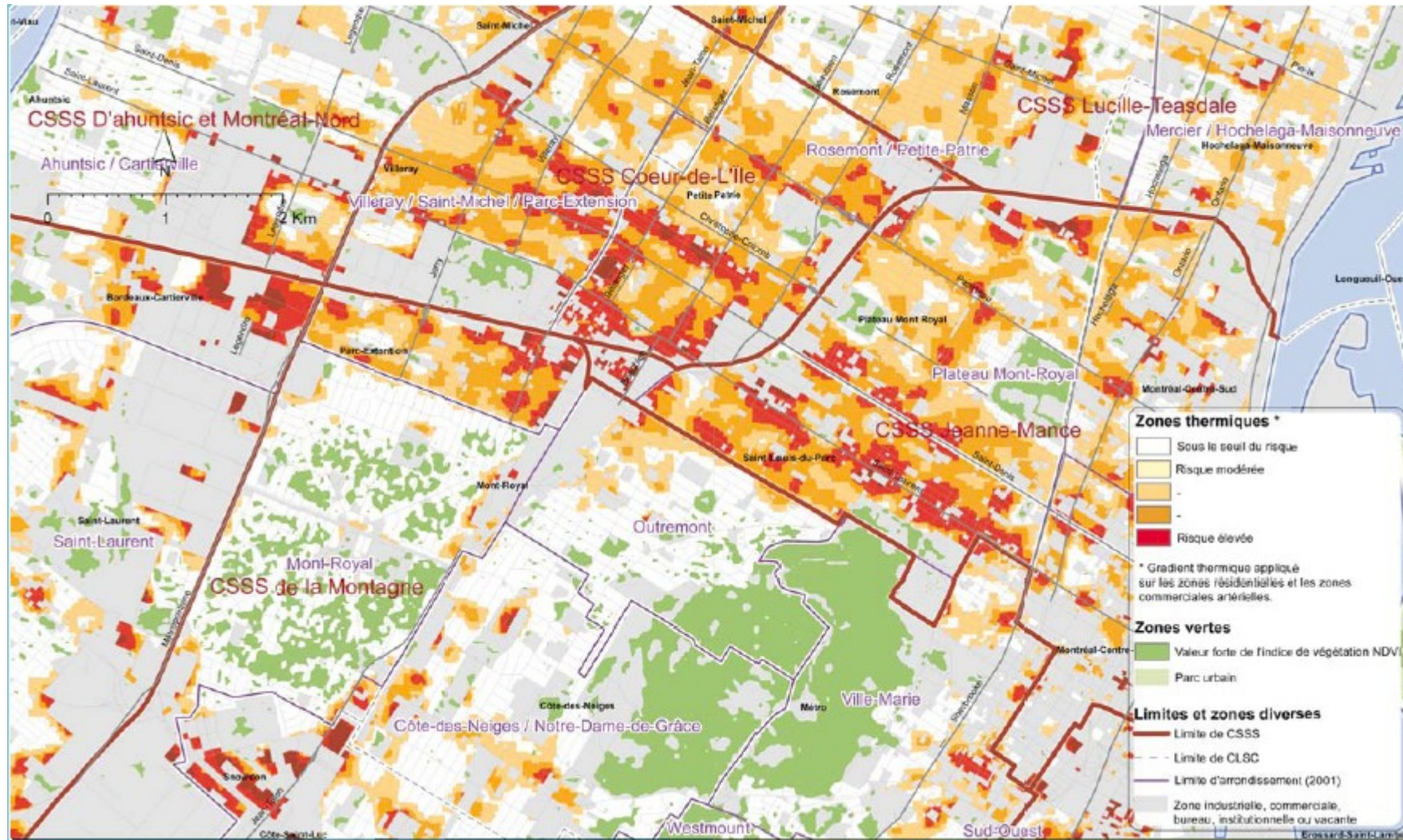
Les autorités de Tokyo produisent une carte de l'environnement thermique montrant l'impact sur l'atmosphère, en termes de températures, des activités anthropiques.

Le flux de chaleur et la modification des surfaces sont considérées comme étant les facteurs à l'origine du phénomène d'îlot de chaleur urbain à Tokyo.



# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

## Bilan qualitatif spatialisé de l'impact thermique anthropique (exemple de Montréal, Canada)



Auteurs: Patrice Pitre 1, 5, Patrick Herjean 2, 5, Tom Kosatsky 3, 4, Yan Kestens 3, 5, Norman King 3, Yves Baudouin 1

1. Université du Québec à Montréal, Département de géographie

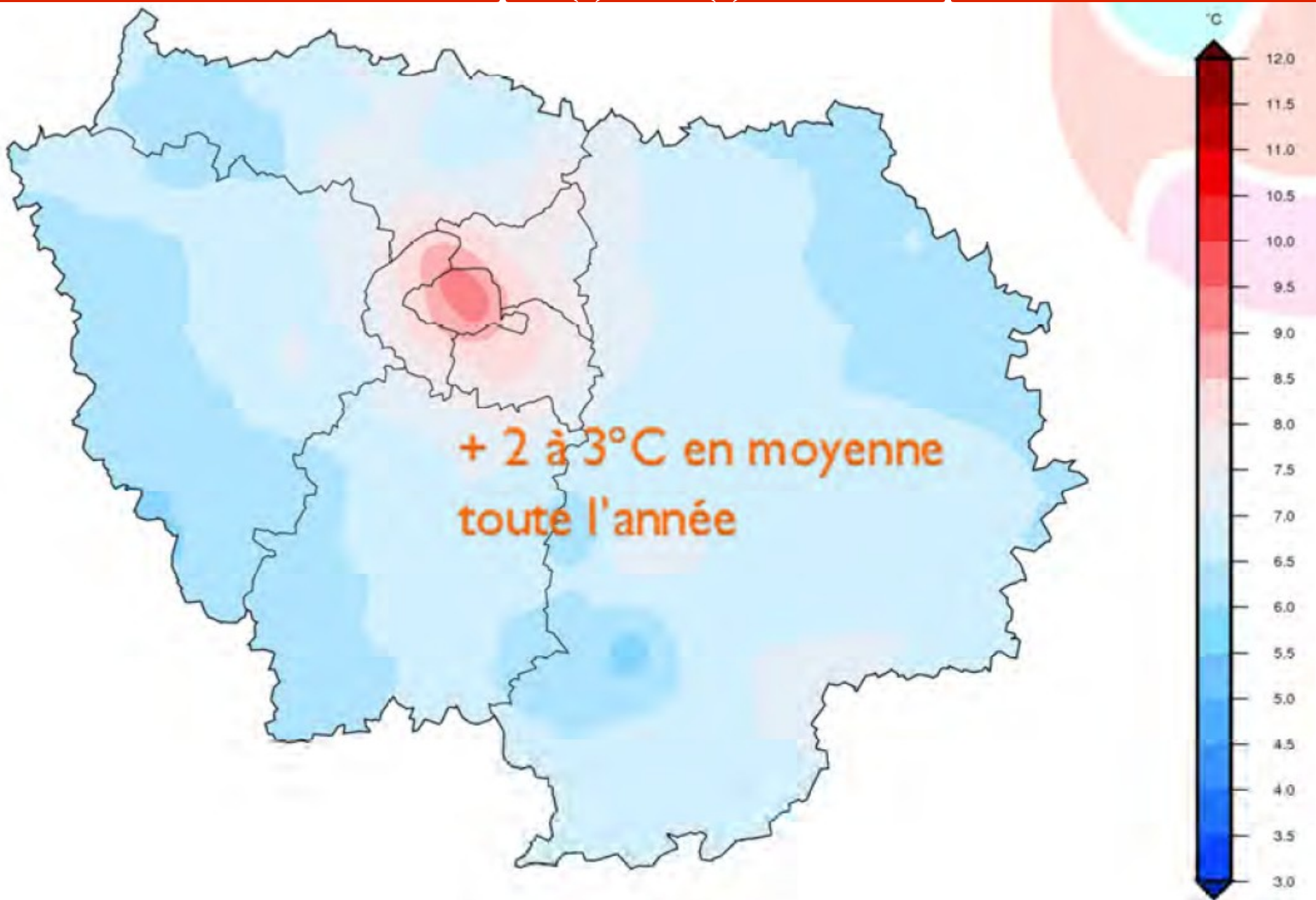
2. INRS-Urbanisation, Culture et Société

3. Direction de la santé publique de Montréal

4. Université McGill, Département d'Épidémiologie

5. Centre de recherche Léa-Roback sur les inégalités sociales de santé de Montréal

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?



