

Jumeau numérique de la ville dans UrbanAIR

Le positionnement du Cerfacs

Mélanie Rochoux, Thomas Jaravel, Christophe Montocchio,
Lucas Baraton et Eliott Lumet

LE CERFACS

Centre Européen de Recherche et Formation Avancée en Calcul Scientifique

- Processus physiques difficilement observables directement
- Modélisation numérique
- Calcul haute-performance

→ **Algorithmes avancés** combinant contraintes physiques, données multi-source et incertitudes

→ **Thèmes** : Énergie, Aéronautique & Espace, Climat & Environnement



AIRBUS

cnes

edf

METEO
FRANCE

ONERA
THE FRENCH AEROSPACE LAB

SAFRAN

te
TotalEnergies

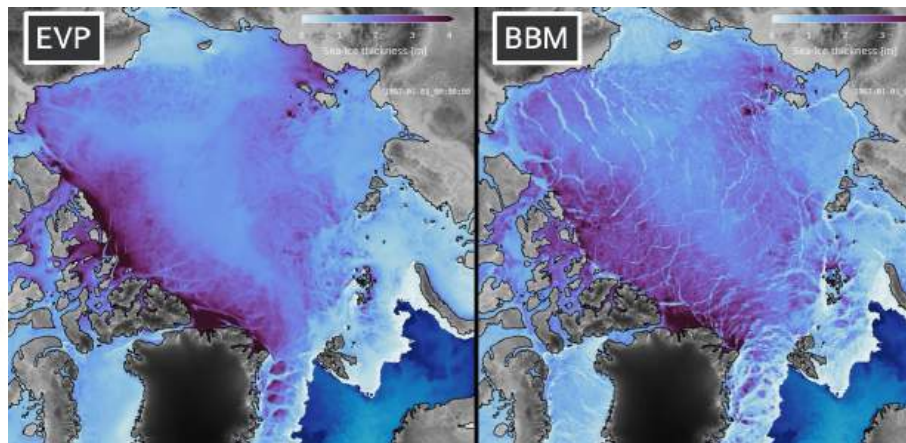
CLIMAT-ENVIRONNEMENT

 CERFACS

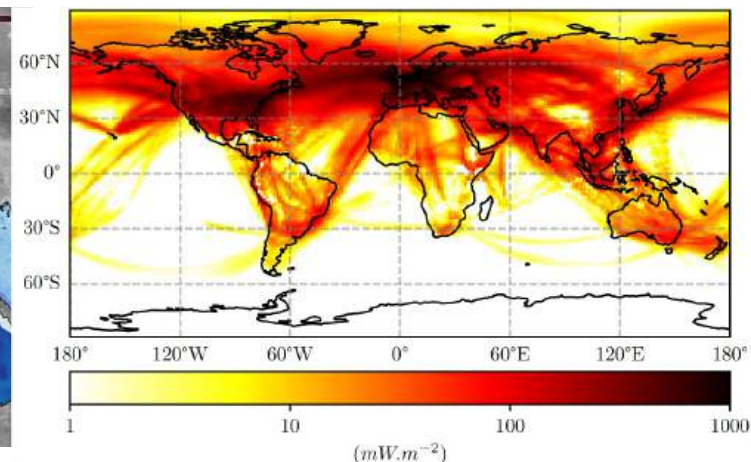


→ Échelles climatiques : de la modélisation du système Terre à la modélisation des événements à forts impacts

- Variabilité climatique, changement climatique et impacts globaux
- Changement climatique régional et impacts locaux



Nouvelle rhéologie de la glace de mer et impact sur la modélisation climatique, PI Rym Msadek



