

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

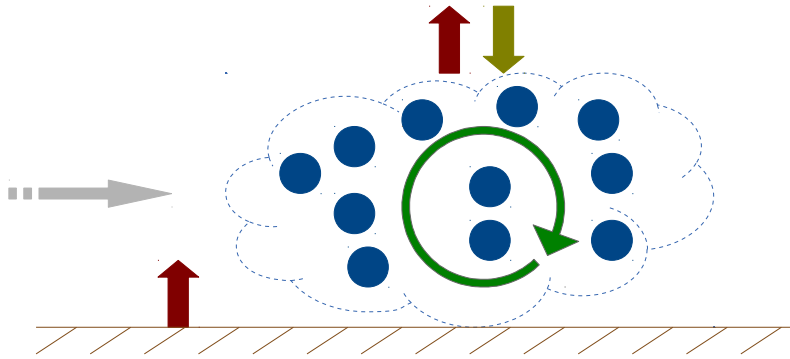
Marie Mazoyer, Frédéric Burnet
(CNRM/CNRS-Météo-France)



AMA 2018

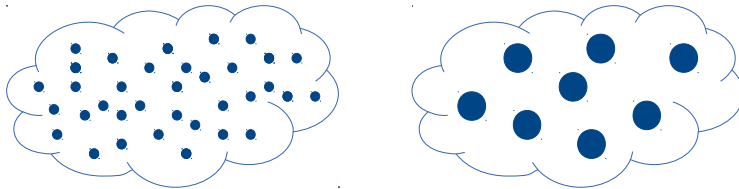
Contexte – Brouillard et microphysique

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)



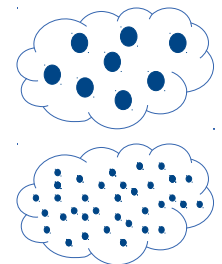
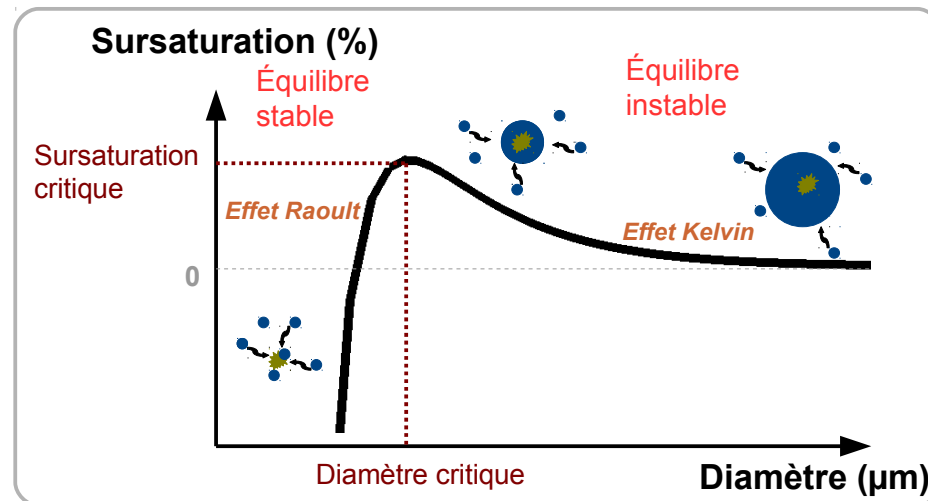
Sursaturation

- 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] μm)

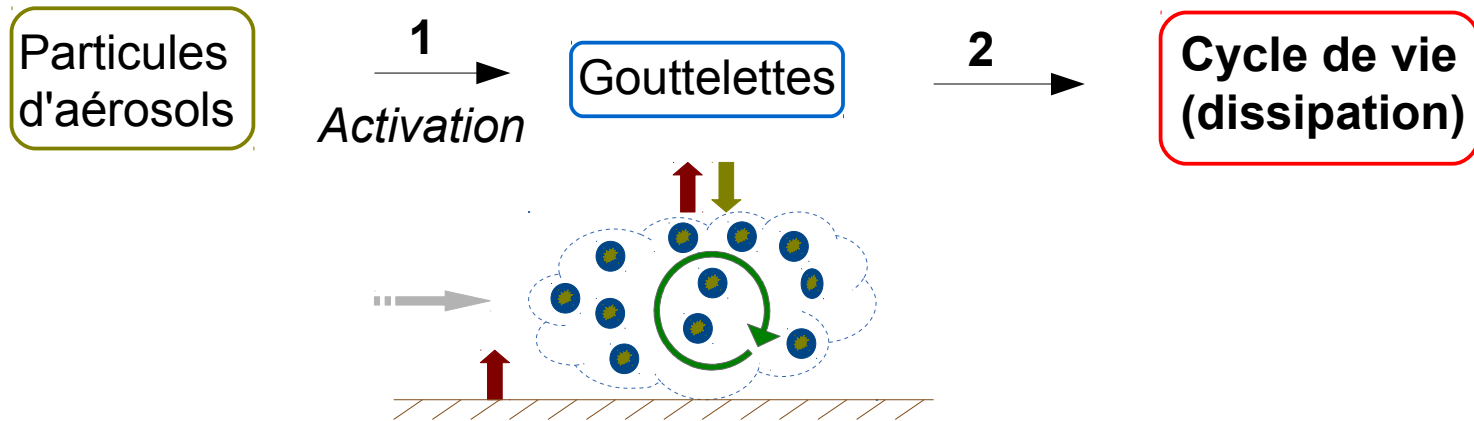
(Wendisch et al., 1998; Garcia-Garcia et al., 2002;
Gultepe et al., 2007b; Niu et al., 2010; Price, 2011;
Gonser et al., 2012 ; Mazoyer et al, 2016)

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

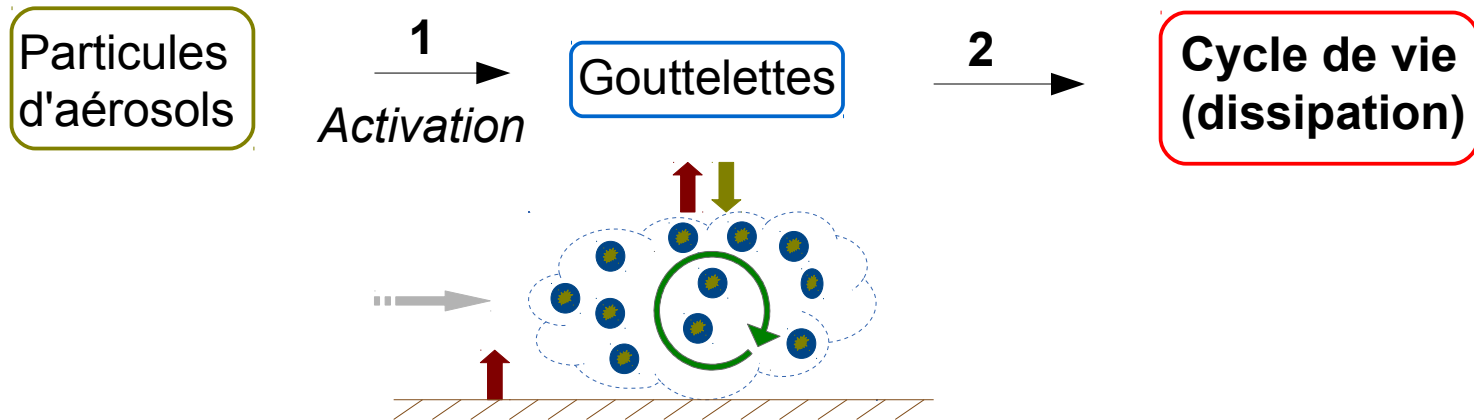
$$\text{N} \sim [10-300] \text{ cm}^{-3} \\ [800-1000] \text{ cm}^{-3} \text{ (Chine)}$$

➤ 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 :

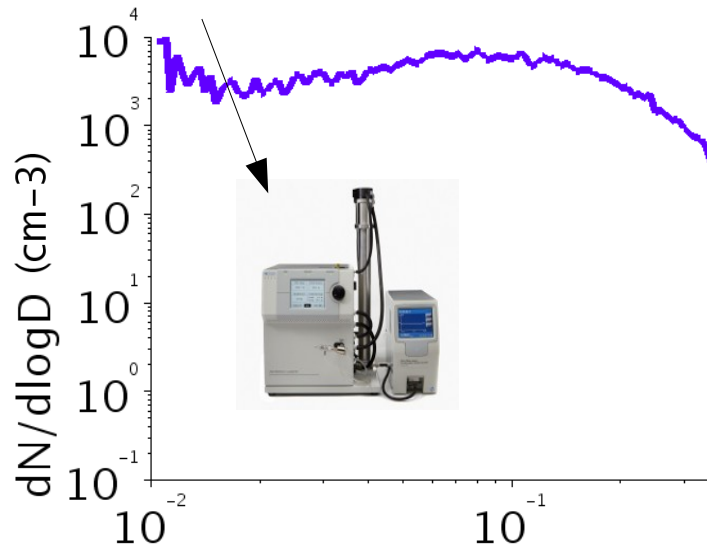
- Couche limite de surface
- Surface et sol
- Rayonnement
- Télédétection
- Microphysique (2.5m)**
- Aérosol (2.5m)**
- Radiosondage (Trappes)

- ParisFOG 2006-2007 → Problème de fermeture avec la visibilité
- ↳ 2010-2013 → Ajout d'un instrument [2-50] μm

