



# La prévision de divers types de brouillard: les défis pour la modélisation numérique

**Robert Tardif**

Météo-France

CNRM



# Problématique

- **Brouillard:**
  - Formation dans des **contextes météorologiques variés** (divers types)
  - **Faible** sursaturation
  - **Grande sensibilité** aux :
    - Conditions de surface
    - Écoulements dans la couche limite -> advections + turbulence
    - Aérosols
  - **Difficile** à prévoir de façon **déterministe**
  - Par **ensemble**: représentation **réaliste de la sensibilité** du phénomène (conditions initiales & frontières + incertitudes sur les paraméterisations physiques)



# Questions...

- Aspect «**conditions frontières et initiales**»: Que doit-on représenter, mesurer & assimiler, perturber?
- Aspect «**modèle**»: Quels sont les caractéristiques des modèles devant être améliorées /adaptées?
  - Aspects numériques... (i.e. la résolution)
  - Les paramétrisations physiques
    - Échanges surface-atmosphère
    - Turbulence en couches stables
    - Microphysique
- **Chaque type de brouillard a sa propre problématique...**



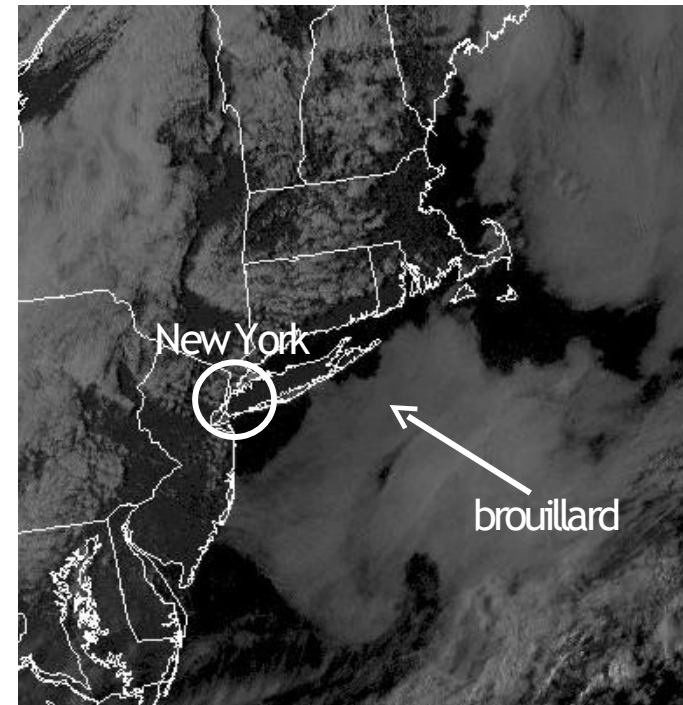
# Introduction

- **Études:**

- Brouillard d'**advection** -> incertitude sur la température de surface
- Brouillard **radiatif** -> impact de la résolution verticale  
(Tardif, Pure & Appl. Geophy., 2007)
- Brouillard de **précipitation** -> évaporation vs température des gouttes de pluie  
(Tardif, thèse, 2007; Tardif & Rasmussen, JAMC, 2007, 2008)

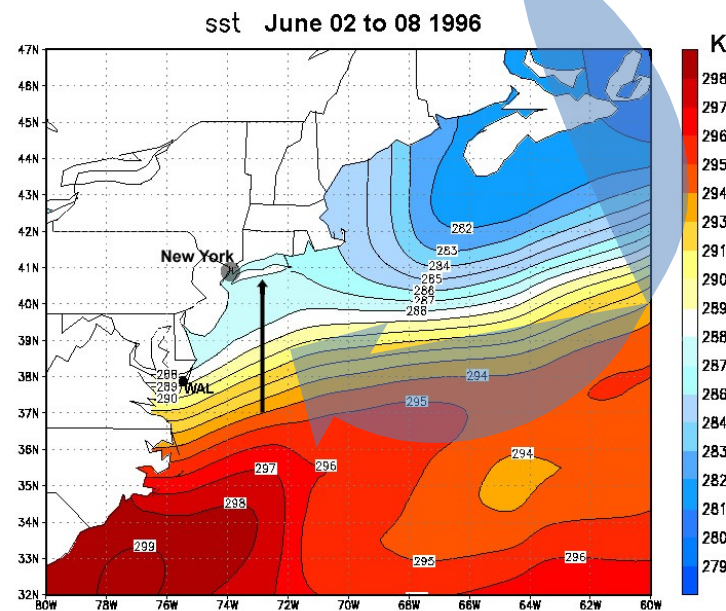
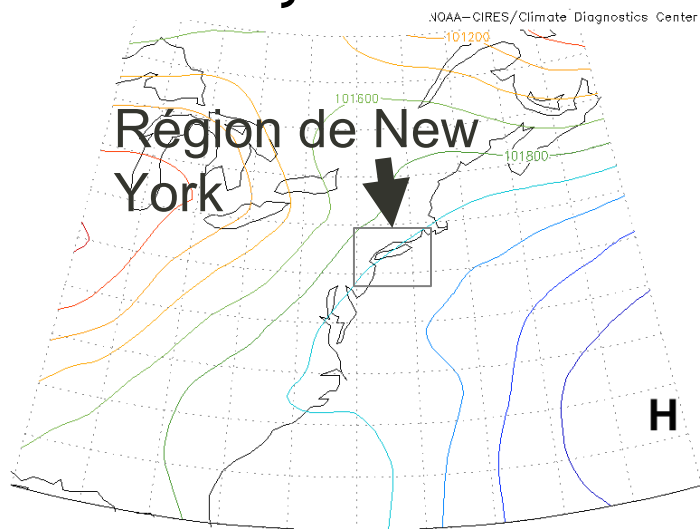
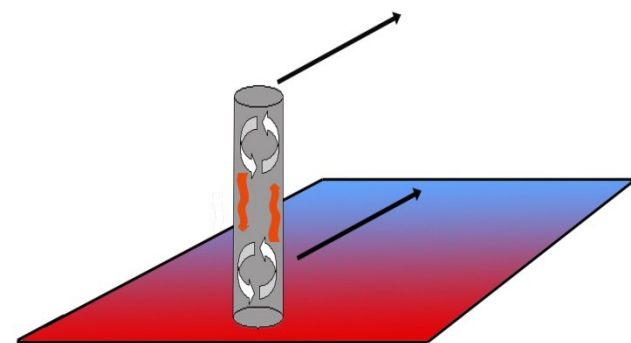
# Brouillard d'advection

- Typique: écoulement d'une masse d'air chaud et humide sur une surface + froide
- Variabilité spatio-temporelle du brouillard difficile à anticiper
  - Apparition et propagation du banc de brouillard
  - Transition brouillard -> stratus (et vice et versa)



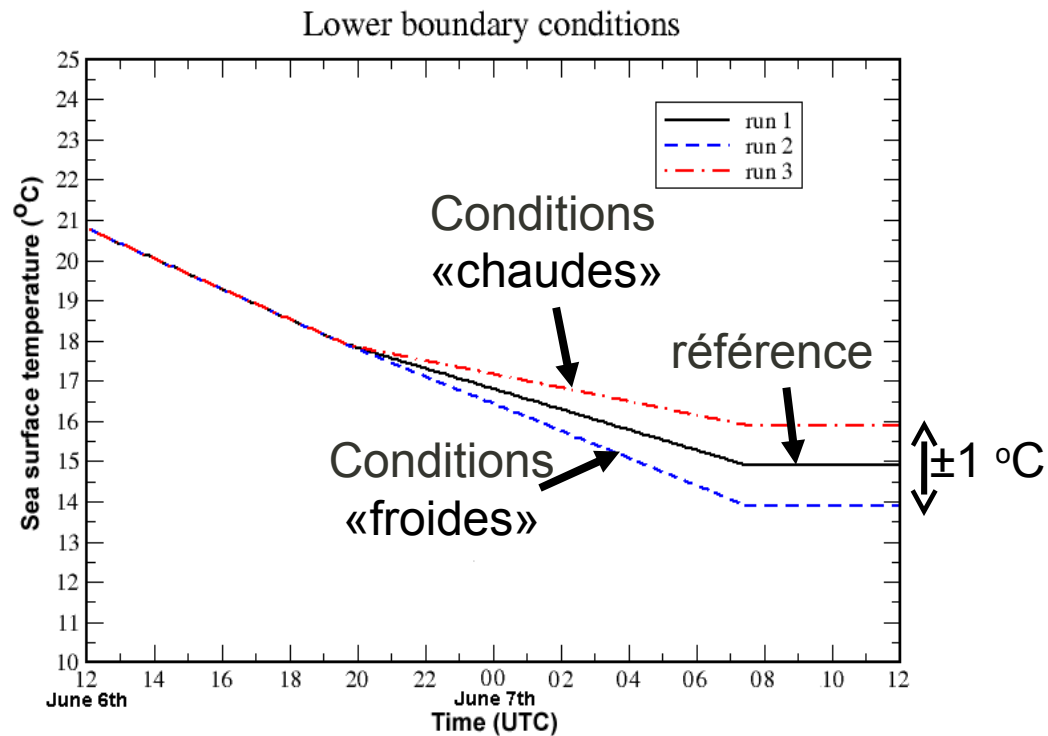
# Brouillard d'advection

- Simulations Lagrangiennes avec modèle 1D COBEL
- Côte-est des E-U
- Conditions frontières:
  - Analyse de  $T_{\text{mer}}$  (Reynolds et al., 2001)
- Conditions initiales:
  - Re-analyse NCAR-NCEP



