

Introduction à la météorologie urbaine

TEB

Aude Lemonsu

Météo France / CNRS

Contact : aude.lemonsu@meteo.fr



Modélisation des surfaces continentales²

Description de la surface

Sur la grille de modélisation, la surface est décrite comme une **mosaïque de quatre types de couverts** en distinguant :

Mers et Océans



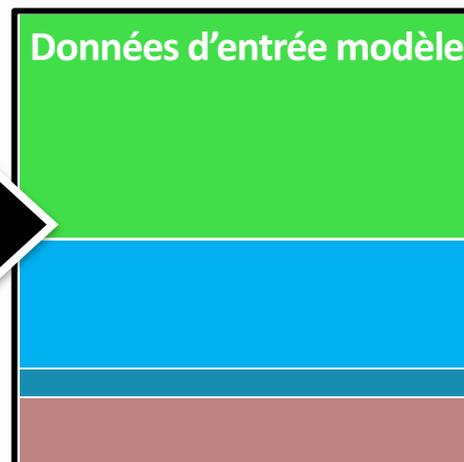
Sols naturels et Végétation



Lacs et Rivières



Zones urbaines



48 % Nature

31 % Mer

3 % Rivière

18 % Urbain

Delta de l'Ebre observé par Venµs
(Copyright CNES 2017)

Modélisation des surfaces continentales³

Description de la surface

Sur la grille de modélisation, la surface est décrite comme une **mosaïque de quatre types de couverts** en distinguant :

Mers et
Océans



Charnock

Sols naturels
et Végétation



ISBA

Lacs et
Rivières



FLAKE

Zones
urbaines



TEB

Un **modèle de surface est appliqué à chaque type de couvert**, pour calculer les flux de surface (énergie, eau, quantité de mouvement)

Modélisation des surfaces continentales⁴

Description de la surface

Sur la grille de modélisation, la surface est décrite comme une **mosaïque de quatre types de couverts** en distinguant :

Mers et
Océans



Charnock

Sols naturels
et Végétation



ISBA

Lacs et
Rivières



FLAKE

Zones
urbaines



TEB

Un **modèle de surface est appliqué à chaque type de couvert**, pour calculer les flux de surface (énergie, eau, quantité de mouvement)

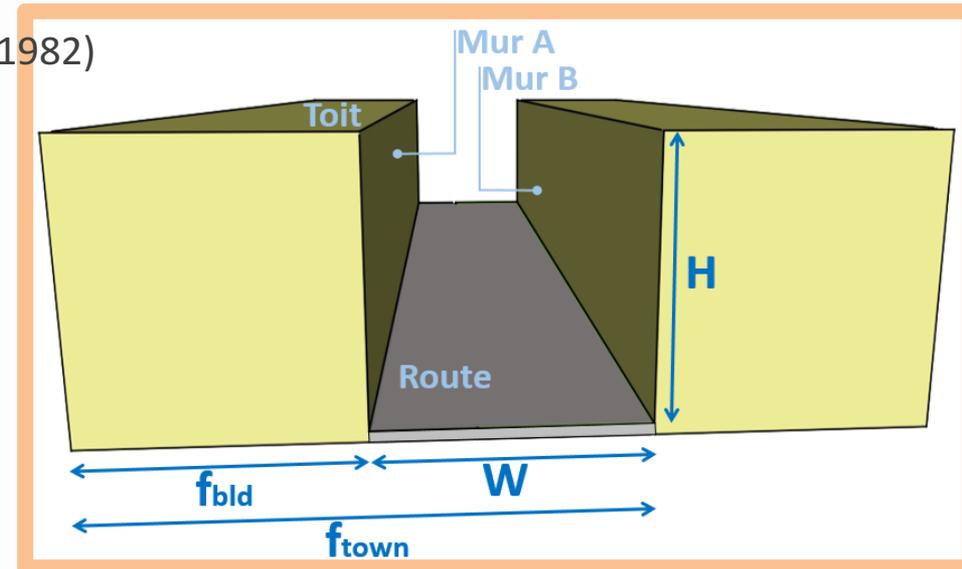
Les **flux sont ensuite agrégés sur la maille** en fonction des fractions respectives d'occupation du sol, et **renvoyés au modèle atmosphérique** comme conditions aux limites

$$F_{\text{tot}} = f_{\text{sea}}F_{\text{sea}} + f_{\text{nat}}F_{\text{nat}} + f_{\text{lake}}F_{\text{lake}} + f_{\text{urb}}F_{\text{urb}}$$

Description du modèle TEB

Principes généraux

- Les bâtiments ne sont pas résolus de façon explicite
Les rues sont représentées par un **canyon urbain moyen** (concept de Oke 1982)



Source : Masson BLM 2000

Description du modèle TEB

Principes généraux

- Les bâtiments ne sont pas résolus de façon explicite

Les rues sont représentées par un

canyon urbain moyen (concept de Oke 1982)

- 3 surfaces distinctes :

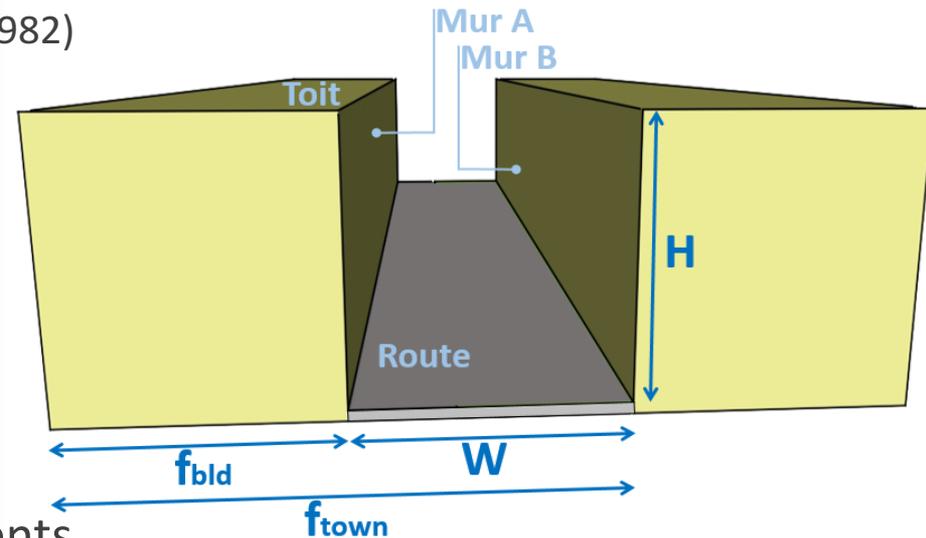
- Route
- Toit plat
- Murs (A et B)

- Propriétés géométriques

- Densité bâtie
- Hauteur moyenne des bâtiments
- Rapport d'aspect du canyon (H/W)

- Propriétés thermo-radiatives des matériaux

- Albedo, émissivité des facettes externes
- Conductivité thermique, capacité calorifique, et épaisseurs des couches de matériaux



Source : Masson BLM 2000

- Capacité maximale d'interception d'eau des toits et des routes

Description du modèle TEB

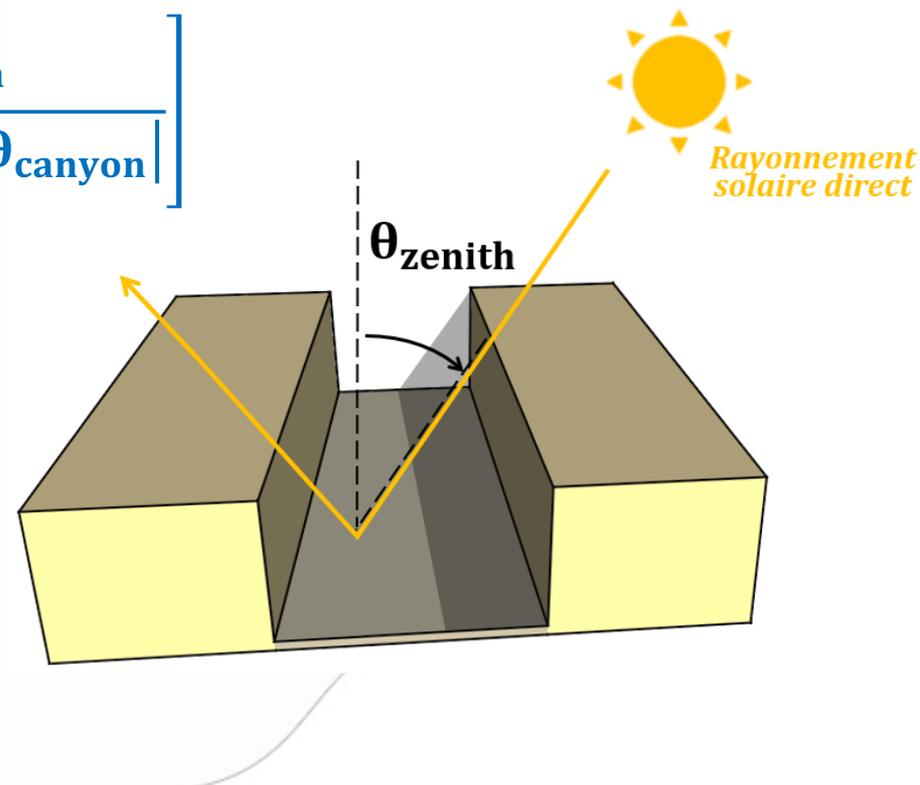
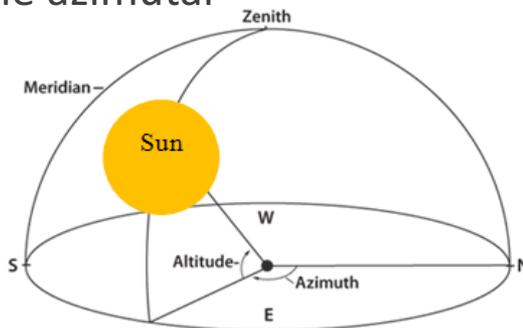
Bilan radiatif

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

- **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

$$S_{\text{road}}^{\downarrow} = S^{\downarrow} \left[1 - \frac{\frac{H}{W} \tan \theta_{\text{zenith}}}{|\sin \theta_{\text{azimuth}} - \sin \theta_{\text{canyon}}|} \right]$$

H/W Rapport d'aspect du canyon
 θ_{can} Angle d'orientation du canyon
 θ_{zenith} Angle zénithal
 θ_{azimuth} Angle azimutal



Description du modèle TEB

Bilan radiatif

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

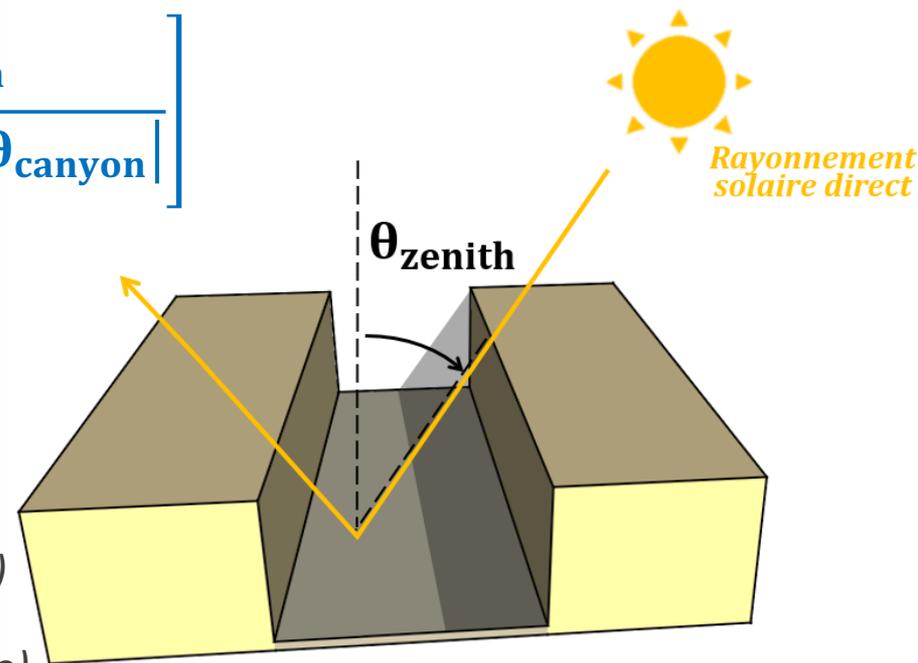
- **Rayonnement solaire direct** (directionnel) reçu par la surface
= Calcul géométrique des effets d'ombrage en fonction de la forme et l'orientation du canyon, et de la position du soleil

$$S_{\text{road}}^{\downarrow} = S^{\downarrow} \left[1 - \frac{\frac{H}{W} \tan \theta_{\text{zenith}}}{|\sin \theta_{\text{azimuth}} - \sin \theta_{\text{canyon}}|} \right]$$

H/W	Rapport d'aspect du canyon
θ_{can}	Angle d'orientation du canyon
θ_{zenith}	Angle zénithal
θ_{azimuth}	Angle azimuthal

$$S_{\text{wall A}}^{\downarrow} = S^{\downarrow} \left[1 - S_{\text{road}}^{\downarrow} \right] \frac{W}{H} \quad (\text{au soleil})$$

$$S_{\text{wall B}}^{\downarrow} = 0 \quad (\text{à l'ombre})$$



Description du modèle TEB

Bilan radiatif

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

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

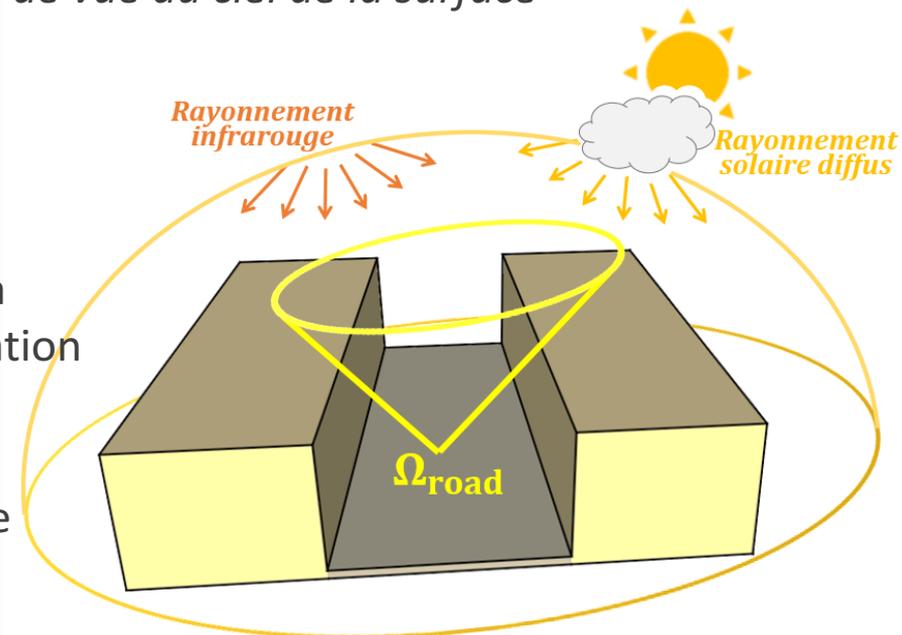
$$S_{\text{road}}^{\downarrow} = \Psi_{\text{road}} S^{\downarrow}$$

$$S_{\text{wall}}^{\downarrow} = \Psi_{\text{wall}} S^{\downarrow}$$

Facteur de vue du ciel Ψ est la portion de la voûte céleste vue depuis un point d'observation (ici le centre de la surface)

