

# Assimilation de données avec *Code\_Saturne* pour des applications micro-météorologiques à l'échelle locale

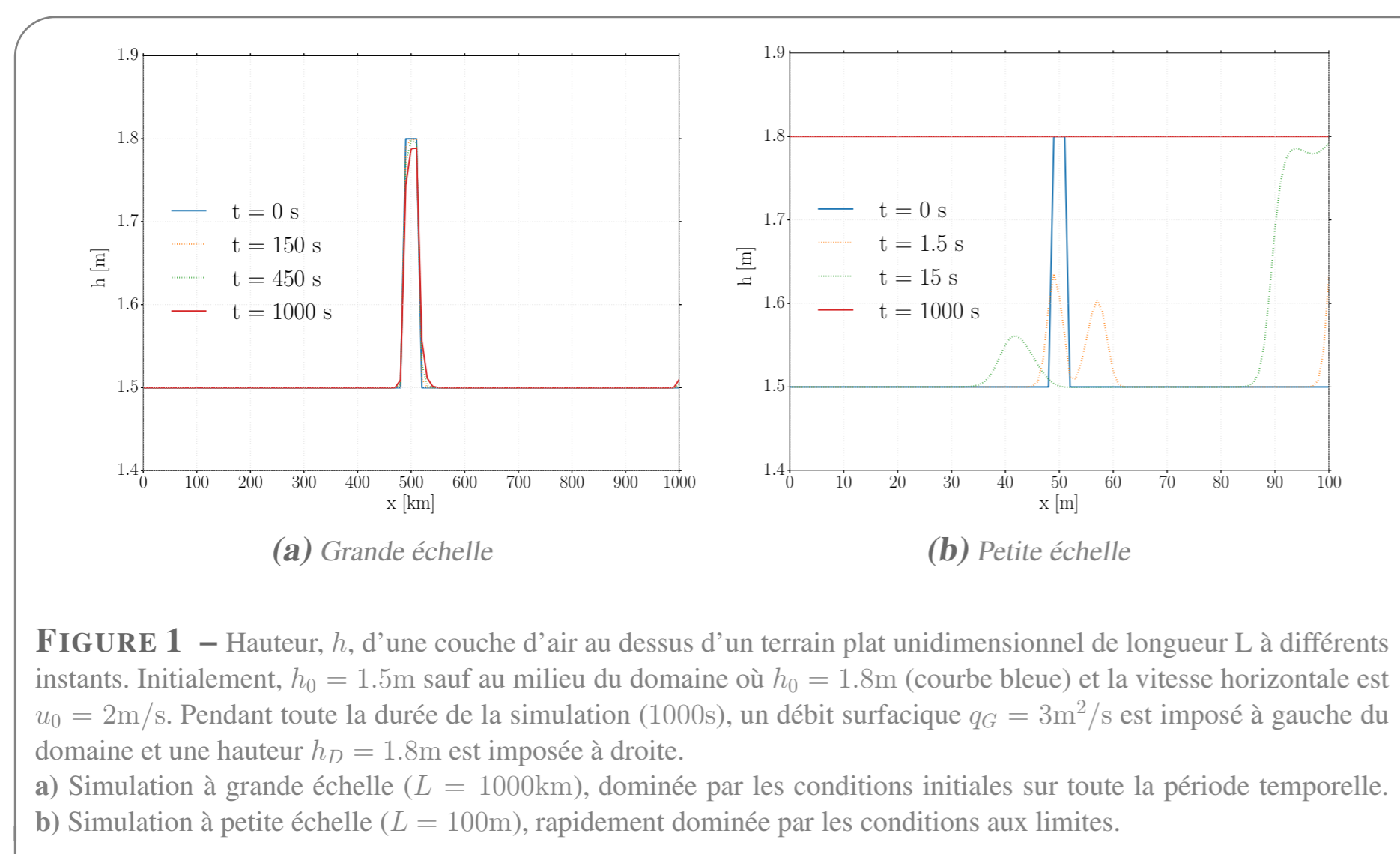
Cécile L. Defforge, R. Bresson, M. Bocquet, B. Carissimo

CEREA, laboratoire commun Ecole des Ponts ParisTech et EDF R&D, Champs-sur-Marne, France

