



Modélisation à haute-résolution de l'atmosphère à l'échelle de la ville :

**Vers une meilleure représentation des interactions
micro-météorologiques entre quartiers**

Marjorie Musy¹, Isabelle Calmet², Magdalena Maché² & Jean-François Sini²

¹ CERMA UMR CNRS 1563 – ensa Nantes

² LMF UMR CNRS 6598, Ecole Centrale de Nantes

Contact : Isabelle.Calmet@ec-nantes.fr

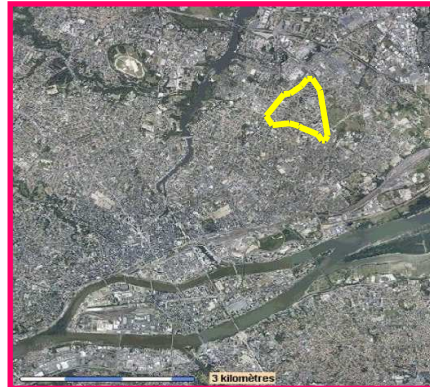
Contexte et objectifs

- Microclimat = Conditions météorologiques spécifiques à une zone de « faible extension géographique »

Une ville dans sa région



Un secteur dans la ville



Un quartier du secteur

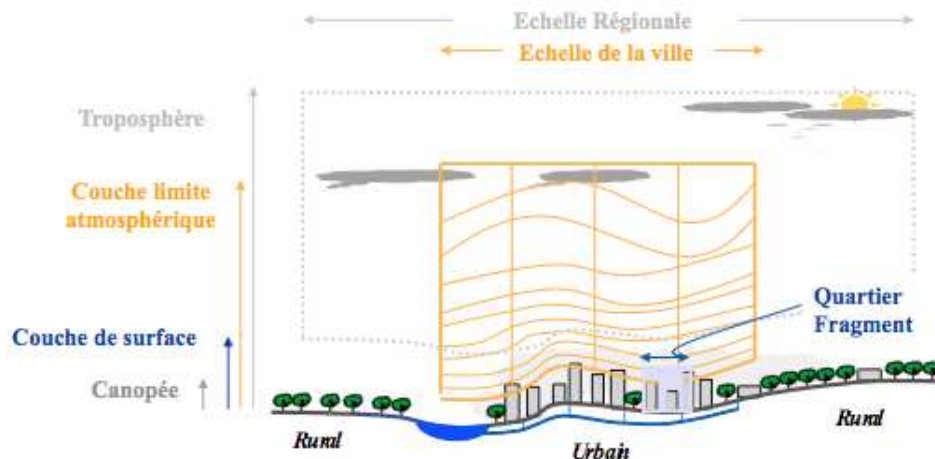
Une rue du quartier



- Le microclimat à l'échelle du quartier ou du fragment :
 - Détermine le confort extérieur (ventilation, îlot de chaleur)
 - Influence le comportement thermique du bâtiment et la demande énergétique
 - Dépend des caractéristiques locales (morphologie, matériaux) et de celles de son environnement

Contexte et objectifs

- Approche de modélisation classique :
 - A chaque échelle son modèle...



- **A l'échelle du fragment**

Résolution explicite des obstacles mais influence des quartiers environnants non prise en compte → conditions d'inflow peu réalistes en CFD appliquée aux zones urbaines !

- **A l'échelle de la ville**

Modélisation des échanges canopée urbaine-atmosphère :

- Soit à l'interface canopée-atmosphère à l'aide d'un modèle de sol qui calcule les flux de chaleur, d'humidité et de quantité de mouvement → pas d'information météo à l'intérieur de la canopée
- Soit à **différents niveaux à l'intérieur d'une canopée « moyenne »** par l'introduction de termes sources/puits dans les équations de Navier-Stokes (force de traînée, flux d'humidité, de chaleur) → **approche « porosité-traînée »**

Contexte et objectifs

- Intérêt de relier les différentes échelles
 - Pour replacer les études à l'échelle du quartier ou du fragment dans un environnement urbain réaliste
- Modéliser l'influence de la morphologie urbaine sur :
 - Les échanges entre canopée et atmosphère
 - **Modèle de couche limite atmosphérique ARPS**
 - Les conditions microclimatiques à l'intérieur de la canopée sans résoudre explicitement les bâtiments
 - **Approche « porosité-traînée »**
 - Les interactions entre les différents quartiers (hétérogénéité)
 - **Simulation des grandes échelles (LES)**