# Brouillard d'advection

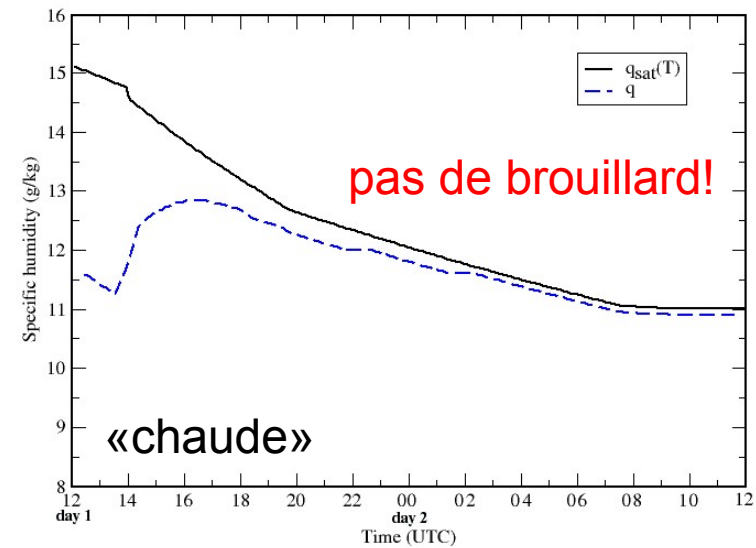
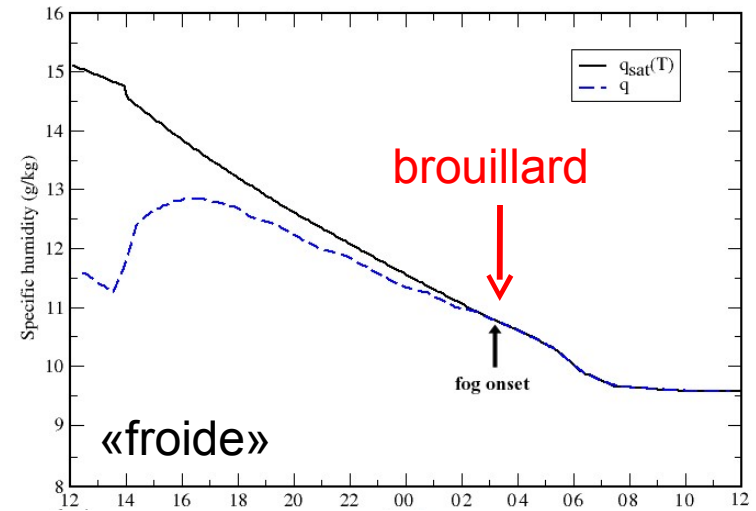
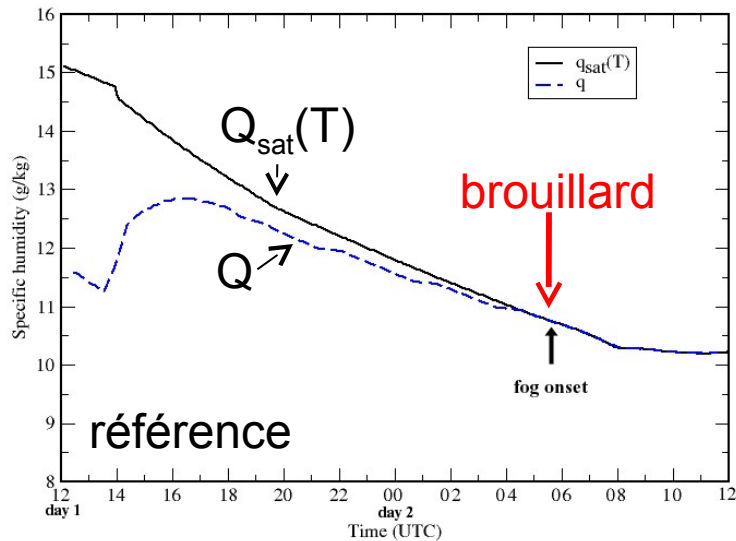
- Perturbations des conditions frontières
  - Variation de la  $T_{\text{mer}}$  le long de la trajectoire



# Brouillard d'advection

## • Résultats

### – Formation du brouillard

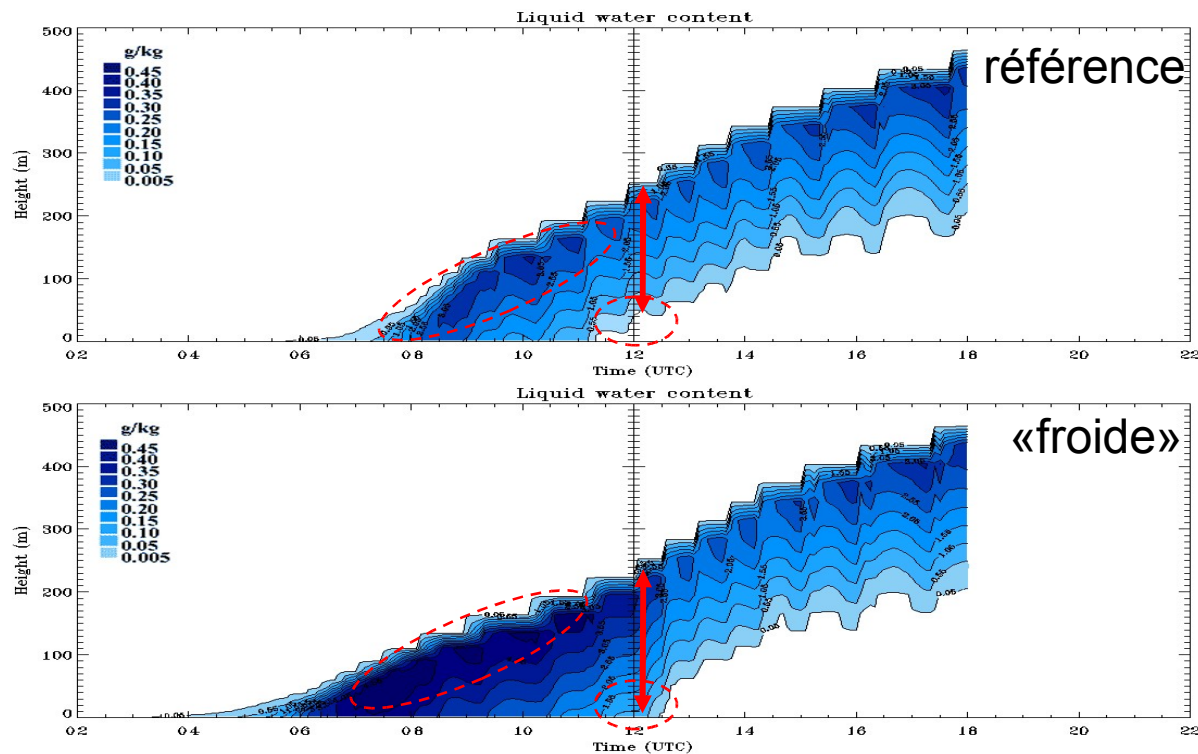




# Brouillard d'advection

- Résultats

- Caractéristique couche de brouillard + transition brouillard -> stratus



- Refroidissement radiatif au sommet du brouillard + important que celui en surface -> déstabilisation de la couche

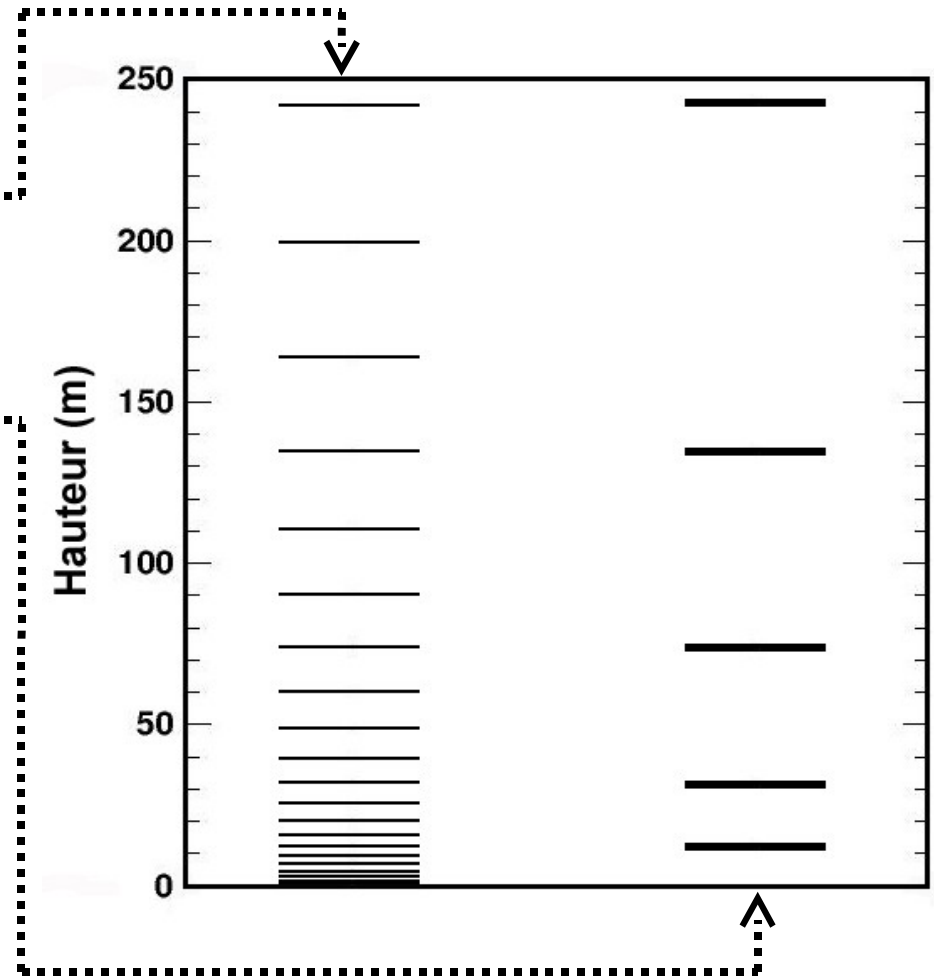


# Brouillard radiatif

- **Typique: refroidissement radiatif sur surfaces continentales**
- **Formation difficile à anticiper avec précision**
  - Sensible aux interactions complexes entre
    - Refroidissement radiatif
    - Réchauffement par mélange turbulent en couches stables
    - Dépôt de rosée
    - Advections...
    - Microphysique (sédimentation...)
- **Résolutions horizontale vs verticale...**

# Brouillard radiatif

- Cas: Lille88 (6-7 Nov. 1988) décrit par Guédalia et Bergot (MWR, 1994)
- Simulations 1D COBEL
- 2 simulations:
  - **Haute** résolution
    - 1er niveau à 0.5 m
    - 21 niv. sur premiers 250 m
  - **Basse** résolution
    - 1er niveau à 12 m
    - 5 niv. sur premiers 250 m
- Même physique!
- Conditions initiales identiques!
- Forçages identiques!





