

# LES de brouillard radiatif, améliorer la représentation microphysique du brouillard

**Marie Mazoyer, Christine Lac et Benoit Vié**  
(CNRM/CNRS-Météo-France)

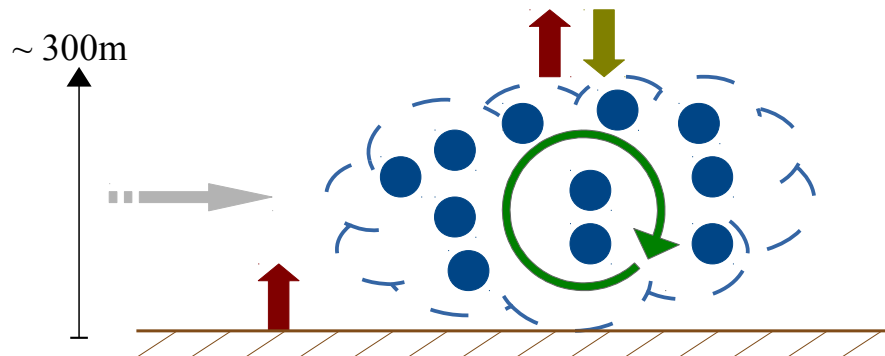
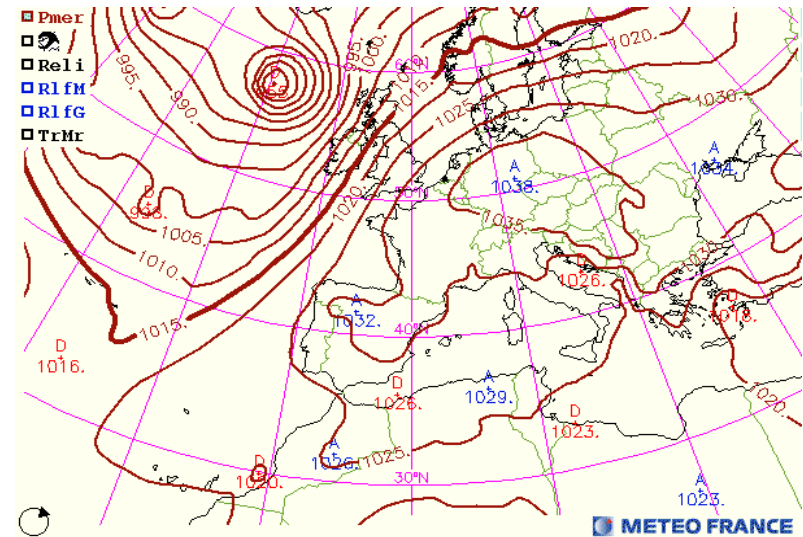


**AMA 2018**

# CONTEXTE

➤ Situations favorables connues

Mais leur prévision reste difficile ...



➤ Fines échelles

➤ Interaction complexe entre processus surfaciques, radiatifs, turbulents, dynamiques et **microphysiques**

# CONTEXTE – microphysique des brouillards (au sol)

## DANS LES MODÈLES

### Contenu en eau liquide

$$\text{LWC} \sim [0.1-0.6] \text{ g.m}^{-3}$$

### Concentration de gouttelettes **fixées**

↳ Modèles de prévision du temps

$$N = 100 \text{ cm}^{-3} \text{ ou } 300 \text{ cm}^{-3} \quad (\text{Nakanishi, 1999 ; } \\ \text{Porson et al., 2011; } \\ \text{Bergot, 2013}) \\ \text{AROME}$$

### Concentration de gouttelettes **pronostiquées**

$$N \sim [100-800] \text{ cm}^{-3} \quad (1\text{-D: Zhang et al. 2014, } \\ \text{Stolaki et al. 2015}) \\ (\text{LES: Maalick et al. 2016 } \\ \text{Maronga et al. 2017})$$

## DANS LES OBSERVATIONS ([2-50] $\mu\text{m}$ )

(Wendisch et al., 1998; Garcia-Garcia et al., 2002;  
Gultepe et al., 2007b; Niu et al., 2010; Price, 2011;  
Gonser et al., 2012 ; Mazoyer et al, 2016)

$$\text{LWC} \sim [0.05-0.3] \text{ g.m}^{-3}$$

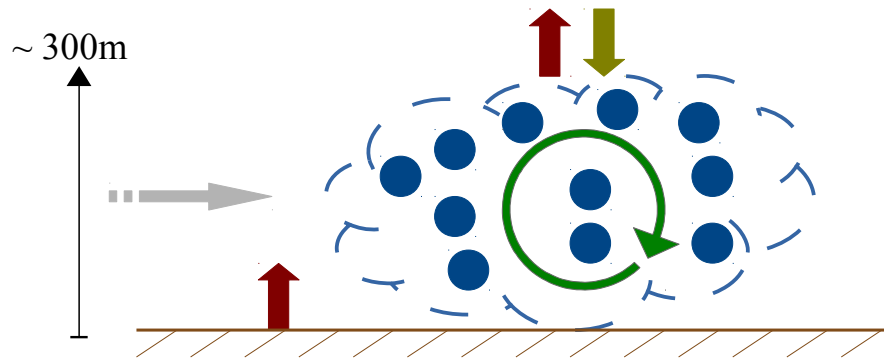
$$N \sim [10-300] \text{ cm}^{-3} \\ [800-1000] \text{ cm}^{-3} (\text{Chine})$$

- Écart trop important entre modèles et obs pour conclure sur l'impact de la microphysique
- Besoins d'approfondir les observations et **les simulations (Processus manquants ou mal représentés pour le brouillard)**

# PROBLÉMATIQUE & MÉTHODE

---

Comment améliorer la représentation microphysique du brouillard ?



➤ **Simulation LES** → turbulence essentiellement résolue

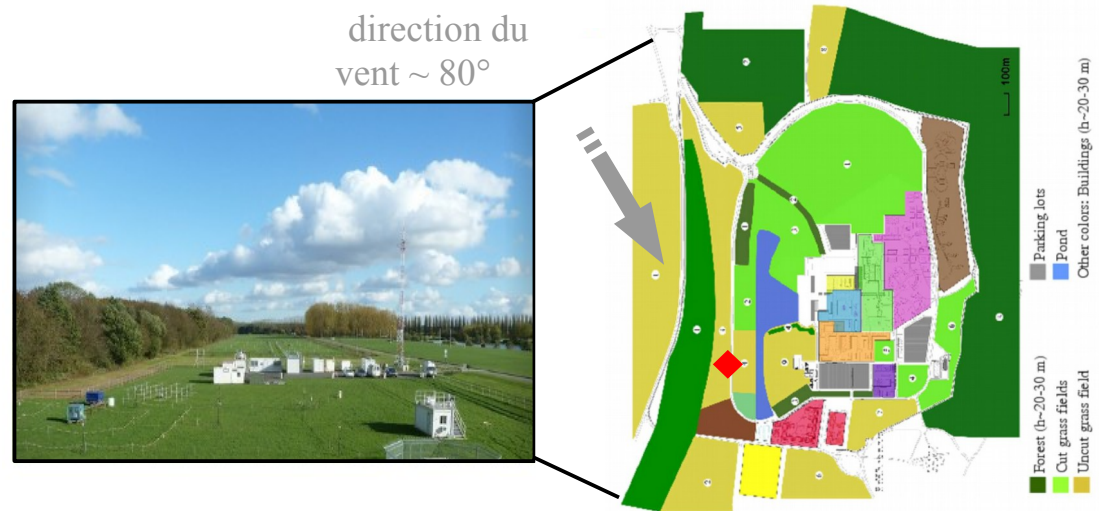
➤ Deux ingrédients majeurs:

1. Dynamique → **Hétérogénéités de surface**
2. Microphysique → **Dépôt des gouttelettes**  
→ **Processus d'activation**



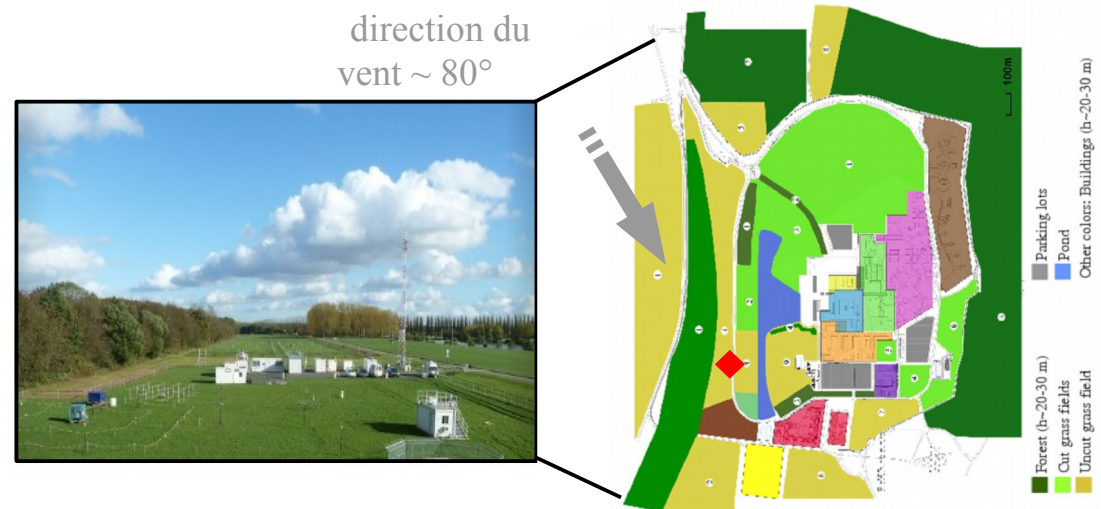
# CAS D'ÉTUDE (Mazoyer et al., 2017, ACP)