Plan de l'exposé

- Contexte et objectifs
- ➡ Approche « porosité-traînée » pour la canopée urbaine
- Premières applications : canopée idéalisée et canopée réelle
- Perspectives

Approche « porosité-traînée » pour la canopée urbaine

- ❑ **Modèle atmosphérique ARPS** dans lequel l'influence de la canopée est représentée par une force de traînée

→ Approche LES de Dupont & Brunet (2008) pour les **canopées végétales**



$$F_{D_i}(z) = \frac{1}{2} \rho C_d a_f(z) \tilde{u}_i \sqrt{\tilde{u}_j \tilde{u}_j}$$

C_d : Coefficient de traînée constant

$a_f(z)$: Densité frontale volumique fonction de l'indice foliaire au niveau z

- ❑ **Extension du modèle aux canopées urbaines**

→ Représentation de la canopée par des paramètres morphologiques

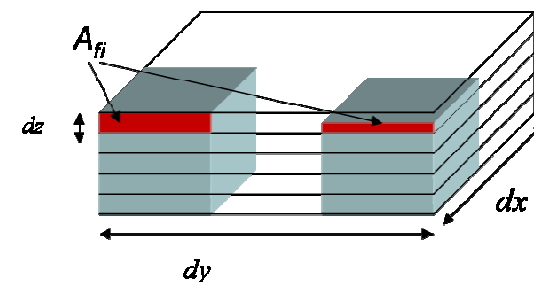
- Hauteur moyenne H et hauteur maxi

- Densité frontale : $a_f(z) = \frac{\sum A_{f_i}}{dx dy dz - \sum V_{bat_i}(z)}$

- Densité bâtie : λ



$$F_{D_i}(z) = \frac{1}{2} \rho C_d(z, \lambda) a_f(z) \tilde{u}_i \sqrt{\tilde{u}_j \tilde{u}_j}$$

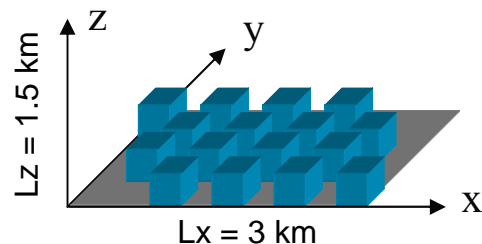


→ Approche utilisable si $C_d(z, \lambda)$ est connu

Approche « porosité-traînée » pour la canopée urbaine

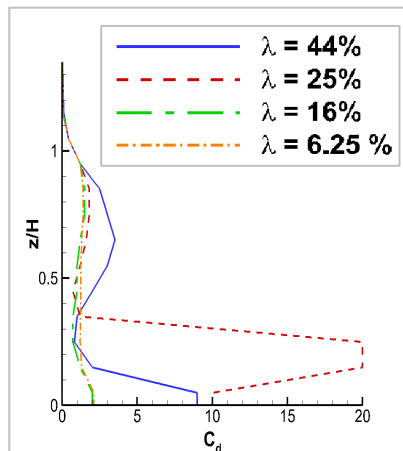
□ Paramétrisation du **coefficient de traînée**

- Simulations LES de la couche limite atmosphérique

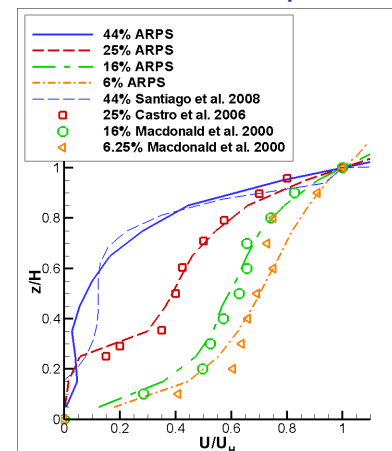


- Canopée homogène de hauteur $H=10\text{m}$
- Maillage : $\Delta x = \Delta y = 20\text{m}$ $\Delta z = 1\text{ m}$ (dans la canopée)
- Conditions aux limites périodiques
- Plusieurs densités surfaciques λ

