

MODÉLISATION DES IMPACTS DES SOLUTIONS D'ADAPTATION CLIMATIQUE URBAINES

19 novembre 2021

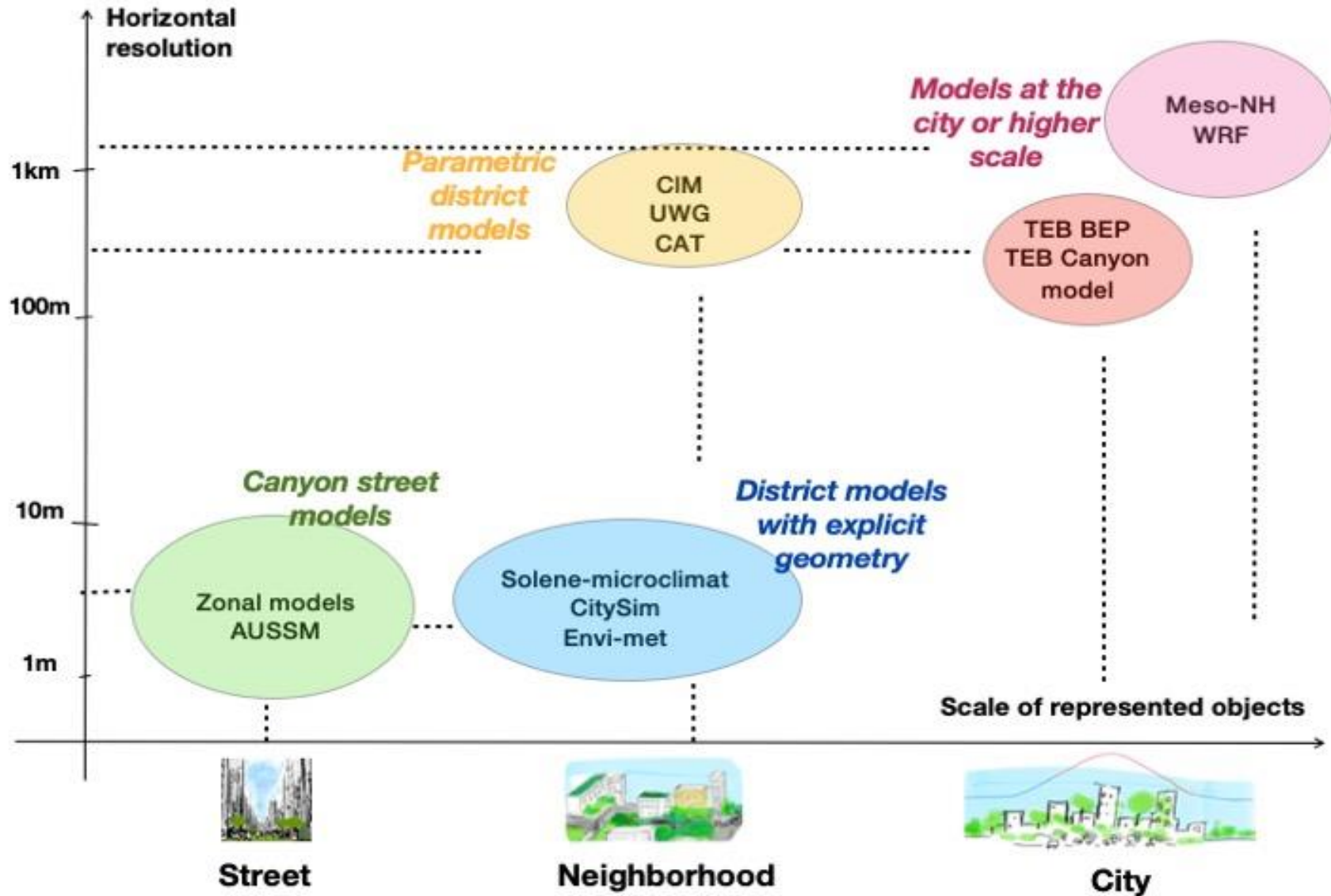
Plan

1. État de l'art des approches de modélisation climatique urbaine
 2. Évaluation de stratégies d'adaptation et/ou d'atténuation du changement climatique
 3. Perspectives
-

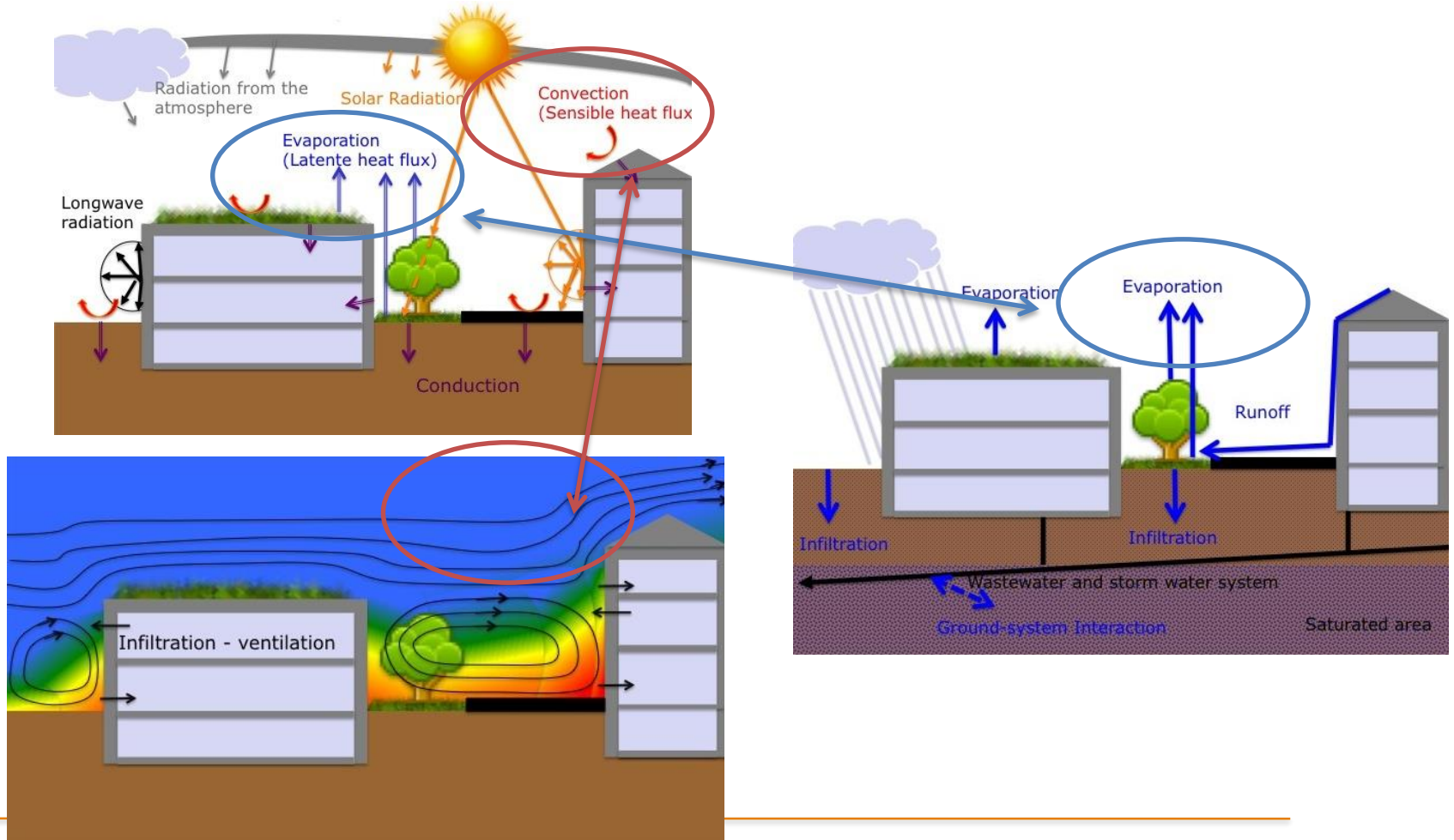
ÉTAT DE L'ART DES APPROCHES DE MODÉLISATION CLIMATIQUE URBAINE

Principes

DES APPROCHES DIFFÉRENTES SELON LES ÉCHELLES



UNE PRISE EN COMPTE PLUS OU MOINS COMPLÈTE DES COUPLAGES THERMIQUES, RADIATIFS, AÉRAULIQUES ET HYDRIQUES



1.

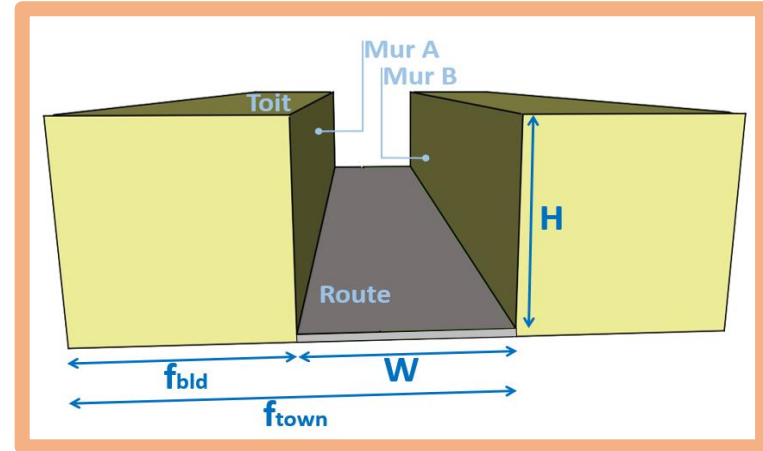
ÉTAT DE L'ART DES APPROCHES CLIMATIQUES URBAINES

Échelle de la ville

18/11/2021 Société Française de Thermique - Thermique atmosphérique et adaptation au changement climatique

ÉCHELLE DE LA VILLE

Les bâtiments ne sont pas explicitement résolus, les rues sont décrites par un canyon urbain moyen (concept de Oke, 1982).