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

AÉROSOLS

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

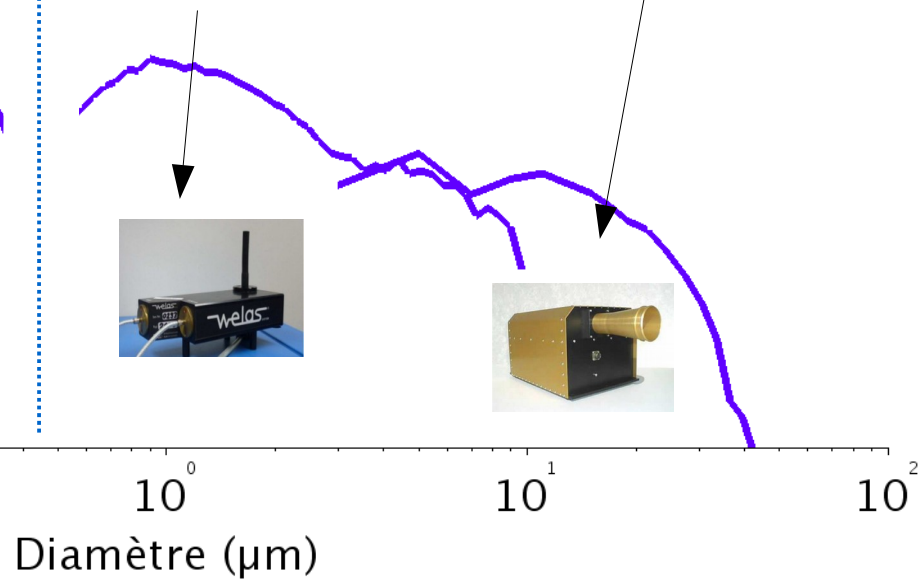


GOUTTELETTES

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

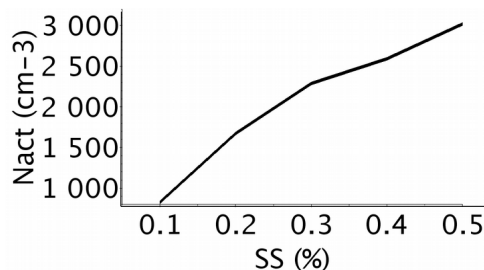
➤ FM-100 : Spectre granulométrique des gouttelettes d'eau [2-50] μm

+2010-2013



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

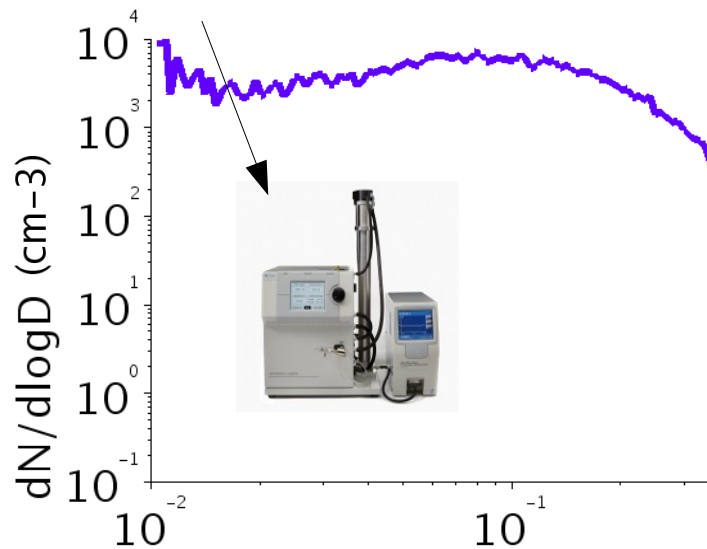
+2010-2013



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

AÉROSOLS

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

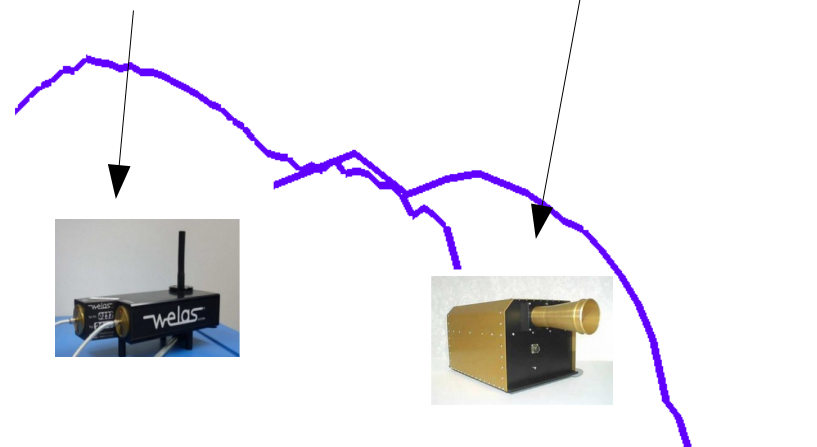


GOUTTELETTES

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

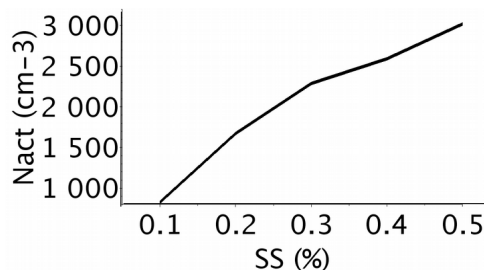
➤ FM-100 : Spectre granulométrique des gouttelettes d'eau [2-50] μm

+2010-2013



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

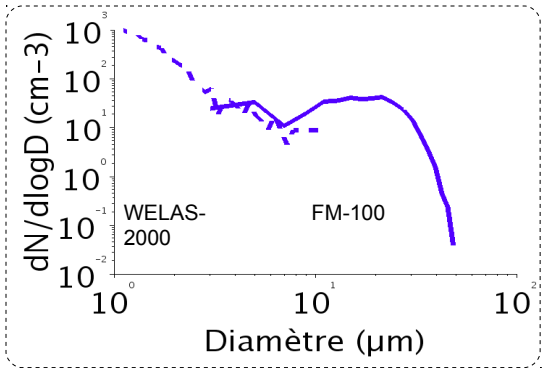
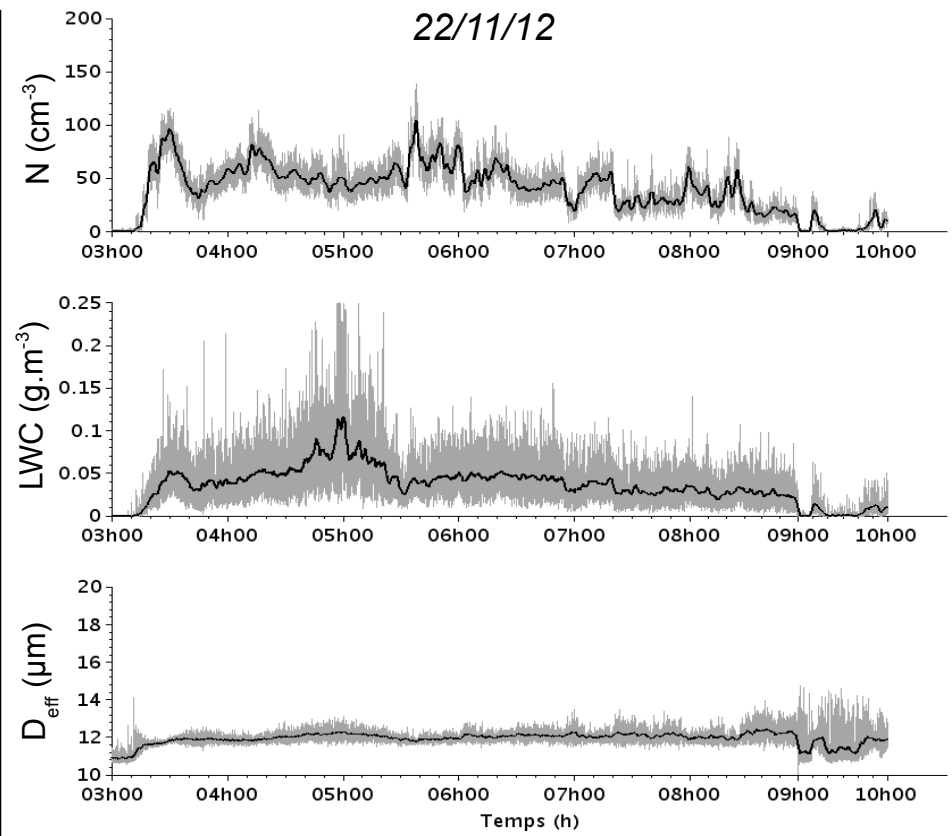
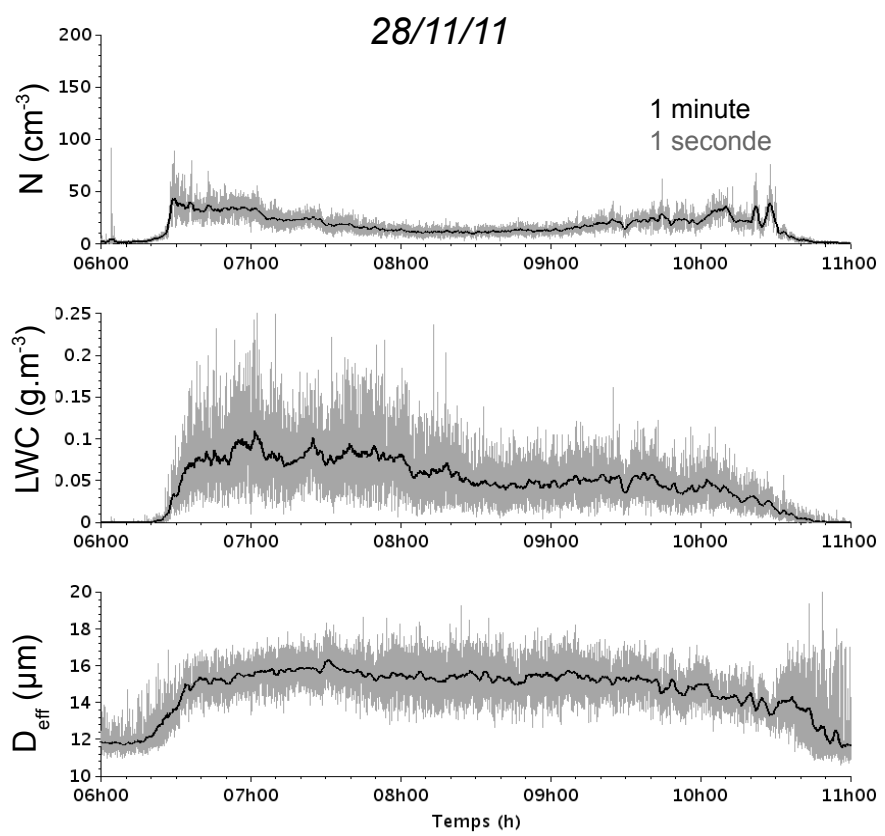
➤ CCNC : Concentration d'aérosols secs activés en gouttelette **+2010-2013**



