



**METEO  
FRANCE**



# **Modélisation LES de la microphysique du brouillard au SIRTA**

---

M.Mazoyer, C.Lac, T.Bergot, O.Thouron

Journée scientifique SIRTA 2016

# Introduction

---

- Meilleure compréhension du brouillard grâce aux nombreuses campagnes de mesure : Cardington, Fog-82, Po Valley, ParisFog
- Progrès avec simulations 1D (Bergot et al., 2007...) : importance de la résolution verticale
- Simulations LES (résolution métrique) devenues indispensables pour représenter les hétérogénéités et progresser dans la compréhension (Nakanishi, 2000 ; Bergot, 2013)
- La plupart des LES considèrent une surface homogène (sauf Bergot et al., 2015 pour bâtiments) : 1ère LES de brouillard avec végétation hétérogène
- Modèles : Grosses erreurs dans les champs microphysiques

## Observations

**LWC ~ [0.05-0.3] g.m<sup>-3</sup>**

**Nc ~ [10-200] cm<sup>-3</sup>**

**Mazoyer et al. 2016 : < 150 cm<sup>-3</sup>  
[800-1000] cm<sup>-3</sup> (Chine)**

## Simulations

**LWC ~ [0.2-0.6] g.m<sup>-3</sup>**

**Nc fixe : 100 ou 300 cm<sup>-3</sup>**

**Nc pronostique : 250 cm<sup>-3</sup> (Stolaki et al., 2015)  
800 cm<sup>-3</sup> (Zhang et al., 2014)**



- Un terme manquant ?

# PLAN

---

1. Cas d'étude et validation de la simulation de référence
2. Hétérogénéités dans le brouillard
3. Tests de sensibilité : impact des arbres, du dépôt, de la résolution
4. Conclusion/perspectives

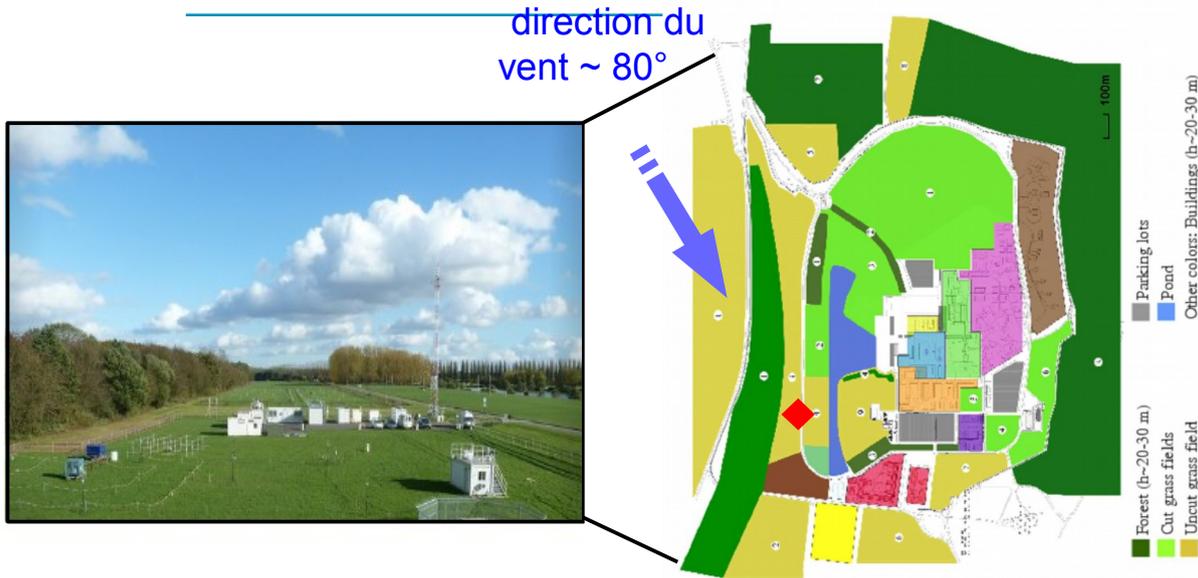
# 1. Cas d'étude : spécificité du SIRTA



Forte hétérogénéité de surface –  
Barrière d'arbres (Zaïdi et al., 2013)

**88 % des brouillards radiatifs se  
forment en altitude (dont cas d'étude)**

# 1. Cas d'étude : spécificité du SIRTA



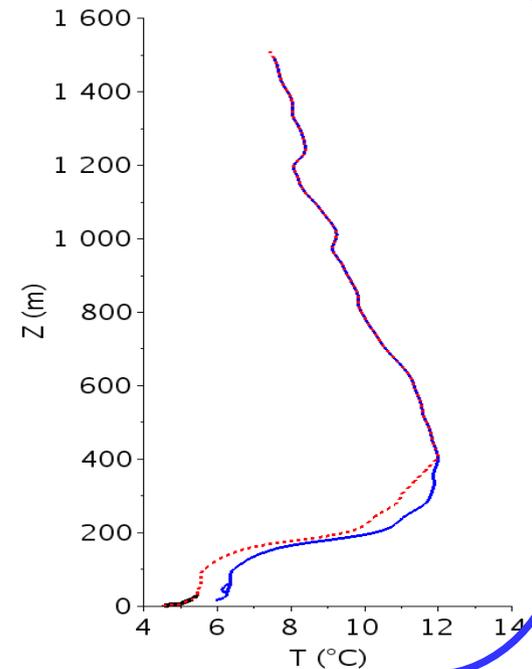
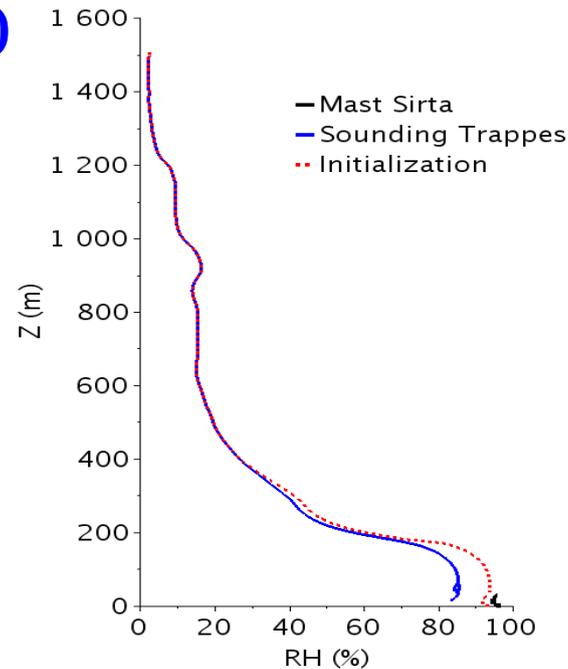
Forte hétérogénéité de surface –  
Barrière d'arbres (Zaïdi et al., 2013)

**88 % des brouillards radiatifs se  
forment en altitude (dont cas d'étude)**

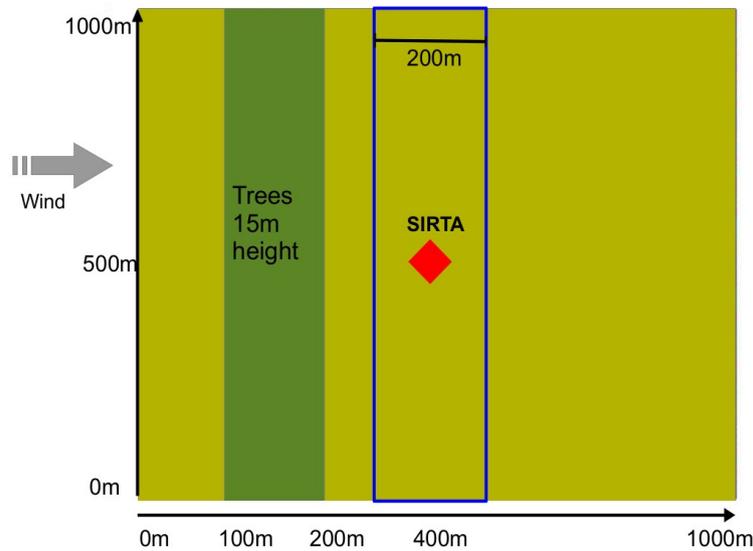
## Cas du 15 novembre 2011 (PréviBoss)

( Cas de Stolaki et al., 2015)

Initialisation à partir du sondage de  
Trappes du 14/11/11 à 23h20 modifié  
pour correspondre aux observations de  
basses couches du SIRTA