Impact de l'aviation (contrails) sur le forçage radiatif, PI Maxime Perini

CLIMAT-ENVIRONNEMENT

 CERFACS



CLIMAT, ENVIRONNEMENT,
COUPLAGES ET INCERTITUDES

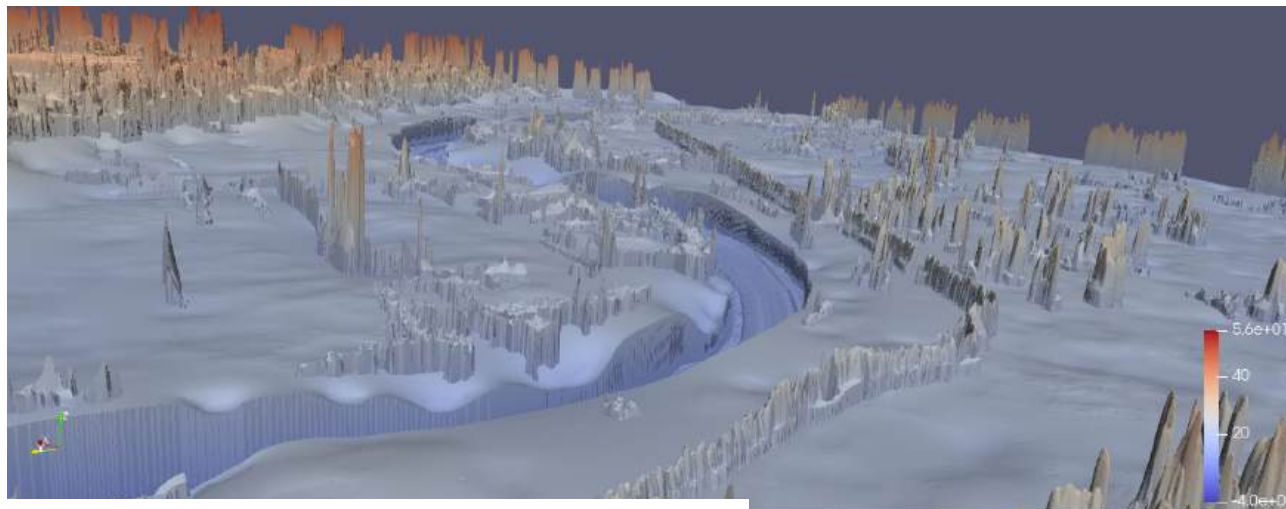


→ Échelles évènementielles : combiner observations de la Terre et modèles pour améliorer la compréhension et la prévision des systèmes environnementaux

- Micro-météorologie, villes, végétation et incendies
- Précipitations/sécheresses, crues et inondations



■ Modélisation du comportement des feux de végétation, PI Mélanie Rochoux



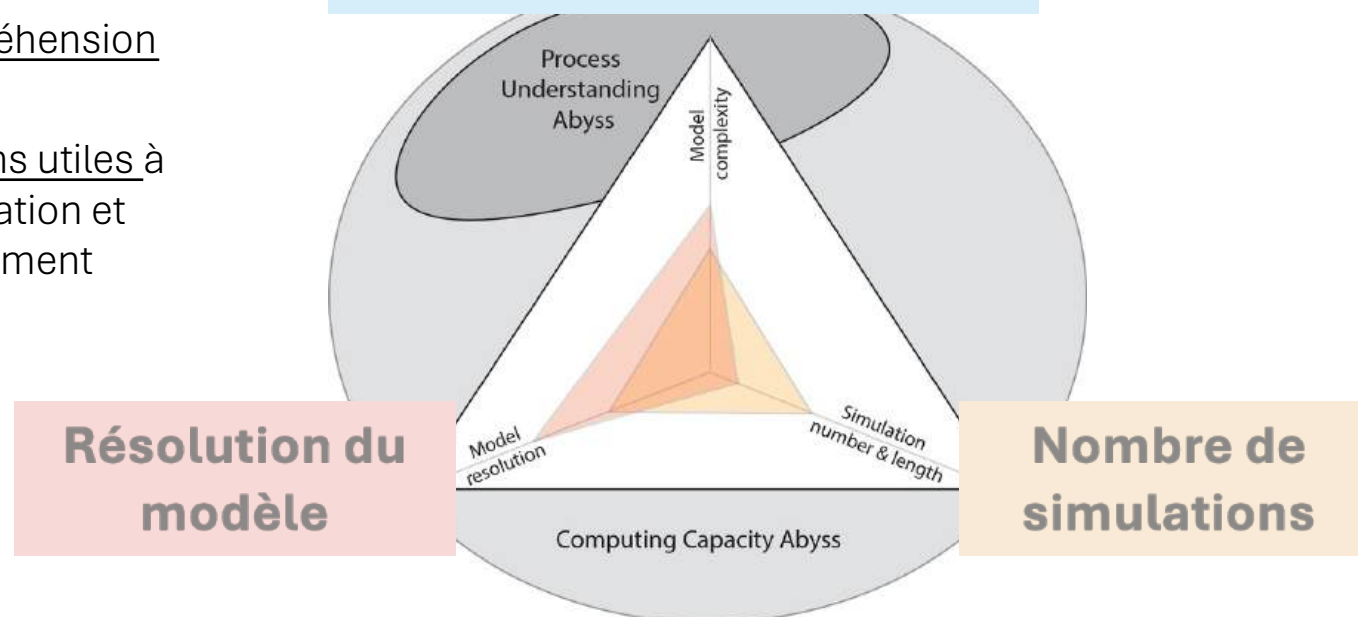
Modélisation des crues et inondations à l'échelle du bassin versant, PI Sophie Ricci et Ludovic Cassan

→ Objectifs

- Améliorer la confiance dans les projections et/ou prédictions et inclure l'incertitude
- Améliorer notre compréhension des processus en jeu
- Fournir des informations utiles à la société pour la mitigation et l'adaptation au changement climatique