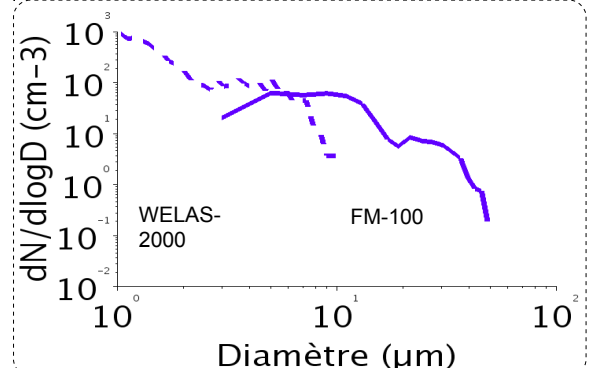
➤ **Documentation gouttelettes** \Rightarrow **42 cas**

➤ **Documentation aérosols & gouttelettes** \Rightarrow **23 cas**

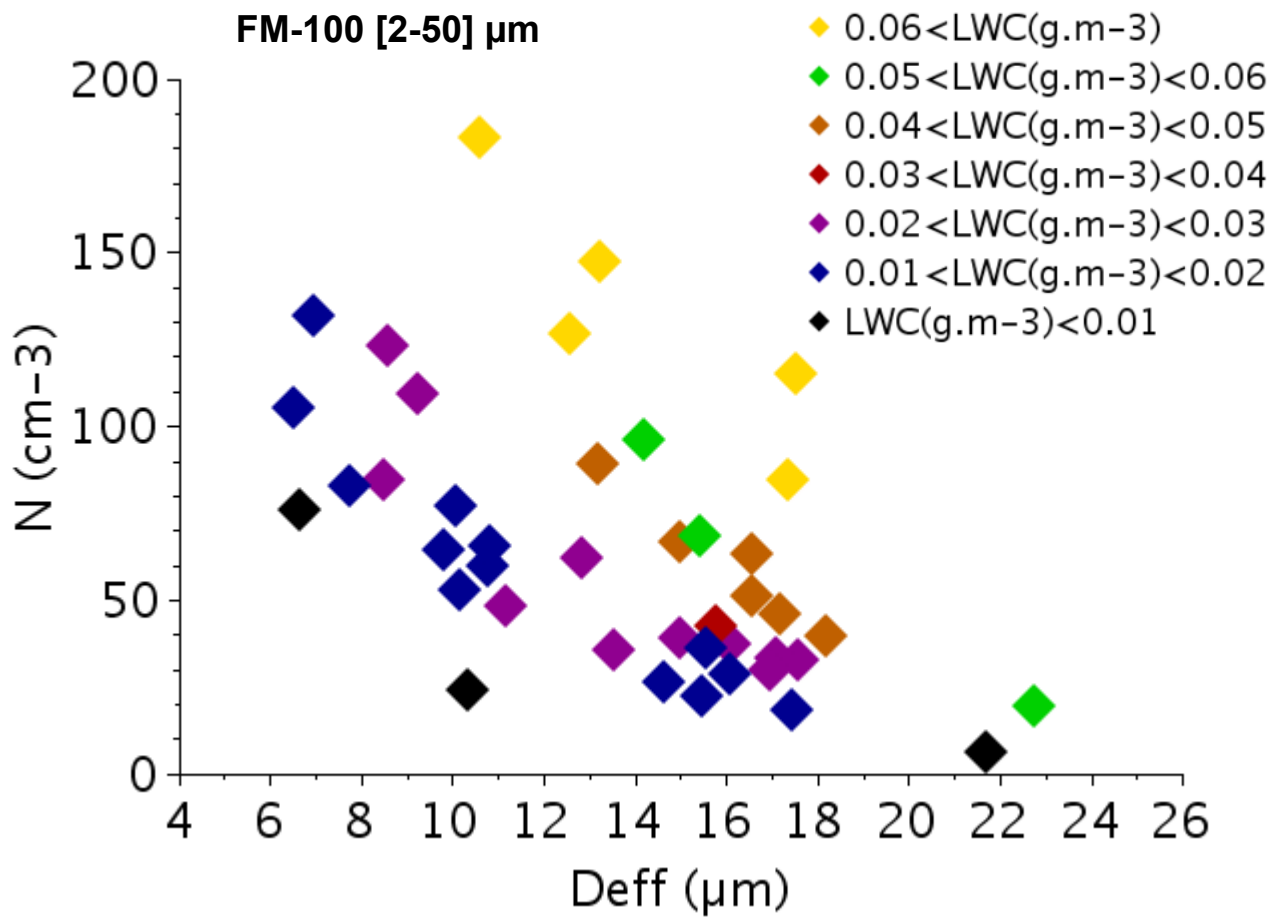
Documenter la microphysique du brouillard ([2-50] μm)



➤ Forte variabilité microphysique entre les cas



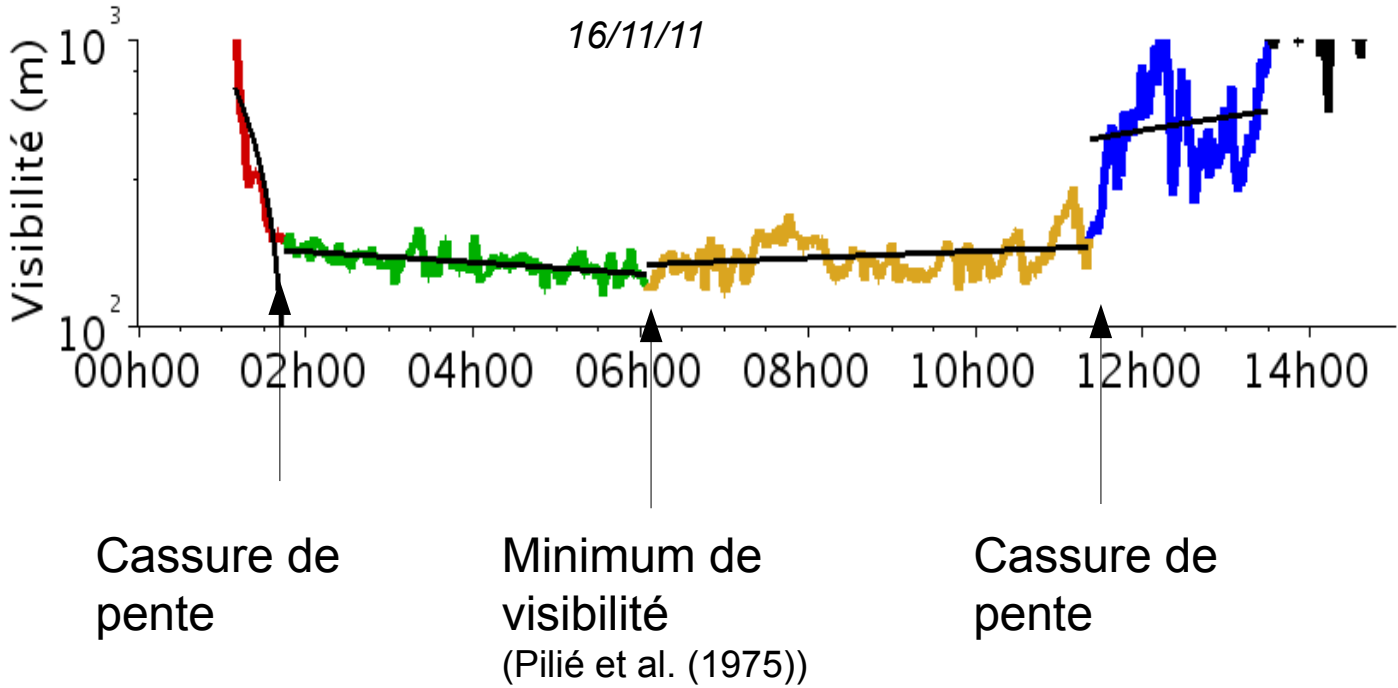
Description statistique sur tout le cycle de vie (42 cas)