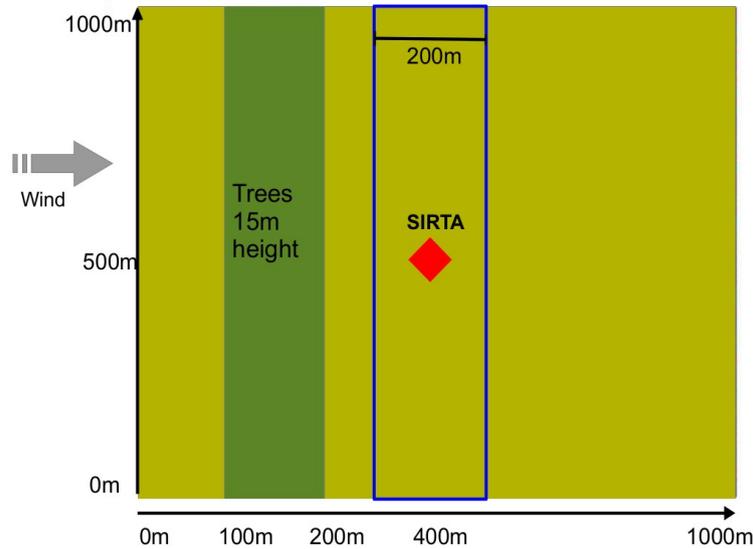


# 1. Configuration de la simulation de référence



- $D_x=D_y=5\text{m}$  ;  $D_z=1\text{m}$ , 156 niv jusqu'à 1500m
- **Turbulence 3D** longueur de mélange Deardorff
- Rayonnement ECMWF : RRTM + Morcrette
- SURFEX : **ISBA** : herbe + barrière d'arbres de 15m

# 1. Configuration de la simulation de référence

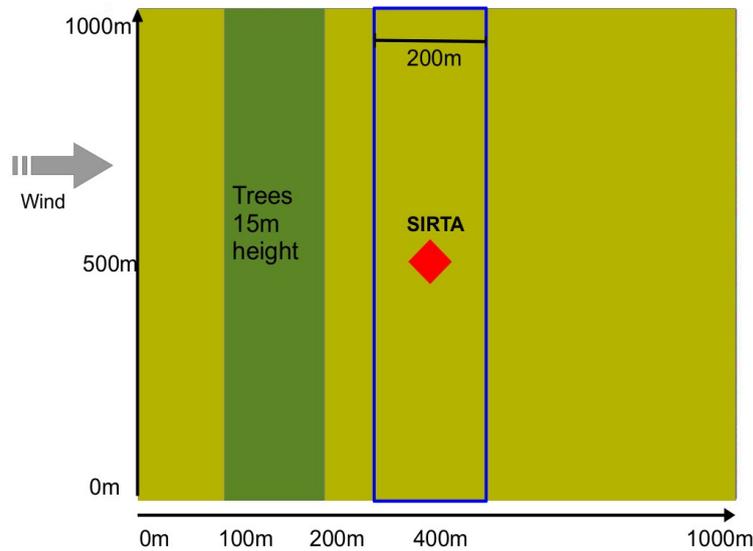


- $Dx=Dy=5m$  ;  $Dz=1m$ , 156 niv jusqu'à 1500m
- **Turbulence 3D** longueur de mélange Deardorff
- Rayonnement ECMWF : RRTM + Morcrette
- SURFEX : **ISBA** : herbe + barrière d'arbres de 15m

- Prise en compte de la **traînée des arbres** (Aumond et al. 2013) :  
 $\alpha = u, v, TKE$

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

# 1. Configuration de la simulation de référence



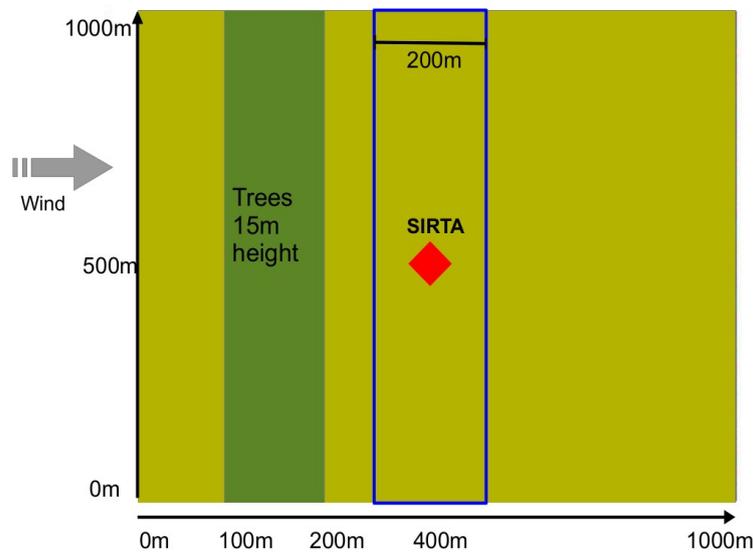
- $Dx=Dy=5m$  ;  $Dz=1m$ , 156 niv jusqu'à 1500m
- **Turbulence 3D** longueur de mélange Deardorff
- Rayonnement ECMWF : RRTM + Morcrette
- SURFEX : **ISBA** : herbe + barrière d'arbres de 15m

- Prise en compte de la **traînée des arbres** (Aumond et al. 2013) :  $\alpha=u,v,TKE$

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

- Schéma **microphysique chaude à 2 moments** Khairoudinov-Kogan (2000) – Geoffroy et al. (2008) : Nombre d'aérosols activés ( $N_{CCN}$ ) et nombre de gouttelettes ( $N_c$ ) pronostiques :  $N_{CCN}$  basé sur diagnostique de  $S_{MAX}$  et ajustement à saturation

# 1. Configuration de la simulation de référence



- $Dx=Dy=5m$  ;  $Dz=1m$ , 156 niv jusqu'à 1500m
- **Turbulence 3D** longueur de mélange Deardorff
- Rayonnement ECMWF : RRTM + Morcrette
- SURFEX : **ISBA** : herbe + barrière d'arbres de 15m

- Prise en compte de la **traînée des arbres** (Aumond et al. 2013) :  $\alpha=u,v,TKE$

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

- Schéma **microphysique chaude à 2 moments** Khairoudinov-Kogan (2000) – Geoffroy et al. (2008) : Nombre d'aérosols activés ( $N_{CCN}$ ) et nombre de gouttelettes ( $N_c$ ) pronostiques :  $N_{CCN}$  basé sur diagnostique de  $S_{MAX}$  et ajustement à saturation

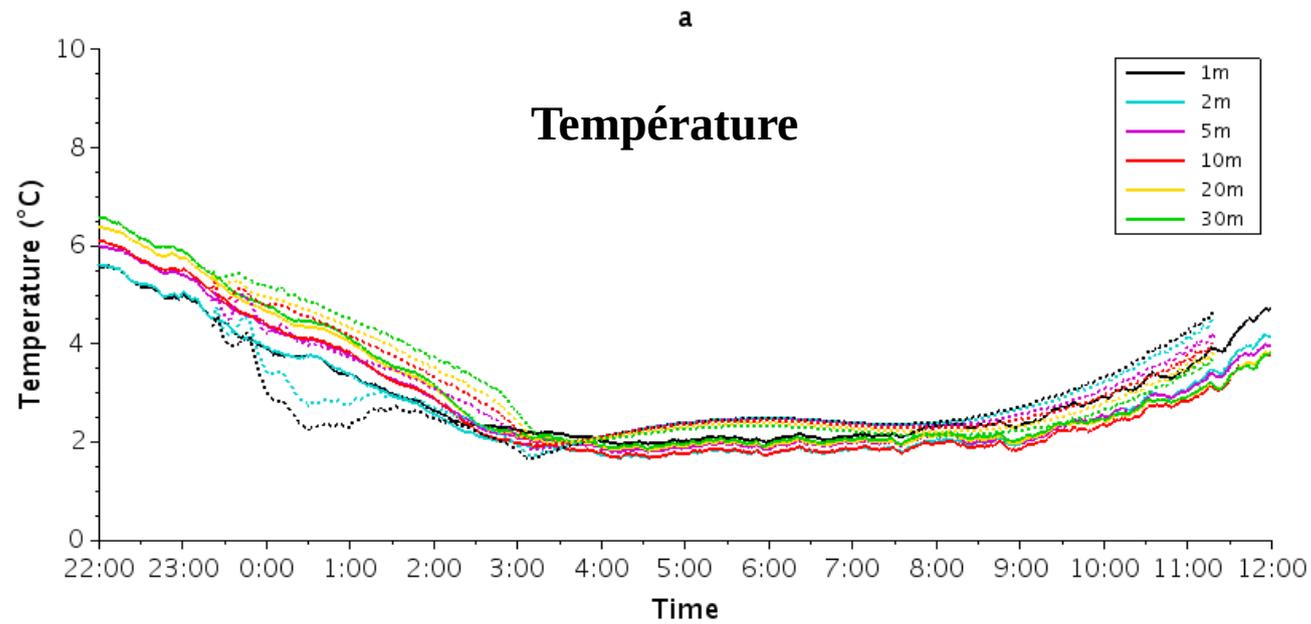
- Ajout d'un nouveau processus : **Dépôt du brouillard sur la végétation** : uniquement au 1er niveau du modèle pour l'herbe et sur 15 m pour les arbres :

$$V_{DEP} = \rho_a \cdot r_c \cdot V_{DEP} \text{ avec } V_{DEP} = 2 \text{ cm/s}$$



