

II. Le « gisement » solaire en zone urbaine

travail réalisé dans le cadre du projet européen:
PRECis: Assessing the Potential for
Renewable Energy in Cities



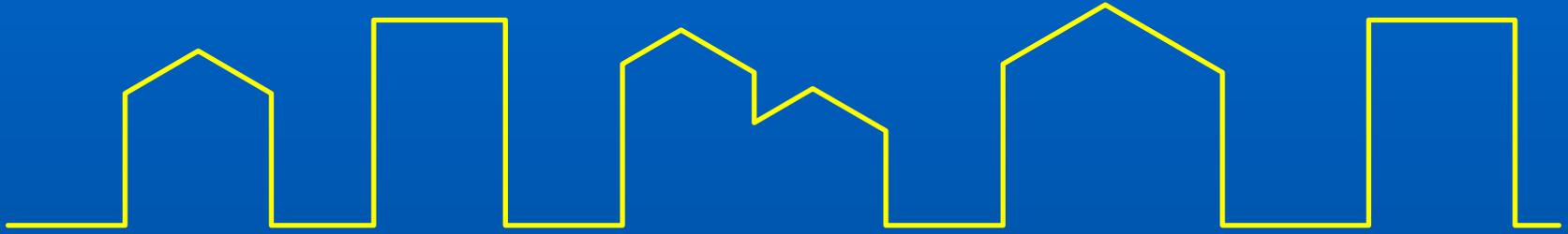
Introduction

- Une méthode pour quantifier le potentiel de systèmes de captage du rayonnement solaire et lumineux en zone urbaine

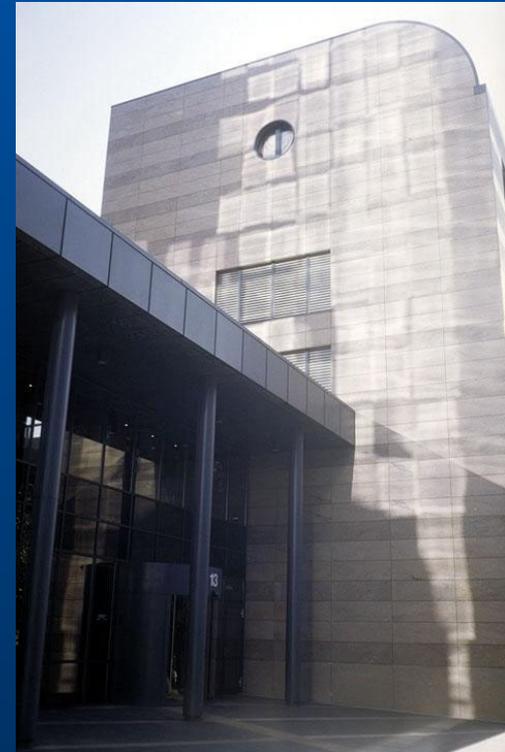
- But:
“SOLAR Cities”
(Concept qui date déjà de
~ 20 ans!)



Captage du rayonnement solaire en façade



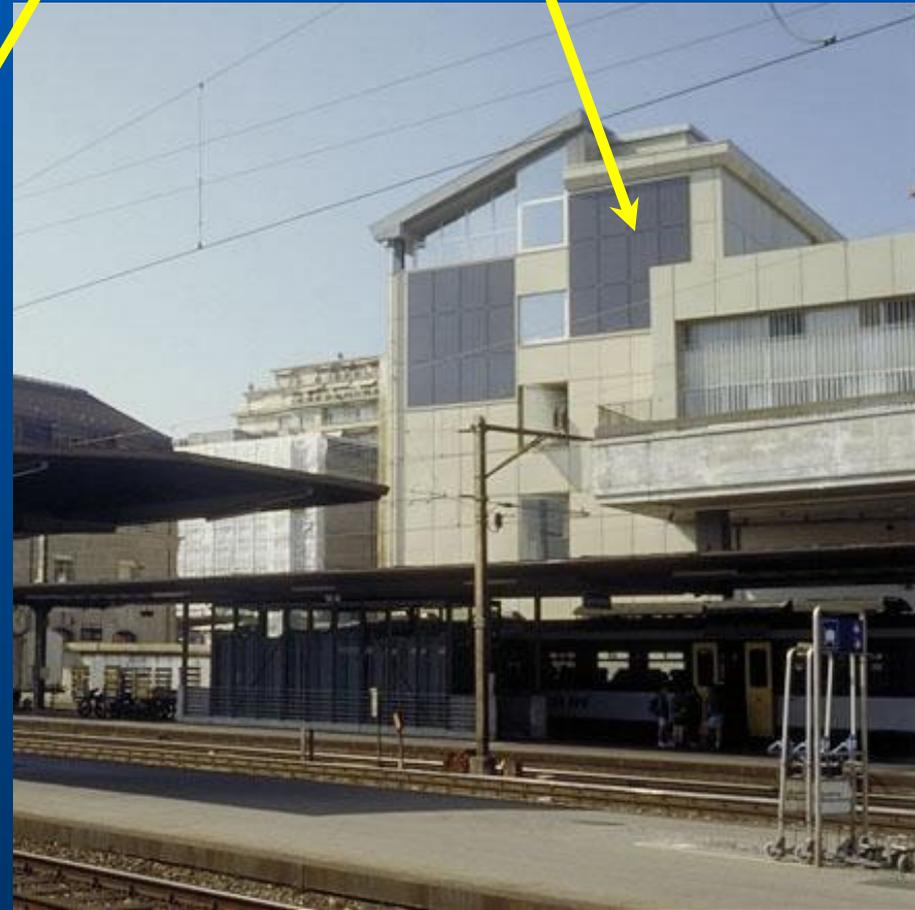
- Les toitures sont peu affectées par les bâtiments voisins
- Beaucoup de façades disponibles mais forts effets d'ombrages et d'interréflexions
- Façades / Toitures = de 1 à 7



Captage du rayonnement solaire en façade



Modules PV intégrés
en façades



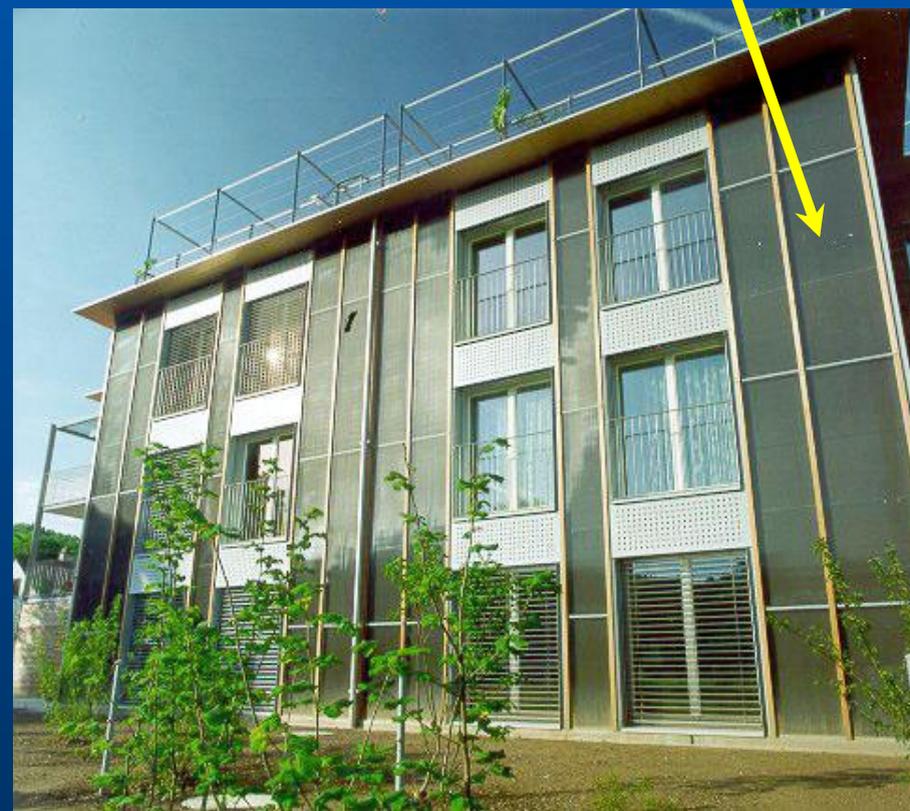
Captage du rayonnement solaire en façade



Solaire passif et actif

capteurs à eau

capteurs à air



Principe de la méthode

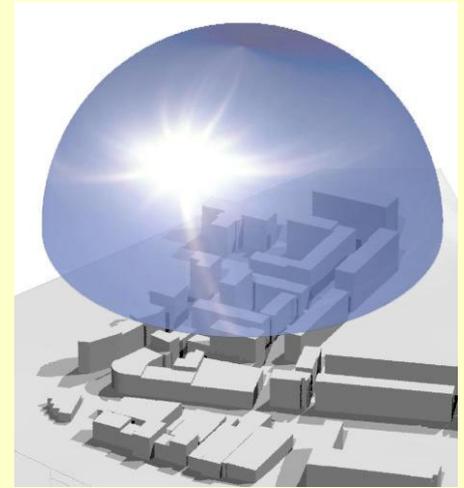
[Ensoleillement et éclairage urbain]

=

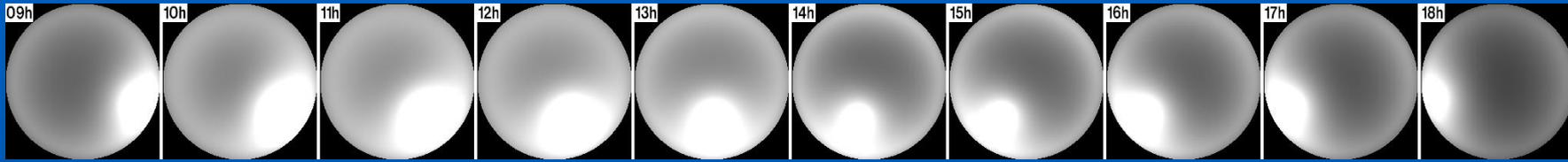
[Ciel]

×

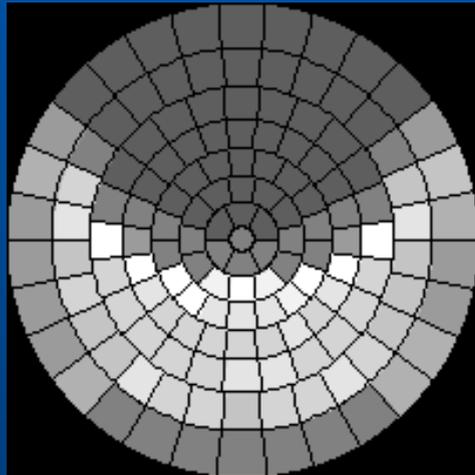
[Forme urbaine]



Modeles de ciels « moyens »



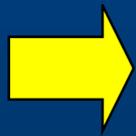
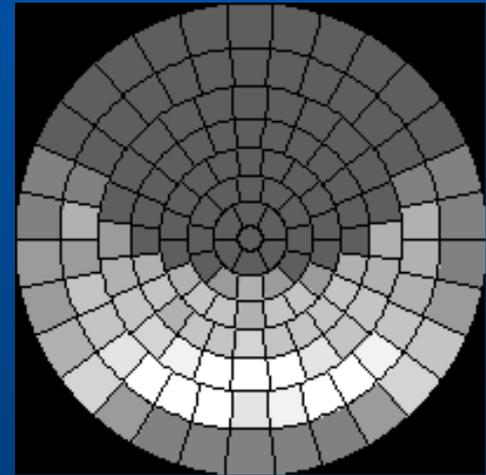
Moyenne annuelle