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

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

## Un refroidissement nocturne limité en ville

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

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

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



Source et copyright : Météo-France

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



Source et copyright : Météo-France

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

## Facteurs favorisant l'apparition des ICU

Trois facteurs sont prépondérants :

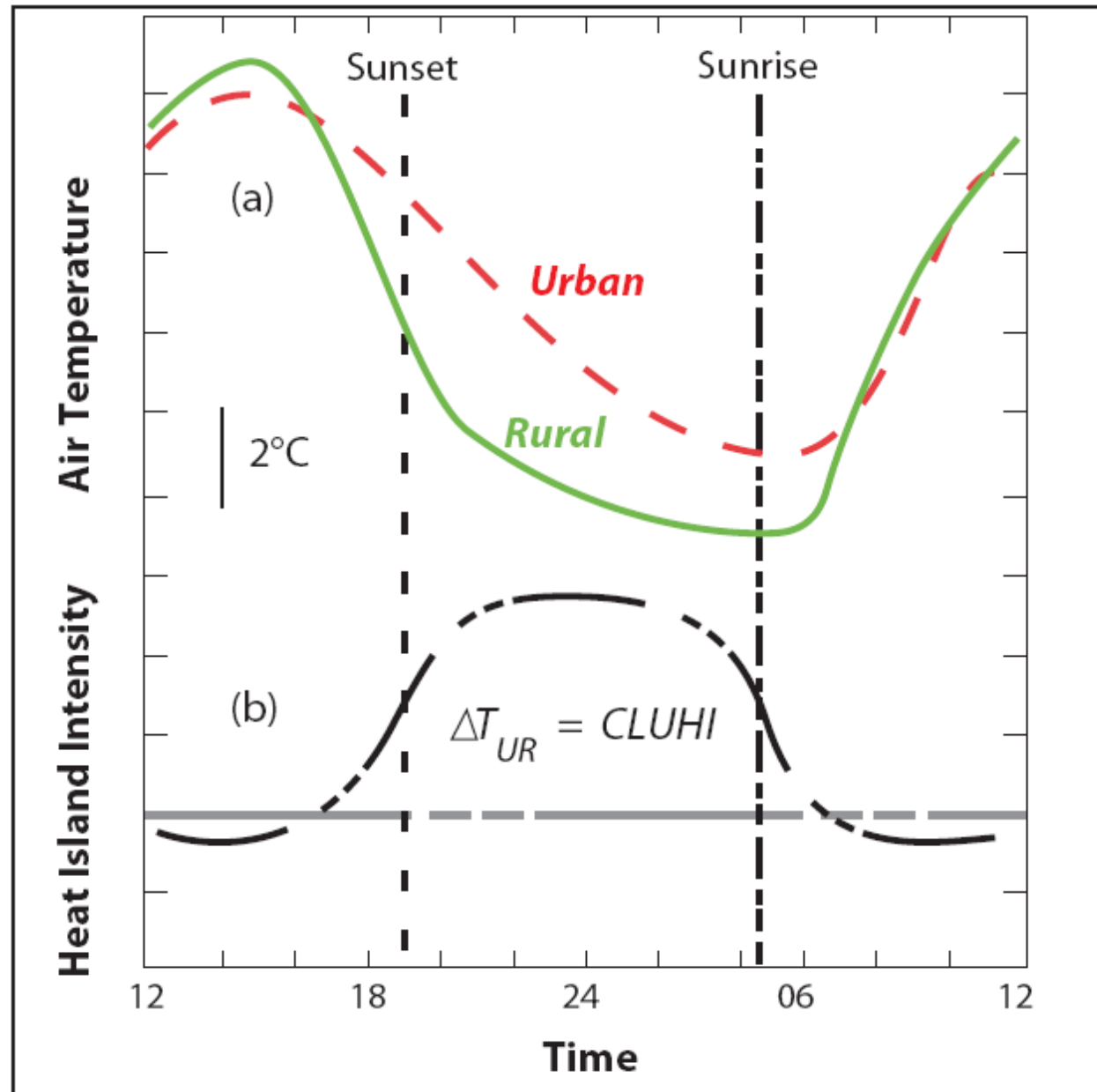
1. **le mode d'occupation des sols**, autrement dit la présence et la répartition des surfaces minéralisées et des surfaces végétalisées,
2. **les propriétés radiatives et thermiques des matériaux**, dont leur albédo (capacité à réfléchir le rayonnement solaire),
3. **la morphologie de la ville** :
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

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

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

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

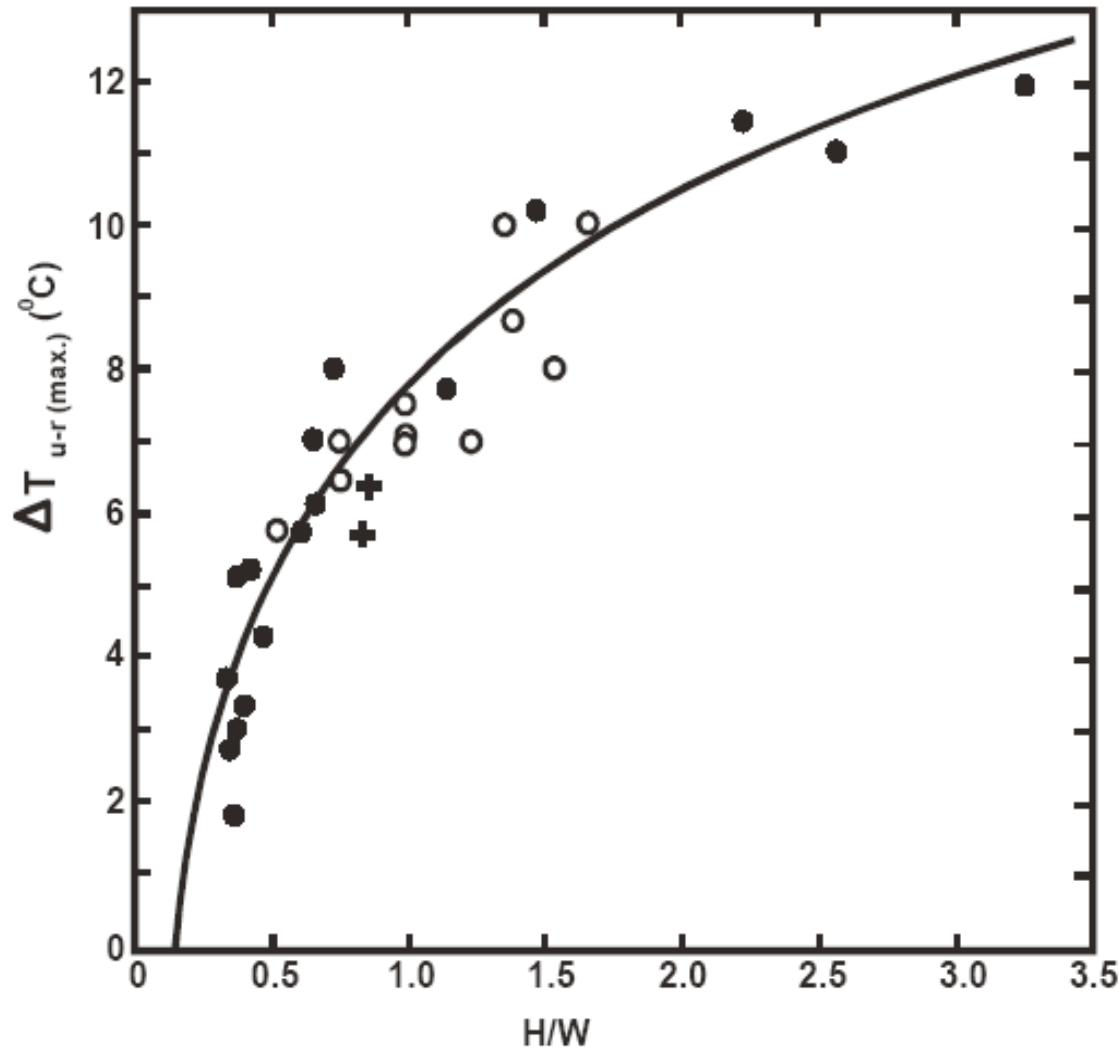
Bilan qualitatif : profil diurne théorique de l'intensité de l'îlot de chaleur urbain (par temps calme et ciel dégagé)



