



Les **6^{es}** Rencontres
du **Végétal**

10/11 JANVIER 2011

AGROCAMPUS OUEST - Centre d'Angers
Institut National d'Horticulture et de Paysage

Façades et toitures : impacts climatiques et thermiques

Marjorie Musy
CERMA - UMR CNRS 1563
Ensa Nantes



Emmanuel Bozonnet
LEPTIAB
Université de La Rochelle





Des problématiques imbriquées :

La densification des villes en opposition à l'étalement périurbain

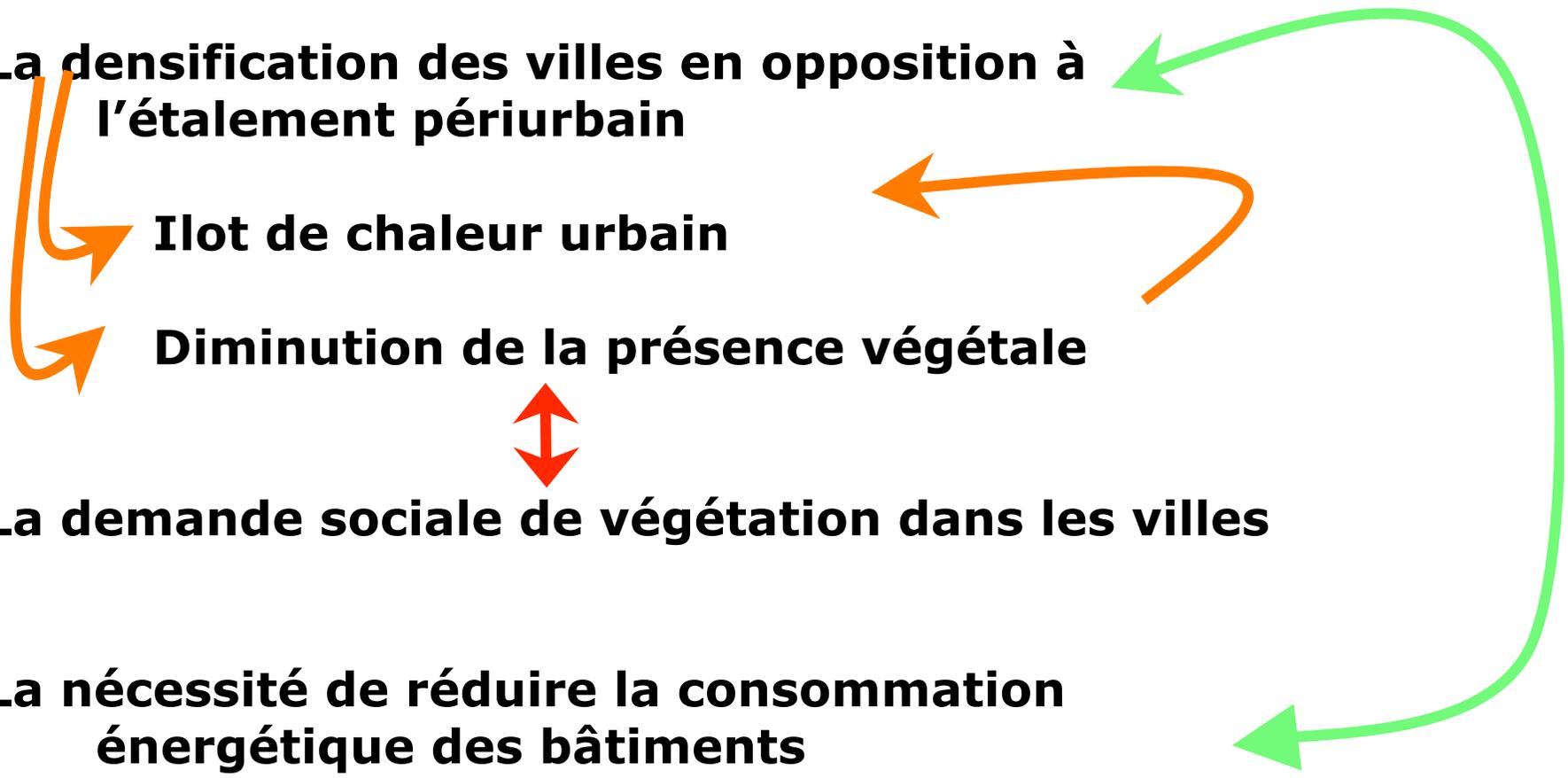
Ilot de chaleur urbain

Diminution de la présence végétale



La demande sociale de végétation dans les villes

La nécessité de réduire la consommation énergétique des bâtiments



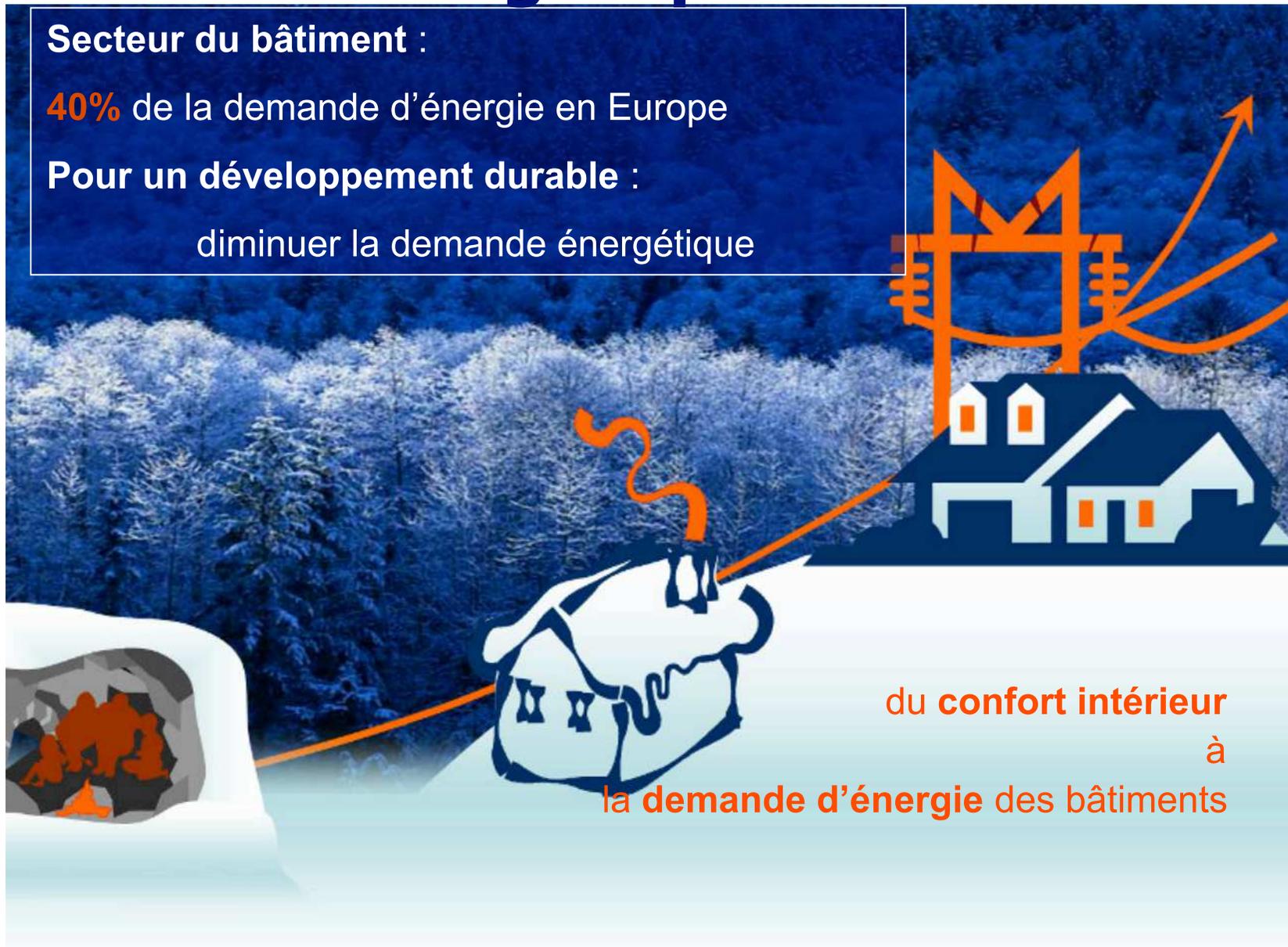
Contexte énergétique

Secteur du bâtiment :

40% de la demande d'énergie en Europe

Pour un développement durable :

diminuer la demande énergétique



du confort intérieur
à
la demande d'énergie des bâtiments

Contexte Climatique

Charges anthropogéniques
(bâtiments, transports, ...)