- Cas de la campagne PréViBoss (2010-2013) au SIRTa (zone semi-urbaine)
- Simulation idéalisée du **cas du 15/11/11**, représentatif des cas radiatifs au **SIRTa**
- Initialisation avec un radiosondage
- $\Delta x = 5\text{m}$  ( $200 \times 200$ ),  $\Delta z \sim 1\text{m}$  (**156 niveaux**  $\rightarrow$  **1500m**),  $\Delta t \sim 0.1\text{s}$
- Turbulence 3D (Cuxart et al, 2000), rayonnement ECMWF



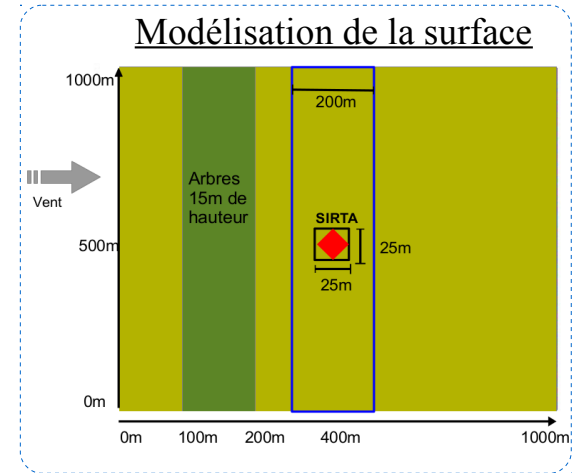
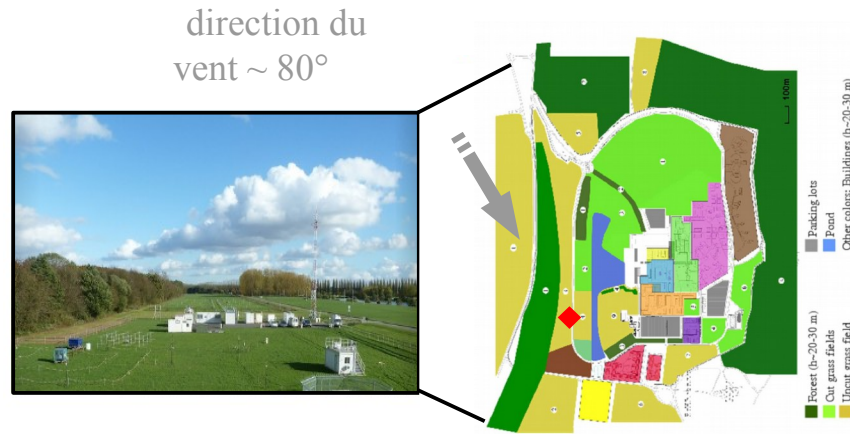
# CAS D'ÉTUDE (Mazoyer et al., 2017, ACP)

- Cas de la campagne PréViBoss (2010-2013) au SIRTA (zone semi-urbaine)
- Simulation idéalisée du **cas du 15/11/11**, représentatif des cas radiatifs au **SIRTA**
- Initialisation avec un radiosondage
- $\Delta x = 5\text{m}$  ( $200 \times 200$ ),  $\Delta z \sim 1\text{m}$  (**156 niveaux**  $\rightarrow$  **1500m**),  $\Delta t \sim 0.1\text{s}$
- Turbulence 3D (Cuxart et al, 2000), rayonnement ECMWF



- Barrière d'arbres modifie l'écoulement au Sirta et crée des structures turbulentes propres (Zaïdi et al., 2013)
- Cas fréquents de formation de brouillard radiatif en altitude

# CAS D'ÉTUDE (Mazoyer et al., 2017, ACP)

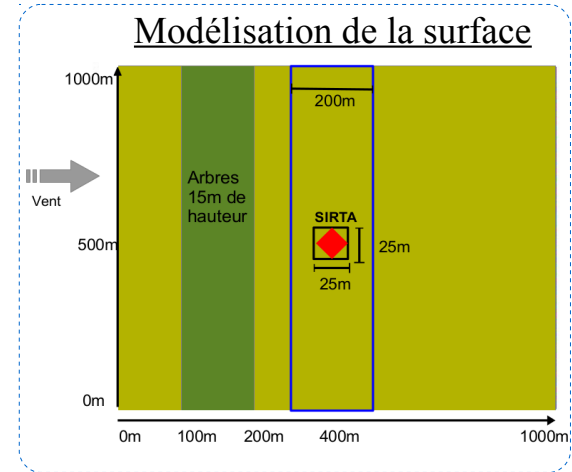
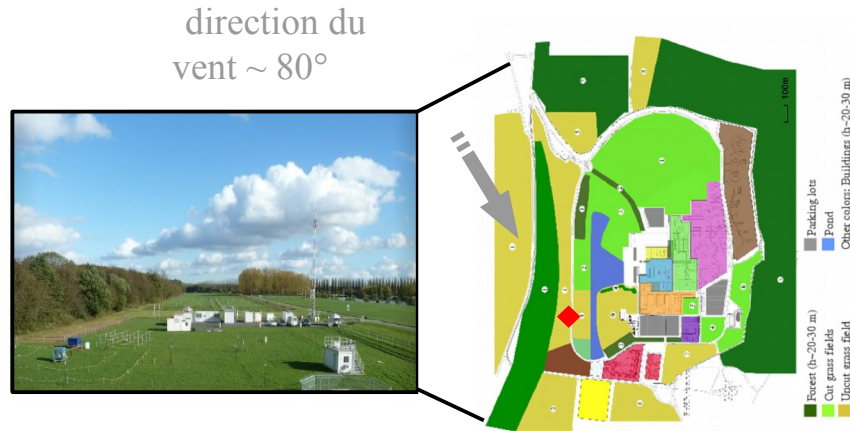


➤ **Ajout** d'une modélisation de l'**effet de traînée due aux arbres** (Aumond et al., 2013) :

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t}_{DRAG} = -C_d A_f(z) \alpha \sqrt{u^2 + v^2}$$

$\alpha = u, v, TKE$

# CAS D'ÉTUDE (Mazoyer et al., 2017, ACP)



➤ **Ajout** d'une modélisation de l'**effet de traînée due aux arbres** (Aumond et al., 2013) :

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t}_{DRAG} = -C_d A_f(z) \alpha \sqrt{u^2 + v^2} \quad \alpha = u, v, TKE$$

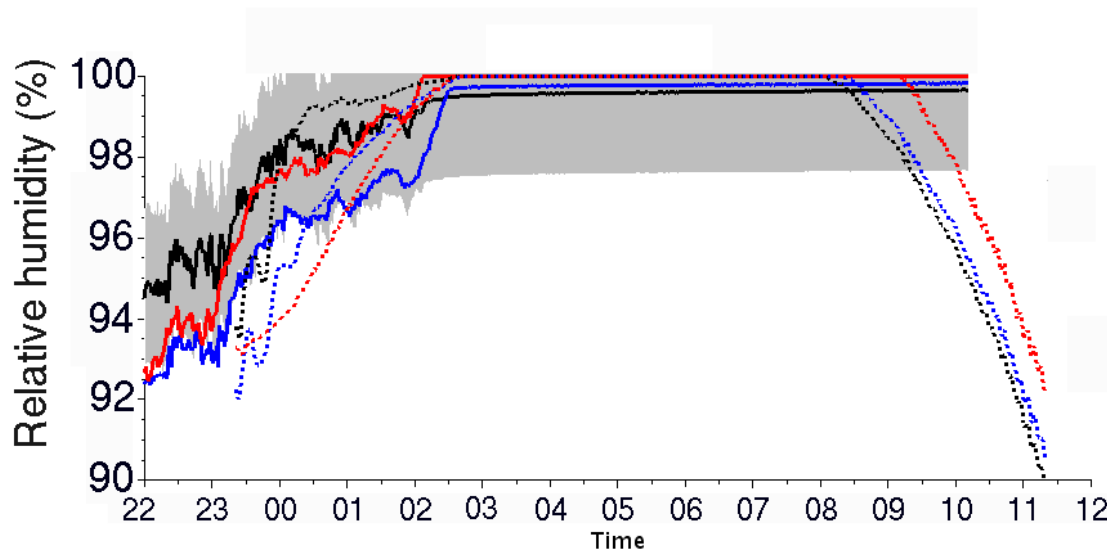
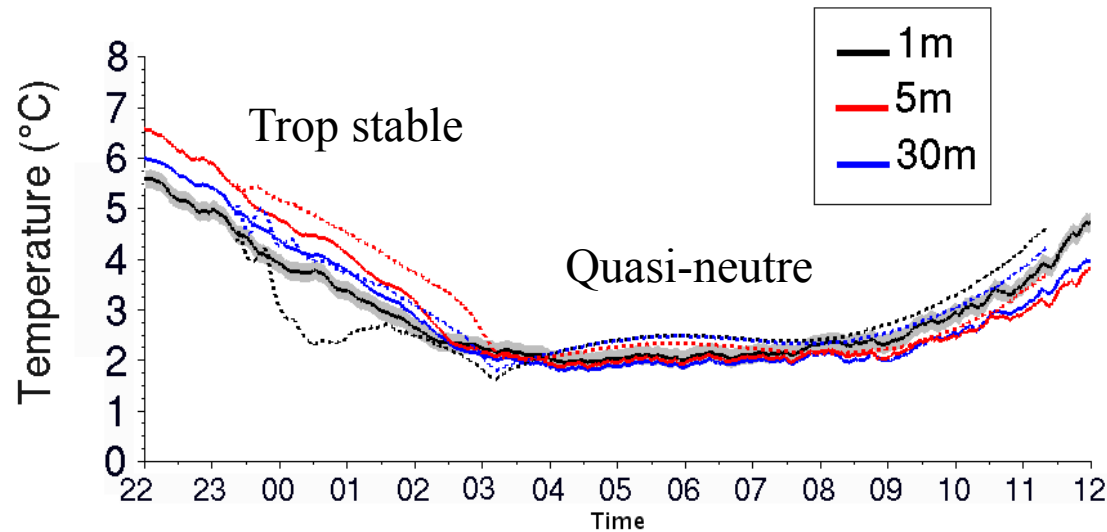
➤ Schéma de **microphysique** chaude à **deux moments**, KHKO (Cohard et Pinty (2002), Geoffroy (2007)), **incluant la sédimentation**