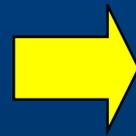
radiances
[W/m²/sr]



Moyenne sur la
saison de chauffage



Solaire actif
PV



Solaire passif

Modeles urbains

Données géométriques:

- Contours des bâtiments au sol
- Hauteurs

Données numériques:

- Nombre d'étages

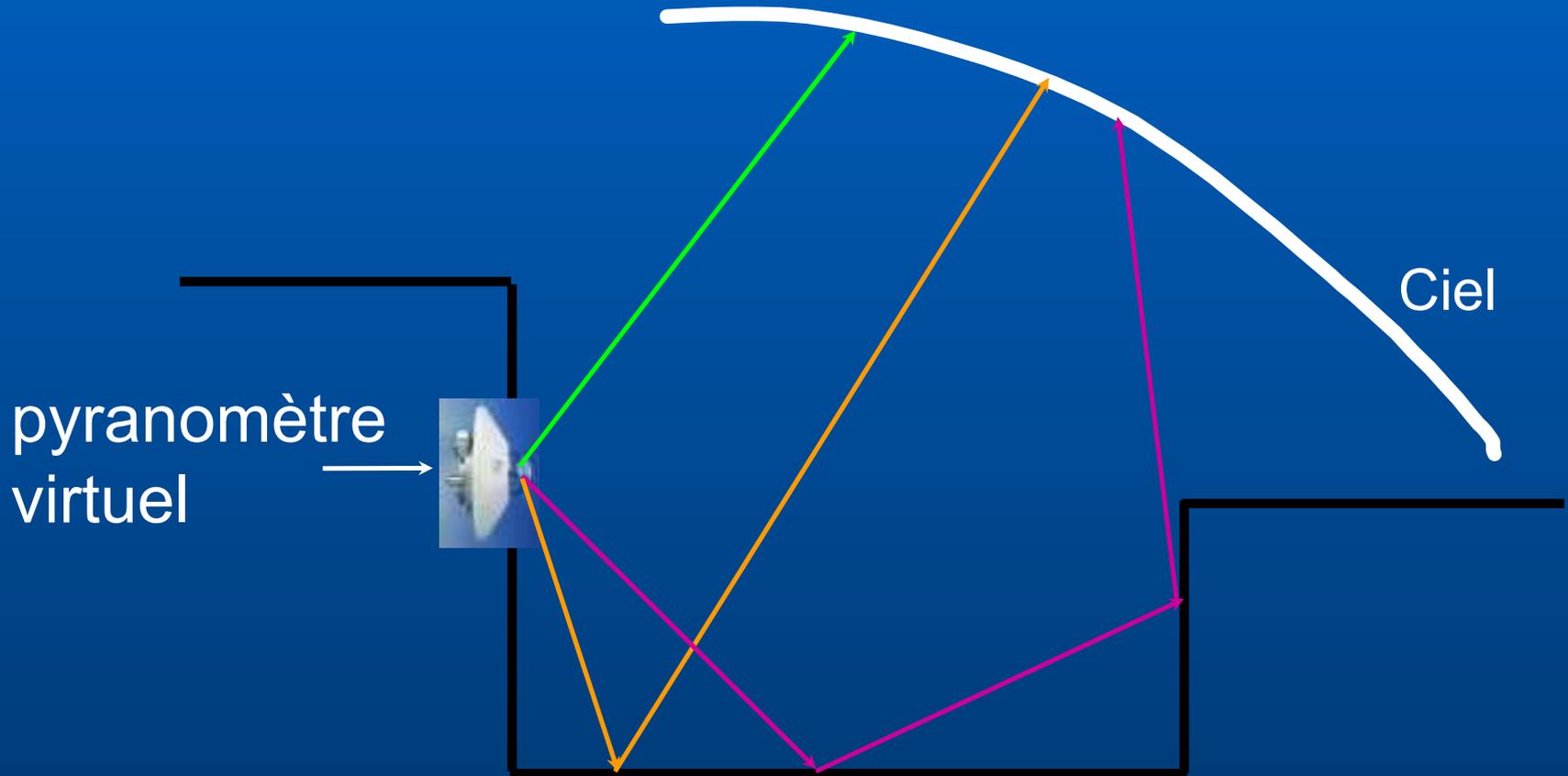
Paramètre défini par défaut:

- Albedo des surfaces (20%)



× Simulations ×

Logiciel RADIANCE de lancer de rayons inverses

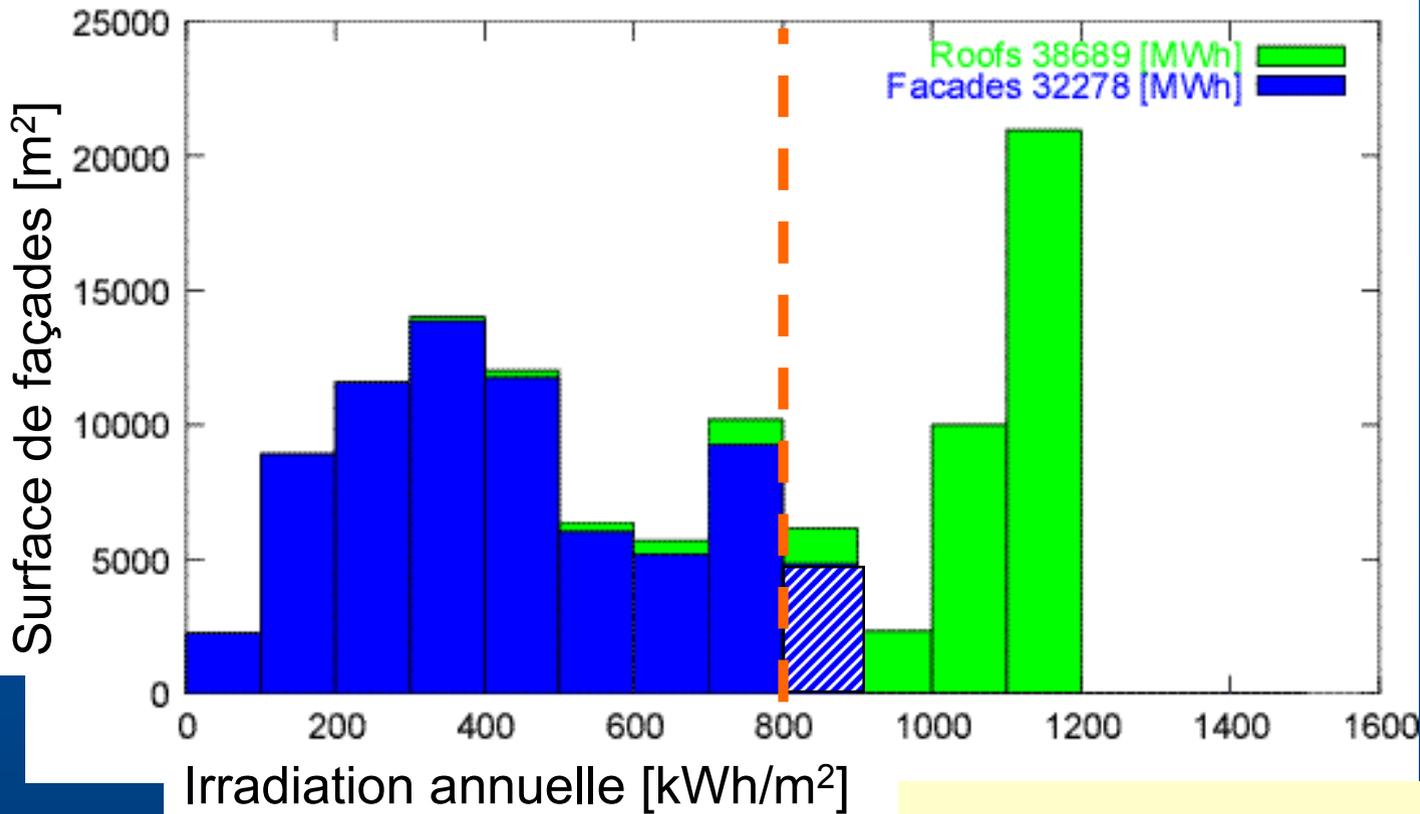


→ Rayons directs

→ Réflexions (1^{er} ordre & 2^{ème} ordre)

Répartition de l'irradiation solaire globale

Irradiation distribution for Perolles site (orientation=0 sky=F00)

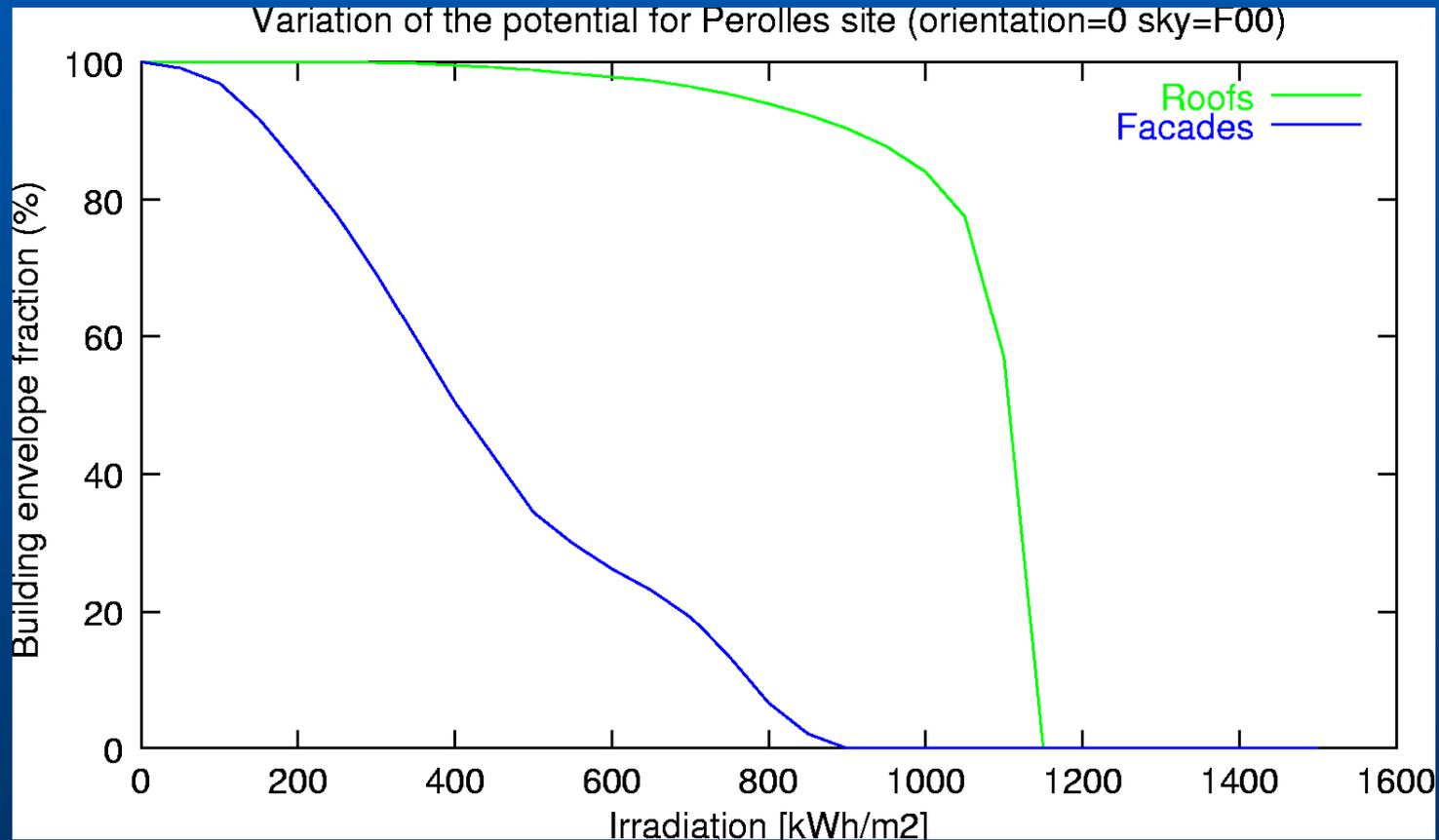


Seuil pour installations
PV en façades
800 [kWh/m²]