Ensoleillement

Effet du Smog urbain

- Absorption & Accumulation de chaleur du fait de la morphologie urbaine et des matériaux et de la disparition de la végétation.
- Absence de rafraîchissement par évapotranspiration des végétaux.

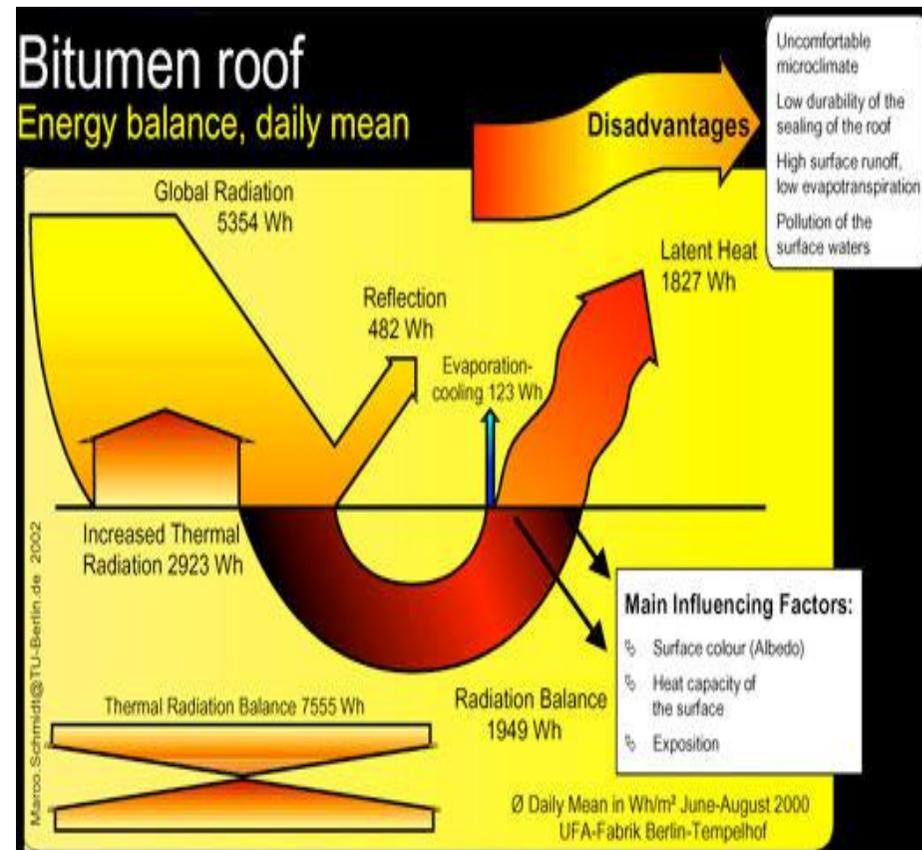
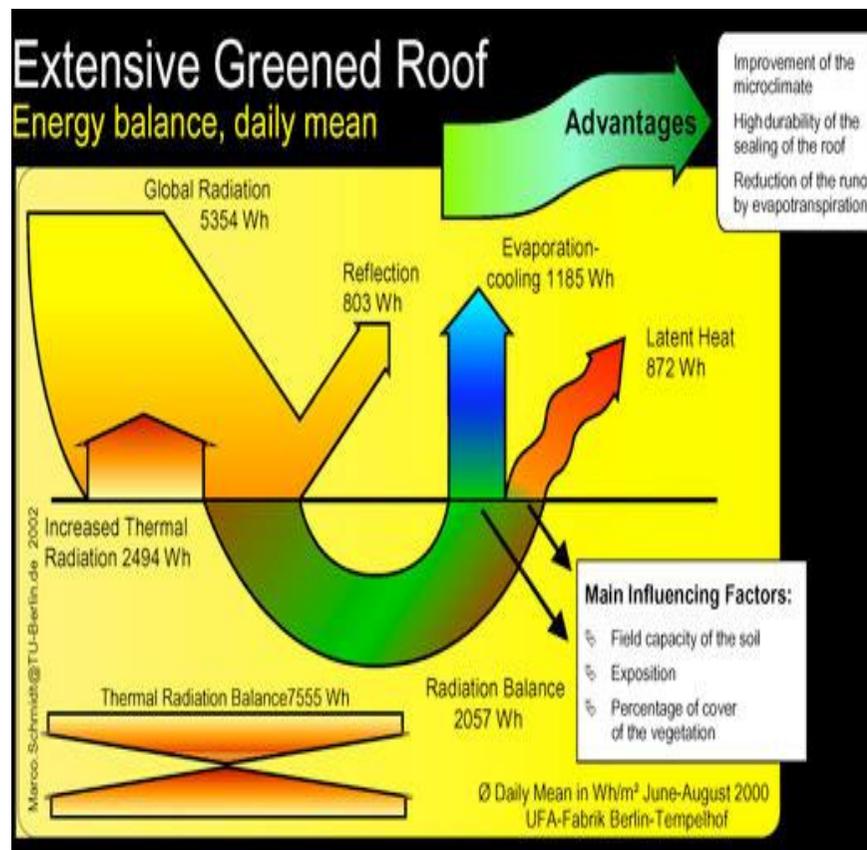
Développement de
la climatisation d'été

Population urbaine: 76% en Europe (2001)

1 - Rôles thermiques des Toitures végétales

Bilan énergétique des TTV / TT (TTV = Toiture Terrasse Végétale)

- Energie radiative absorbée par la TTV moins importante
- Energie réfléchiée par la TTV plus faible
- Evapotranspiration plus importante pour la TTV
- Energie transmise au milieu environnant plus faible



Toronto : Hypothèse 75 % des toits végétalisés

Consommation énergétique de bâtiments

21 millions de \$ économisés sur électricité

Demande d'électricité réduite lors de pics de 114,6 MW (1 réacteur de centrale nucléaire ~ 1000 MW)