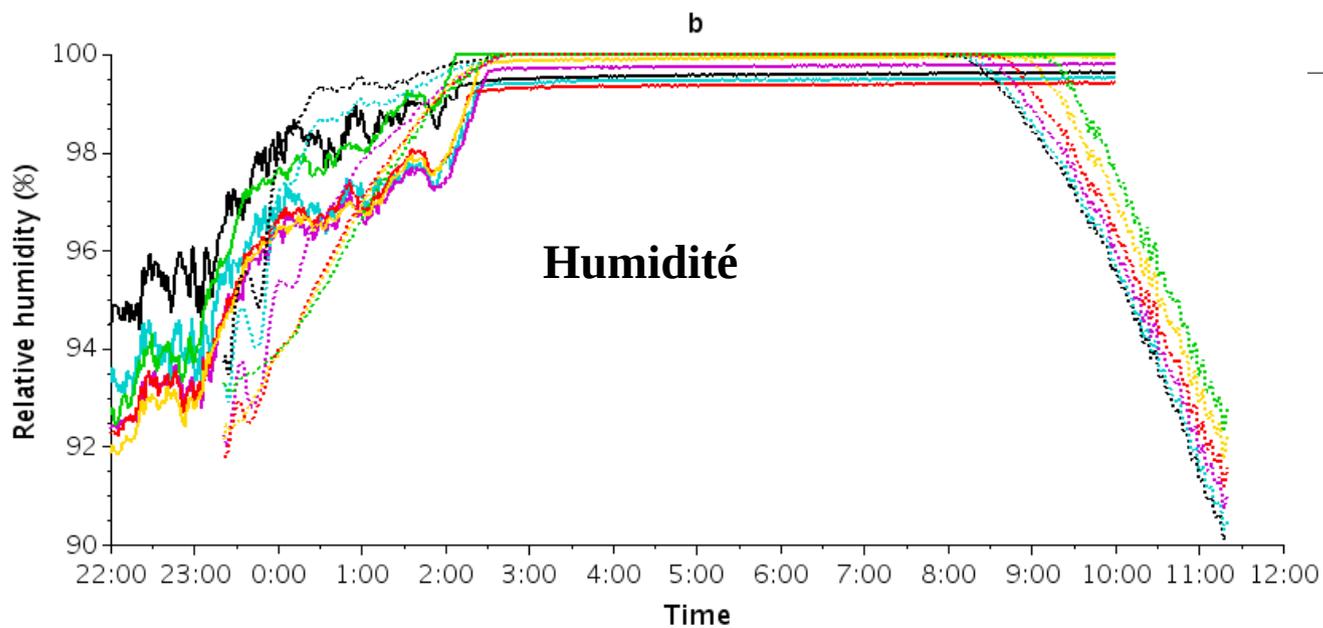
Katata (2014) :  $2 \text{ cm/s} < V_{DEP} < 8 \text{ cm/s}$  pour végétation basse

# 1. Evolution thermodynamique

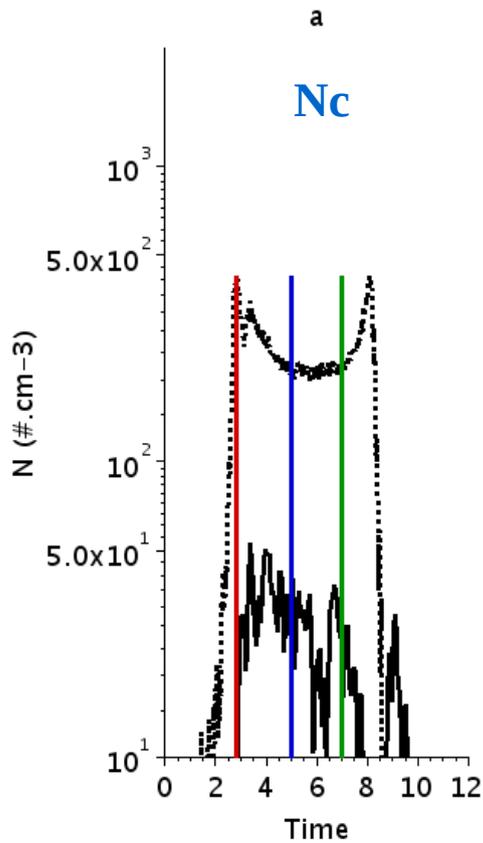


Apparition au sol :  
02h30 dans les obs et REF

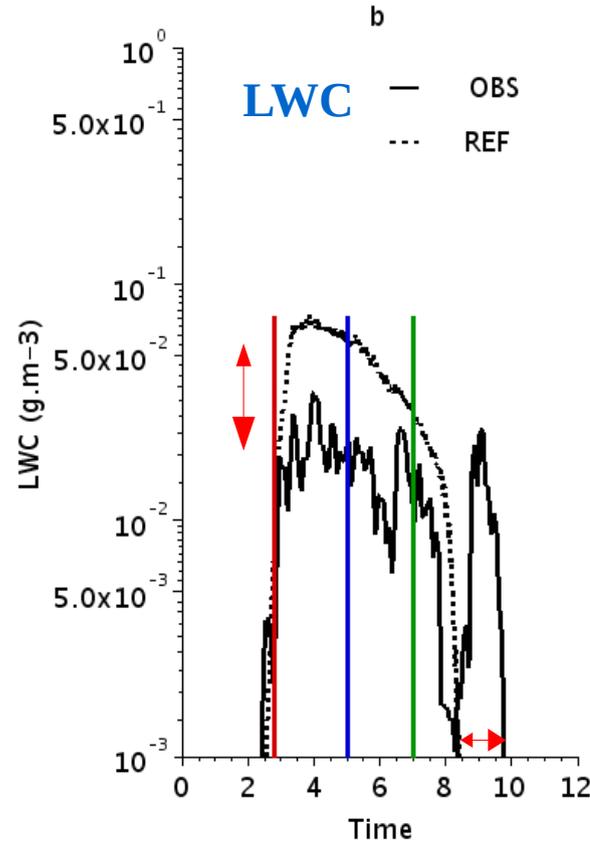
Dissipation au sol :  
10h dans les obs  
8h30 dans REF



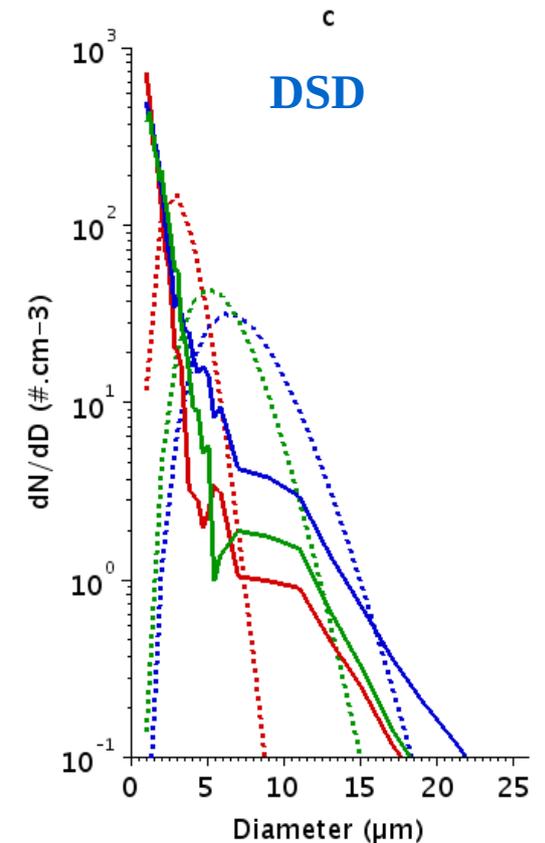
# 1. Microphysique simulée à 3 m



Max\_OBS = 53 cm<sup>-3</sup>  
 Max\_MNH = 350 cm<sup>-3</sup>



Max\_OBS = 0.035 g.m<sup>-3</sup>  
 Max\_MNH = 0.07 g.m<sup>-3</sup>



Surestimation du nombre de petites gouttelettes  
 Sous-estimation du nombre de grosses gouttelettes  
 Limite de distribution monomodale