→ **Ajout** d'un nouveau processus : **Dépôt des gouttelettes sur la végétation** (terme puits d'interception direct par les arbres et la surface) : seulement pour le premier niveau sur l'herbe et sur la hauteur des arbres (15m) :

Katata (2014) :  $2 \text{ cm/s} < V_{DEP} < 8 \text{ cm/s}$   
végétation basse

$$F_{dep} = \rho_{aa} a V_{DEP} \text{ avec } V_{DEP} = 2 \text{ cm/s} \quad \alpha = N_c, R_c$$

# Évolution thermodynamique



◆ Formation du brouillard au sol:  
02h30 dans les OBS et REF

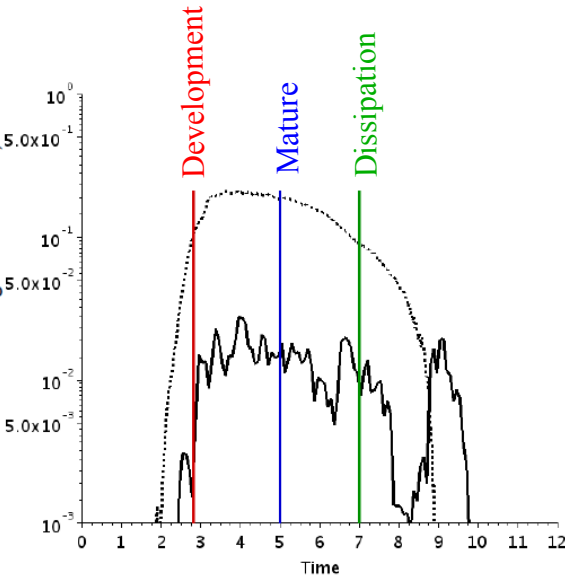
◆ Dissipation au sol :  
10h dans les OBS  
8h30 avec REF



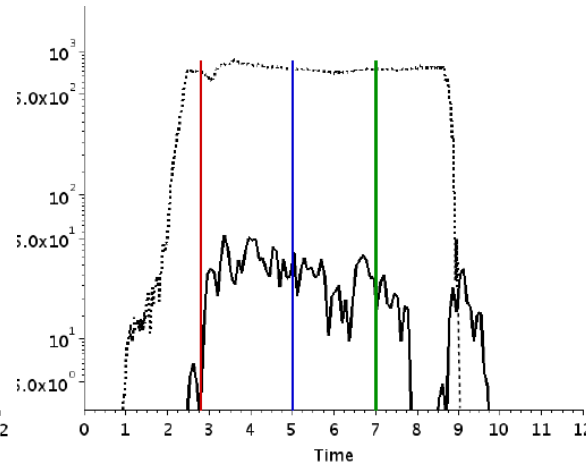
# Microphysique à 3m et intégrée sur la verticale

— OBS  
- - REF

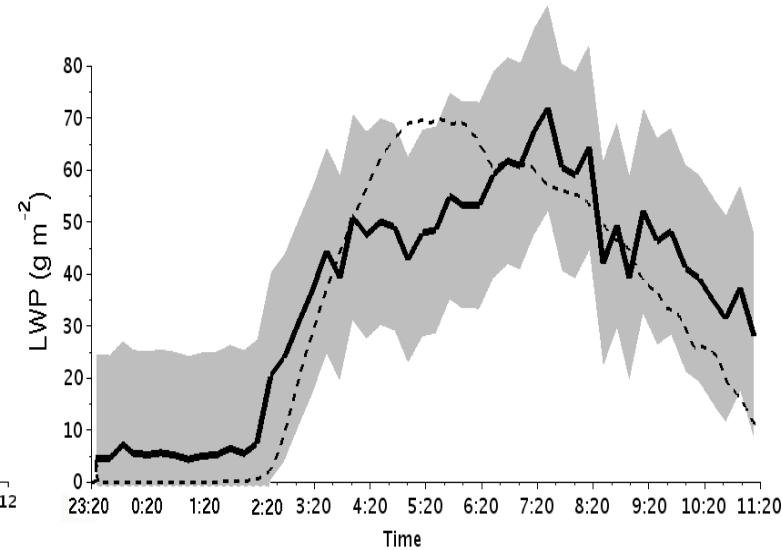
**Rc (g/kg) à 3 m**



**Nc (part.cm<sup>-3</sup>) à 3 m**



**LWP (Rc intégré sur la verticale)**



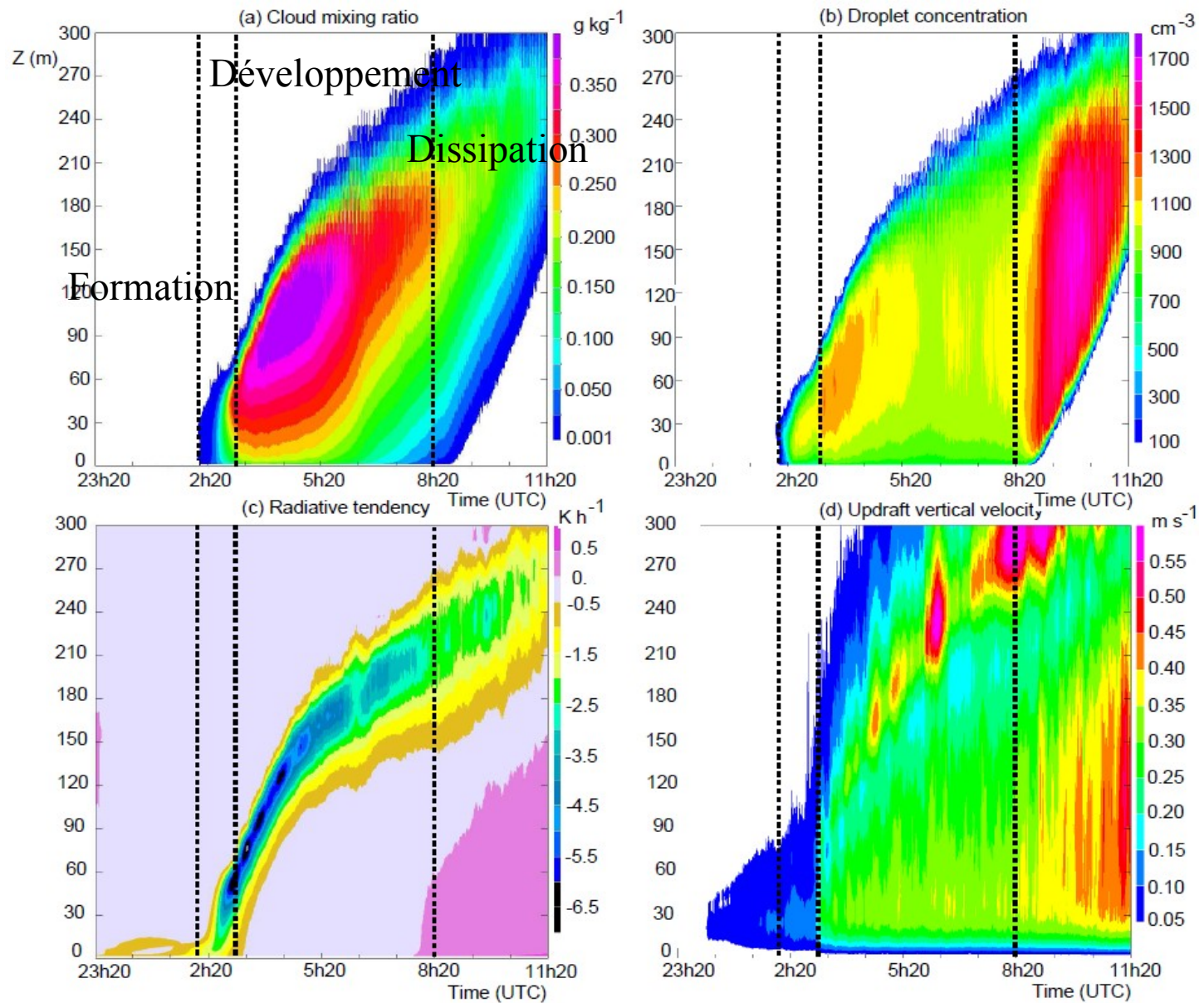
**Max\_OBS=0.03 g.kg<sup>-1</sup>**  
**Max\_MNH=0.2 g.kg<sup>-1</sup>**