Modified from Oke, 1982, and Runnalls and Oke, 2000

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

## L'îlot de chaleur urbain : modélisation statistique

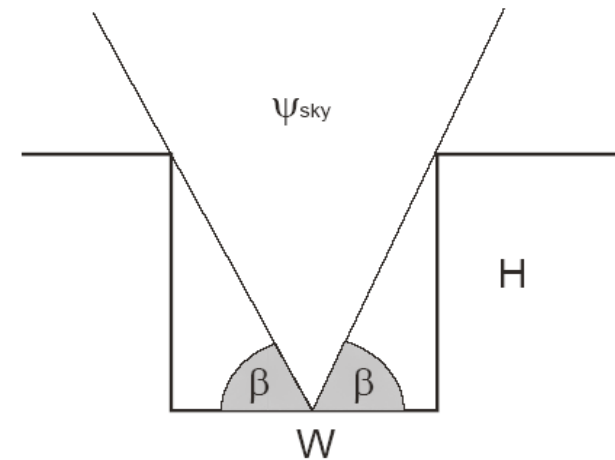


Observations de 31 villes d'Amérique du Nord (•), Europe (○) et d' Australasie (+)

Relation entre l'intensité de l'îlot de chaleur urbain ( $\Delta T_{u-r(max)}$ ) et le rapport hauteur /largeur ( $H/W$ ) des rues cañons dans les centres-villes :

$\Delta T_u$

ou

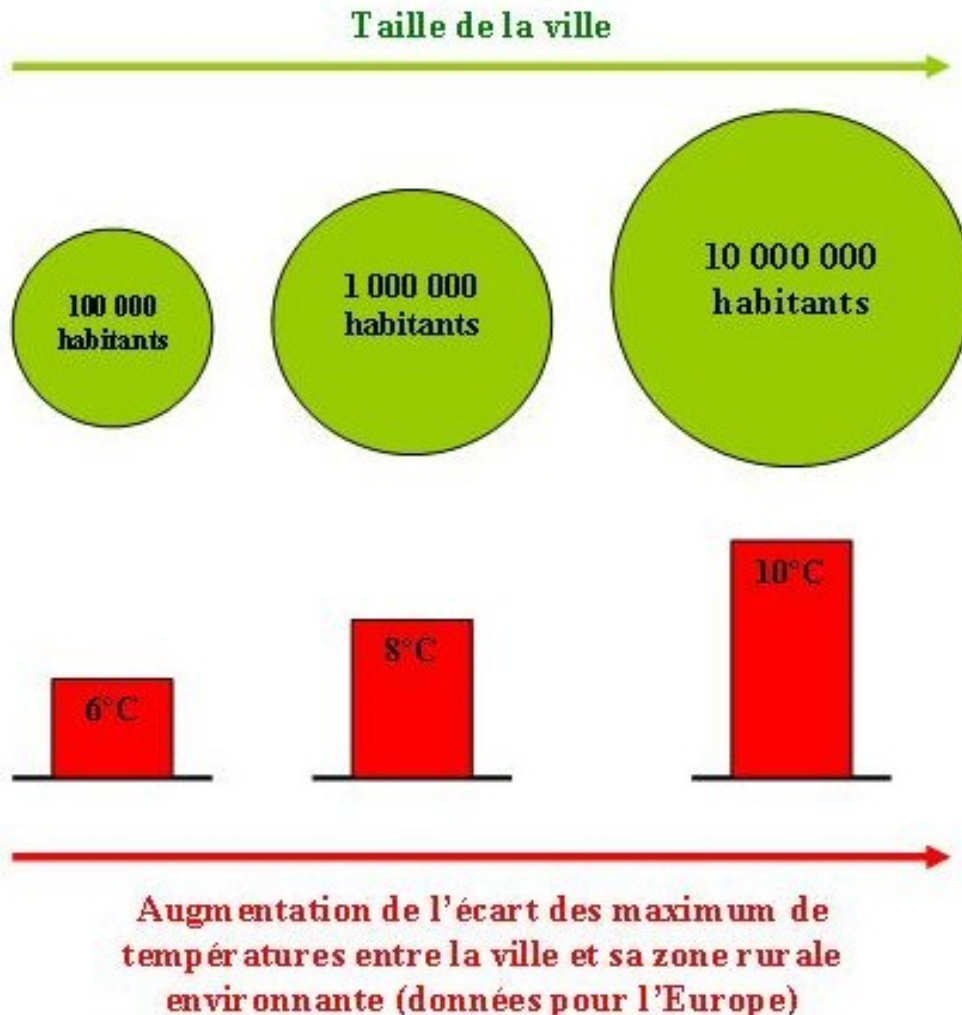


$$\Delta T_{u-r(max)} = 15.27 - 13.88 \psi_{sky}$$
$$\psi_{sky} = \cos \beta$$

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

## L'îlot de chaleur urbain : l'effet taille

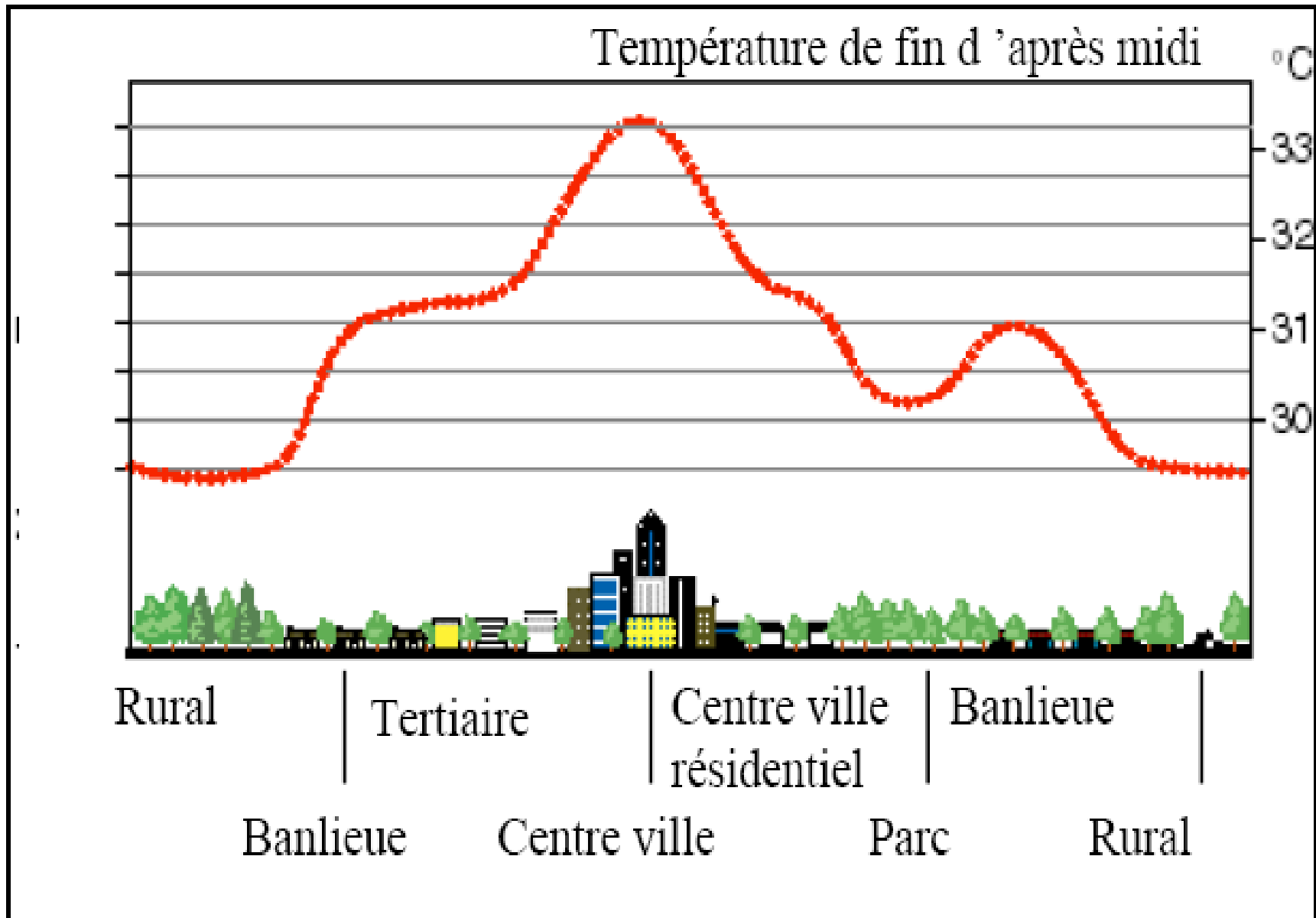
Relation entre l'intensité maximale de l'îlot de chaleur et le nombre d'habitants d'une ville