→ Le dilemme

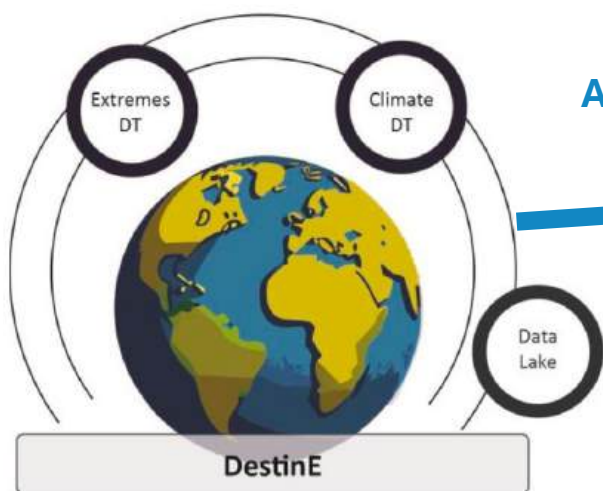
Complexité du modèle



PROJET UrbanAIR



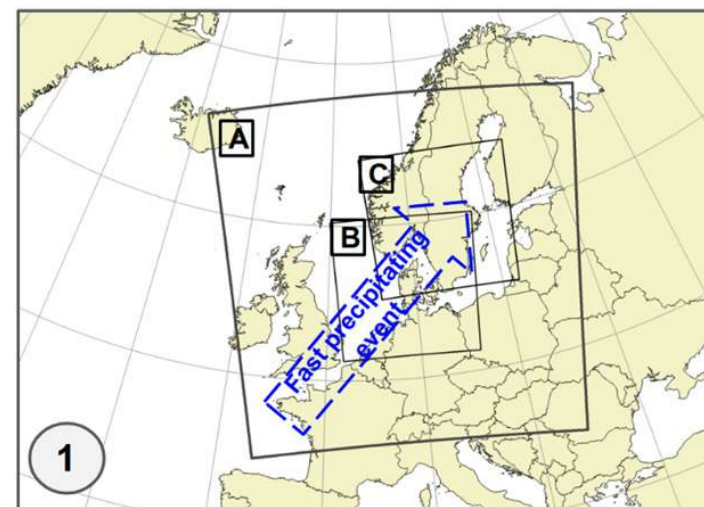
PROJET UrbanAIR



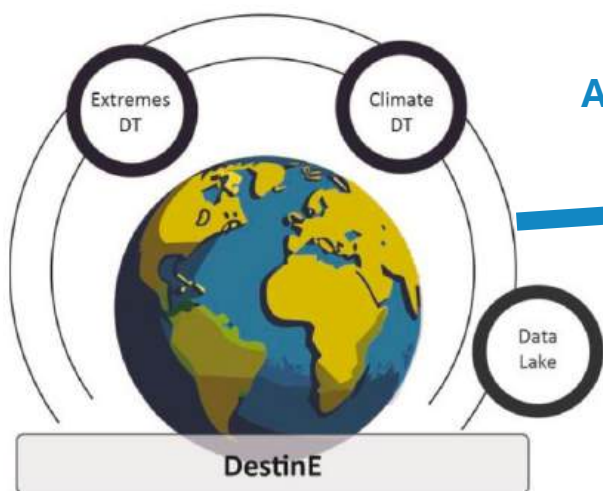
AROME & HARMONIE-AROME

**Modèles
régionaux**

500 à 200 m de résolution
[cadre DEODE, *Destination
Earth on-Demand Extremes*]



PROJET UrbanAIR



AROME & HARMONIE-AROME

Modèles régionaux

500 à 200 m de résolution
[cadre DEODE, *Destination Earth on-Demand Extremes*]

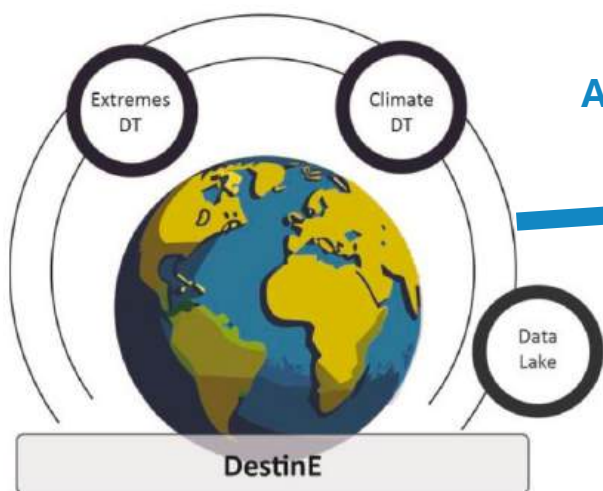
Meso-NH
mesoscale non-hydrostatic model

Modèles micro-météorologiques

50-100 m de résolution
[pôle toulousain : CNRM, Laboratoire d'aérodynamique et Cerfacs]



PROJET UrbanAIR



AROME & HARMONIE-AROME

Modèles régionaux

500 à 200 m de résolution
[cadre DEODE, *Destination Earth on-Demand Extremes*]