Profils verticaux de C_d



Vitesse moyenne U/U_H
dans la canopée

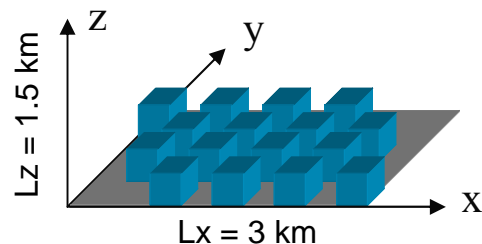


→ Cette paramétrisation de C_d permet de reproduire les profils de vitesse dans la canopée en bon accord avec les données de la littérature (soufflerie ou simulation)

Approche « porosité-traînée » pour la canopée urbaine

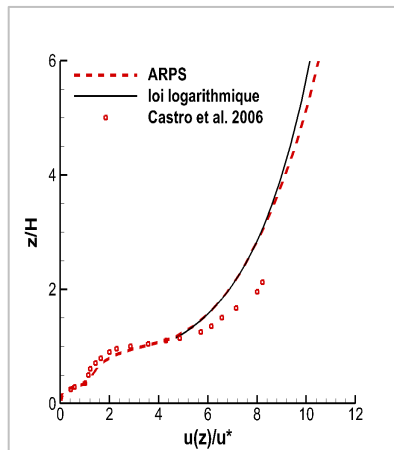
❑ Paramétrisation du **coefficient de traînée**

- Simulations LES de la couche limite atmosphérique



- Canopée homogène de hauteur $H=10\text{m}$
- Maillage : $\Delta x = \Delta y = 20\text{m}$ $\Delta z = 1\text{ m}$ (dans la canopée)
- Conditions aux limites périodiques
- Plusieurs densités surfaciques λ

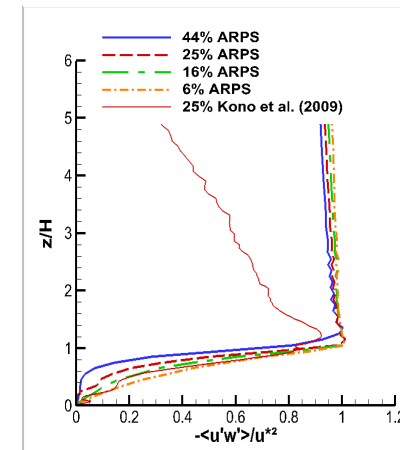
Vitesse moyenne U/u^*



➔ Profil log et paramètres aérodynamiques corrects (Macdonald et al., 1998)

Couche à flux constant au-dessus de la canopée bien simulée

Flux turbulent
 $-\langle u'w' \rangle / u^{*2}$



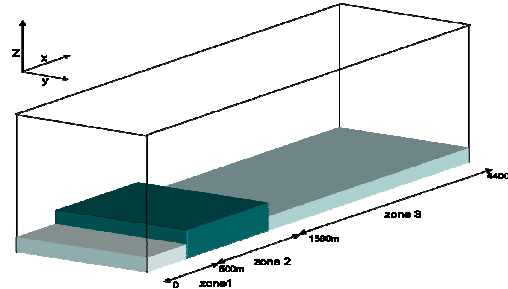
- ➔ Les interactions entre canopée et atmosphère sont bien modélisées sans forçage *ad hoc*
- ➔ *Extension de la paramétrisation aux obstacles non-cubiques*

Plan de l'exposé

- Contexte et objectifs
- Approche « porosité-traînée » pour la canopée urbaine
- ➡ **Premières applications : canopée idéalisée et canopée réelle**
- Perspectives

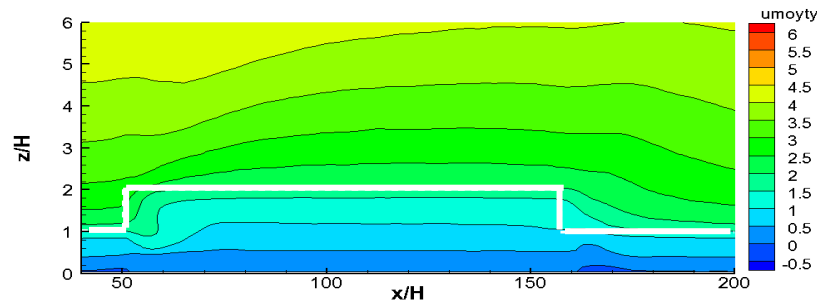
Premières applications : canopées idéalisées et canopées réelles

