

# Impact du processus d'activation sur le cycle de vie du brouillard

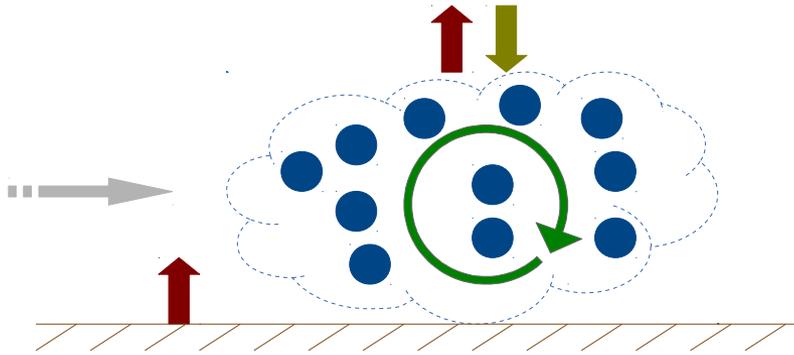
**Marie Mazoyer, Frédéric Burnet**  
(CNRM/CNRS-Météo-France)



**AMA 2018**

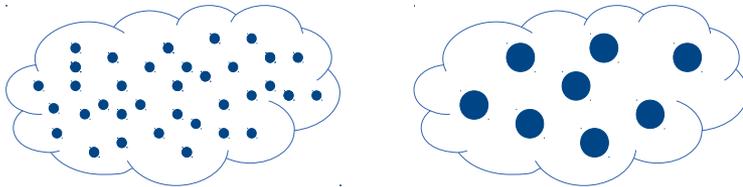
# Contexte – Brouillard et microphysique

Brouillards : **Gouttelettes d'eau** microscopiques en suspension dans l'air au niveau de la surface réduisant la visibilité horizontale à moins de 1000m



› Interaction complexe entre processus radiatifs, dynamiques, turbulents, **microphysiques**

• Impact de la distribution dimensionnelle des gouttelettes d'eau sur le cycle de vie du brouillard ?



› Sédimentation  
› Rayonnement  
› Dynamique

• Intérêt d'un schéma à deux moments  $(r, N)$  pour la simulation du brouillard ?

# Contexte – Formation des gouttelettes nuageuses

## Théorie de l'activation de Köhler (1936)

Processus par lequel certaines particules d'aérosols (CCN) grossissent pour former des gouttelettes nuageuses

### Particules d'aérosols

- Concentration
- Dimension
- Composition (hygroscopicité)



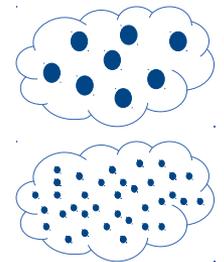
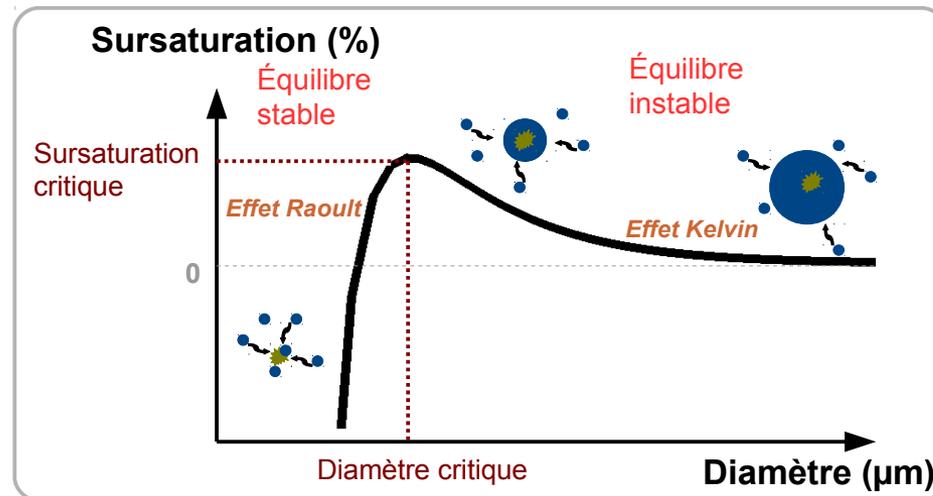
### Sursaturation

- Refroidissement radiatif
- Ascendances
- Mélange
- Condensation/Évaporation

### Gouttelettes

- Concentration

### ACTIVATION



• Comment le processus d'activation impacte la distribution dimensionnelle des gouttelettes d'eau ?

# 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

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

### Concentration de gouttelettes **pronostiquées**

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

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

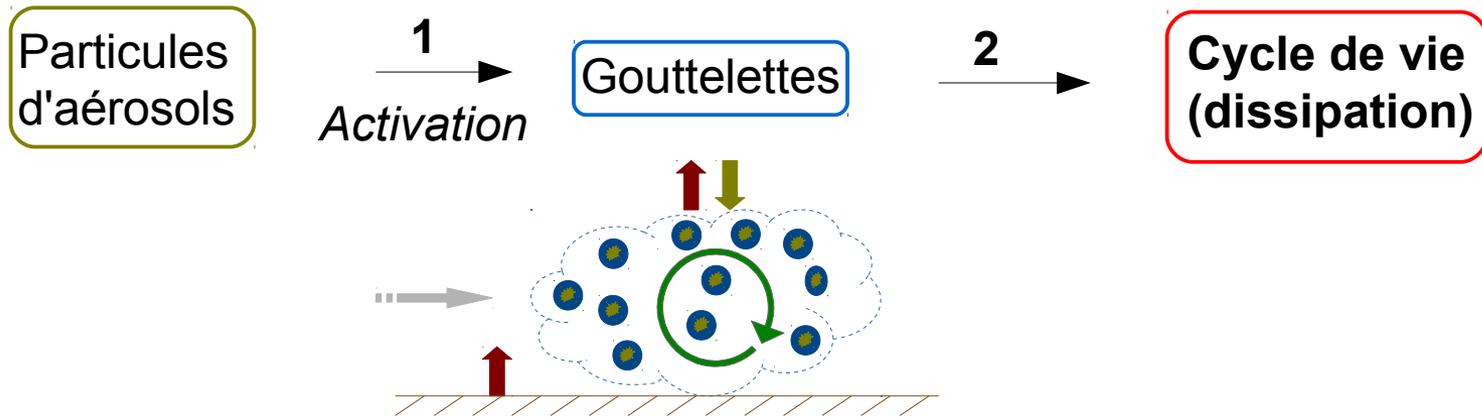
(Wendisch et al., 1998; Garcia-Garcia et al., 2002;  
Gultepe et al., 2007b; Niu et al., 2010; Price, 2011;  
Gonser et al., 2012 ; Mazoyer et al, 2016)

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

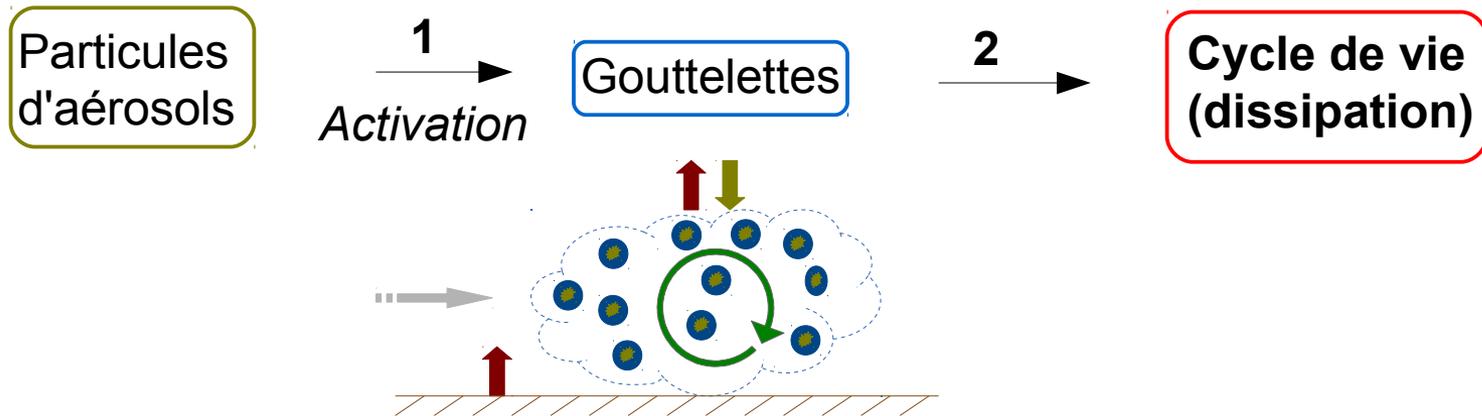
$$\text{N} \sim [10-300] \text{ cm}^{-3} \\ [800-1000] \text{ cm}^{-3} \text{ (Chine)}$$

➤ Besoins d'approfondir les simulations et les observations

Quel est l'impact du processus d'activation sur le cycle de vie du brouillard ?



Quel est l'impact du processus d'activation sur le cycle de vie du brouillard?



**Méthode:** Étude expérimentale – PréViboSS hivers 2010-2013



- Concentration et distribution dimensionnelle des **particules d'aérosols**
- Propriétés hygroscopiques des **particules d'aérosols**
- Concentration et distribution dimensionnelle des **gouttelettes d'eau**

# Dispositif expérimental

- PréviboSS (Elias et al., 2012) hivers 2010-2013 : site du SIRTA (Haeffelin et al, 2005), Palaiseau
  - Environnement semi-urbain (lac, forêt et milieu bâti)
  - Influence de masses d'air océaniques, continentales, polluées



## Mesures :

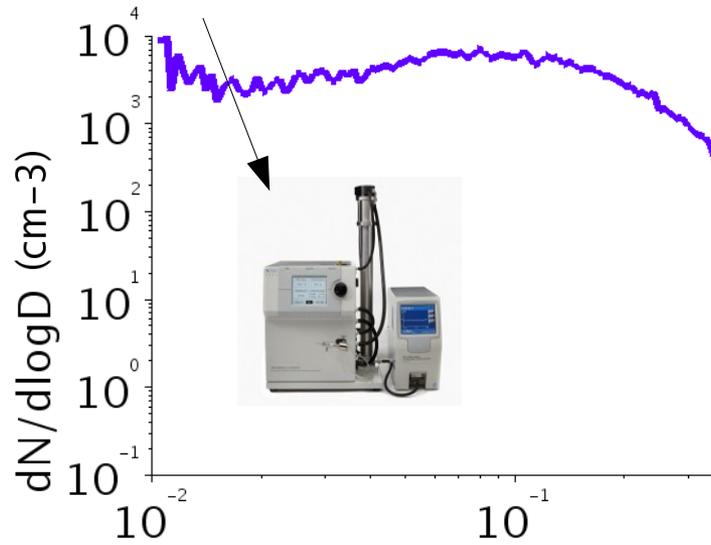
- Couche limite de surface
- Surface et sol
- Rayonnement
- Télédétection
- Microphysique (2.5m)**
- Aérosol (2.5m)**
- Radiosondage (Trappes)