**Max\_OBS= 53 cm<sup>-3</sup>**  
**Max\_MNH=700 cm<sup>-3</sup>**



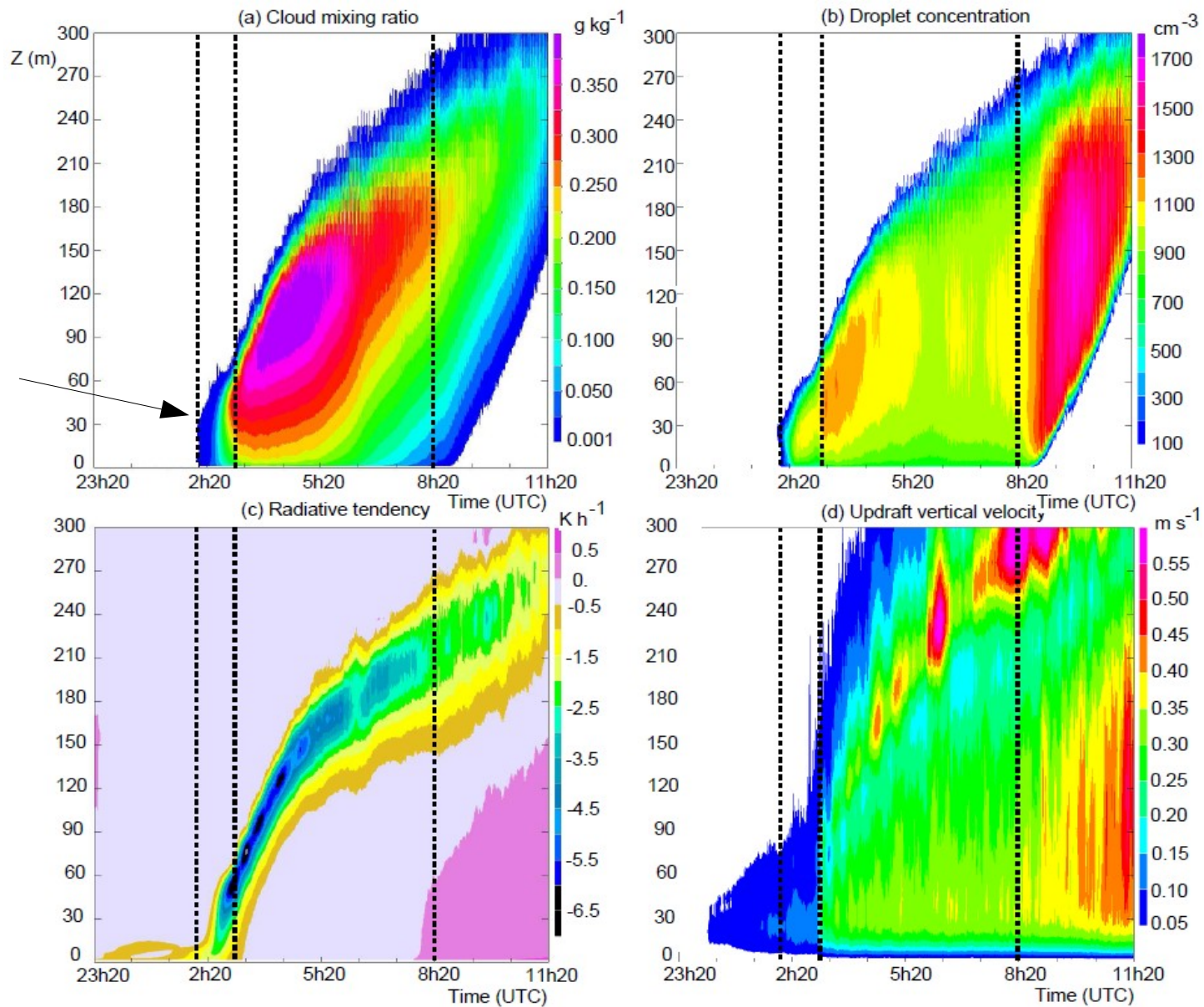
- ◆ Surestimation de rc et Nc par rapport aux obs
- ◆ Représentation correcte du LWP

# Évolution temporelle sur la verticale



# Évolution temporelle sur la verticale - Formation

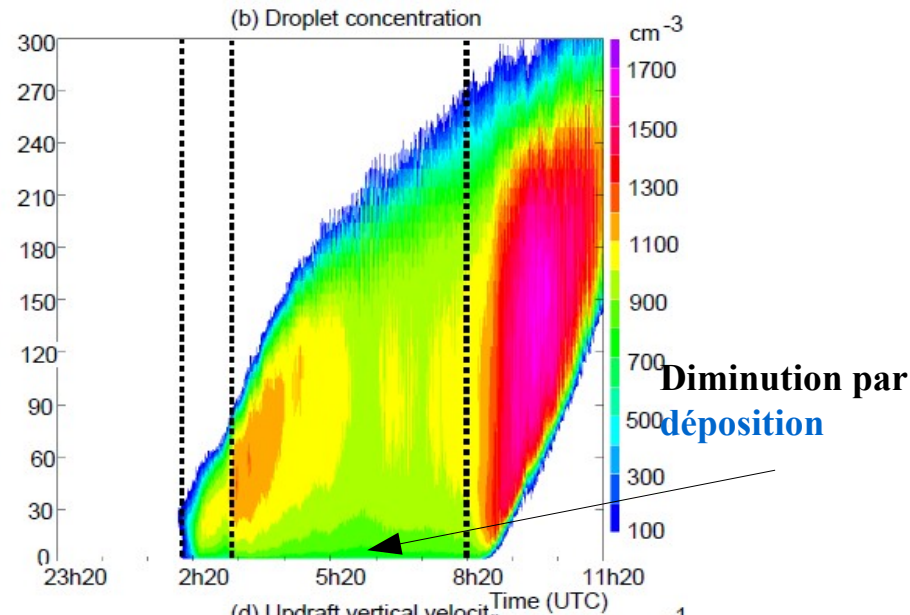
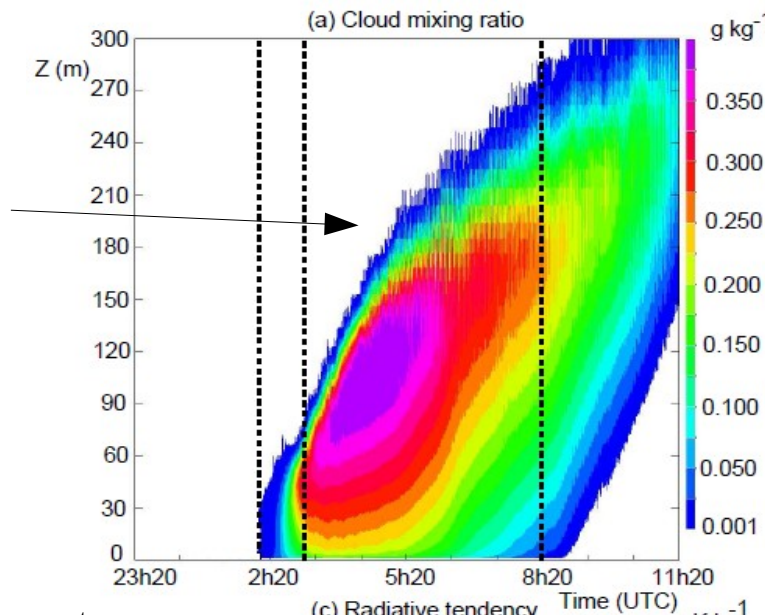
Formation  
en hauteur



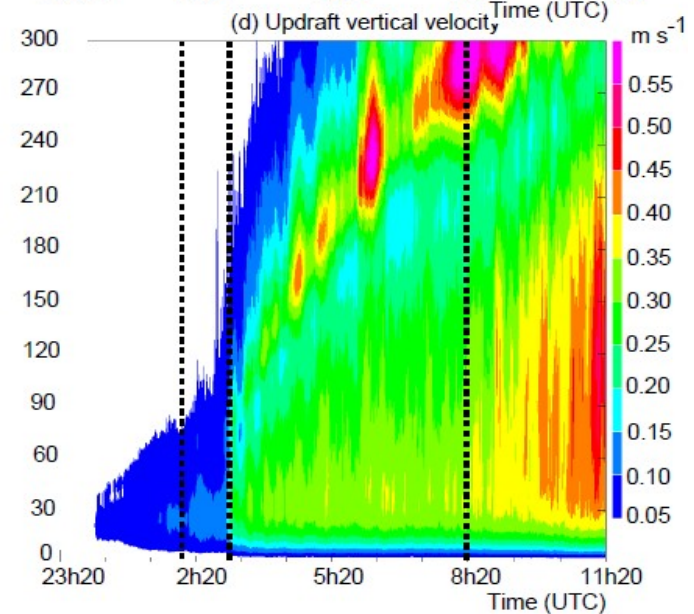
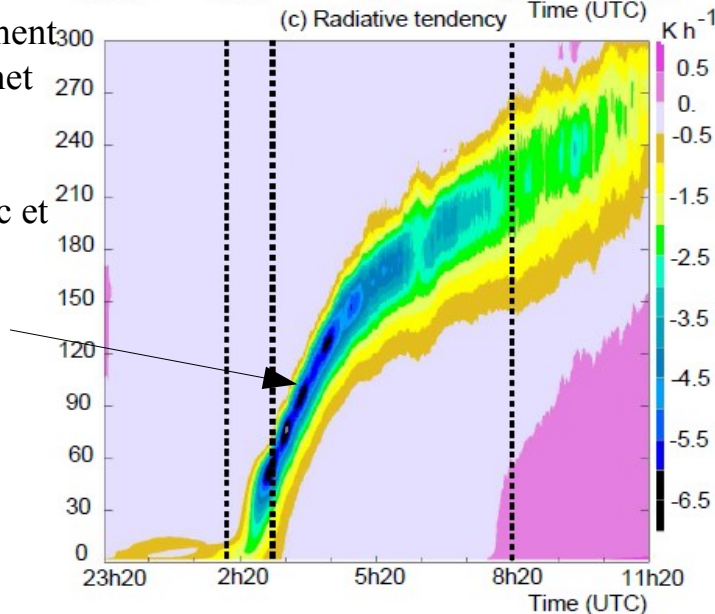