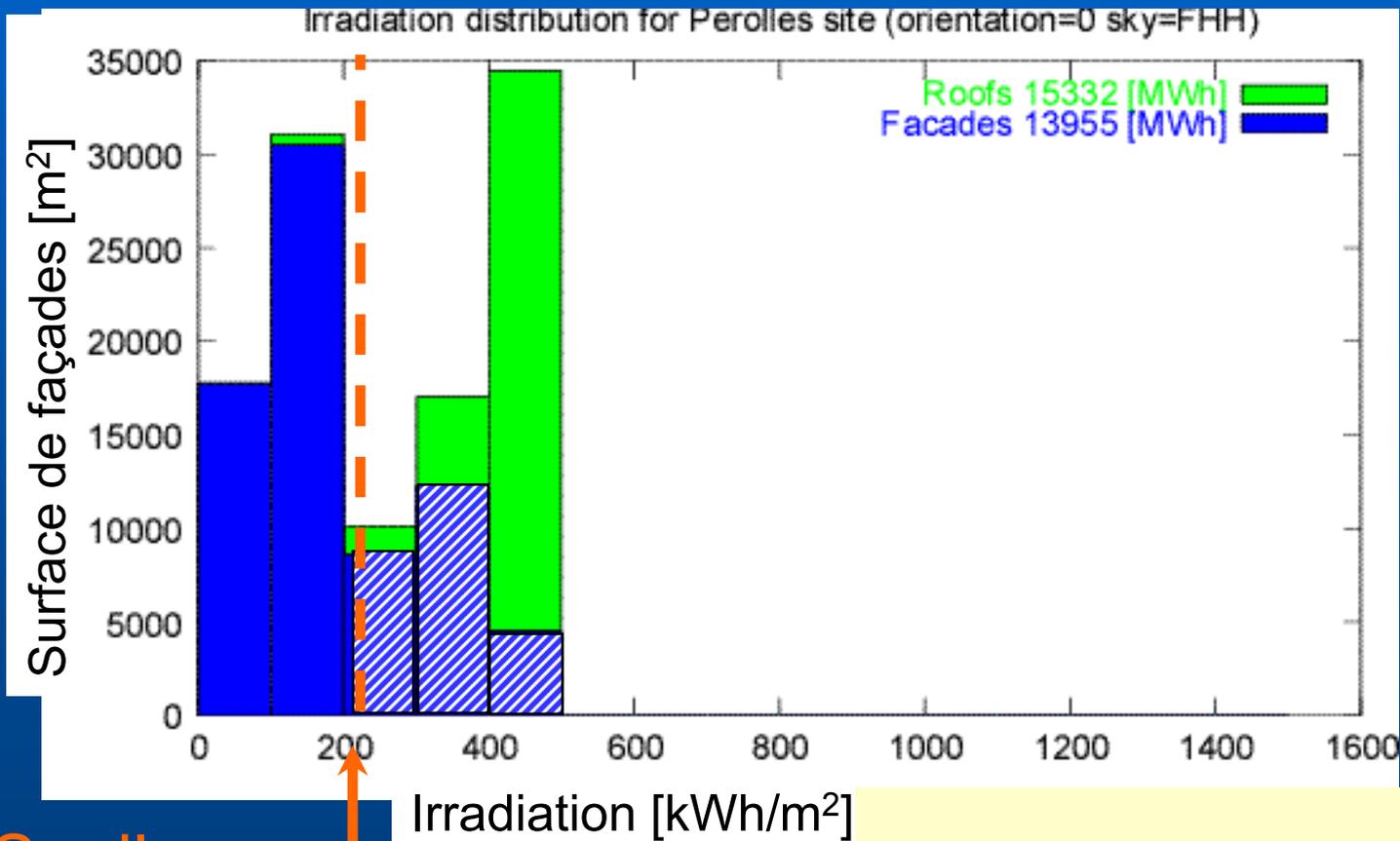
% de façades appropriées pour installations PV = $\frac{\text{Surface de façades appropriées}}{\text{Surface de façades totales}}$

Variation du potentiel avec le seuil

Avec le temps le seuil diminue (évolution technologique, extension du marché) ce qui fait croître le potentiel !

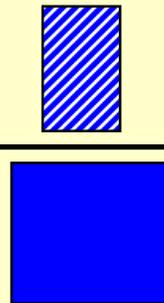


Repartition de l'irradiation solaire hivernale



Seuil pour dispositifs solaires passifs 216 [kWh/m²]

% de façades appropriées pour le solaire passif =



Etude de cas à Fribourg

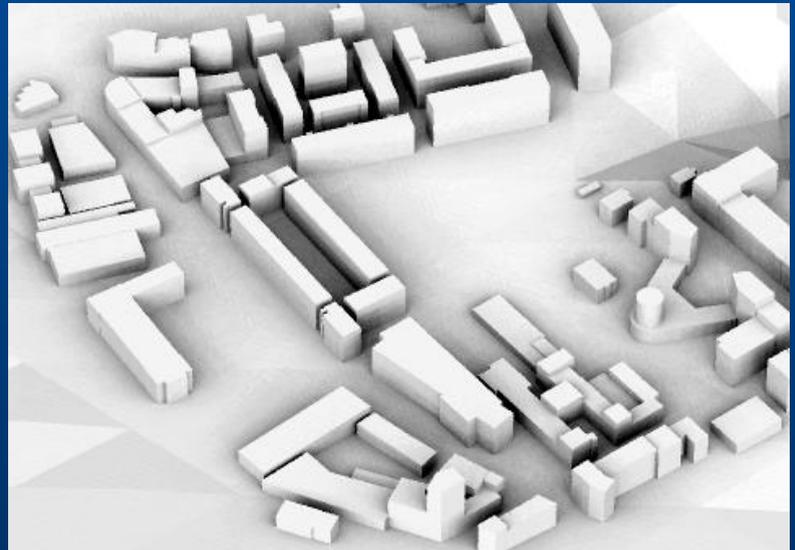


Fractions de façades aptes pour:

- PV = 6.5 %
- solaire passif = 32 %

Quartier de Perolles

Indice d'utilisation du sol
IU = 1.2



Variantes pour la zone Ouest (IU=2.0)



Peigne (6 étages)

- PV = 10 %
- solaire passif = 49 %

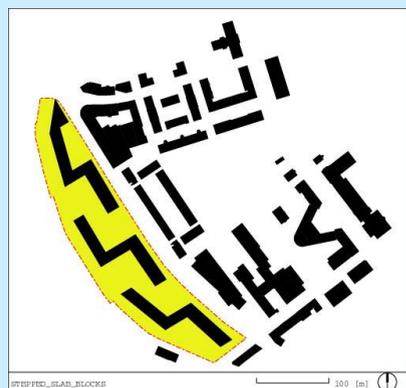


Cours (4 & 8 étages)

- PV = 15 %
- solaire passif = 47 %



Variantes pour la zone Ouest (IU=2.0)



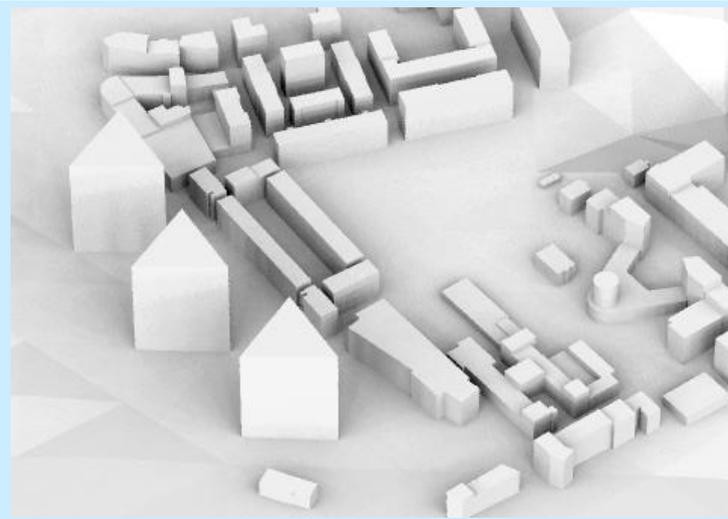
- PV = 17 %
- solaire passif = 52 %

Escaliers (5 & 8 étages)



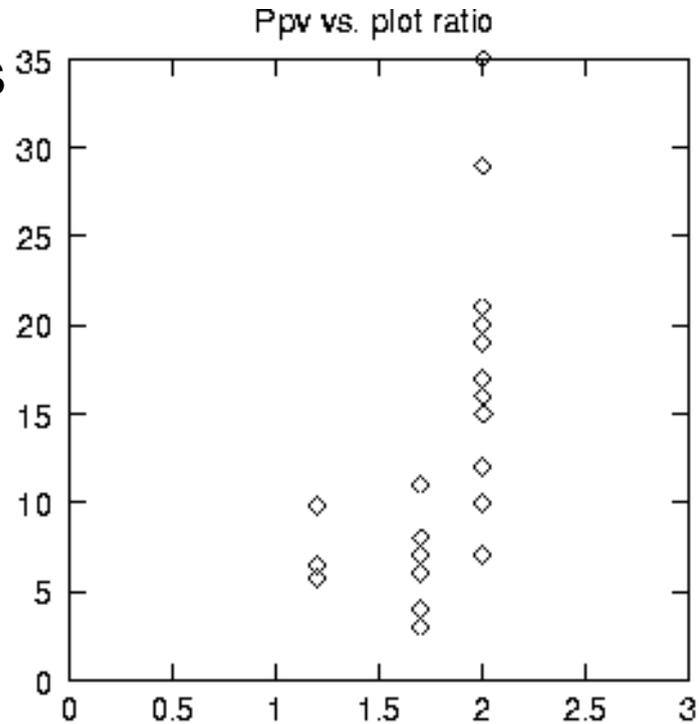
- PV = 21 %
- solaire passif = 34 %

Tours (15 étages)



Haute densité # faibles potentiels !