- ParisFOG 2006-2007 → Problème de fermeture avec la visibilité
- ↳ 2010-2013 → Ajout d'un instrument [2-50]  $\mu\text{m}$

# Instrumentation d'étude de la microphysique du brouillard à 2.5 m

## AÉROSOLS

➤ SMPS : Spectre granulométrique des particules d'aérosols asséchées [10-496] nm

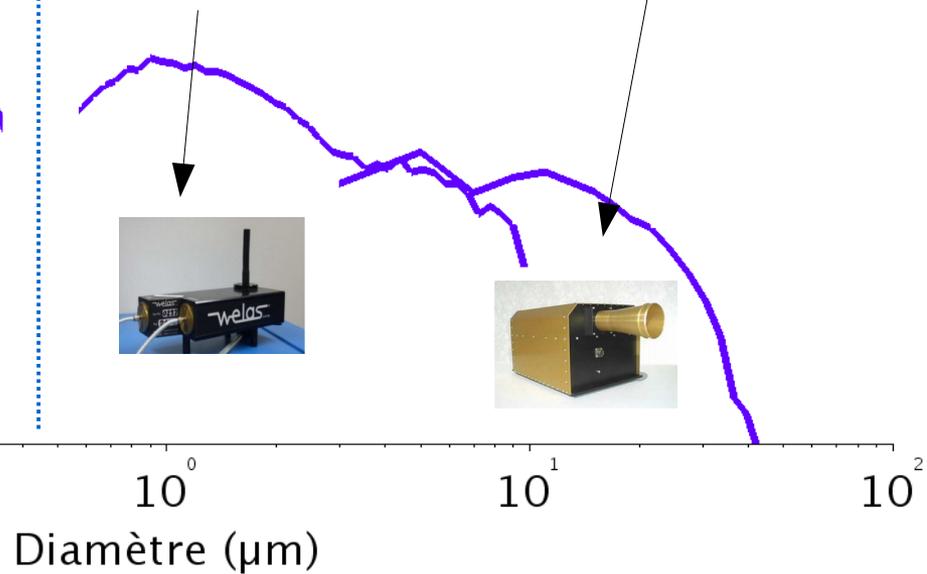


## GOUTTELETTES

➤ WELAS-2000 : Spectre granulométrique des particules d'aérosols hydratées et des gouttelettes d'eau [1-10]  $\mu\text{m}$

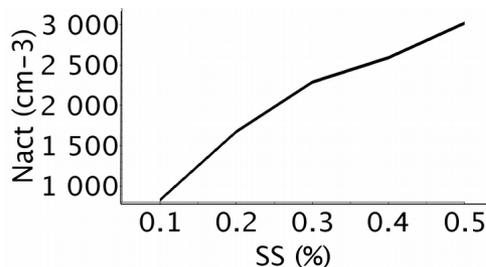
➤ FM-100 : Spectre granulométrique des gouttelettes d'eau [2-50]  $\mu\text{m}$

**+2010-2013**



➤ CCNC : Concentration d'aérosols secs activés en gouttelettes nuageuses à différentes sursaturations [0.1-0.5] %

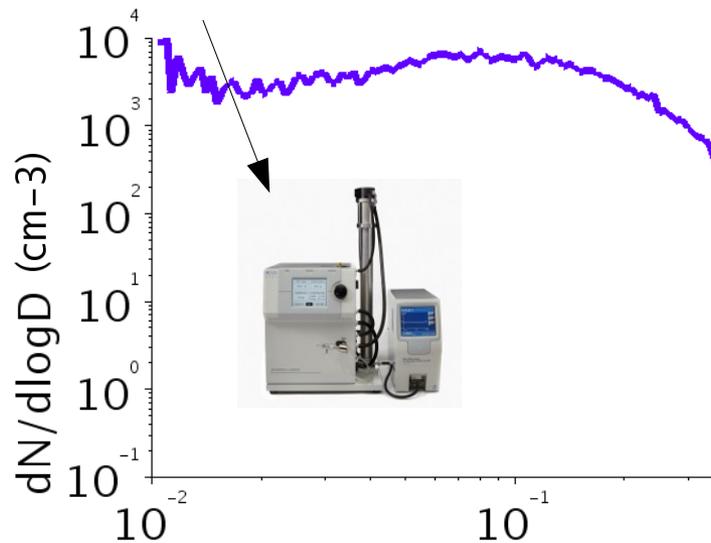
**+2010-2013**



# Instruments d'étude de la microphysique du brouillard à 2.5 m

## AÉROSOLS

➤ SMPS : Spectre granulométrique des particules d'aérosols **asséchées** [10-496] nm

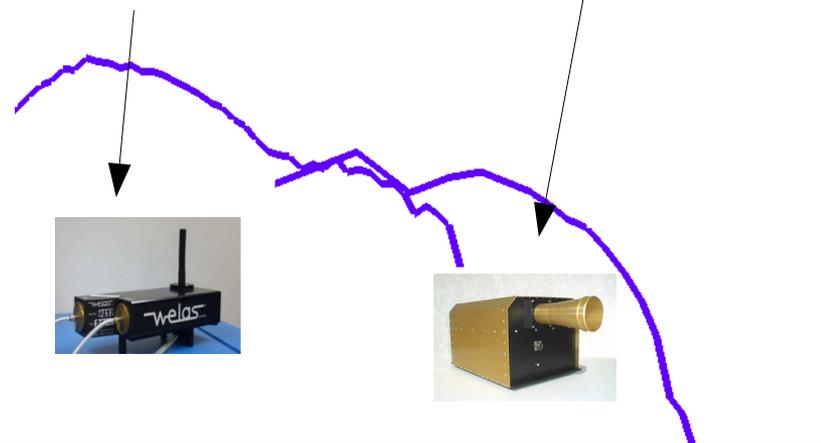


## GOUTTELETTES

➤ WELAS-2000 : Spectre granulométrique des particules d'aérosols hydratées et des gouttelettes d'eau [1-10] μm

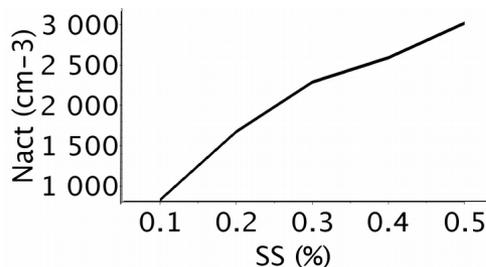
➤ FM-100 : Spectre granulométrique des gouttelettes d'eau [2-50] μm

**+2010-2013**



Diamètre **PréViBoSS : 110 cas de brouillard dont 97 radiatifs et d'affaissement de stratus**

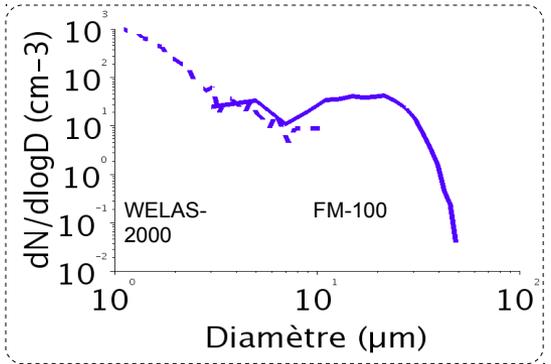
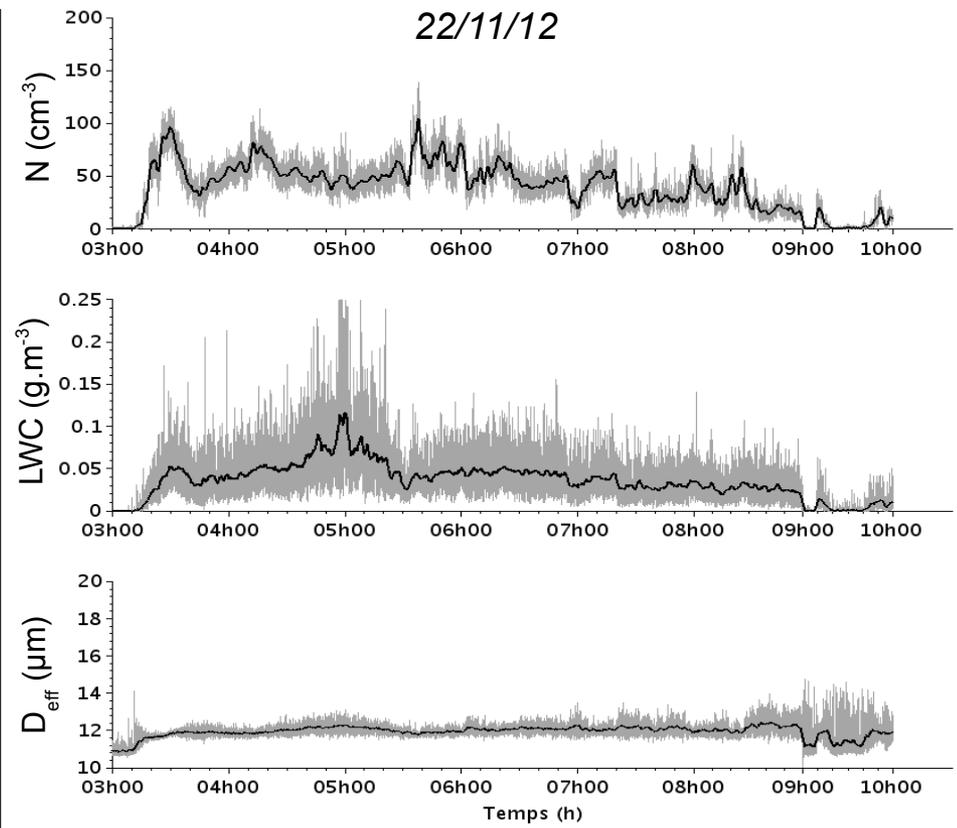
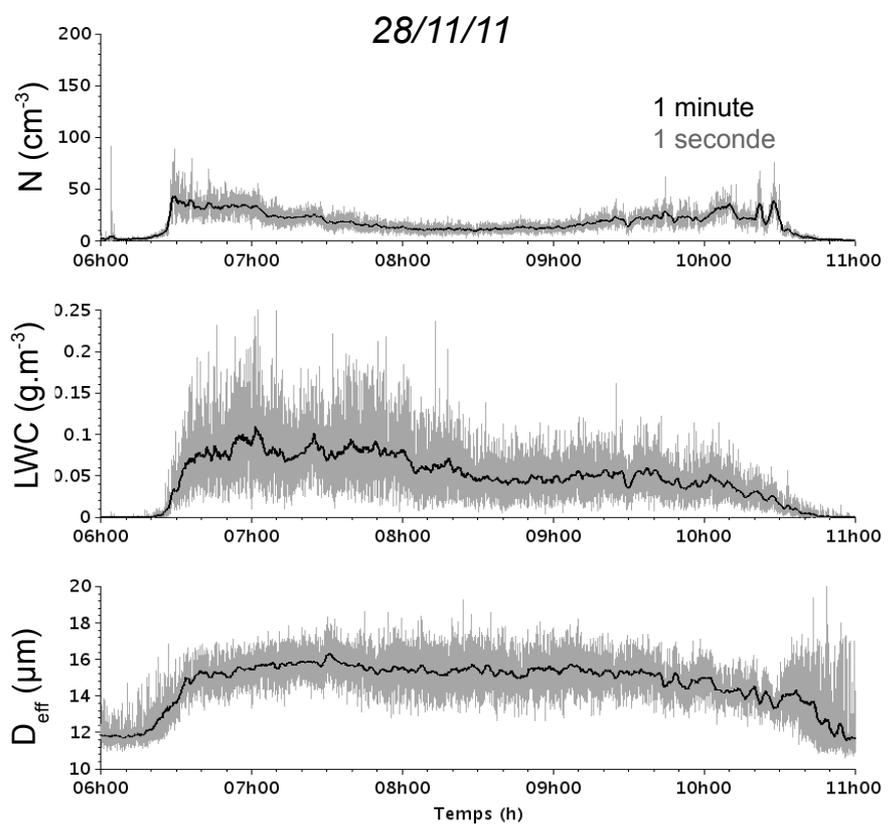
➤ CCNC : Concentration d'aérosols secs activés en gouttelette **+2010-2013**