# Évolution temporelle sur la verticale - Développement

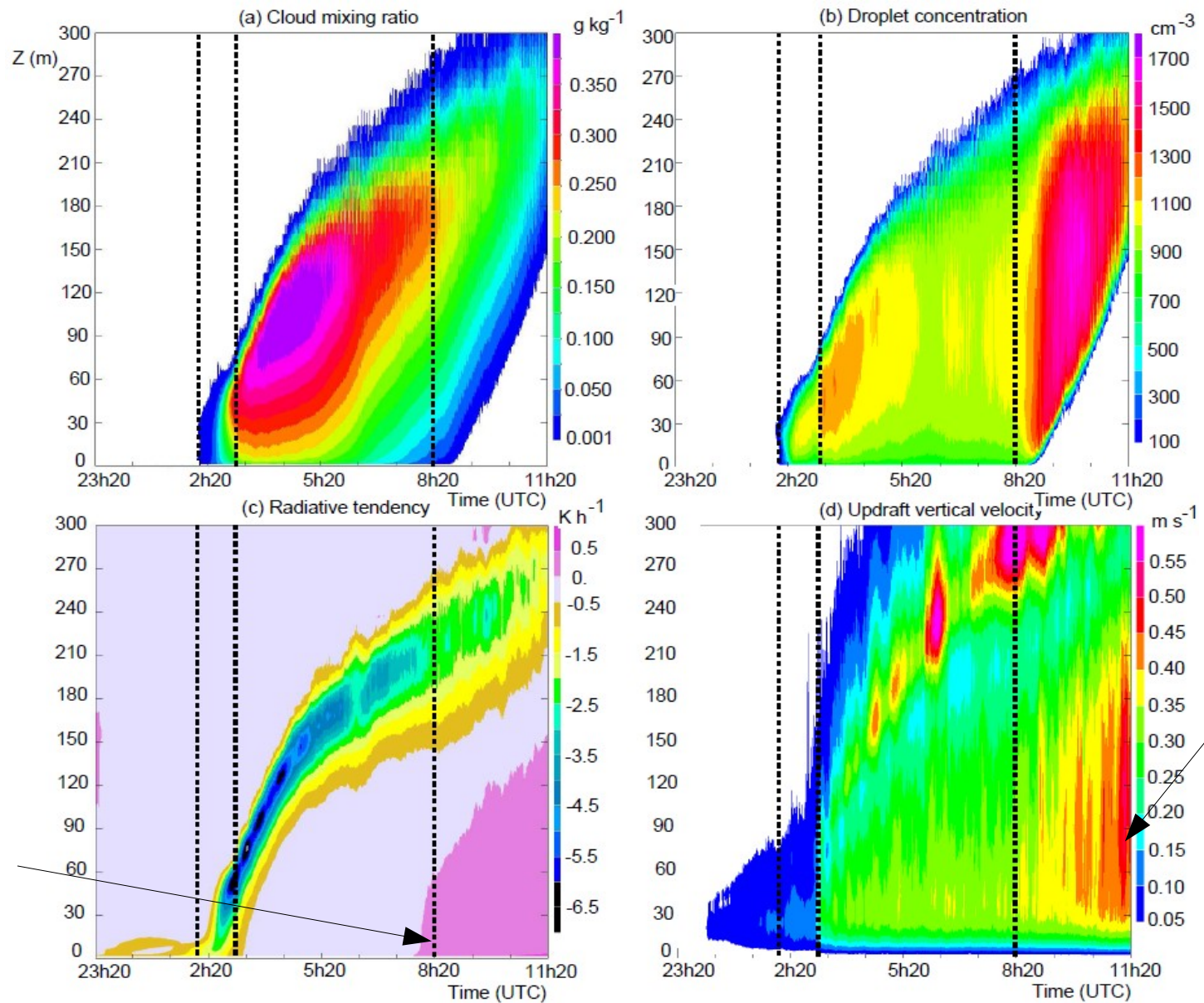
Sommet de la couche nocturne : baisse de production d'eau liquide



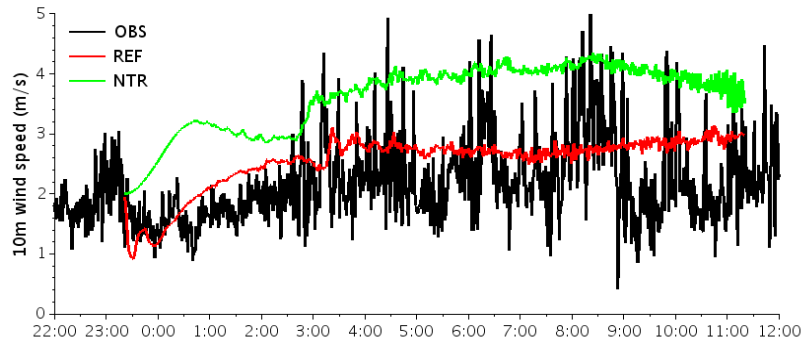
Fort refroidissement radiatif au sommet du à l'épaisseur optique :  
 -Production de rc et Nc  
 -Production dynamique



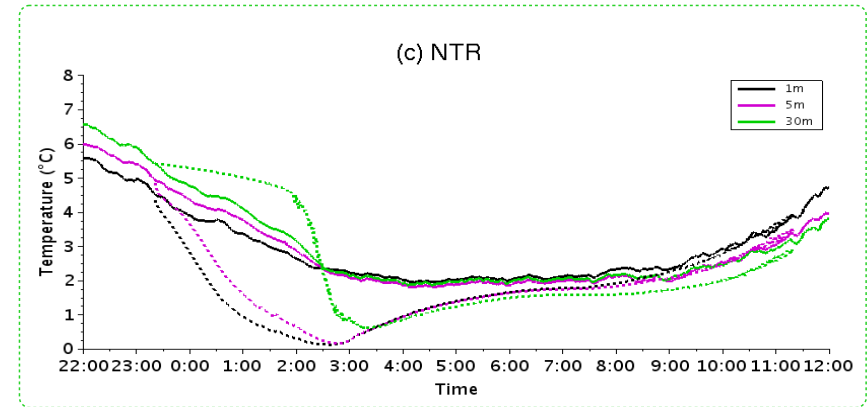
# Évolution temporelle sur la verticale - Dissipation