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

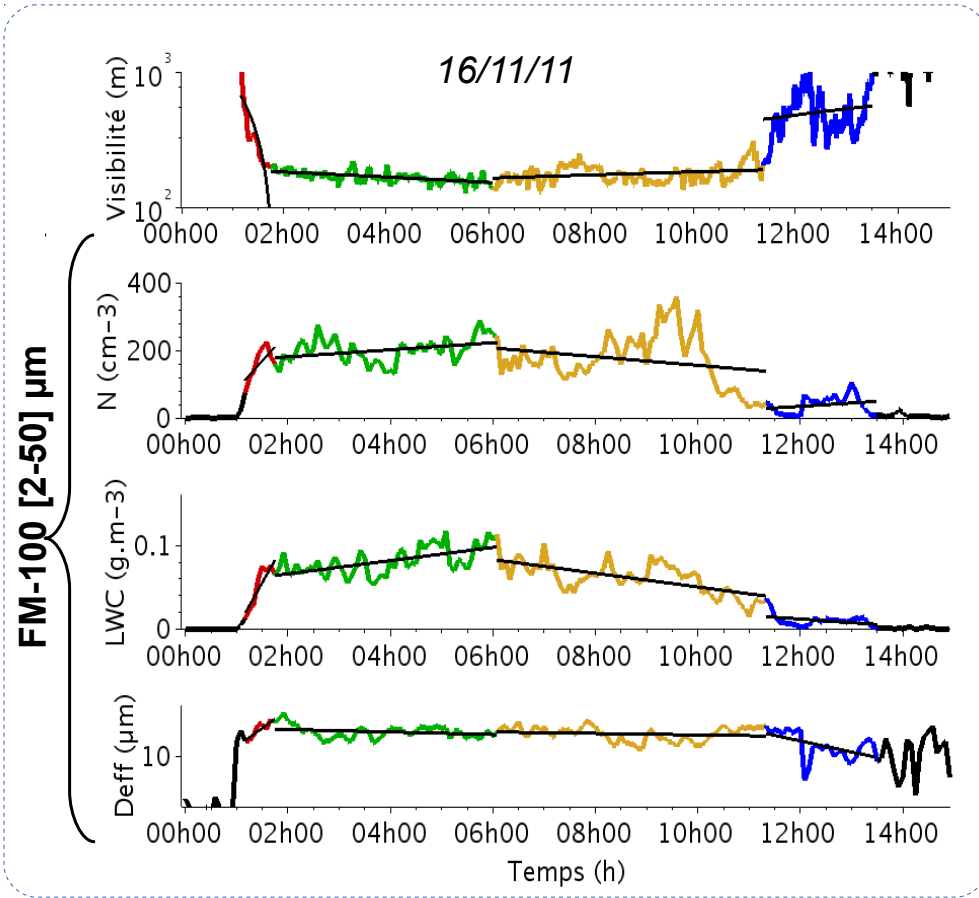


Phase de Formation

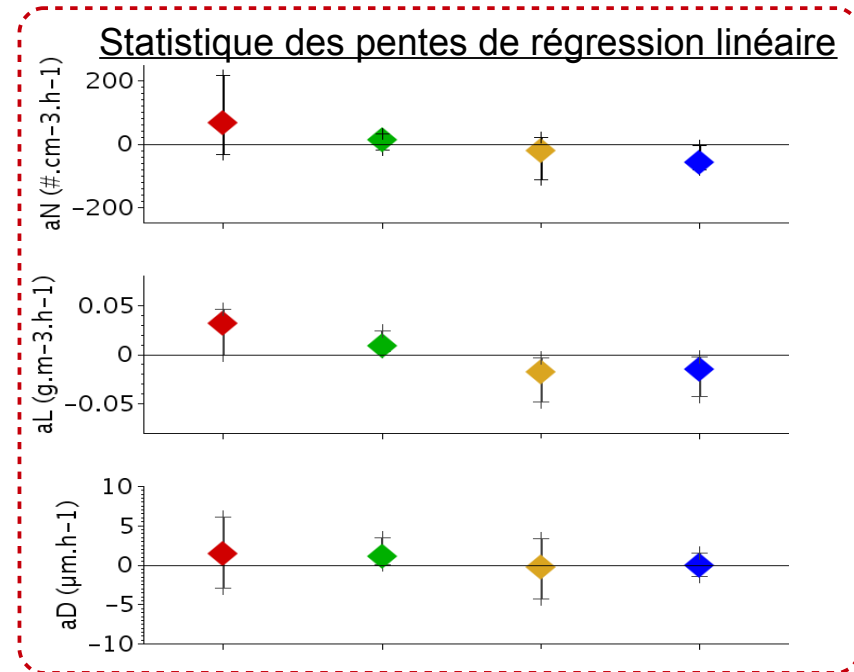
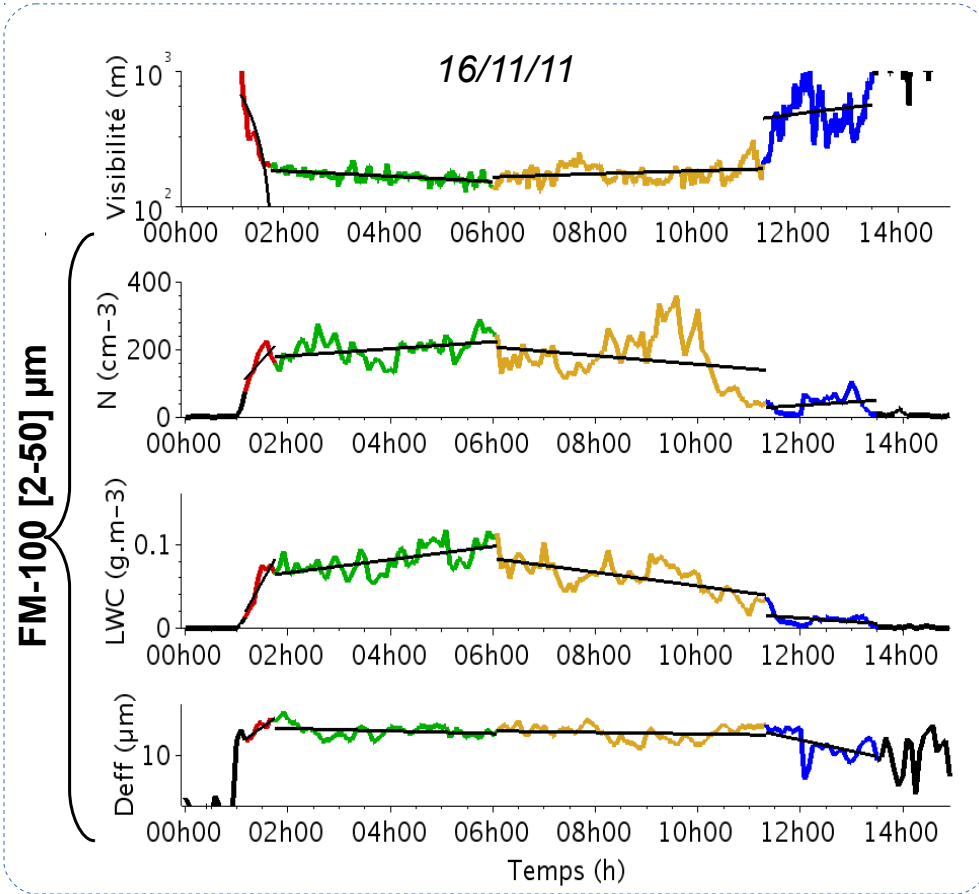
Phase Mature

Phase de dissipation

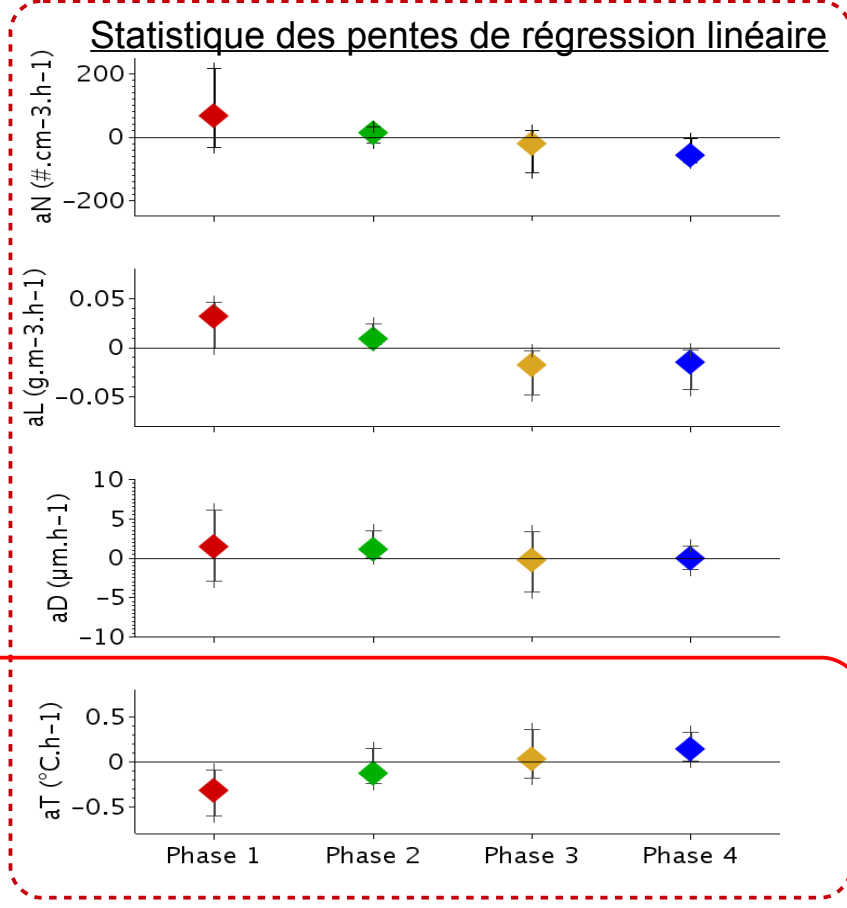
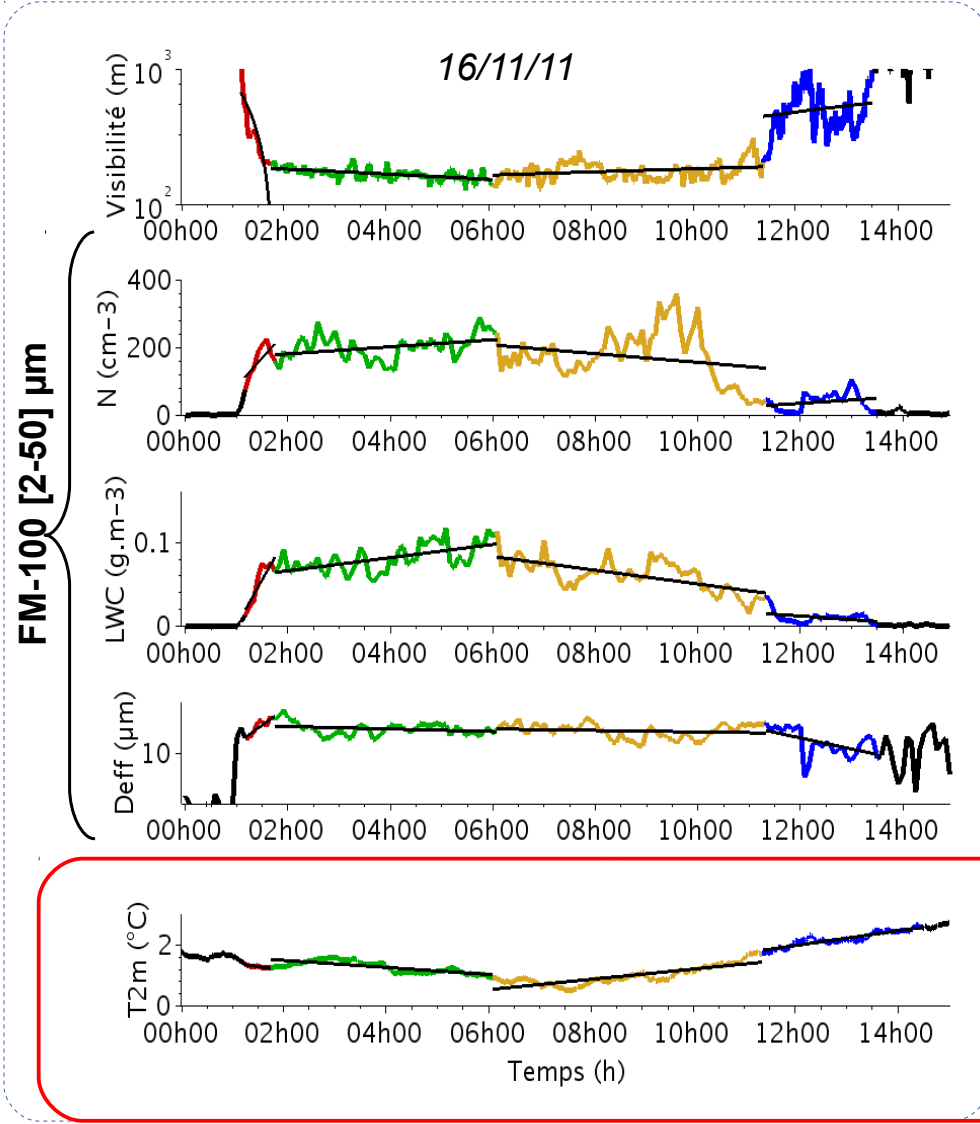
Propriétés microphysiques des phases (42 cas)