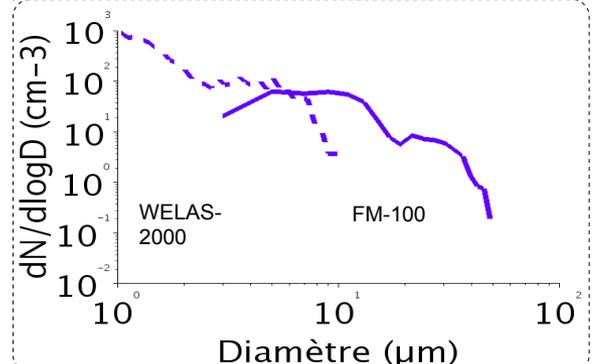
➤ **Documentation gouttelettes** ⇒ **42 cas**

➤ **Documentation aérosols & gouttelettes** ⇒ **23 cas**

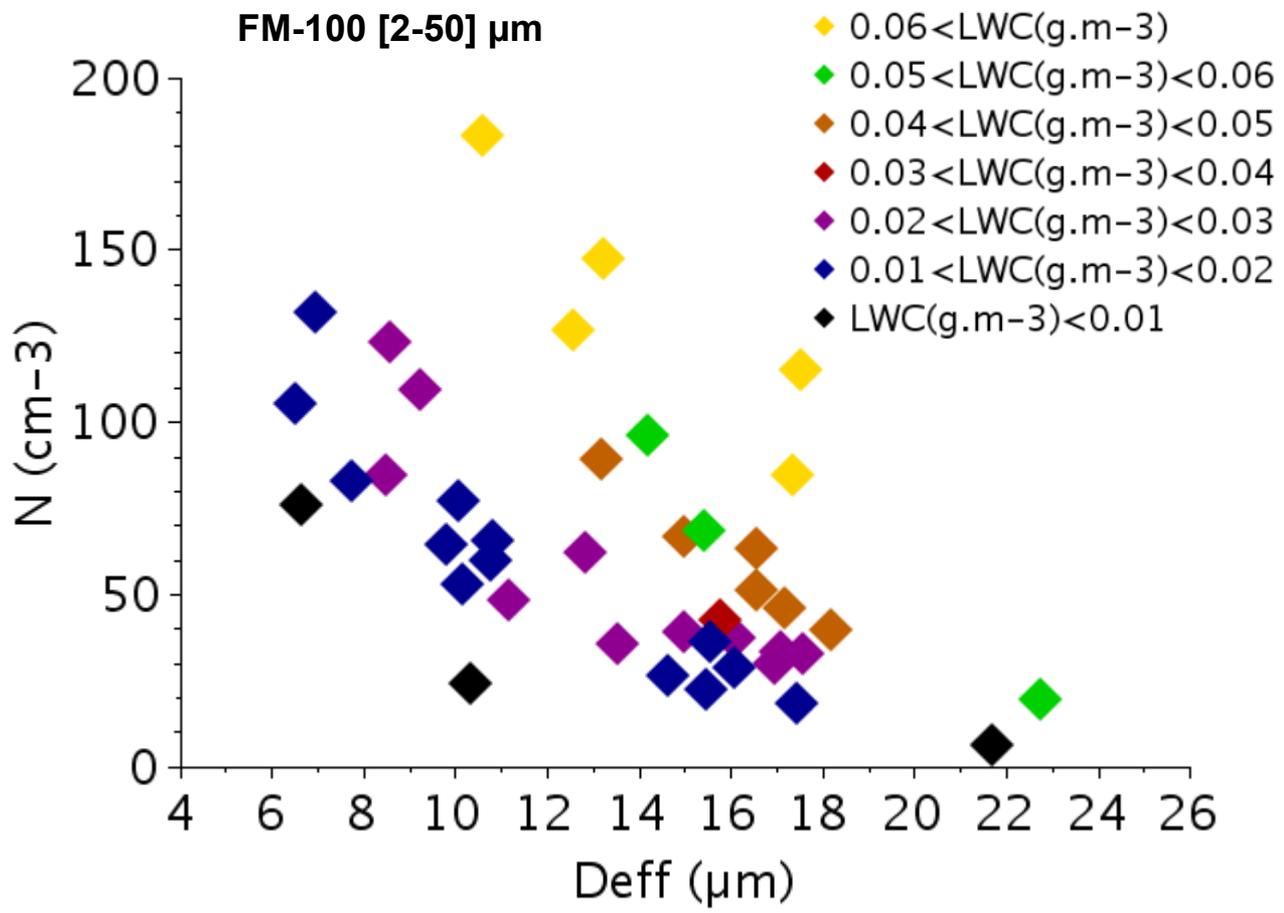
# Documenter la microphysique du brouillard ([2-50] $\mu\text{m}$ )



➤ Forte variabilité microphysique entre les cas



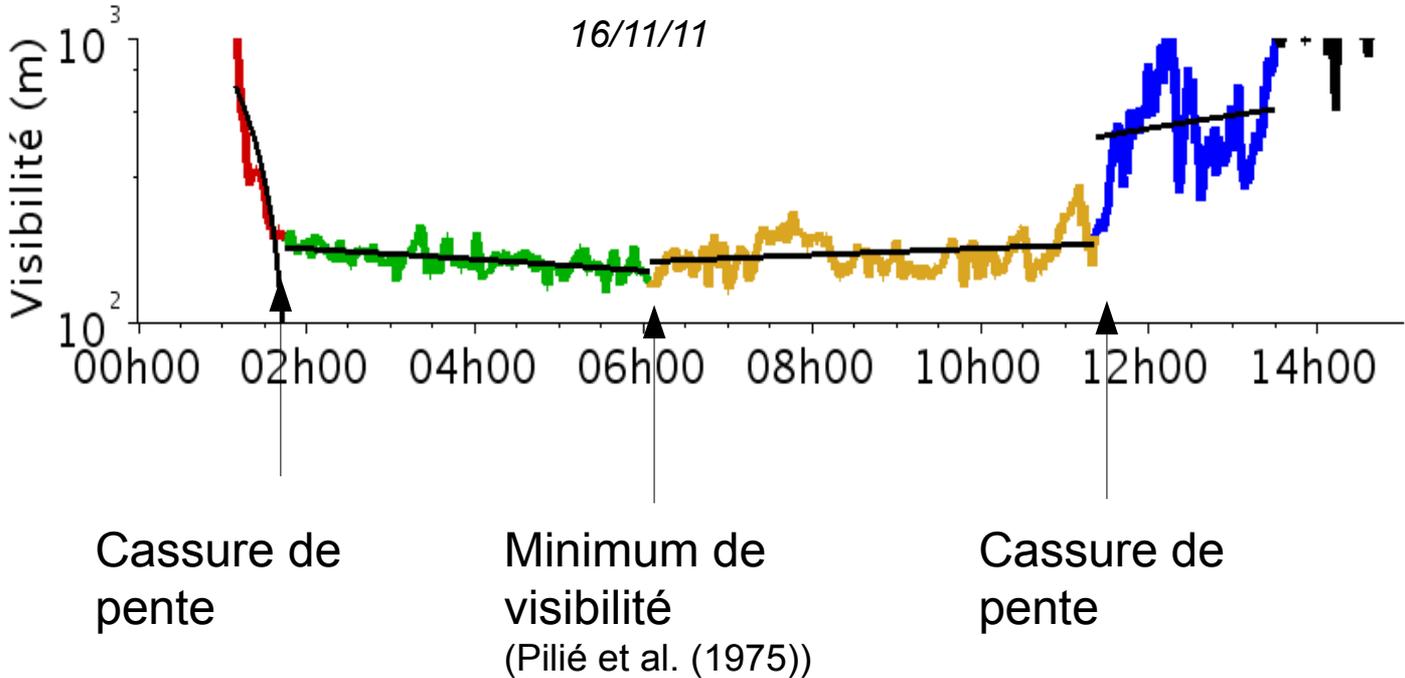
# Description statistique sur tout le cycle de vie (42 cas)



>  $N_{\text{FM},50} = [6-183] \text{ cm}^{-3}$      $\text{LWC}_{\text{FM},50} = [0.005-0.01] \text{ g.m}^{-3}$      $\text{D}_{\text{eff,FM},50} = [7-23] \mu\text{m}$   
 > Très grande diversité de cas (Anti-corrélation N- $D_{\text{eff}}$ )

# Cycle de vie du brouillard

↳ Littérature : 4 phases déterminées selon l'évolution de la visibilité  
(Niu et al., 2010; Liu et al., 2011; Zhao et al., 2013; Degeffie et al., 2014)