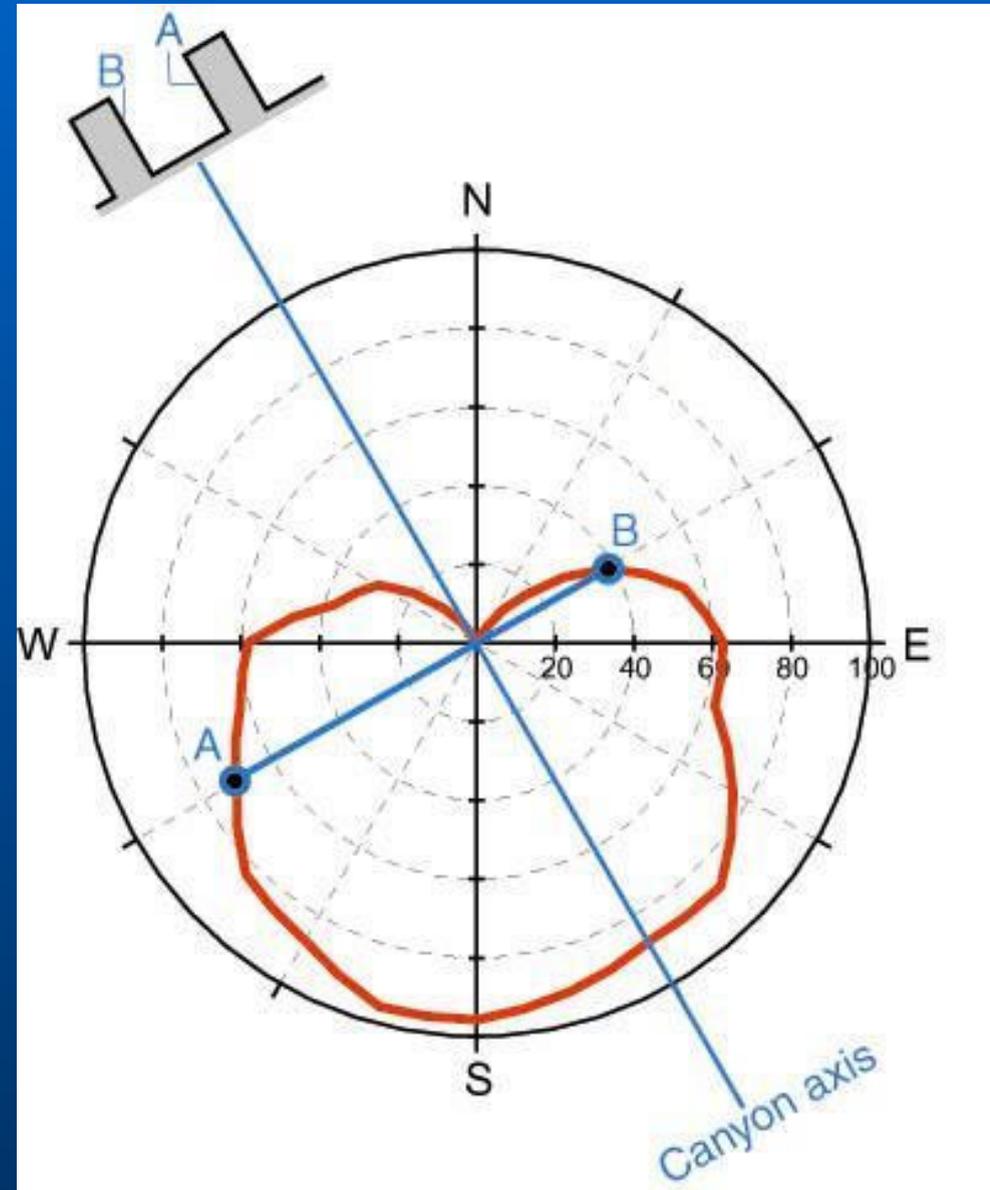
Fraction de façades
aptes pour des
installations PV
(%)



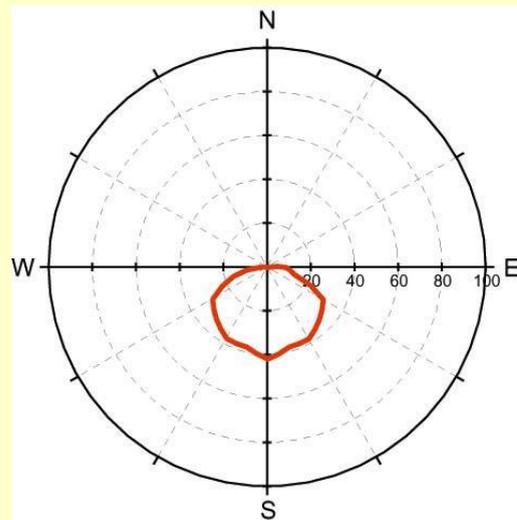
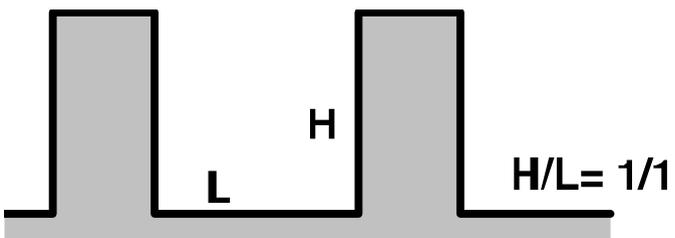
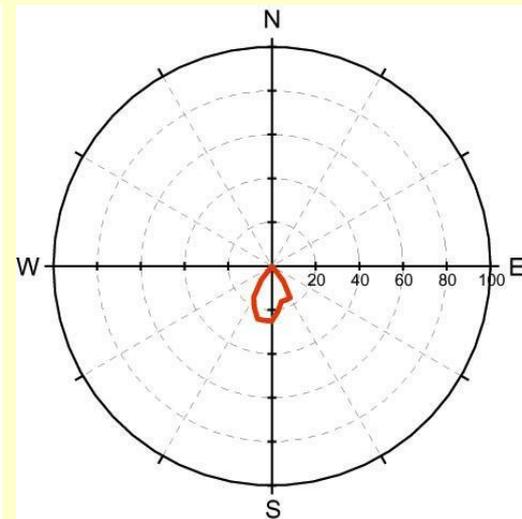
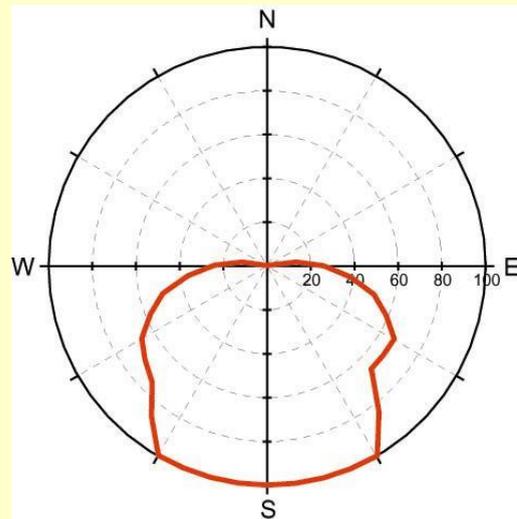
Indice d'utilisation du sol

Etudes paramétriques

Variation du potentiel solaire des façades d'un canyon urbain en fonction de son orientation et de son rapport d'aspect H/L



Potentiel d'un canyon urbain pour le PV

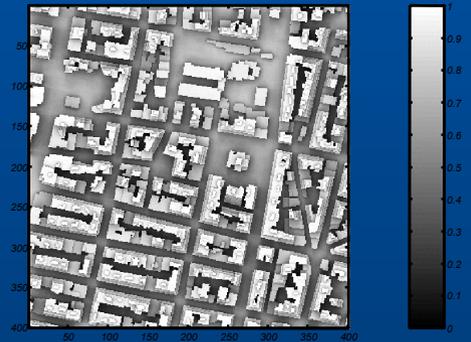
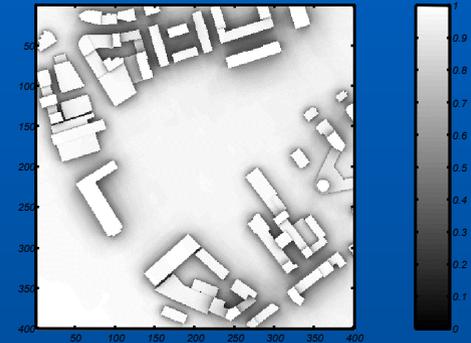
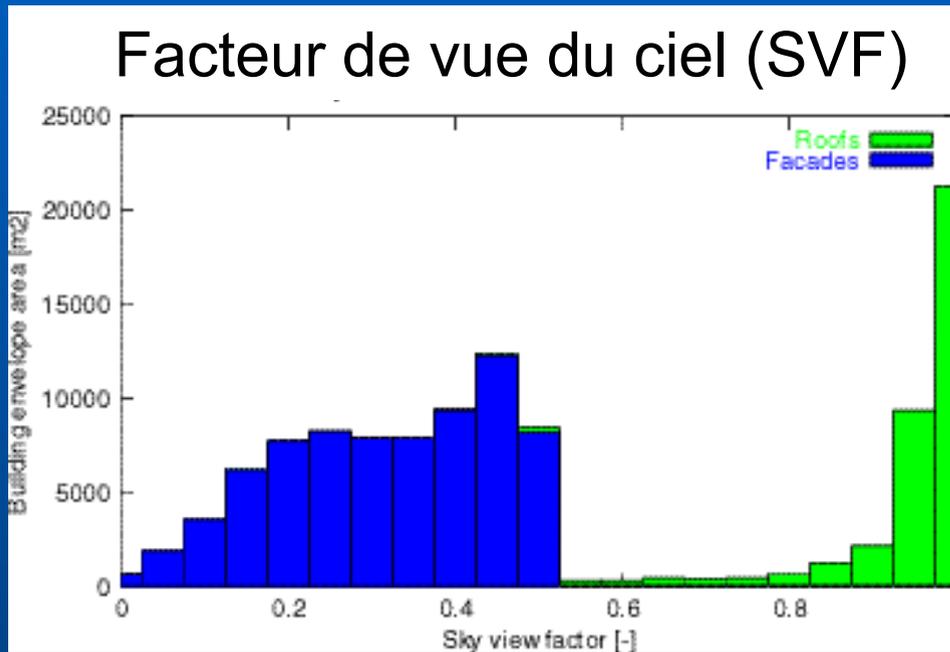


∅

Athènes

Fribourg

Autres grandeurs calculables



Intérêt: évaluer l'effet d'îlot de chaleur

$$\Delta T = 15.27 - 13.88 \cdot \text{SVF} \text{ [}^\circ\text{K]}$$

Visualisations



Quartier de Pathsia, Athènes

III. Projet RUROS

RUROS: Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces



Fifth Framework Programme 1998 – 2002
Co-financed by the European Union



Key Action 4 "City of Tomorrow
and Cultural Heritage"
from the programme
"Energy, Environment and
Sustainable Development"

Partenaire associé: Ville de Fribourg



Ecole d'ingénieurs et d'architectes de Fribourg
Hochschule für Technik und Architektur Freiburg

But du projet

- Etablir des relations entre le confort thermique, acoustique et visuel ressenti par les usagers d'espaces publics extérieurs et des paramètres physiques mesurables
- Moyen: études de cas sur plusieurs espaces publics
- Quel lien avec l'énergie ?
Améliorer le confort = diminuer le besoin de « s'évader » de la ville
(actuellement: 49% du temps consacré aux déplacements concerne les loisirs)

Particularités du "confort" extérieur

- Le vote prévisible moyen calculé (PMV) n'est pas bien corrélé avec le confort effectivement ressenti
- Deux bruits avec le même niveau sonore [dB(A)] ne provoquent pas la même sensation de gêne si le temps de réverbération diffère entre les deux cas

Sites étudiés à Fribourg:

1) Place de la Gare

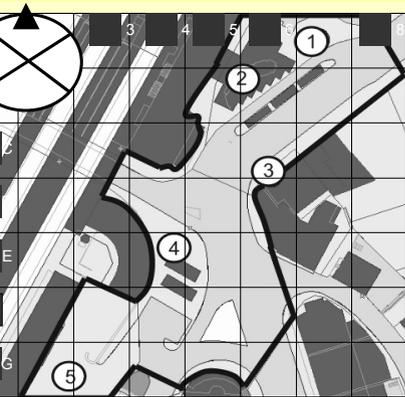


Sites étudiés à Fribourg:

2) Jardins de Pérolles



Questionnaires soumis aux usagers



N° d'interview _____ Initiales enquêteur _____

Heure de début _____ Heure de fin _____

Que fait l'intervéé quand vous l'abordez ? _____

Groupe d'âge

< 12	12-18	18-24	25-34
35-44	45-54	55-64	>=65

Sexe

Masculin	Féminin
----------	---------

PLACE DE LA GARE

HABILLEMENT ? (0.12 de base)

Lunettes de soleil		Casque d'écoute		Chapeau / Casquette	
Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non

PAR DESSUS	Veste / Veston 0.35	Blouson 0.3	Imperméable Manteau d'hiver long Parka 0.6
		* Jean/Coton 0.25 * Polar/Laine 0.35	
BUSTE	Chemise / Chemisier 0.17	T-shirt 0.09	Pull 0.31 (laine)
	* Sans manches 0.06 * Manches courtes 0.09 * Normal, manches longues 0.25 * Flanelle, manches longues 0.3	(pull coton manches longues)	* Fin 0.2 * Epais 0.35 * Col roulé 0.37
		Sweatshirt 0.28	Robe 0.33
			* Longue 0.4 * Courte 0.25
PAS	Pantalons courts 0.09	Pantalons longs 0.23	Jupe 0.14
	* Shorts 0.06 * Bermudas 0.11	* Légers 0.20 * Jeans / Toile coton épaisse 0.25 * Velours / Flanelle 0.28	* Longue et légère 0.18 * Courte et légère 0.10 * Longue et épaisse 0.25

CONSUMMATION ?