Réduction des émissions de CO₂ : 56 300 tonnes/an

Ilot de chaleur urbain

Energie économisée = 2,37 kWh/m² de toit vert
coût correspondant : 12 millions de \$

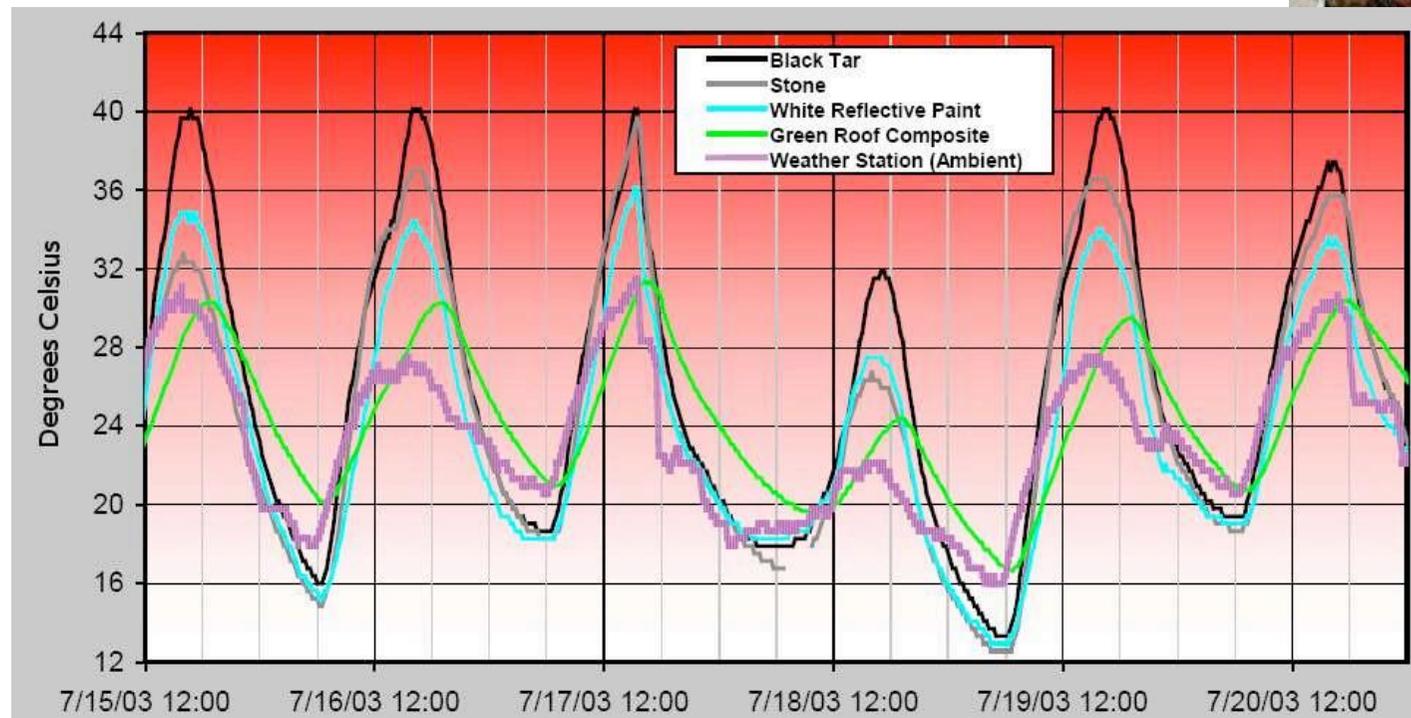
Réduction des pics de consommation : 133 MW

Réduction des émissions de CO₂ de 32 200 tonnes

Source Report on the environmental benefits and costs of green roof technology for the city of Toronto – Ryerson University(2005)

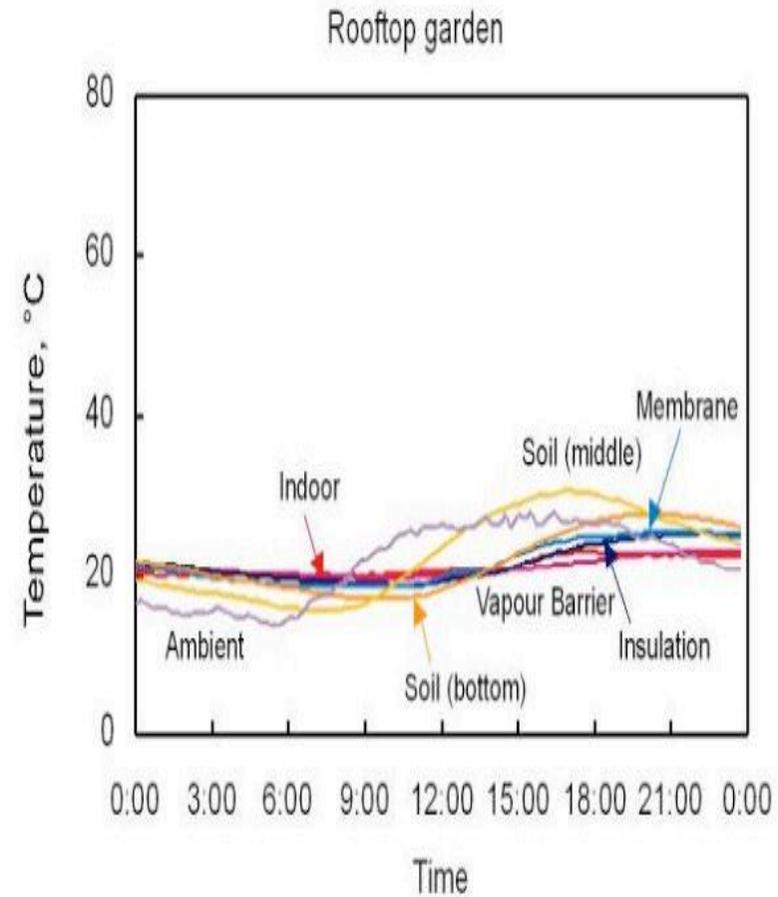
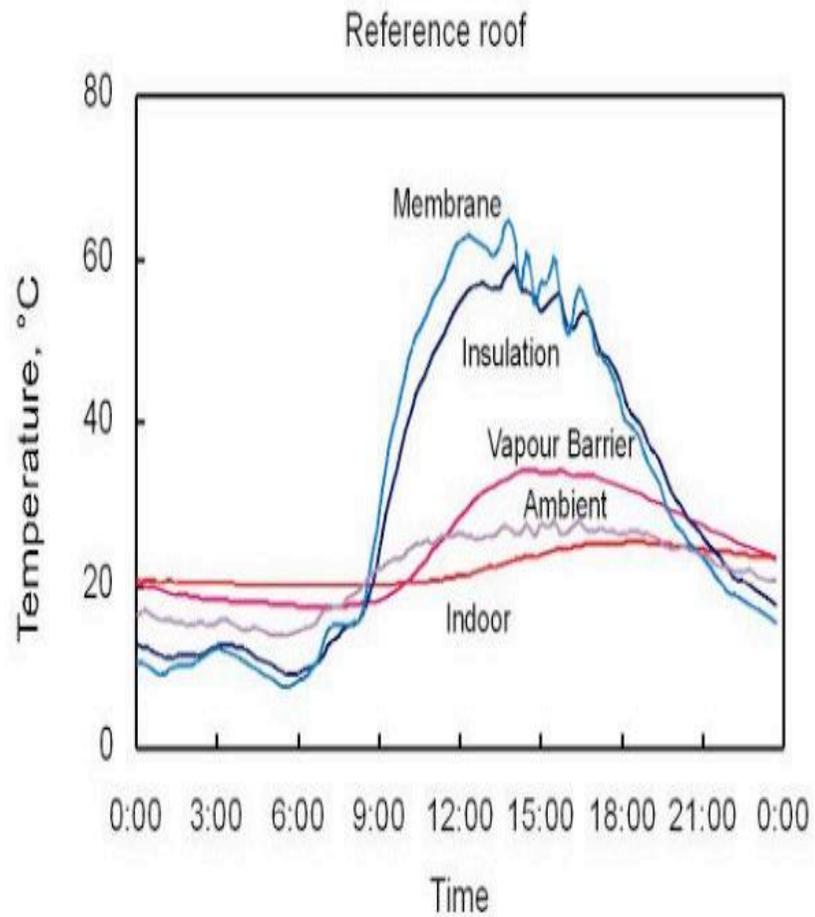
Chicago