# 1. Diagnostic de Visibilité pour le brouillard

1. Uniquement à partir du **contenu en eau liquide (LWC)**

$$\text{VIS} = a / (\text{LWC})^b$$

Plus connue : **Kunkel** (1984)  $a=0.027$   $b=0.88$

2. A partir du **contenu en eau liquide (LWC) et de la concentration de gouttelettes (Nc)**

$$\text{VIS} = c / (\text{LWC} \cdot \text{Nc})^d$$

**Gultepe** (2006) :  $c=1.002$   $d=0.6473$

**Zhang** (2014) :  $c=0.187$   $d=0.34$

# 1. Diagnostic de Visibilité pour le brouillard

1. Uniquement à partir du **contenu en eau liquide (LWC)**

$$\text{VIS} = a / (\text{LWC})^b$$

Plus connue : **Kunkel** (1984)  $a=0.027$   $b=0.88$

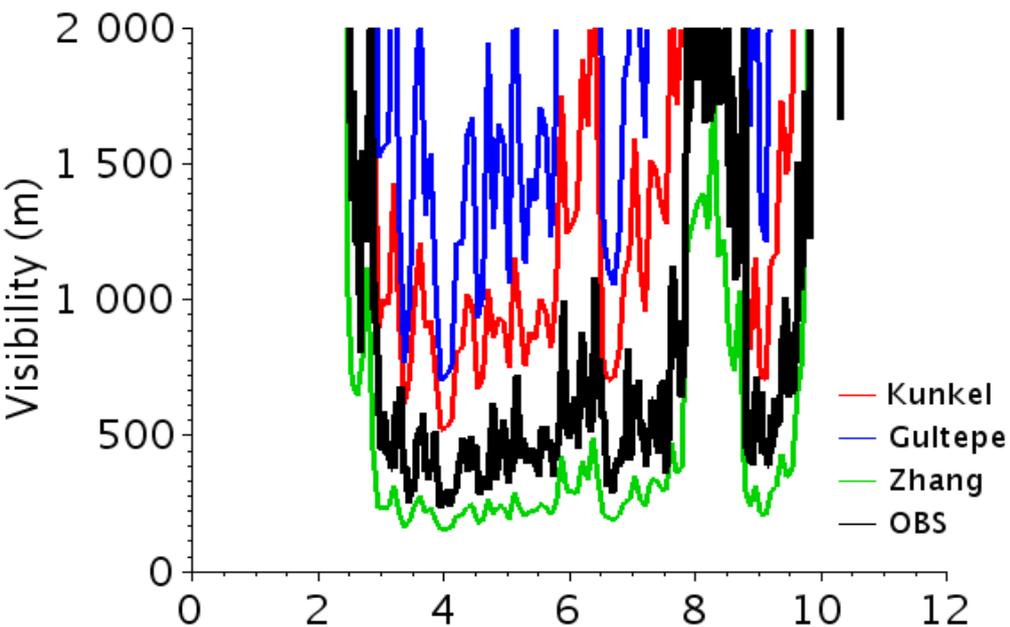
2. A partir du **contenu en eau liquide (LWC)** et de la **concentration de gouttelettes (Nc)**

$$\text{VIS} = c / (\text{LWC} \cdot \text{Nc})^d$$

**Gultepe** (2006) :  $c=1.002$   $d=0.6473$

**Zhang** (2014) :  $c=0.187$   $d=0.34$

## Uniquement à partir des observations



**Zhang** (2014) mieux adapté aux observations

# 1. Diagnostic de Visibilité pour le brouillard

1. Uniquement à partir du **contenu en eau liquide (LWC)**

$$\text{VIS} = a / (\text{LWC})^b$$

Plus connue : **Kunkel** (1984)  $a=0.027$   $b=0.88$

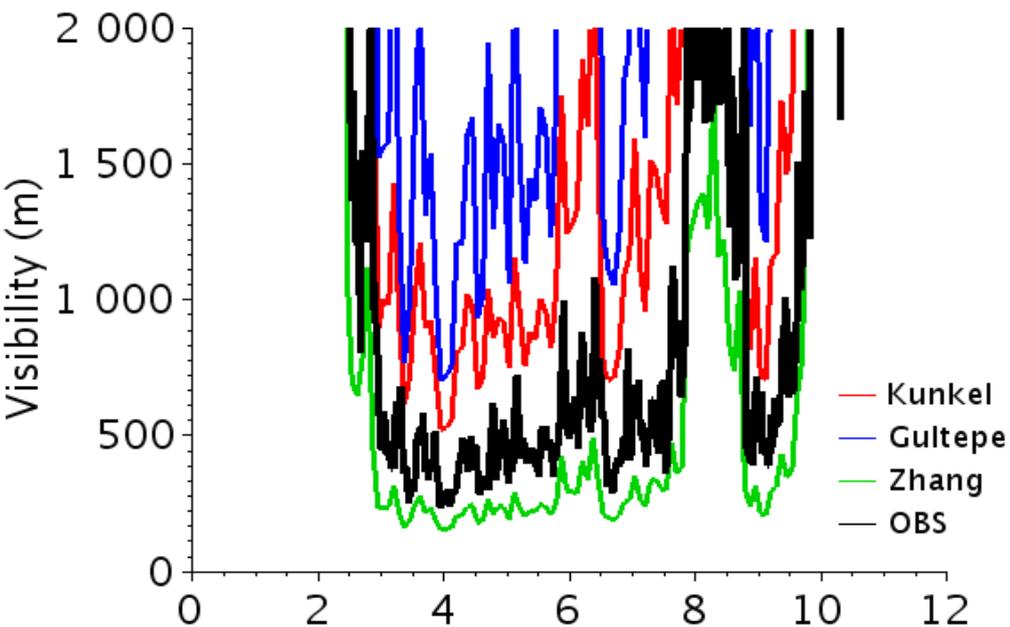
2. A partir du **contenu en eau liquide (LWC) et de la concentration de gouttelettes (Nc)**

$$\text{VIS} = c / (\text{LWC} \cdot \text{Nc})^d$$

**Gultepe** (2006) :  $c=1.002$   $d=0.6473$

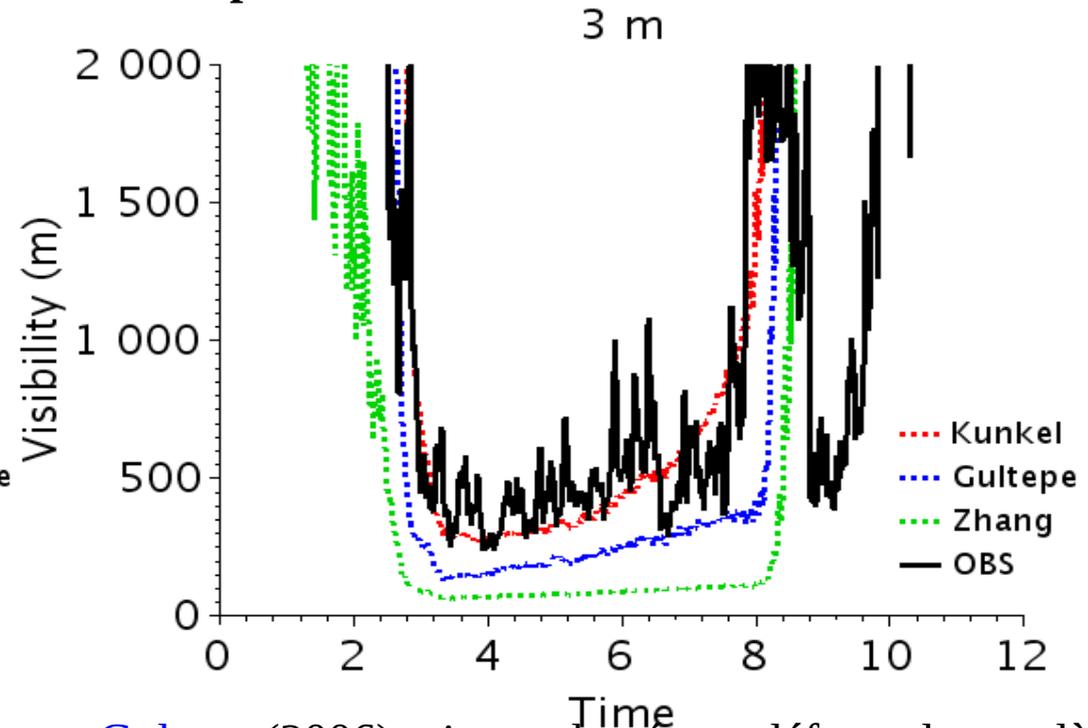
**Zhang** (2014) :  $c=0.187$   $d=0.34$