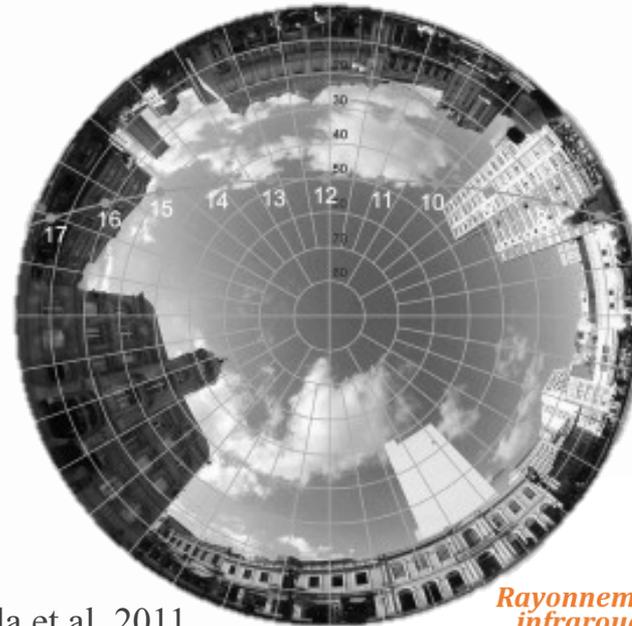
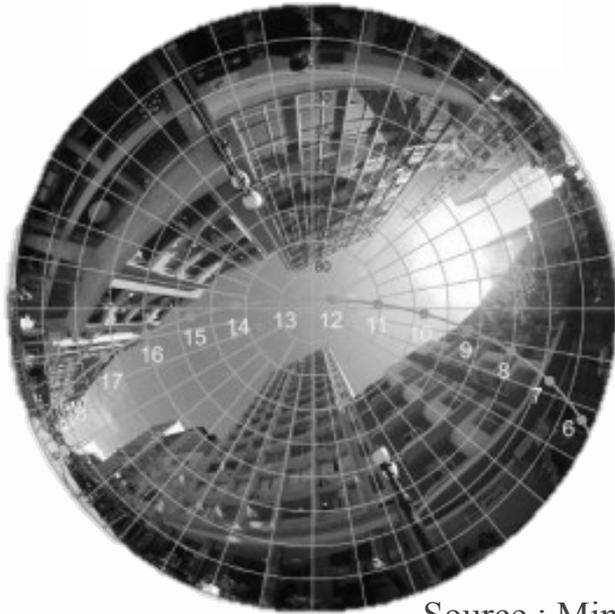
$0 \leq \Psi \leq 1$ selon l'é étroitesse du canyon

$\Psi = 1$ pour une surface plane sans obstacle



Description du modèle TEB

Bilan radiatif

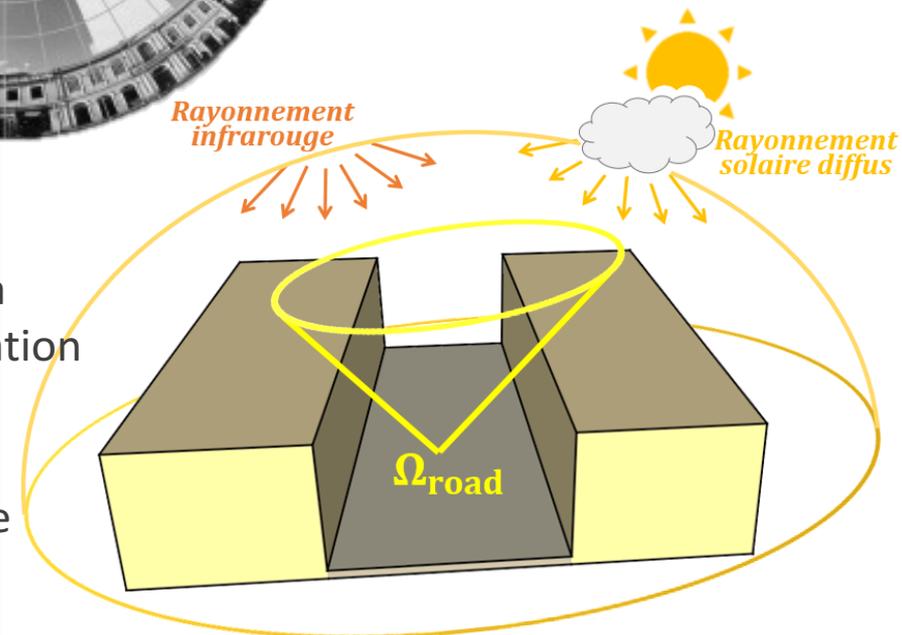


Source : Minella et al. 2011

Facteur de vue du ciel Ψ est la portion de la route céleste vue depuis un point d'observation (ici le centre de la surface)

$0 \leq \Psi \leq 1$ selon l'étroitesse du canyon

$\Psi = 1$ pour une surface plane sans obstacle



Description du modèle TEB

Bilan radiatif

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

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

$$S_{\text{road}}^{\downarrow} = \Psi_{\text{road}} S^{\downarrow}$$

$$S_{\text{wall}}^{\downarrow} = \Psi_{\text{wall}} S^{\downarrow}$$

Facteur de vue du ciel Ψ est la portion de la voûte céleste vue depuis un point d'observation (ici le centre de la surface)

$0 \leq \Psi \leq 1$ selon l'é étroitesse du canyon

$\Psi = 1$ pour une surface plane sans obstacle

$$\Psi_{\text{road}} = \sqrt{\left(\frac{H}{W}\right)^2 + 1} - \frac{H}{W}$$

$$\Psi_{\text{wall}} = \frac{1}{2} \frac{\frac{H}{W} + 1 - \sqrt{\left(\frac{H}{W}\right)^2 + 1}}{\frac{H}{W} + 1}$$

Noilhan (1981)

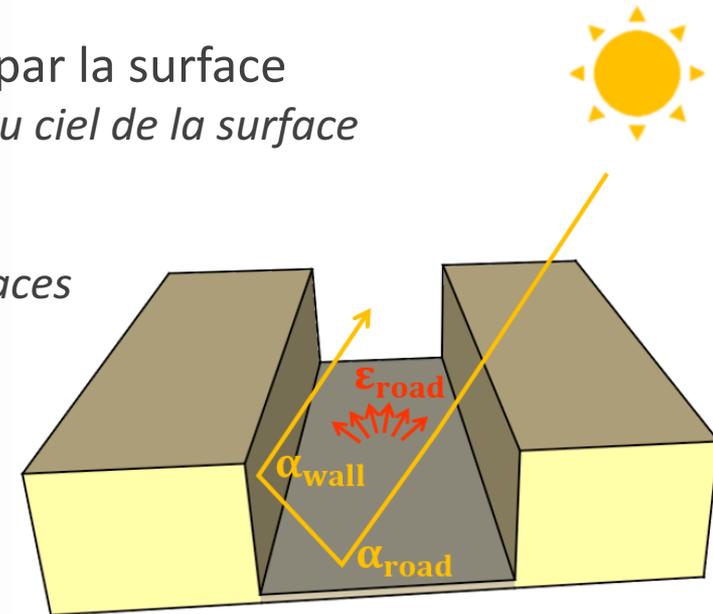
Description du modèle TEB

Bilan radiatif

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

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

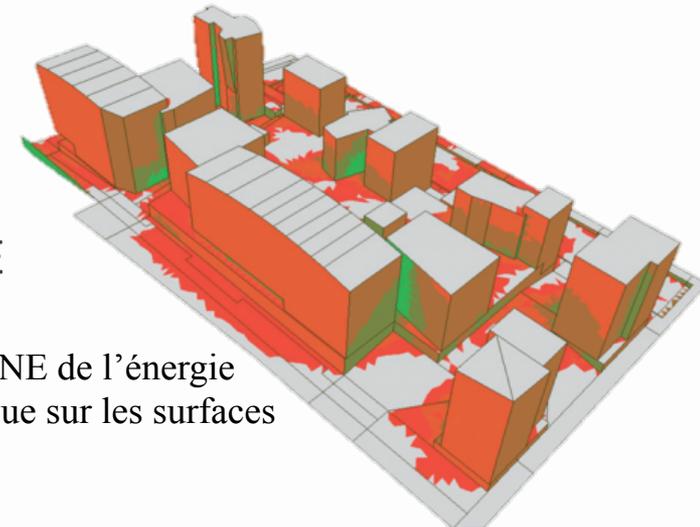
REM : Le bilan radiatif pour le rayonnement infrarouge fait intervenir les émissions des surfaces (en fonction des températures de surface)



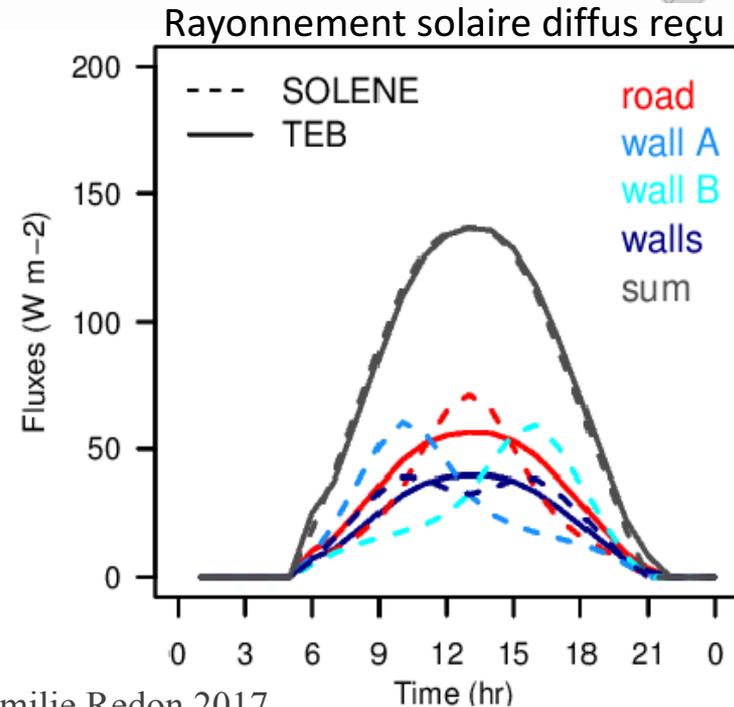
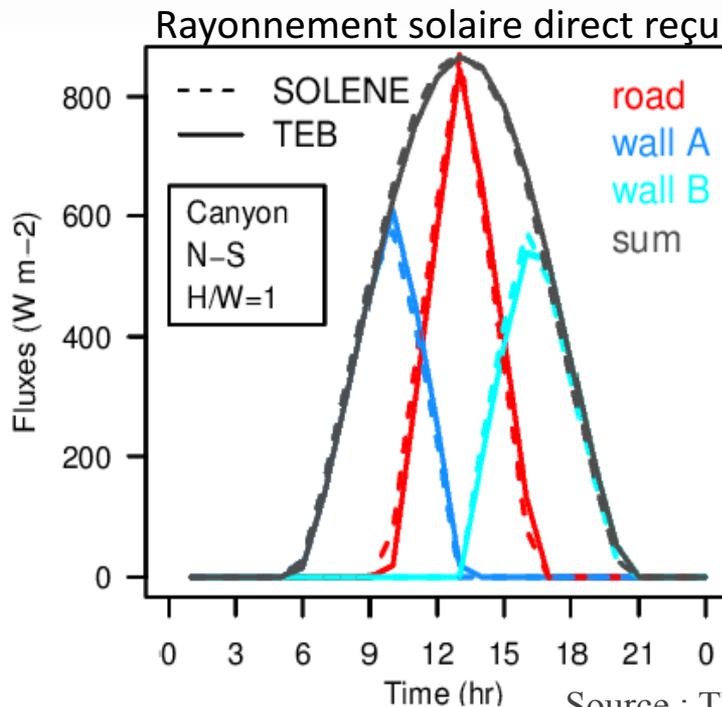
Description du modèle TEB

Bilan radiatif

Malgré les hypothèses simplificatrices,
le bilan radiatif est correctement simulé
>> comparaison au logiciel architectural SOLENE