# Brouillard radiatif

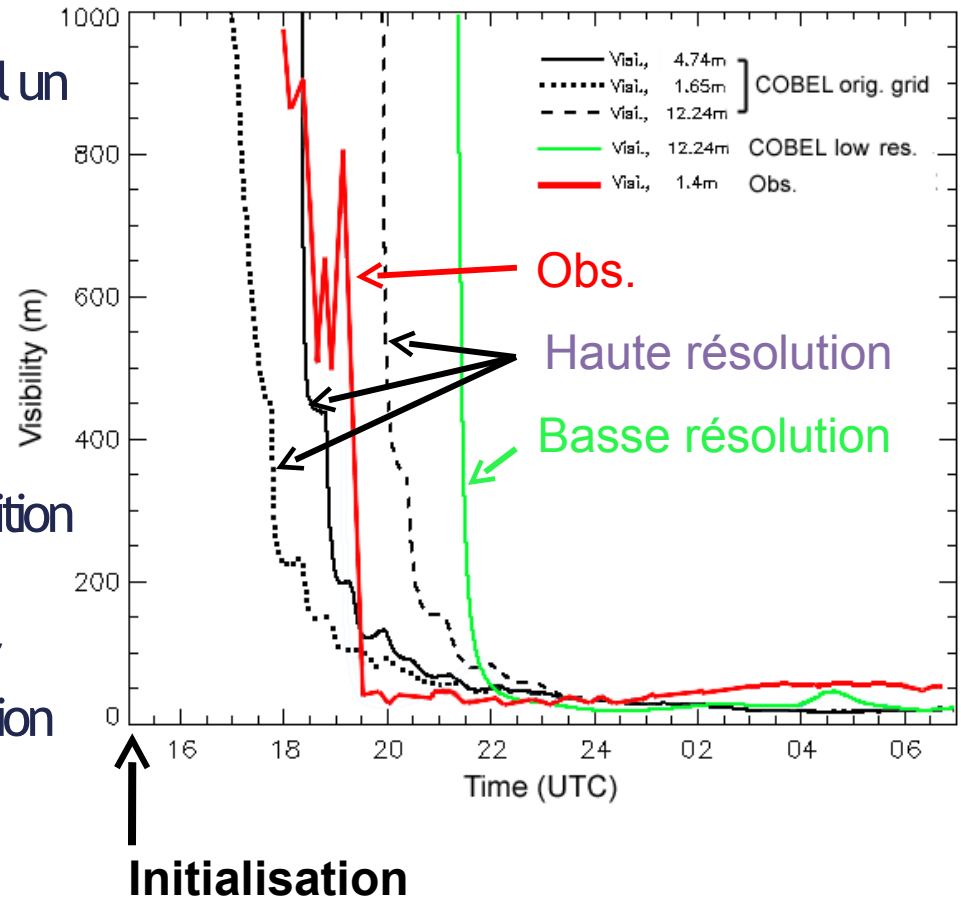
- Visibilité près de la surface (**formation du brouillard**)

- Haute résolution:

- Formation du brouillard au sol un peu trop tôt (~ 1 hr)
- Mais bien représentée par résultats à 4.75 m

- Basse résolution:

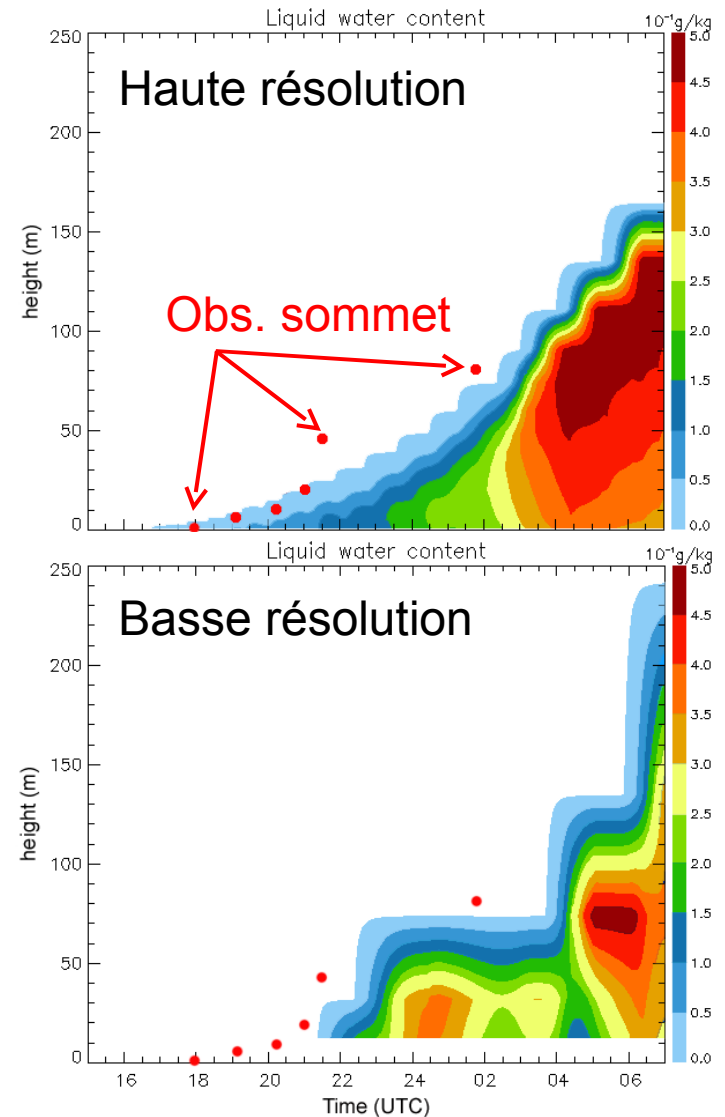
- **Retard de 3½ hrs** sur l'apparition du brouillard
- **Retard de 1½ hrs** à 12 m par rapport à simul. haute résolution



# Brouillard radiatif

- **Développement vertical**

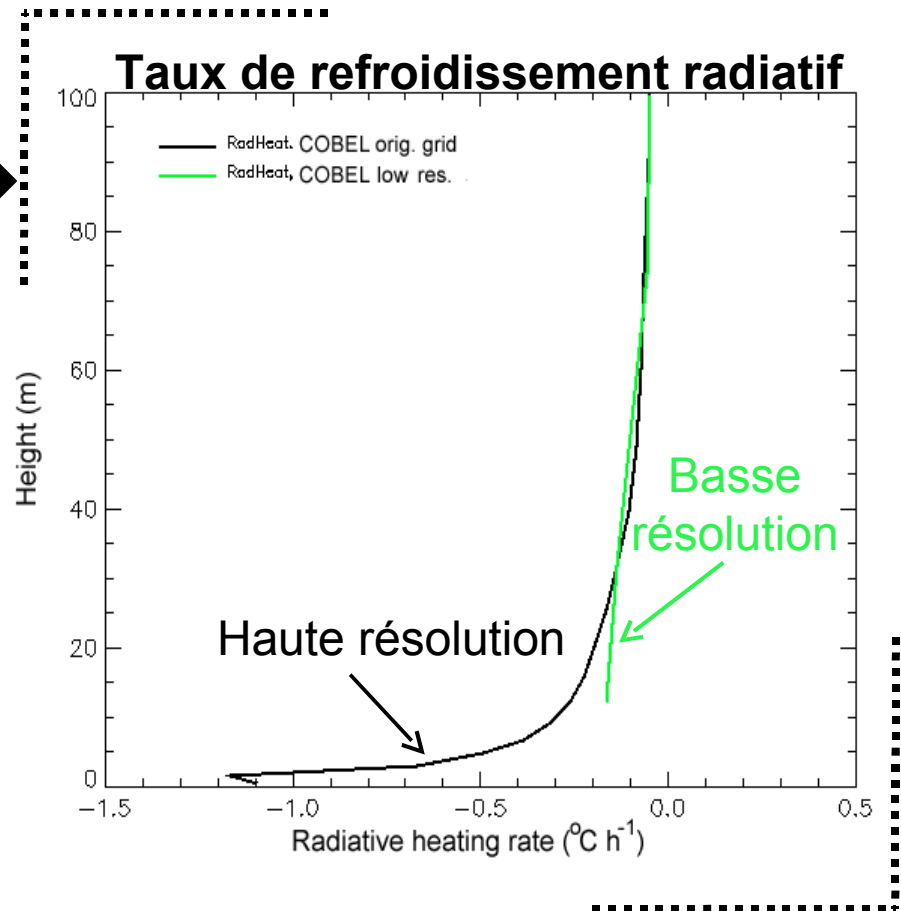
- Phase de formation (brouillard en surface) bien représentée
- Augmentation graduelle de l'eau liquide + migration du max. vers le sommet de la couche
- Phase brouillard en surface non-représentée (retard dans l'apparition du brouillard)
- Présence d'oscillations importantes



# Brouillard radiatif

- Phase «pré-brouillard»
- Taux de refroidissement radiatif (ciel clair)

- Max. sur couche mince près de la surface
- Pas représenté sur la grille à basse resolution
- ↓
- Refroidissement en «air clair» sous-estimé
- ↓
- Retard dans la formation du brouillard!