## CONTEXTE

- Les **champs de vent** autour des **sites industriels** et dans les **quartiers urbains** ont des structures très complexes.
- La version atmosphérique de *Code\_Saturne* [1] permet de réaliser des **simulations à l'échelle locale** qui peuvent être imprécises, notamment parce que les données d'entrée du modèle (**conditions aux limites** et **conditions initiales**) sont généralement peu précises et incomplètes.
- Si des **mesures *in situ*** sont disponibles, elles peuvent servir à améliorer la précision des simulations par **assimilation de données**.
- Les techniques d'assimilation de données (AD) existantes sont généralement appliquées à des modélisations à grande échelle, qui sont largement influencées par les conditions initiales (CI) (Fig. 1 a). Pour les simulations à l'échelle locale, ce sont les **conditions aux limites** (CL) qui prédominent (Fig. 1 b).

**Objectif : Développer des méthodes d'assimilation de données adaptées aux simulations à l'échelle locale.**



**FIGURE 1** – Hauteur,  $h$ , d'une couche d'air au dessus d'un terrain plat unidimensionnel de longueur  $L$  à différents instants. Initialement,  $h_0 = 1.5$  m sauf au milieu du domaine où  $h_0 = 1.8$  m (courbe bleue) et la vitesse horizontale est  $u_0 = 2$  m/s. Pendant toute la durée de la simulation (1000s), un débit surfacique  $q_G = 3$  m<sup>2</sup>/s est imposé à gauche du domaine et une hauteur  $h_D = 1.8$  m est imposée à droite.  
a) Simulation à grande échelle ( $L = 1000$  m), dominée par les conditions initiales sur toute la période temporelle.  
b) Simulation à petite échelle ( $L = 100$  m), rapidement dominée par les conditions aux limites.