Ex : Simulation SOLENE de l'énergie
solaire directe max reçue sur les surfaces

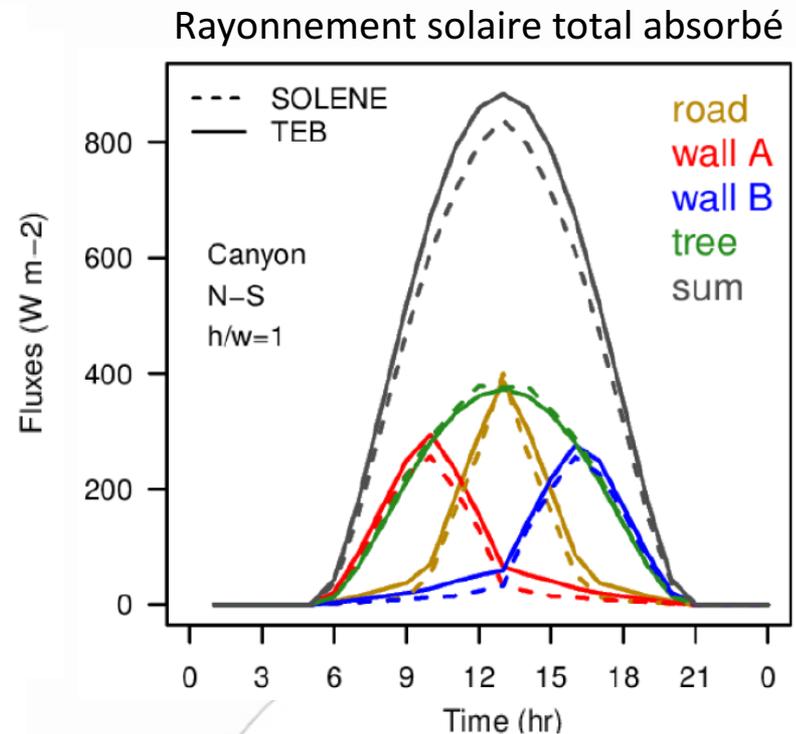
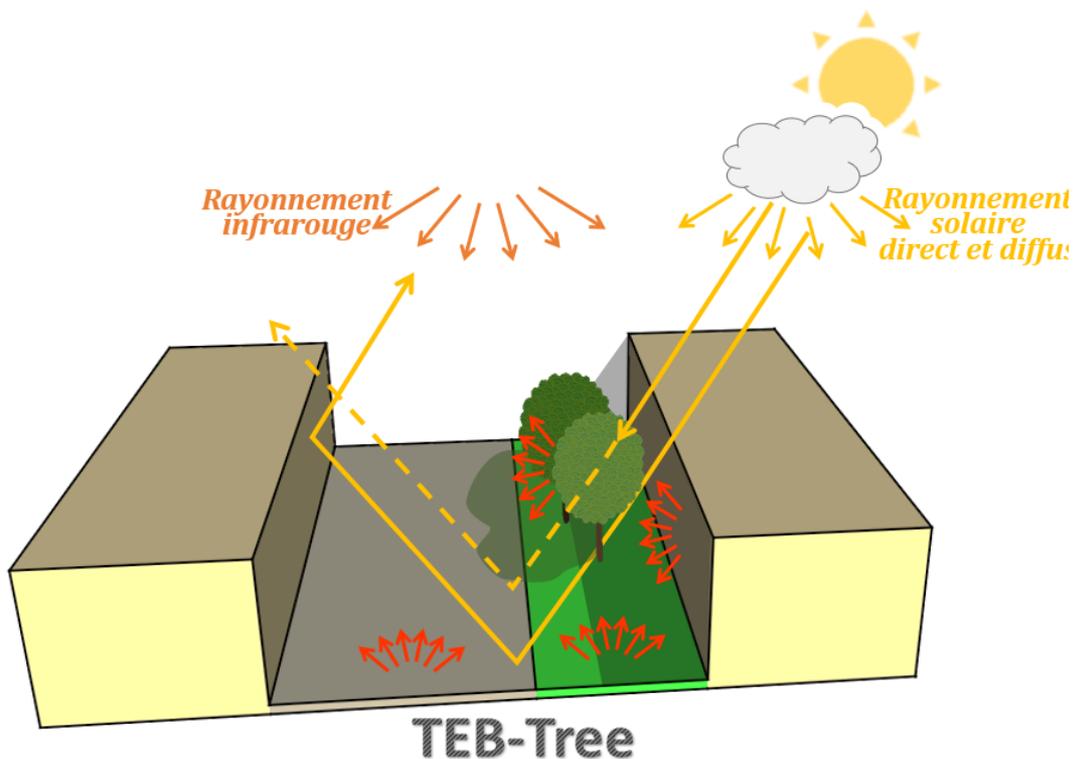


Description du modèle TEB

Bilan radiatif

De récents développements permettent de prendre en compte les **effets radiatifs liés à la présence de végétation et d'arbres** dans le canyon

- Ombrage et atténuation au travers du couvert arboré
- Inter-réflexions avec les arbres
- Emission infrarouges des arbres

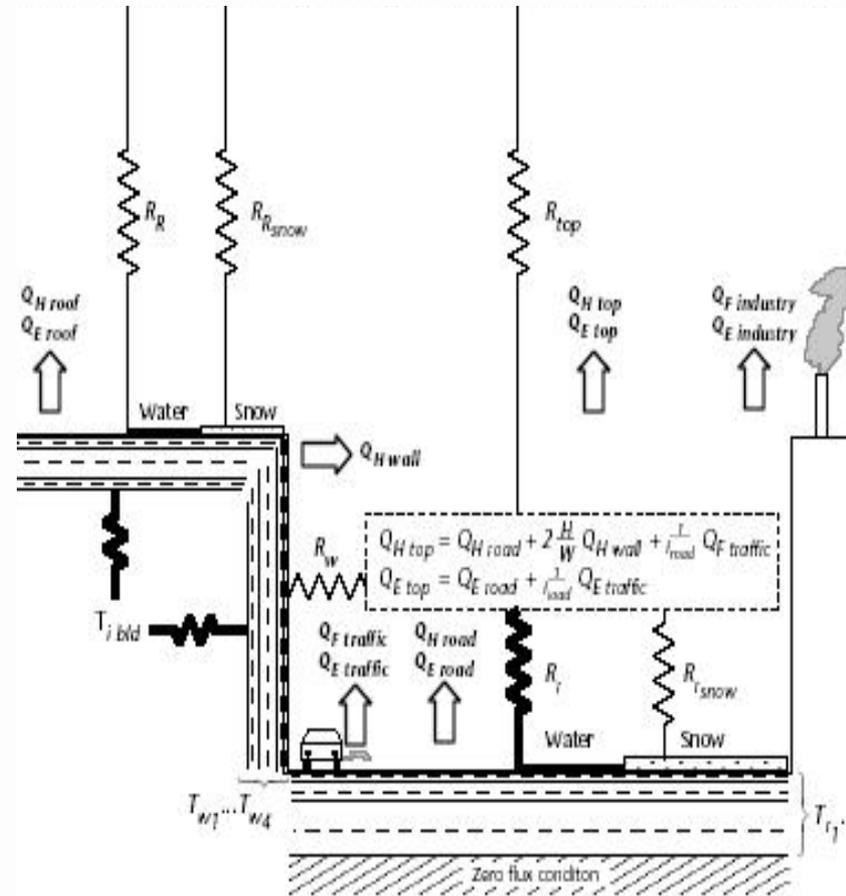


Description du modèle TEB

Températures des surfaces urbaines

Pour chaque surface urbaine, l'équation d'évolution de la température est résolue

- La température de la première couche (fine) est assimilée à la température de surface
- L'équation d'évolution dépend du bilan d'énergie pour la couche de surface
- Elle dépend de la conduction de la chaleur pour les autres couches de matériaux
- Des conditions aux limites pour la dernière couche (dans le sol profond pour la route et dans les bâtiments pour les murs et les toits)



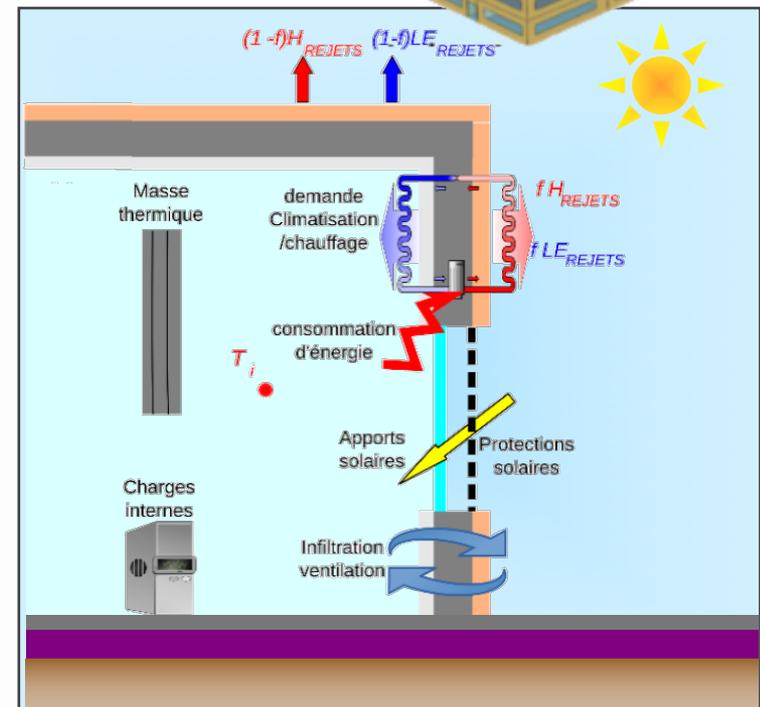
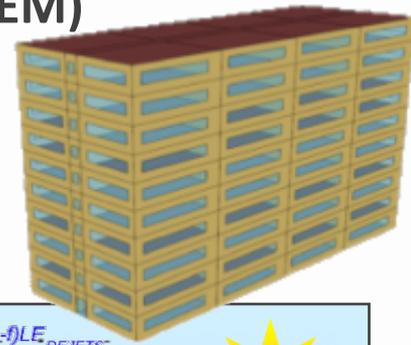
Source : Masson BLM 2000

Description du modèle TEB

Energétique du bâtiment

Le modèle TEB inclut aujourd'hui le **Building Energy Model (BEM)** qui résout un bilan d'énergie interne dans le bâtiment

- Il s'inspire de modèles d'énergétique du bâtiment sophistiqués comme Energy Plus
- L'intérieur du bâtiment est représenté comme une **zone thermique unique**, i.e. sans tenir compte des séparations en étages et en appartements
- Il définit une **masse thermique unique** qui représente l'inertie thermique des matériaux de construction à l'intérieur du bâtiment (planchers, cloisons)
- Il spécifie une **fraction de surfaces vitrées** pour les façades



Source : Pigeon et Bueno 2012

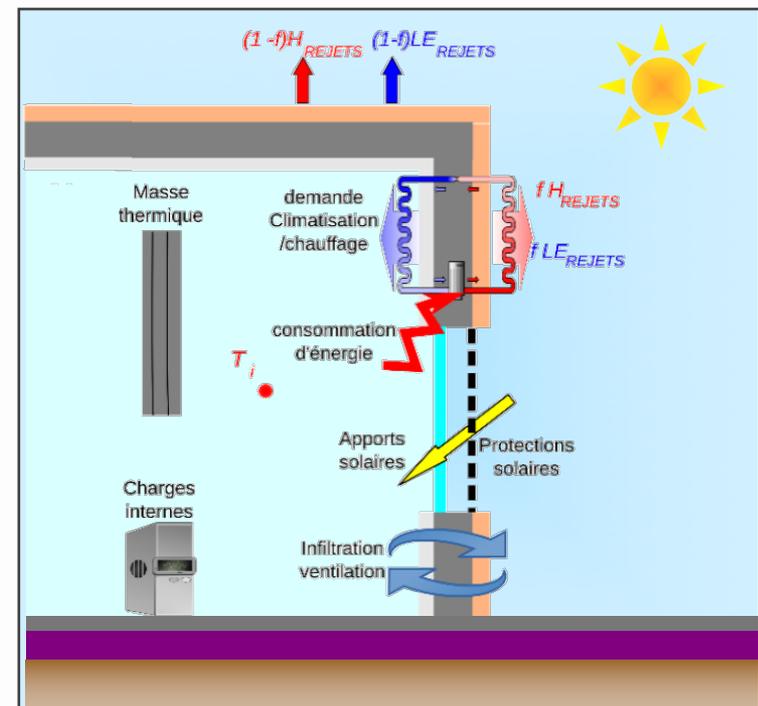
Description du modèle TEB

Energétique du bâtiment

Le modèle TEB inclut aujourd'hui le **Building Energy Model (BEM)** qui résout un bilan d'énergie interne dans le bâtiment

BEM modélise :

1. **Les gains d'énergie** via :
 - Pénétration du rayonnement dans le bâtiment au travers des vitrages
 - Charges internes liés aux équipements domestiques
2. **Les échanges d'énergie** par infiltration et ventilation entre l'air extérieur et l'air intérieur
3. **Le fonctionnement de systèmes de chauffage et de climatisation** contrôlé par une température de consigne prescrite en entrée du modèle



Source : Pigeon et Bueno 2012

Description du modèle TEB

Energétique du bâtiment

Le modèle TEB inclut aujourd'hui le **Building Energy Model (BEM)** qui résout un bilan d'énergie interne dans le bâtiment

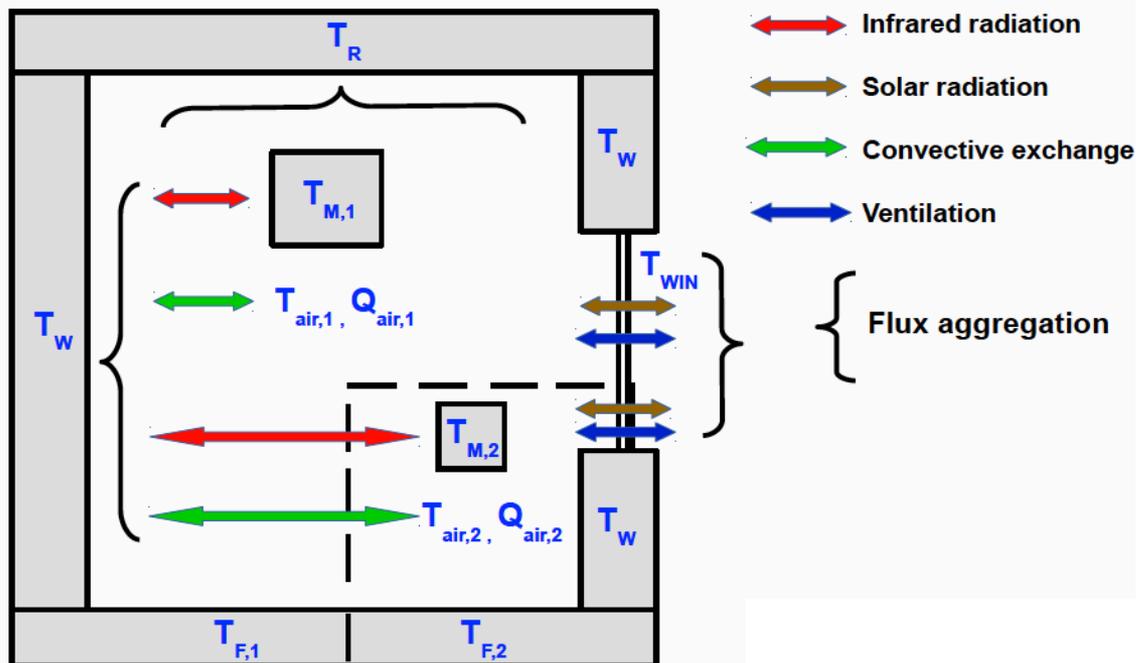
- Modéliser l'impact du climat extérieur sur le **confort intérieur**
- Diagnostiquer la **consommation d'énergie des bâtiments** induite par l'usage de la climatisation et du chauffage
- Evaluer l'**impact des rejets de chaleur** et d'humidité sur l'air extérieur

Description du modèle TEB

Energétique du bâtiment

Le modèle TEB inclut aujourd'hui le **Building Energy Model (BEM)** qui résout un bilan d'énergie interne dans le bâtiment

- Modéliser l'impact du climat extérieur sur le **confort intérieur**
- Diagnostiquer la **consommation d'énergie des bâtiments** induite par l'usage de la climatisation et du chauffage
- Evaluer l'**impact des rejets de chaleur** et d'humidité sur l'air extérieur



Pour une meilleure estimation des consos d'énergie:

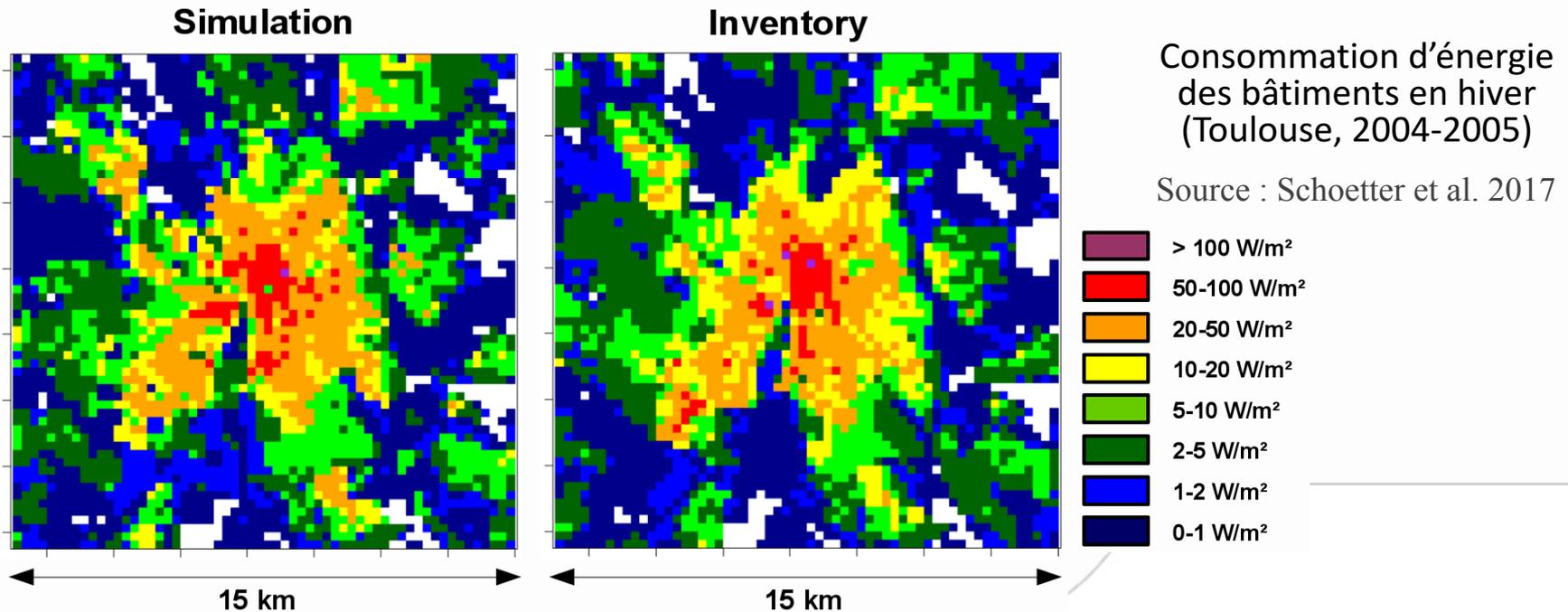
- Usages des bâtiments et comportement des habitants
- Variabilité d'usage au sein d'une même maille

Description du modèle TEB

Energétique du bâtiment

Le modèle TEB inclut aujourd'hui le **Building Energy Model (BEM)** qui résout un bilan d'énergie interne dans le bâtiment

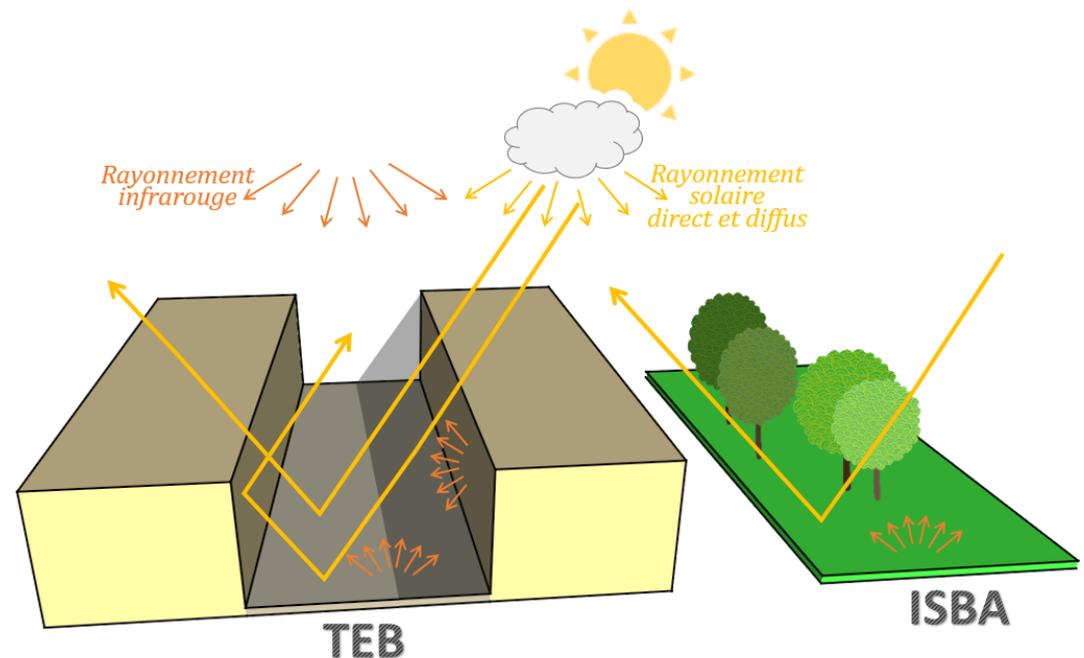
- Modéliser l'impact du climat extérieur sur le **confort intérieur**
- Diagnostiquer la **consommation d'énergie des bâtiments** induite par l'usage de la climatisation et du chauffage
- Evaluer l'**impact des rejets de chaleur** et d'humidité sur l'air extérieur



Description du modèle TEB

Végétation urbaine et sous-sol

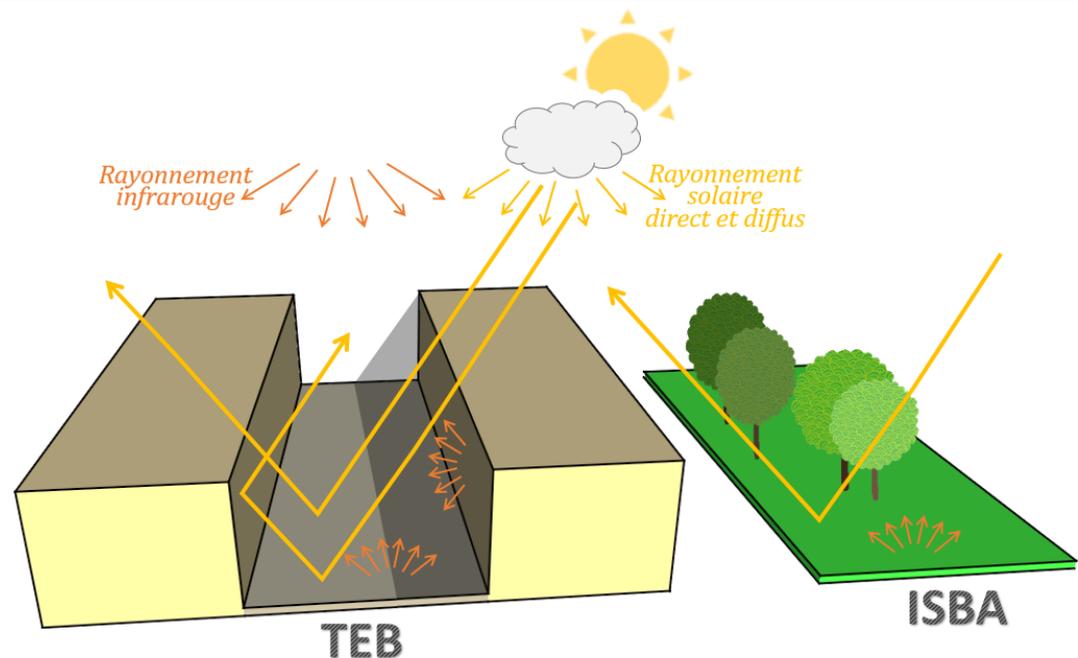
- Initialement, TEB était exclusivement dédié aux surfaces artificielles
- Les couverts naturels étaient modélisés avec ISBA de façon découplée



Description du modèle TEB

Végétation urbaine et sous-sol

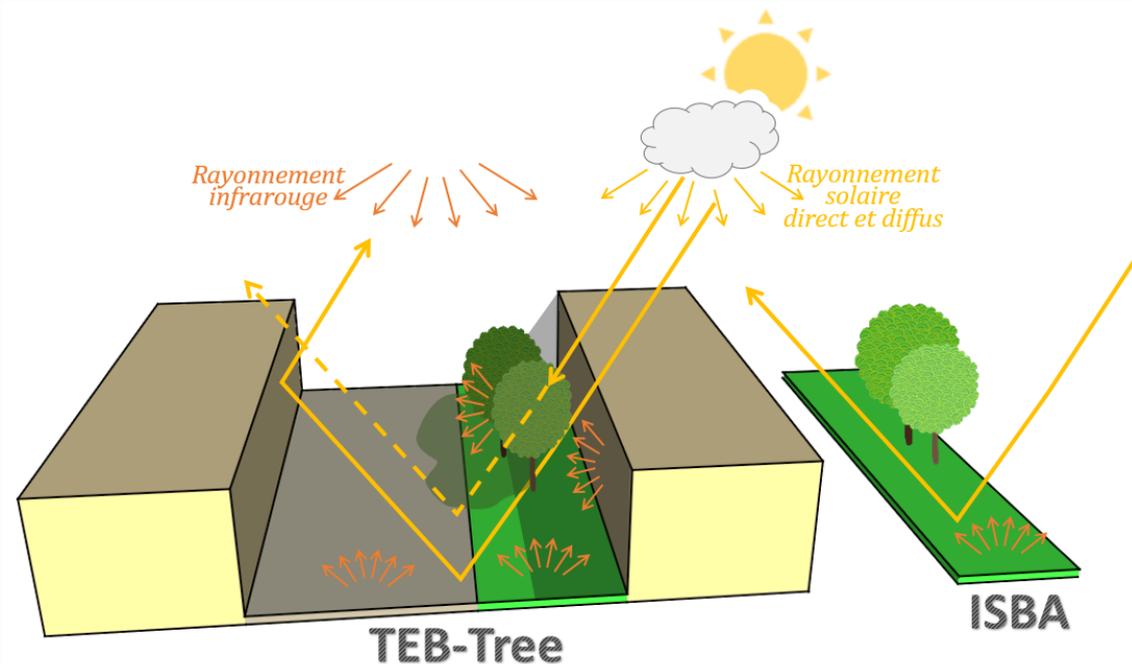
- Initialement, TEB était exclusivement dédié aux surfaces artificielles
- Les couverts naturels étaient modélisés avec ISBA de façon découplée
 - Végétation considérée comme une surface ouverte (sans obstruction)
 - Paramètres géométriques urbains non realistes (canyon trop étroit)
 - Flux turbulents pour la veg calculés avec les conditions au niveau atmosphérique
 - T2m calculée comme une moyenne des T2m calculées par chaque modèle



Description du modèle TEB

Végétation urbaine et sous-sol

- Initialement, TEB était exclusivement dédié aux surfaces artificielles
- Les couverts naturels étaient modélisés avec ISBA de façon découplée
- ▶ De nouvelles versions ont été développées pour intégrer la végétation dans le canyon urbain
- ▶ Ces développements sont basés sur le **couplage de TEB et du modèle de sols et végétation ISBA**

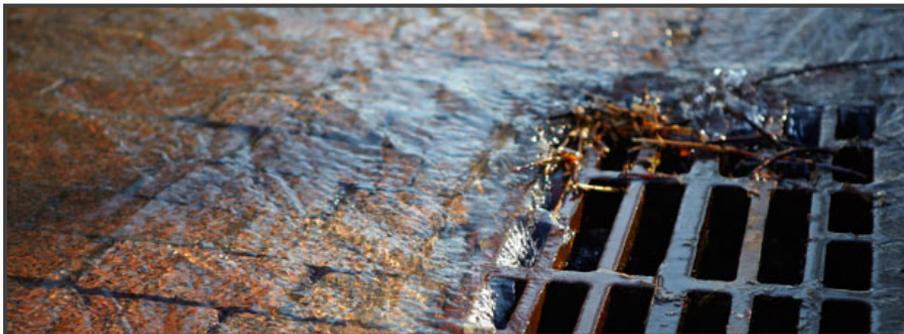


Description du modèle TEB

Végétation urbaine et sous-sol

Les plus récentes versions du modèle représentent

1. La végétation de pleine terre et les arbres de rue
2. Les toitures végétalisées
3. Le sous-sol urbain et l'hydrologie
4. Les systèmes d'arrosage



Description du modèle TEB

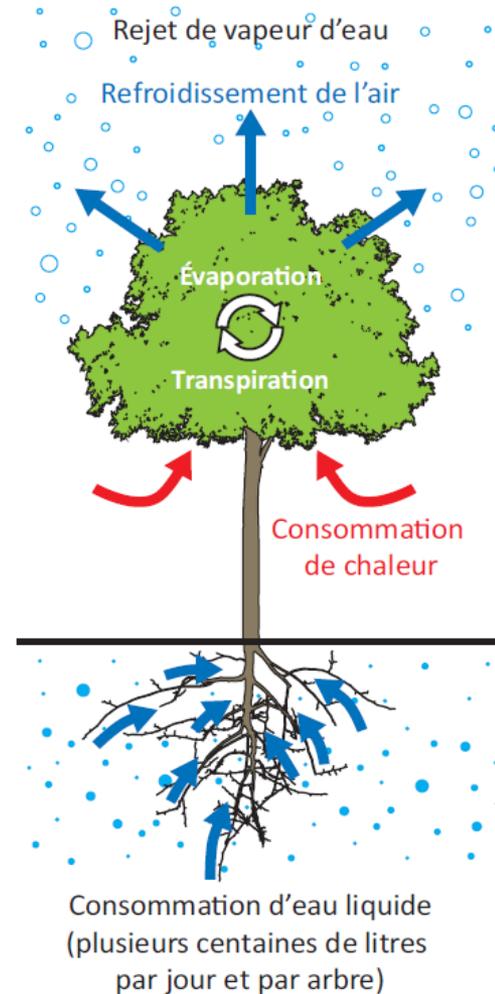
Végétation urbaine et sous-sol

Les plus récentes versions du modèle représentent

1. La végétation de pleine terre et les arbres de rue
2. Les toitures végétalisées
3. Le sous-sol urbain et l'hydrologie
4. Les systèmes d'arrosage

Ces développements permettent de modéliser :

- **Interactions** bâti/végétation/sol/atmosphère
- **Pouvoir rafraîchissant** de la végétation par évapotranspiration
- **Ombre** et atténuation du rayonnement
- **Isolation thermique** des bâtiments
- **Écoulements** surface/sol/réseau
- Evolution des **contenus en eau des sols**