Modèles micro-météorologiques

50-100 m de résolution
[pôle toulousain : CNRM, Laboratoire d'aérodynamique et Cerfacs]

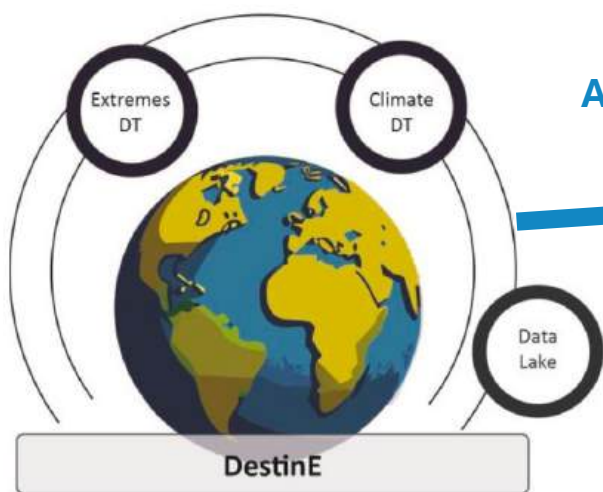
uDALES, PALM, OpenFOAM...

Modèles urbains

1-10 m de résolution
[représentation explicite des interactions entre l'atmosphère et le bâti]



PROJET UrbanAIR



AROME & HARMONIE-AROME

Modèles régionaux

500 à 200 m de résolution
[cadre DEODE, *Destination Earth on-Demand Extremes*]



Meso-NH
mesoscale non-hydrostatic model

Modèles micro-météorologiques

50-100 m de résolution
[pôle toulousain : CNRM,
Laboratoire d'Aérodynamique
et Cerfacs]

uDALES, PALM, OpenFOAM...

Modèles urbains

1-10 m de résolution
[représentation explicite des interactions
entre l'atmosphère et le bâti]

Imbrication de modèles pour couvrir la cascade d'échelles → Quid de la propagation des incertitudes ?