OUI	NON
Boissons froides	Boissons chaudes
	Nourriture

ENTOURAGE DE LA PERSONNE ?

Seule	Avec 1 personne	Avec plus de 2 personnes
Avec un chien ?	OUI	NON

AU SOLEIL ?

OUI	NON
-----	-----

MOUVEMENTS POUR PROTEGER LES YEUX DE LA LUMIERE ?

OUI	NON
-----	-----

AVANT L'INTERVIEW, LA PERSONNE ETAIT EN TRAIN DE LIRE OU D'ECRIRE ?

OUI	NON
-----	-----

AVANT L'INTERVIEW, LA PERSONNE REGARDAIT QUELQUE CHOSE D'ELOIGNE (>10M) ?

OUI	NON
-----	-----

A l'instant même, trouvez-vous qu'il fait ?

Très froid	Froid	Ni froid ni chaud	Chaud	Très chaud
------------	-------	-------------------	-------	------------

Que pensez-vous du soleil en ce moment ? (ne poser cette question que si ensoleillé)

Il en faudrait plus	ça va	Il y en a trop
---------------------	-------	----------------

Que pensez-vous du vent en ce moment ?

Absent	Faible	ça va	Ventoux	Trop de vent
--------	--------	-------	---------	--------------

Que pensez-vous de l'humidité en ce moment ?

Humide	ça va	Sec
--------	-------	-----

Vous sentez-vous confortable dans ces conditions ?

Oui	Non
-----	-----

Que pensez-vous de l'apparence lumineuse de cet endroit ?

Très sombre	Sombre	Ni sombre ni clair	Clair	Très clair
-------------	--------	--------------------	-------	------------

Certaines surfaces vous semblent-elles particulièrement éblouissantes (aveuglantes) ?

Oui	Non
-----	-----

Si oui, lesquelles ?

Sol et trottoir	Immeubles environnants	Mobilier urbain	Couvert ou ciel
-----------------	------------------------	-----------------	-----------------

Est-ce que la vue que vous avez depuis où vous êtes à l'instant présent, influence votre appréciation de cette place ?

Non	Si oui, comment ?	Négativement	Positivement
-----	-------------------	--------------	--------------

En ce moment même, quelle est votre appréciation générale du niveau sonore de cet espace ?

Très calme	Calme	Ni calme ni bruyant	Bruyant	Très bruyant
------------	-------	---------------------	---------	--------------

Comment pourriez-vous décrire l'environnement acoustique chez vous (à l'intérieur) ?

Très calme	Calme	Ni calme ni bruyant	Bruyant	Très bruyant
------------	-------	---------------------	---------	--------------

Les bruits suivants sont-ils gênants, plaisants ou ni l'un ni l'autre ?

Passages piétons			Discussions des gens autour de vous		
Génant	Ni l'un ni l'autre	Plaisant	Génant	Ni l'un ni l'autre	Plaisant
Circulation des autobus			Circulation automobile		
Génant	Ni l'un ni l'autre	Plaisant	Génant	Ni l'un ni l'autre	Plaisant

Pourquoi êtes-vous venu ici ?

Où étiez-vous avant de venir ici ? (Intérieur bâtiment ou voiture..., extérieur. Précisez !)

Avec quelle fréquence utilisez-vous cet endroit ?

/ jour	/ semaine	/ mois	/ année
--------	-----------	--------	---------

Y a-t'il quelque chose que vous n'aimez pas dans cet endroit ?

Pour vous, à quoi doit servir une place publique telle que celle-ci ?

Résidez-vous en ville de Fribourg ?

Oui	Non	Si non, où ?	Canton	Pays
-----	-----	--------------	--------	------

Etes-vous ?

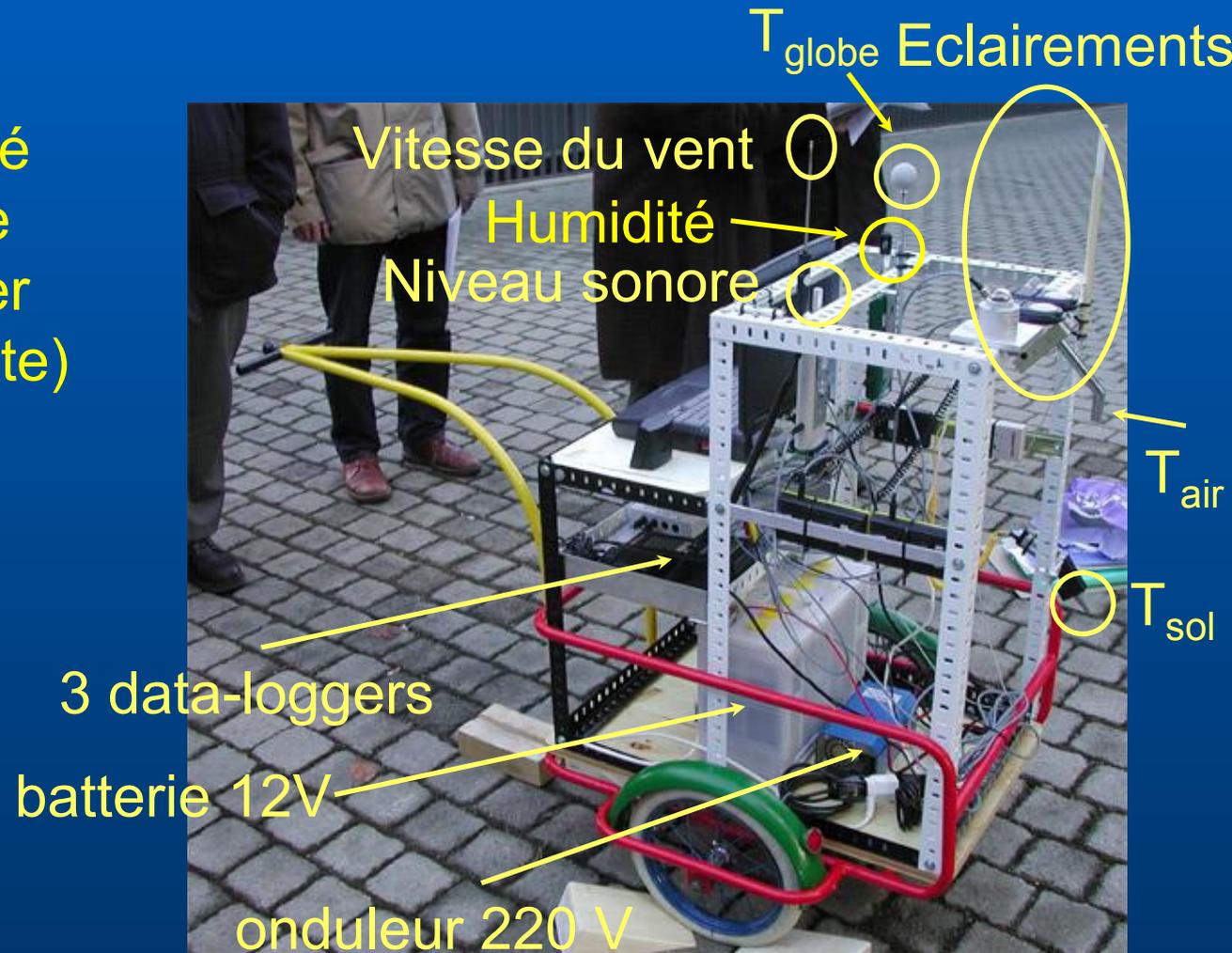
Elève / étudiant	Personne active	Touriste	Autre
------------------	-----------------	----------	-------

Quel est votre niveau de formation ?

Primaire	Secondaire / Apprentissage	Universitaire
----------	----------------------------	---------------

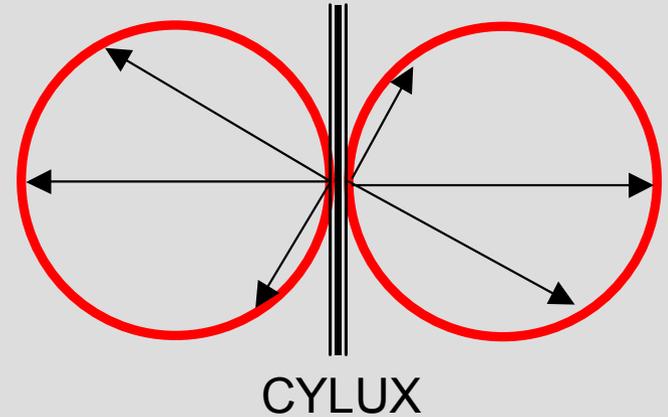
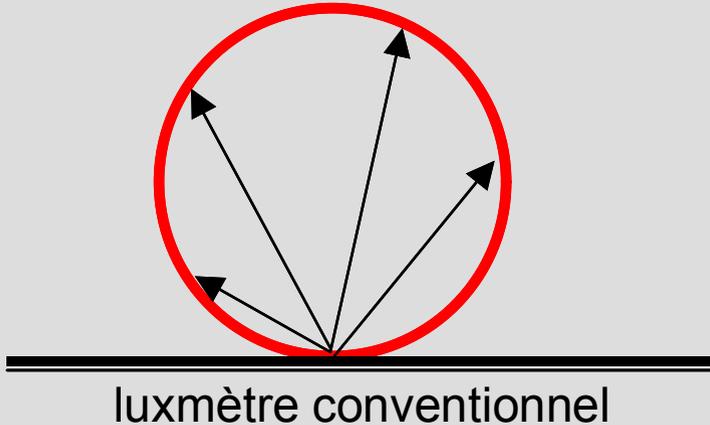
Equipement de mesure

Equipement placé sur une ancienne charrette de laitier (la Rastapoussette)



Capteur d'éclairage cylindrique

Différence de sensibilité spatiale entre un luxmètre conventionnel (qui mesure un éclairage incident sur un plan) et le capteur CYLUX qui mesure un éclairage cylindrique :



Hypothèse: l'éclairage cylindrique est plus représentatif du champ visuel perçu que l'éclairage horizontal

Meilleure corrélation avec le sentiment d'inconfort visuel ?



Enquêtes sur les sites

Interviews réalisés par
des pairs d'étudiant(e)s

~3 minutes par interview

Surprise: accueil très
favorable des usagers



Total: 1929 interviews
réalisés sur une semaine
de chaque saison pour
les deux sites

Conclusion générale

**Le climat urbain:
un champ d'investigations encore
largement ouvert...**

**et certainement très important dans la
perspective d'un
développement durable.**

CLIMAT URBAIN ET ENERGIE

Joëlle Goyette-Pernot
Raphaël Compagnon

CUEPE - Université de Genève
Séminaire énergie et environnement
09 janvier 2003

I. Le climat urbain

Introduction

Notion d'échelles

De nouvelles conditions atmosphériques et de surfaces

Contribution des activités anthropiques

Bilans radiatif et énergétique

Couche limite: turbulence, propriétés thermiques et précipitations

Couvert urbain: bilan d'énergie, îlot de chaleur, humidité et champs de vent

Conclusion

II. Le « gisement » solaire en zone urbaine

III. Projet RUROS

Introduction

source: ONU, 2001

- Une population mondiale toujours grandissante ...