- **Canopées idéalisées** – Etude des transitions entre quartiers de morphologies différentes



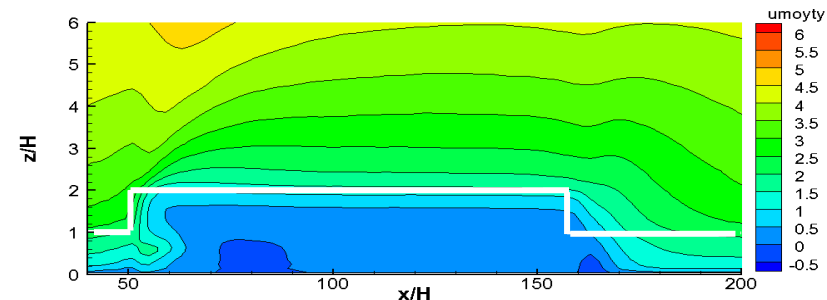
Vitesse U moyennée dans le temps et dans la direction transversale

Densité identique & Transition en hauteur



$\lambda_1 = 22 \%$

Transition en hauteur et en densité



$\lambda_1 = 6 \%$

$\lambda_2 = 44 \%$

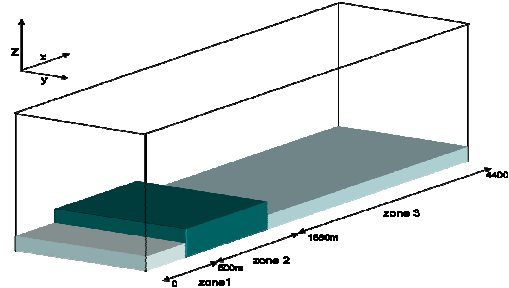
$\lambda_1 = 6 \%$

– Potentiel de la méthode pour simuler :

- Le développement de couches internes successives au-dessus de la canopée liées aux changements de rugosité du milieu
- L'influence des quartiers « amonts » sur l'écoulement à l'intérieur d'une canopée de morphologie homogène

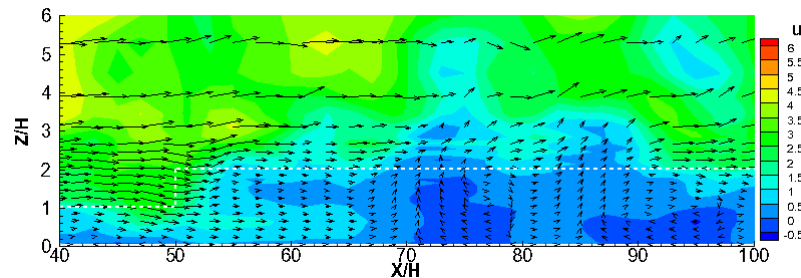
Premières applications : canopées idéalisées et canopées réelles

- **Canopées idéalisées** – Etude des transitions entre quartiers de morphologies différentes



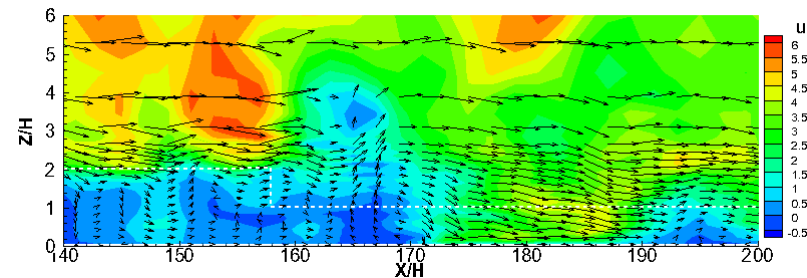
Champ de vitesse U instantanée (cas des transitions en hauteur et en densité)