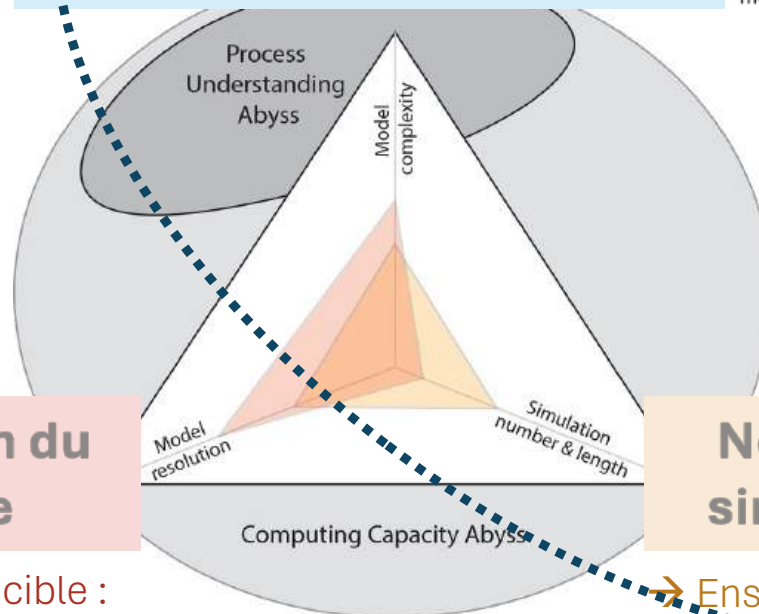


PROJET UrbanAIR



→ Résolution de la turbulence
atmosphérique

Complexité du modèle



**Résolution du
modèle**

→ 1 résolution cible :
100 m de résolution

**Nombre de
simulations**

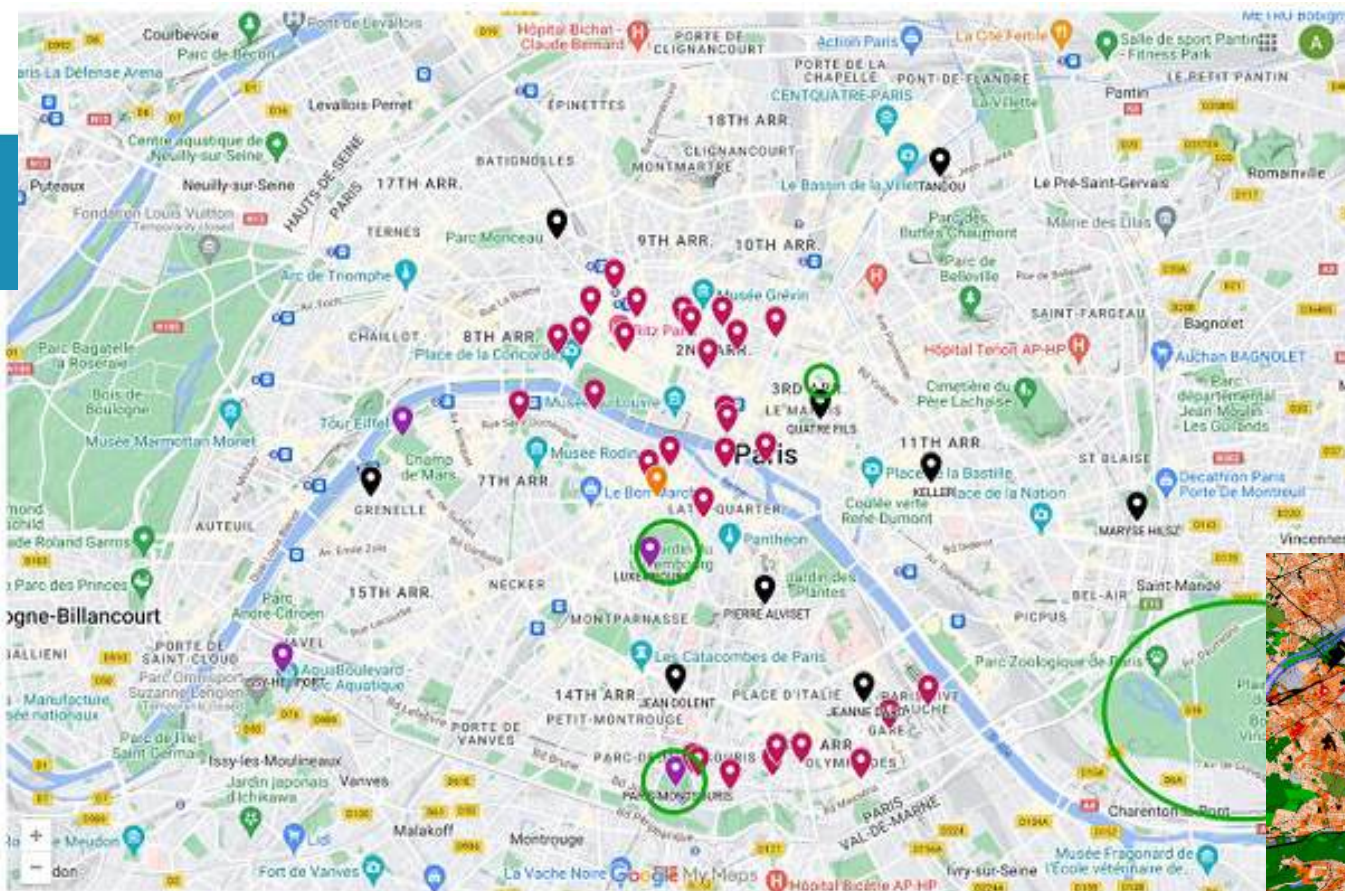
→ Ensemble de simulations pour
couvrir l'enveloppe des possibles



PROJET UrbanAIR



REPRÉSENTER
LA VILLE



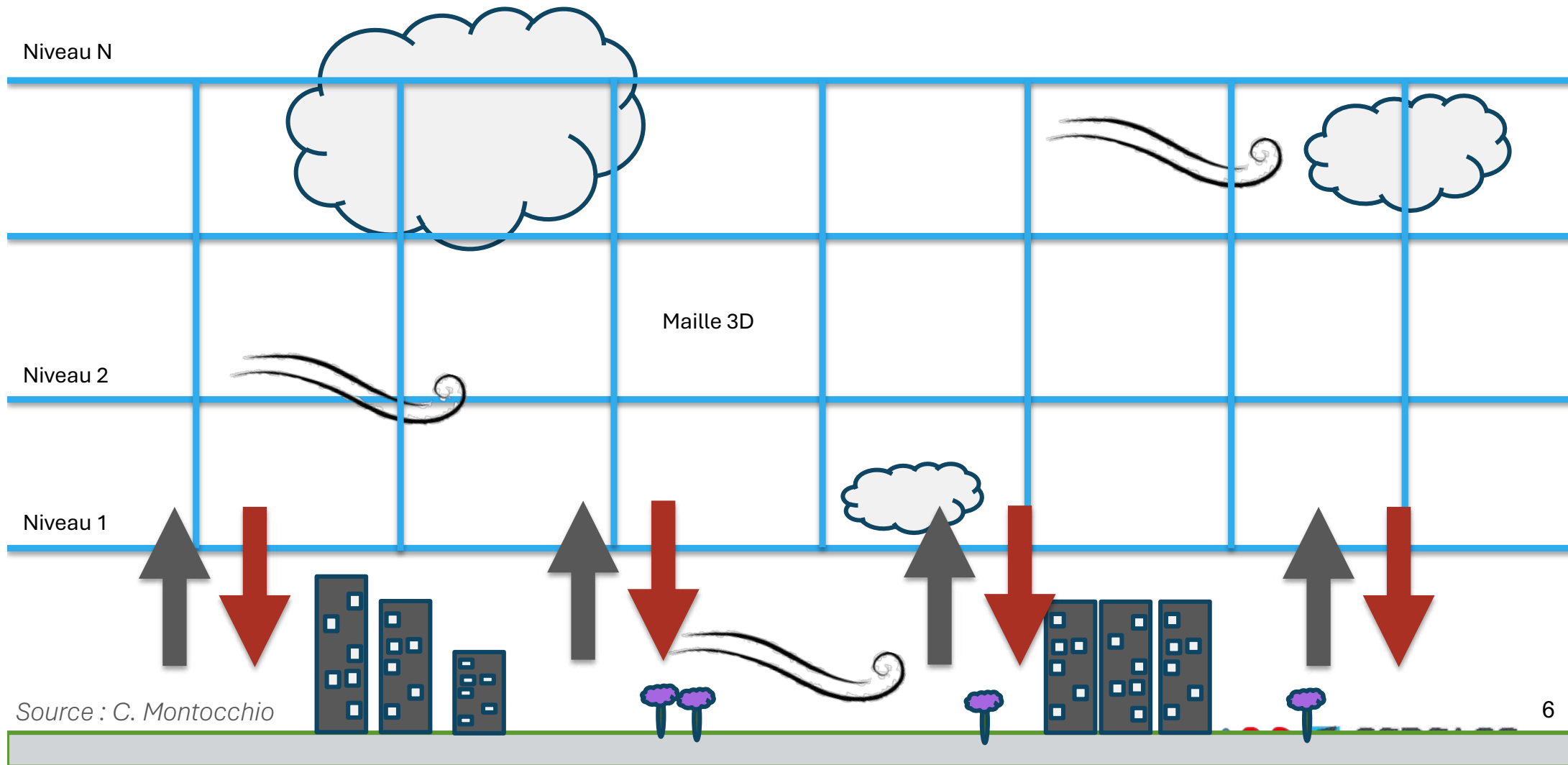
- Stations PANAME
- Stations OASIS (UED)
- Stations réseau MF
- Station Info Climat