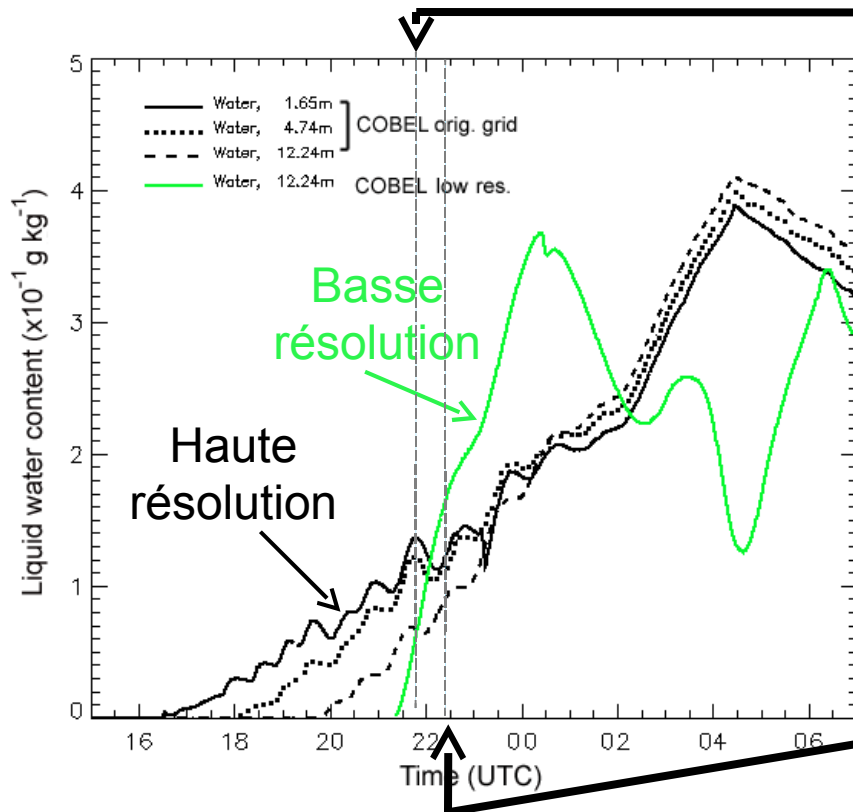




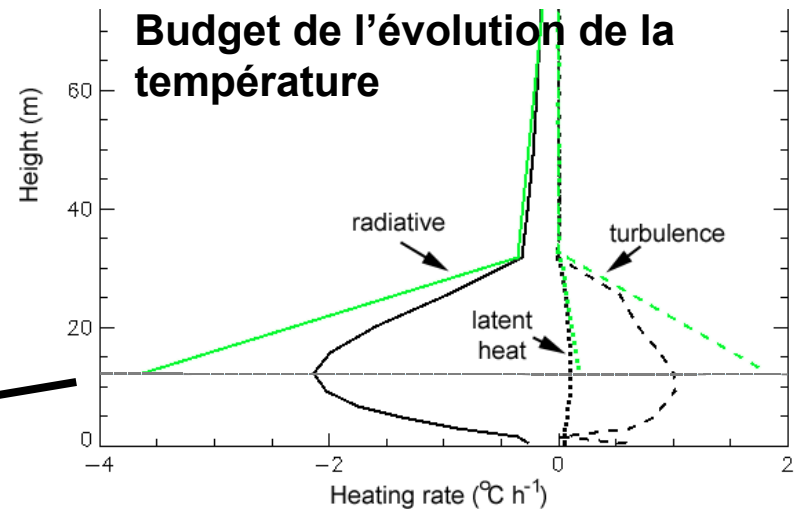
# Brouillard radiatif

- Evolution de l'eau liquide:

$$\frac{\partial q_l}{\partial t} = C + \frac{\partial G}{\partial z} + \frac{\partial \overline{w'q'_l}}{\partial z}$$



| Term ( $\text{g kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ )      | Haute résolution. | Basse résolution. |
|---|-------------------|-------------------|
| $C$   | +0.40             | +0.44             |
| $\frac{\partial G}{\partial z}$                 | -0.44             | -0.23             |
| $\frac{\partial \overline{w'q'_l}}{\partial z}$ | +0.07             | -0.06             |



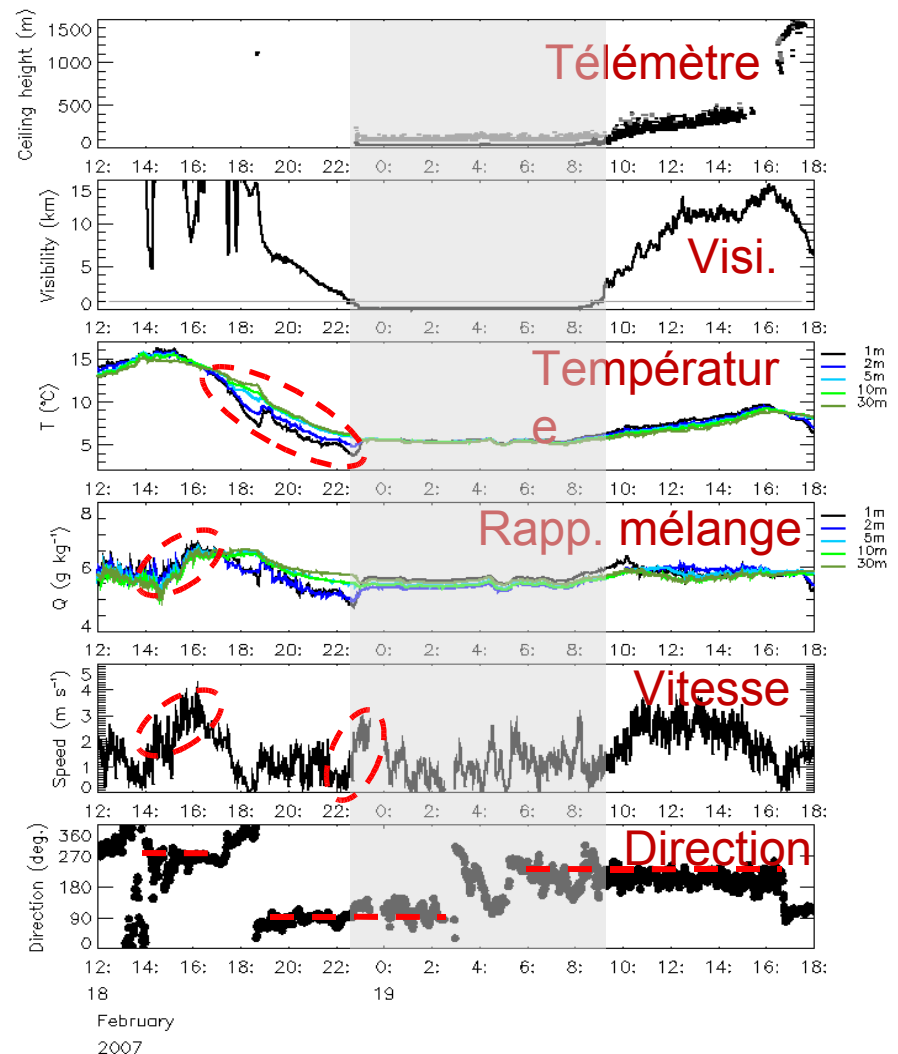


# Brouillard radiatif

## • Modélisation 3D méso-échelle

- Cas de la campagne Paris Fog
- Brouillard radiatif
- Influencé par la dynamique méso-échelle!

- 
- Modèle: MésO-NH
  - Initialisé & forcé par analyses ALADIN (10 km)

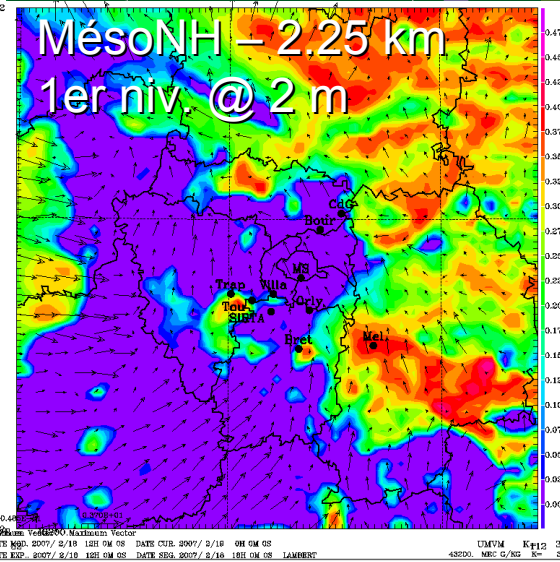
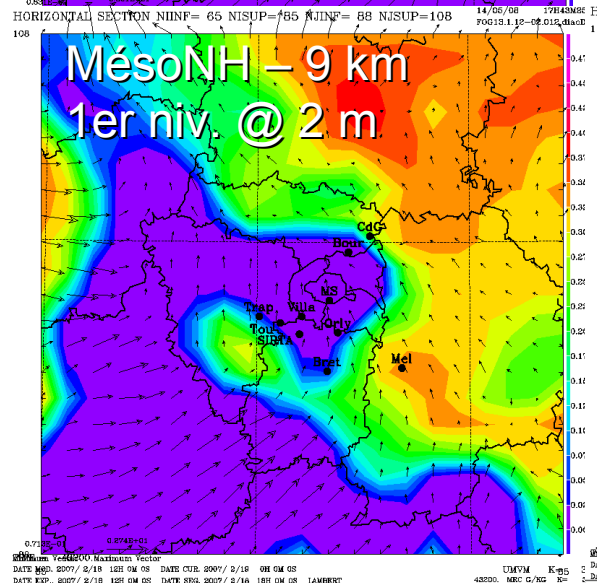
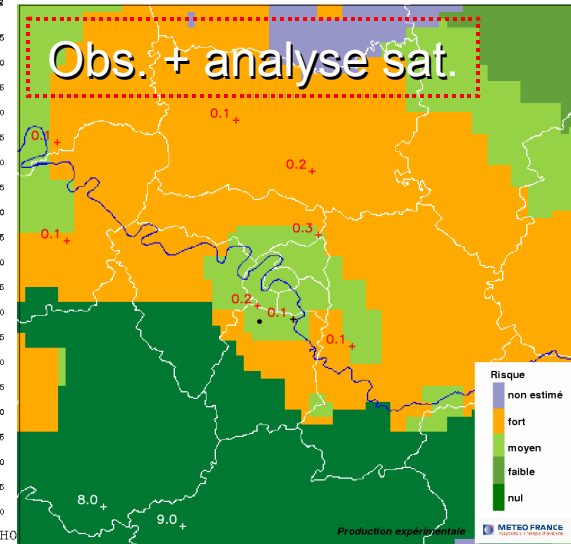
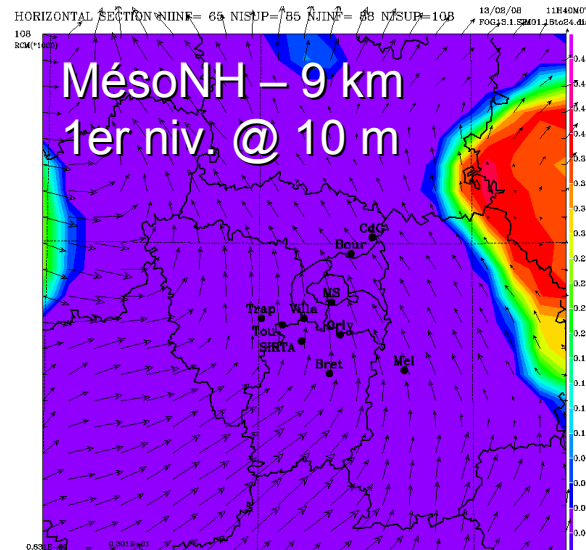