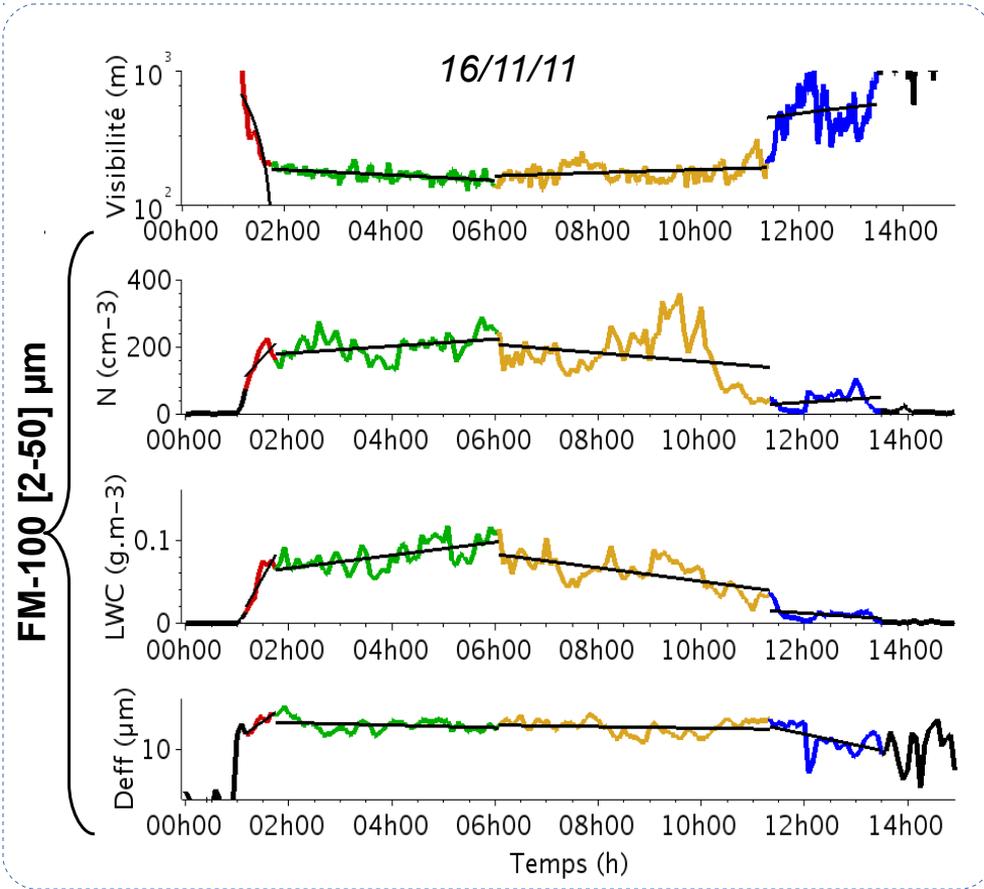


*Phase de Formation*

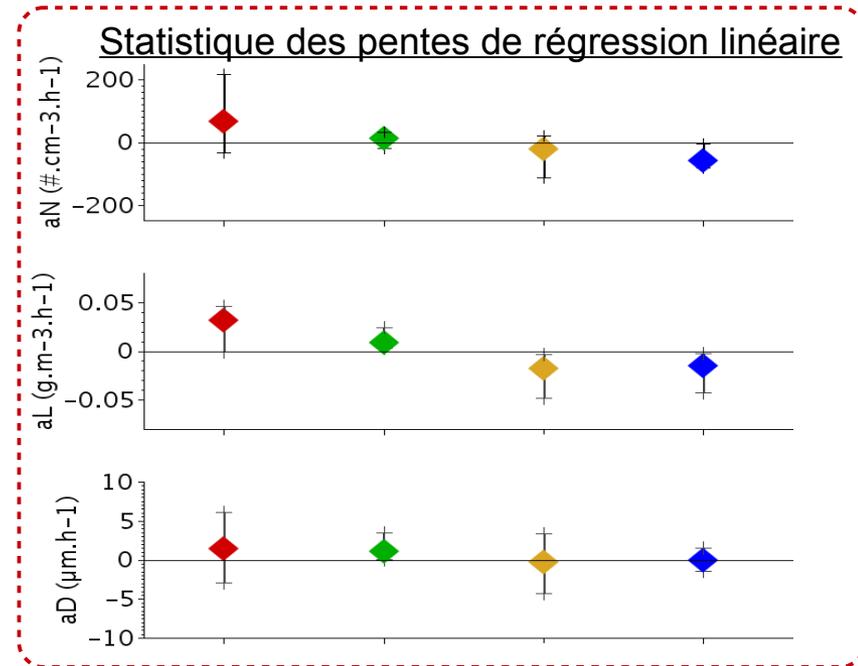
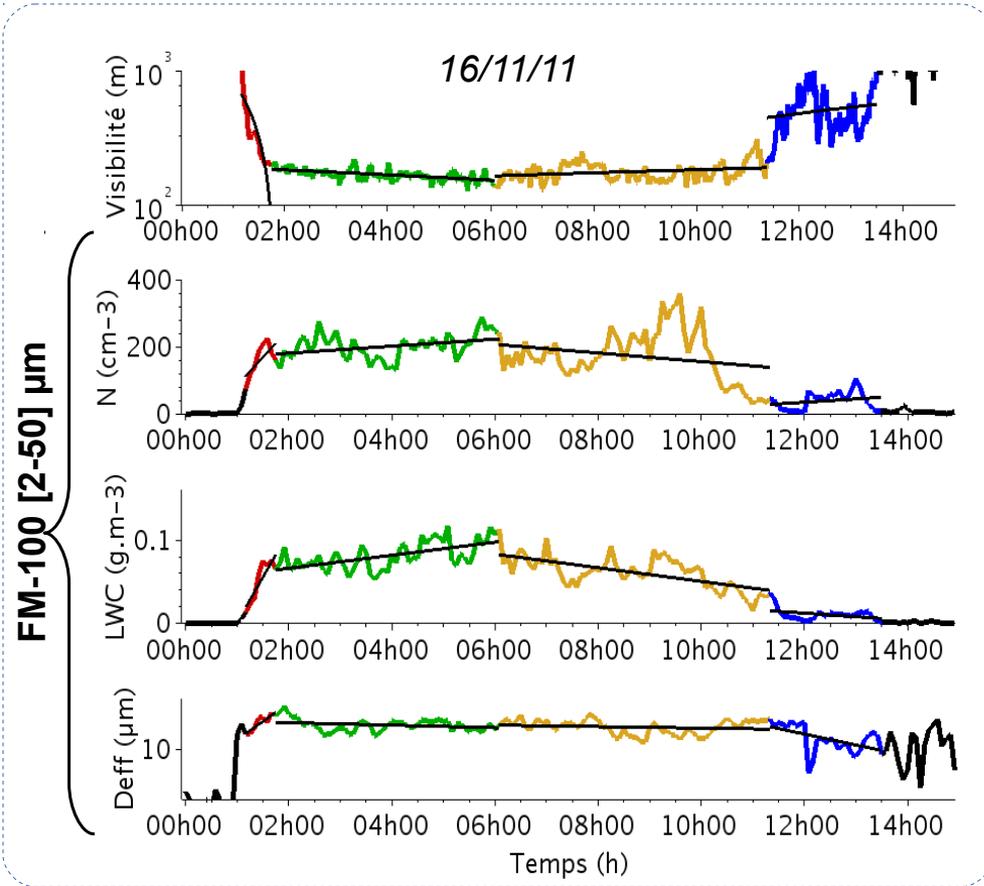
*Phase Mature*

*Phase de dissipation*

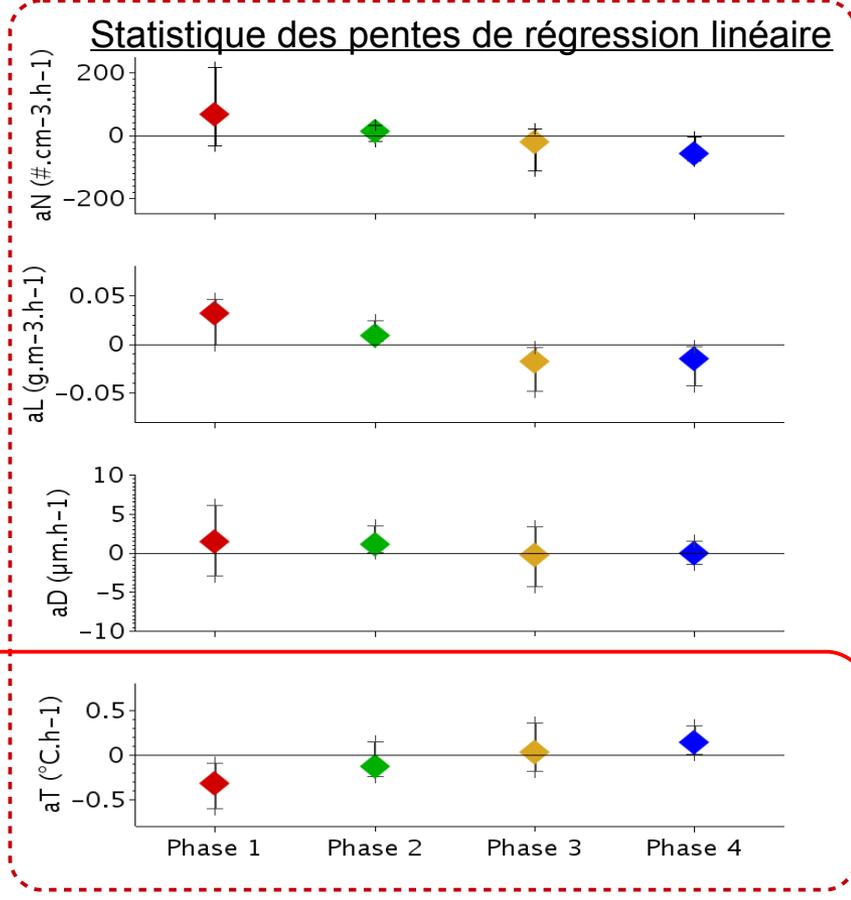
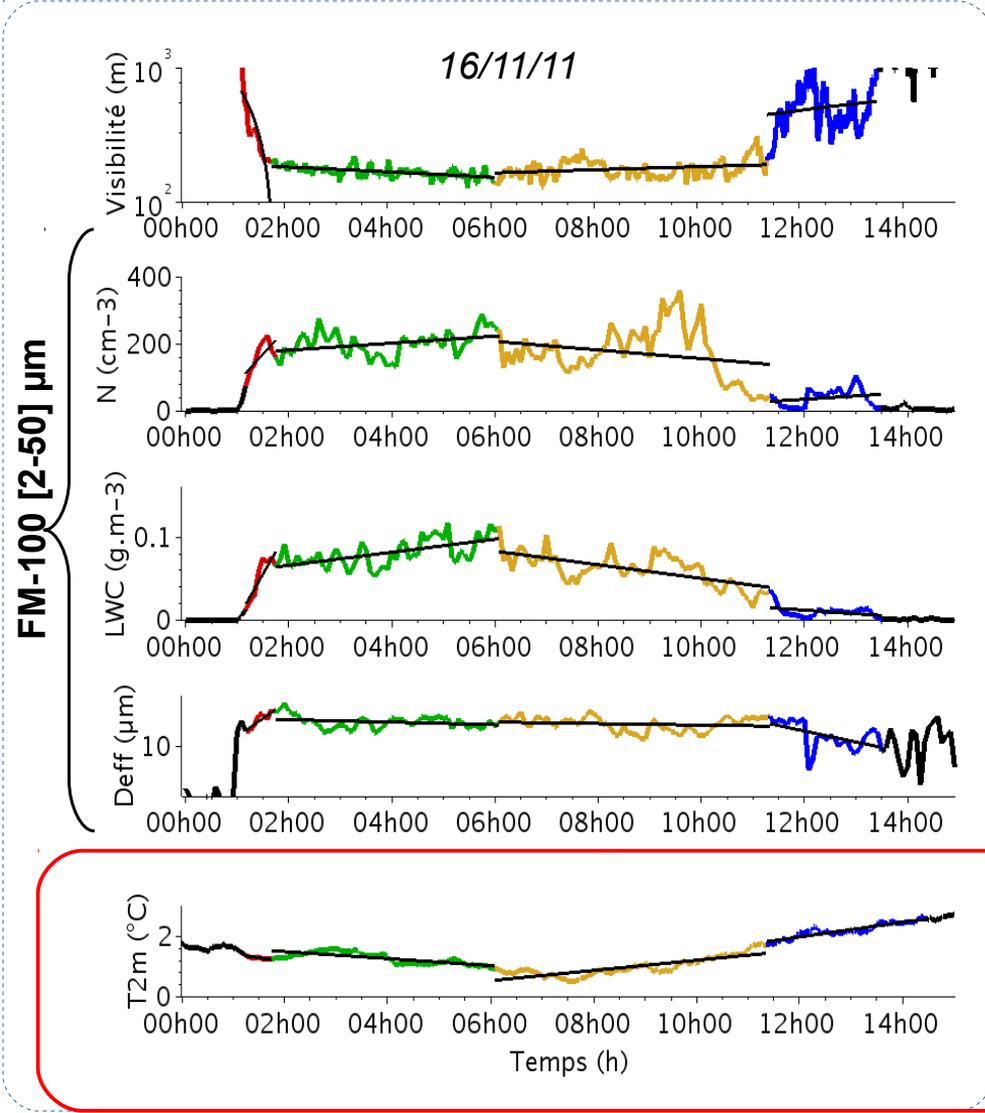
# Propriétés microphysiques des phases (42 cas)