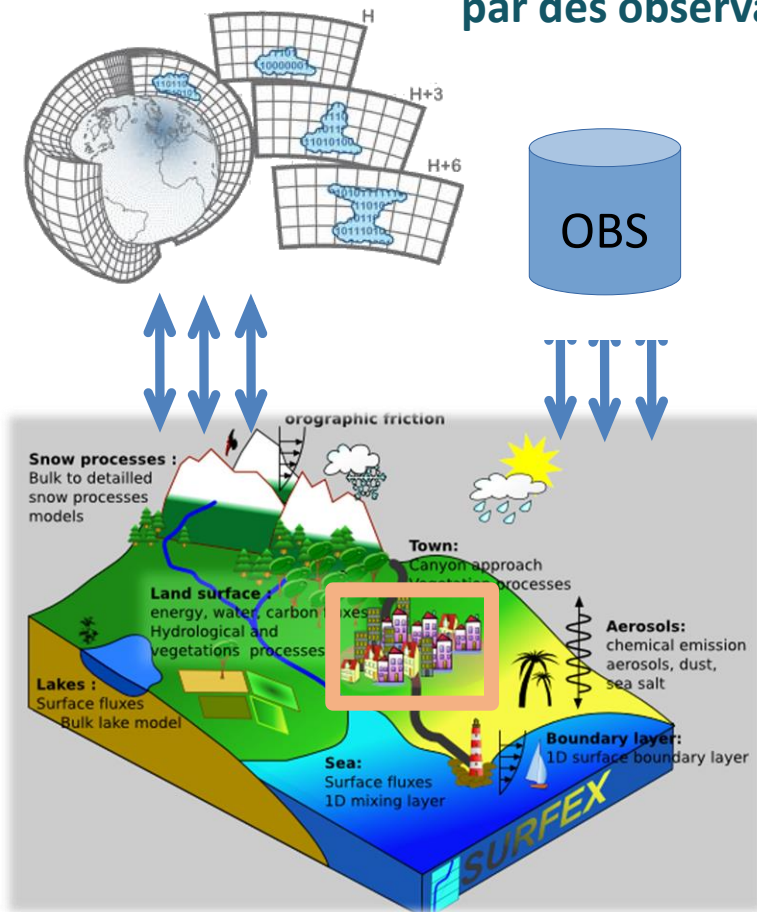
Hypothèses : canyon de longueur infinie, sans intersection, toits plats (concept Tim Oke 1982)

3 surfaces/compartiments élémentaires : toits, murs, route

- Propriétés géométriques : densité de bâti, hauteur de bâti, rapport d'aspect (H/W)
- Propriétés thermo-radiatives : albédo et émissivité des surfaces extérieures, épaisseurs & conductivités et capacités thermiques des couches de matériaux

De la modélisation pour la PNT aux études d'impacts et d'adaptation

Modèles utilisés couplés à un modèle atmosphérique ou forcés par des observations



Échelles temporelles: de l'évènement (ex. canicule) à dizaines d'années

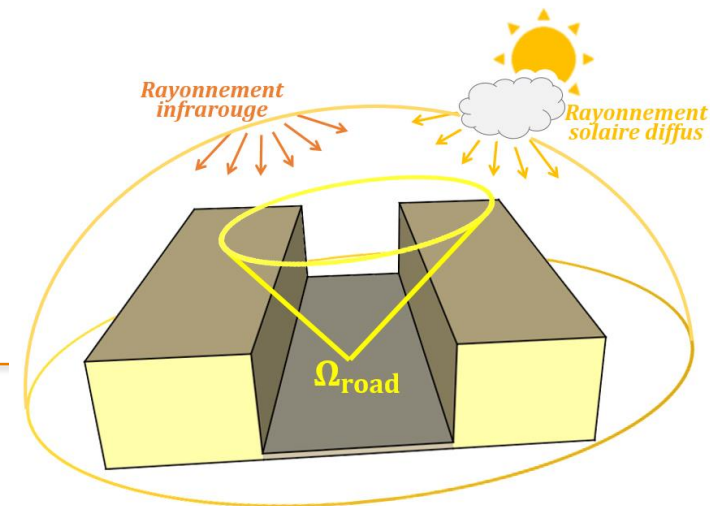
Modélisation du bilan radiatif

Un bilan radiatif est calculé pour chaque surface (route, toit, murs), en tenant compte :

Du rayonnement solaire direct (directionnel) reçu par la surface
= *Calcul géométrique des effets d'ombrage en fonction de la forme et l'orientation du canyon, et de la position du soleil*

Du rayonnement solaire diffus (isotrope) reçu par la surface
= *Calcul géométrique basé sur le facteur de vue du ciel de la surface*

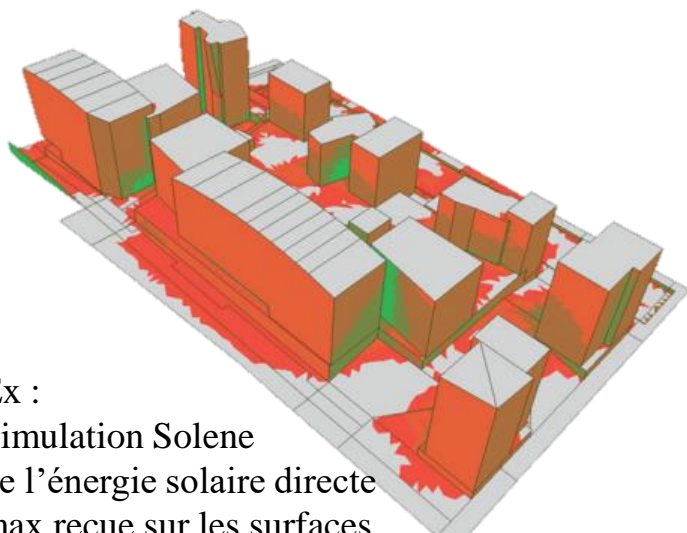
Des inter-réflexions entre surfaces
= *Calcul basé sur les facteurs de forme entre surfaces et les propriétés radiatives (albédo, émissivité)*
>> *A chaque réflexion, une partie de l'énergie est absorbée par la surface*



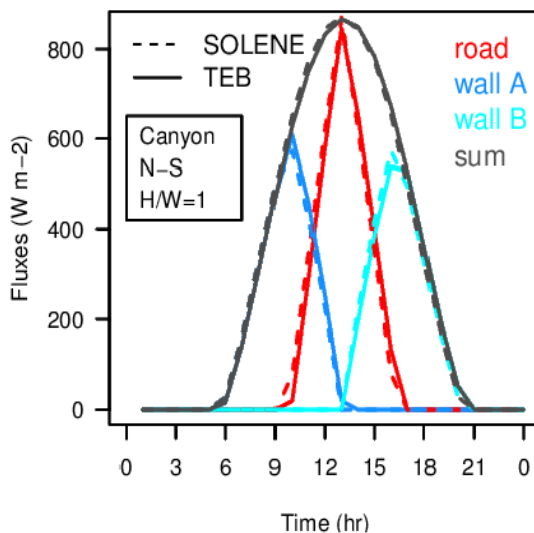
Bernard et al. 2021,
ICUD2020

Malgré les hypothèses simplificatrices, le bilan radiatif est correctement simulé.

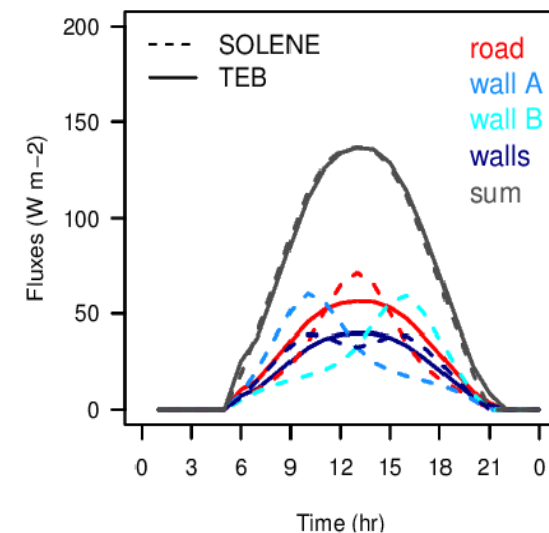
Comparaison au modèle architectural Solene