Bois et parcs urbains d'intérêt

Source : CEREMA



→ Pourquoi parle-t-on de complexité de modèle ?



→ Pourquoi parle-t-on de complexité de modèle ?

Meso-NH
mesoscale non-hydrostatic model

Lowest atmospheric level

Meso-NH

SURFEX

TEB

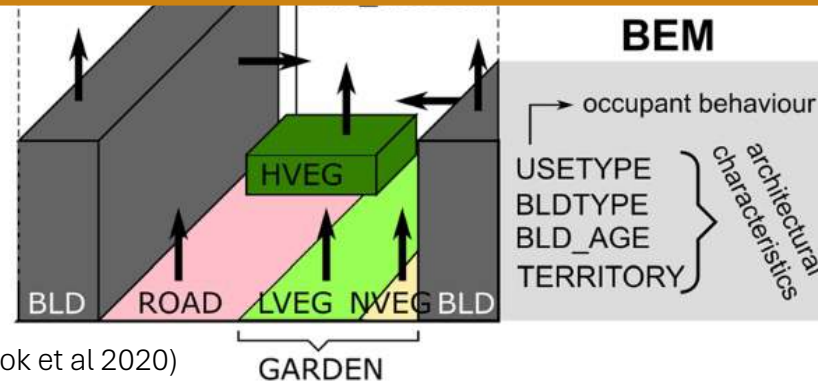
BEM



atmosphère → surface → ville → bâtiment

TEB

→ « Town energy budget » pour faire le bilan énergétique de la ville basé sur le concept de canyon



BEM

→ « Building energy model » pour faire le bilan énergétique d'un bâtiment

→ Pourquoi parle-t-on de complexité de modèle ?



→ Où sont les incertitudes ?

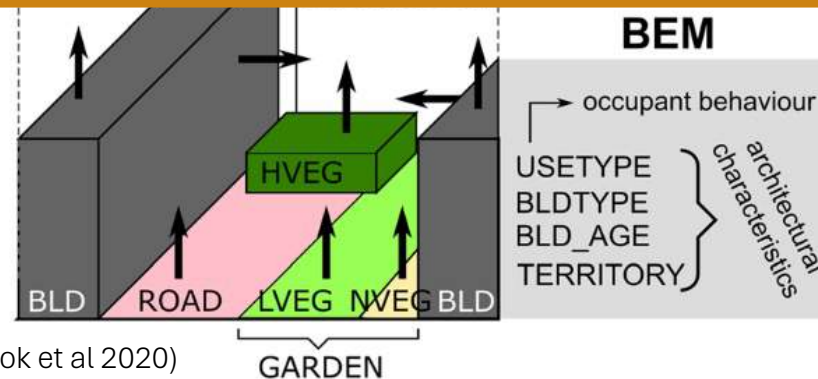
Focus sur les paramètres architecturaux des bâtiments en première étape