1^{ère} transition : densité \nearrow et hauteur \nearrow



$\lambda_1 = 6\%$ | $\lambda_2 = 44\%$ \longrightarrow

2^{ème} transition : densité \searrow et hauteur \searrow



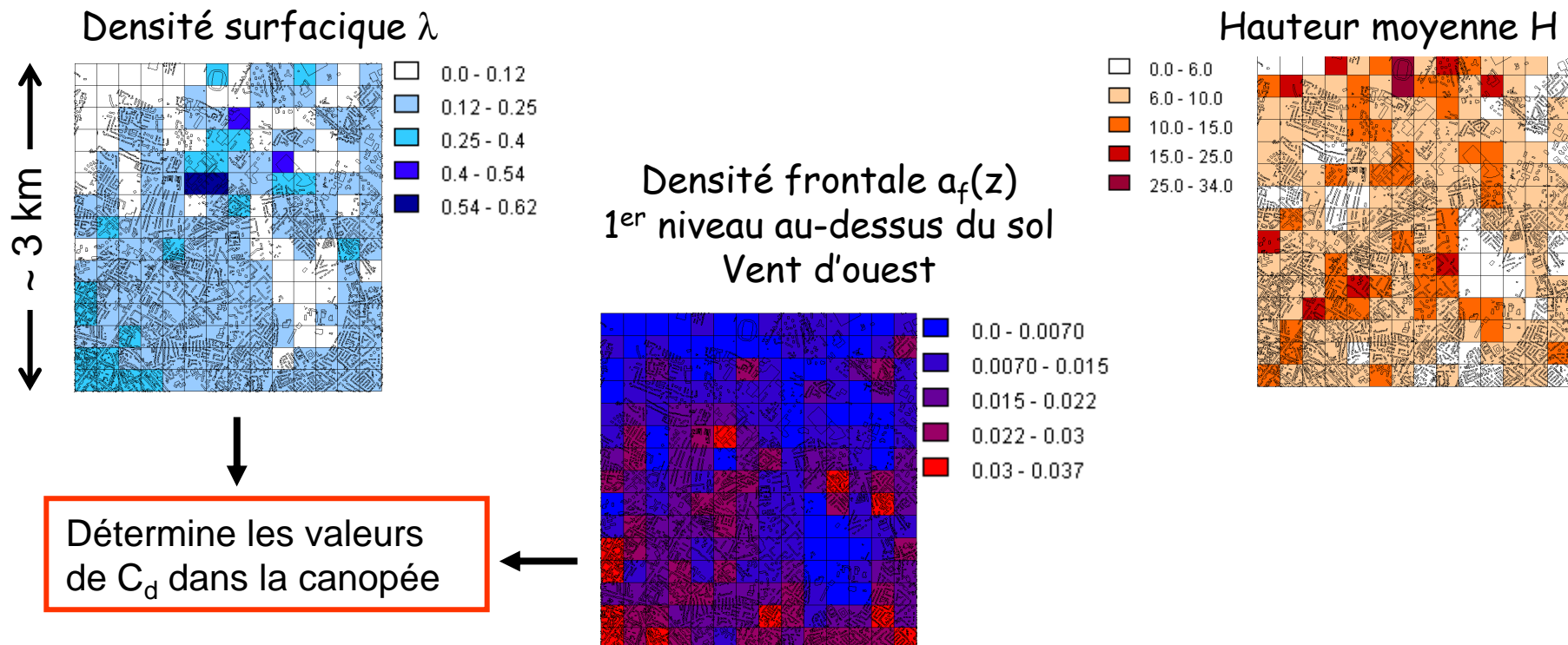
$\lambda_1 = 44\%$ | $\lambda_2 = 6\%$ \longrightarrow

– Potentiel de la méthode pour simuler :

- Les interactions dynamiques entre l'intérieur de la canopée et l'atmosphère et entre les différents quartiers
- Relier les différentes échelles de modélisation de l'atmosphère

Premières applications : canopées idéalisées et canopées réelles

- **Canopées réelles** – Méthode appliquée à la ville de Nantes
 - Description du tissu urbain par des paramètres morphologiques utiles au modèle : H , H_{\max} , λ , $a_f(z)$ (z , direction du vent)
 - Analyse de la base de données urbaines BDTopo (IGN) avec OrbisGIS
 - Discretisation 200 m x 200 m : assez fine pour décrire les inhomogénéités, assez large pour avoir des paramètres statistiquement représentatifs du quartier