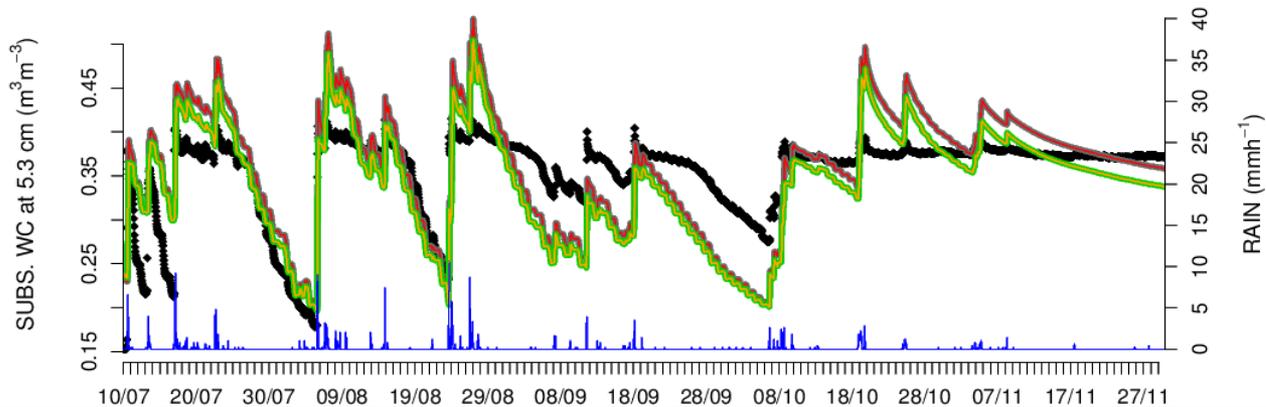
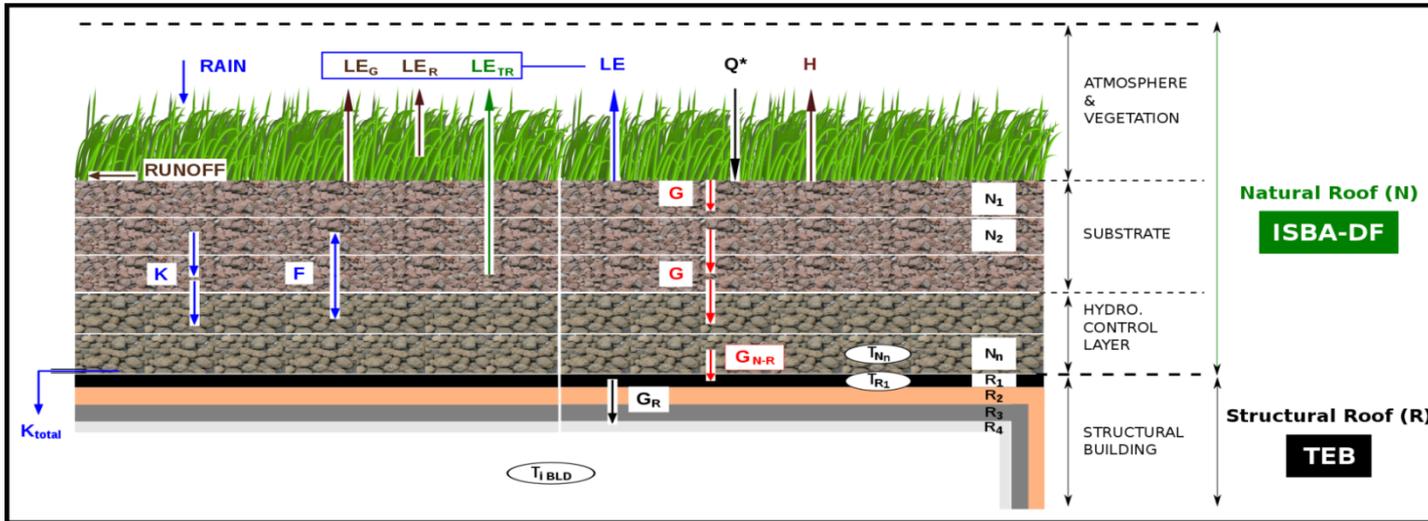


Source : APUR

Description du modèle TEB

Végétation urbaine et sous-sol

Exemple : Modélisation des toitures végétalisées avec la version ISBA-DIF



Évaluation des contenus en eau dans la couche de substrat

Source : de Munck et al. 2013

Description du modèle TEB

Les flux de CO2 en ville

TEB calcule les flux de CO2 *(Goret et al 2018)*

1. De manière dynamique, évoluant en fonction des conditions météorologiques

- Depuis les bâtiments (chauffage) → BEM
- Par la végétation (photosynthèse, respiration) → ISBA-Ags

2. De manière prescrite (inventaire nécessaire)

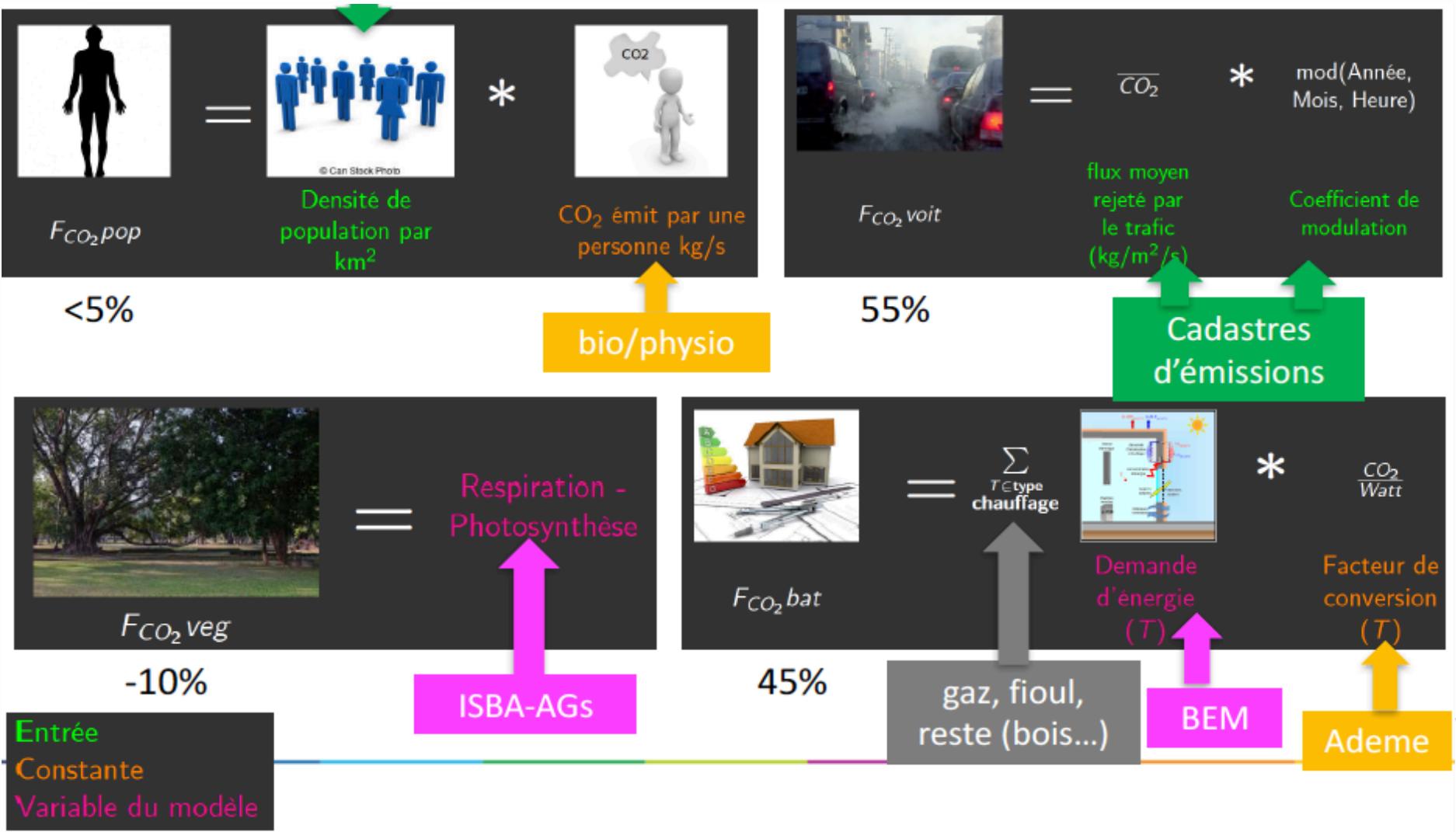
- trafic
- Industries
- Métabolisme (population)

Description du modèle TEB

Les flux de CO2 en ville

TEB calcule les flux de CO2

(Goret et al 2018)



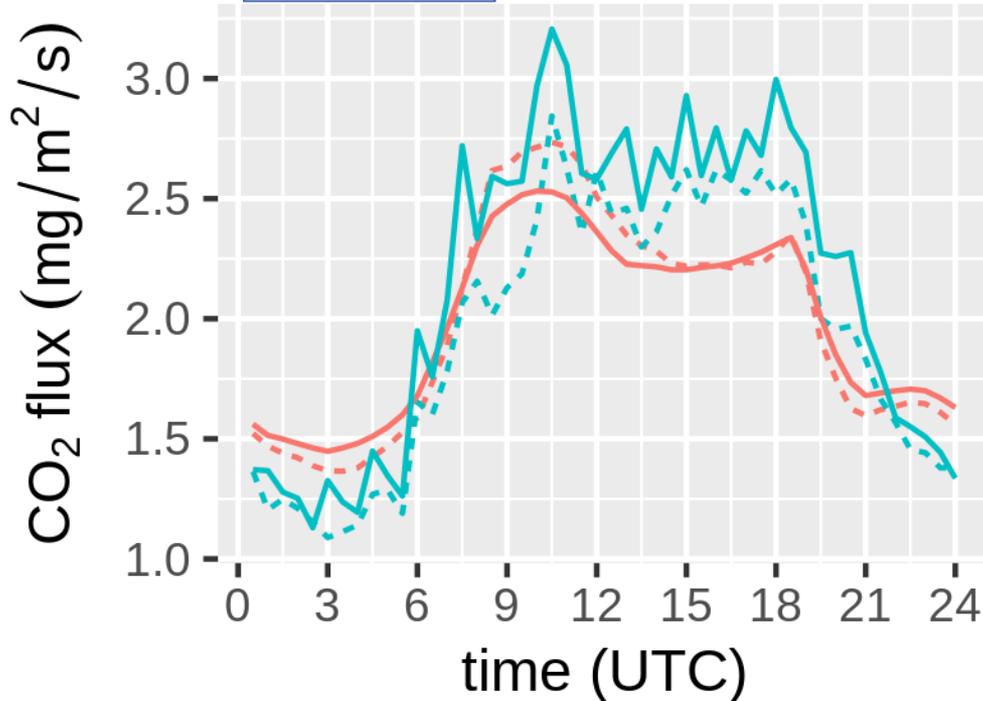
Description du modèle TEB

Les flux de CO₂ en ville

TEB calcule les flux de CO₂
(Goret et al 2018)



hiver, 2005



— mean
- - - median

— model (TEB)
— observation



Description du modèle TEB

Les flux de CO2 en ville

Les flux de CO2 sont aussi une source de validation/amélioration du modèle !

- ◆ Augmentation de la **masse thermique** des bâtiments (+20 cm de dalle béton au lieu du seul plancher)
- ◆ Ajustement de la **température de consigne** de chauffage (jour: 21->22, nuit: 20-> 18)
- ◆ Modification de la **probabilité d'occupation des locaux** (sortie + tardive des bureaux)



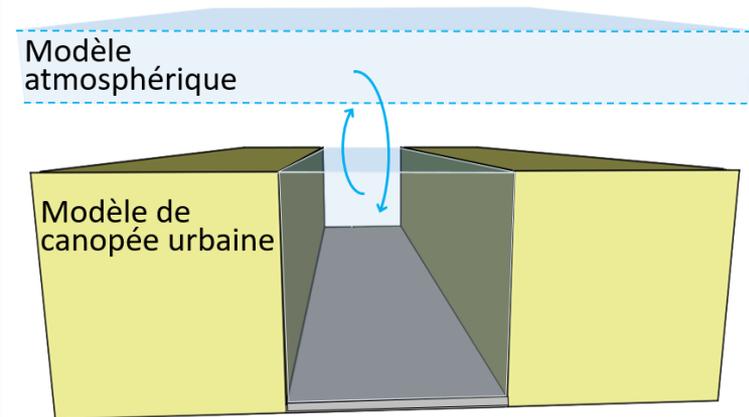
Description du modèle TEB

Profils atmosphériques dans le canyon

Deux grandes familles de modèles de canopée urbaine existent :

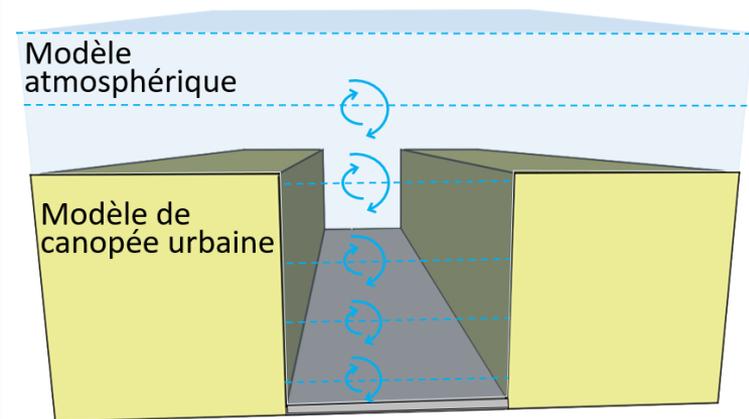
1. Les modèles à une couche

- Le volume d'air dans le canyon est paramétré et découplé du modèle atmosphérique au-dessus
- Les paramètres météorologiques sont uniformes dans le canyon



2. Les modèles multi-couches

- Les basses couches du modèle atmosphérique pénètrent à l'intérieur du canyon
- Les surfaces urbaines modifient les propriétés atmosphériques par un effet de traînée



Description du modèle TEB

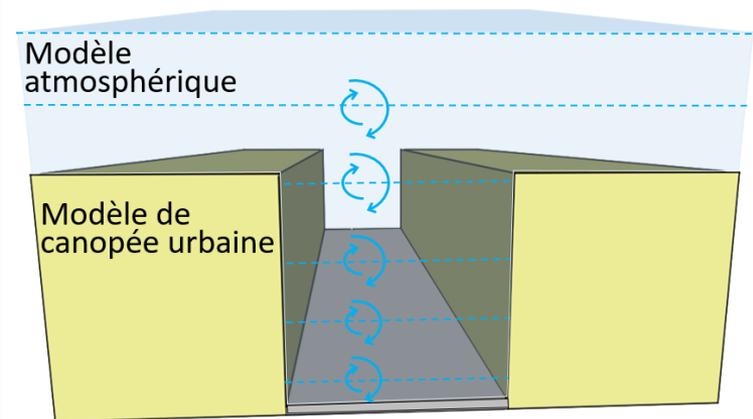
Profils atmosphériques dans le canyon

Initialement, TEB calcule un diagnostic de température de l'air dans la rue à mi-hauteur des bâtiments