# Impact de la barrière d'arbres → dynamique à la formation

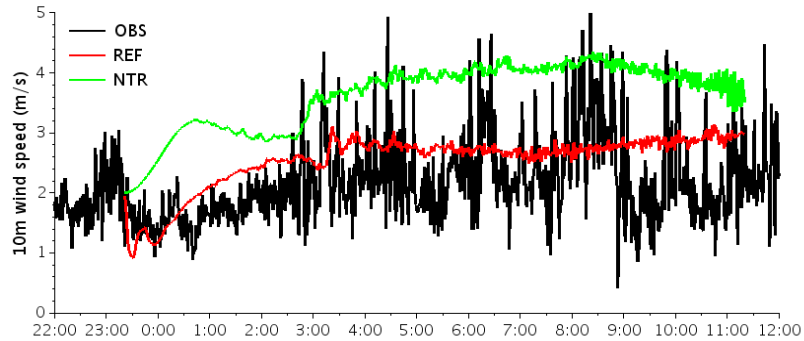


AVEC  
ARBRES

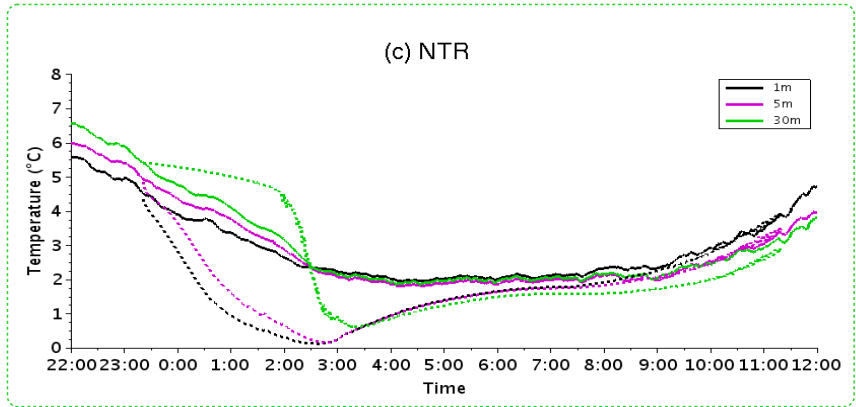


SANS  
ARBRES

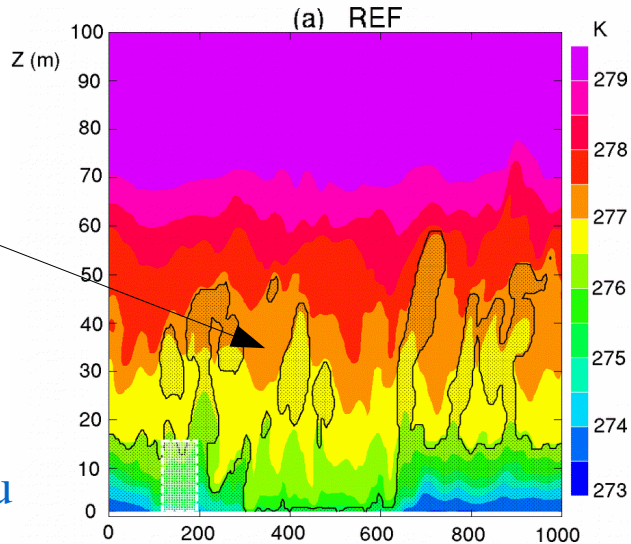
# Impact de la barrière d'arbres → dynamique à la formation



AVEC  
ARBRES



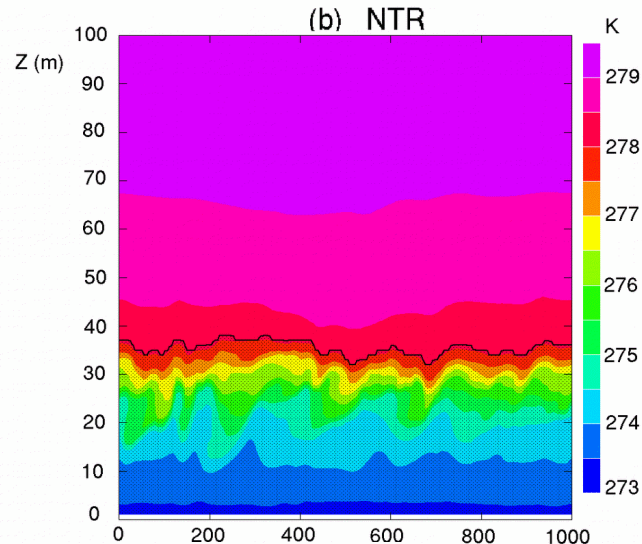
SANS  
ARBRES



Formation  
en hauteur  
due aux  
arbres

Durée de la  
formation au  
sol : 1h

$\theta$  et  $rc$  (contour)



Vent et  
refroidissement  
trop fort, pas  
assez de mélange



# Impact du processus de dépôt



**OBS**

**AVEC ARBRES ET DÉPÔT**

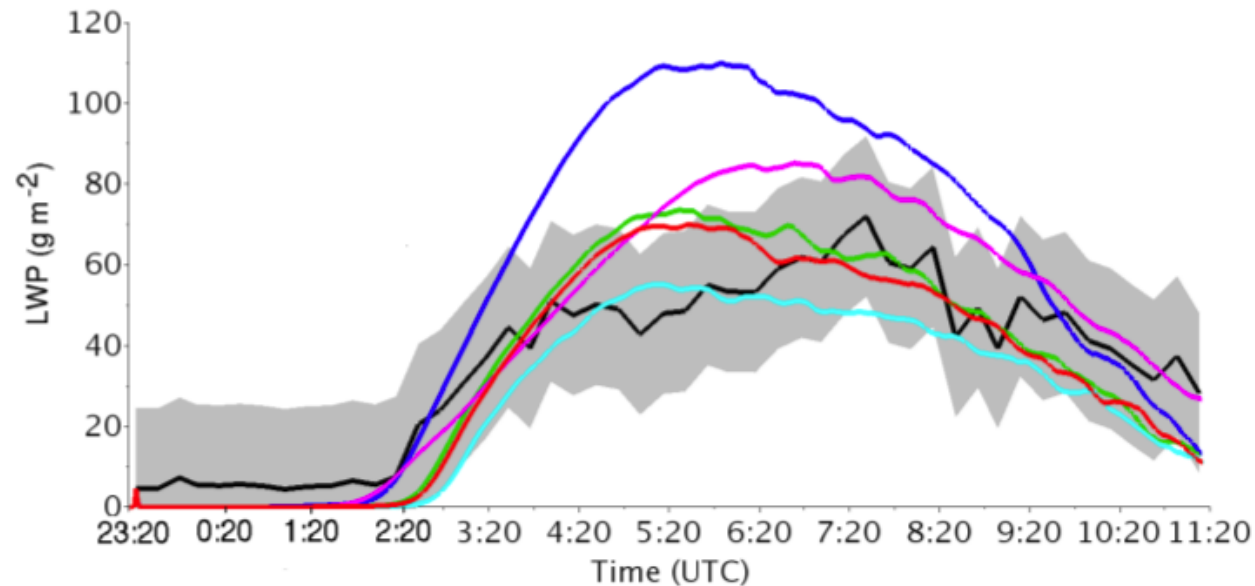
**SANS DÉPÔT**

$V_{\text{dep}} = 8 \text{ cm/s}$

Pas de dépôt sur les arbres

**SANS ARBRES**

**LWP (Rc intégré sur la verticale)**

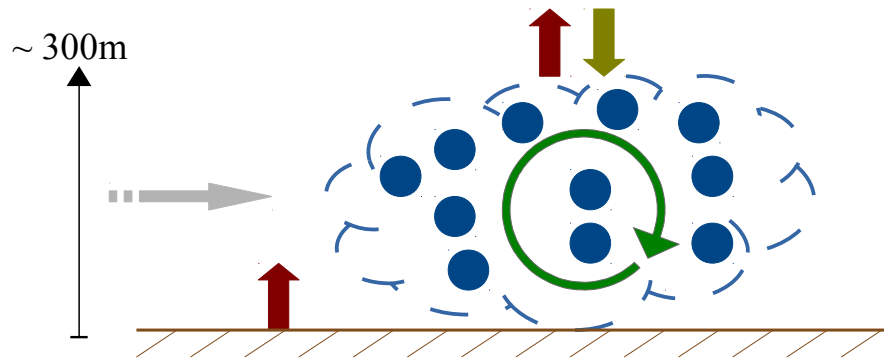


Le processus de dépôt et l'effet de trainée induit par les arbres sont essentiels pour une représentation plus réaliste du cycle de vie du brouillard et de ses champs microphysiques

# PROBLÉMATIQUE & MÉTHODE

---

Comment améliorer la représentation microphysique du brouillard ?



➤ **Simulation LES** → turbulence résolue

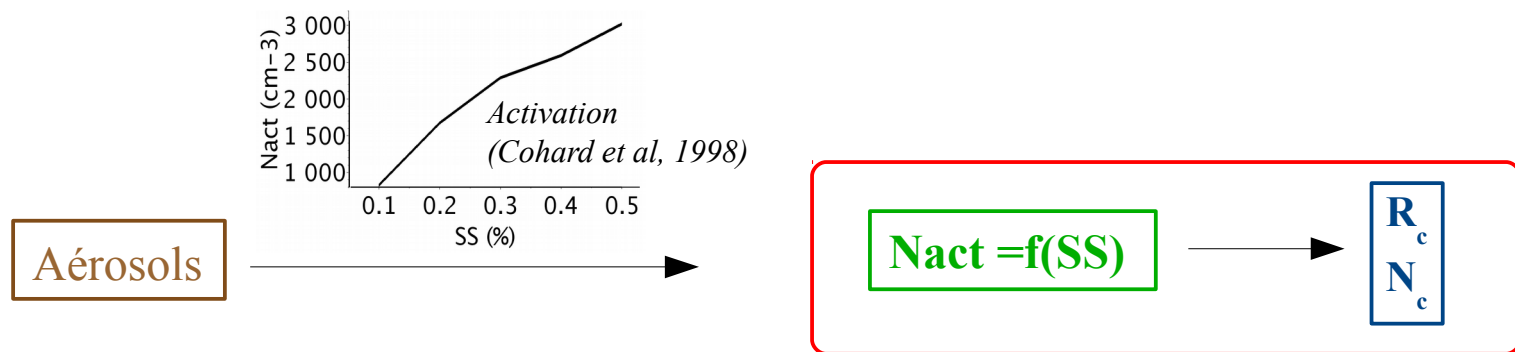
➤ Deux ingrédients: 1. Dynamique → **Hétérogénéités de surface**  
2. Microphysique → **Dépôt des gouttelettes**  
→ **Processus d'activation**

# Processus d'activation – paramétrisation de la sursaturation

## Modélisation de la microphysique

• Schéma de **microphysique** chaude à **deux moments**, KHKO (Cohard et Pinty (2002), Geoffroy (2007))

⇒ prognostique de  $r_c$  et  $N_c$  et diagnostique de  $N_{act}$  à partir de la sursaturation



Deux approches pour la condensation et le calcul de SS :

1-Ajustement à la saturation nulle pour la condensation & calcul de  $S_{max}$  pour l'activation (**Schéma d'ajustement à la saturation**)