Suivi hydraulique et énergétique de toits expérimentaux de 4 m² :



Effet des TTV sur la température de surface

Travaux de Karen Liu et Brad Bass (BCIT)



Effet des TTV sur la demande énergétique moyenne journalière

Liu et Brad Bass (BCIT)

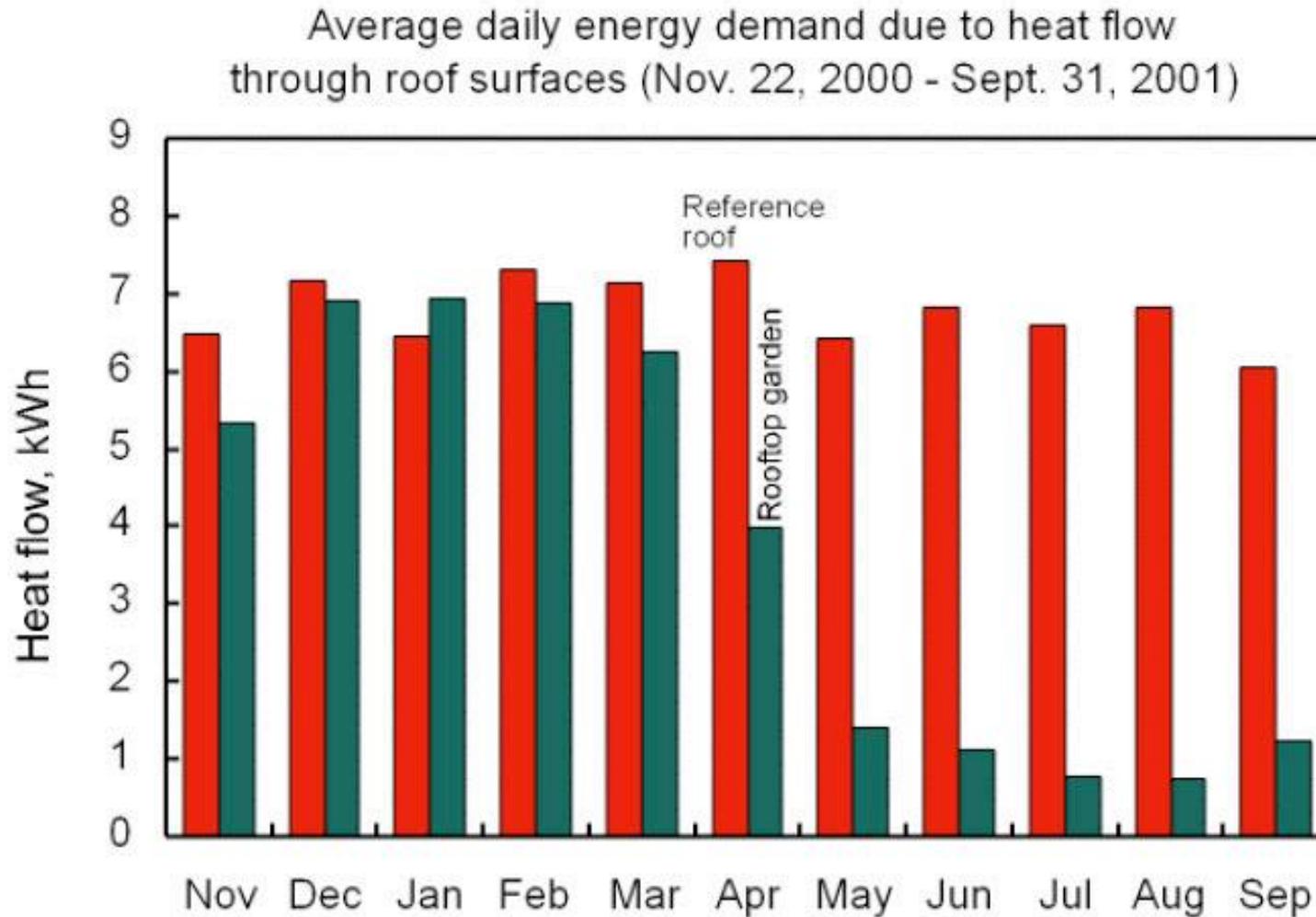


Figure 5 – Heat flow measurement showed that the average daily energy demand due to the heat

Brésil

Effet des TTV sur la température dans le substrat

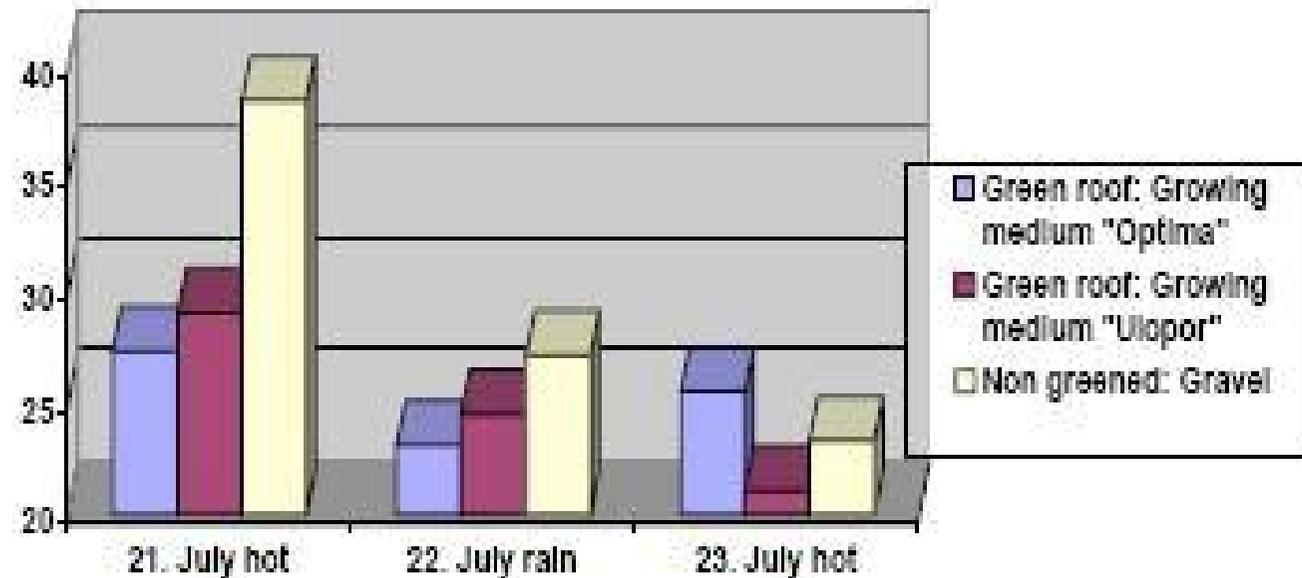


Fig 2: Temperature inside two substrates: Green-optima, Green Ulopor and under a gravel layer just above the sealing layer. Av. day temperature (x mean from 5 minute – value of the days) (Pt-100 – Values)