a. Rayonnement solaire direct reçu

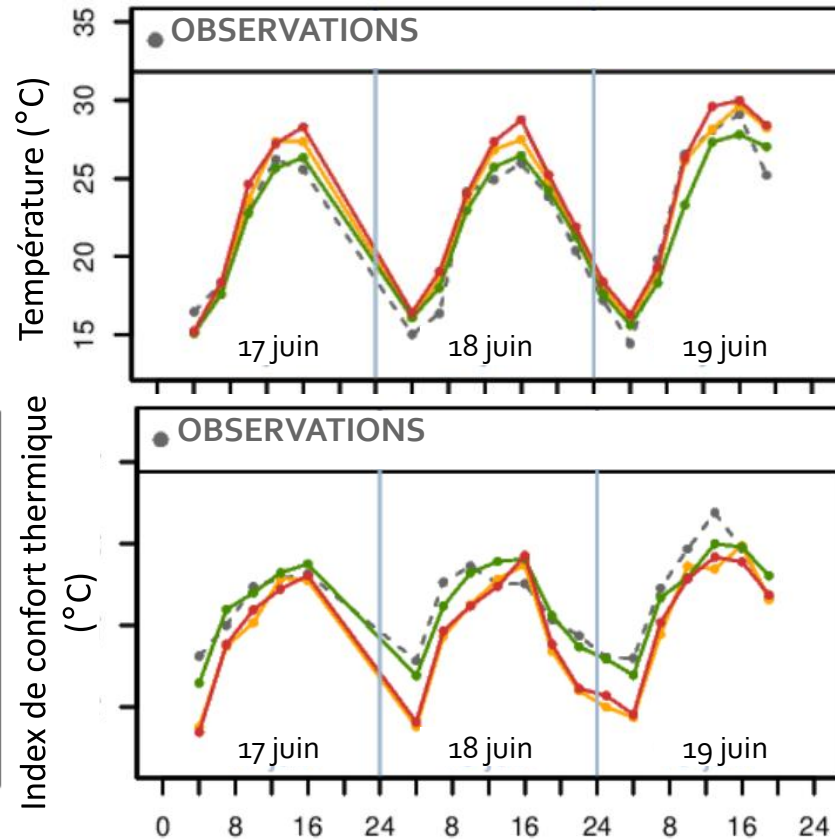
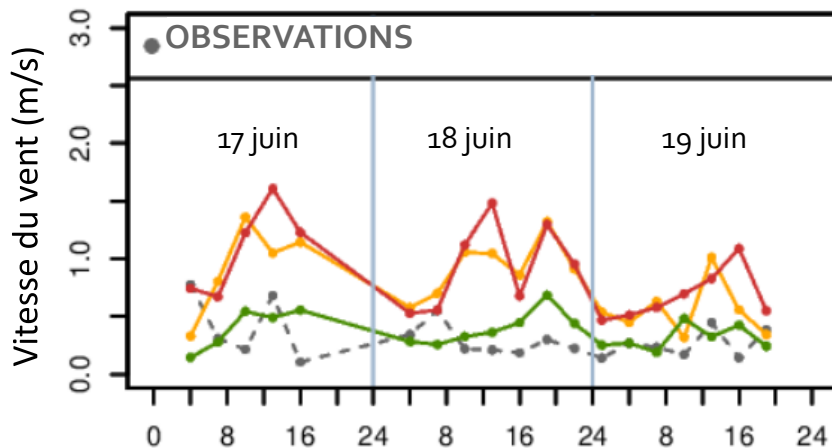


b. Rayonnement solaire diffus reçu



Simulation plus réaliste du confort thermique en milieu urbain hétérogène

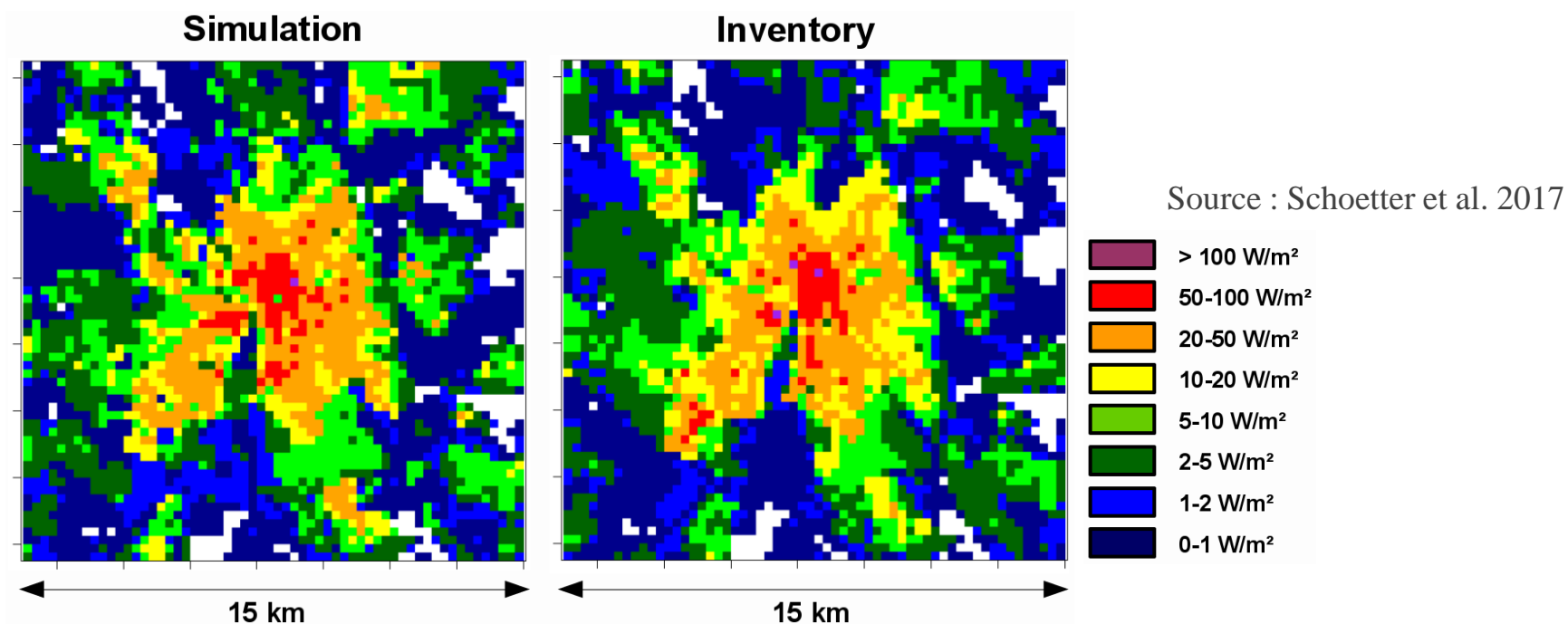
STOP 9 - quartier résidentiel Papus



- Végétation défaut
- Végétation détaillée
- Végétation détaillée + Simulation des arbres

Simulation dynamique de la consommation énergétique des bâtiments

Demande énergétique des bâtiments pendant l'hiver (Toulouse, 2004-2005)



1.

ÉTAT DE L'ART DES APPROCHES CLIMATIQUES URBAINES

Échelle du quartier

18/11/2021 Société Française de Thermique - Thermique atmosphérique et adaptation au changement climatique

ÉCHELLE DU QUARTIER

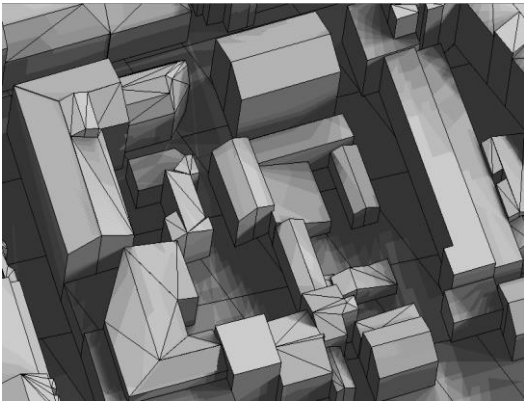
Une représentation explicite de la géométrie urbaine

Des approches qui sont souvent parties d'un seul des compartiments (-> des hétérogénéités de traitement selon les compartiments)

L'intégration directe ou le couplage pour la représentation de tous les phénomènes