## Uniquement à partir des observations



**Zhang** (2014) mieux adapté aux observations

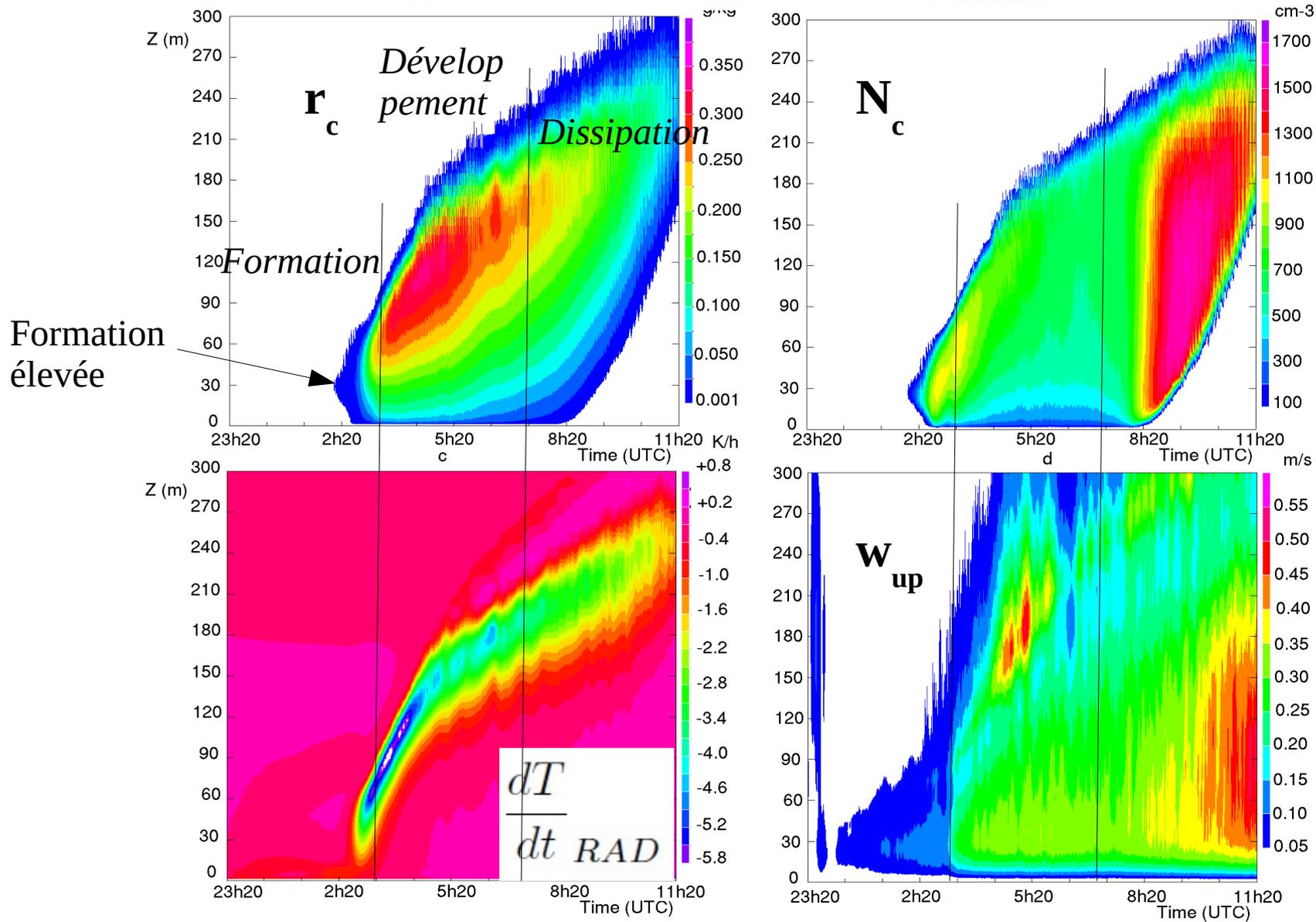
## Comparaison simulation/observation



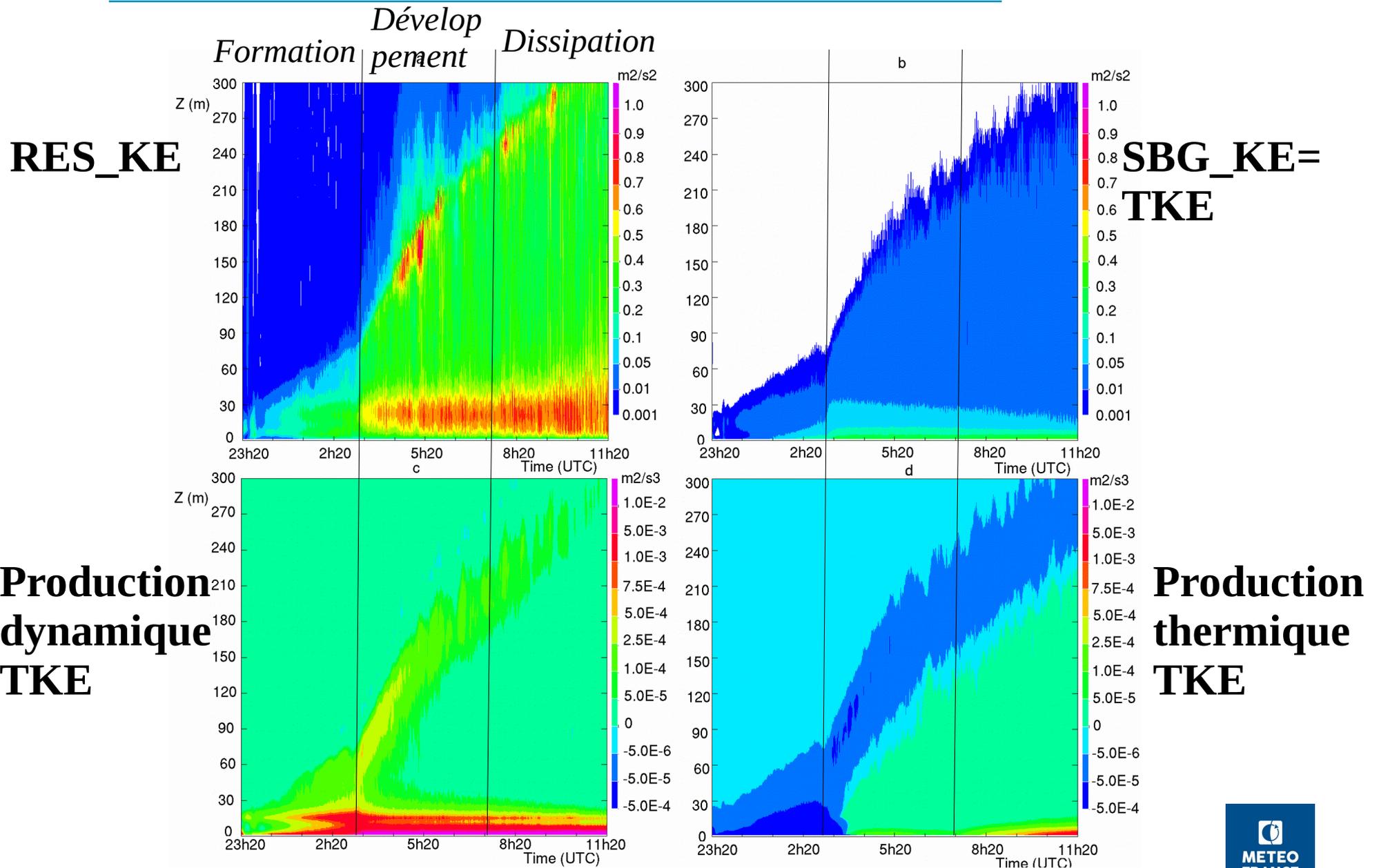
**Gultepe** (2006) mieux adapté aux défauts du modèle

# 2. Hétérogénéités dans le brouillard

$$\frac{dS}{dt} = \phi_1 w - \phi_2 \frac{dr_c}{dt} + \phi_3 \frac{dT}{dt} \text{ RAD}$$



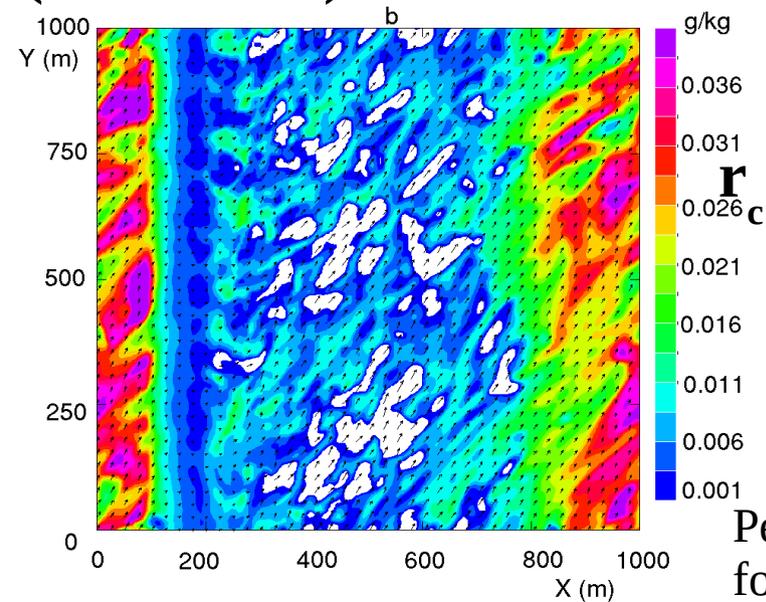
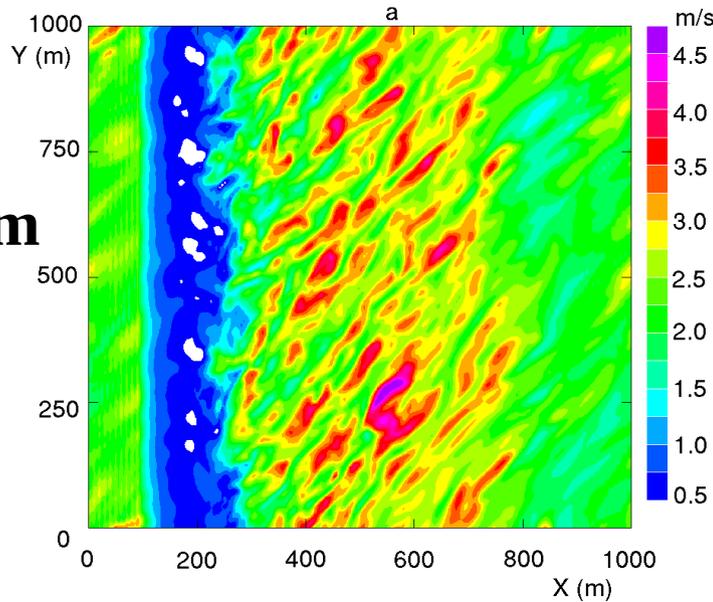
## 2. Hétérogénéités dans le brouillard