# Brouillard radiatif

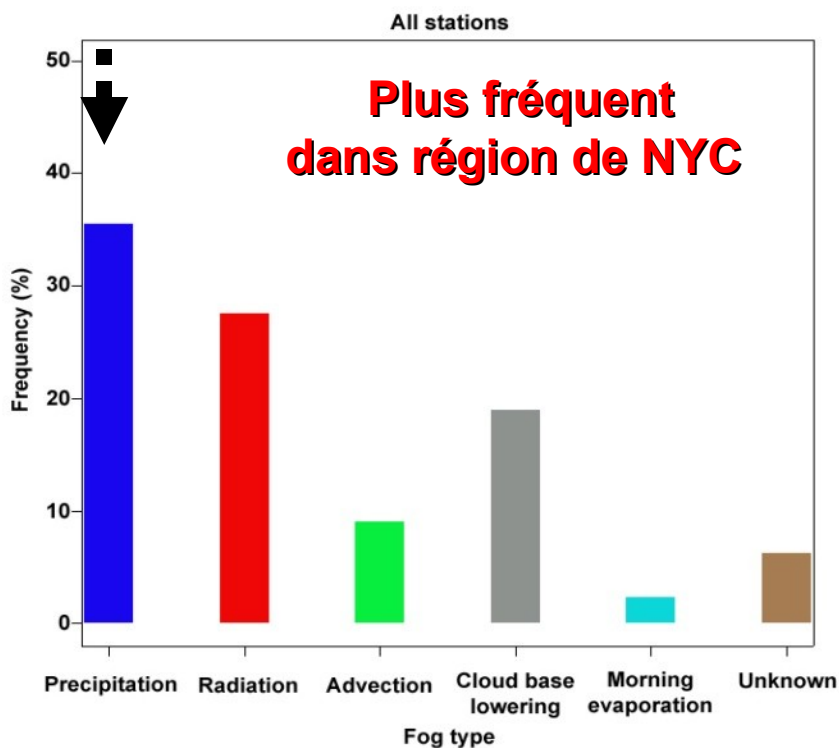
## • Résultats

- Eau liquide niv. + bas
- 00 TU

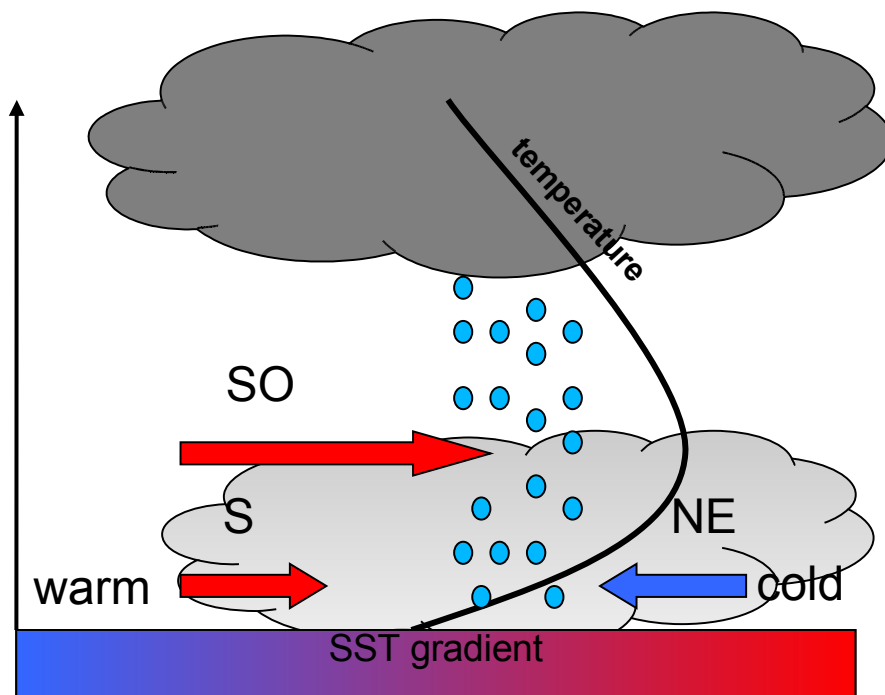


# Brouillard de précipitation

- Fréquence - type



- Pluie stratiform / inversions



# Brouillard de précipitation

- Suggère le rôle de l'évaporation de gouttes de pluie plus chaudes que l'air de l'inversion (Dolezel 1944, Byers 1959, Petterssen, 1969)
- Goutte de pluie plus chaude que l'air ambiante: **contradiction** avec l'**hypothèse d'équilibre**

$$\rho_w c_w \frac{4}{3} \pi r^3 \frac{dT_r}{dt} = -LF_v 4\pi r D_v (\rho_{v,sat}(T_r, p) - \rho_v) - F_h 4\pi r K_a (T_r - T)$$

Equilibre:

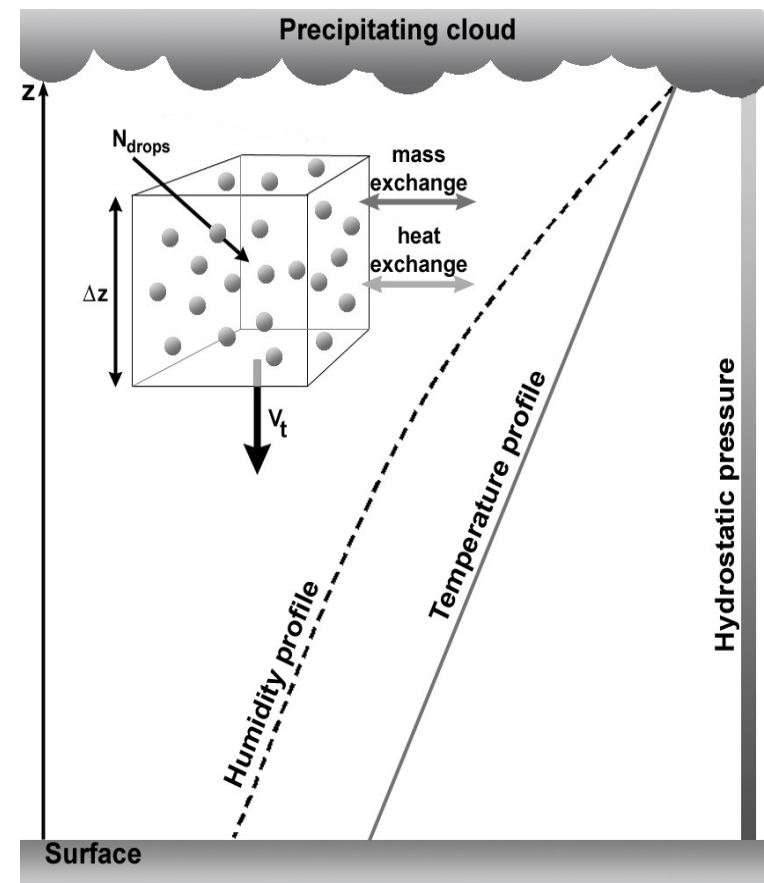
Balance entre flux de chaleur **latente** et **sensible**

$$T_e = T - \frac{LD_v}{K_a} (\rho_{v,sat}(T_e, p) - \rho_v) \quad \rightarrow T_e = T @ \text{ saturation}$$