# Propriétés microphysiques des phases (42 cas)

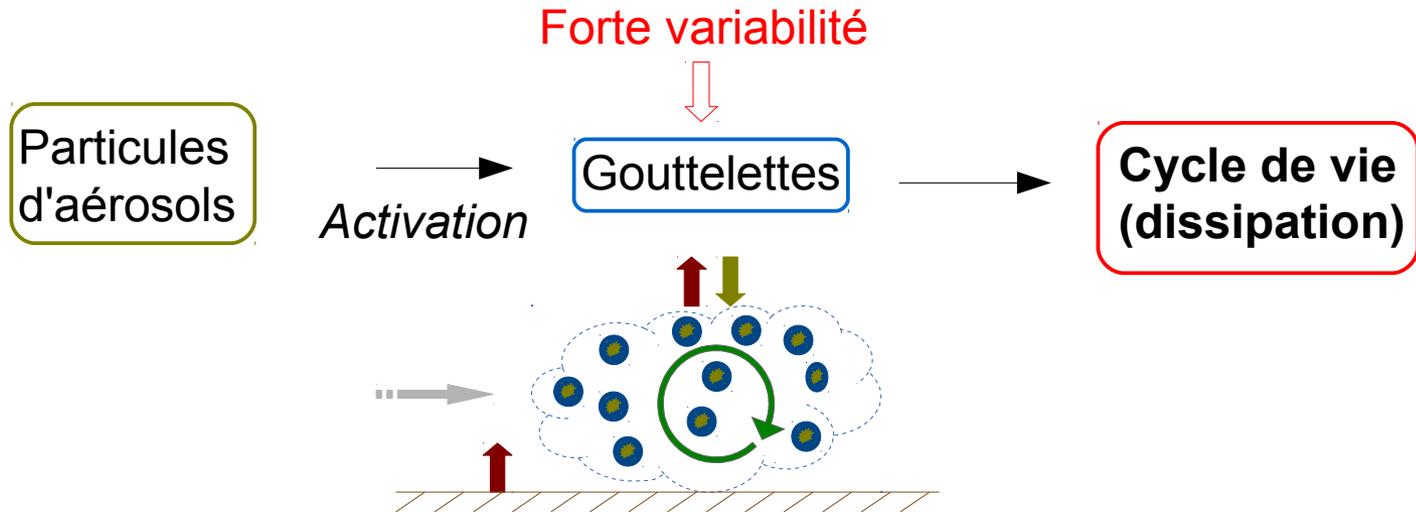


# Propriétés microphysiques des phases (42 cas)

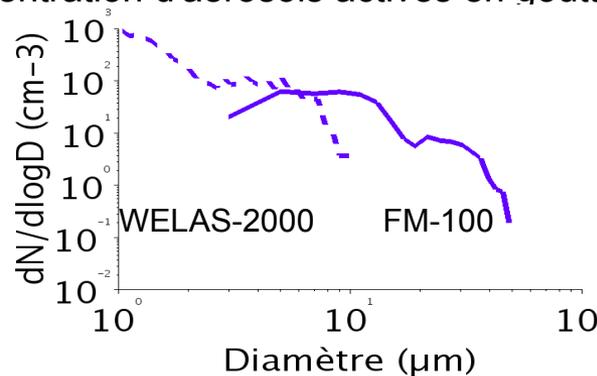


# Impact de l'aérosol sur la microphysique du brouillard

Mazoyer et al., 2016, Experimental study of the aerosol impact on fog microphysics  
Soumis à ACP

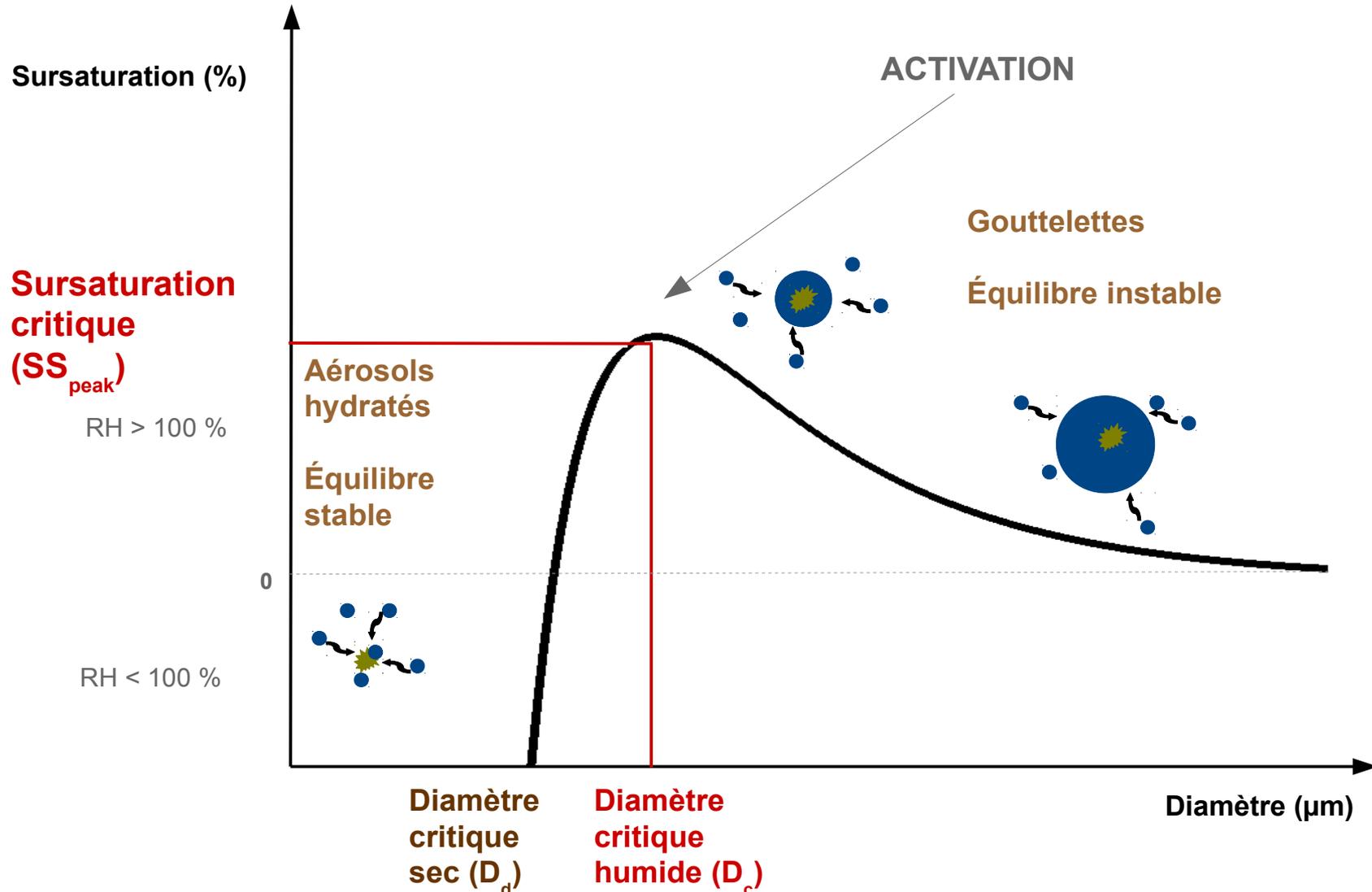


Concentration d'aérosols activés en gouttelettes ?



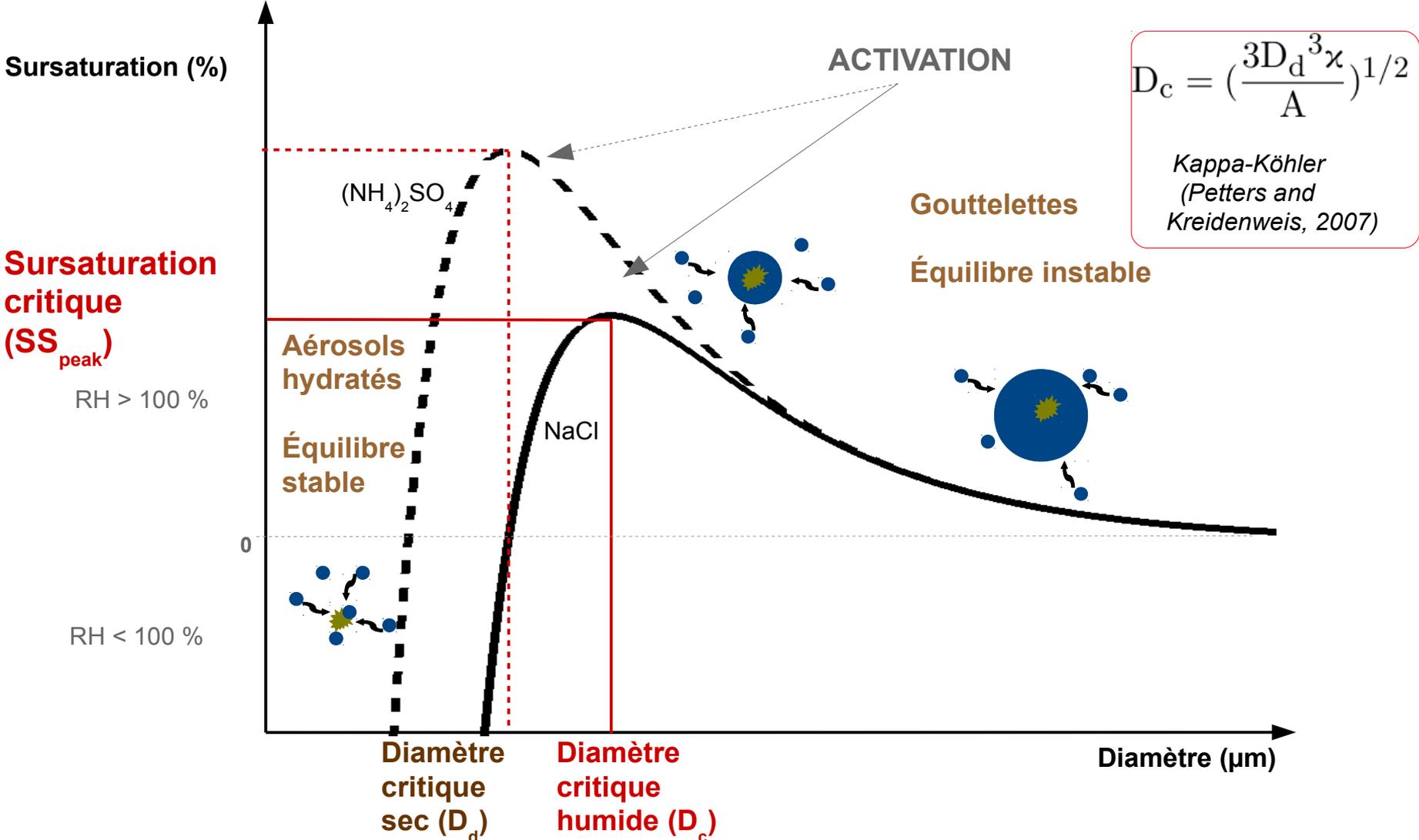
# Activation des particules d'aérosols en gouttelettes