## 2. Hétérogénéités dans le brouillard

### A la formation du brouillard (0240 UTC)

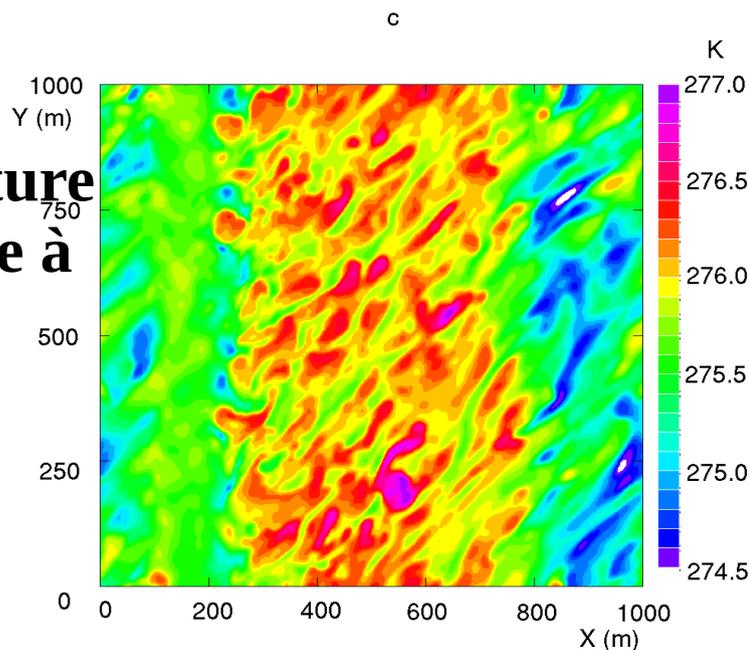
Module  
vent à 10m



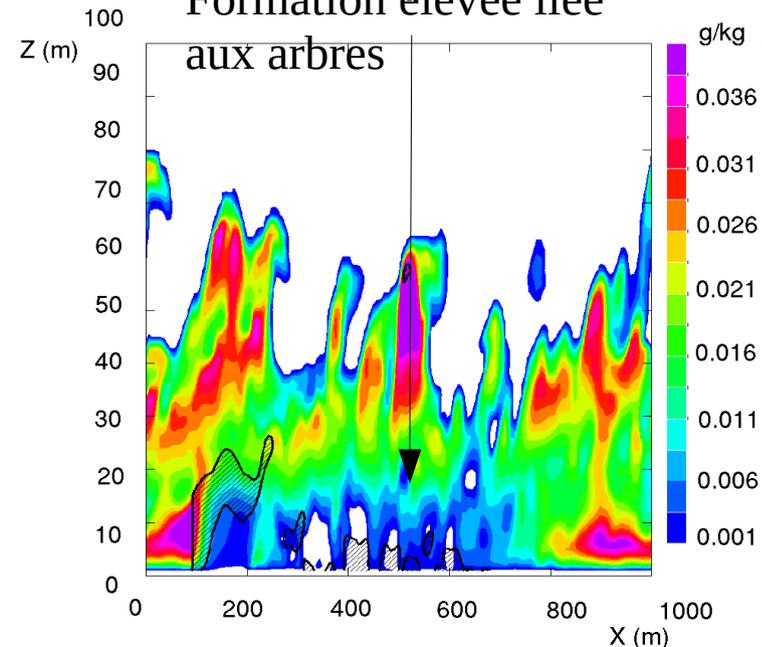
$r_c$  à 10m

Période de  
formation du  
brouillard au  
sol = 1h

Température  
potentielle à  
10m



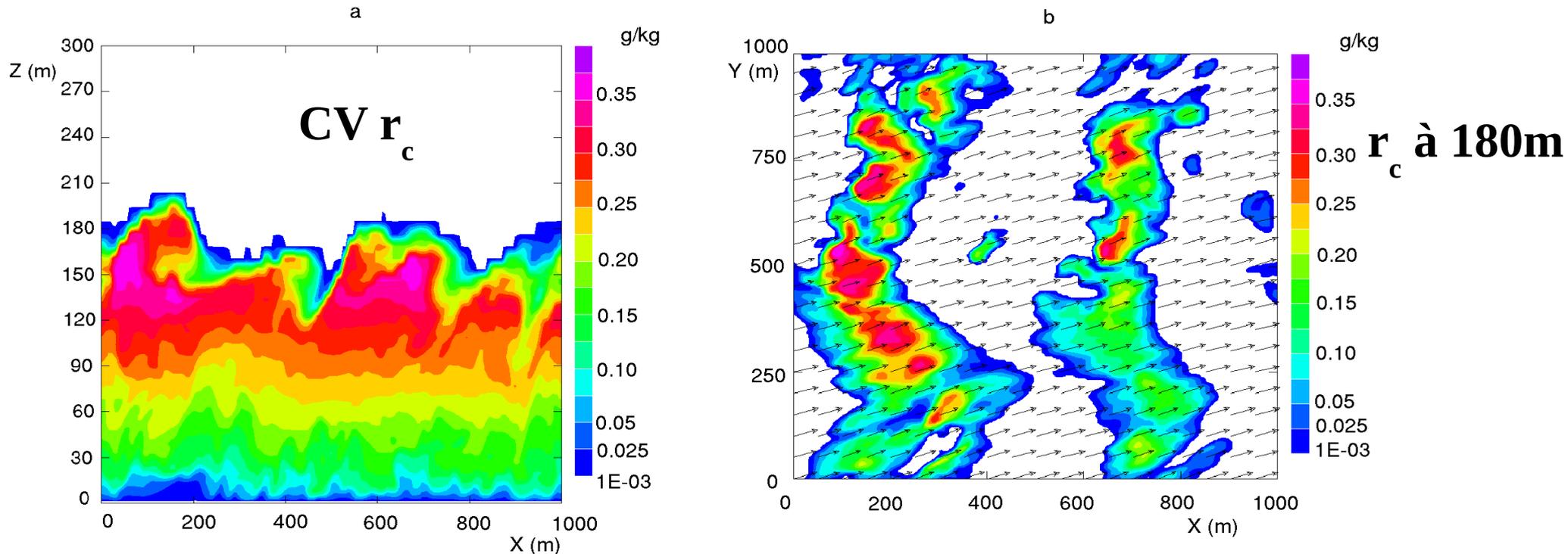
Formation élevée liée  
aux arbres



$CV r_c$

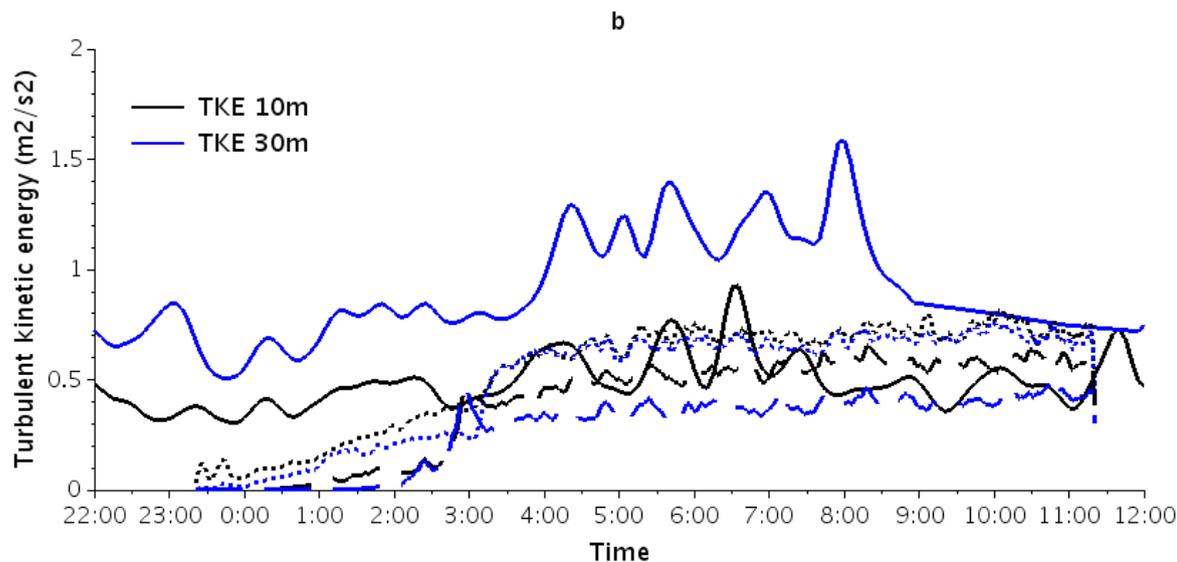
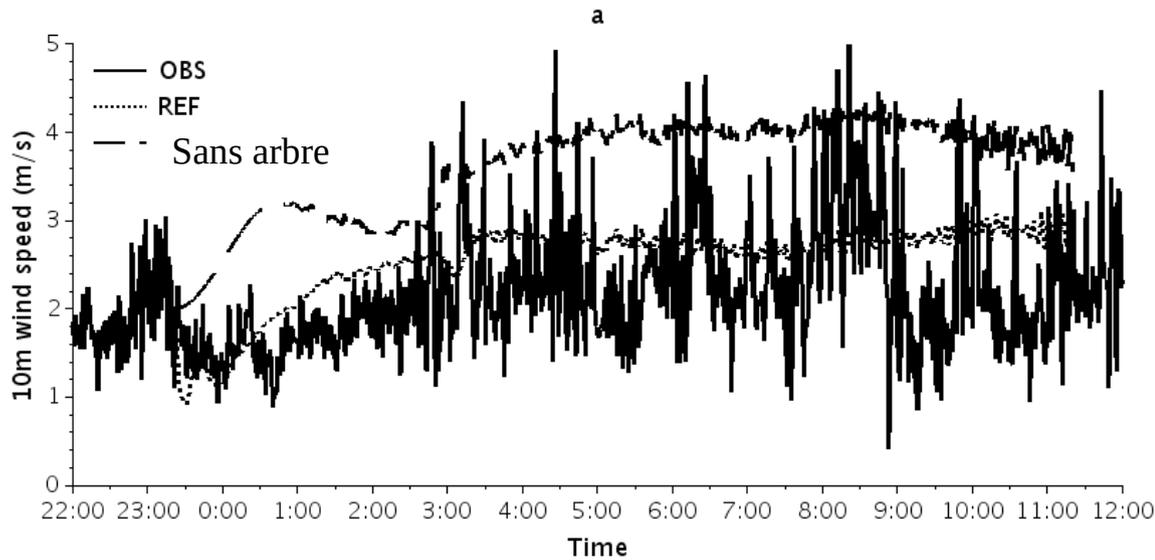
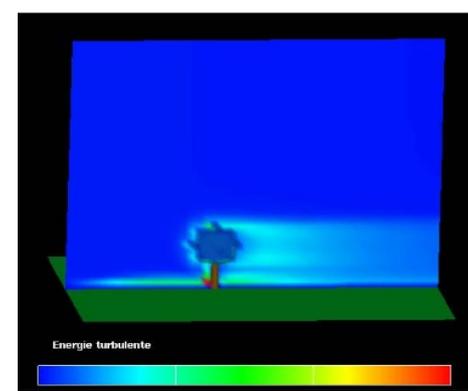
## 2. Hétérogénéités dans le brouillard