# Brouillard de précipitation

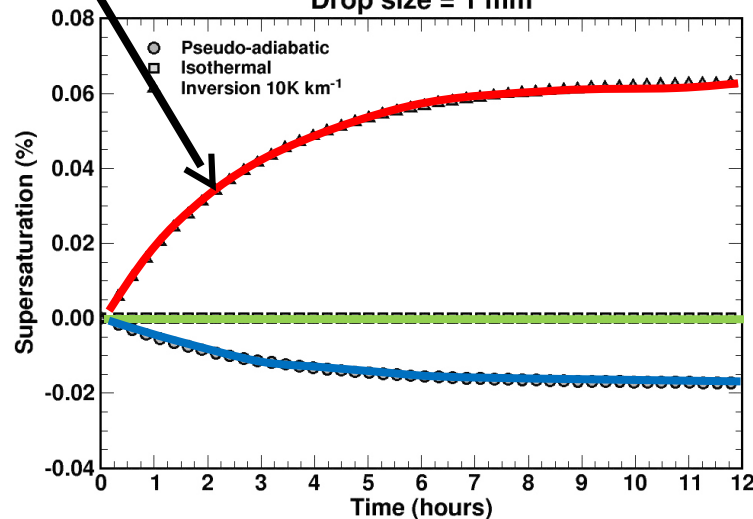
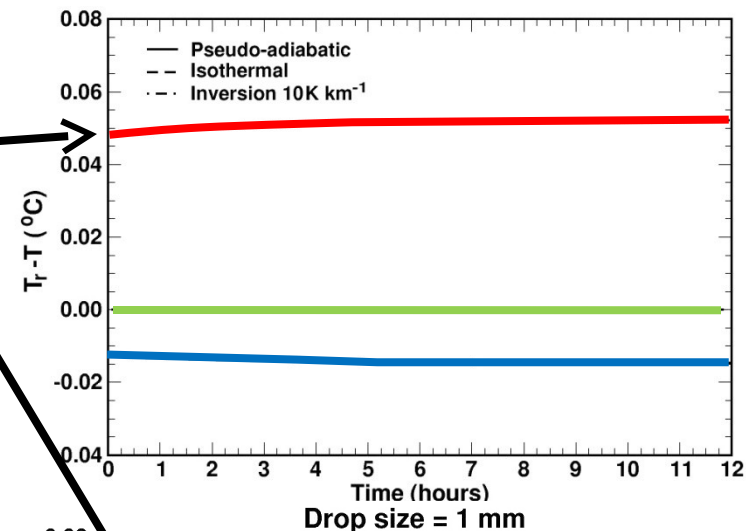
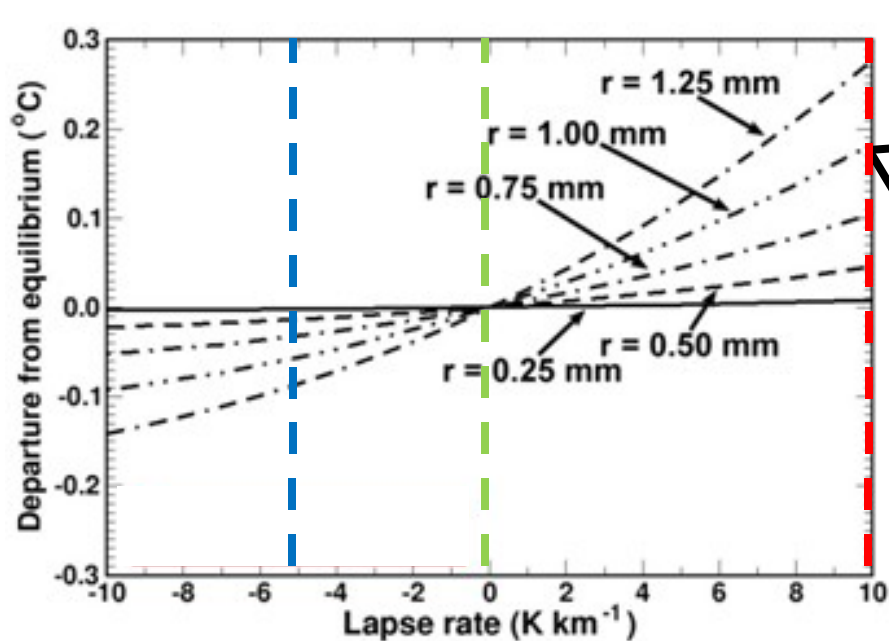
- **Modèle microphysique (pluie):**

- Échanges gouttes  $\leftrightarrow$  environnement décrits dans un référentiel Lagrangien
- Evolution de la masse et température des gouttes
- Evolution de la température et vapeur d'eau de l'environnement  $\rightarrow$  sursaturation