➤ Nucléation hétérogène sur certaines particules d'aérosols (CCN) : processus décrit par la théorie de l'activation de Köhler (1936)



# Activation des particules d'aérosols en gouttelettes

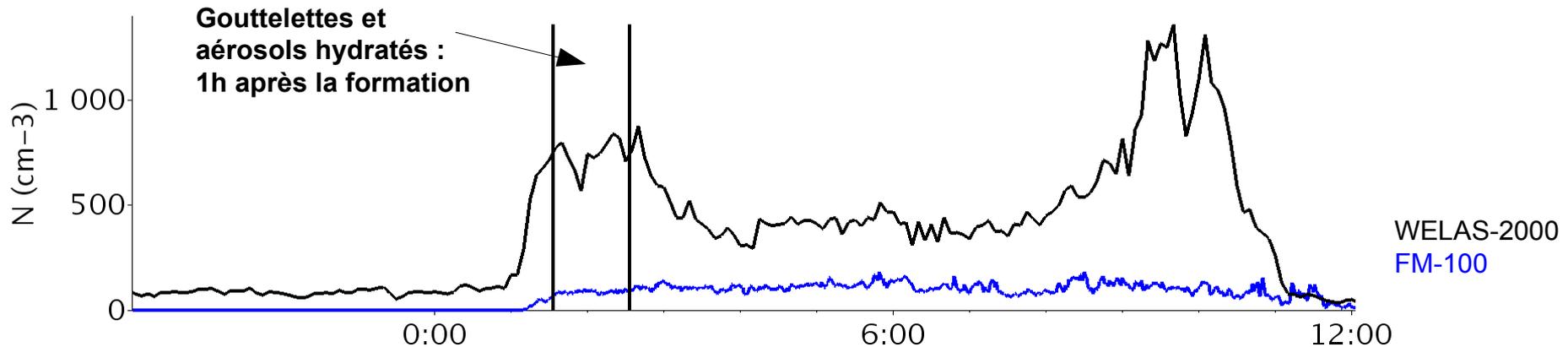
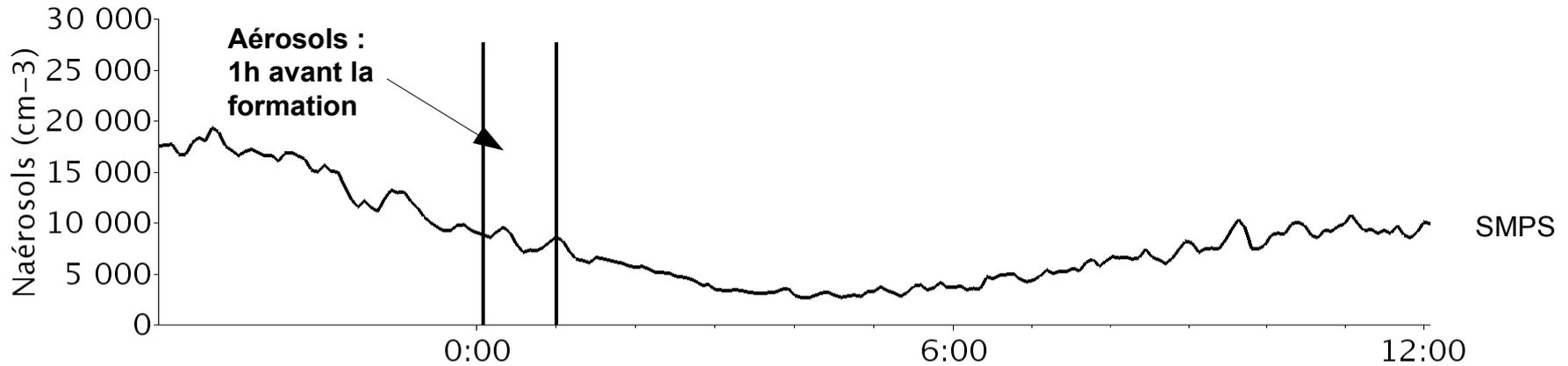
➤ Nucléation hétérogène sur certaines particules d'aérosols (CCN) : processus décrit par la théorie de l'activation de Köhler (1936)



# Détermination de la concentration d'aérosols activés ( $N_{act}$ )

➤ Mise au point d'une procédure itérative originale

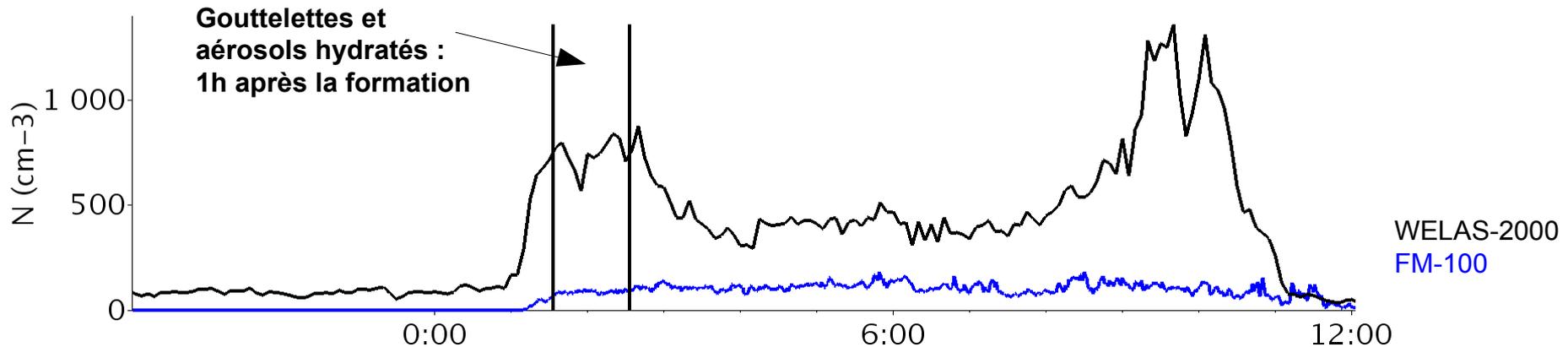
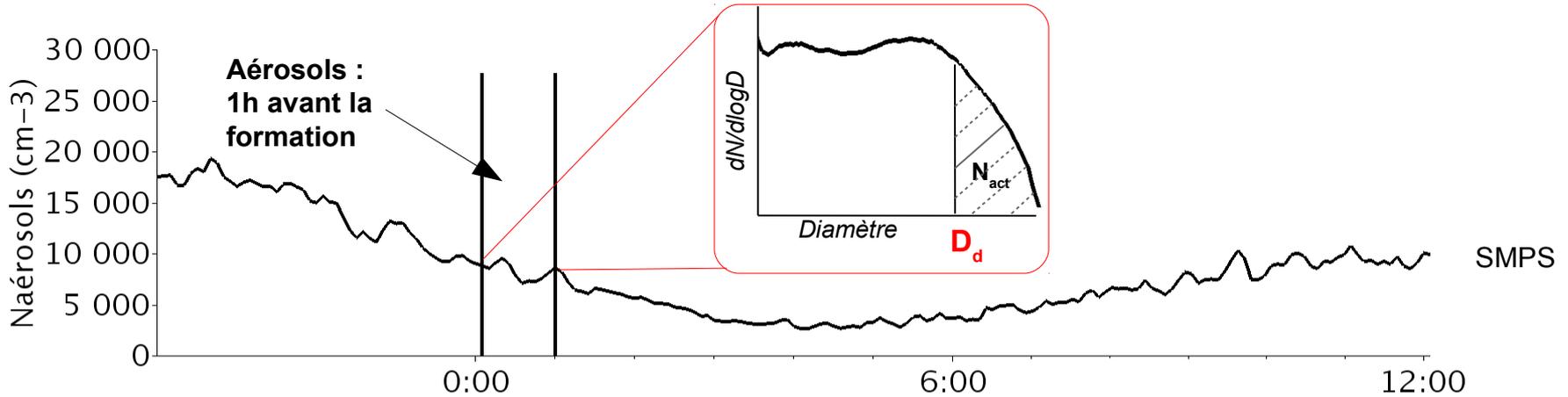
## Couplage entre aérosols et gouttelettes à la formation