- albédo du toit
- hauteur moyenne du bâti
- densité surfacique de bâtiment
- densité surfacique des murs extérieurs
- densité surfacique de végétation
- largeur moyenne des rues

atmosphère → surface → ville → bâtiment

→ « Town energy budget » pour faire le bilan énergétique de la ville basé sur le concept de canyon

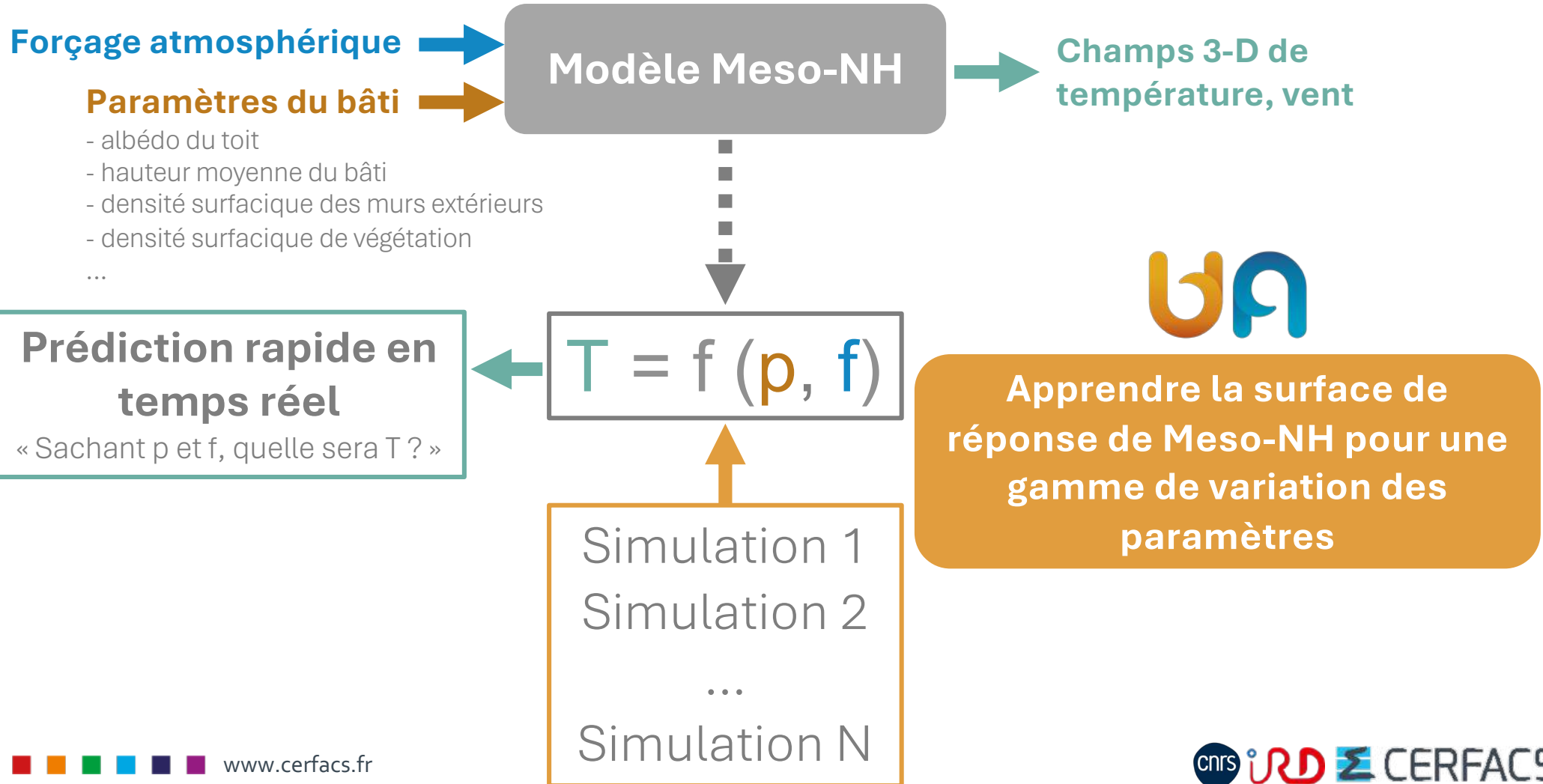
TEB



(Kwok et al 2020)