La TTV permet une réduction de la température dans le substrat pouvant dépasser 6 °C

M. Köhler, M.Schmidt, M.Laar, *ROOF GARDENS IN BRAZIL, RIO 3 - World Climate & Energy Event, 1-5 December 2003, Rio de Janeiro, Brazil*

Effet de la TTV sur la température de surface

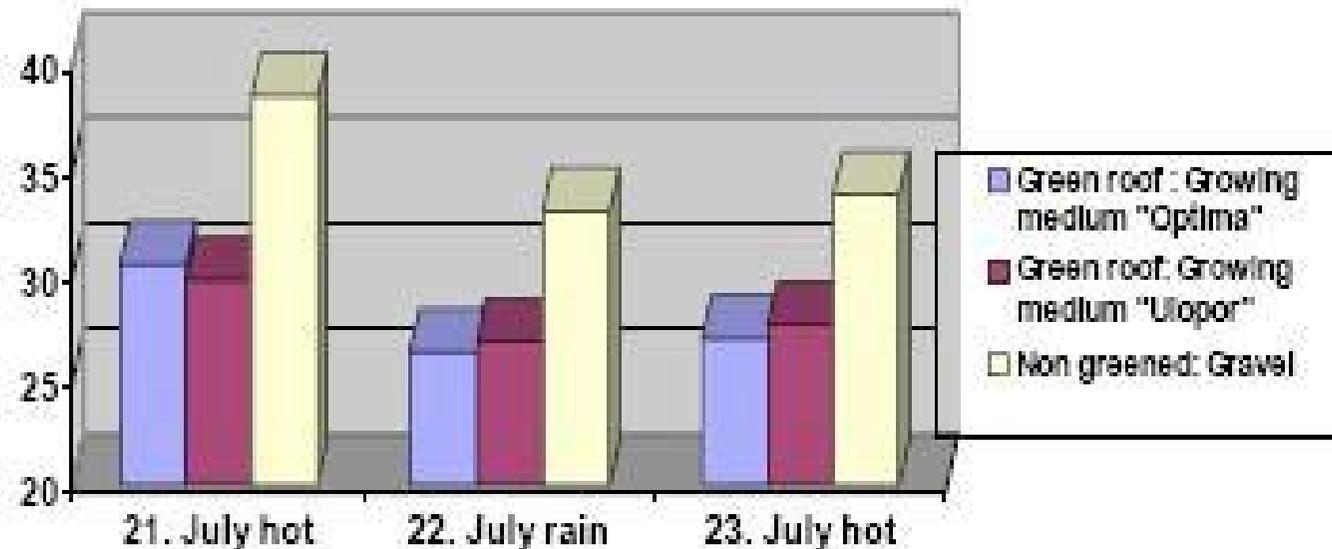


Fig. 3: Average surface temperature of two different green roofs and of a gravel layer (Infrared-temperature measurements) on a hot summer day (21st of July), on a rainy day (22nd of July and on the following day).

*Réduction de $T_{surface}$ de l'ordre de 5 °C
(d'après Köhler/ Schmidt/Laar)*

Autres résultats

Wong et al. (2003) : flux de chaleur sur 24 h sur toit végétalisé = 10 % du flux pour un toit référence (Singapour) possibilité de baisser la température ambiante de 4°C en conditions tropicales

Onmura et al. (2001) : réduction du flux de chaleur sur 1 an de l'ordre de 50 % (Japon)

Saiz et al. 2006 (Espagne) : lors d'un pic de chaleur, besoin de refroidissement réduit globalement de 10 % sur un bâtiment (- 25 % pour le dernier étage, puis -9 %, -2 % et -1 %)