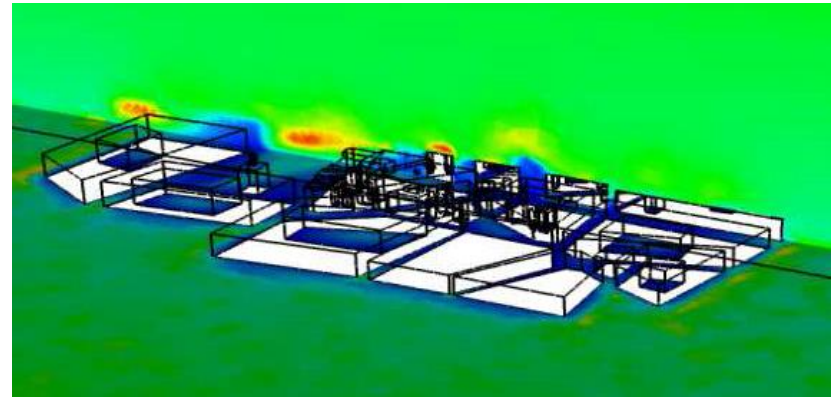
Evolution des modèles

Modèles à base radiative



Solene-microclimat, UMEP
DartTEB

Modèles à base aéraulique



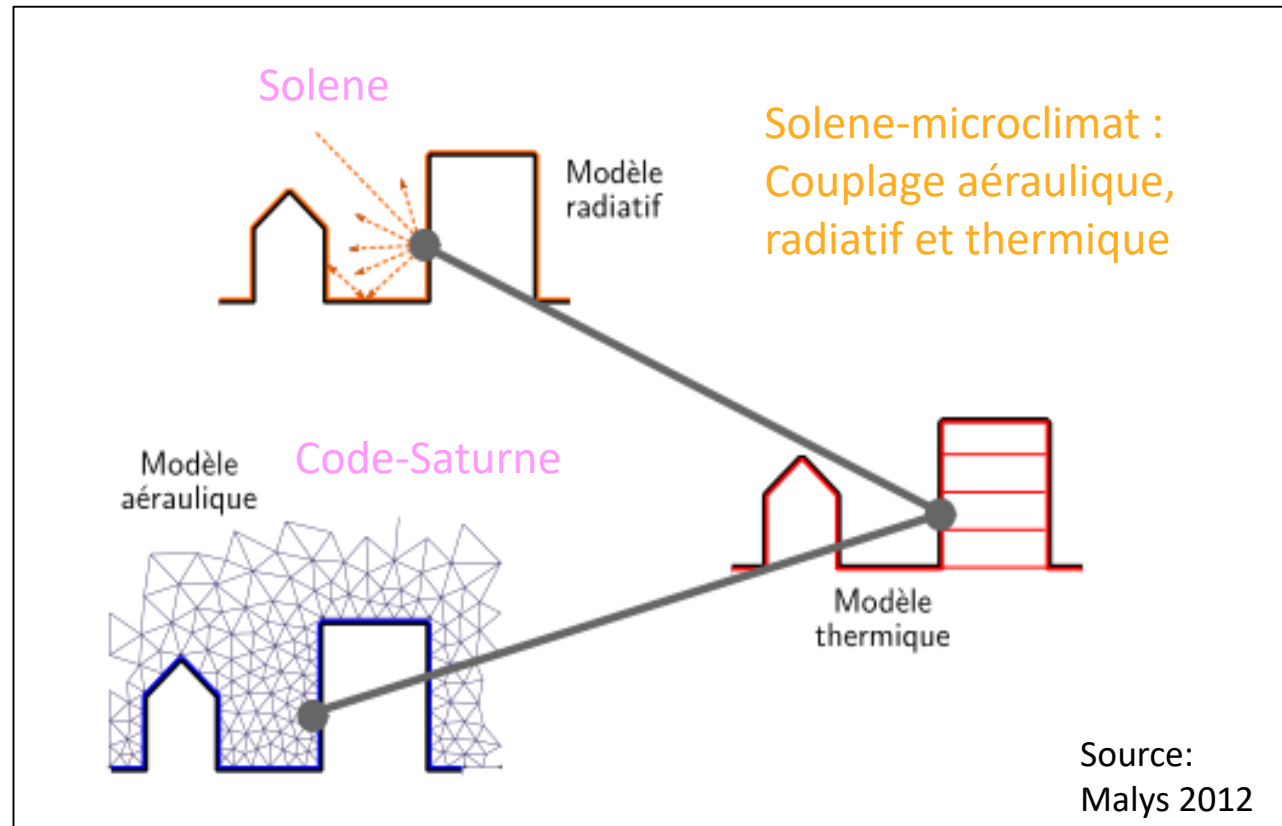
Source: Qu, 2011

Code Saturne, Envi-met...

Couplage ou intégration des compartiments
aéraulique, radiatif et thermique

Modèles intégrés ou couplages de modèles

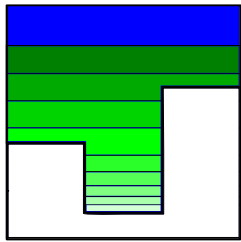
- Développement intégré (Envi-met, code-saturne, coupled simulation, UMEP)
- Couplage d'outils (Solene-microclimat, EnviBatE)



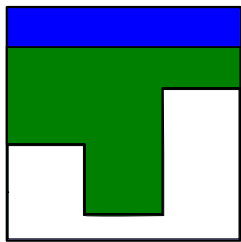
Les approches aérodynamiques dans les modèles microclimatiques échelle quartier

Profil ou monozone :

Solene-microclimat



v(profil)



T(bilan)

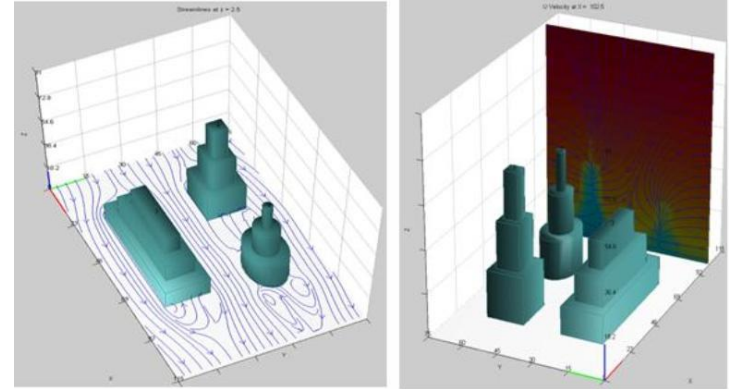
Source: Malys 2012

Profil de vitesse

Bilan de flux
Pour le calcul de la température

+ Complexité

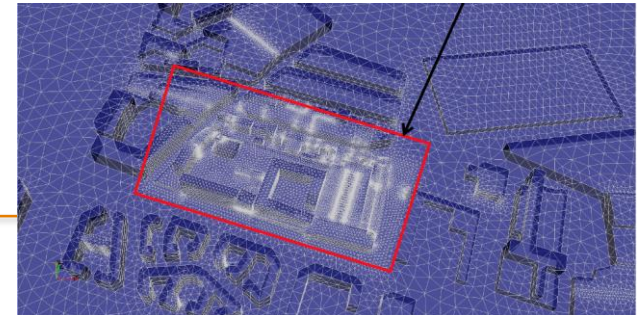
Approche zonale :
EnviBatE



Quic-Urb

(<http://www.lanl.gov/projects/quic/quicurb.shtml>)

CFD : Envi-met,
code-Saturne,
Solene-microclimat



Code-Saturne (Makke et al.)

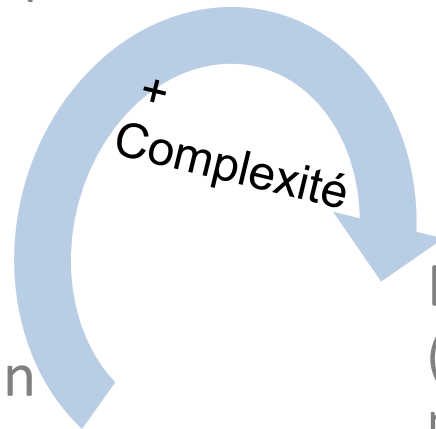
Les approches radiatives (CLO) dans les modèles microclimatiques échelle quartier

Méthode des radiosités (et méthodes simplifiées)

Solene-microclimat
EnviBatE, Citysim, UMEP

Atténuation + 1 réflexion

Envi-Met



Lancer de rayons

Coupled simulation

Discrete Ordinates Method
(permet de prendre en compte la participation du milieu)

Code-Saturne, DARTEB

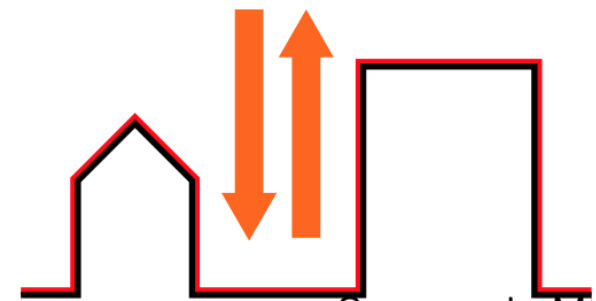
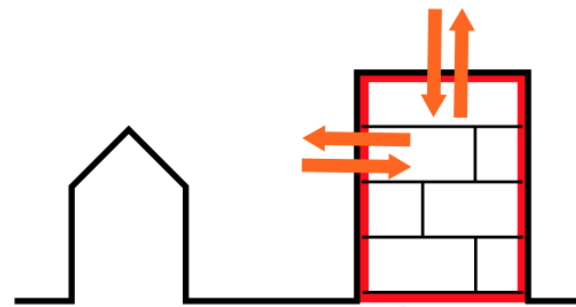
Les approches thermiques dans les modèles microclimatiques échelle quartier

Bilan thermique du bâtiment

- Multizone (par étage)
- Monozone

Modèles thermiques de parois

- Analogies électriques
- Différences finies
- Transformée en Z
- ...



Source : L. Malys

Solene-microclimat

Envi-met, Code saturne

EnvibatE, Coupled Simulation, Citysim

2.

EVALUATION DE STRATÉGIES D'ADAPTATION ET/OU ATTÉNUATION DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

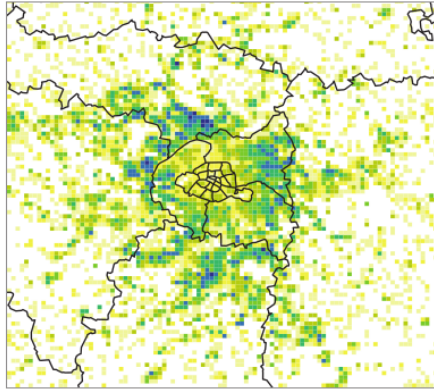
Résultats de projets de recherche

18/11/2021 Société Française de Thermique - Thermique atmosphérique et adaptation au changement climatique

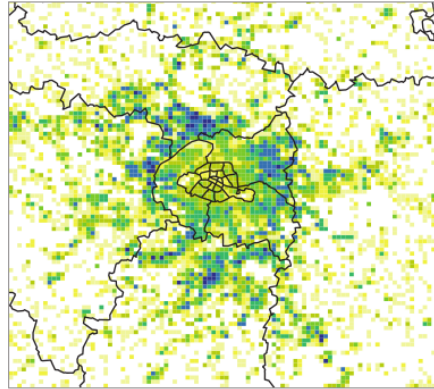
ÉCHELLE DE LA VILLE : PROJETS VEGDUD & MUSCADE

Comparaison de scénarios de végétalisation

REF : état avant simulation



avec + 25 % de végétalisation

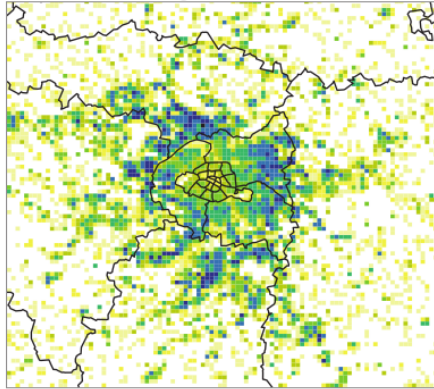


% de végétation urbaine par maille

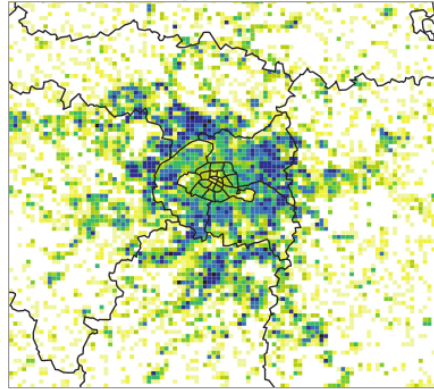


Végétalisation surfaces disponibles	Ajout végétation urbaine/REF
25 %	+ 11 %
50 %	+ 22 %
75 %	+ 34 %