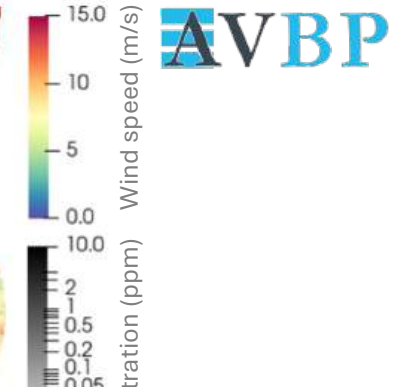
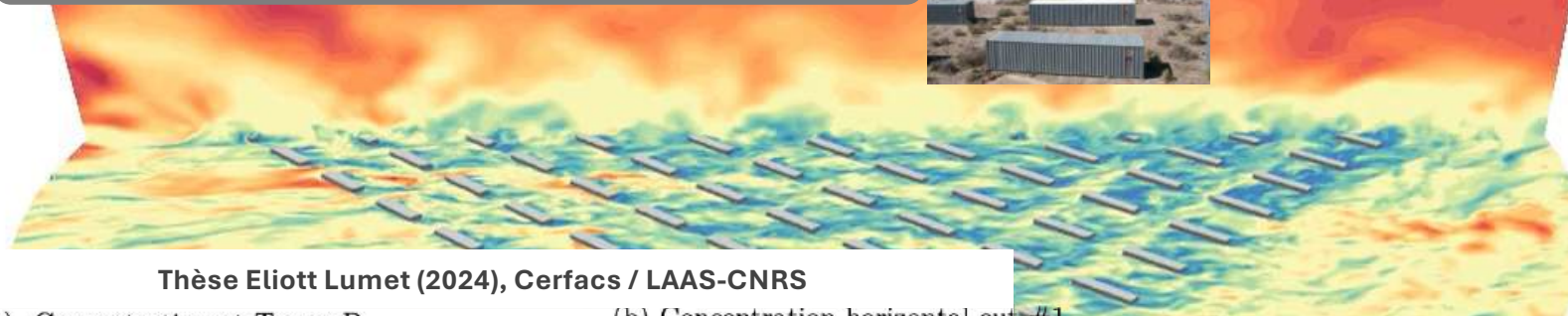
→ « Building energy model » pour faire le bilan énergétique d'un bâtiment

→ Comment prendre en compte les incertitudes ?



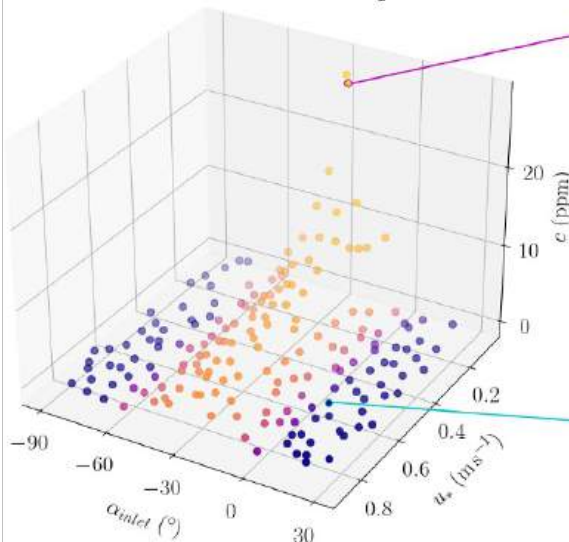
→ Comment prendre en compte les incertitudes ?

Cas benchmark : expérience MUST

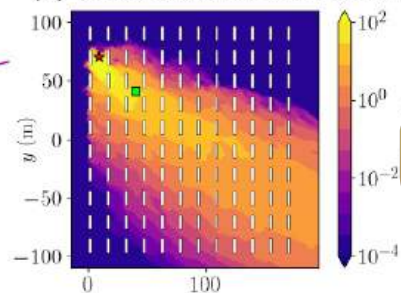


Thèse Eliott Lumet (2024), Cerfacs / LAAS-CNRS

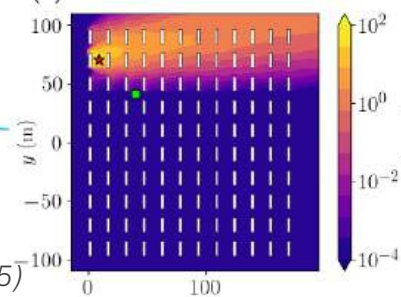
(a) Concentration at Tower B at $z = 2$ m for each sample



(b) Concentration horizontal cut #1



(c) Concentration horizontal cut #2



Jeu de données PPMLES (Lumet et al. 2025)

Thèse Christophe Montocchio et Postdoc Lucas Baraton @Cerfacs

Adapter cette approche au cas de Paris pour apprendre la surface de réponse de Meso-NH

- Caractériser l'enveloppe des possibles
- Analyser la sensibilité aux paramètres du bâti
- Perspectives envisageables

Ex1) Rejeu de situations spécifiques

Ex2) Positionnement optimal de capteurs

Ex3) Incendies aux interfaces végétation-villes

Conclusion

Stratégie scientifique du Cerfacs

- Développement de workflows avancés combinant modélisation physique, quantification des incertitudes et observations
- Collaboration étroite avec Météo-France/CNRM et CNES

→ Micro-météorologie

→ Crues/inondations

→ Réanalyse océanique et climatique

→ Variables climatiques essentielles

Réduction des biais dans la nouvelle réanalyse océanique ORAS6 (PI Anthony Weaver, EU Copernicus Climate Change Service C3S et Copernicus Marine Service CMS)