Population (milliards)

	1985	2000	2015	2030
Monde	4.8	6.0	7.2	8.1

Part de la population urbaine (%)

	2000	2015	2030
Monde	47.0	53.4	60.0
Pays industrialisés	76.0	79.7	83.5
PVD	39.9	48.0	56.2
Suisse	67.7	70.9	76.3

Quelques chiffres ...

Taux d'urbanisation par année (%)	2000/2015	2015/2030
Monde	2.0	1.7
Pays industrialisés	0.5	0.3
PVD	2.6	2.1
Afrique	3.5	2.8
Europe	0.3	0.1
Suisse	0.5	0.4

Intensification de l'urbanisation → risque de problèmes
environnementaux et de société

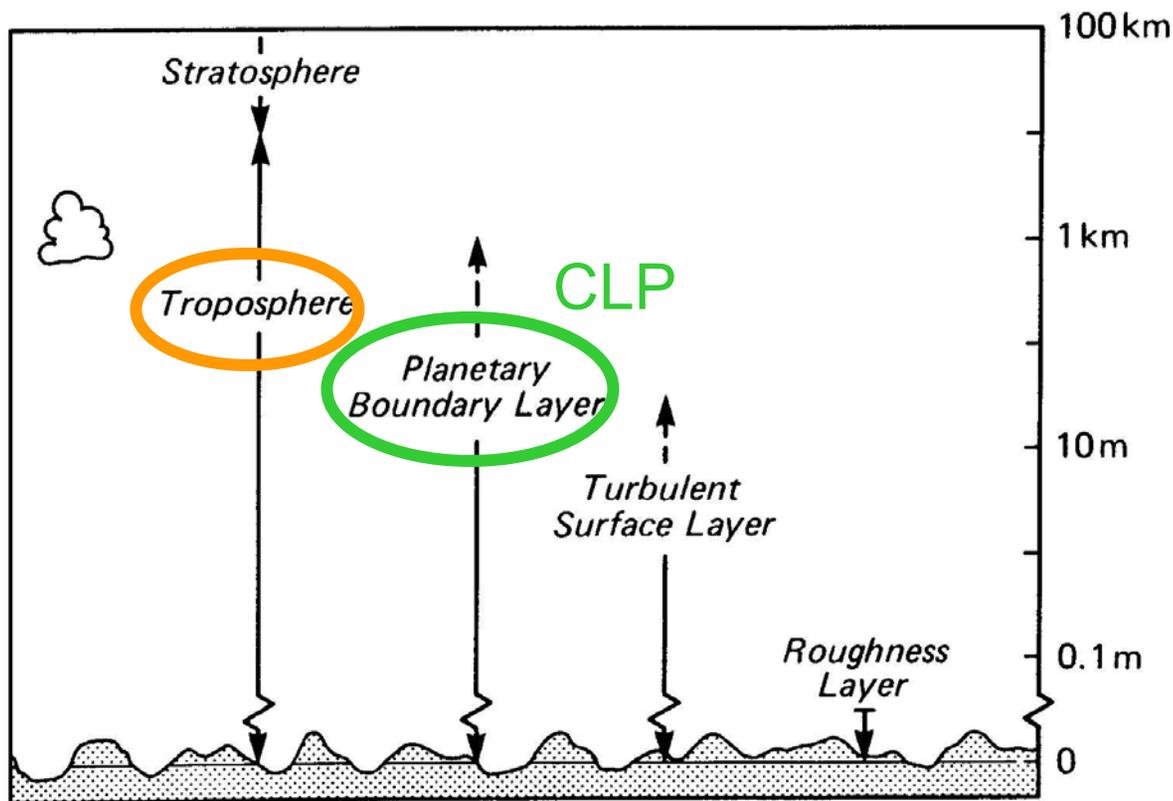
(17% de la population urbaine actuelle vit déjà sous le seuil de pauvreté)

Le climat urbain résulte de ce processus d'urbanisation
d'où l'intérêt de bien le comprendre pour intégrer ces
concepts dans le cadre de la planification urbaine!

Notion d'échelle

d'après Oke, 1987

- Etudier le climat urbain c'est s'intéresser à une partie de l'atmosphère en contact direct avec la surface du sol, donc sous son influence: la troposphère
- Considérant des phénomènes d'une période d'un jour, on s'intéresse plus précisément à la couche limite planétaire (CLP)



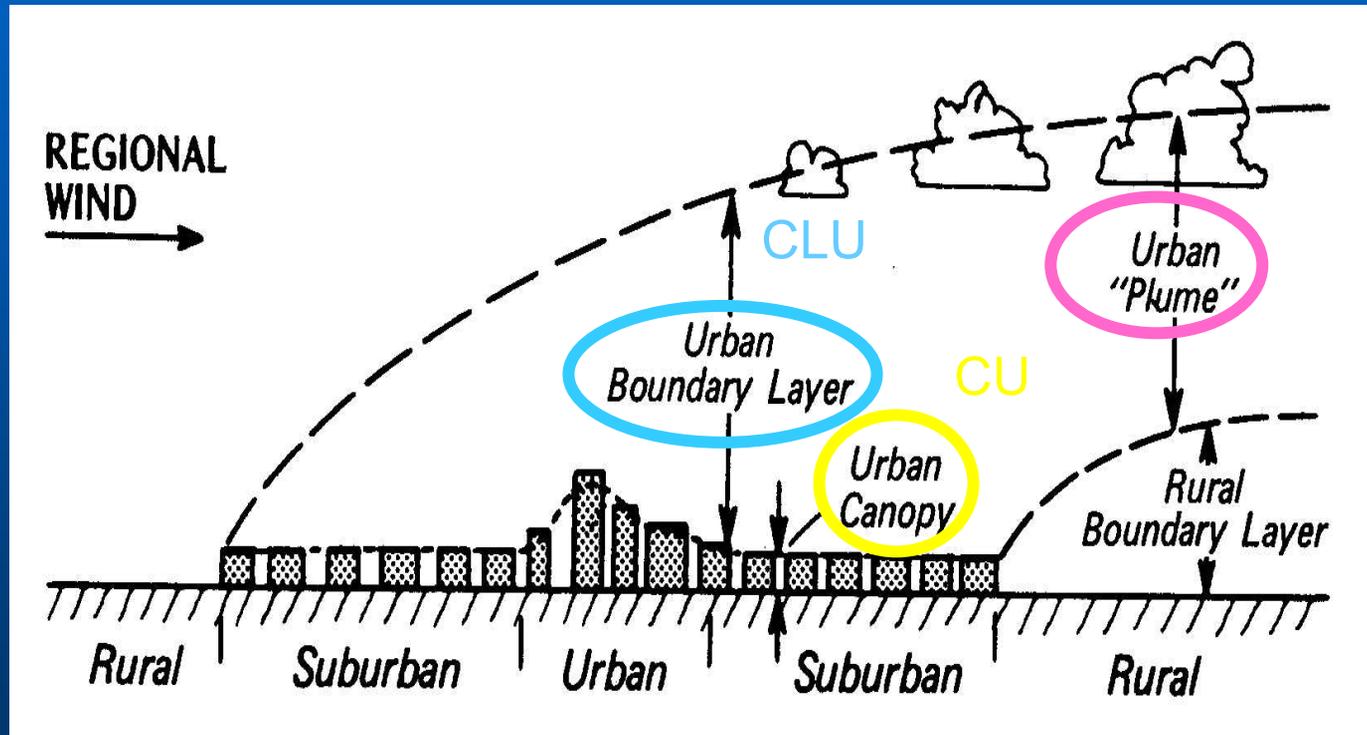
CLP est turbulente:

- friction mécanique
- convection thermique

Développement vertical
entre 1 à 2 km le jour et
100 m la nuit

Notion d'échelle

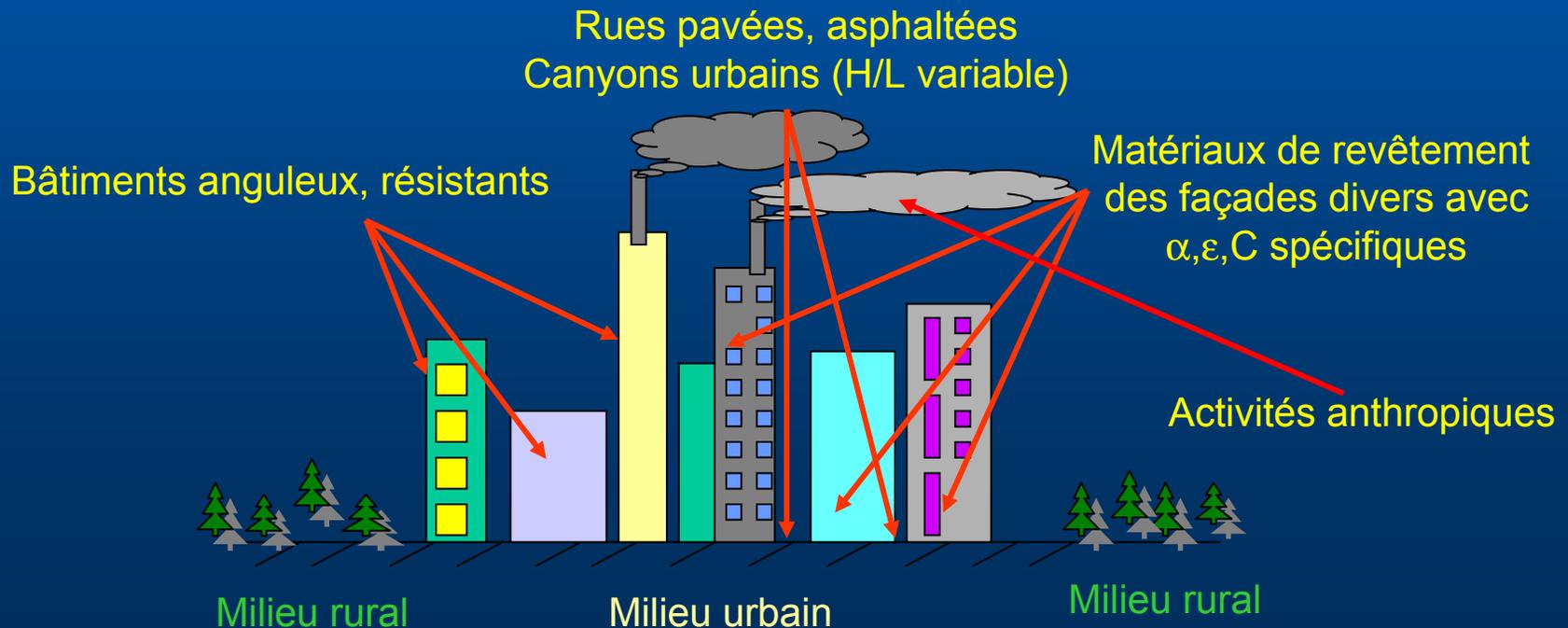
- La couche limite urbaine (CLU) ou dôme urbain se trouve dans la CLP. Elle se prolonge sous le vent de la ville par un **panache**.