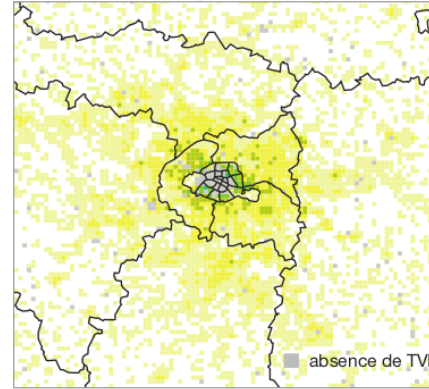
avec + 50 % de végétalisation



avec + 75 % de végétalisation



avec TVE toiture végétalisée extensive



Impacts climatiques, énergétiques, hydriques (ressource en eau + ruissellement)

Contexte de changement climatique (canicule 2003) + impacts saisonniers moyens

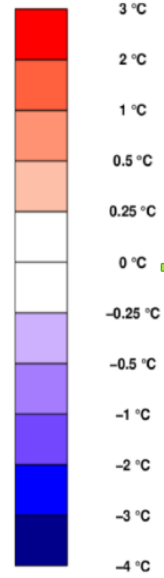
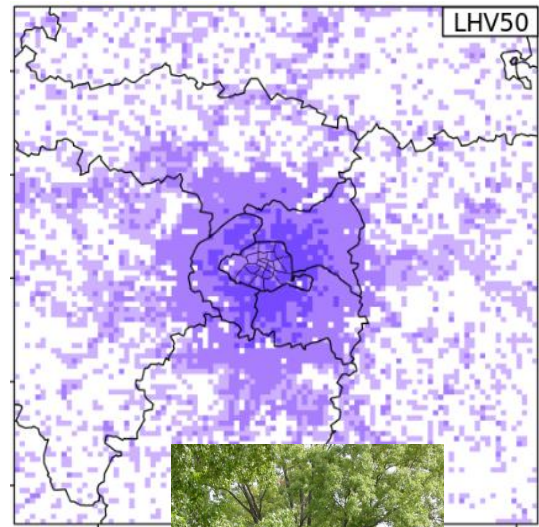
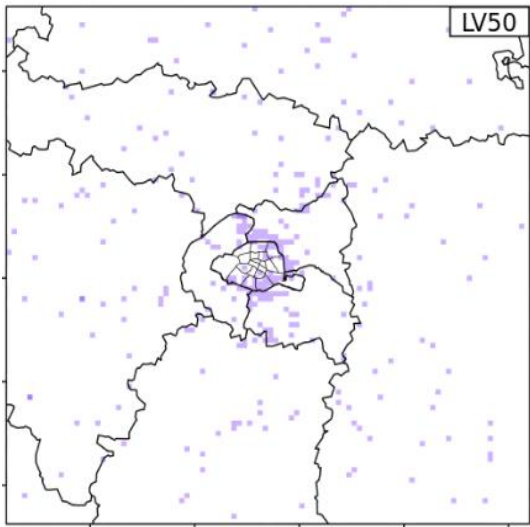
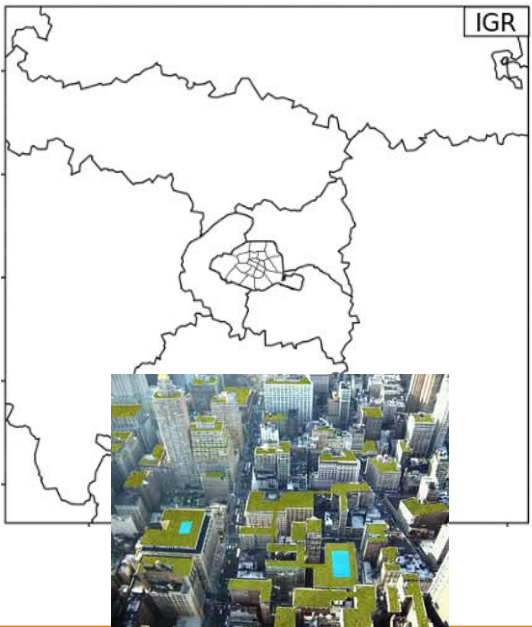
ÉCHELLE DE LA VILLE : PROJETS VEGDUD & MUSCADE

Variation de la température de l'air nocturne engendrée par :

+ toitures végétalisées
irriguées

+ 22% végétation sol
(herbe)

+ 22% végétation sol
(60% herbe + 40% arbres)



de Munck et al. (2018)





Végétaliser la ville implique une réflexion sur une gestion efficace et durable de la ressource en eau

Arrosage

- 25 L / m² / semaine

- entre 21 h et 5 h chaque jour

Consommation d'eau de la ville

18 Mm³
(avant végétalisation)

Consommation d'énergie de la ville

759 GWh
(avant végétalisation)

Toitures végétalisées

Toitures végétalisées irriguées

Pelouses

Arbres et pelouse

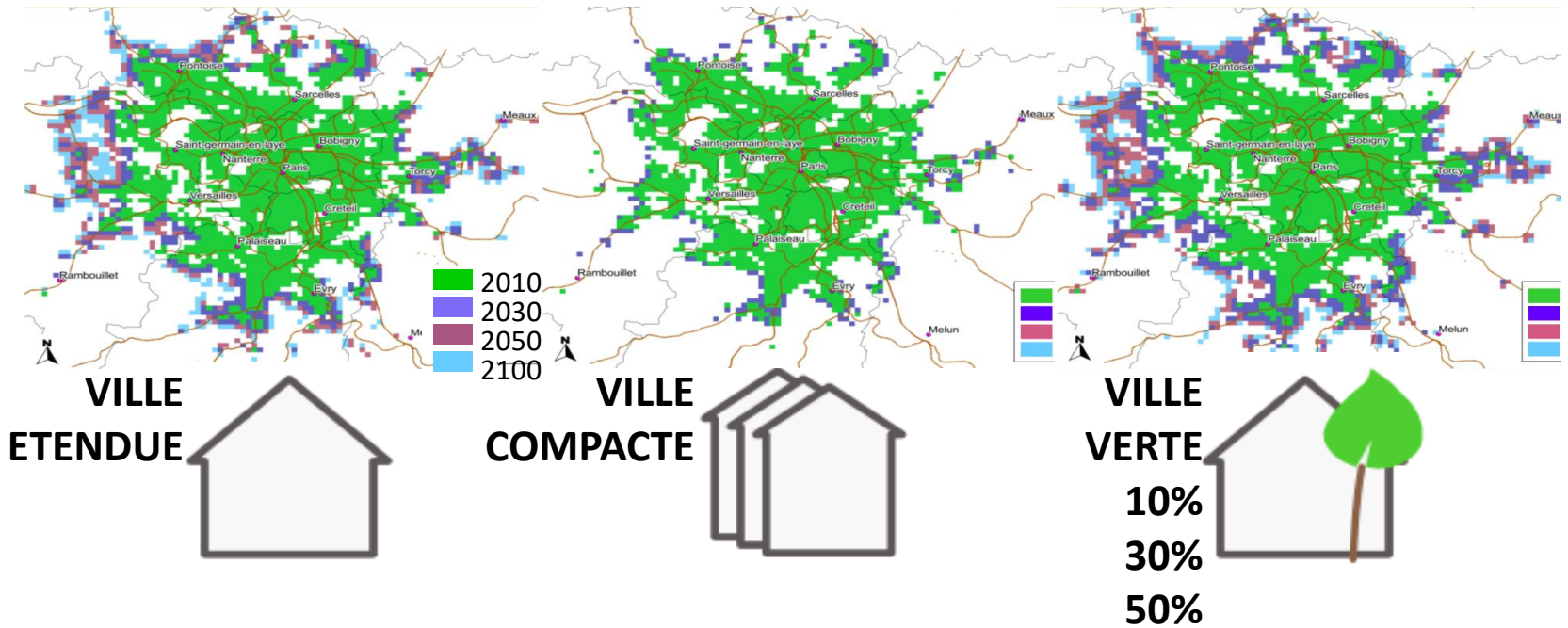
Arbres, pelouses et toitures végétales



Sources: Cécilia de Münck, Infographie : Laurie Goblet
IAU Ile-de-France, Note rapide Environnement N°662