### Phase mature du brouillard



**Plus d'impact des hétérogénéités de surface -  
Ondes de KH au sommet (Bergot et al. 2015)**

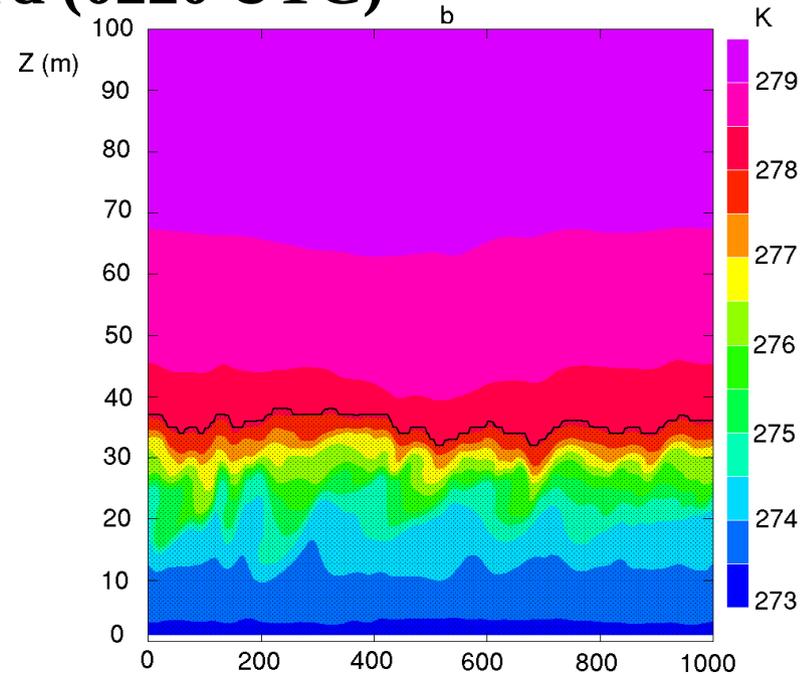
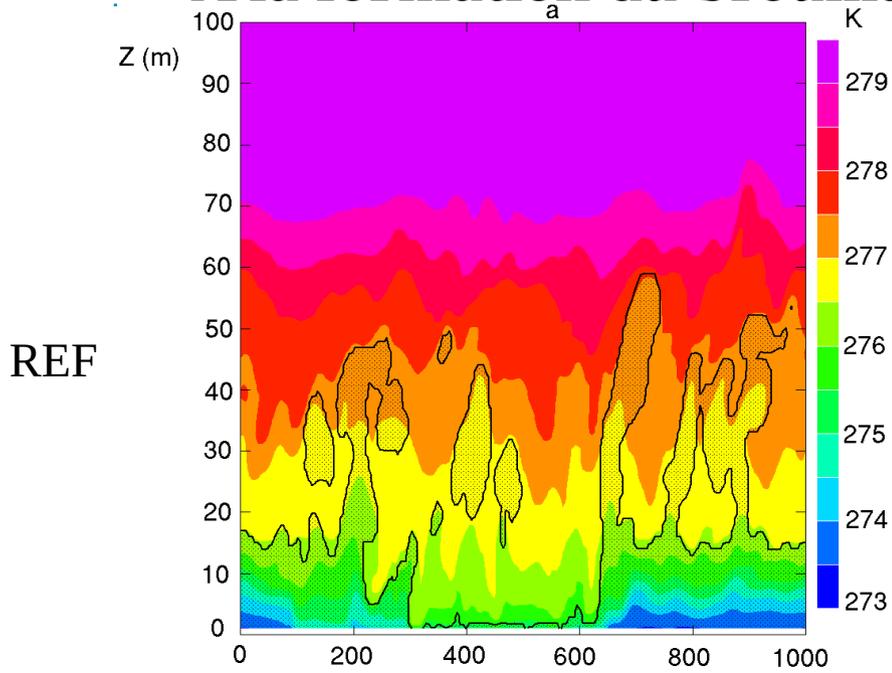
# 3. Tests de sensibilité : Impact des arbres



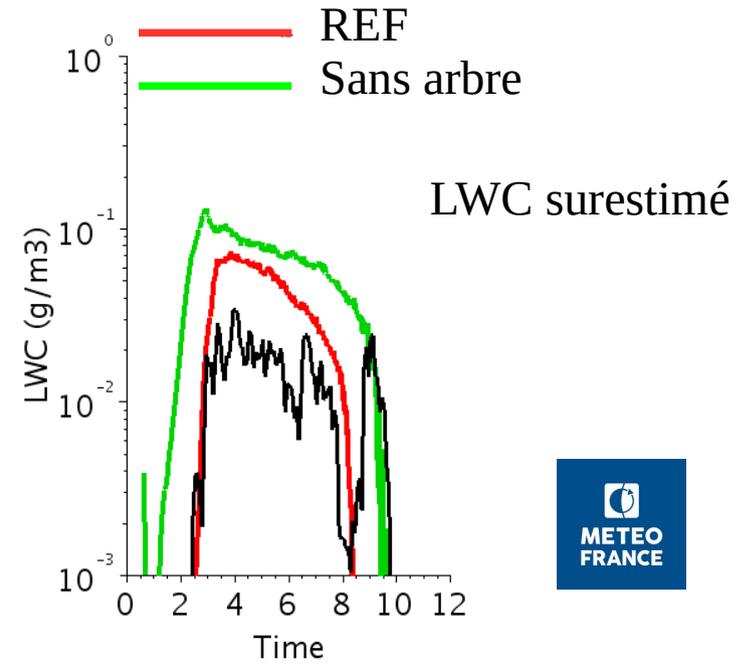
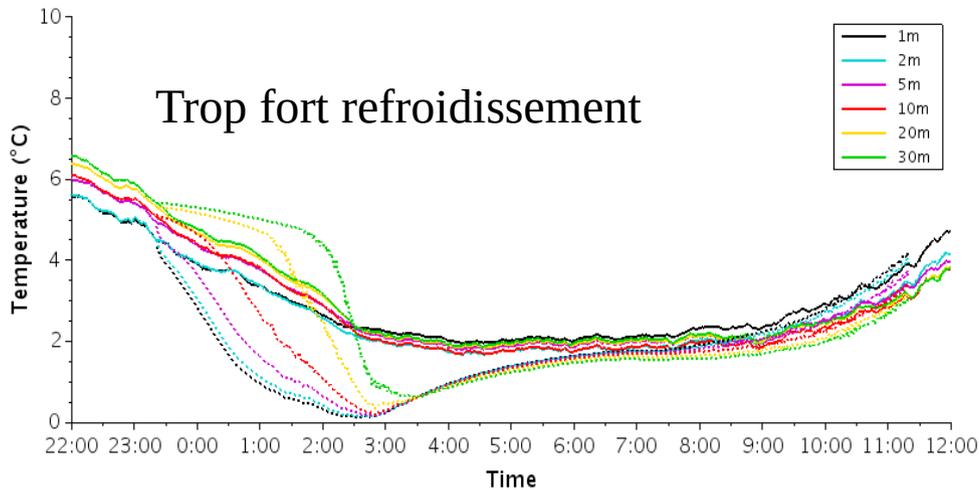
**SANS ARBRE :**  
Vent surestimé,  
turbulence sous-estimée et  
gradient vertical inversé