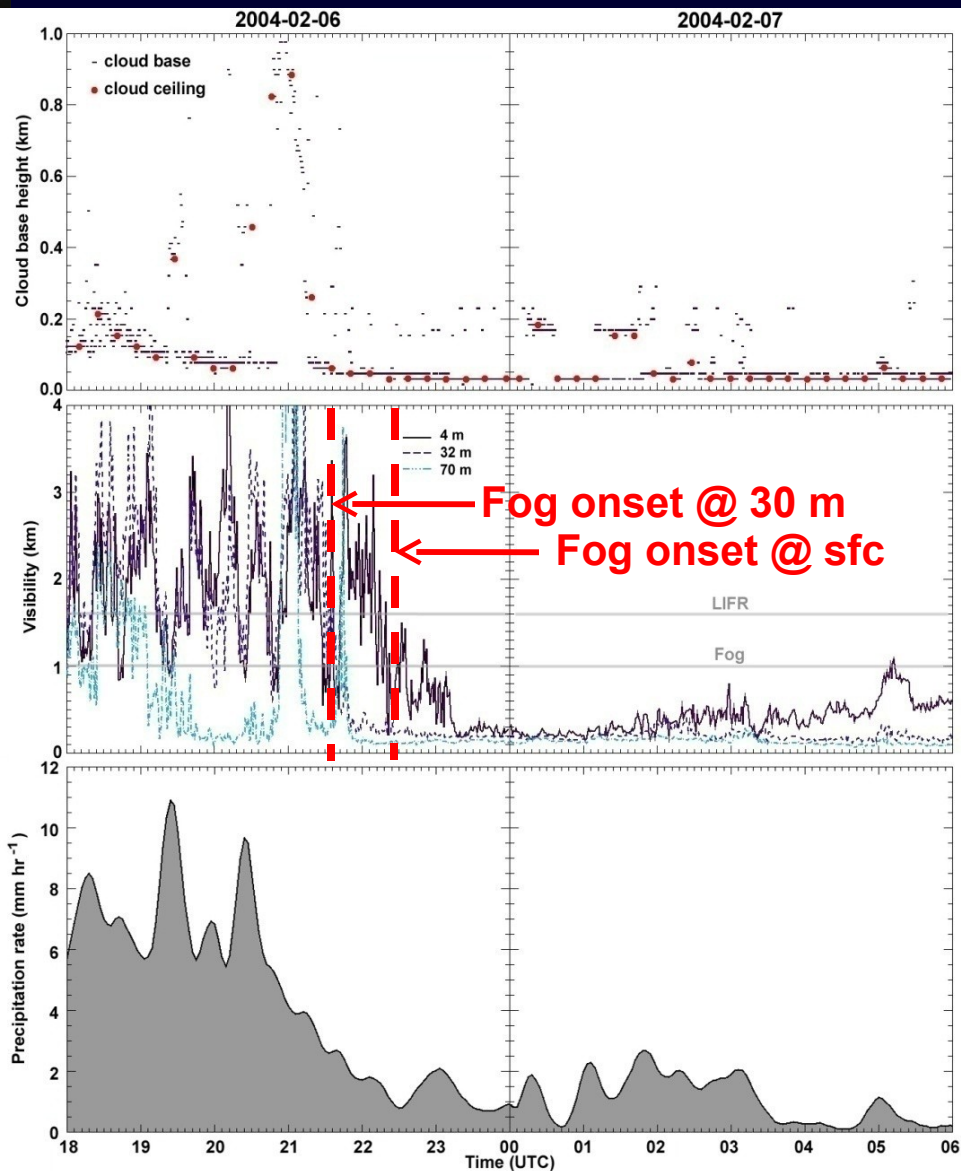
# Brouillard de précipitation

- Écart p/r à l'équilibre & sursaturation



# Brouillard de précipitation

- Case study  
Feb. 6-7  
2004



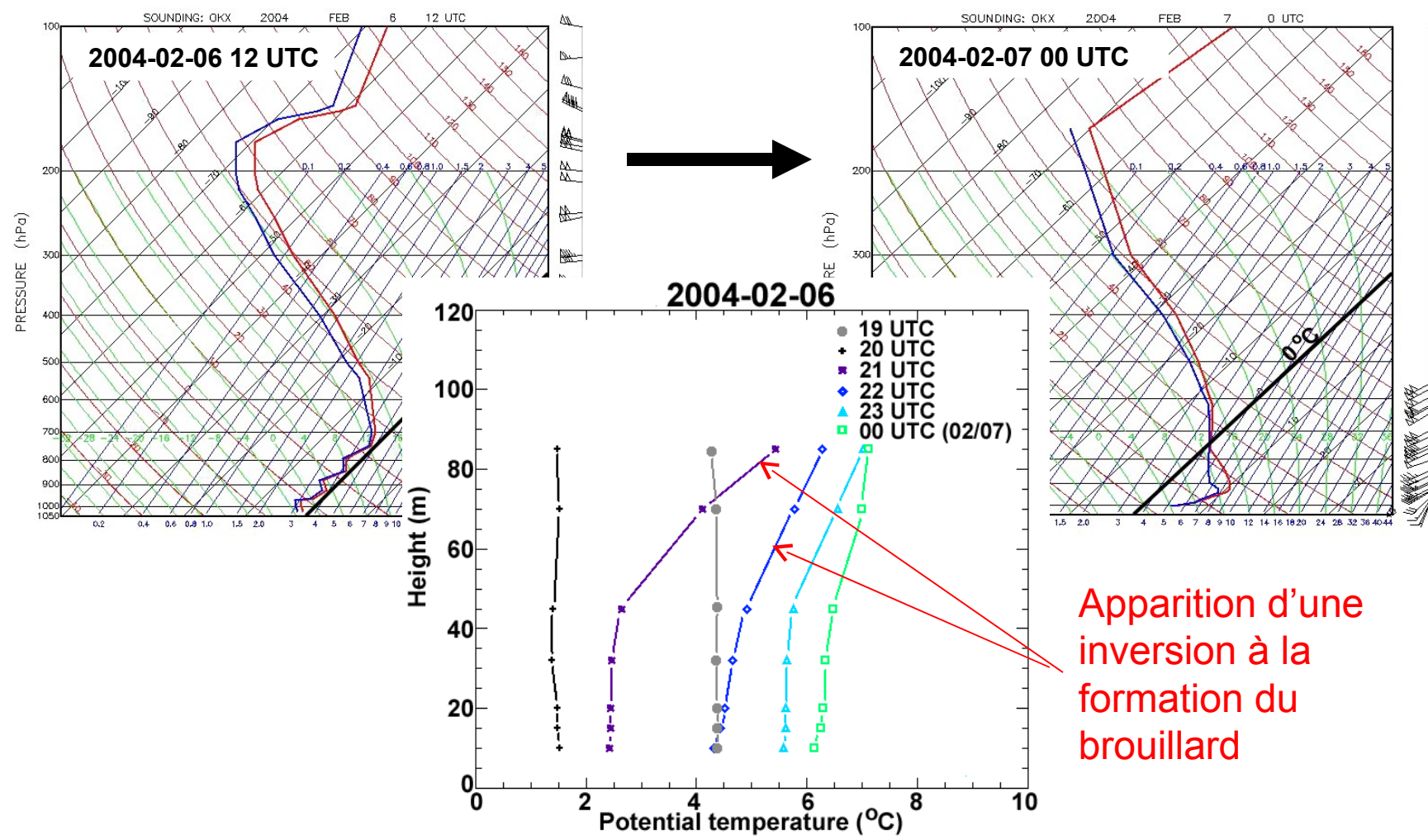
Cloud base

Visibility

Precip. rate

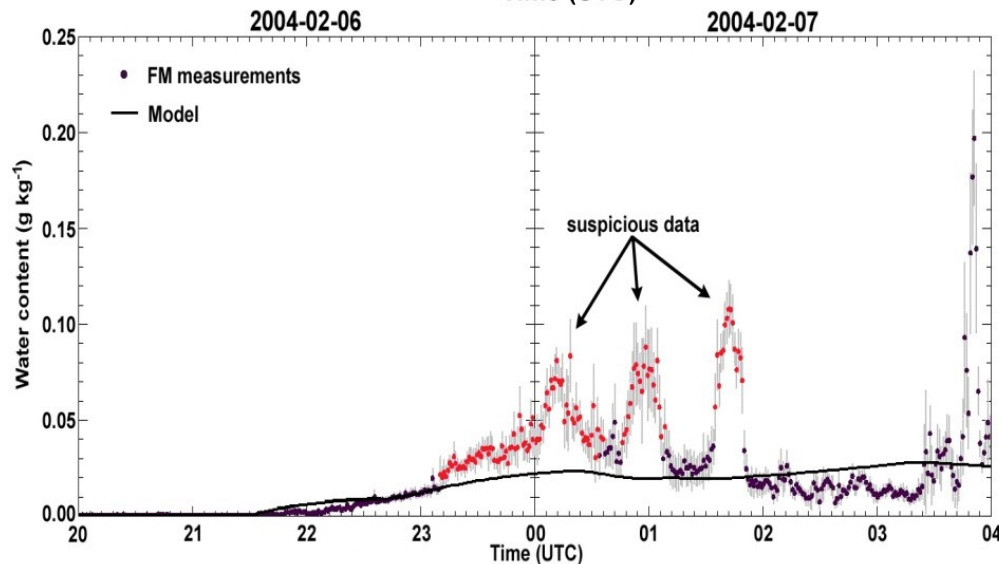
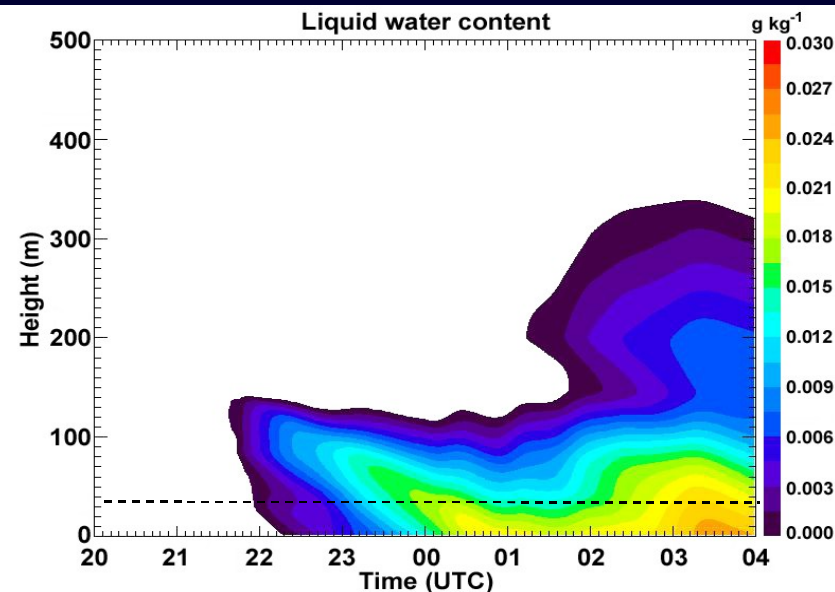
# Brouillard de précipitation

- Structure de la basse atmosphère



# Brouillard de précipitation

- **Simulation:**
- **Modèle microphy.:**
  - Bins + Marshall-Palmer
  - Sursaturation → condensation
  - Sédimentation des gouttelettes de brouillard
- **Forcée par observations:**
  - Taux de précip.
  - Evolution des profils de température & humidité (advections)





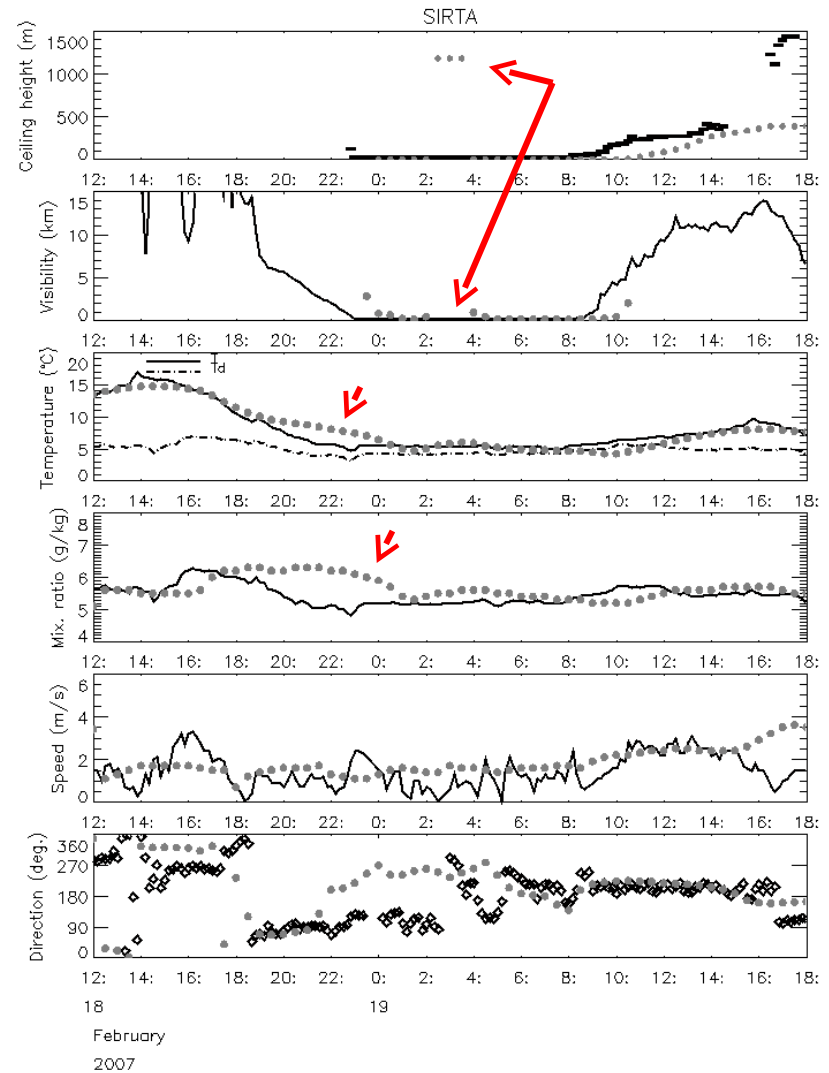
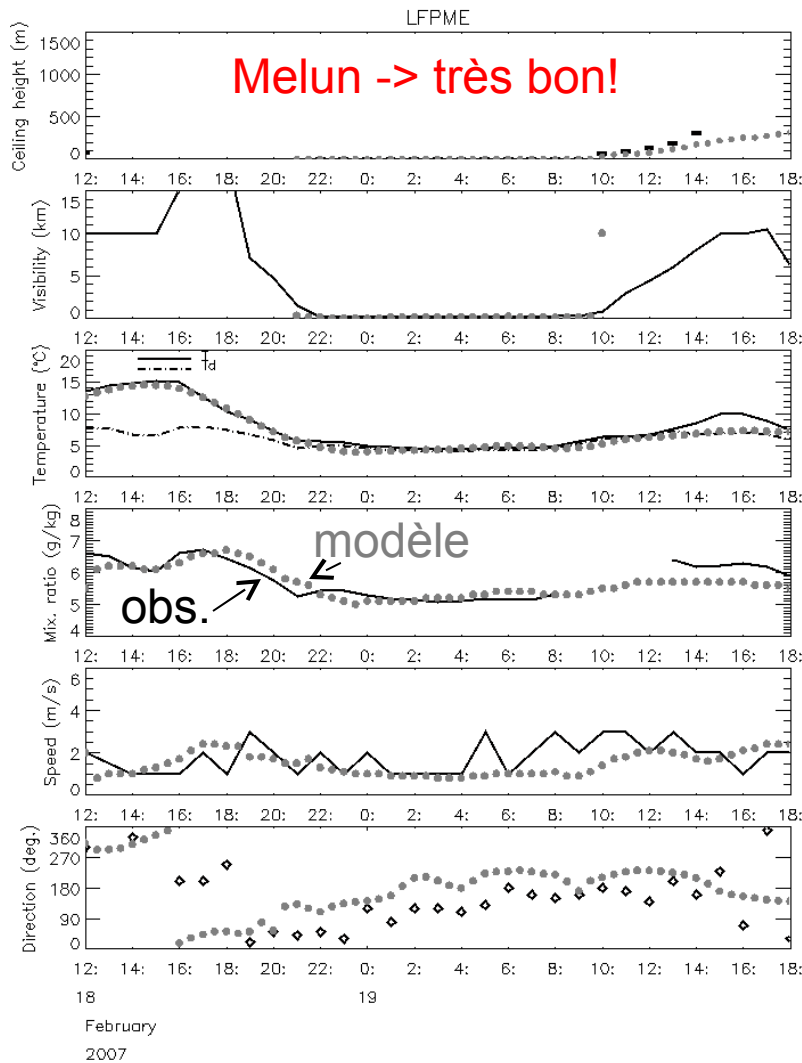