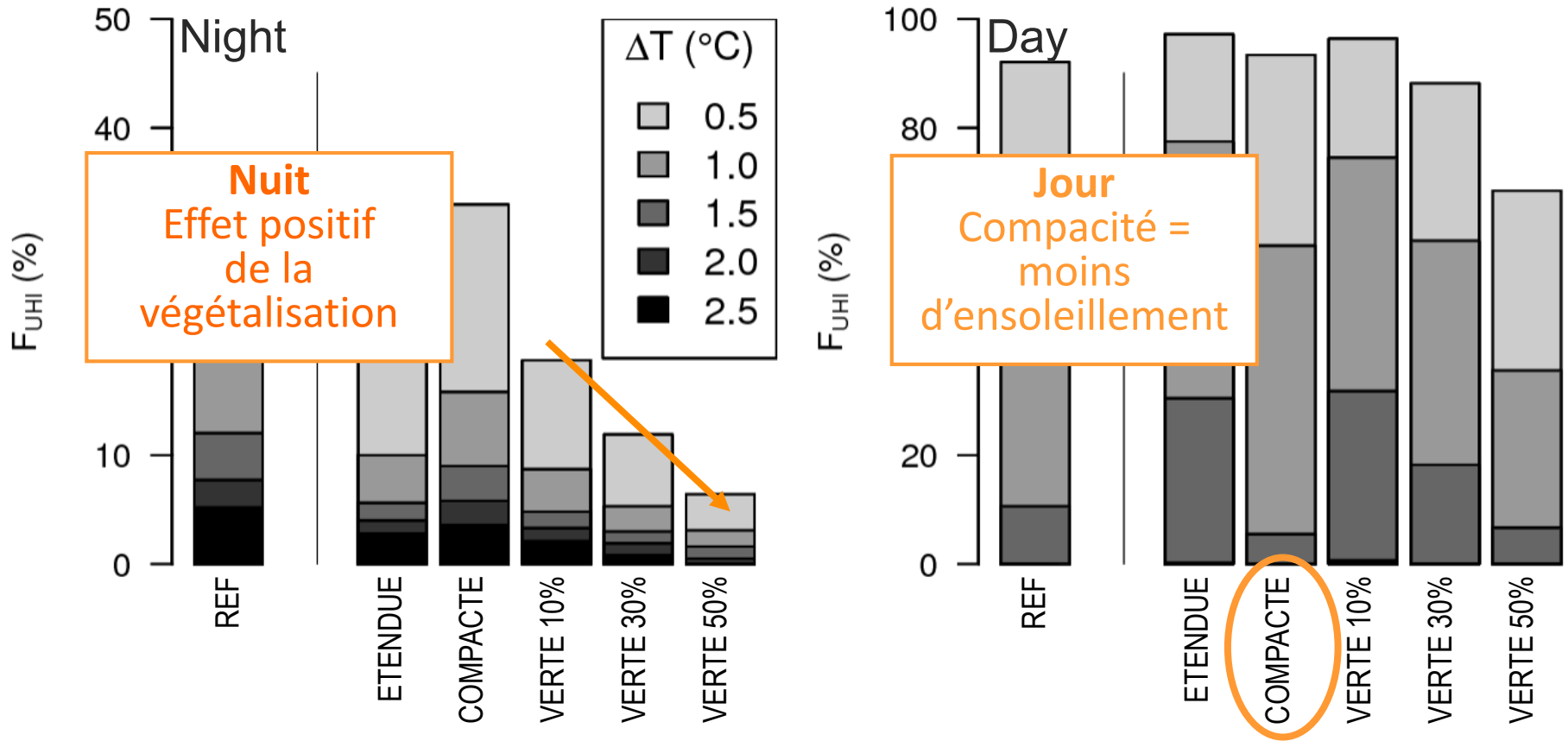
ÉCHELLE DE LA VILLE : PROJET VURCA (EXPANSION, BÂTI, USAGES)

Vulnérabilité de Paris 2100 aux canicules futures



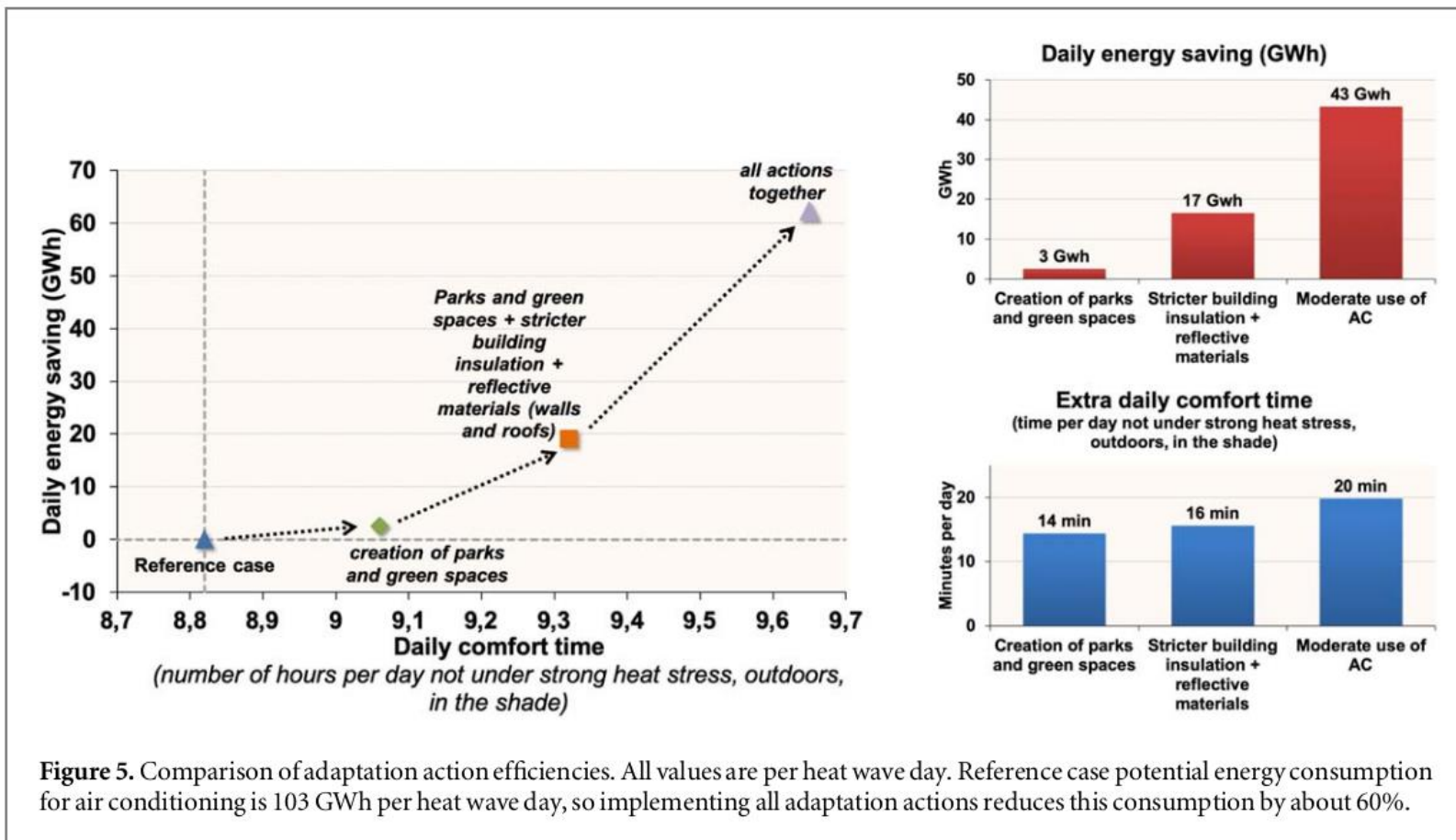
ÉCHELLE DE LA VILLE : PROJET VURCA (EXPANSION, BÂTI, USAGES)

Fraction de la ville affectée • Canicule de 7 jours • Tmax = 38 °C



ÉCHELLE DE LA VILLE : PROJET VURCA (EXPANSION, BÂTI, USAGES)

- De l'importance de combiner les leviers d'action



Viguié et al. 2020, *Environ. Res. Lett.*

ÉCHELLE DU QUARTIER : PROJET EVA (EAU VÉGÉTATION ALBEDO)

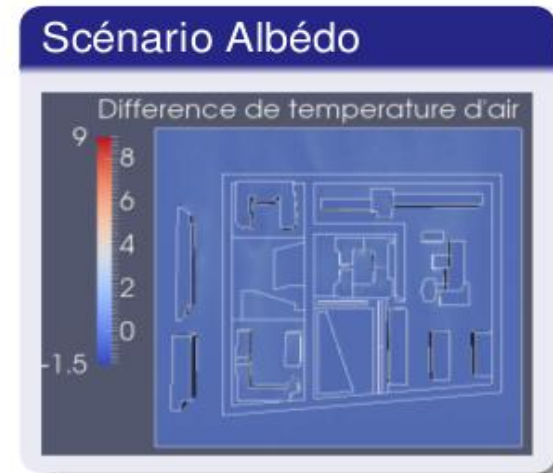
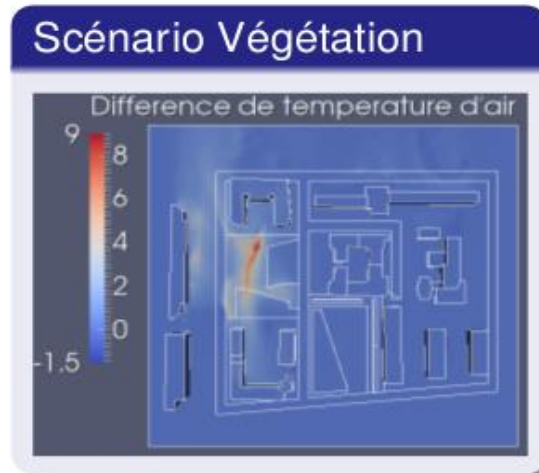
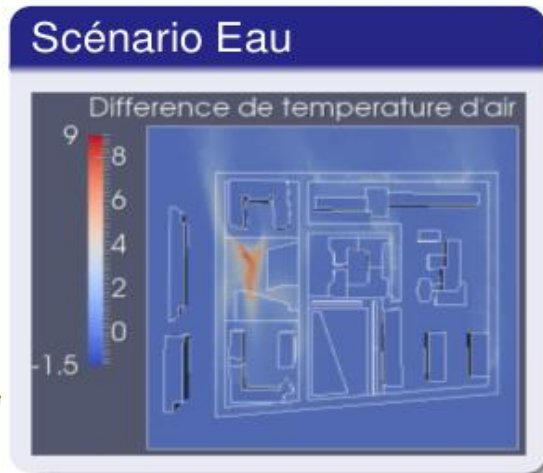
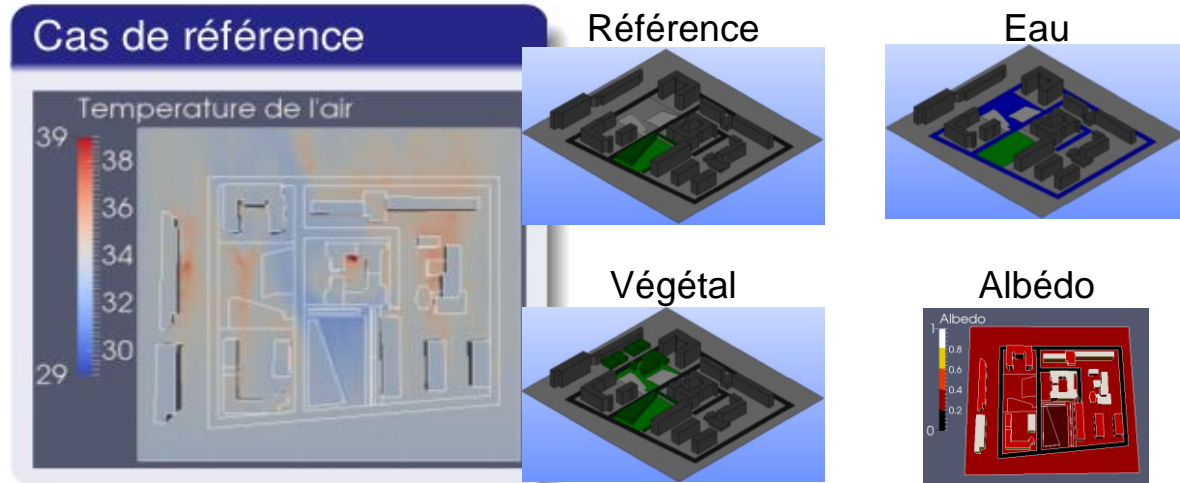
Comparaison des résultats avec Solene-microclimat