# Détermination de la concentration d'aérosols activés ( $N_{act}$ )

↳ Mise au point d'une procédure itérative originale

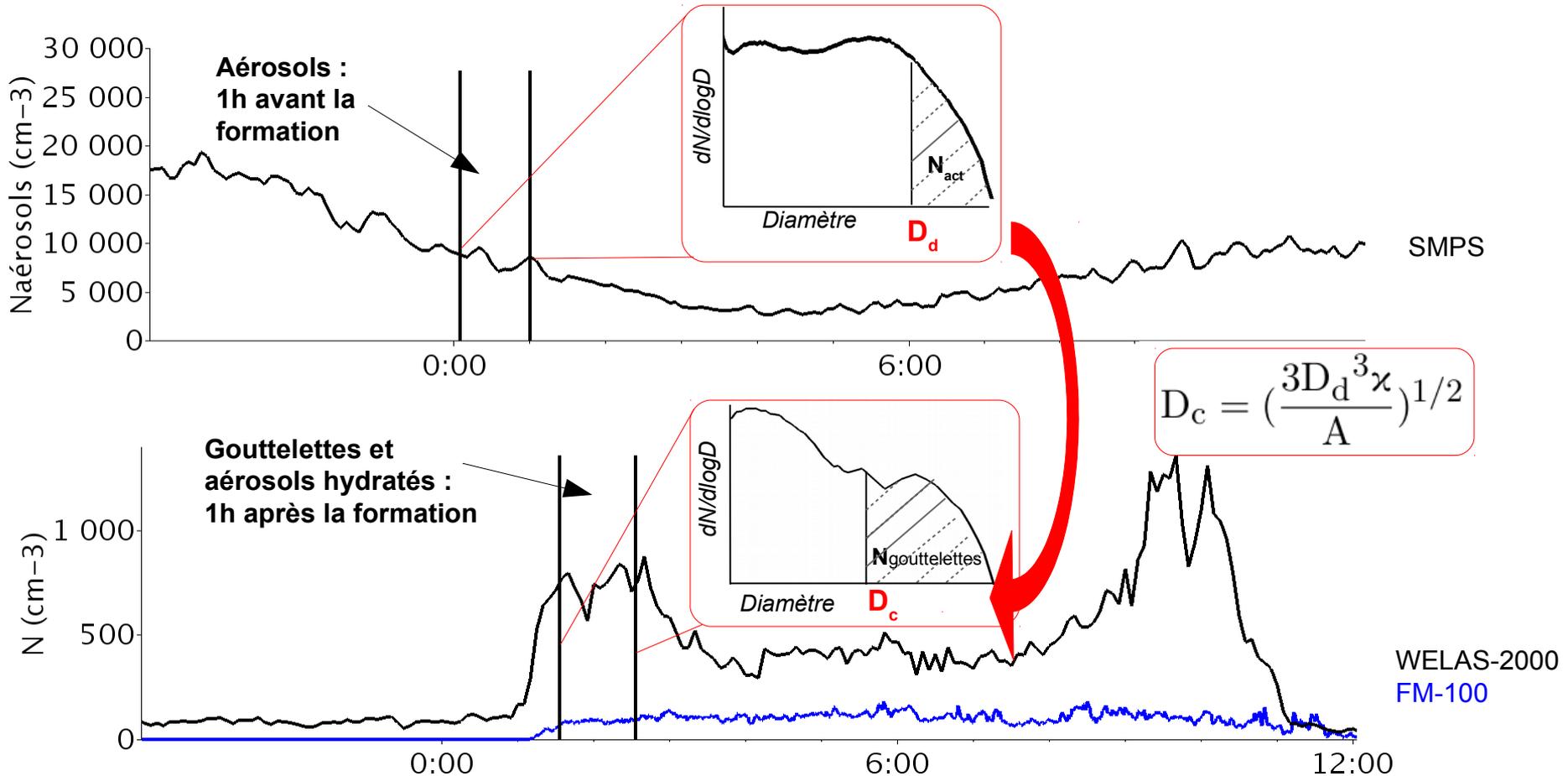
## Couplage entre aérosols et gouttelettes à la formation



# Détermination de la concentration d'aérosols activés ( $N_{act}$ )

➤ Mise au point d'une procédure itérative originale

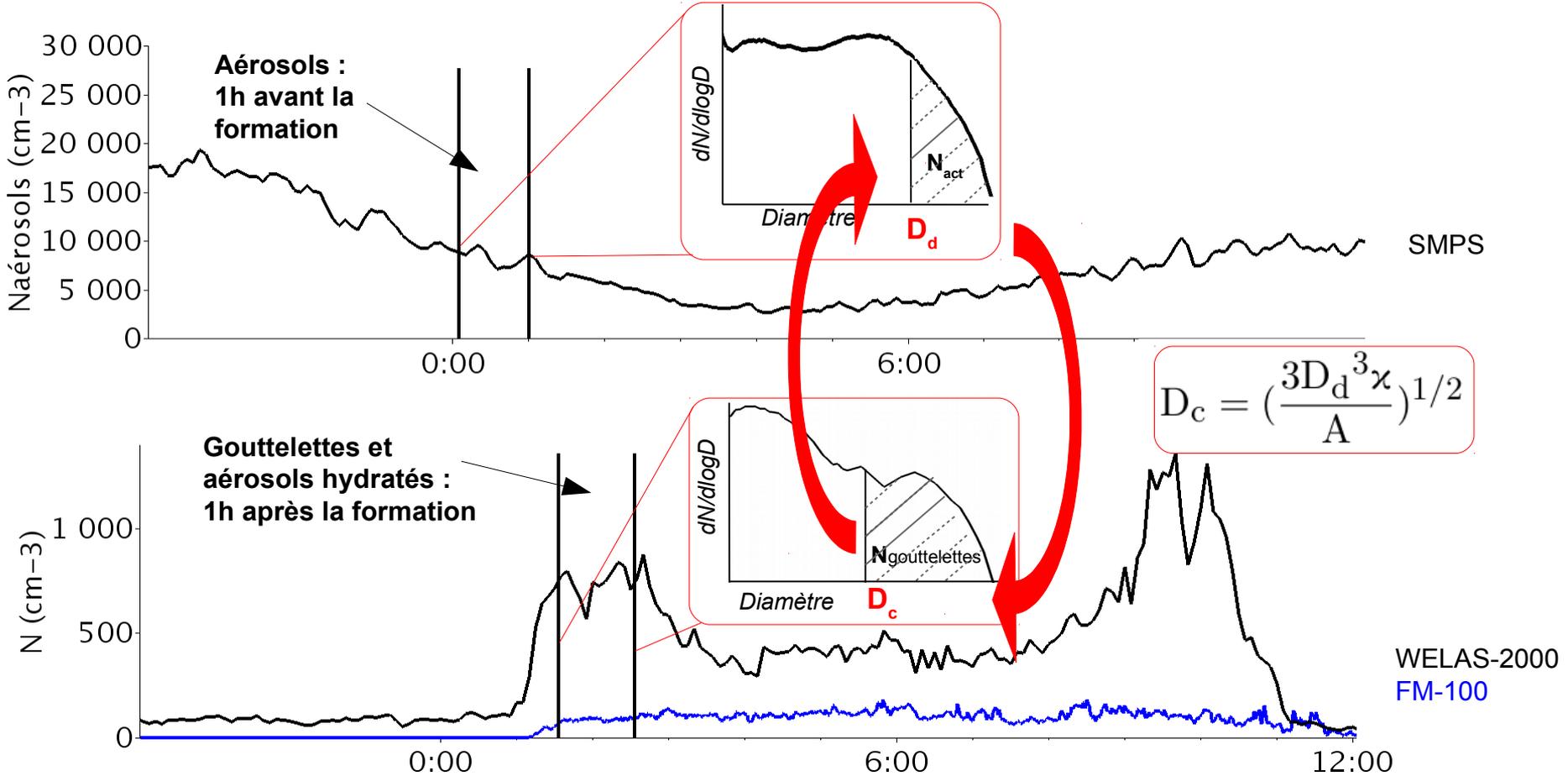
## Couplage entre aérosols et gouttelettes à la formation



# Détermination de la concentration d'aérosols activés ( $N_{act}$ )

➤ Mise au point d'une procédure itérative originale

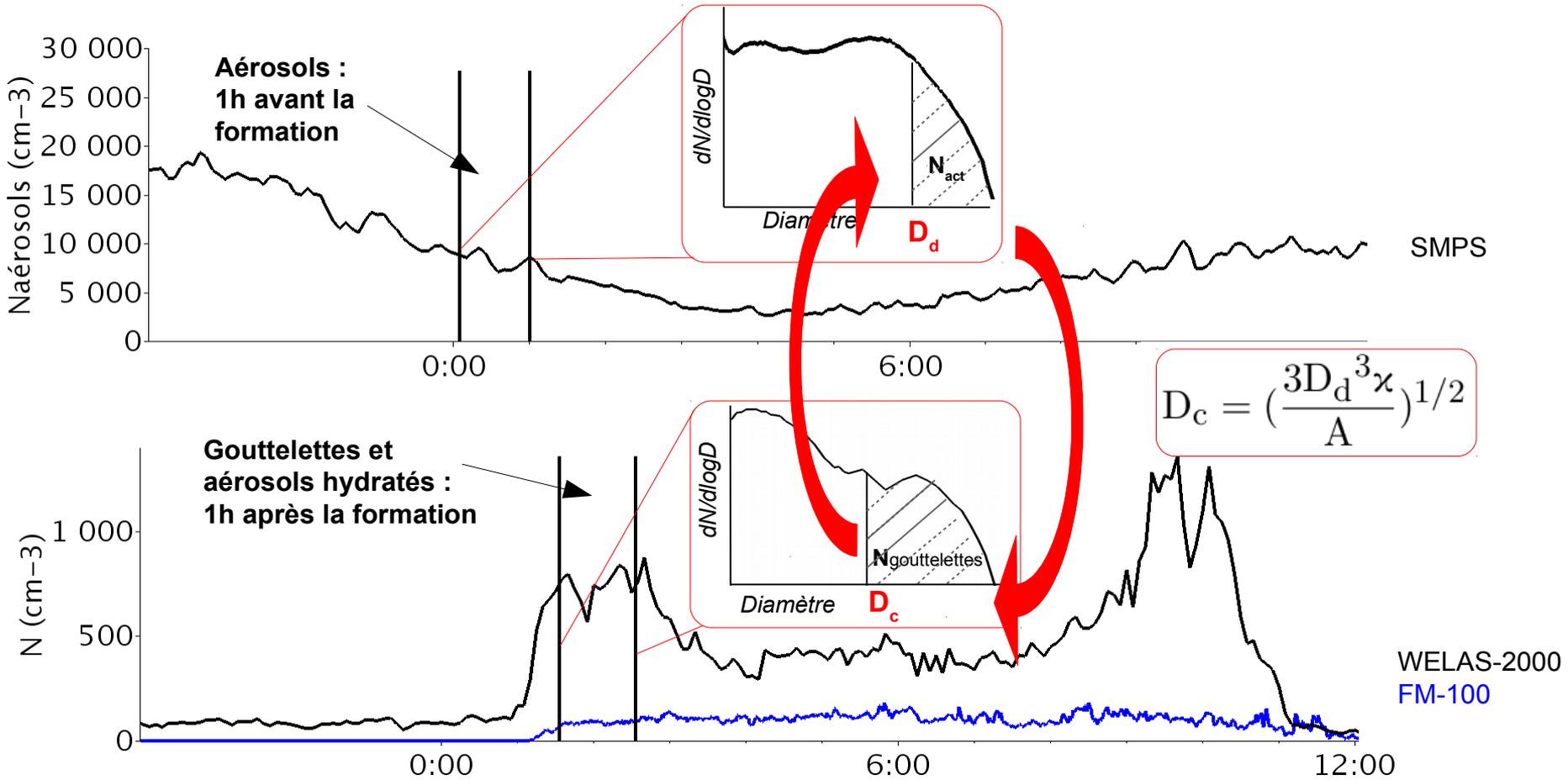
## Couplage entre aérosols et gouttelettes à la formation



# Détermination de la concentration d'aérosols activés ( $N_{act}$ )

➤ Mise au point d'une procédure itérative originale

## Couplage entre aérosols et gouttelettes à la formation



➤  $N_{act}$ ,  $D_c$ ,  $D_d$ ,  $\kappa$ ,  $SS_{peak}$

# Grandeurs statistiques de l'activation

$\gamma N_{ACT}$ ,  $SS_{peak}$ , Kappa,  $D_c$ ,  $D_d$  - **23 cas**

	25 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	75 <sup>th</sup>
<b>Nact (cm<sup>-3</sup>)</b>	<b>30</b>	<b>71</b>	<b>140</b>
<b>SSpeak (%)</b>	0.035	<b>0.043</b>	0.051
<b>Dd (μm)</b>	0.35	<b>0.41</b>	0.441
<b>Dc (μm)</b>	3.0	<b>3.8</b>	4.7
<b>Kappa</b>	0.15	<b>0.17</b>	0.2