Une version **TEB Surface-Boundary-Layer** a été développée (Masson and Seity 2009, Hamdi and Masson 2008)

Elle applique un **modèle simplifié de couche limite de surface** pour calculer les **profils atmosphériques dans le canyon** :

- Température de l'air
- Humidité spécifique
- Vitesse du vent
- Energie cinétique turbulente



Description du modèle TEB

Profils atmosphériques dans le canyon

Approche de forces de traînée (pour les canopées forestières, Yamada 1982)

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \underbrace{\text{Adv} + \text{Cor} + \text{Pres}}_{\text{Termes de grande échelle (modèle atmosphérique)}} + \underbrace{\text{Turb}(U)}_{\text{Transport turbulent dans le canyon}} + \underbrace{\text{Drag}_U}_{\text{Force de traînée résultant des obstacles}}$$

Description du modèle TEB

Profils atmosphériques dans le canyon

Approche de forces de traînée (pour les canopées forestières, Yamada 1982)

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \underbrace{\text{Adv} + \text{Cor} + \text{Pres}}_{\text{Termes de grande échelle (modèle atmosphérique)}} + \underbrace{\text{Turb}(U)}_{\text{Transport turbulent dans le canyon}} + \underbrace{\text{Drag}_U}_{\text{Force de traînée résultant des obstacles}}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \text{LS}(U) + \text{Turb}(U) + \text{Drag}_U$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \text{LS}(T) + \text{Turb}(T) + \frac{\partial T}{\partial t}_{\text{CAN}} \left. \vphantom{\frac{\partial T}{\partial t}} \right\} \begin{array}{l} \text{Taux de} \\ \text{réchauffement/refroidissement} \\ \text{résultant des facettes urbaines} \end{array}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} = \text{LS}(q) + \text{Turb}(q) + \frac{\partial q}{\partial t}_{\text{CAN}} \left. \vphantom{\frac{\partial q}{\partial t}} \right\} \begin{array}{l} \text{Taux de} \\ \text{humidification/assèchement} \\ \text{résultant des facettes urbaines} \end{array}$$

Description du modèle TEB

Profils atmosphériques dans le canyon

Approche de forces de traînée (pour les canopées forestières, Yamada 1982)

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \underbrace{\text{Adv} + \text{Cor} + \text{Pres}}_{\text{Termes de grande échelle (modèle atmosphérique)}} + \underbrace{\text{Turb}(U)}_{\text{Transport turbulent dans le canyon}} + \underbrace{\text{Drag}_U}_{\text{Force de traînée résultant des obstacles}}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} &= \boxed{\text{LS}(U)} + \boxed{\text{Turb}(U)} + \boxed{\text{Drag}_U} \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= \boxed{\text{LS}(T)} + \boxed{\text{Turb}(T)} + \boxed{\frac{\partial T}{\partial t_{\text{CAN}}}} \\ \frac{\partial q}{\partial t} &= \boxed{\text{LS}(q)} + \boxed{\text{Turb}(q)} + \boxed{\frac{\partial q}{\partial t_{\text{CAN}}}} \end{aligned}$$

Niveau bas du modèle atmosphérique Schéma de turbulence >> longueur de mélange Paramétrisation fonction des flux TEB et de la géométrie

Taux de réchauffement/refroidissement résultant des facettes urbaines
 Taux de humidification/assèchement résultant des facettes urbaines

Description du modèle TEB

Profils atmosphériques dans le canyon

Approche de forces de traînée (pour les canopées forestières, Yamada 1982)

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \underbrace{\text{Adv} + \text{Cor} + \text{Pres}}_{\text{Termes de grande échelle (modèle atmosphérique)}} + \underbrace{\text{Turb}(U)}_{\text{Transport turbulent dans le canyon}} + \underbrace{\text{Drag}_U}_{\text{Force de traînée résultant des obstacles}}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial t} &= \boxed{\text{LS}(U)} + \boxed{\text{Turb}(U)} + \boxed{\text{Drag}_U} \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= \boxed{\text{LS}(T)} + \boxed{\text{Turb}(T)} + \boxed{\frac{\partial T}{\partial t_{\text{CAN}}}} \\ \frac{\partial q}{\partial t} &= \boxed{\text{LS}(q)} + \boxed{\text{Turb}(q)} + \boxed{\frac{\partial q}{\partial t_{\text{CAN}}}} \end{aligned}$$

Niveau bas du modèle atmosphérique Schéma de turbulence >> longueur de mélange Paramétrisation fonction des flux TEB et de la géométrie

Taux de réchauffement/refroidissement résultant des facettes urbaines
 Taux de humidification/assèchement résultant des facettes urbaines

$$\frac{\partial e}{\partial t} = \text{PDyn}(U) + \text{PTh}(T) + \text{Diss}(e) + \frac{\partial e}{\partial t_{\text{CAN}}}$$

Production/Dissipation de TKE résultant des facettes urbaines

Description du modèle TEB

Profils atmosphériques dans le canyon

Approche de forces de traînée (pour les canopées forestières, Yamada 1982)

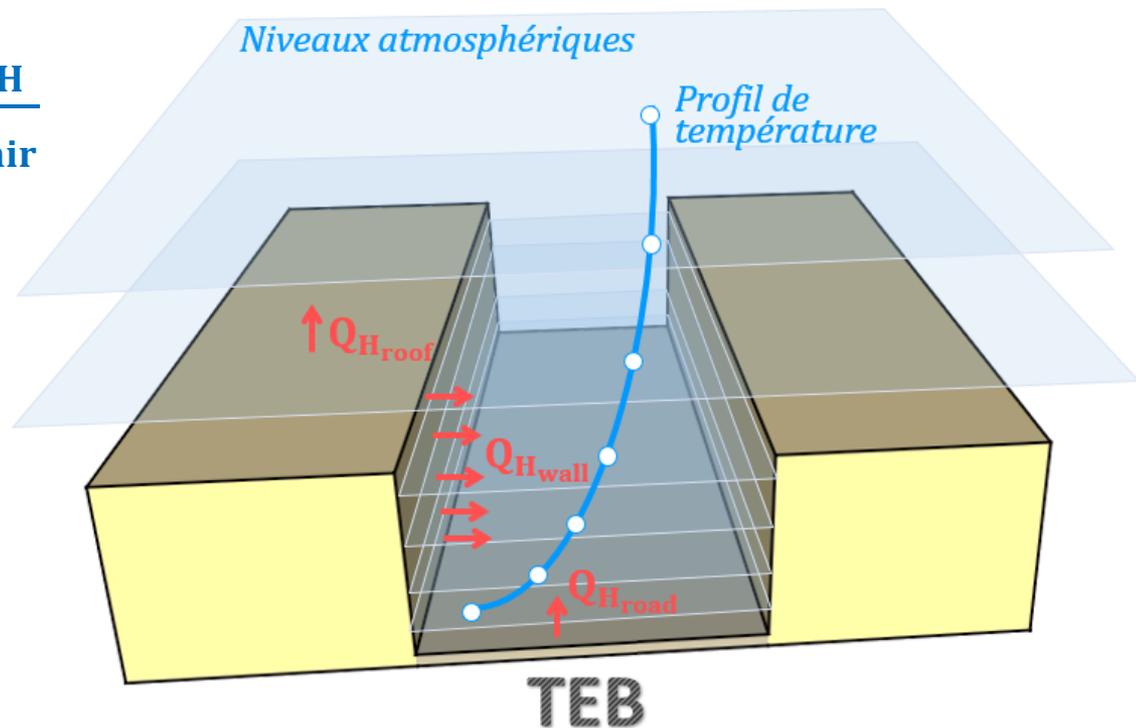
$$\text{Drag}_U = -U_*^2 \frac{S_H}{V_{\text{air}}} - C_D U^2 \frac{S_V}{V_{\text{air}}}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t_{\text{CAN}}} = \left(\frac{Q_{H_{\text{roof}}} + Q_{H_{\text{road}}}}{\rho C_p} \right) \frac{S_H}{V_{\text{air}}} + \frac{Q_{H_{\text{wall}}}}{\rho C_p} \frac{S_V}{V_{\text{air}}}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t_{\text{CAN}}} = \left(\frac{Q_{E_{\text{roof}}} + Q_{E_{\text{road}}}}{\rho} \right) \frac{S_H}{V_{\text{air}}}$$

$$\frac{\partial e}{\partial t_{\text{CAN}}} = C_D U^3 \frac{S_V}{V_{\text{air}}}$$

C_D Coefficient de traînée
 S_H Surface horizontale
 S_V Surface verticale
 V_{air} Volume d'air



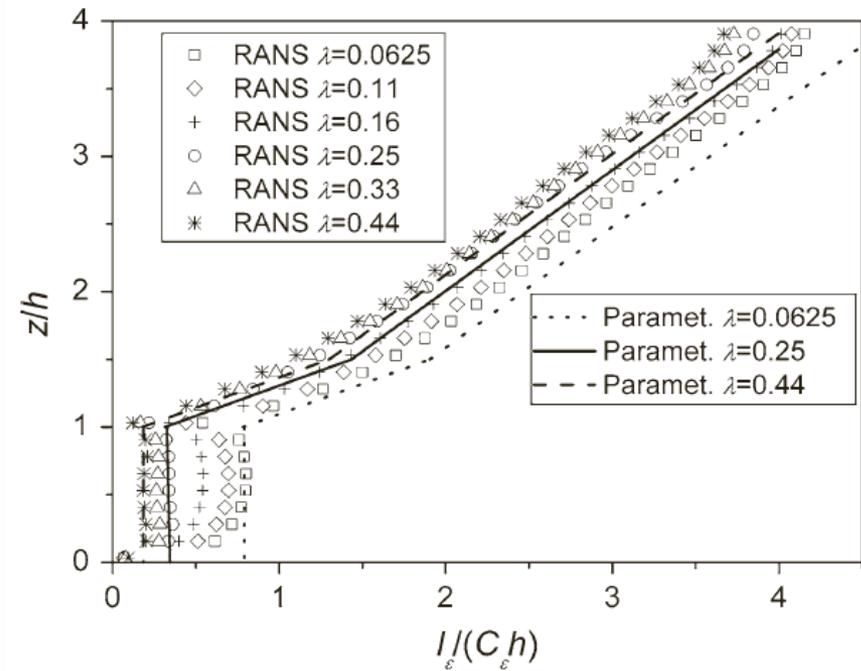
Description du modèle TEB

Profils atmosphériques dans le canyon

Approche de forces de traînée (pour les canopées forestières, Yamada 1982)

Paramétrisation d'une longueur de mélange dans la couche de canopée urbaine et au-dessus des bâtiments en fonction de résultats de simulations CFD (Santiago et Martilli 2010)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{C} = 2.24(z_H - z_d) \quad \text{si } z \leq z_H \\ \frac{L}{C} = 2.24(z - z_d) \quad \text{si } z_H \leq z \leq 1.5 z_H \\ \frac{L}{C} = 1.12(z_H - z_d) \quad \text{si } z \geq 1.5 z_H \end{array} \right.$$