Impacts climatiques, hydriques, énergétiques, bilan en cout global

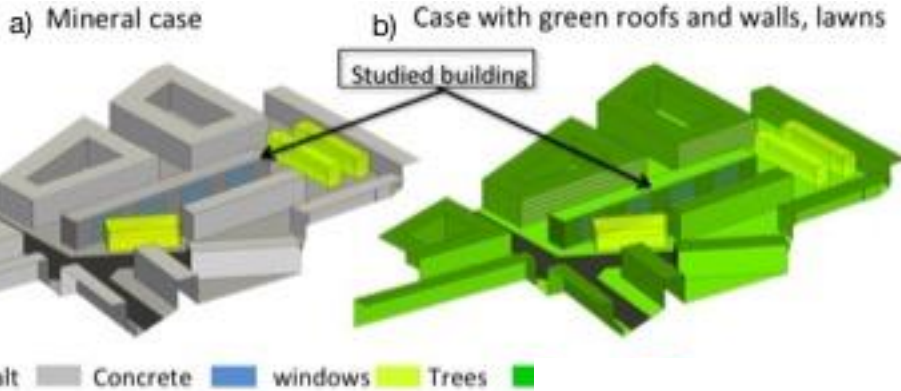
Dans un contexte de changement climatique (températures plus élevées, disponibilité en eau plus faible)

Distribution de la température de l'air et des différences induites dans les scénarios mono-dispositifs



ÉCHELLE DU QUARTIER : PROJET VEGDUD – THÈSE L. MALYS

Impact des toitures et façades végétales sur le confort intérieur

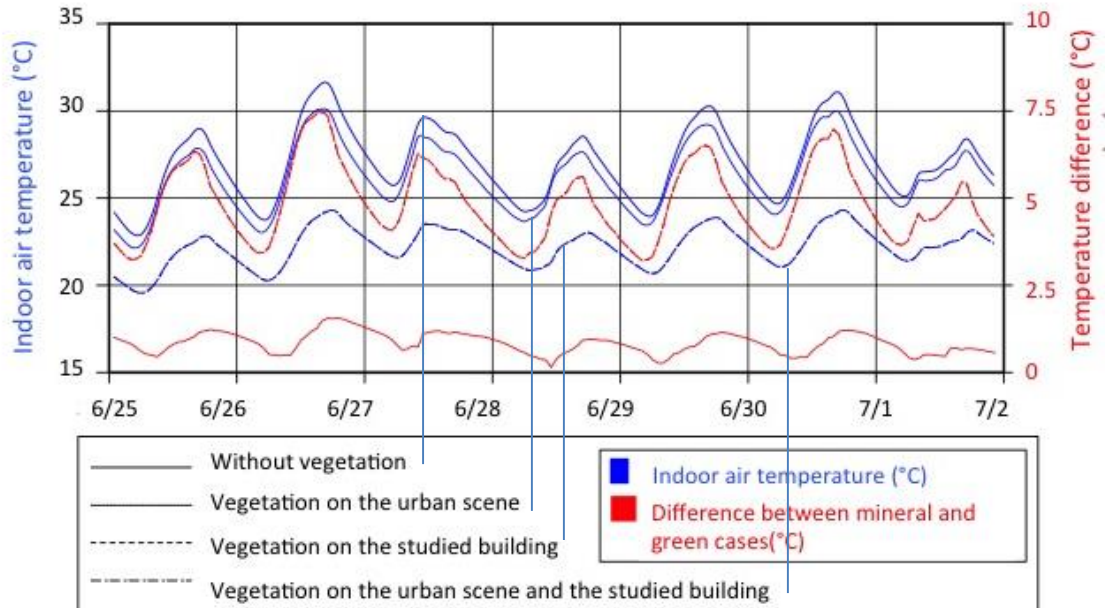


Evolution de la température au 2ème étage du bâtiment central

Des impacts uniquement visibles sur les bâtiments peu isolés

Impact indirect (végétalisation de l'environnement) faible mais existant

Si le bâtiment est végétalisé, cet impact n'est plus visible



3. PERSPECTIVES

Amélioration / validation des modèles,

Potentiel d'utilisation de données radiatives thermiques

L'intégration de l'hydrologie pour les modèles échelle quartier

Modélisation climatique couplée pour les modèles échelle ville

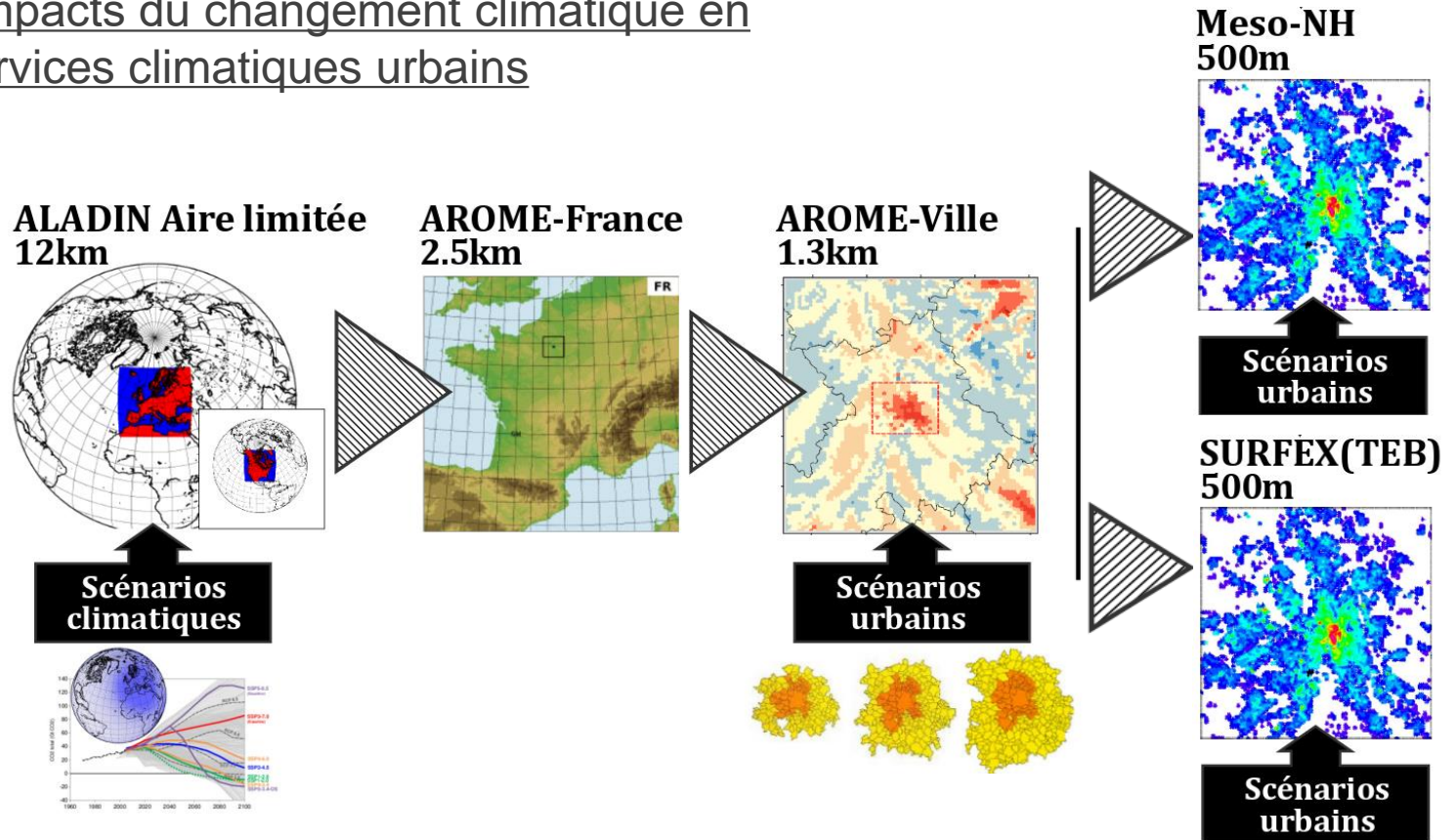
Vers la micro-échelle pour l'échelle de la ville