2 - Rôles thermiques des Façades végétales



Revêtement



Brise-soleil



Élément de paroi

Protection des parois opaques en fonction de la densité foliaire

Couche de protection par une cavité d'air
Pas d'inertie

Limitation des transferts convectifs

Evaporation du feuillage

Protection des ouvertures en fonction de la densité foliaire

-

-

Evaporation du feuillage

Protection solaire complète des parois opaques

Résistance thermique dépendant et possibilité d'ajout d'isolation

Inertie

Limitation des transferts convectifs

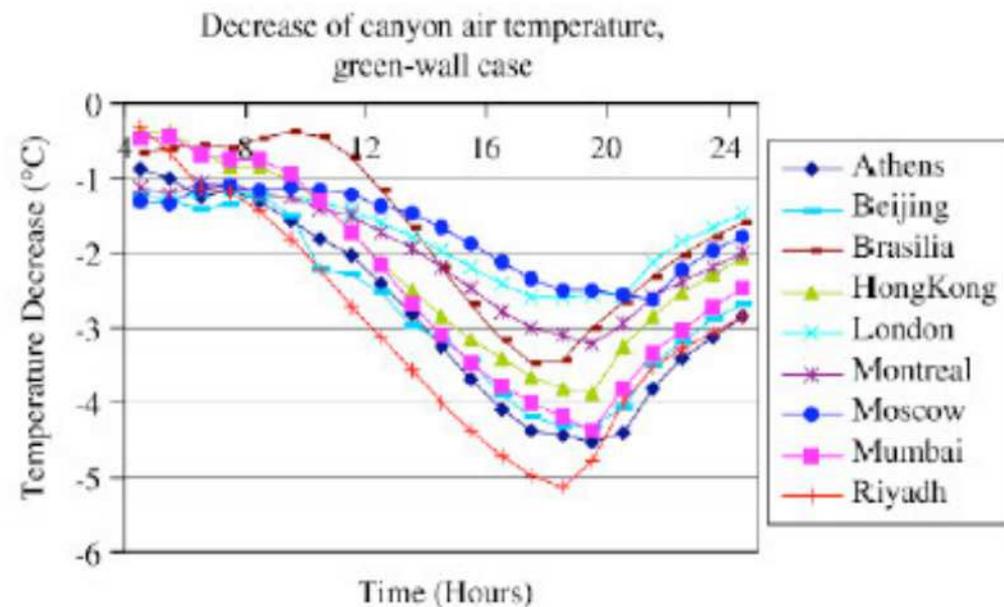
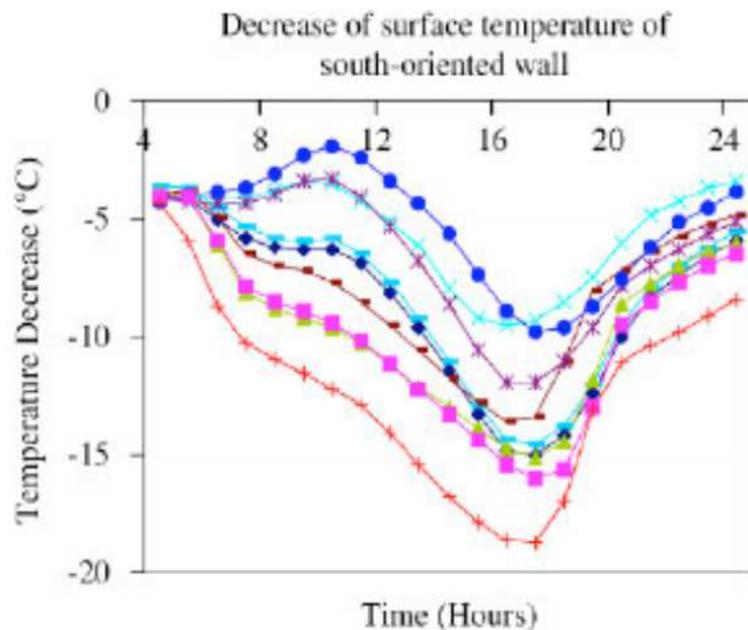
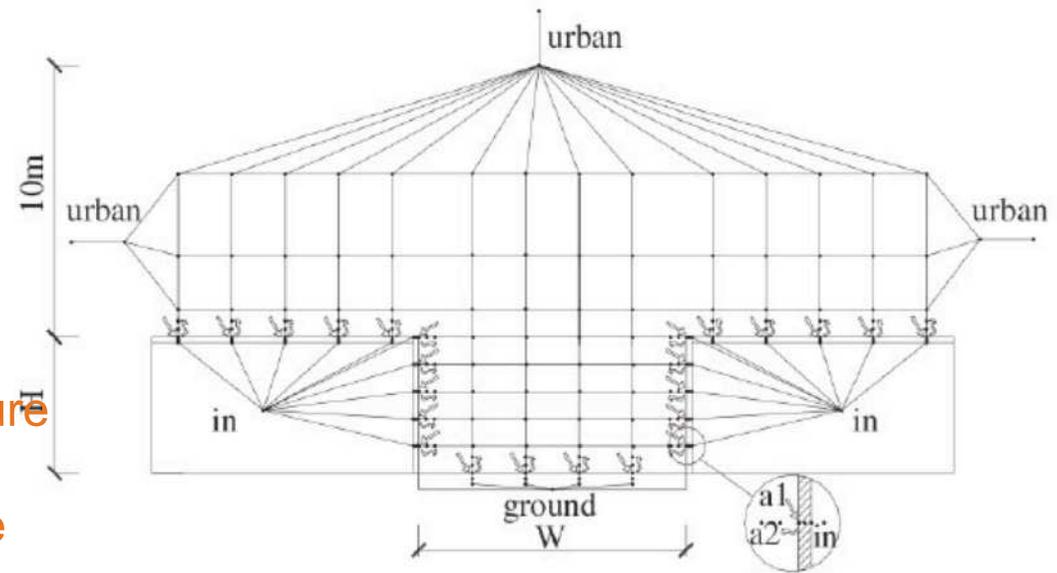
Evaporation du feuillage et du substrat

Etudes

Article	Contexte	Orientation	In situ	Simulation	Energie	Microrclimat	T° feuillage	T° Mur végétalisé	T° Mur nu
Hoyano 1988	Japon	Ouest	X		X	X	33	28	46
Zaiyi 1998	Hong Kong	Nc		X	X				
Di 1999	Chine	Ouest	X	X				35	54
Eumorfopoulou 2005	Grèce	Est	X		X		35	34	43
Alexandr i2008	Variable	Variable		X	X	X			
Tsoumarakis 2008	Grèce	Ouest		X	X			40	43

Simulations différentes villes

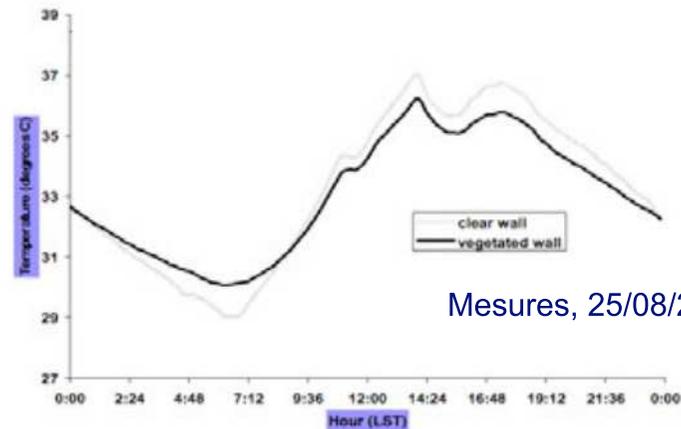
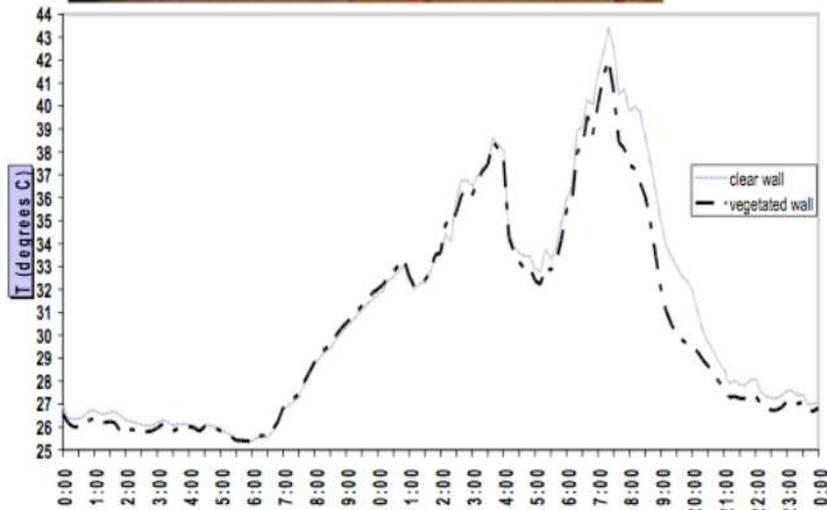
E. Alexandri and P. Jones. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. Building and Environment, 43(4) :480493, Apr. 2008.



Athènes



Façade ouest, épaisseur 21cm brique.
Plante : *Parthenocissus tricuspidata* (feuillage caduque).