Propriétés microphysiques des phases (42 cas)

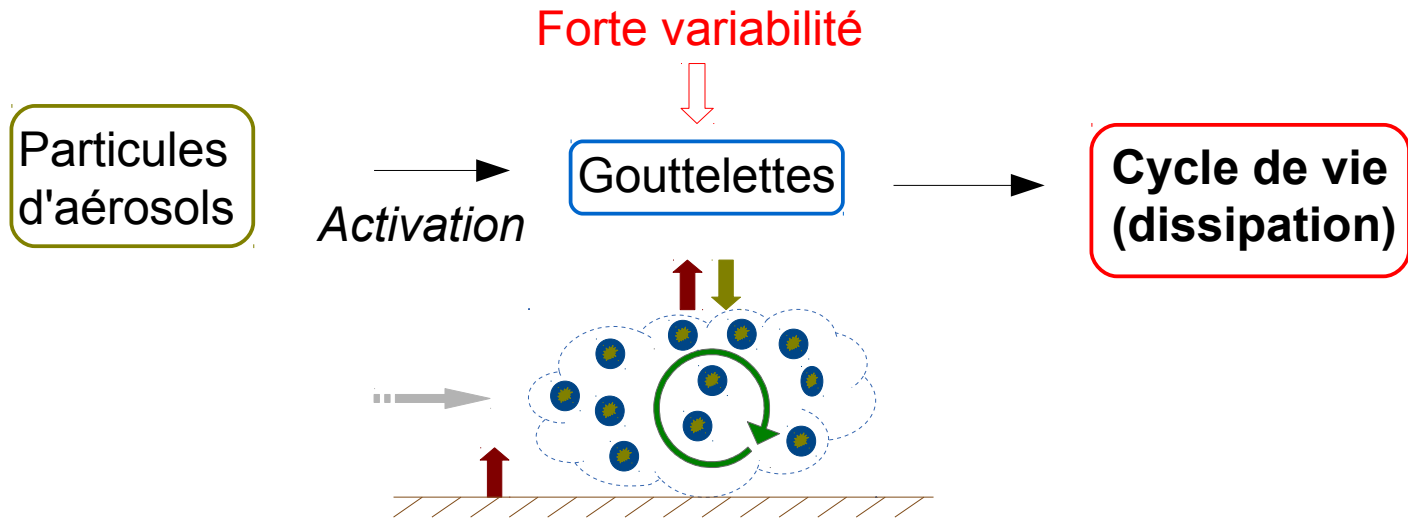


Propriétés microphysiques des phases (42 cas)

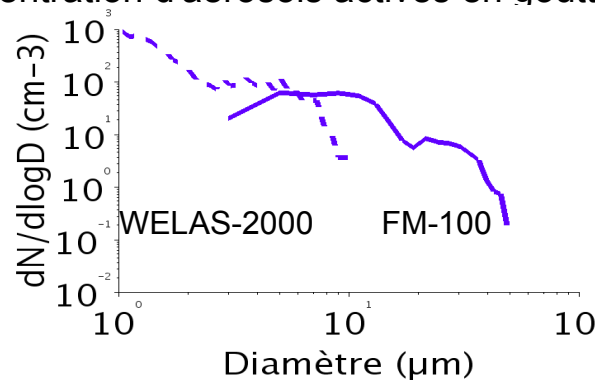


Impact de l'aérosol sur la microphysique du brouillard

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

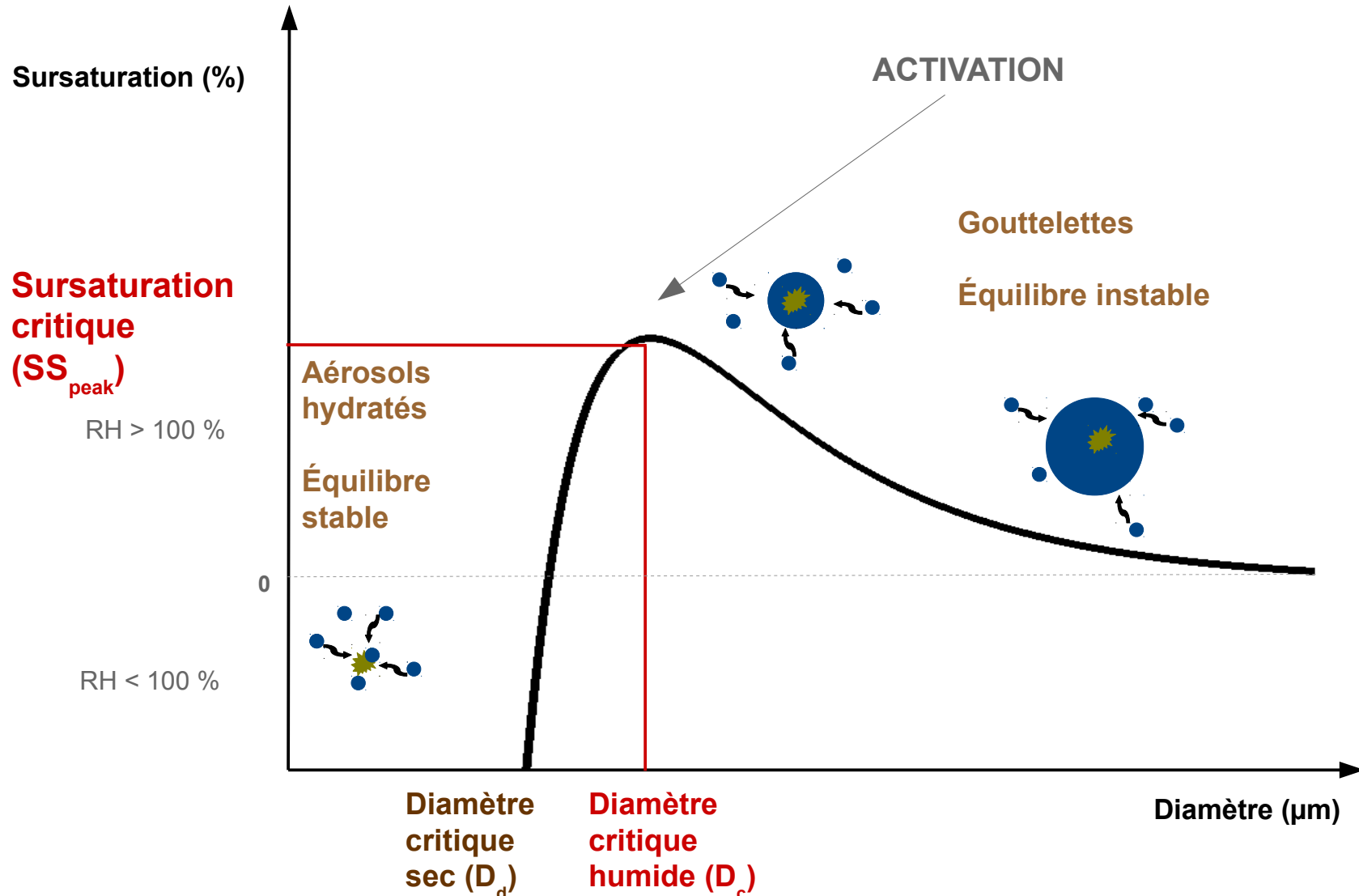


Concentration d'aérosols activés en gouttelettes ?