Le nombre d'habitants est un paramètre essentiel de l'existence d'un îlot de chaleur. Dans les villes dont la population atteint 500 000 à un million d'habitants, la température de l'air est généralement supérieure de 1,1 à 1,2 °C par rapport à la zone rurale environnante. Dans les villes de plus d'1 million d'habitants cet écart passe à 1,2 voire 1,5°C. Cependant, ce sont des valeurs moyennes et les écarts maximaux peuvent être plus importants.

# Une ville : quel(s) effet(s) sur la température?

## Profil schématique de l'îlot de chaleur urbain

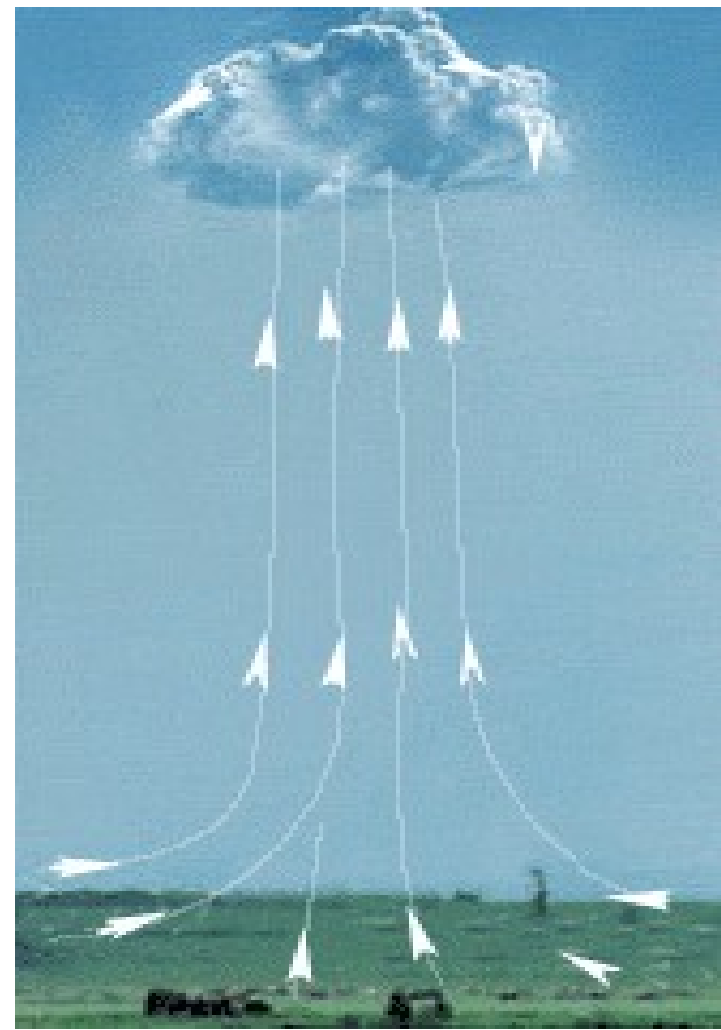


Source : Heat Island Group

<http://www.ensmp.fr/Fr/Services/PressesENSMP/Resumes/cooling-1res.pdf>



## 4) Précipitations et aérologie



**Chauffer une surface modifie les gradients verticaux de  $T^\circ$**



**Stimule les ascendances**

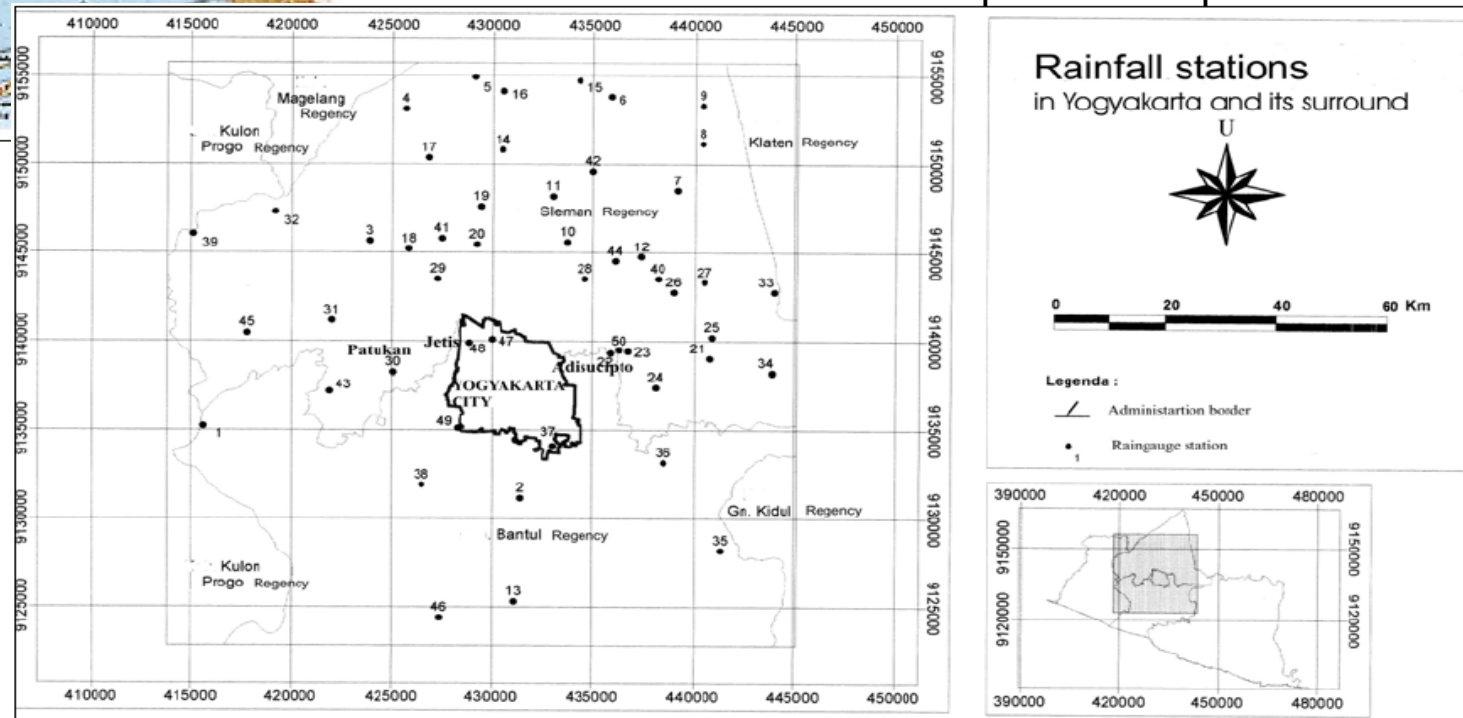
# Une ville : quel(s) effet(s) sur les précipitations?