Mesures, 25/08/2003

Month	Cooling load variation(%)	Heating load variation(%)
Jan		0.7
Feb		1.9
Mar		2.1
Apr		2.5
May	1.2	4.1
Jun	2.3	
Jul	2.3	
Aug	3	
Sep	1	3
Oct		2.8
Nov		2.2
Dec		1.6

Simulation

THERMAL PERFORMANCE OF A VEGETATED WALL DURING HOT AND COLD WEATHER CONDITIONS

C. Tsoumarakis, et al., 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008

Mais transposition de ces résultats difficiles car différences

- de climat

- de constitution du bâti

- d'usage

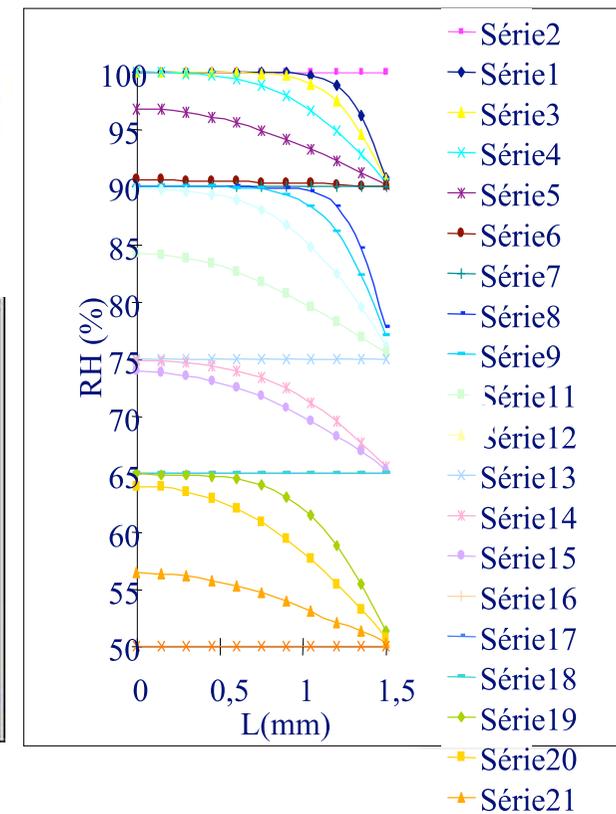
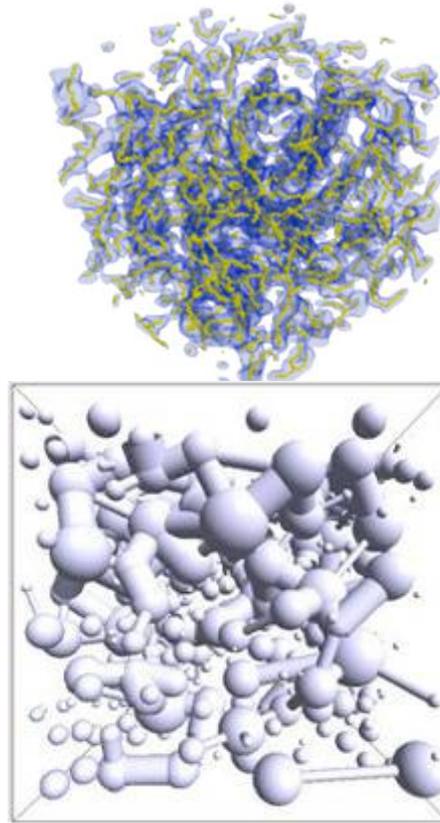
3 - Compléments d'études dans VegDUD (et autres projets LEPTIAB & CERMA)

Compréhension des phénomènes physiques en jeu

transferts de masse et de chaleur

Caractérisation à l'échelle micro

- ✓ thermique :
- ✓ hydrique
- ✓ micro structurel

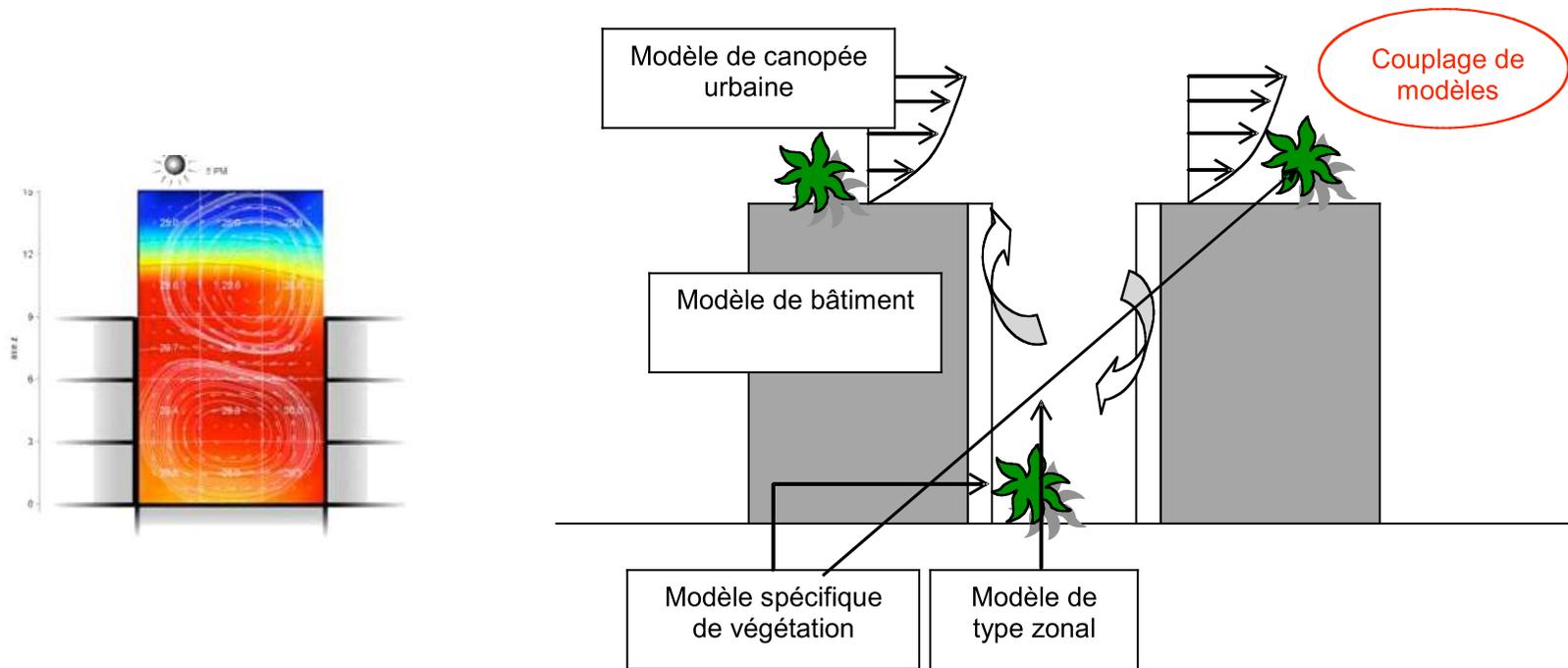


Modélisation à l'échelle du dispositif

- Traduction des phénomènes physiques forme de modèles mathématiques en prenant en compte les résultats obtenus durant la phase de caractérisation
- Evaluation du comportement des TTV et FV pour différents scénarii
- Définition des paramètres les plus influents

Modélisation dans SOLENE (CERMA), TRNSYS, et modèles réduits (LEPTIAB)

Modélisation à l'échelle du bâtiment et du quartier



- Intégration des modèles développés dans un code de calcul évaluant le comportement des bâtiments
 - Evaluation de la performance énergétique des bâtiments
 - Evaluation du degré de confort intérieur
 - Evaluation de l'incidence sur le microclimat urbain