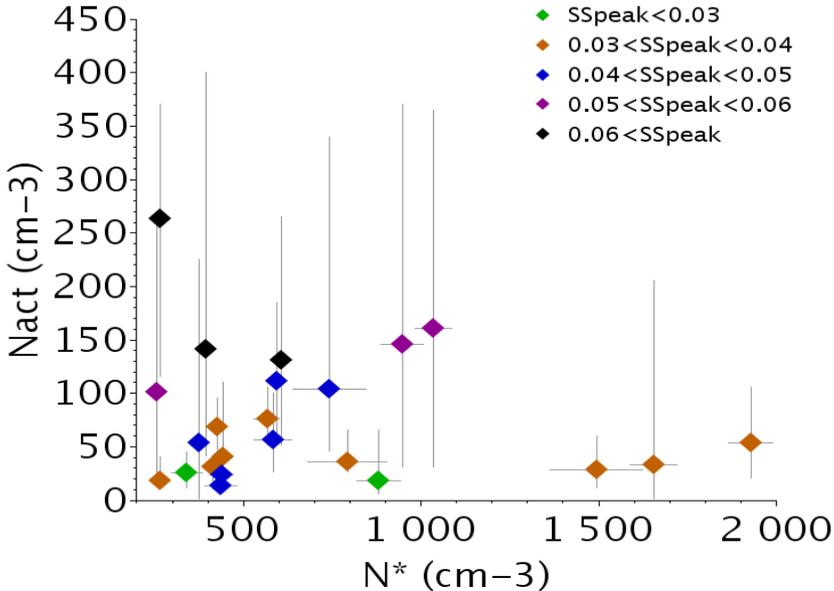
→ Pas de documentation existante

→ Stratocumulus, 0.2%  
Brouillard, Hudson, 1980  
Hammer et al., 2014 < 0.1 %  
Gerber, 1991

→ Influence de la pollution locale  
(Hammer et al., 2014)

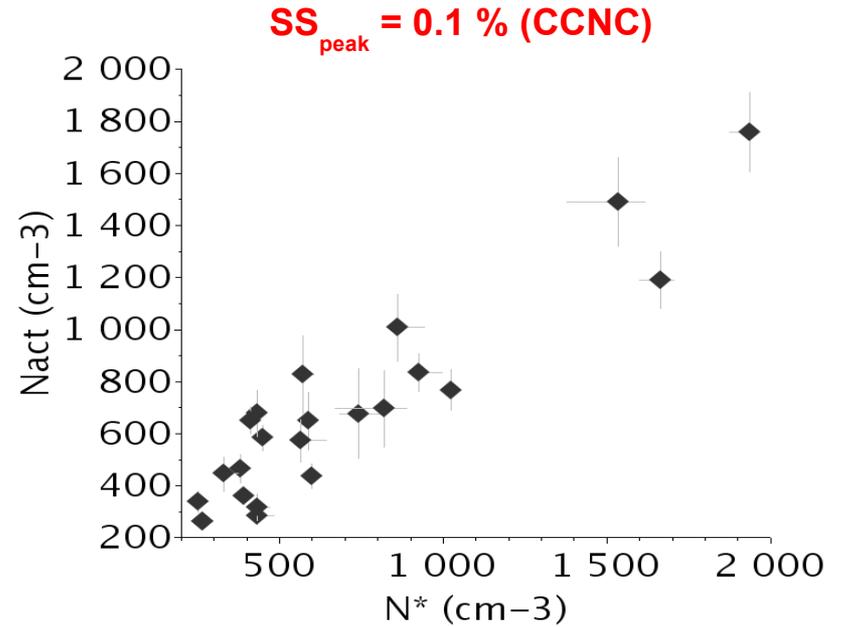
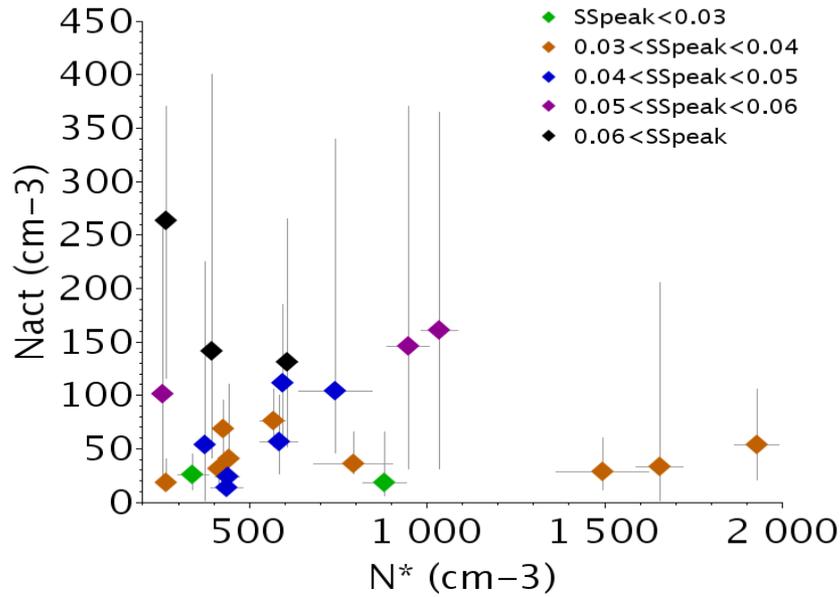
# Impact de l'aérosol (disponible) sur l'activation

↳  $N^*$ , concentration d'aérosols de diamètres supérieurs au plus petit diamètre critique sec (200nm)



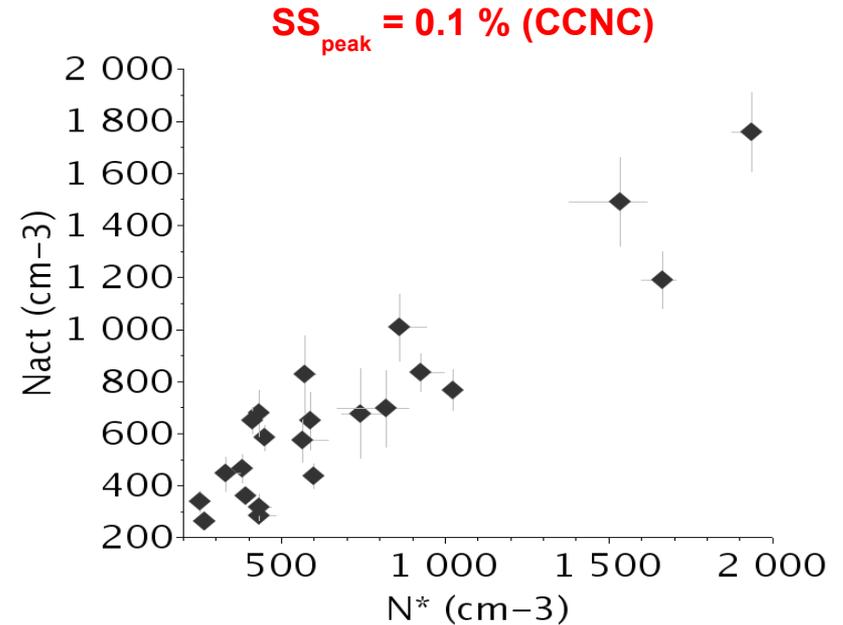
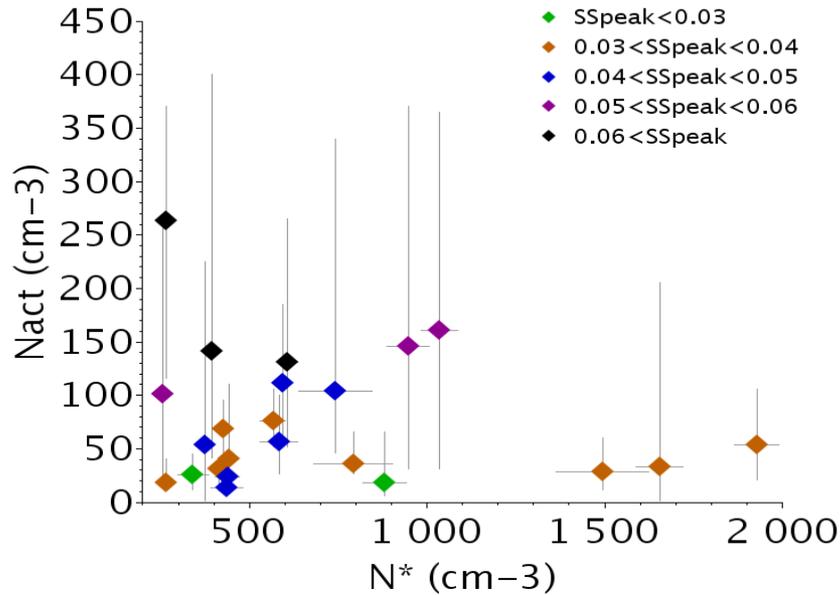
# Impact de l'aérosol (disponible) sur l'activation

↳  $N^*$ , concentration d'aérosols de diamètres supérieurs au plus petit diamètre critique sec (200nm)



# Impact de l'aérosol (disponible) sur l'activation

›  $N^*$ , concentration d'aérosols de diamètres supérieurs au plus petit diamètre critique sec (200nm)



- › **Pour de faibles sursaturations**  $\Rightarrow$  **pas d'augmentation simultanée de  $N_{act}$  en fonction de  $N^*$**
- ›  $N_{act}$  modulé par  $N^*$ , Bott, 1990 (diminution de la sursaturation par hydratation des aérosols)

# Conclusion – Étude expérimentale PréViboss hivers 2010-2013

➤ **Analyse statistique des données microphysiques fournies par 4 instruments et obtenues durant trois saisons hivernales pour 42 cas**

1- Forte variabilité des propriétés microphysiques des brouillards

2- Propriétés de l'activation à la formation

$$SS_{\text{peak}} \sim 0.05\% \text{ \& } N_{\text{act}} \sim 100 \text{ cm}^{-3}$$

3- Pas d'augmentation de  $N_{\text{gouttelettes}}$  avec  $N_{\text{aérosols}}$

↳ **Nécessité d'estimer finement la sursaturation**

4- Grandeurs microphysique du brouillard évoluent selon 4 phases distinctes

5- Pas de tendance évidente entre microphysique et cycle de vie du brouillard



# Perspectives

---

- Mesures sur la verticale des **concentrations de gouttelettes et d'aérosols** et des **contenus en eau liquide** (ballons captifs)
- Mesures sur l'horizontale pour évaluer l'**impact des hétérogénéités de surface**



A misty mountain landscape with dense evergreen forests and a thick layer of fog or low clouds filling the valleys. The scene is captured in a cool, blue-toned palette, with the fog creating a soft, ethereal atmosphere. The trees are silhouetted against the lighter mist, and the overall composition is layered, showing multiple ridges and valleys shrouded in mist.

**Merci de votre attention**

# Vers la modélisation