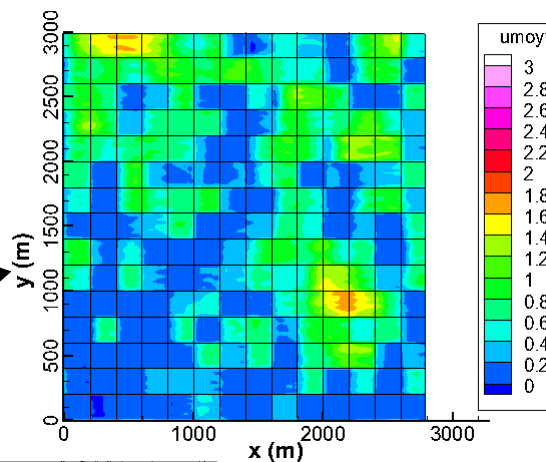


Premières applications : canopées idéalisées et canopées réelles

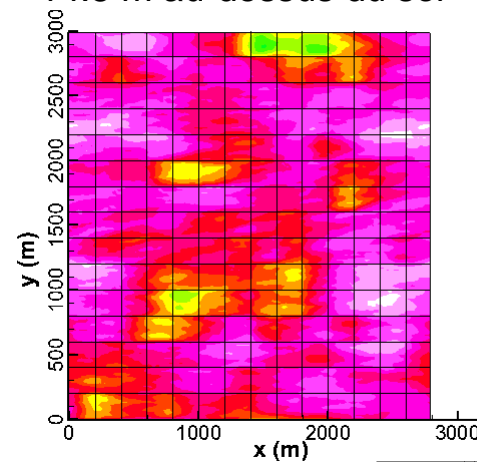
- **Canopées réelles** – Méthode appliquée à la ville de Nantes
 - LES à la résolution de 20m x 20m x 1m (canopée)
 - Vent géostrophique d'ouest : 6m/s

Vitesse U moyennée dans le temps – plan horizontal x-y

1.5 m au-dessus du sol



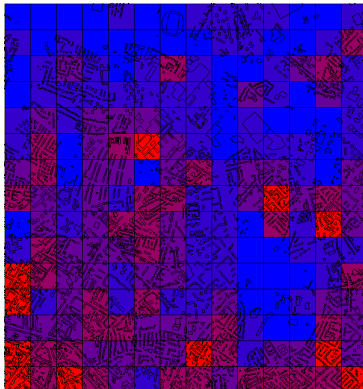
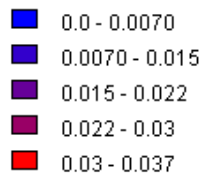
14.5 m au-dessus du sol



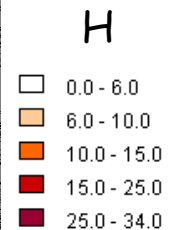
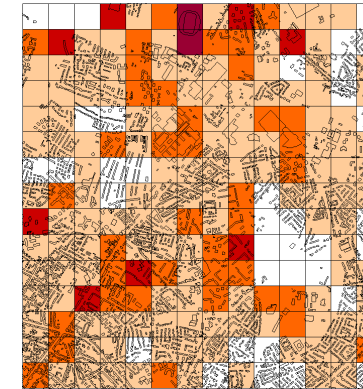
Dans la canopée:
Relation densités -
vitesse