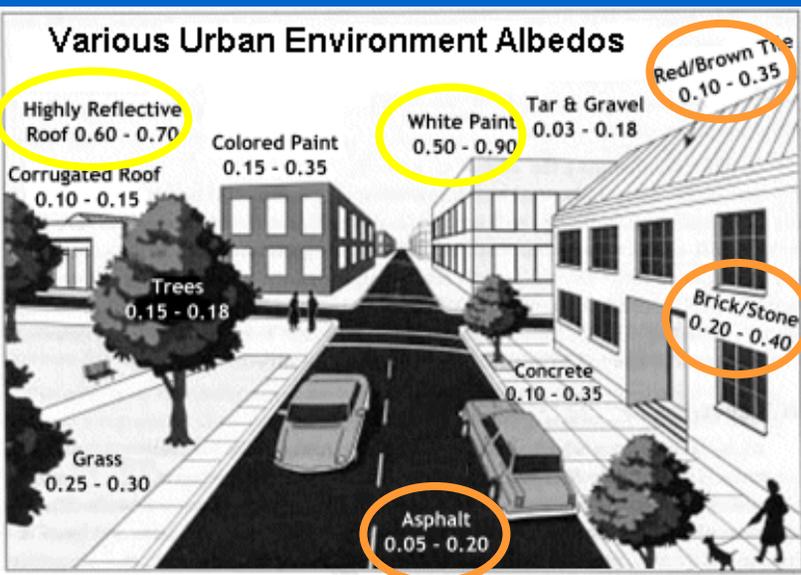
- Dans la CLU se trouve le couvert urbain (CU) entre le sol et le niveau des toits

De nouvelles conditions de surface ...

- Le processus d'urbanisation génère des changements radicaux de la nature de la surface donc des conditions atmosphériques
- La ville offre de nouvelles:
 - surfaces (caractéristiques et composition spécifiques)
 - structure (géométrie 3D)
 - activités anthropiques (émissions de chaleur, d'humidité, de gaz)

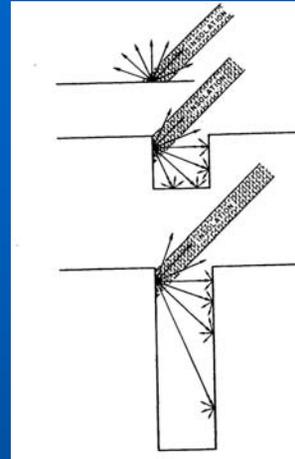


De nouvelles conditions atmosphériques ...



Albédo = α = part du rayonnement solaire incident réfléchi par une surface

Facteur de vue du ciel = à partir d'un point, rapport entre la quantité de ciel visible et la quantité potentiellement disponible



Modifications complètes des caractéristiques radiatives, thermiques, aérodynamiques ainsi que d'humidité et déséquilibre des bilans d'énergie, radiatif et hydrique naturels

L'ensemble de ces nouvelles conditions constitue le climat urbain qui prévaut dans la CLU. Amalgame complexe de micro-climats eux-mêmes déterminés par les caractéristiques de leur environnement immédiat dans le CU

Contribution des activités anthropiques

Apport de chaleur, vapeur d'eau et polluants

Contribution à l'îlot de chaleur urbain et extension de plus en plus grande de l'impact de ce type de climat perturbé de micro- voire méso-échelle au climat régional de plus grande étendue spatiale



Bilan radiatif urbain

$$Q^* = (K\downarrow - K\uparrow) + (L\downarrow - L\uparrow)$$

Rayonnement net = Rayonnement solaire + Rayonnement Infra Rouge

$K\downarrow$ rayonnement solaire absorbé par la surface converti en flux de chaleur sensible/latente.

- Absorbé de façon différentielle par surfaces
- Atténué par nature et concentration des polluants (industrie lourde 10 à 20% - smog photochimique 2 à 10%)
- Pollution → grande diffusion

$K\uparrow$ réfléchi vers l'atmosphère ou vers d'autres surfaces

- Réfléchi à 80% si surface claire ou à 20% si surface sombre
- α moyen = 0.15 pour villes des latitudes moyennes si absence de neige

$L\uparrow$ rayonnement terrestre

- plus élevé du fait de T_{air} la nuit en dépit de l'émissivité globalement plus faible en ville ($\varepsilon = 0.95$, forêt: 0.92-0.97, cultures: 0.90-0.95) et du facteur géométrique

$L\downarrow$ rayonnement atmosphérique

- plus élevé du fait de la présence de polluants qui « ferment » la fenêtre atmosphérique

Bilan énergétique urbain

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A$$

Q^* = Bilan net d'énergie

Q_F = Flux de chaleur anthropique

- propre à la ville et augmente en hiver et vers les hautes latitudes

Ex. New York, 2 fois plus importante que le flux solaire (Escourrou, 1991)

ΔQ_S = Flux de chaleur stockée

- Chaleur stockée le jour, restituée la nuit

Q_E = Flux de chaleur latente de vaporisation

- très inférieure en ville
- évaporation réduite : canalisation de l'eau et imperméabilisation des surfaces

Q_H = Flux de chaleur sensible

- très supérieure en ville

ΔQ_A = Flux de chaleur advectée

Flux d'air et turbulence dans la CLU

(d'après Oke, 1987)

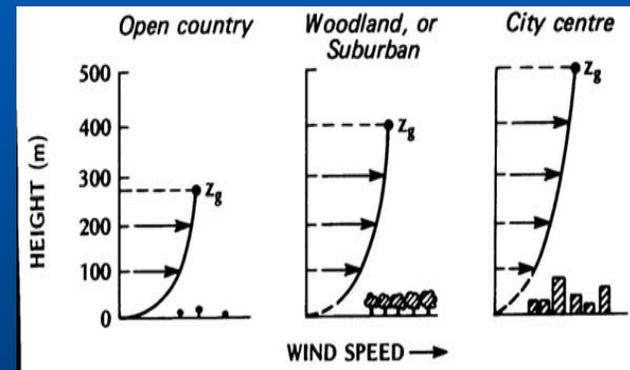
complexité du milieu →

Installations dispersées	• 0.2 – 0.6
Banlieue	
• Faible densité	• 0.4 – 1.2
• Forte densité	• 0.8 – 1.8
Ville	
• Forte densité mais moins de 5 étages	• 1.5 – 2.5
• Forte densité et plus de 5 étages	• 2.5 - 10

friction accrue de l'air à la surface

↓
longueur de rugosité (Z_0) en m
dépend de la vitesse du vent,
de la hauteur et de la densité du bâti

↓
modification de la vitesse et



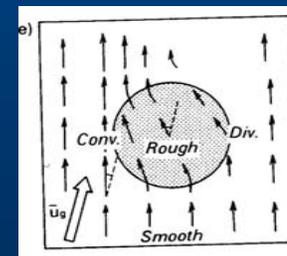
← Turbulence développée: CLU

↓
Développement du dôme urbain
jusqu'à 250 m d'altitude pendant la
journée



Sous le vent de la ville, subsidence et
panache en altitude sur plusieurs km

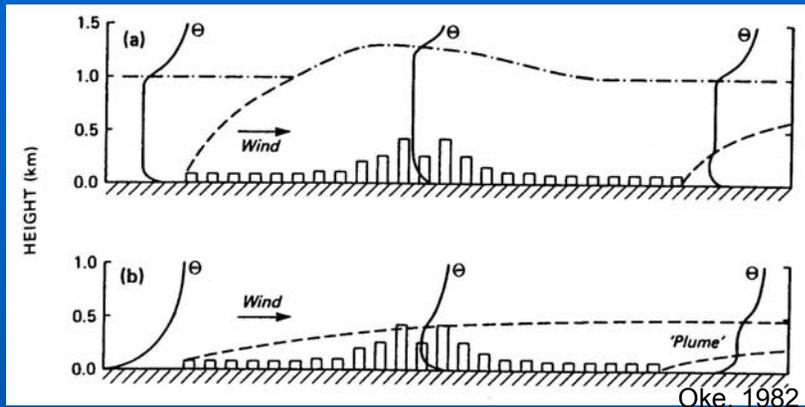
de la direction du flux d'air régional



Convection forcée et développement du dôme urbain

Propriétés thermiques de la CLU

- Advection d'air rural plus frais dans la CLU



Jour
influence urbaine: 0.6 à 1.5 km
convection mécanique et thermique

Nuit
influence urbaine: 0.1 à 0.3 km

- A l'inverse du milieu rural, l'atmosphère urbaine ne connaît pas de très forts changements de stabilité entre jour et nuit. Le manque de stabilité nocturne et le maintien de la couche de mélange explique la raison des vents urbains moyens plus forts la nuit

- Raisons de l'anomalie positive de température dans la CLU:

- sources anthropiques de chaleur
- augmentation de la chaleur sensible venant de la surface (CU)
- augmentation de la chaleur sensible venant de l'îlot de chaleur
- absorption accrue des courtes longueurs d'onde par la pollution

- inversion thermique d'altitude permettant le transfert d'air plus chaud vers le bas grâce à la turbulence urbaine

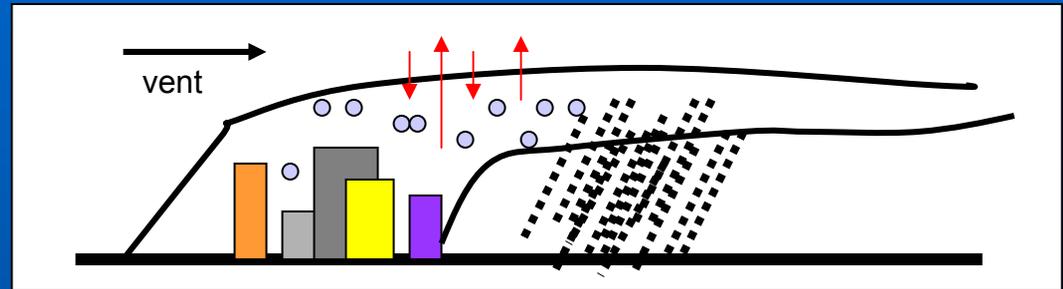
Précipitations et CLU

Panache urbain - conditions favorables au développement de précipitations convectives

1. vapeur d'eau

2. noyaux de condensation

3. mouvements convectifs ascendants permettant la condensation



- Précipitations 5 à 30% plus abondantes sous le vent des centres urbains surtout l'été

Cas de Saint Louis, Missouri (Changnon *et al.*, 1971)

la zone de plus fortes précipitations (15% supérieures) se situe à 20 km à l'est de la ville

- Précipitations violentes (orages de grêle) peuvent avoir lieu 20 à 40 km sous le vent de la ville (Changnon, 1981)

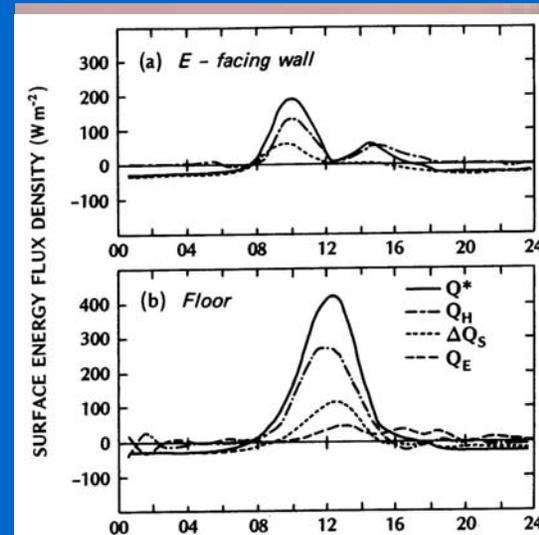
Bilan d'énergie sous le couvert urbain

- Grande complexité à la surface
- Canyon = volume d'air compris entre 3 surfaces actives (façades et sol) et 3 ouvertures (ciel au niveau des toits et 2 entrées de rue)
- Variété de micro-climats résultant de l'angle d'incidence du soleil et des zones d'abri au vent. A ces caractéristiques s'ajoutent celles des matériaux de construction (α , ε , C) et celles de la géométrie urbaine