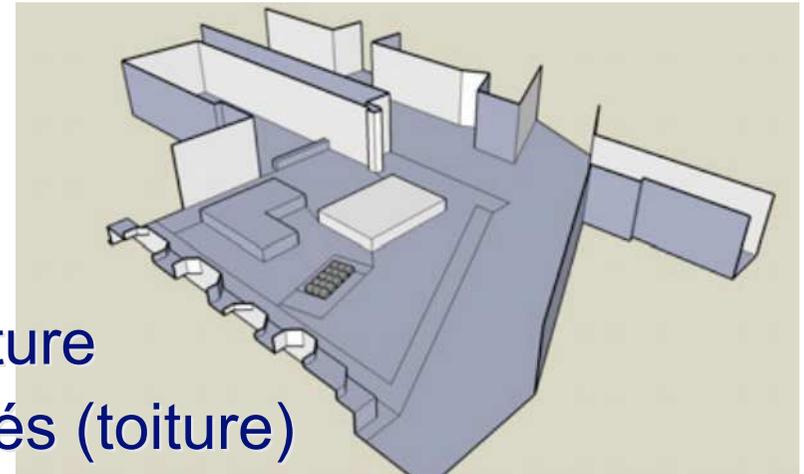
Validation des modèles

Vérifier sur les modules expérimentaux (Plateforme CLIMABAT du LEPTIAB) et sur des bâtiments existants que les modèles utilisés sont corrects et que les simulation numériques prédisent fidèlement ce qui se passe à l'échelle du bâtiment et du micro-climat urbain

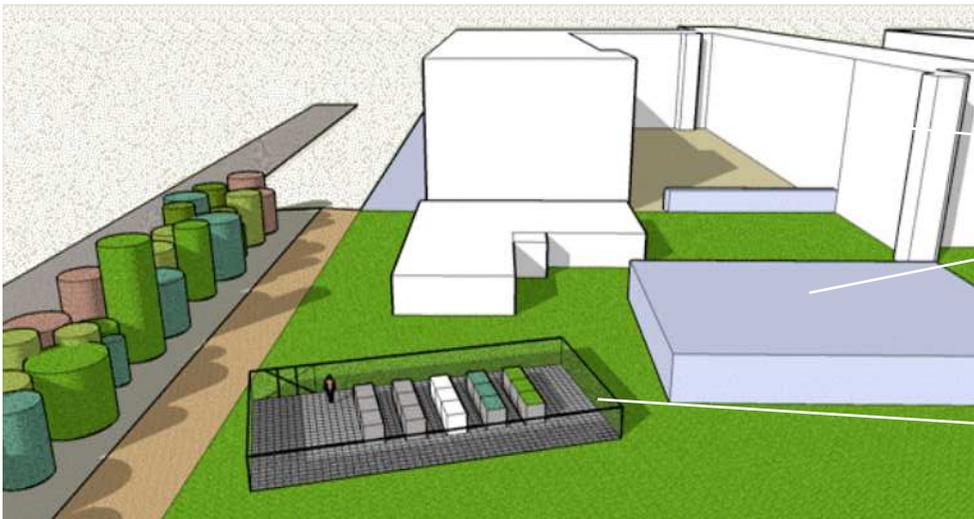
Expérimentation

Climabat : banc d'étude de l'interaction bâtiment/rue

- 5 bâtiments / 4 rues canyon
- Axe nord/sud
 - 1 rue témoin (béton)
 - 2 rue peintes en façade et/ou toiture
 - 1 rue avec 2 bâtiments végétalisés (toiture)

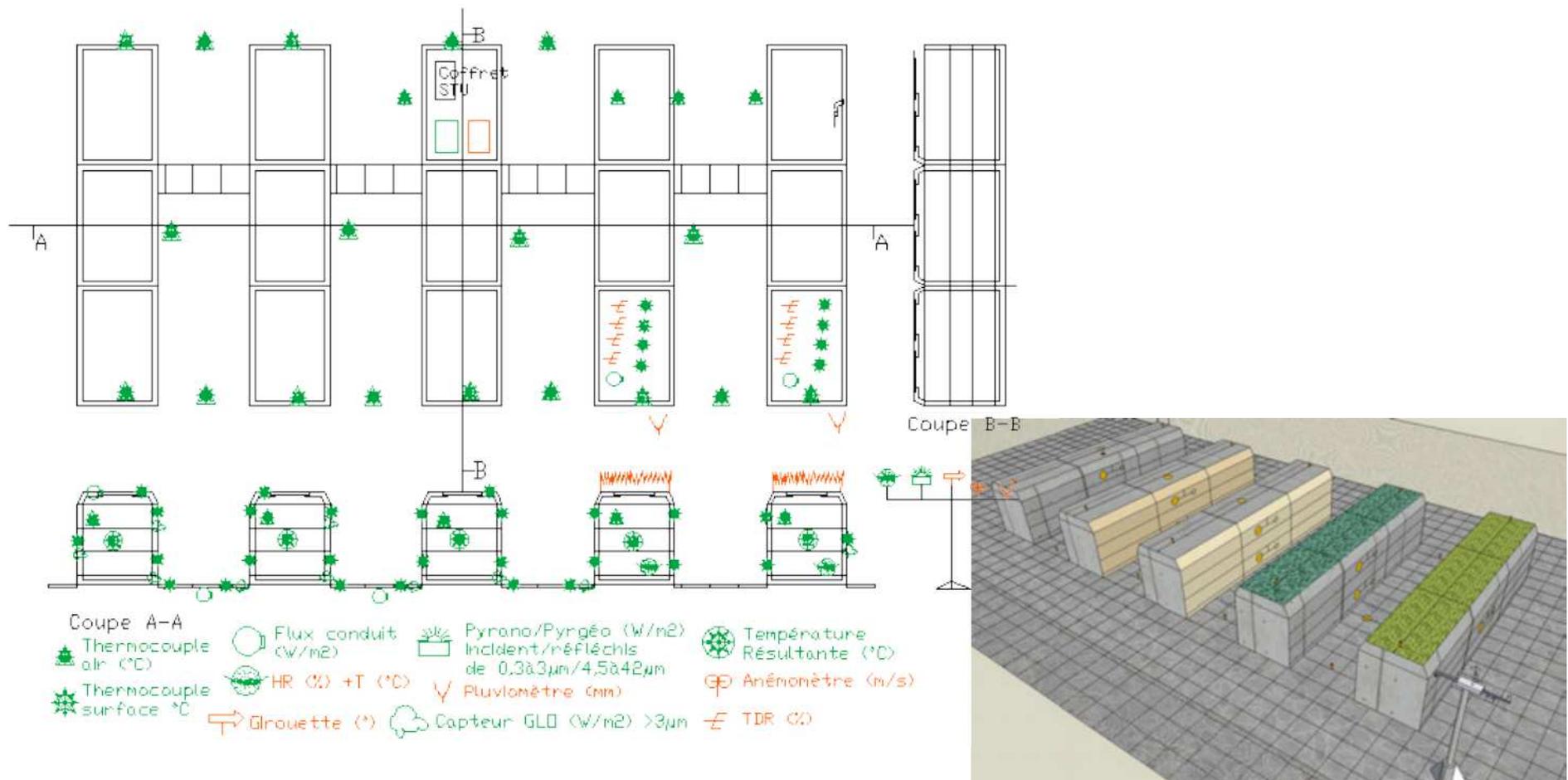


Université de la
Rochelle



Banc expérimental

- Mesure des transferts thermiques (conduction, rayonnement, convection/transport) à l'interface bâti/extérieur (rue et toiture)
- Inertie des constructions et cycles jours/nuits



Des connaissances, mais situées

Des méthodologies à mettre en place pour évaluer les dispositifs :

- caractérisation**
- modèles thermiques et modèles climatiques**
- expérimentation**