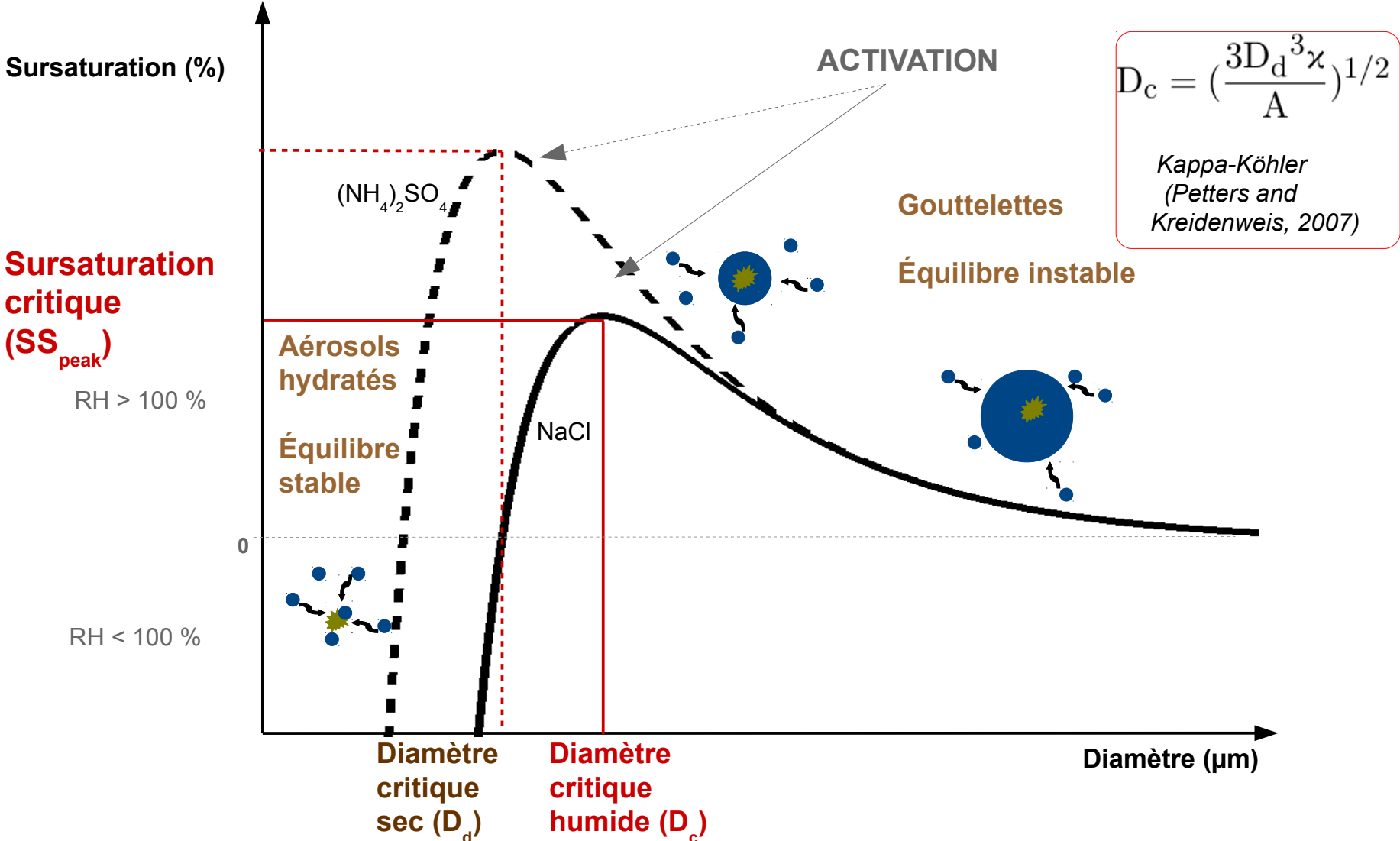
Activation des particules d'aérosols en gouttelettes

➤ 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

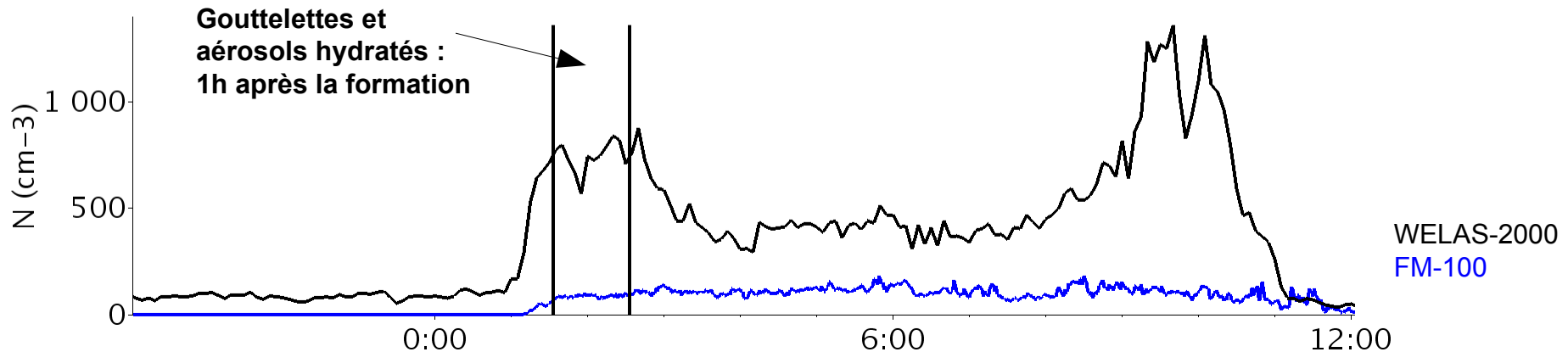
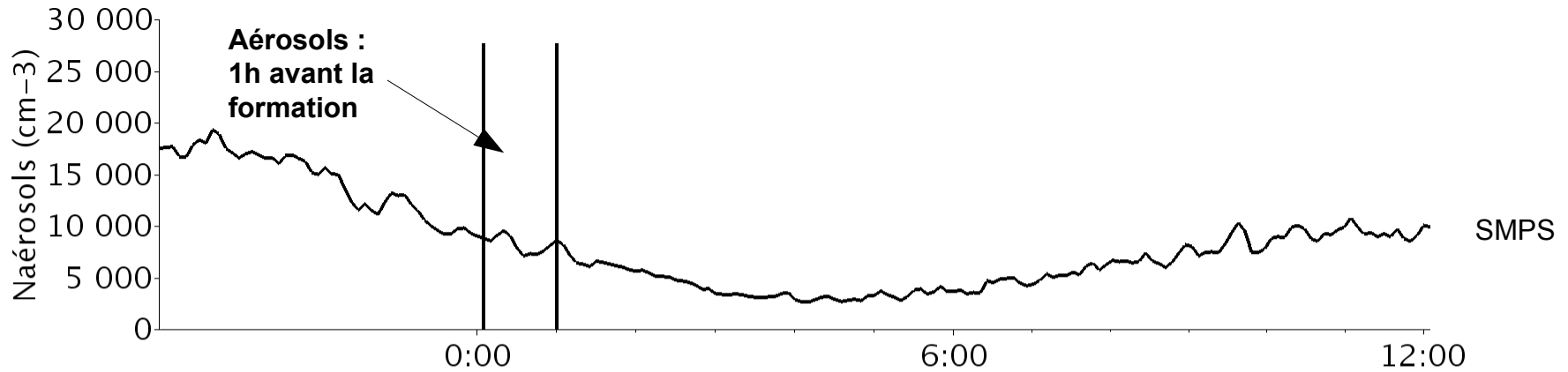
➤ Nucléation hétérogène sur certaines particules d'aérosols (CCN) : processus décrit par la théorie de l'activation de Köhler (1936)



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

› Mise au point d'une procédure itérative originale

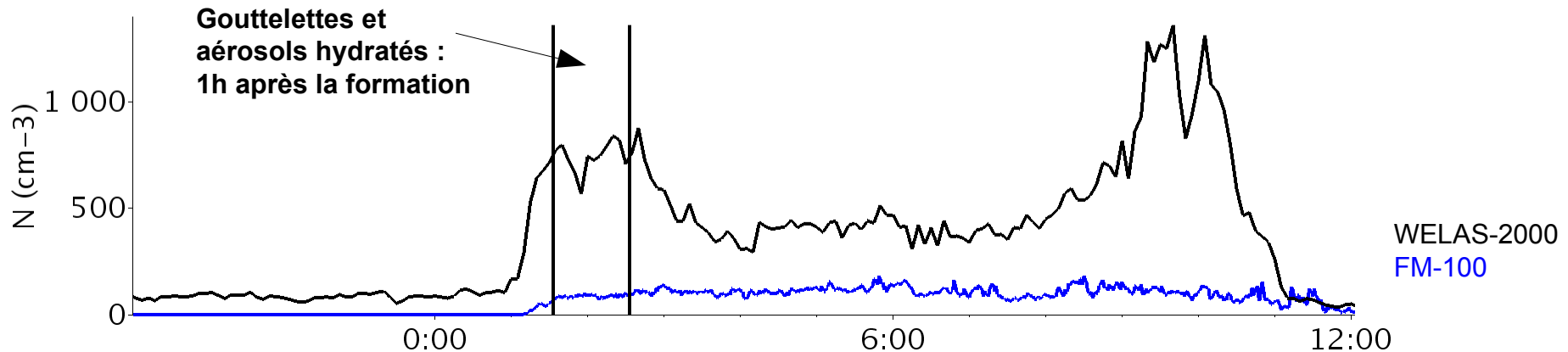
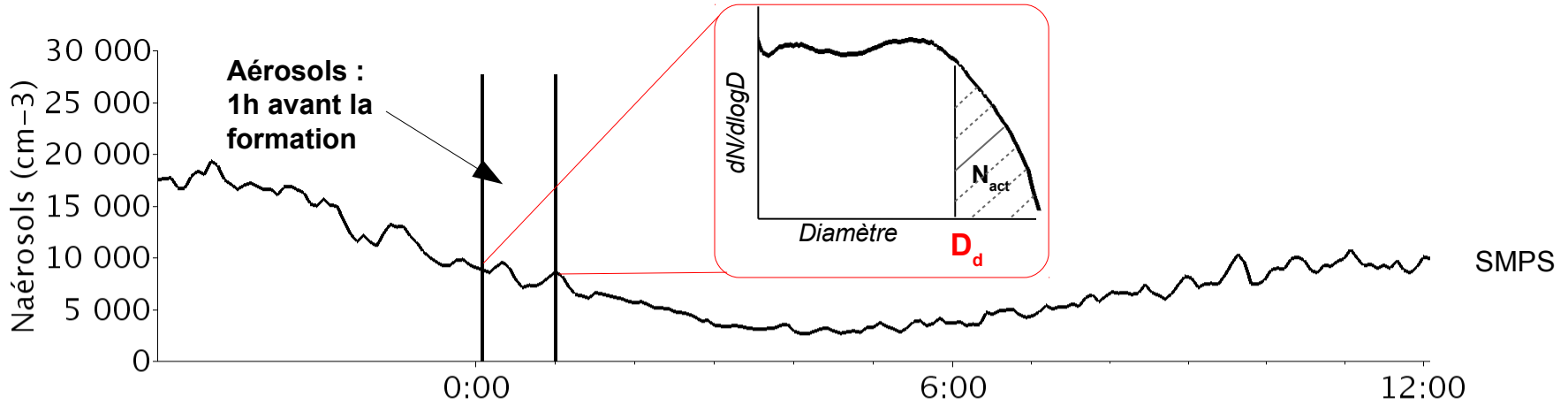
Couplage entre aérosols et gouttelettes à la formation