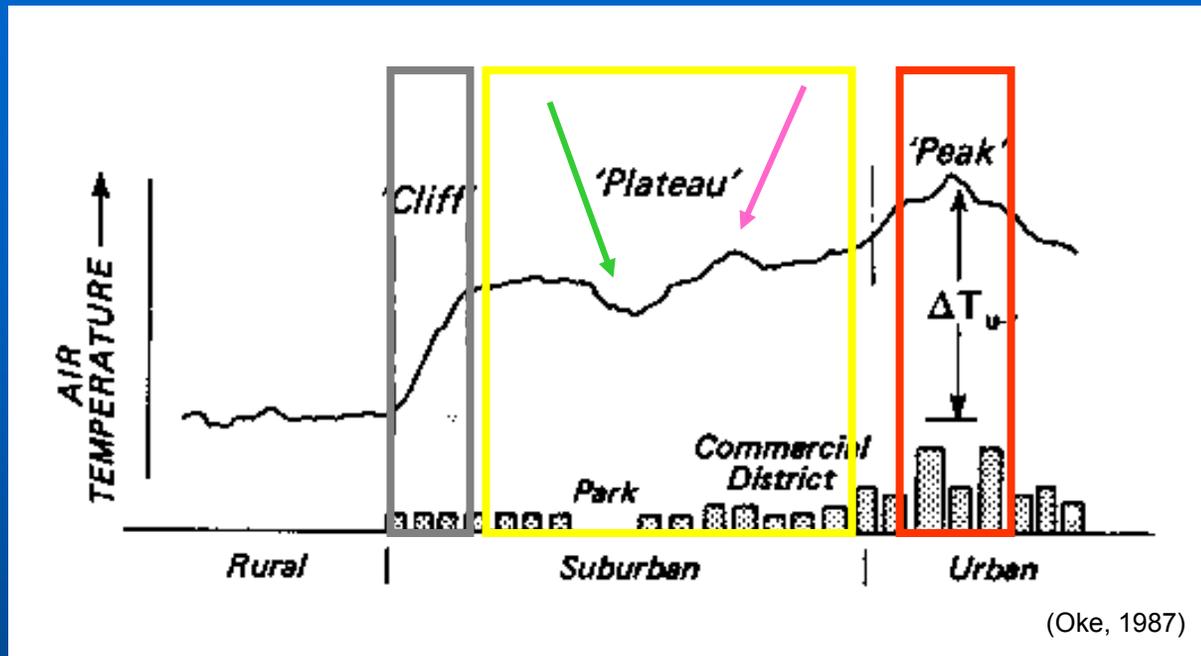
Cas du bilan d'énergie d'un canyon orienté NS

(H/L=1, murs de ciment blancs, sans fenêtre, gravier et végétation éparse au sol)

- Matin: façade Est première irradiée, sol et façade Ouest à l'ombre. Q^* augmente jusqu'à ce que tout le mur soit ensoleillé puis diminue. Angle d'incidence moins favorable
- Après midi: façade Est à l'ombre mais reçoit le rayonnement de courte λ diffus du mur Ouest. Le sol est ensoleillé seulement à midi. La courbe de Q^* symétrique et plus élevée car albédo est très faible comparativement à celui des façades
- Nuit: Bilan de longues λ (Infra rouge) faible du fait du facteur de vue du ciel réduit et pertes par conduction
- Jour: 70-80% du surplus d'énergie radiative dissipé via transferts turbulents, les 20-30% restant étant stockés dans les surfaces actives



Îlot de chaleur urbain - définition



« Falaise » - limite entre milieux rural/urbain: fort gradient de température.
Gradient horizontal de $4^{\circ}\text{C}/\text{km}$

« Plateau » - la plus grande partie de la zone urbaine: gradient moins marqué
mais toujours positif. Uniformité influencée par espaces verts ou zones plus
denses

« Pic » maximum de chaleur au centre ville: ΔT_{u-r}

Îlot de chaleur urbain – caractérisation

Principales caractéristiques

- Refroidissement ralenti de l'air urbain en fin d'après midi et soirée: T_{\min} élevée
- ΔT_{u-r} croît autour du coucher du soleil
- atteint maximum 3 - 5 heures plus tard
- diminue pendant le reste de la nuit
- Conditions idéales: ciel clair et vent faible
- Réchauffement ralenti en ville au lever du soleil

Quelques effets positifs ... quelques effets négatifs

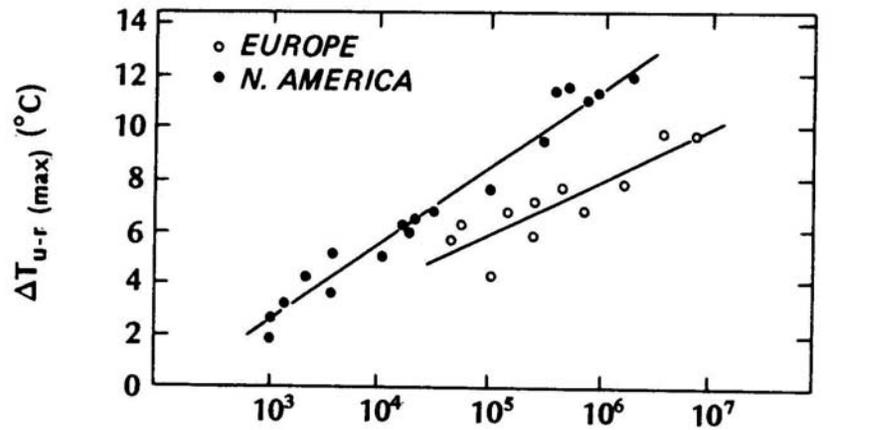
Floraison hâtive de la végétation	Stress thermique
Plus longue saison de croissance	Besoin estival accru de climatisation
Attractivité pour certaines espèces d'oiseaux	Brumes et smogs plus fréquents Ex. Los Angeles, pour chaque $^{\circ}\text{F} > 70^{\circ}\text{F}$ l'incidence de smog augmente de 3%
Diminution hivernale du besoin de chauffage	Source: EPA/NASA- Urban heat island pilot project (UHIPP)

Îlot de chaleur urbain ...

une fonction de ...

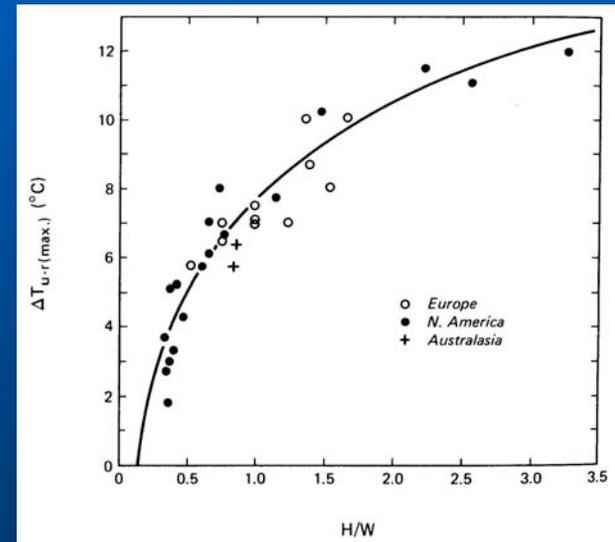
La taille de la ville

Oke, 1983



La géométrie et la densité urbaine

Oke, 1981



- Participent au processus d'emprisonnement de $K\downarrow$ et de $L\uparrow$
- Réduisent le transport turbulent - effet d'abri
- Modification des surfaces d'origine

Humidité et brouillard sous le CU

Humidité

- Jour, CU plus sec
- Nuit, CU plus humide car faible évaporation, peu de rosée, émission de vapeur anthropique et stagnation du flux d'air
- Après le lever du soleil, recharge de l'air rural en humidité et assèchement de l'air urbain
- Sous les climats froids, le milieu rural peut être plus sec le jour en hiver du fait de la présence de neige, de gel et de la dormance de la végétation alors qu'en ville les besoins de chauffage produisent suffisamment d'humidité

Brouillard

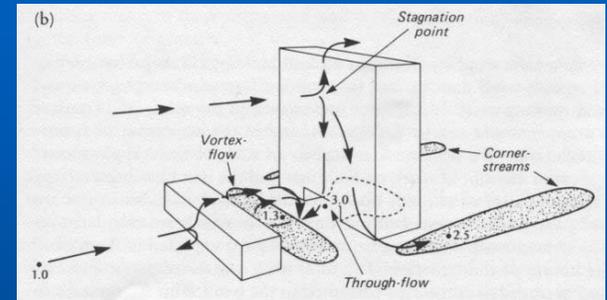
- Visibilité moins bonne mais fréquence d'occurrence inverse de brouillards épais

Champs de vent sous le CU

Ralentissement normal observé de la vitesse du vent

Deux exceptions

1. Déviation du flux d'air supérieur le long des façades des hauts buildings et accélération du flux dans les canyons: corridors d'accélération



2. Installation d'un fort gradient de température entre les milieux et génération d'une brise de bas niveau de l'extérieur vers l'intérieur de la ville (cf. brise de lac) pendant îlot de chaleur

Notion de confort

Problèmes associés aux zones de turbulence et vortex. Zones de danger et d'accumulation de poussières

Dans régions froides, facteur de refroidissement des individus

Dans régions chaudes, facteur de ventilation apprécié

Conclusion

1. Cas des régions de basses latitudes:

Quantifier les bénéfices potentiels de l'utilisation de végétation et de surfaces plus réfléchissantes en terme d'économie d'énergie (Akbari H., Heat Island Group, L.Berkeley National laboratory, 1999)

Surfaces plus réfléchissantes - réduire l'emploi de la climatisation
Plantation d'arbres - augmenter les zones ombragées

- Surface plus claire \rightarrow réflexion plus grande du rayonnement $K \downarrow \rightarrow T_{air} \downarrow$
- Présence de végétation \rightarrow évapotranspiration $\uparrow \rightarrow T_{air} \downarrow$

Résultats - Estimation de l'énergie économisée:

- entre 5 et 20 % en Floride et Californie dans des centres commerciaux
- entre 30 à 45 % grâce à la plantation d'arbres dans des jardins à Sacramento et en Floride
- économie potentielle de 5 milliards de \$ par an pour les USA (simulation mathématique)

Conclusion

2. Cas des régions de moyennes et hautes latitudes:

Si des toitures hautement réfléchissantes réduisent les besoins en énergie pour refroidir en été sous des climats chauds, peut-on imaginer que des toitures faiblement émettrices pourraient diminuer les besoins en énergie de chauffage sous des climats plus froids?

- Sous un climat chaud, l'usage de couvertures faiblement émettrices entraîne une augmentation de la facture annuelle d'énergie jusqu'à 10 %
- Sous un climat tempéré, ceci n'a pas d'effet notable
- Sous un climat froid, l'usage de couvertures faiblement émettrices entraîne une diminution de la facture annuelle de près de 3%

3. Modification des normes ASHRAE 90.1 pour le non résidentiel et 90.2 pour le résidentiel

- Mesures incitatives

Îlot de chaleur urbain – causes

Augmentation de l'absorption du rayonnement solaire	Géométrie Plus de surfaces actives Réflexion multiple
Augmentation du rayonnement IR céleste	Pollution Forte absorption et ré-émission
Diminution des pertes radiatives IR terrestres	Géométrie Réduction du facteur de vue du ciel
Sources de chaleur anthropiques	Activités industrielles, chauffage, climatisation, transport
Augmentation du stockage de la chaleur sensible	Matériaux de construction Capacité thermique accrue
Diminution de l'évaporation	Matériaux de construction Imperméabilisation des surfaces
Diminution du transport turbulent de chaleur	Géométrie des canyons Réduction de la vitesse du vent