## METHODES

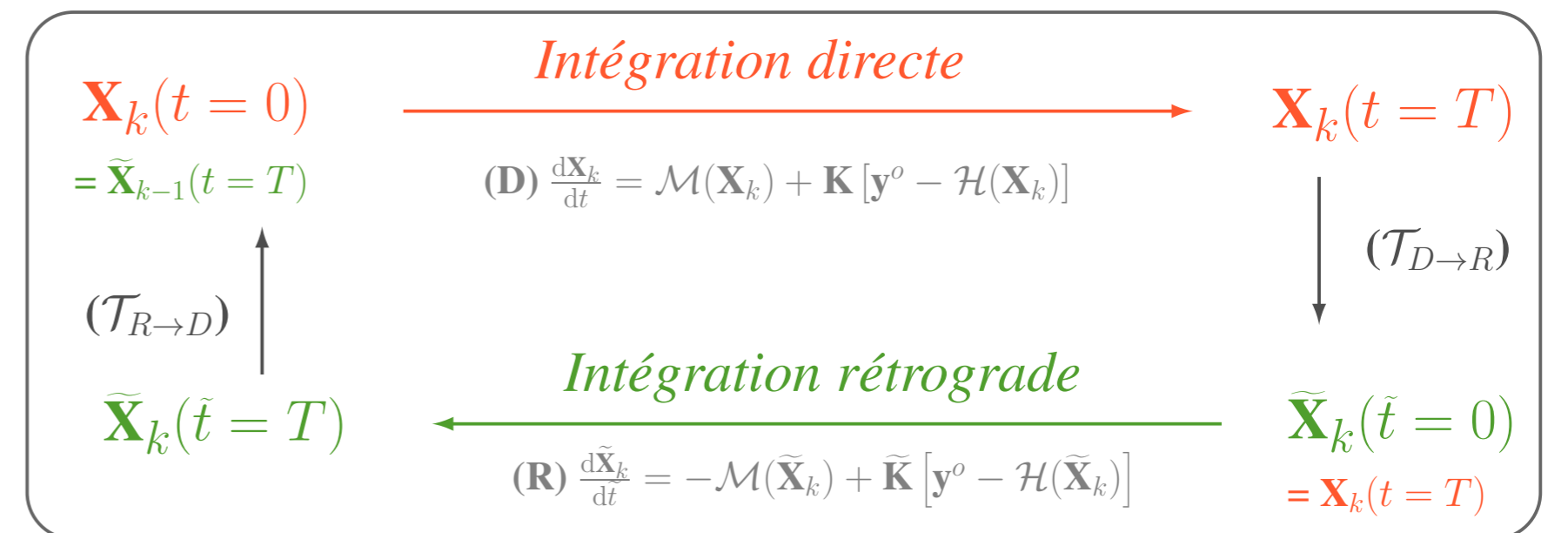
### Définitions et notations

- $\mathbf{x}$  : vecteur des variables de contrôle (ex : CI, CL, paramètres de loi, etc.) dont l'état *a priori* est  $\mathbf{x}^b$ .
- $\mathbf{x}^a$  : analyse = meilleure estimation de  $\mathbf{x}$  compte tenu de toutes les informations disponibles (modèle, observations, etc.).
- $\mathbf{y}^o$  : vecteur des observations (ex : vent, température, pression, etc.).
- $\mathcal{H}$  : opérateur d'observation.

### Back and Forth Nudging (BFN)

**Nudging** : (*to nudge* signifie *pousser* en Anglais) technique d'AD qui consiste à ajouter un terme correctif dans les équations, proportionnel à l'écart entre les observations et le calcul :  $\mathbf{K}(\mathbf{y}^o - \mathcal{H}(\mathbf{x}))$ .

**BFN** : algorithme itératif de nudging direct et rétrograde en temps avec des matrices de gain  $\mathbf{K}$  et  $\bar{\mathbf{K}}$  (Fig. 2) [2].



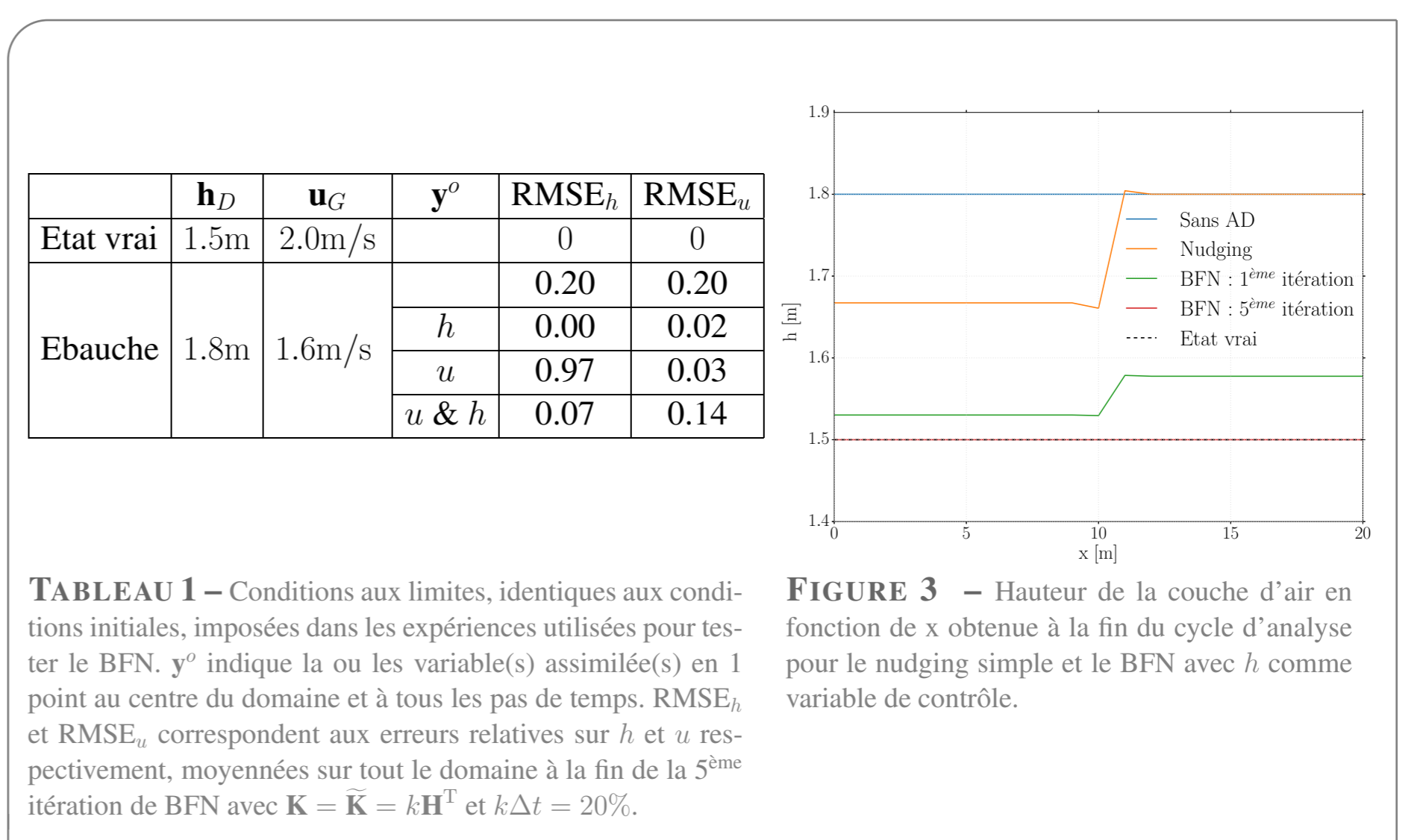
**FIGURE 2** – Schéma du  $k^{\text{ème}}$  cycle d'analyse de l'algorithme BFN. Les transformations  $(\mathcal{T}_{D \rightarrow R})$  et  $(\mathcal{T}_{R \rightarrow D})$  permettent de passer du système direct au système rétrograde et réciproquement. Elles incluent un changement de variable  $\bar{t} = -t$  et une inversion des conditions aux limites. Dans le cas du modèle de Saint-Venant, l'intégration rétrograde revient à intégrer en temps positif avec  $\bar{\mathbf{u}} = -\mathbf{u}$ .