# 3. Tests de sensibilité : Impact des arbres

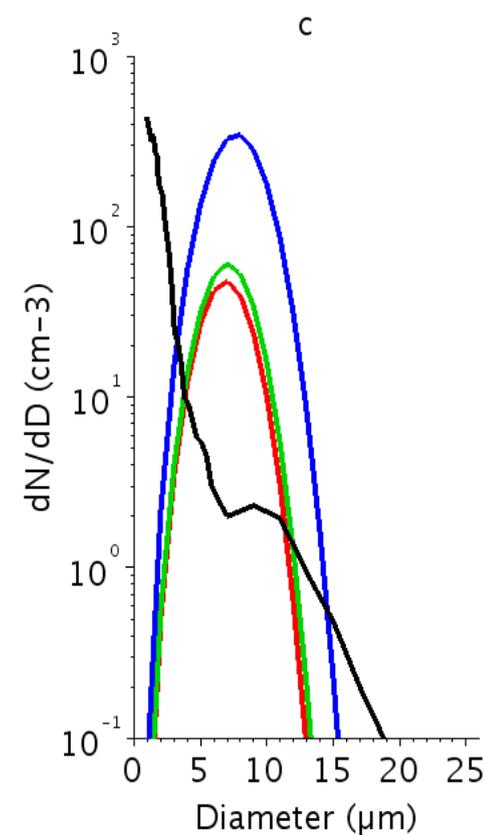
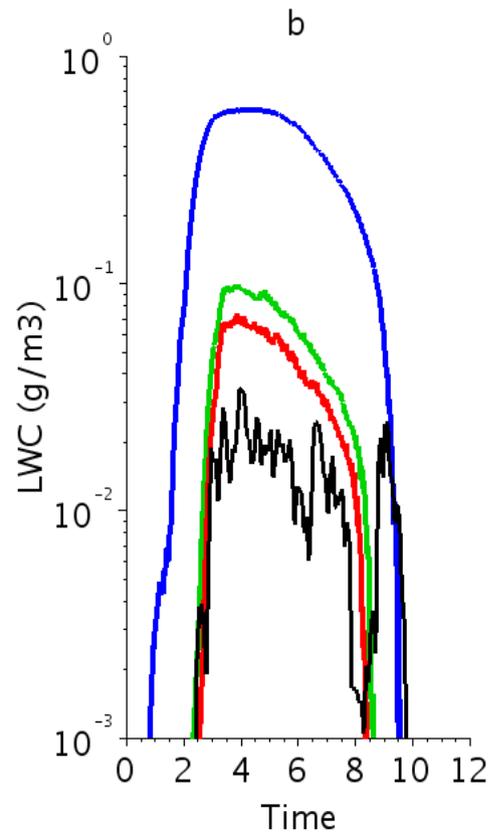
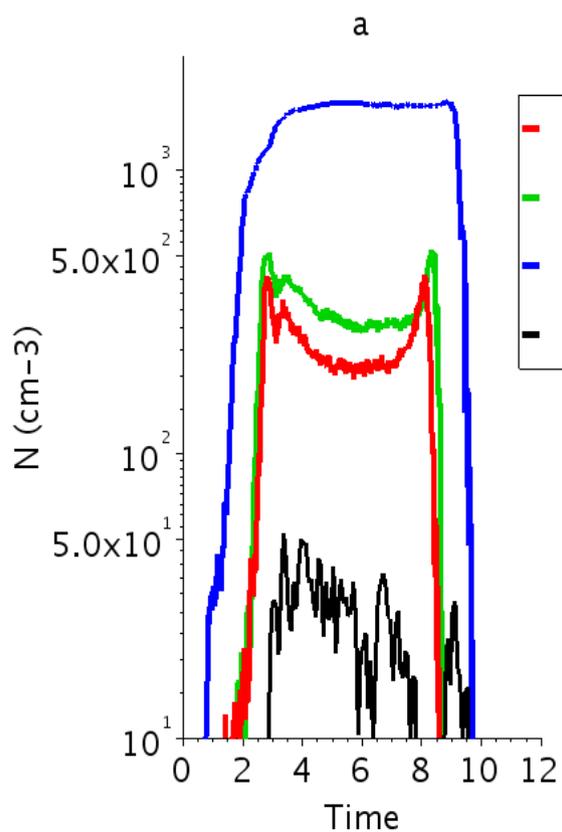
## A la formation du brouillard (0220 UTC)



Sans  
arbre



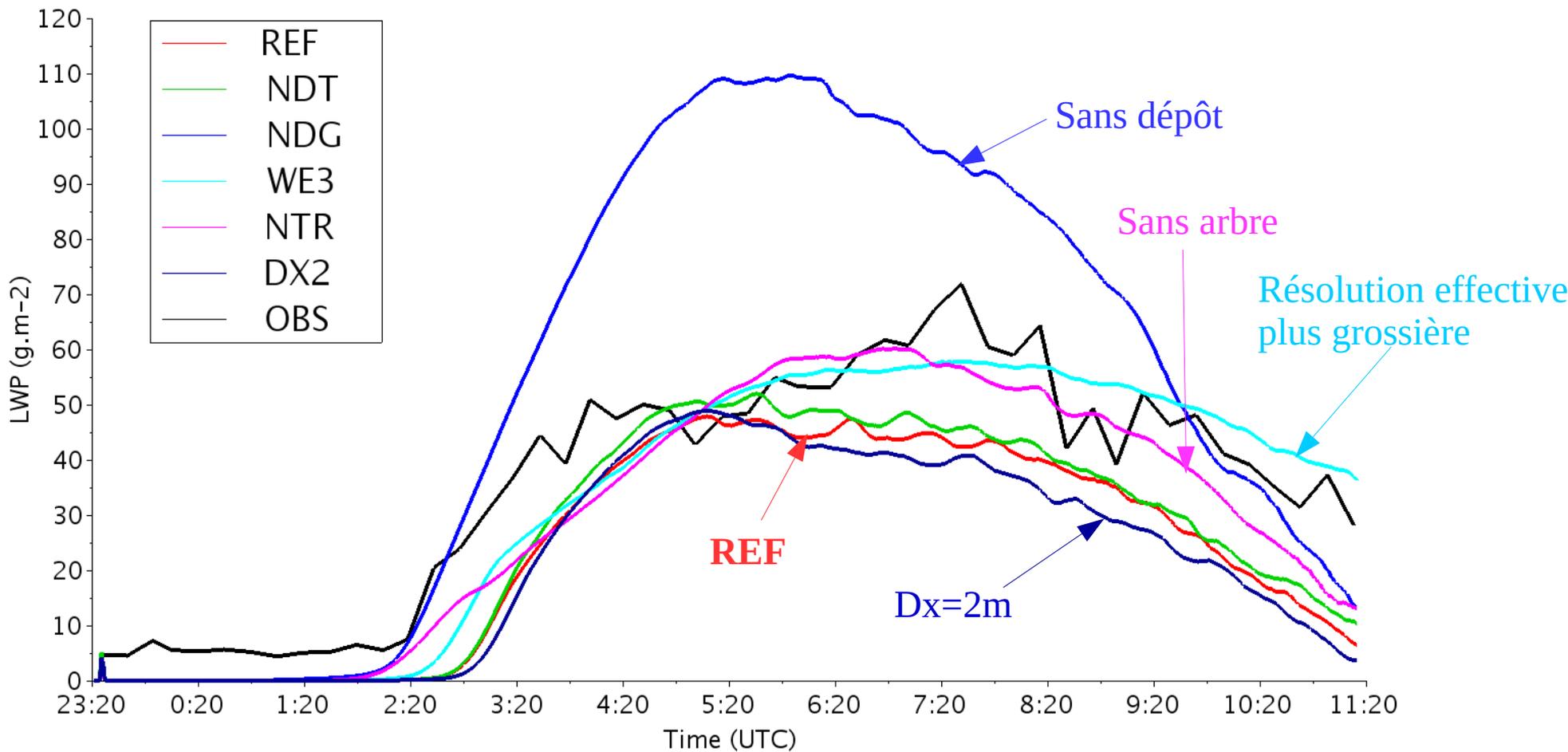
# 3. Tests de sensibilité : Impact du dépôt



-  Pas de dépôt sur la hauteur des arbres
-  Pas de dépôt sur la végétation

# 3. Tests de sensibilité

Contenu intégré en eau (LWP) : forte incertitude 20 g/m<sup>2</sup> (Lohnert et al., 2003)



## 4. Conclusion - Perspectives

---

- SIRTA : Formation des brouillards élevés et hétérogénéités sur la formation au sol liées à l'hétérogénéité de surface ; probablement encore sous-estimée dans cette simulation. → *Intérêt d'une plus large couverture en surface des observations*
- Importance du **dépôt des gouttelettes** pour simuler correctement les grandeurs microphysiques près du sol :
  - *Intérêt de mesures de dépôt*
  - *Terme à prendre en compte dans AROME ?*
  - *Développer une paramétrisation plus complète (Zhang et al., 2014) ?*
- Microphysique :
  - *Evaluer le nouveau schéma microphysique à 2 moments LIMA (Vié et al., 2016) destiné à AROME : approche multi-modale des aérosols*
  - *Evaluer la paramétrisation de l'activation : tester une sursaturation pronostique (Thouron et al., 2012)*
  - *Intérêt de mesures microphysiques 3D*