18/11/2021

Société Française de Thermique - Thermique atmosphérique et adaptation au changement climatique

Modélisation climatique couplée pour les études urbaines (modèles échelle ville)

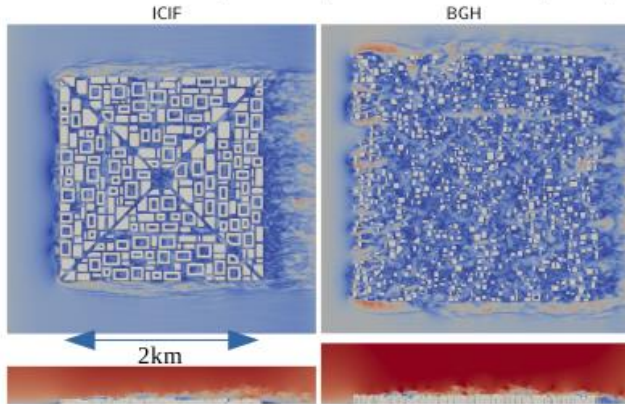
Cadre de modélisation et de descente d'échelle pour l'étude des impacts du changement climatique en ville et les services climatiques urbains



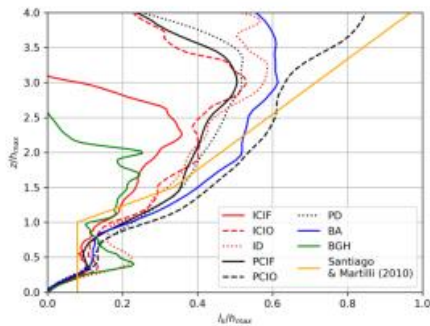
Advances in very high resolution modelling (LES) for process understanding and parametrization development : application to Urban area

How to better parameterize the dynamic effect of urban areas at mesoscale (250m) from LES (1m)?

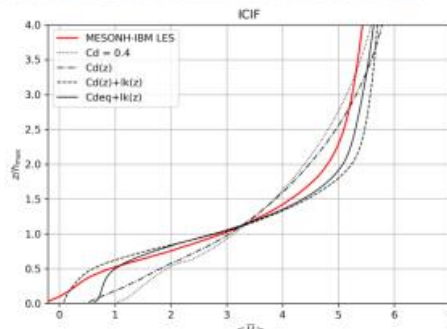
Wind field from LES with Meso-IBM for 2 types of neighbourhood



T. Nagel (VILLE)

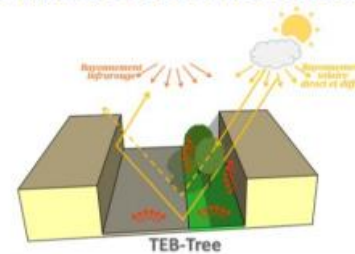


Vertical profile of mixing length from LES for different types of neighbourhood



Vertical profile of simulated wind field with different drag coefficient and mixing length parametrizations

Coupling between TEB and SPARTACUS-Surface radiative transfer - Evaluation with a Monte Carlo based reference model



Street-canyon geometry

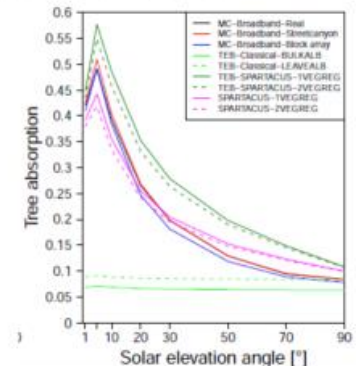


SPARTACUS-Surface developed by R. Hogan (ECMWF) with 3D effects as for clouds



HTRDR (MonteCarlo radiative code, Mesostar) adapted to cities

R. Schoetter (VILLE)

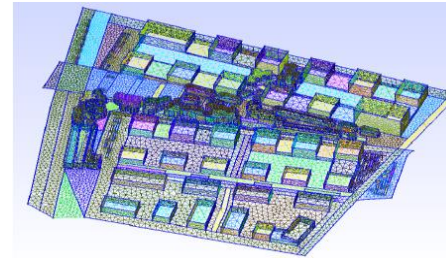


Development of TEB-SPARTACUS

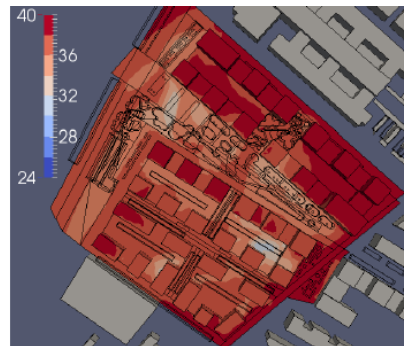
Modélisation microclimatique couplée avec l'hydrologie (modèles échelle quartier)



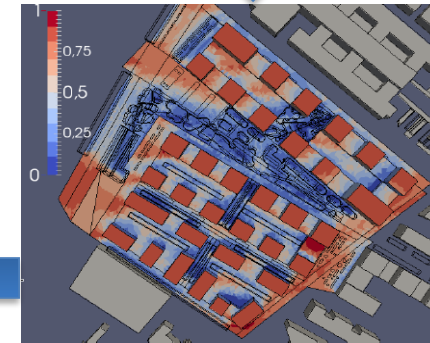
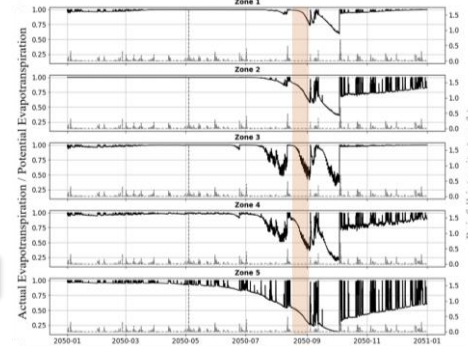
Maquette Solene-microclimat



Maillage Solene-microclimat



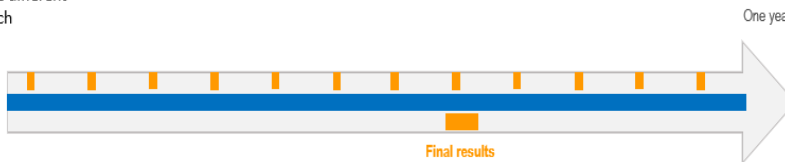
Carte de température d'air Stress hydrique au cours de
heure par heure pendant 15j'année pour chaque type
Solene-microclimat d'espace Marie



Ensoleillement pour chaque
mois Solene-microclimat

b) Timeline for the application of the different components of the chaining approach

Step 1: 1 day per month
Step 2a and 2b: 1 year
Step 3: 12 days hot period



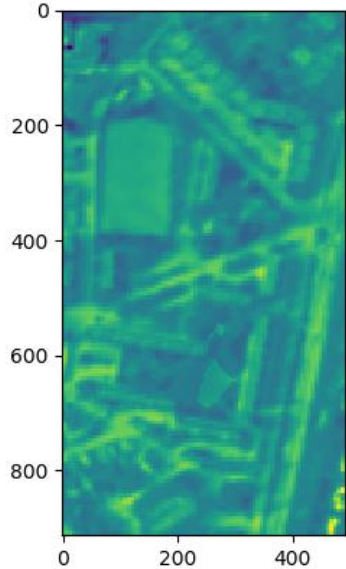
PROJET ANR DIAMS

Mise en place de benchmarks pour la validation des modèles

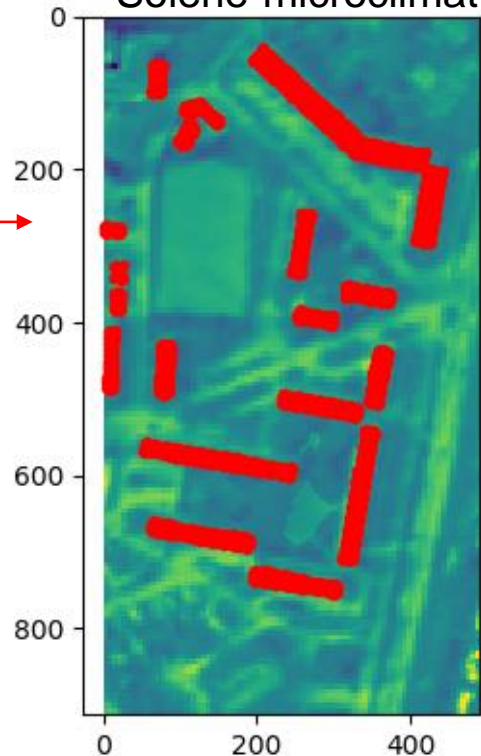
Travail sur l'assimilation de températures de surfaces issues de télédétection IR

Images - Données IRT aéroportées

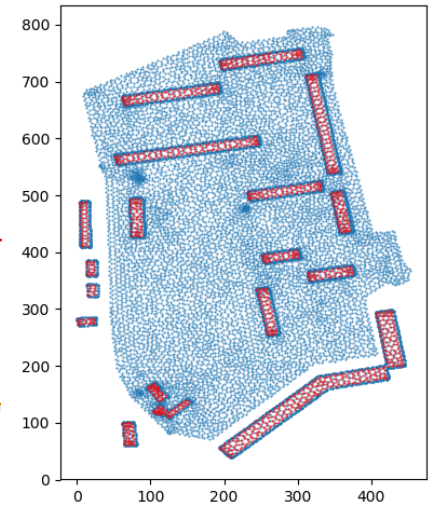
LST



Températures imposées dans Solene-microclimat



Maillage Gmsh pour Solene-microclimat





cecile.demunck@meteo.fr



marjorie.musy@cerema.fr