# Conclusions

- **Nécessaire** (*pas nécessairement suffisant*):
  - Brouillard d'**advection**: besoin d'une description "précise" de l'**analyse de la  $T_{\text{mer}}$**  et de bonnes simulations des **trajectoires** des masses d'air dans la couche limite
  - Brouillard **radiatif**: résolution
    - Ne pas sous-estimer l'impact de la **résolution verticale**
    - Compromis entre résolution horizontale vs verticale...
  - Brouillard de **précipitation**: paramétrisation de la **température des hydrométéores** incluant les effets de **non-équilibre**

# Travaux en cours...

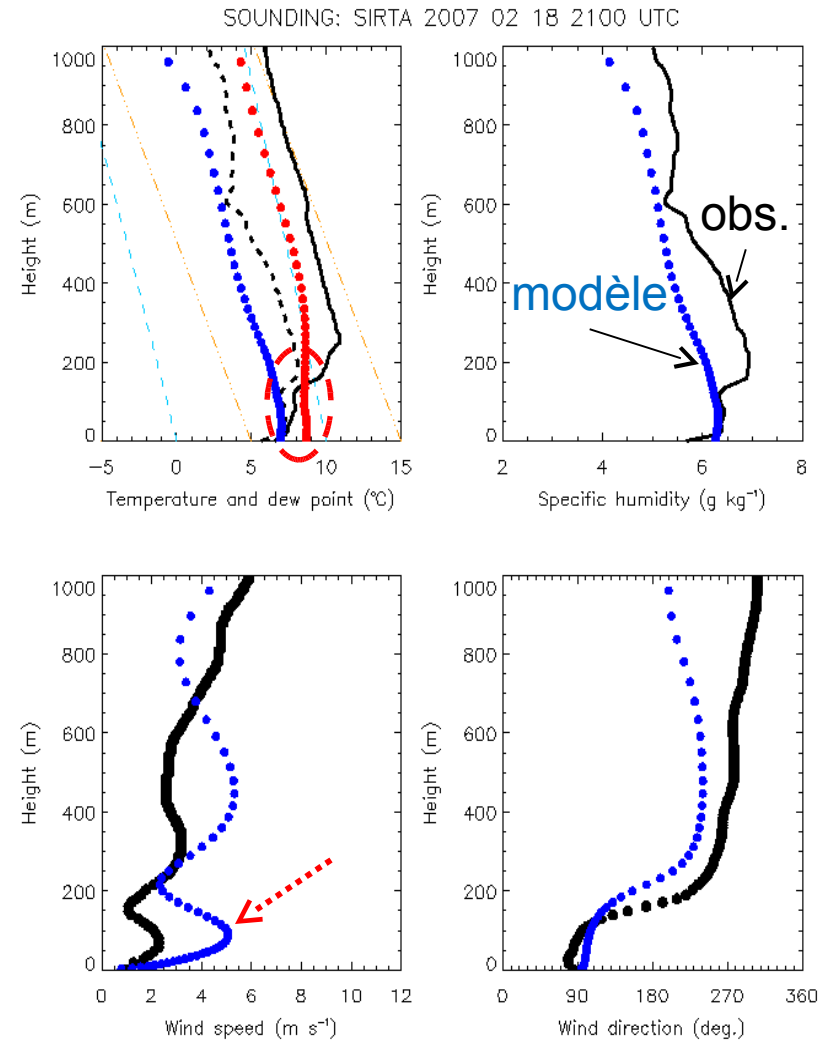
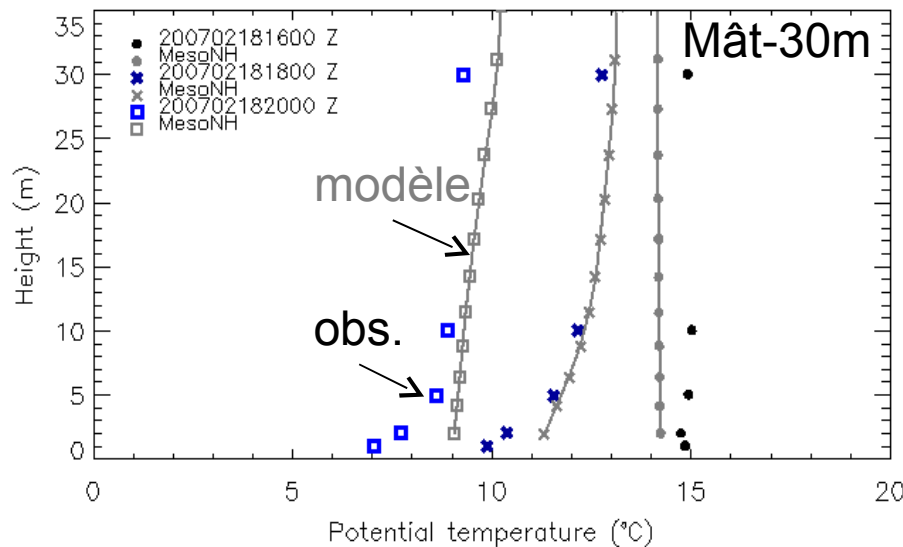
- **Modélisation 3D méso-échelle - erreurs «modèle»**



# Travaux en cours...

- **Modélisation 3D méso-échelle**

- Etude des erreurs «modèle»
- Exploitation données ParisFog

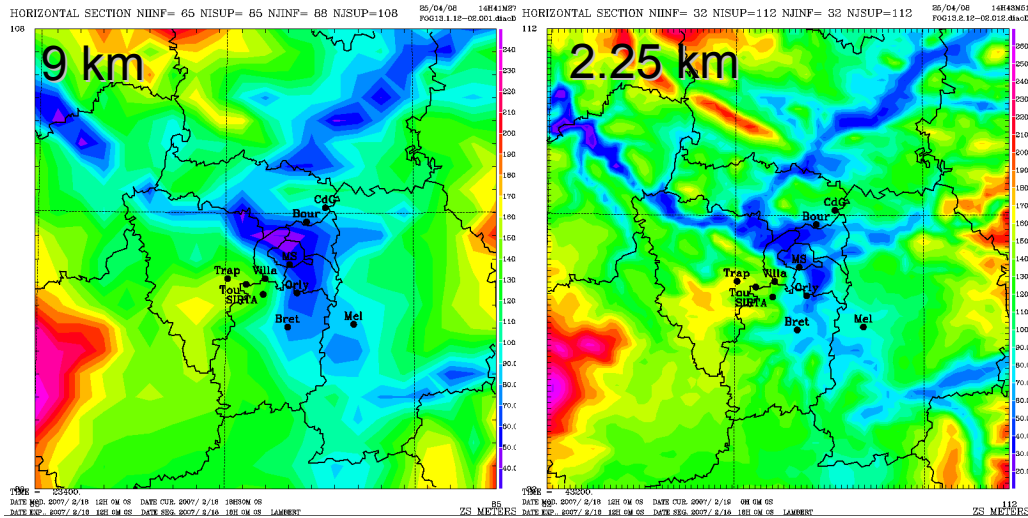


# Travaux en cours...

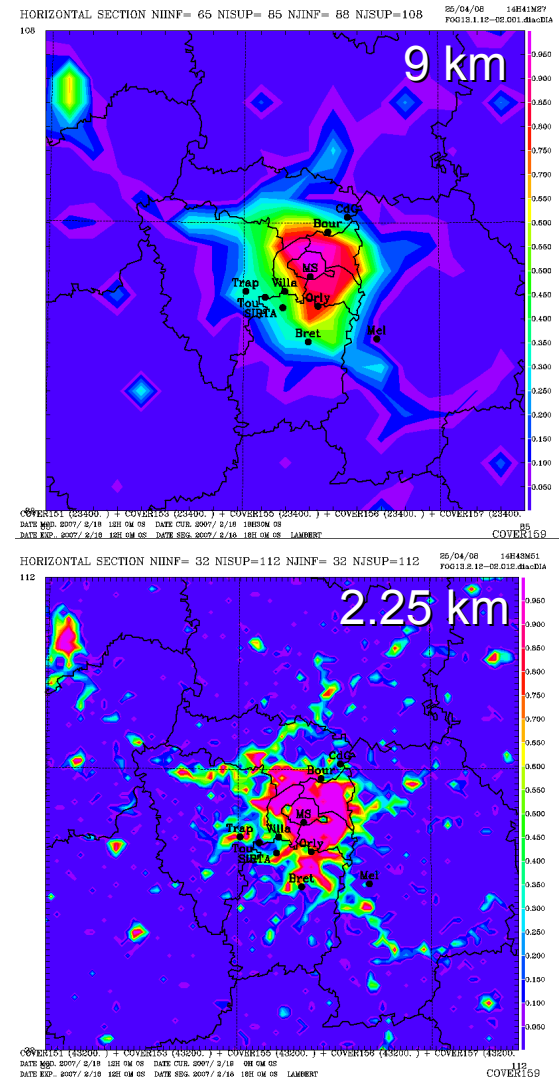
- **Modélisation 3D méso-échelle**

- Variabilité spatiale du brouillard vs hétérogénéité de la surface

## Topographie



## Zones urbaines





# Travaux en cours...

- **Evaluation + ciblée des prévisions numériques du Local Ensemble Prediction System**  
(Roquelaure et al., 2007, 2008)
  - **Classification** des cas brouillard sur aéroport Charles de Gaulle selon le **type** (Tardif & Rasmussen, 2007) sur 5 hivers
  - Evaluation des prévisions selon le type de brouillard...
  - Identification des forces et faiblesses de l'approche 1D déterministe et ensembliste...