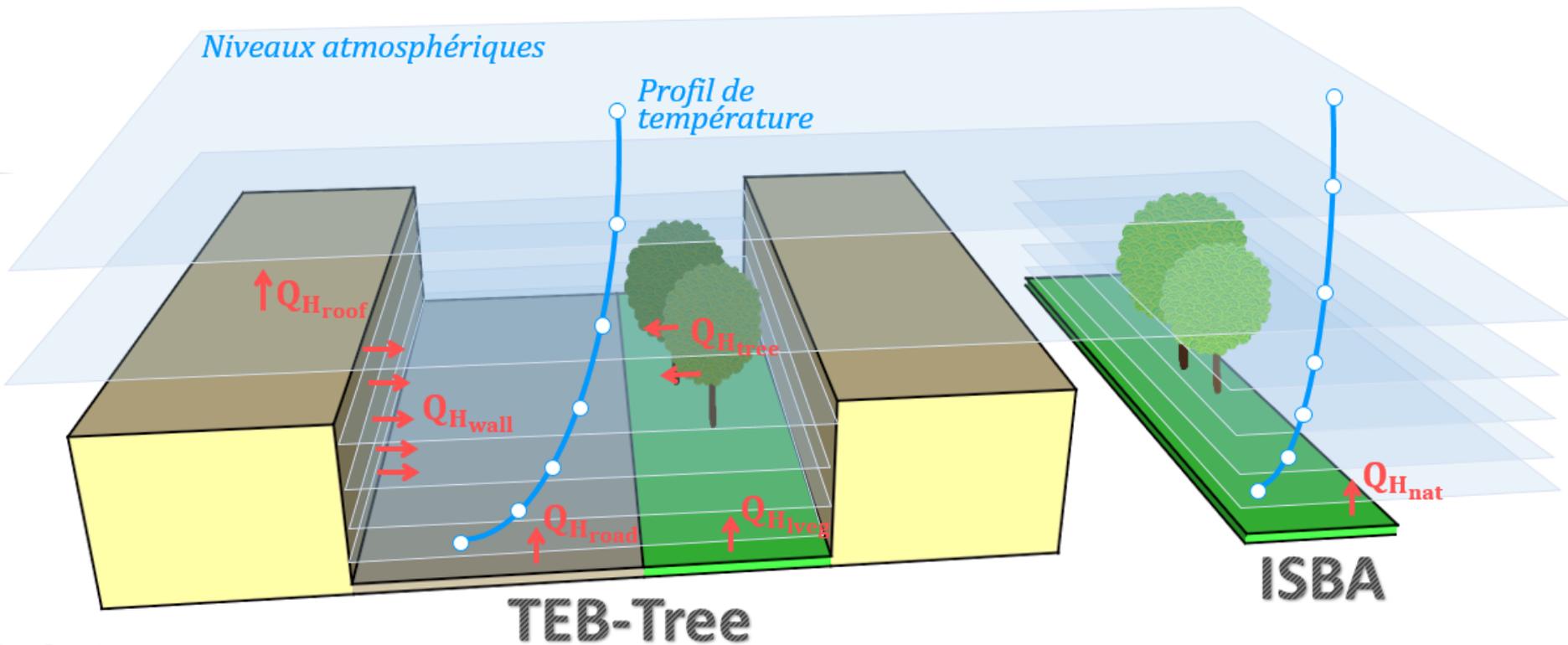


Sources : Santiago et Martilli 2010

Description du modèle TEB

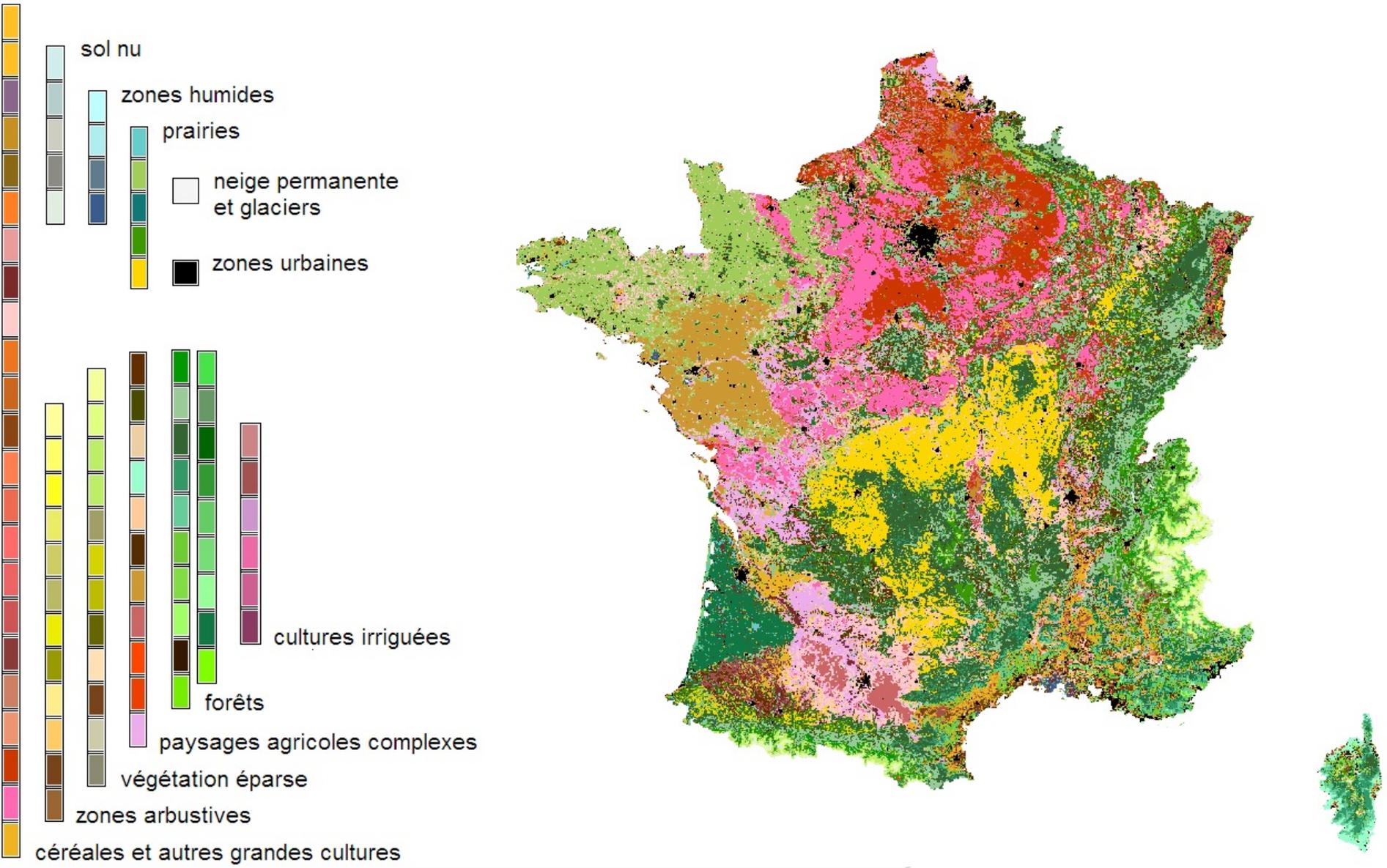
Profils atmosphériques dans le canyon

Approche de forces de traînée (pour les canopées forestières, Yamada 1982)



Bases de données de surface

Données ECOCLIMAP sur le Globe



Bases de données de surface

Données ECOCLIMAP sur le Globe

Définition de 11 classes pour les zones urbaines :

- Urbain dense
- Périurbain discontinu
- Zones industrielles et commerciales
- Espaces verts urbaines
- ...

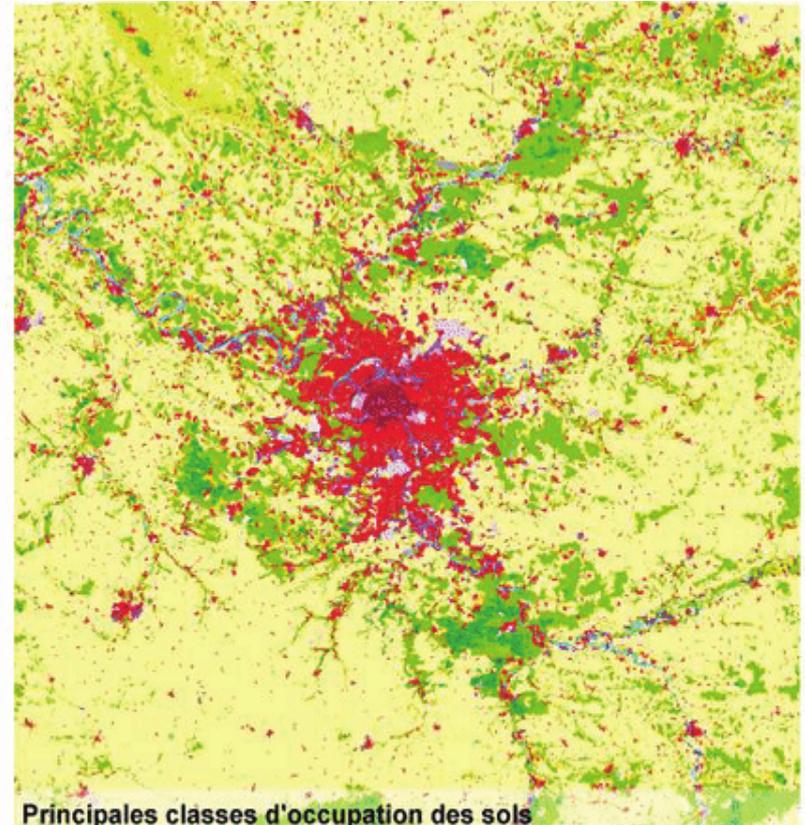
Fournit la cartographie des zones (1 km)
+ les paramètres descriptifs associés :

- Occupation du sol
- Paramètres morphologiques
- Types de matériaux

MAIS

Les paramètres sont généraux à toutes
les villes sans distinction des spécificités
locales

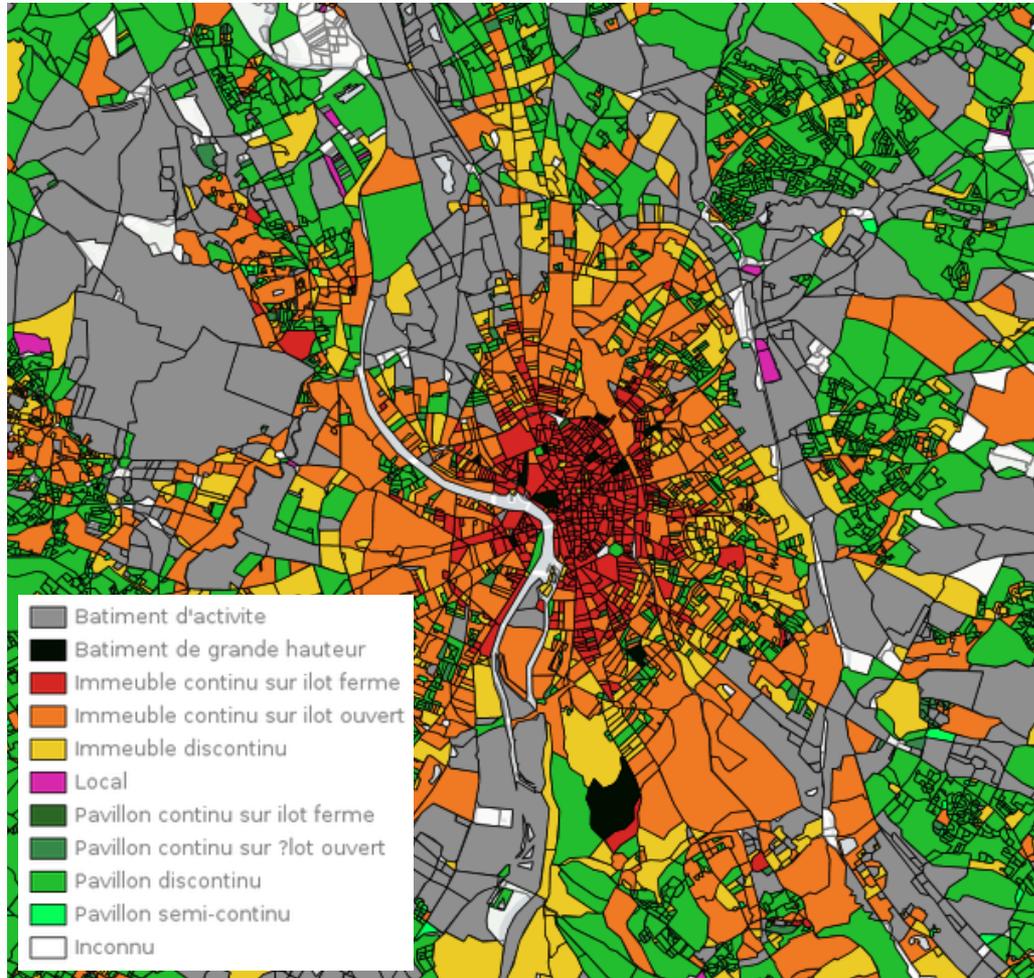
Classification Corine Land Cover / ECOCLIMAP
Région Île de France



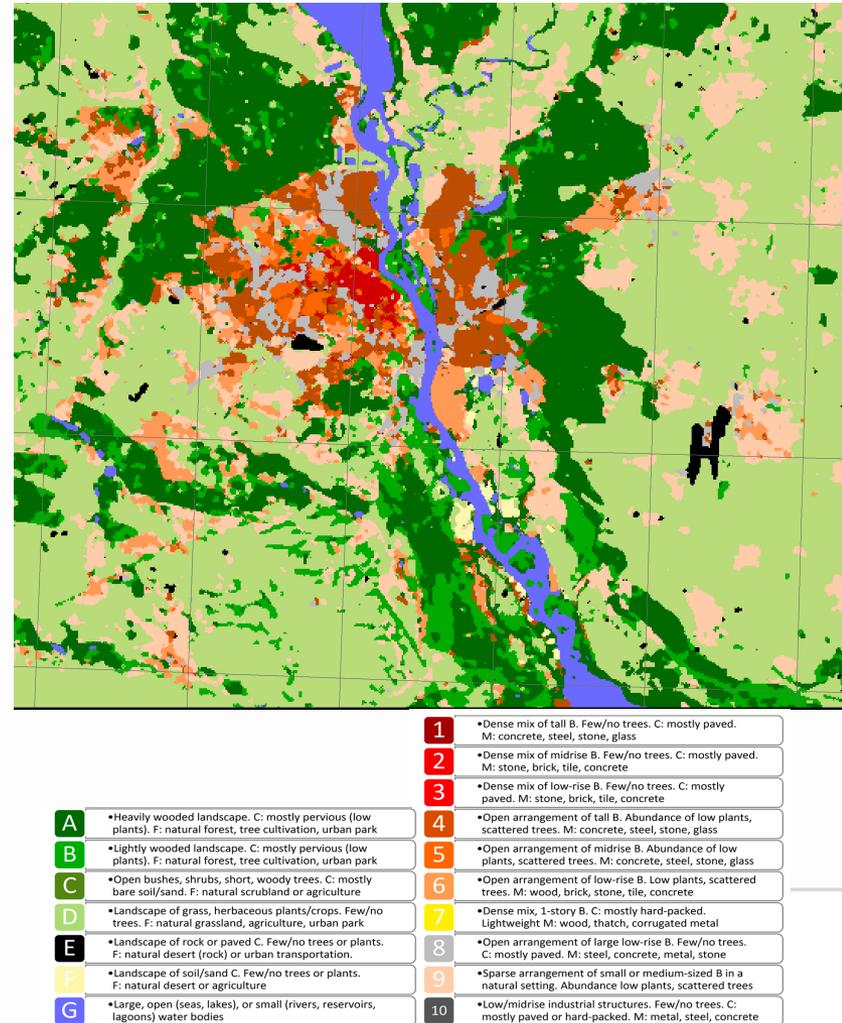
- | | |
|---|---------------------------------------|
| ■ Tissu urbain dense (111) et discontinu (112) | ■ Forêts et milieux semi-naturels (3) |
| ■ Zones industrielles, commerciales (121) et communications (122) | |
| ■ Aéroports (124) | ■ Extraction de matériaux (131) |
| ■ Espaces verts urbains (141) | ■ Eq. sportifs et de loisirs (142) |
| ■ Zones agricoles (2) | |
| ■ Cours d'eau et plans (511 & 512) | |

Initiatives WUDAT et MApUCE

Classification des îlots urbains sur Toulouse
Projet de recherche français MApUCE



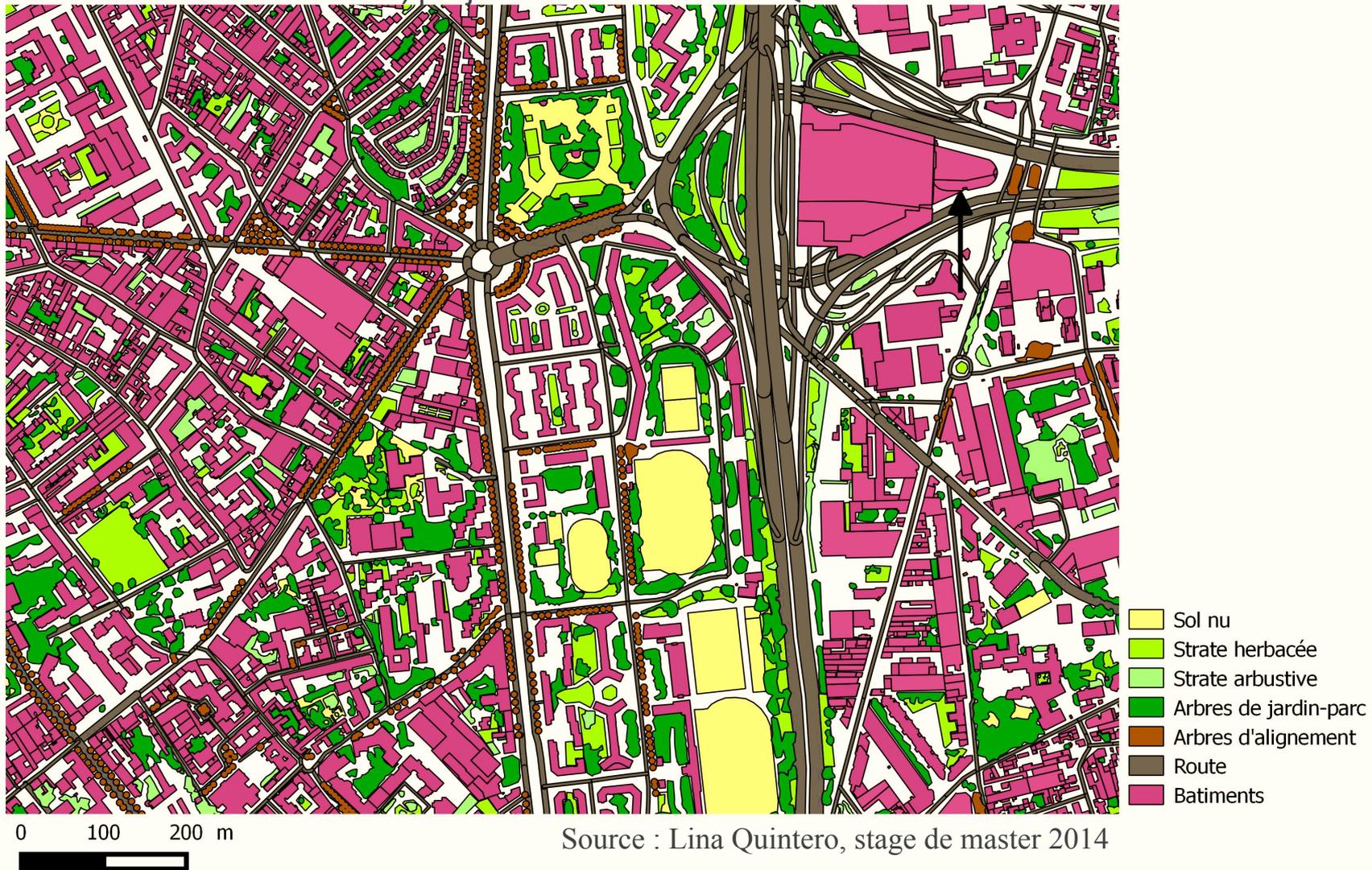
Classification LCZ sur Kiev, Ukraine
Initiative internationale WUDAPT