$$F_{Di}(z) \propto C_d(z, \lambda) a_f(z)$$

Densité
frontale

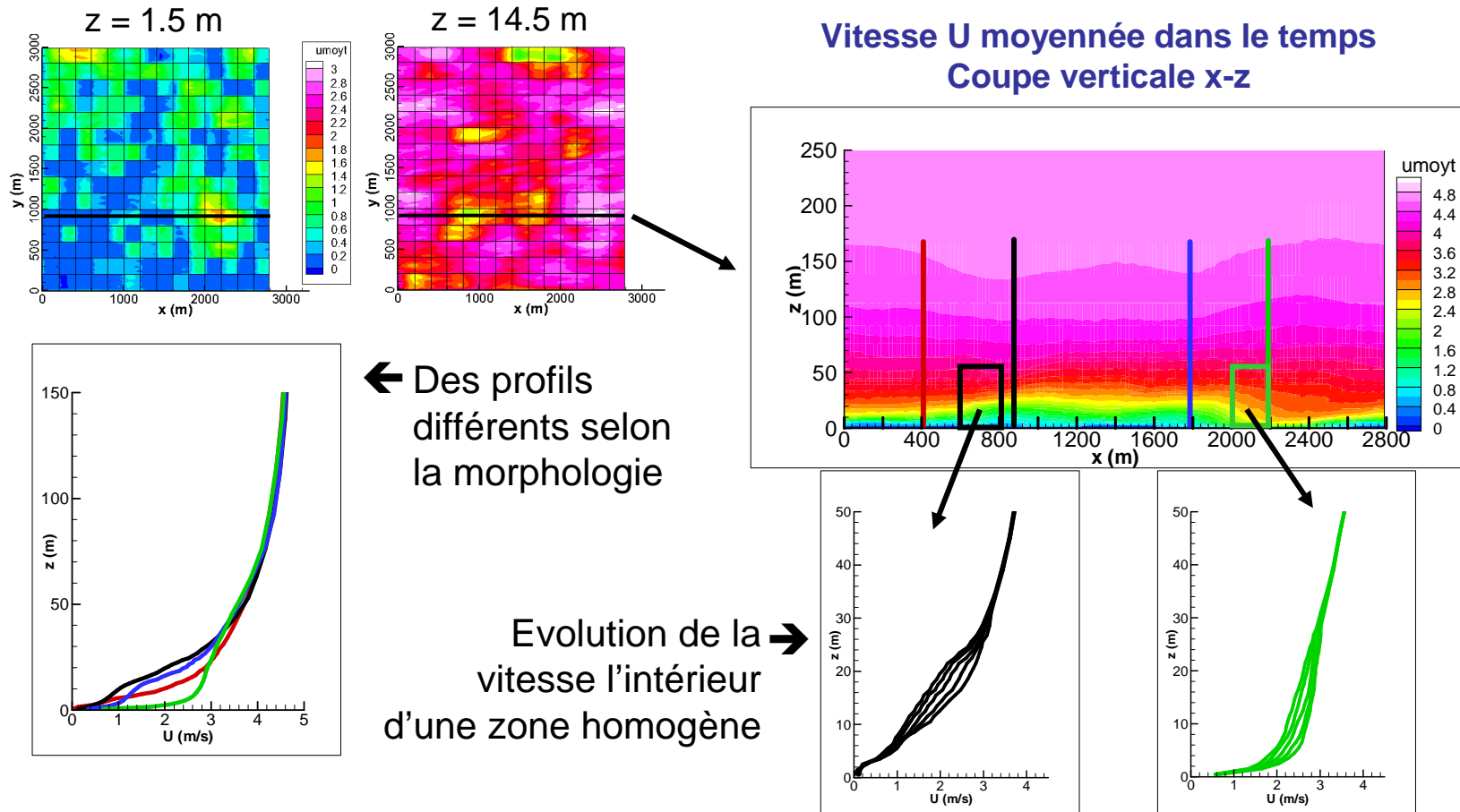


Au-dessus de H :
Influence de H et des
quartiers amonts



Premières applications : canopées idéalisées et canopées réelles

- **Canopées réelles** – Méthode appliquée à la ville de Nantes
 - LES à la résolution de 20m x 20m x 1m (canopée)



Plan de l'exposé

- Contexte et objectifs
- Approche « porosité-traînée » pour la canopée urbaine
- Premières applications : canopée idéalisée et canopée réelle

➡ **Perspectives**

Perspectives

- Modélisation des transferts thermo-hydriques à l'intérieur de la canopée
- Comparaison aux mesures de flux de chaleur (FluxSap 2010)
- Conditionnement aux limites des modèles à l'échelle du quartier ou du fragment
 - Evaluation de l'approche « emboîtée » par rapport aux méthodes classiques (veine numérique)
- PRF Microclimatologie Urbaine et Energie de l'IRSTV