Solution A : mesurer les précipitations dans des sites dégagés  
(Exemple de Yogyakarta, Indonésie)

Carte montrant la région indonésienne et la localisation de Yogyakarta



Localisation des stations pluviométriques utilisées

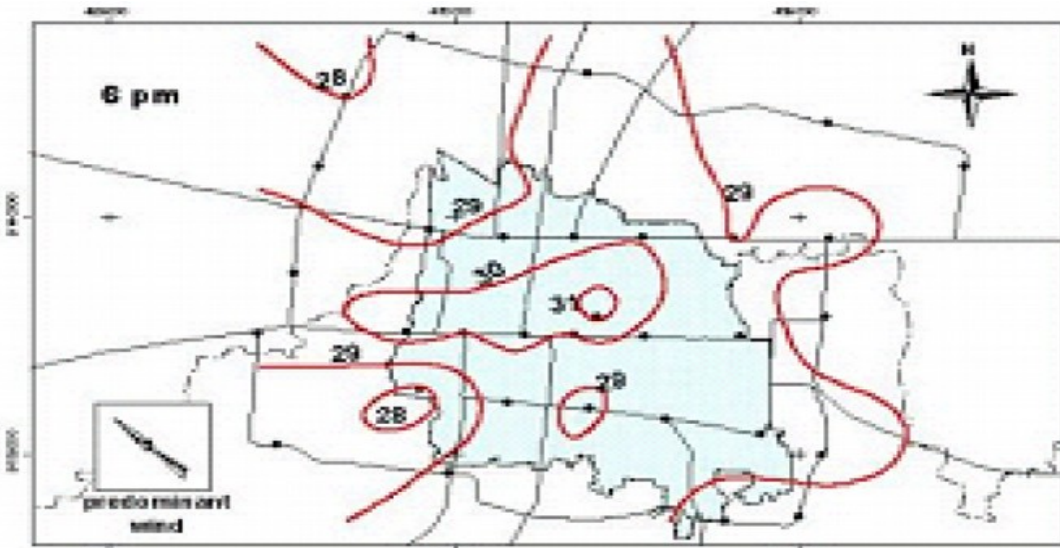


Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°9, February 2005

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

# Une ville : quel(s) effet(s) sur les précipitations?

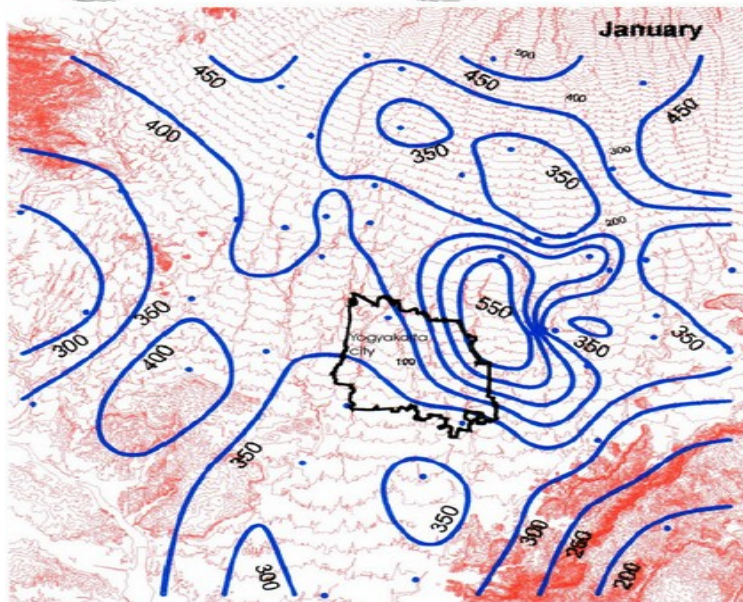
Solution A : mesurer les précipitations dans des sites dégagés  
(Exemple de Yogyakarta, Indonésie)



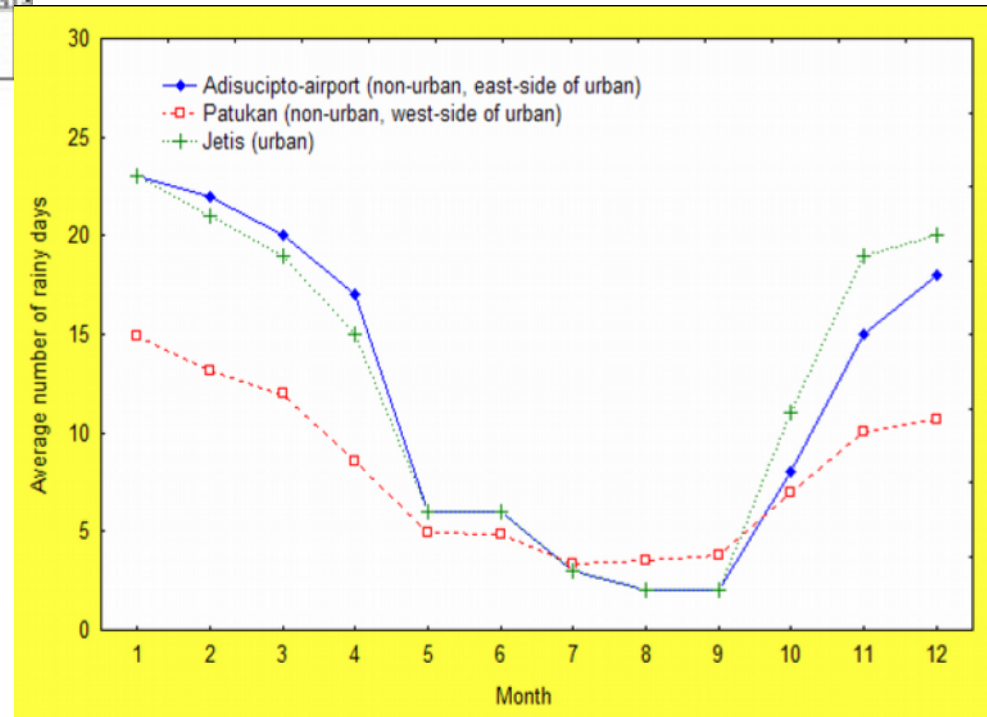
Exemple de carte de température de l'air à Yogyakarta en Avril 2004 à 18 h.

Un îlot de chaleur urbain, d'environ 2 à 3°C, est net

Nombre de jours de pluies dans les stations urbaines et non-urbaines. Le vent prédominant provient du Sud-Ouest durant la saison des pluies et de Sud-Est durant la saison sèche.



Distribution pluviométrique en Janvier 1978-2003 (saison des pluies).