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

↳ Mise au point d'une procédure itérative originale

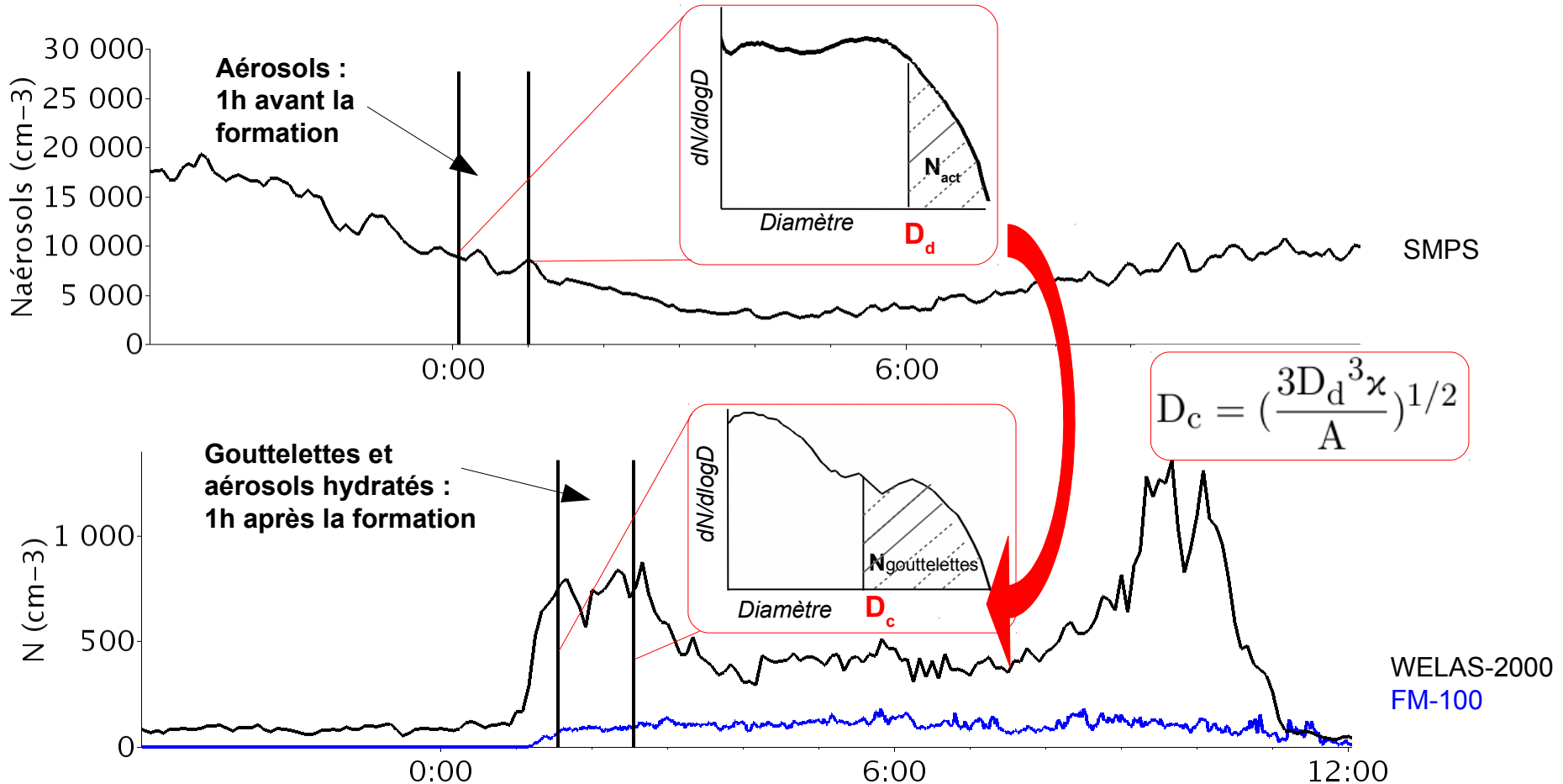
Couplage entre aérosols et gouttelettes à la formation



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

➤ Mise au point d'une procédure itérative originale

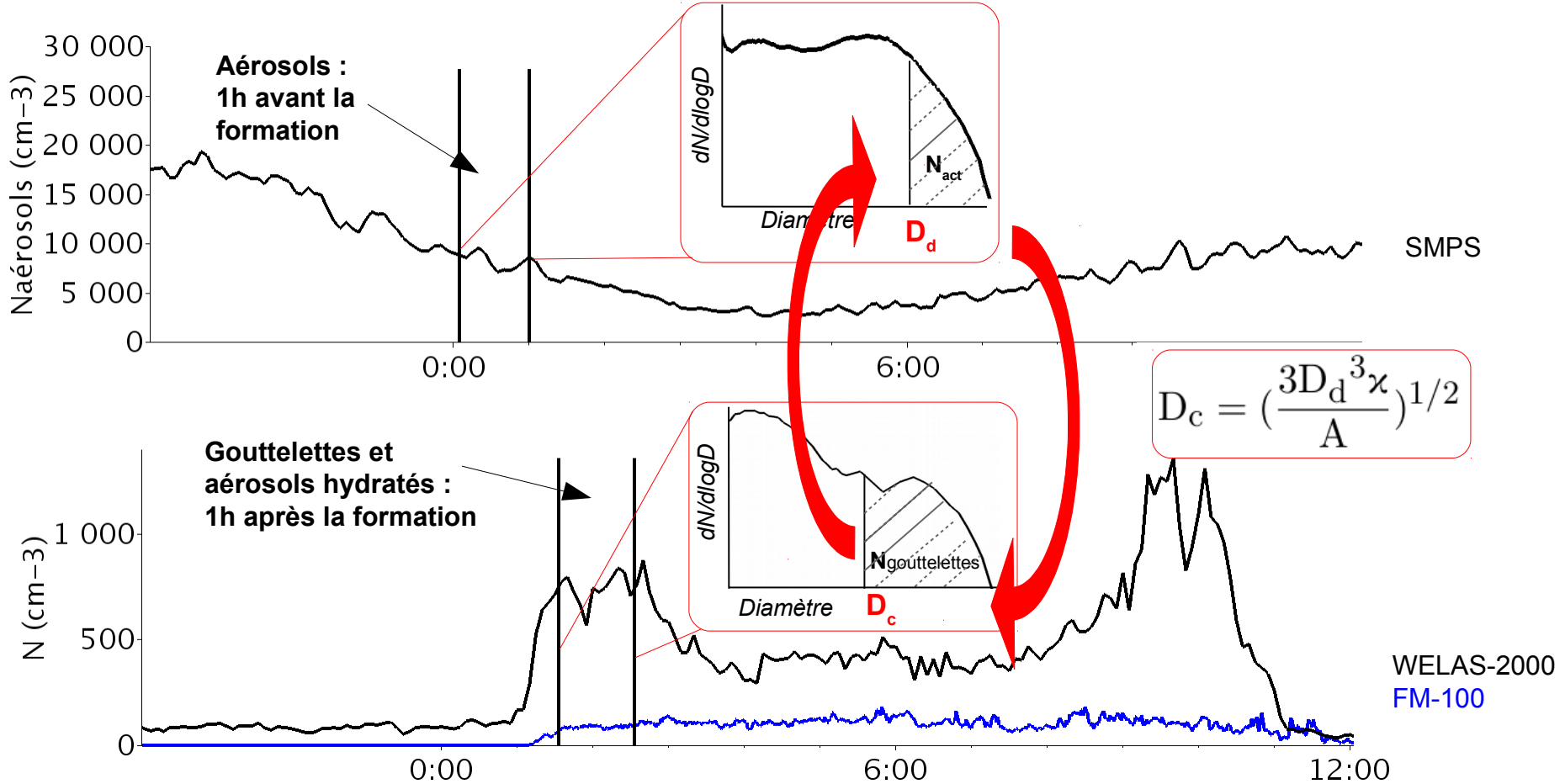
Couplage entre aérosols et gouttelettes à la formation



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

➤ Mise au point d'une procédure itérative originale

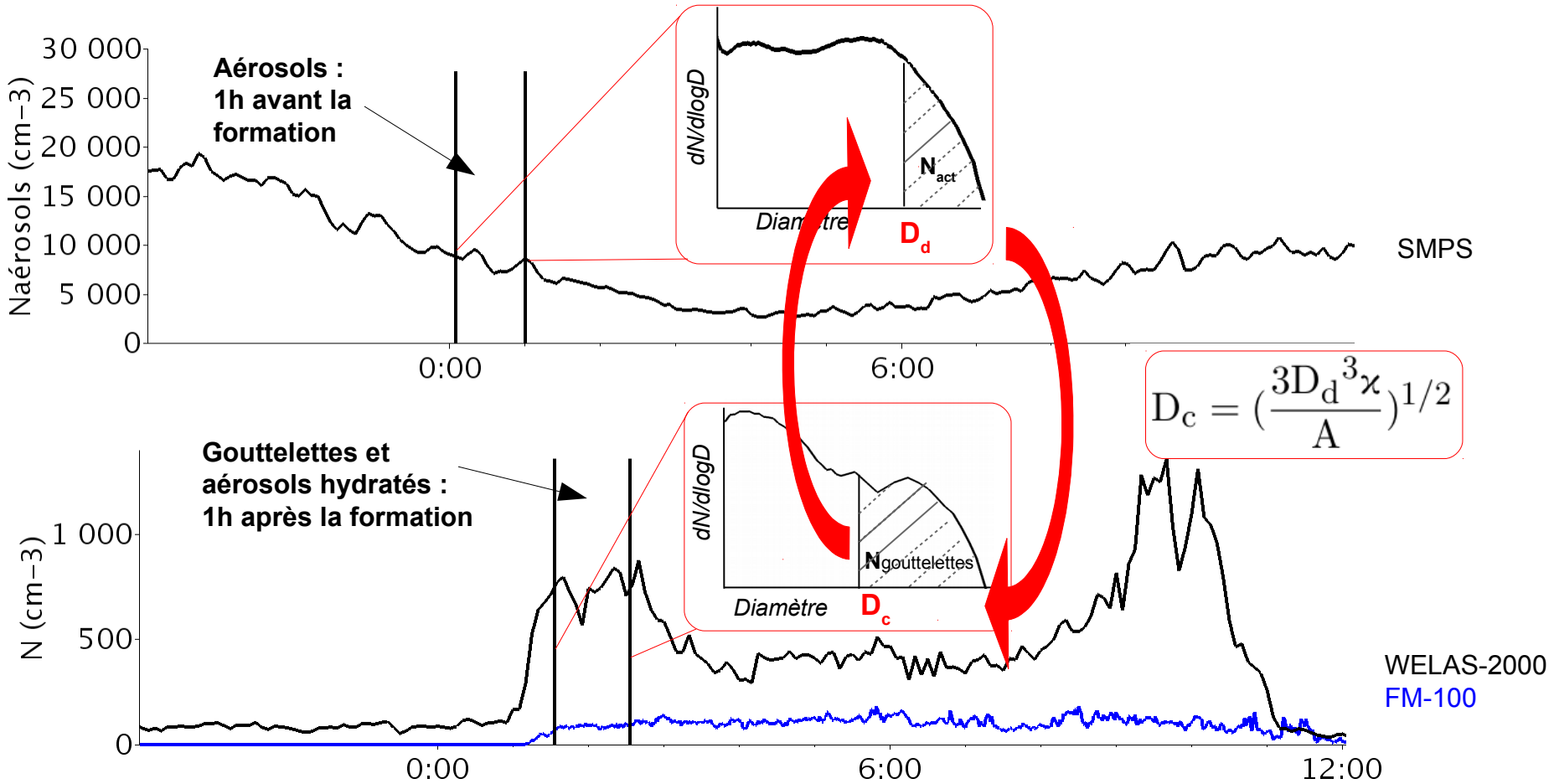
Couplage entre aérosols et gouttelettes à la formation