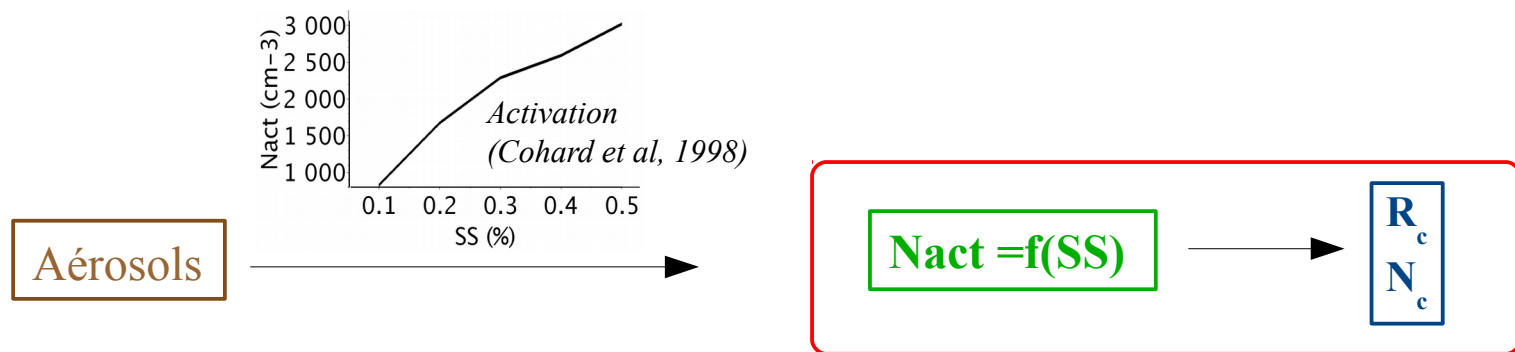


# Processus d'activation – paramétrisation de la sursaturation

## Modélisation de la microphysique

♦ Schéma de **microphysique** chaude à **deux moments**, KHKO (Cohard et Pinty (2002), Geoffroy (2007))

⇒ prognostique de  $r_c$  et  $N_c$  et diagnostique de  $N_{act}$  à partir de la sursaturation



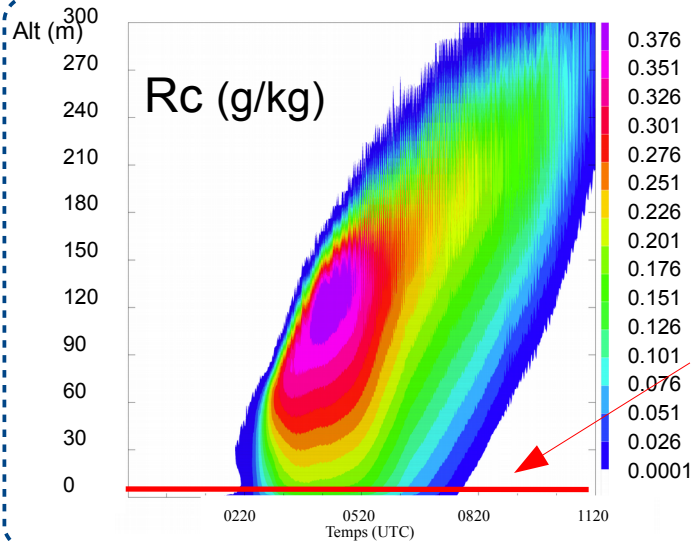
Deux approches pour la condensation et le calcul de SS :

- 1-Ajustement à la saturation nulle pour la condensation & calcul de  $S_{max}$  pour l'activation (**Schéma d'ajustement à la saturation**)
- 2-Ajustement à la saturation réelle pour la condensation & activation selon la sursaturation réelle (**Schéma pseudo-pronostique** de Thouron et al. (2012)), uniquement pour des LES



# Processus d'activation – Évolution temporelle sur la verticale

➤ Observations (2.5m) :  $LWC \sim 0.03 \text{ g.m}^{-3}$   $N_c \sim 55 \text{ cm}^{-3}$ , à 0820 UTC,  $H_{fog} \sim 300\text{m}$

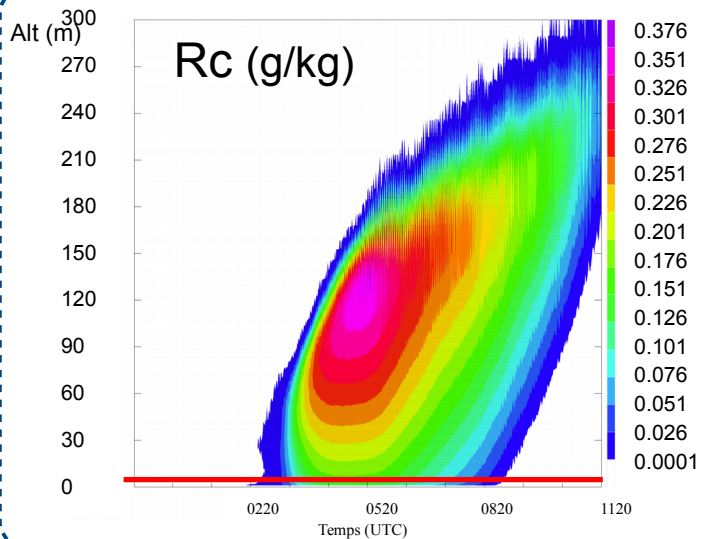
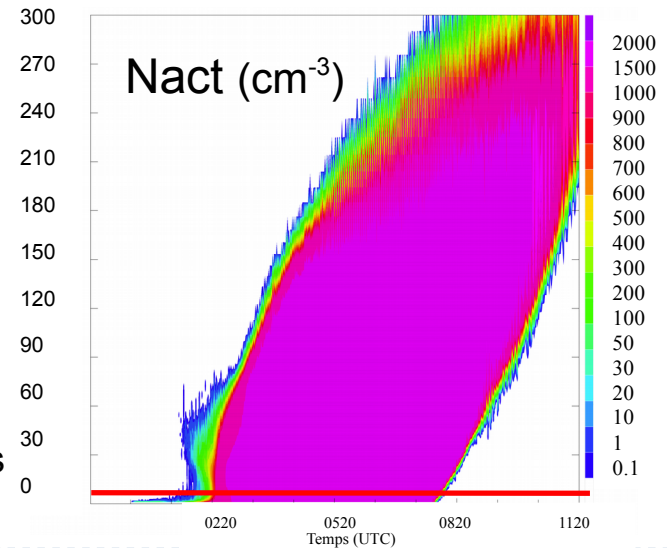