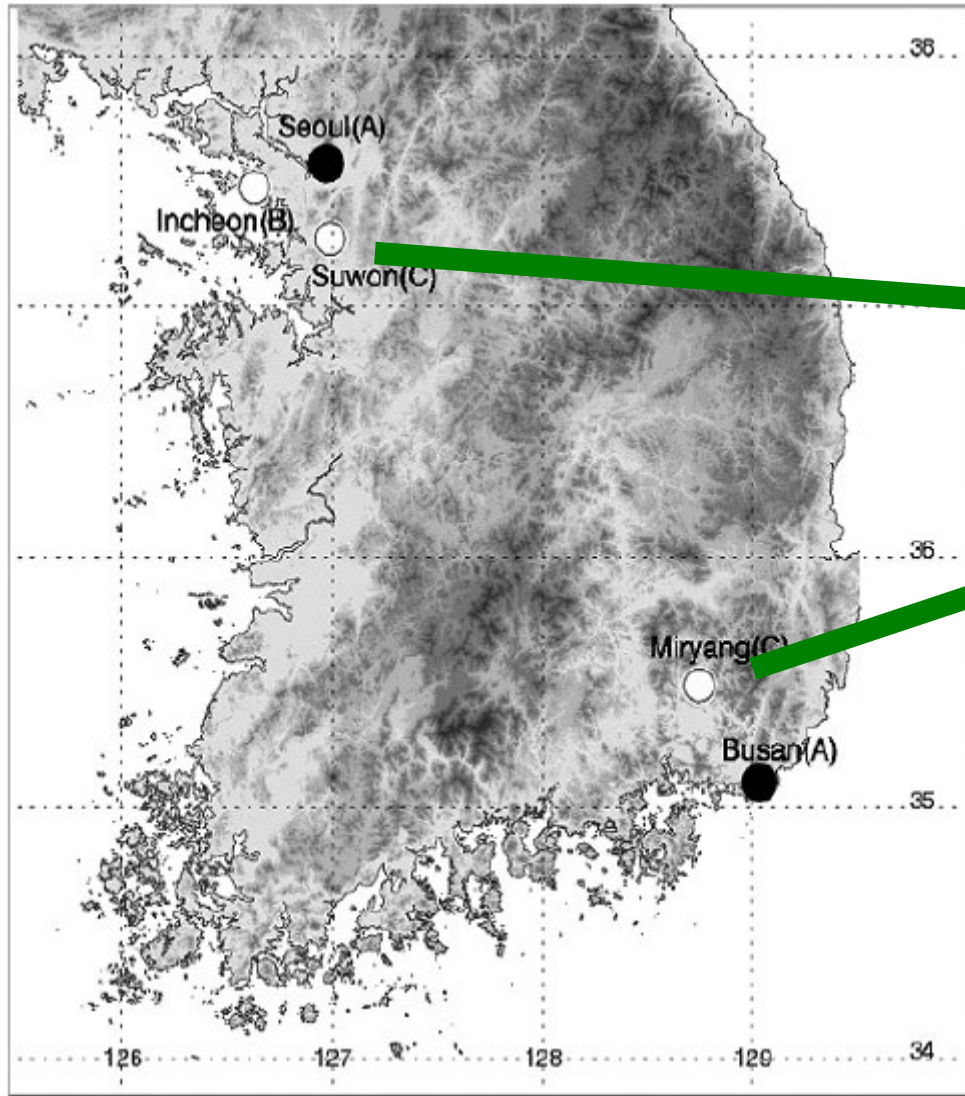


Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°9, February 2005

<http://www.indiana.edu/~iauc/>

# Une ville : quel(s) effet(s) sur les précipitations?

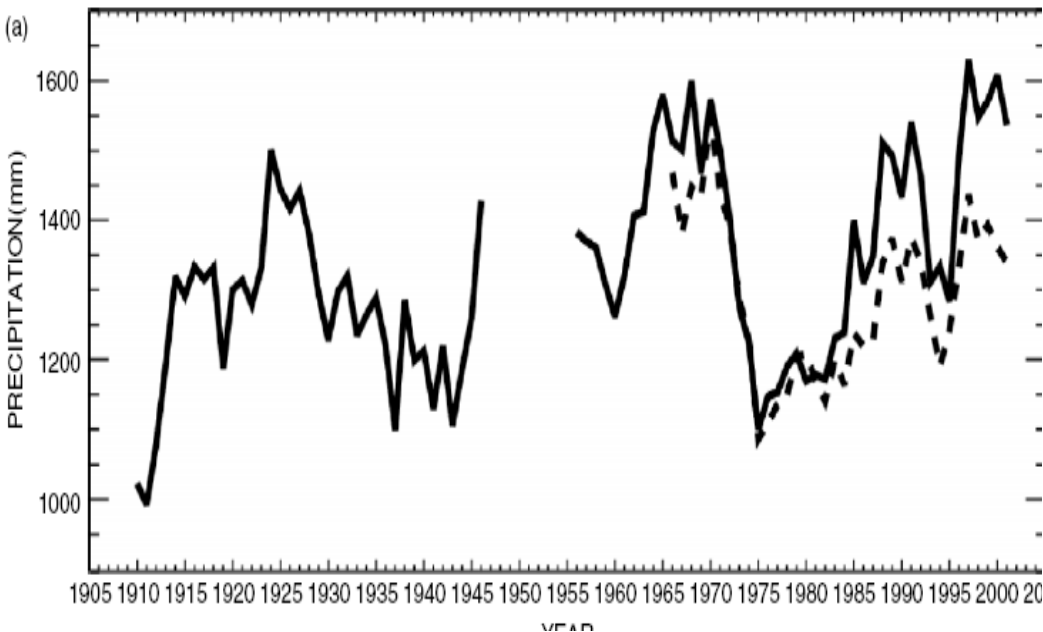
## Solution A : Mesurer les précipitations (Exemples de Séoul et Busan, Corée du Sud)



Indispensable =  
séries rurales de référence

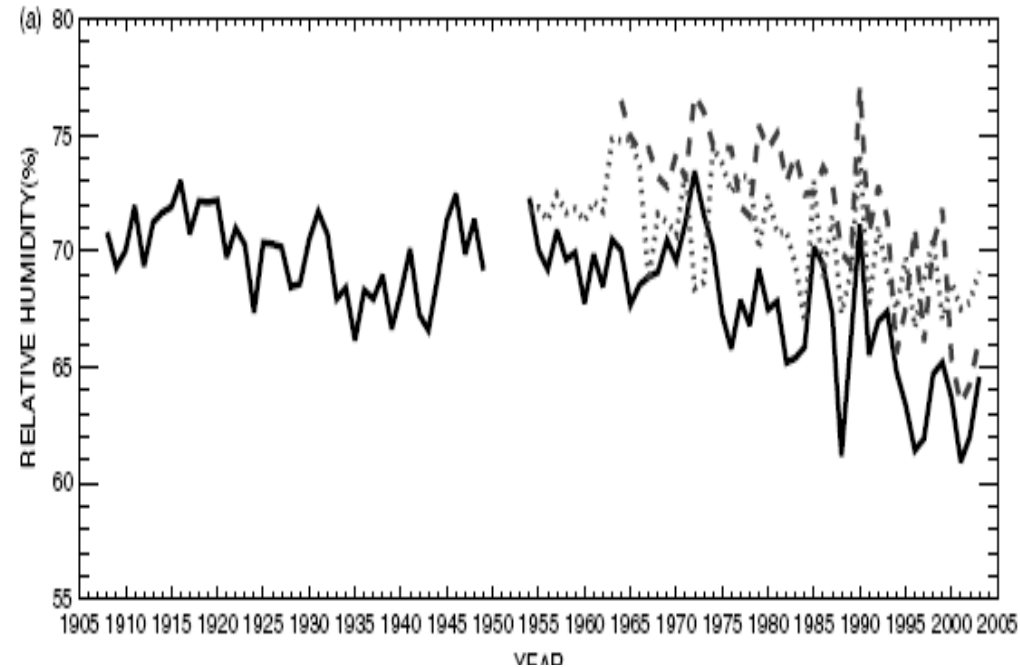
# Une ville : quel(s) effet(s) sur les précipitations?

## Solution A : Mesurer les précipitations et l'humidité (Exemple de Séoul, Corée du Sud)



Seoul (solid line) and Suwon (dashed line).