### Modèle et expériences

- Modèle de Saint-Venant :  $\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathcal{M}(\mathbf{X})$  (équations de Navier-Stokes simplifiées dans l'hypothèse où  $h \ll L$ ) utilisé pour tester les techniques d'AD à petite échelle.
- Réalisation d'expériences jumelles avec des erreurs sur  $h$  et  $u$  et en assimilant  $h$ ,  $u$  ou les deux ( $\mathbf{y}^o$ , Tableau 1).

## RESULTATS

- Le BFN permet de corriger notablement la connaissance de la variable de contrôle sur laquelle porte le nudging (ici les CL :  $h_D$  ou  $u_G$ , Tableau 1).
- L'erreur diminue rapidement avec les itérations de BFN, et l'état converge vers l'état vrai en moins de 10 itérations (Fig. 3).



**TABLEAU 1** – Conditions aux limites, identiques aux conditions initiales, imposées dans les expériences utilisées pour tester le BFN.  $\mathbf{y}^o$  indique la ou les variable(s) assimilée(s) en 1 point au centre du domaine et à tous les pas de temps. RMSE <sub>$h$</sub>  et RMSE <sub>$u$</sub>  correspondent aux erreurs relatives sur  $h$  et  $u$  respectivement, moyennées sur tout le domaine à la fin de la 5<sup>ème</sup> itération de BFN avec  $\mathbf{K} = \bar{\mathbf{K}} = k\mathbf{H}^T$  et  $k\Delta t = 20\%$ .

**FIGURE 3** – Hauteur de la couche d'air en fonction de  $x$  obtenue à la fin du cycle d'analyse pour le nudging simple et le BFN avec  $h$  comme variable de contrôle.

## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

- Le BFN est une 1<sup>ère</sup> technique permettant de corriger les CL par assimilation de données.
- Le lisseur de Kalman d'ensemble itératif (IEnKS) [3] est une autre technique qui semble pertinente et sera testée prochainement.

### REFERENCES

- [1] F. Archambeau, N. Méchitoua, and M. Sakiz. Code Saturne : A Finite Volume Code for the computation of turbulent incompressible flows - Industrial Applications. *International Journal on Finite Volumes*, 1(1), 2004.
- [2] D. Auroux and J. Blum. A nudging-based data assimilation method : the Back and Forth Nudging (BFN) algorithm. *Nonlin. Processes in Geophys.*, 15 :305–319, 2008.
- [3] M. Bocquet and P. Sakov. An iterative ensemble Kalman smoother. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 140(682) :1521–1535, jul 2014.