Bases de données de surface

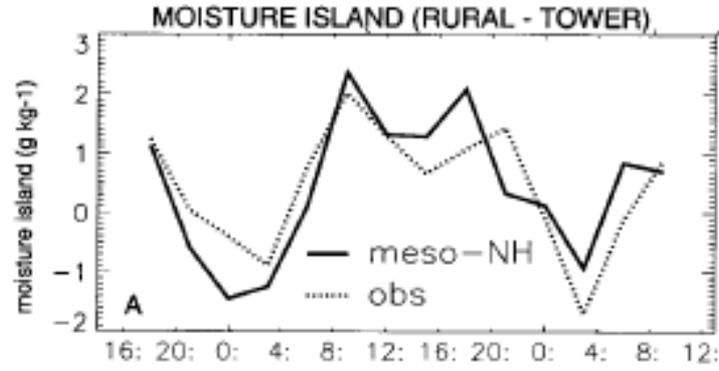
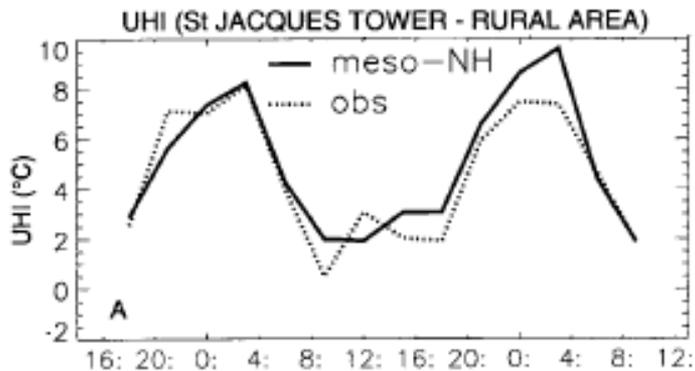
Difficulté de caractériser la végétation urbaine

Numérisation manuelle des couches d'occupation de végétation (par strates)
Toulouse, projet de recherche EUREQUA



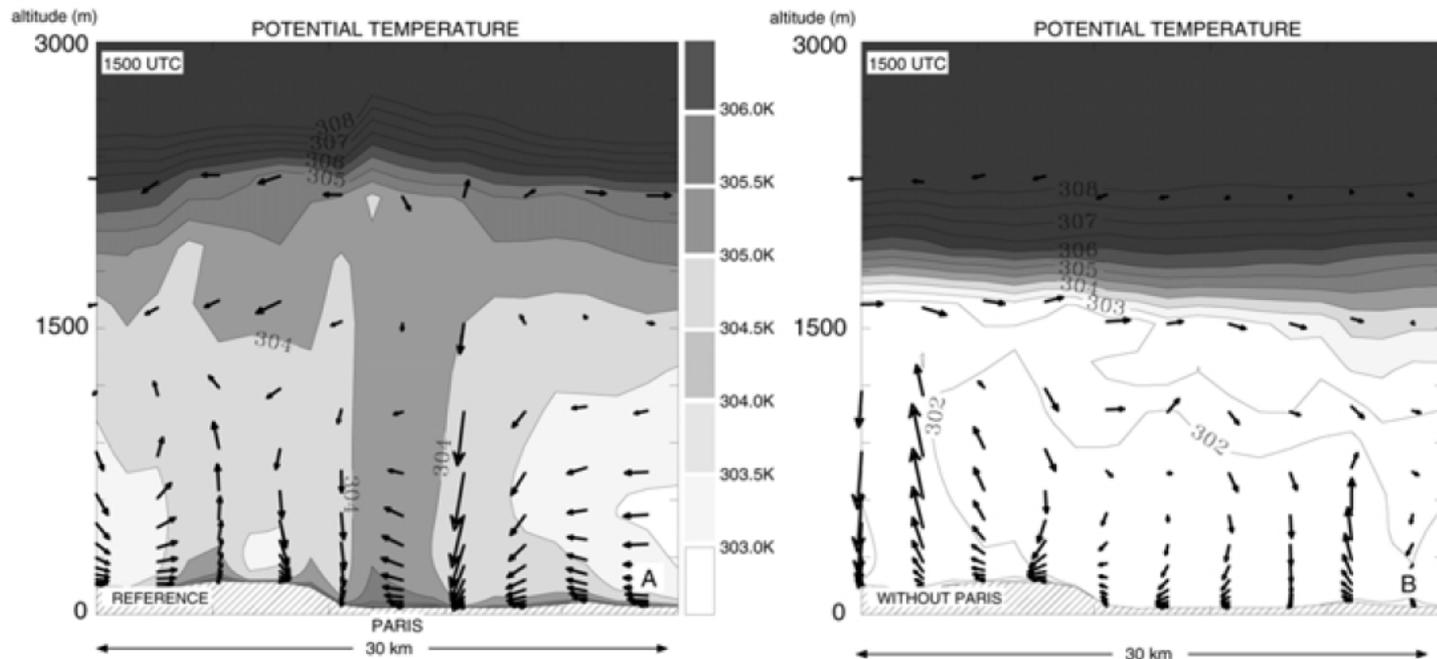
Exemples d'applications

Première étude TEB / Meso-NH sur la région parisienne à 1 km de résolution
Simulation des effets urbains en situation anticyclonique



Îlot de chaleur et
îlot d'humidité
Paris, 12 juillet 1994

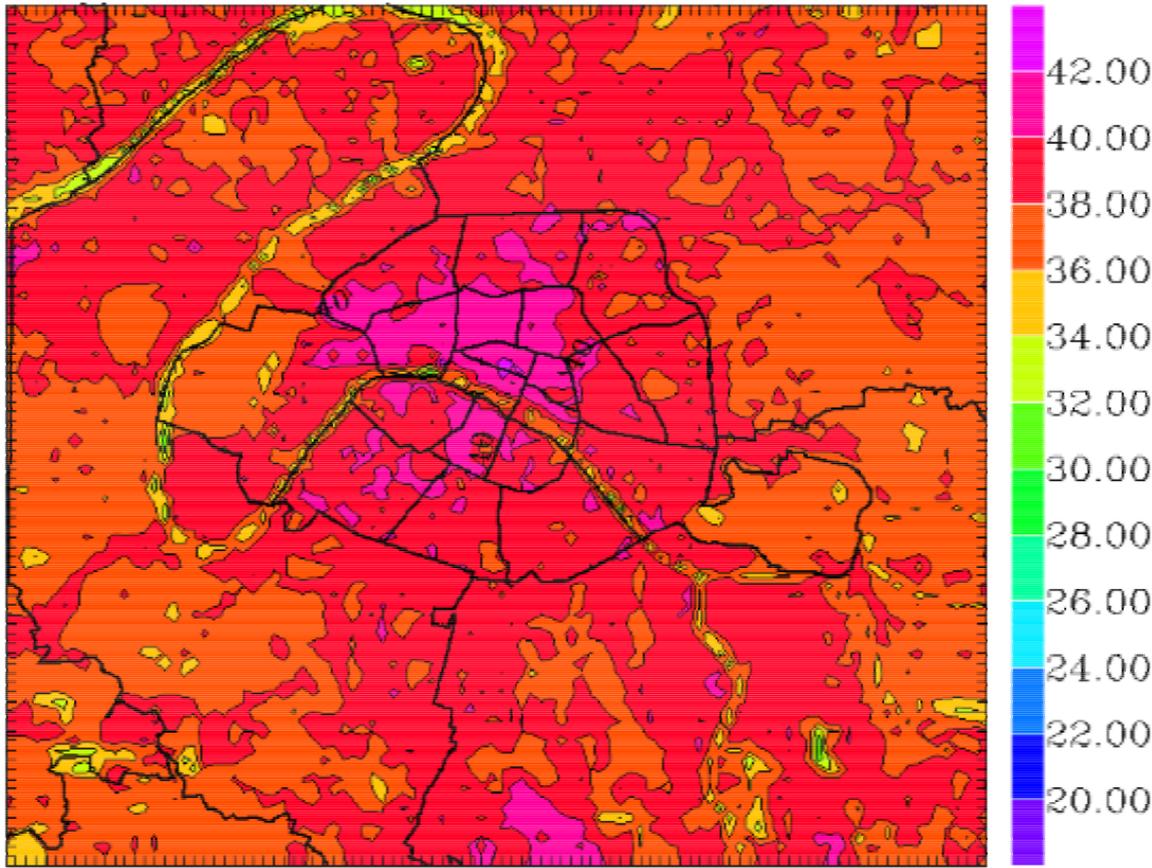
Effets urbains sur la
structure de la CLA
Paris, 12 juillet 1994



Source : Lemonsu et
Masson 2002

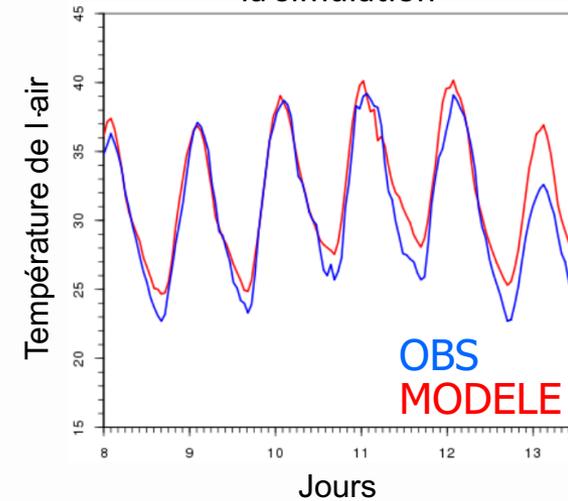
Exemples d'applications

Simulation de la canicule 2003 sur la région parisienne
avec TEB / Meso-NH à 250 m de résolution



T2m sur la région parisienne
pendant la canicule 2003
(résolution spatiale = 250m)

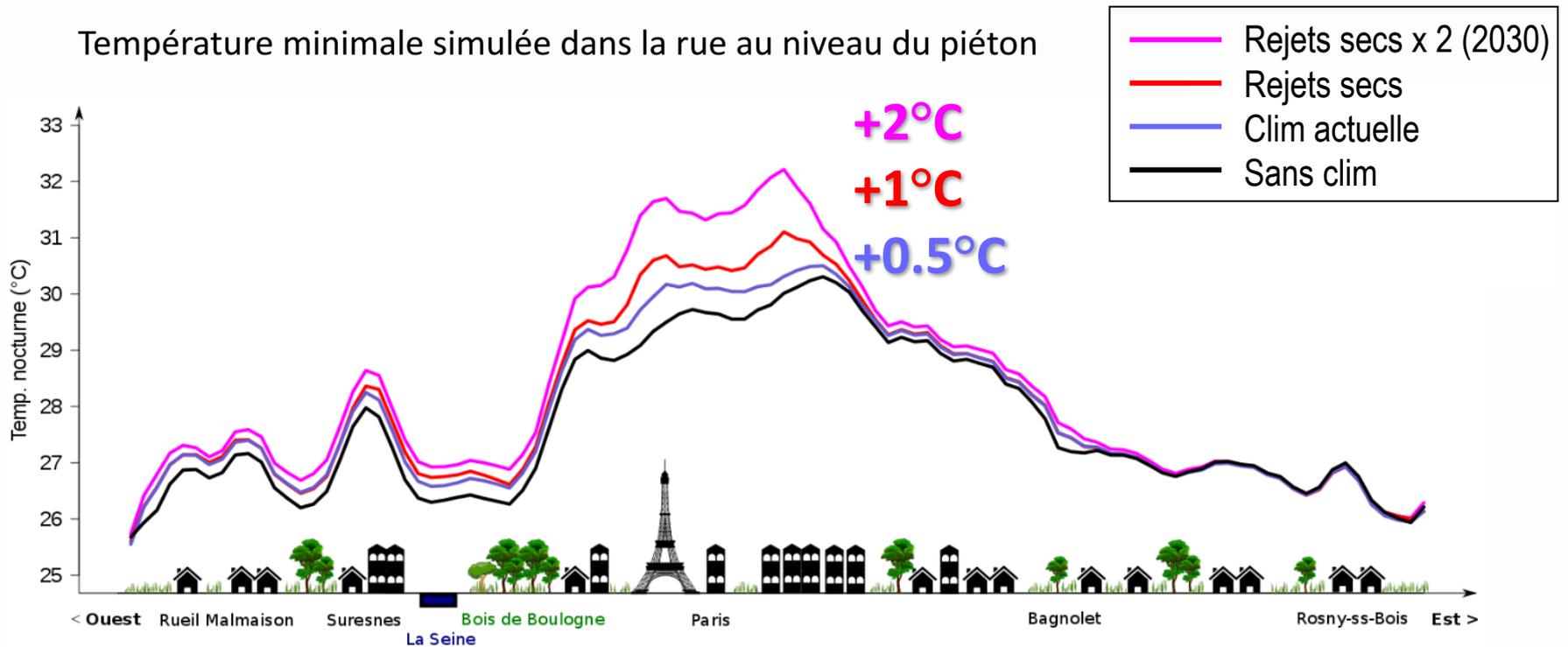
Évaluation systématique de
la simulation



Exemples d'applications

Simulation de la canicule 2003 sur la région parisienne
avec TEB / Meso-NH à 250 m de résolution

>> Etude de l'impact des rejets de clim sur le microclimat dans la rue



Exemples d'applications

Model
Obs

Simulation offline avec TEB
Projet EUREQUA, Toulouse