Urbain/rural :  
dans les deux cas les précipitations changent  
(variabilité interannuelle, décennale  
et changement climatique)



Seoul (solid line), Incheon (dotted line) and Suwon (dashed line)

Urbain/rural :  
dans tous les cas l'humidité change  
(variabilité interannuelle, décennale  
et changement climatique)

# Une ville : quel(s) effet(s) sur les précipitations?

## Solution A : Mesurer l'humidité (Exemple de Séoul, Corée du Sud)

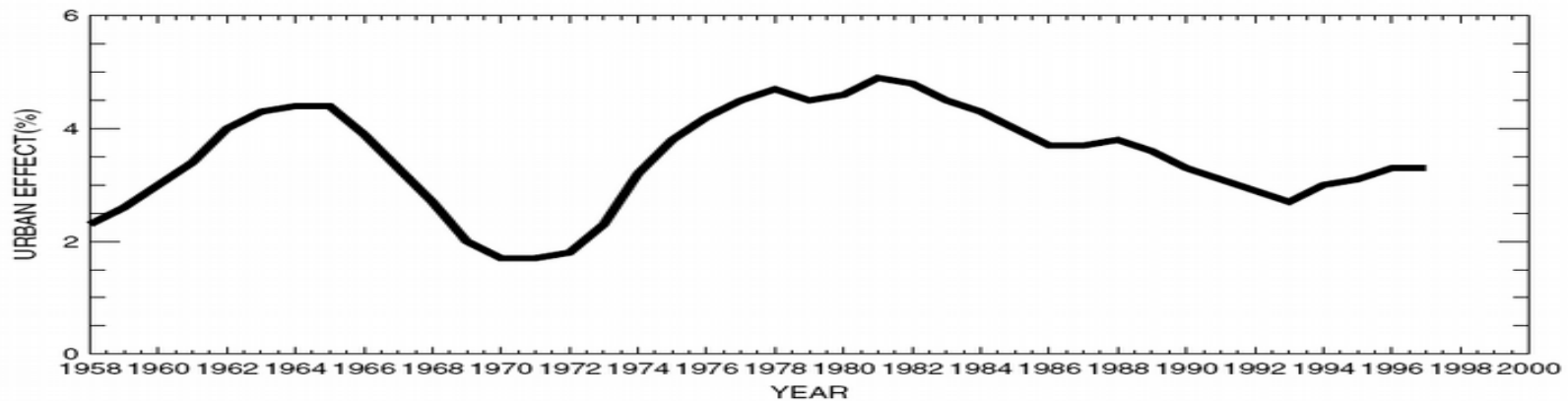
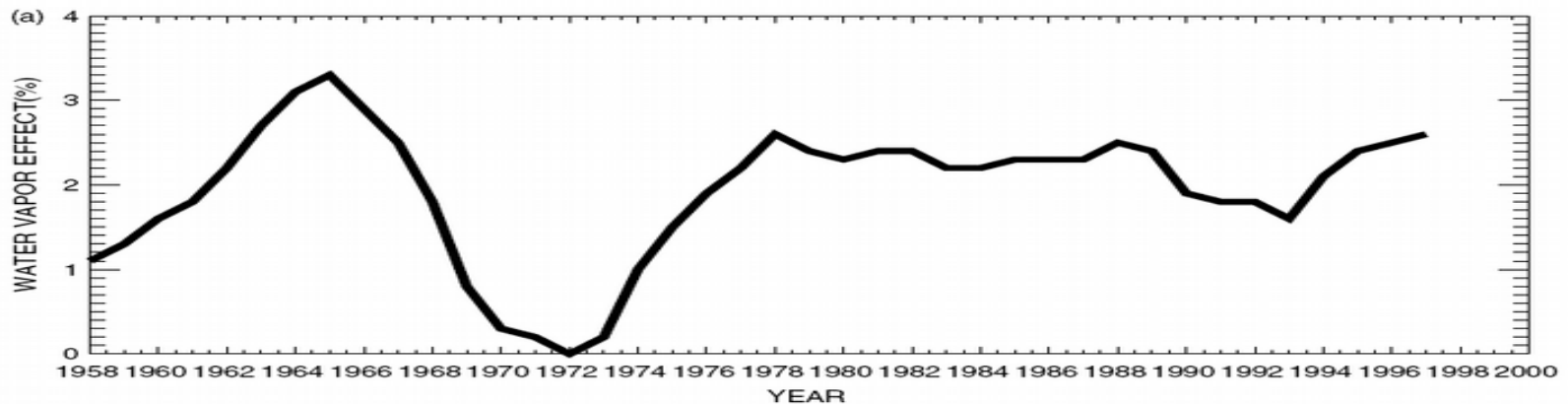


Figure 6. The variation of urban effect on yearly relative humidity in Seoul.



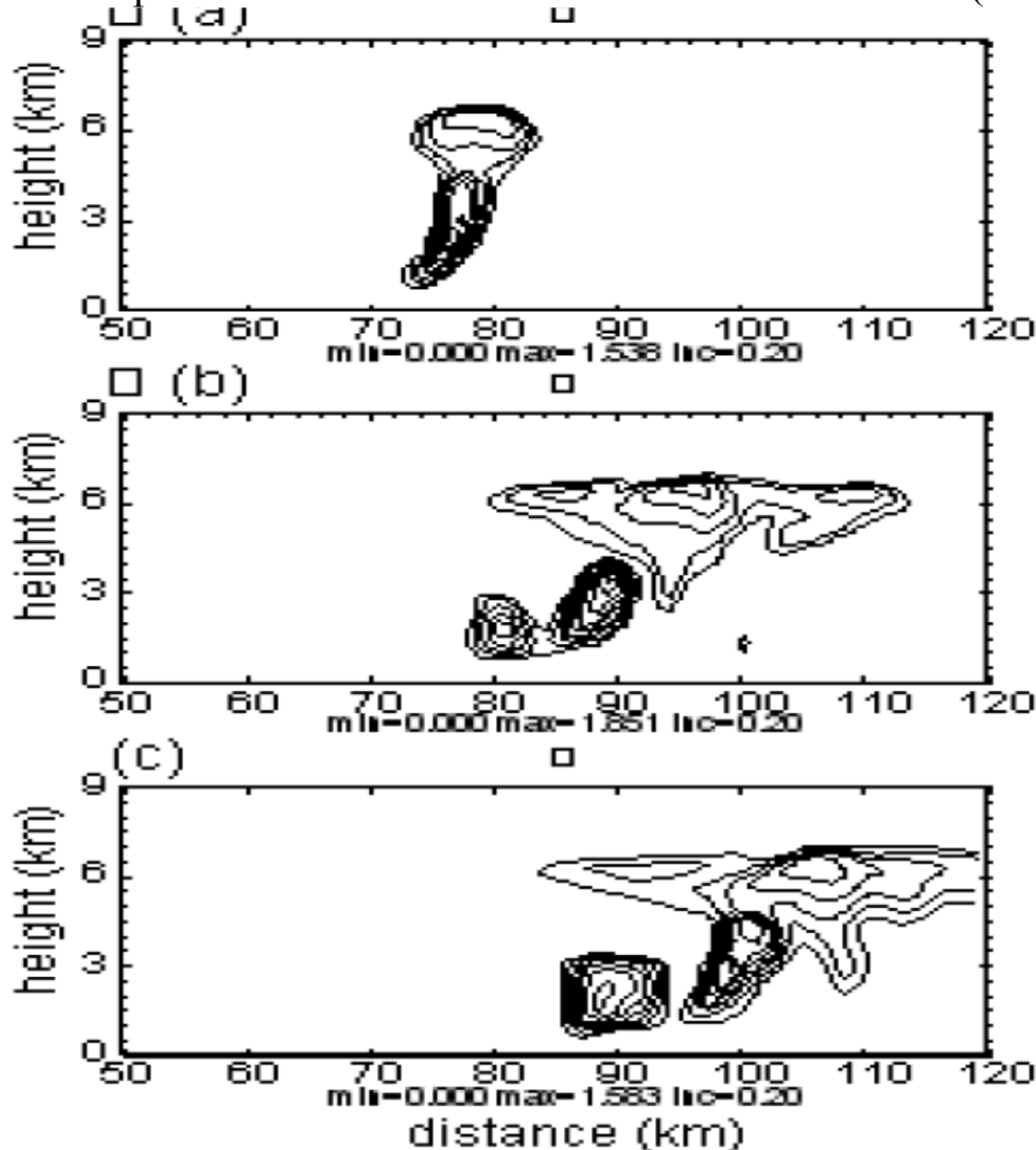
Seoul (solid line) and Suwon (dashed line).