Ajustement à la saturation

Au sol,

➤  $R_c$  6 fois plus fort que Obs

➤  $N_c$  18 fois plus forte que Obs



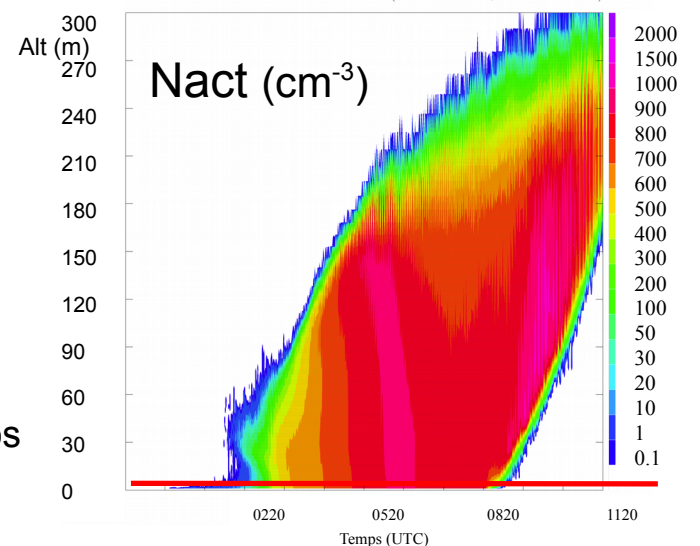
Pseudo-pronostique

➤ Variabilité temporelle & verticale de l'activation

Au sol,

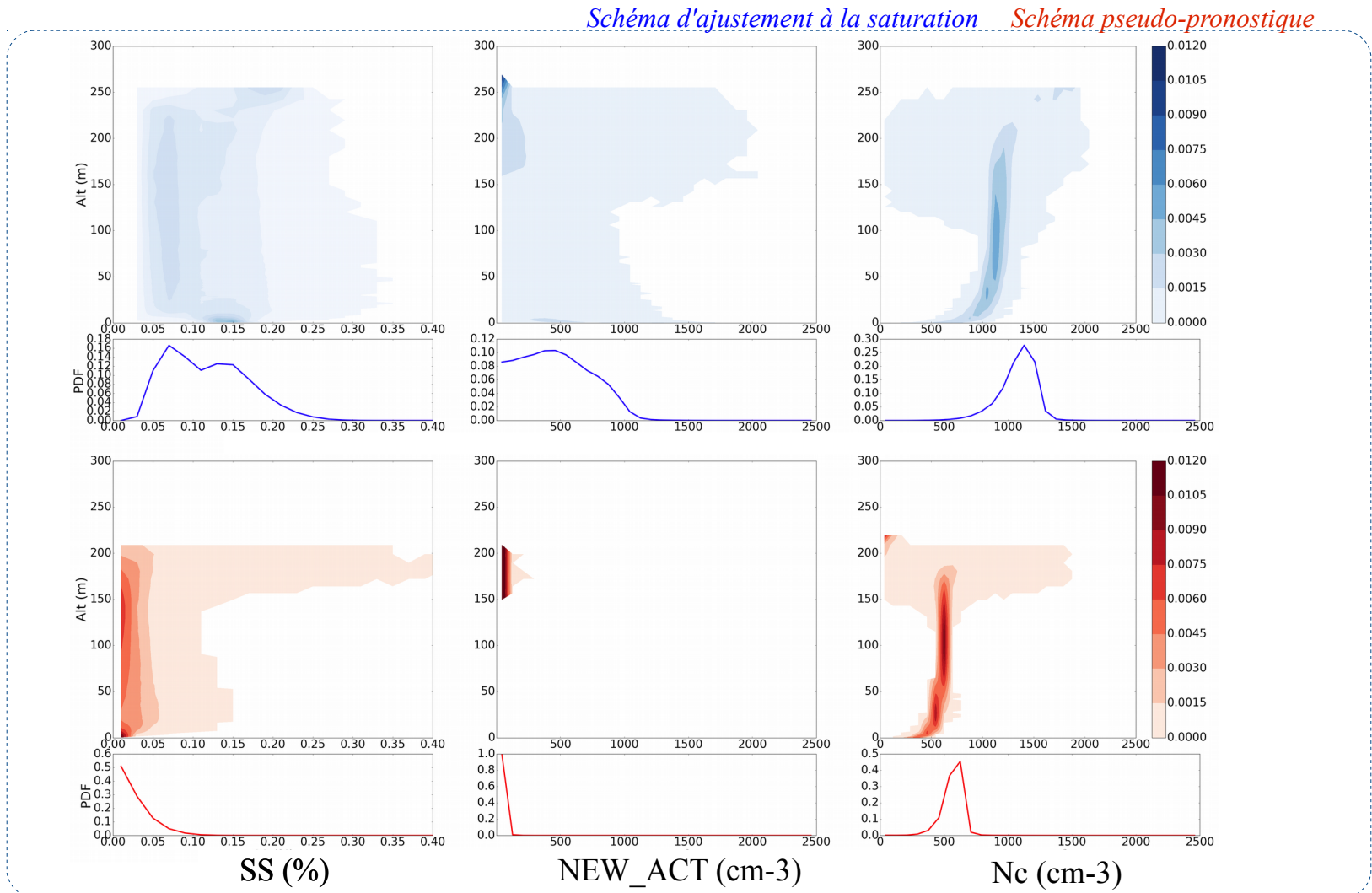
$R_c$  6 fois plus fort que Obs

$N_c$  9 fois plus forte que Obs



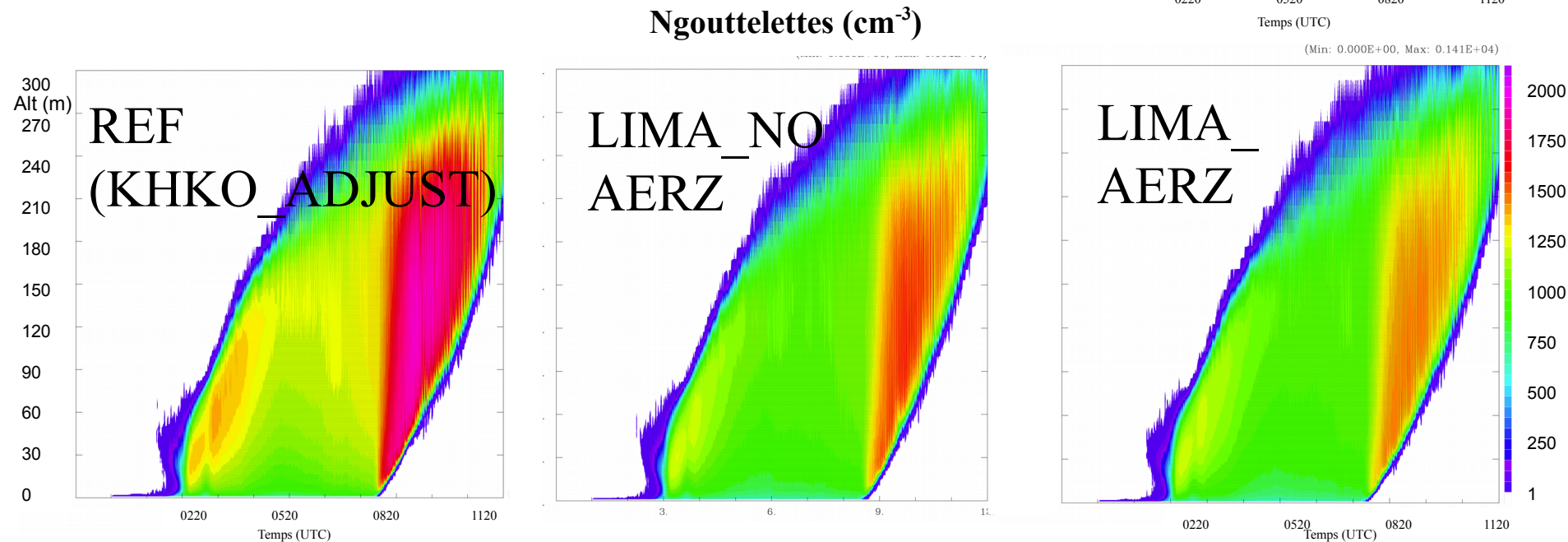
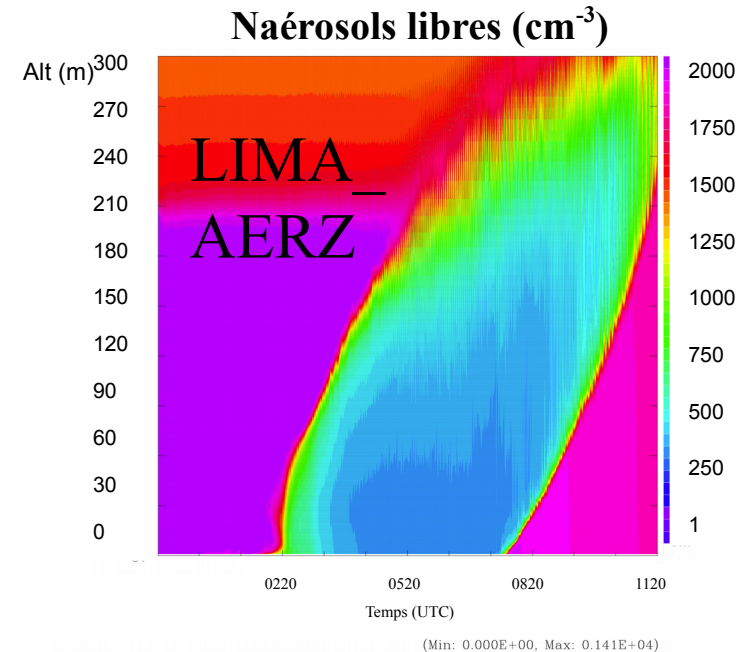
# Processus d'activation – comparaisons des schémas pour l'activation

➤ Phase mature (0620 UTC, un pas de temps)



➤ *Schéma pseudo-pronostique* ➡ *plus physique* pour la simulation fine du brouillard 22

# Test de LIMA (Vié et al., 2016) pour le brouillard – Variabilité verticale (et transport) des particules d'aérosols



# CONCLUSION

---

## *Comment améliorer la représentation microphysique du brouillard ?*

### **Simulation en mode LES d'un cas de brouillard observé au SIRTa représentatif des brouillards radiatifs**

#### **Dynamique**

- Nécessité de considérer les **hétérogénéités de surface** pour obtenir un cycle de vie et une représentation microphysique plus réaliste.

#### **Microphysique**

- Nécessité de considérer le **processus de dépôt humide** à la surface et sur ses hétérogénéités : fort terme puits pour la microphysique au sol.
- Représentation plus physique du processus d'activation dans le brouillard avec le **schéma pseudo-pronostique** de Thouron et al. (2012) en mode LES. Mais de fortes sursaturations (et concentrations) persistent au sommet du brouillard.
- Une **variation verticale du profil initial des aérosols** avec LIMA tend vers plus de réalisme

# PERSPECTIVES

---

## *Comment améliorer la représentation microphysique du brouillard ?*

### **Dynamique&Turbulence**

- Couches limites stables et neutres : nécessité de valider les **vitesse**s verticales et TKE, grandeurs clés de l'activation

### **Microphysique**

- Mesure sur la verticale
- Utilisation de la **théorie de Kappa-Köhler** plutôt qu'un spectre d'activation (permettrait aussi de considérer l'eau condensée sur les aérosols non activés)
- Approche multimodale des aérosols

### **Rayonnement**

- Amélioration des propriétés optiques des nuages et prise en compte des aérosols et de leurs propriétés optiques



A misty mountain landscape with dense evergreen forests and a thick layer of fog or low clouds. The scene is atmospheric and serene, with the text 'Merci de votre attention' centered in the middle.

Merci de votre attention

# Impact du processus de dépôt – à 3 m



OBS

AVEC ARBRES ET DÉPÔT

SANS DÉPÔT

$V_{\text{dep}} = 8 \text{ cm/s}$

Pas de dépôt sur les arbres

SANS ARBRES