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 , κ , SS_{peak}

Grandeurs statistiques de l'activation

γN_{ACT} , SS_{peak} , Kappa, D_c , D_d - **23 cas**

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

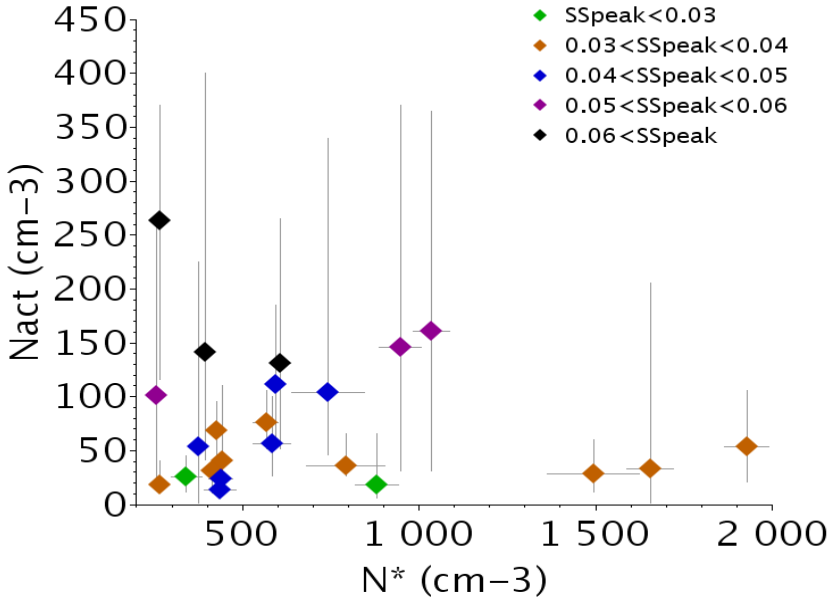
→ Pas de documentation existante

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

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

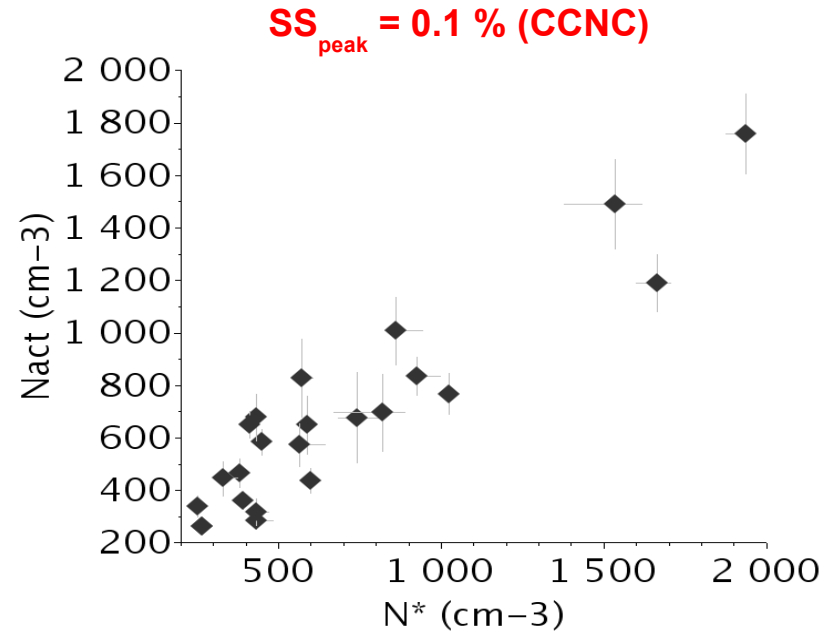
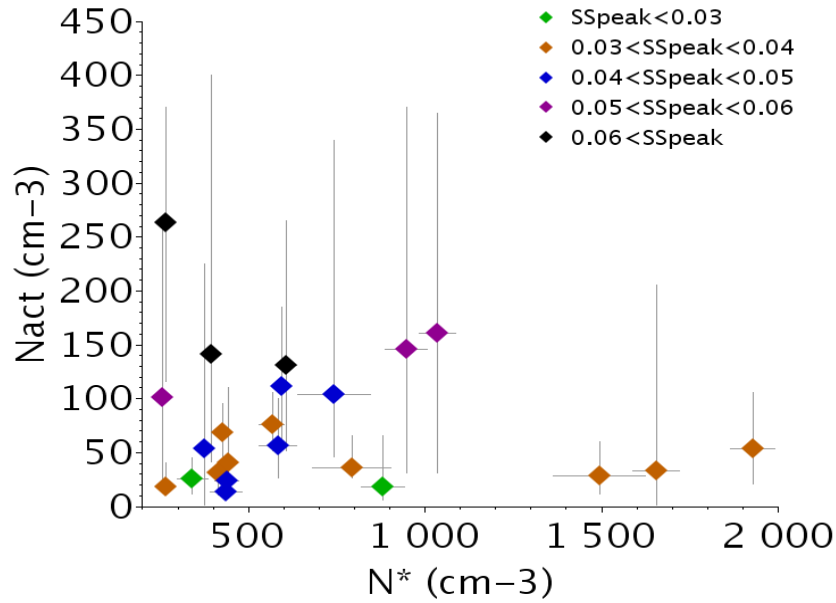
Impact de l'aérosol (disponible) sur l'activation

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



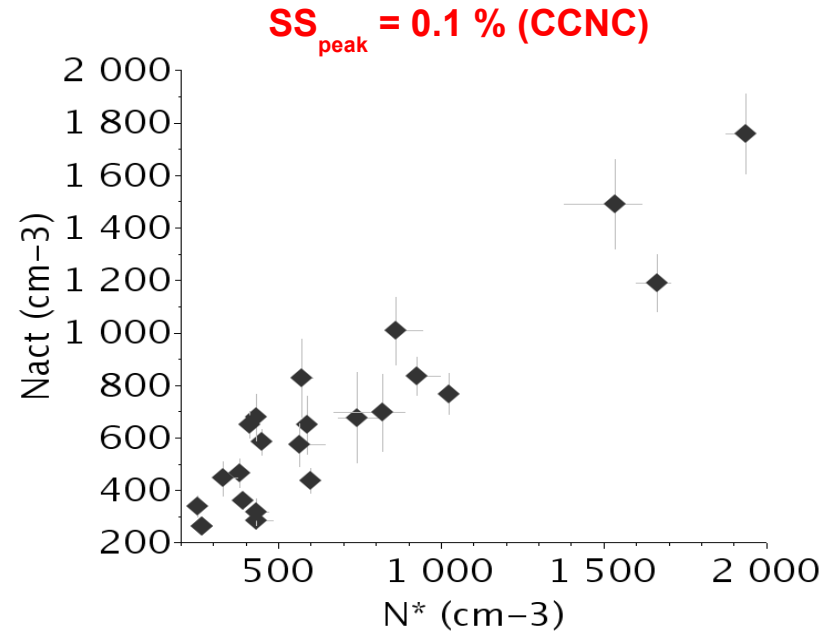
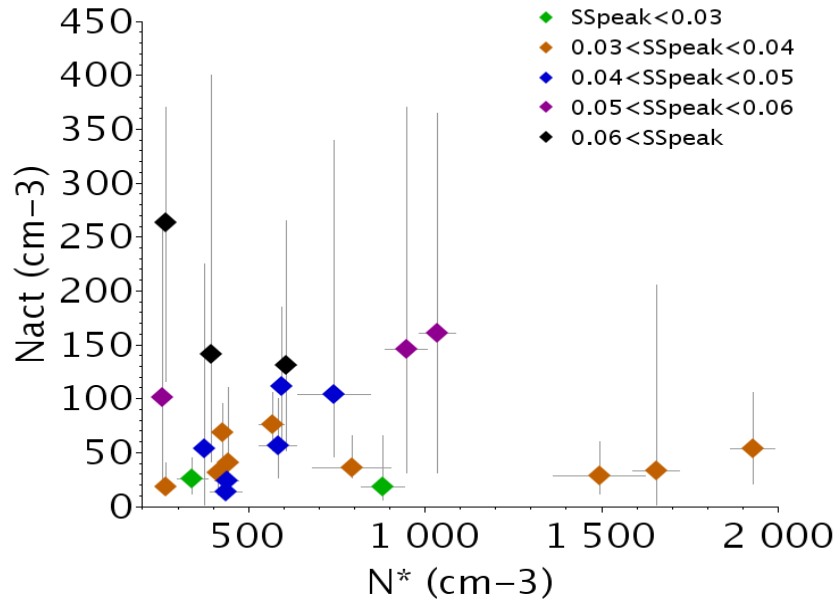
Impact de l'aérosol (disponible) sur l'activation

↳ 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 fog.

Merci de votre attention

Vers la modélisation