Contribution par rapport à l'ensemble des variations de l'évolution des de l'humidité propre à la série urbaine ou imputable à l'effet urbain

# Une ville : quel(s) effet(s) sur les précipitations?

## Solution B : Simuler les précipitations

Exemple de modélisation de la convection sur Séoul (Corée du Sud)



Champ d'eau précipitable à t = (a) 2h, (b) 3h, et (c) 4 h dans une simulation de modèle.

Le centre de l'îlot de chaleur urbain est situé à x=50km

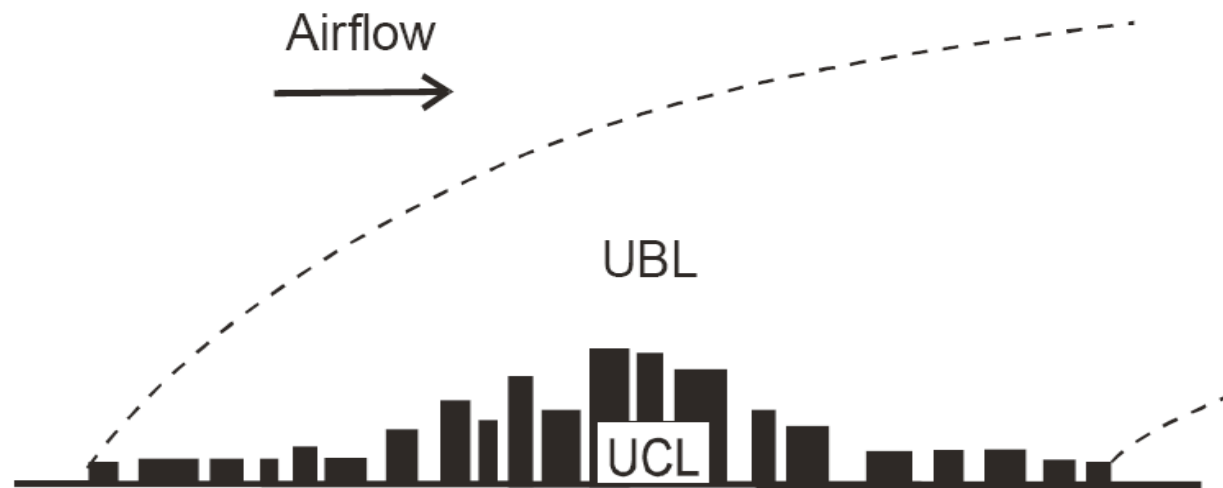
**Ville = rugosité  
+ surplus de chaleur en  
surface**



**Stimule les ascendances,  
donc... les pluies convectives  
sous le vent ...**

# L'aérodologie en ville : îlot de chaleur urbain, couche de canopée et couche limite urbaines

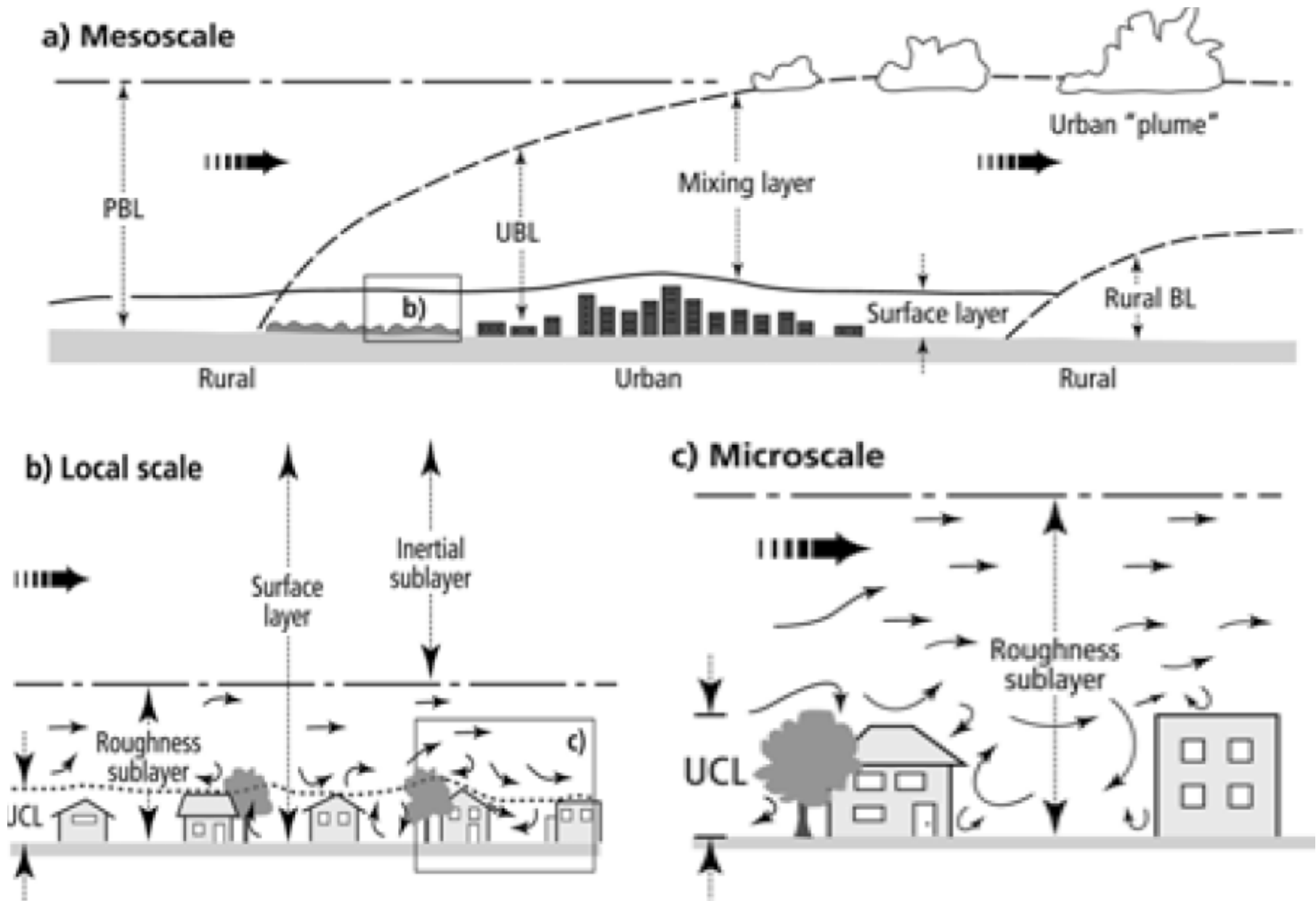
Energy Balance term	Urban features	Urban effect
Increased $K^*$	Canyon geometry	Increased surface area and multiple reflection
Increased $L_{\downarrow sky}$	Air pollution	Greater absorption and re-emission
Decreased $L^*$	Canyon geometry	Reduced sky view factor
$Q_F$	Buildings & traffic	Direct addition of heat
Increased $\Delta Q_S$	Construction materials	Increased thermal admittance
Decreased $Q_E$	Construction materials	Increased water-proofing
Decreased $(Q_H+Q_E)$	Canyon geometry	Reduced wind speed



UBL : Urban Boundary Layer / Couche Limite Urbaine  
Urban Canopy Layer / Couche de Canopée Urbaine



# Conclusion : l'aérodologie en ville, une approche multi-échelle



Source : International Association for Urban Climate Newsletter, Issue n°4, February 2004

<http://www.indiana.edu/~iauc/>