

Impact du processus d'activation sur les propriétés microphysiques des brouillards et sur leur cycle de vie

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

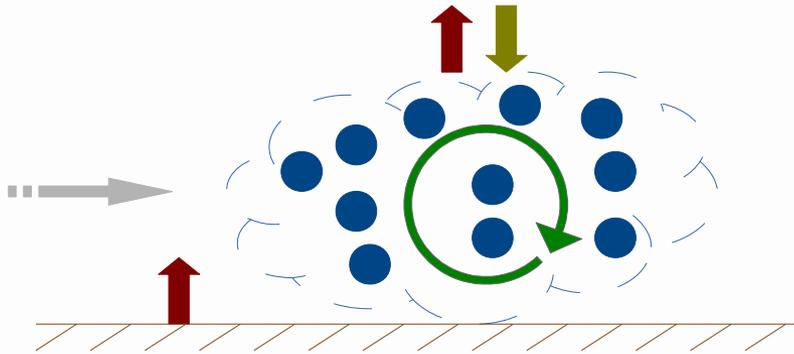
Journée du SIRTAs 22-06-2015



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

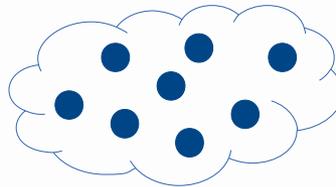
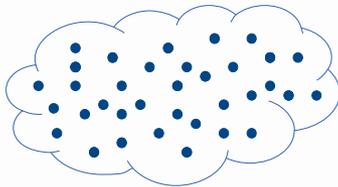
Contexte – Brouillard et microphysique

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



- › Fines échelles
- › Processus radiatifs, dynamiques, turbulents, **microphysiques**

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



- › Sédimentation
- › Rayonnement

• 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)

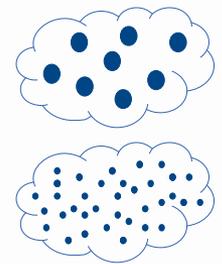
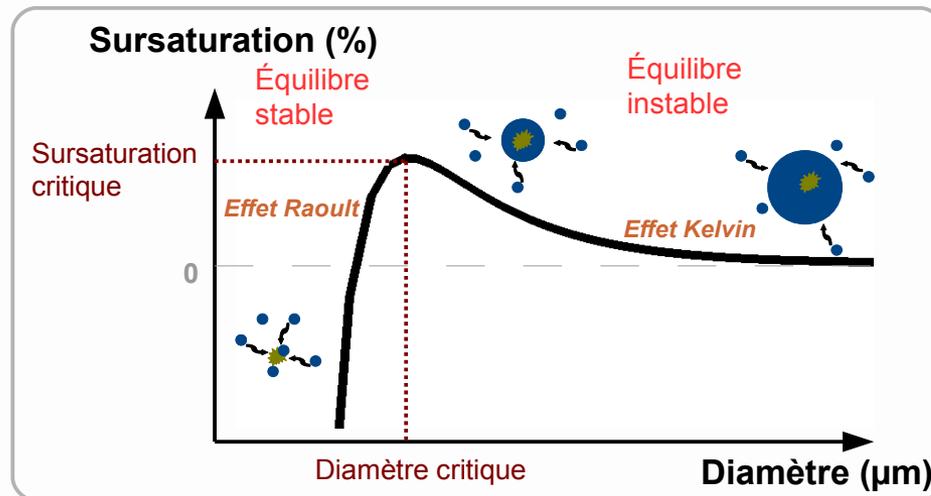
Sursaturation

- Refroidissement radiatif
- Turbulence
- Condensation/Évaporation

Gouttelettes

- Concentration

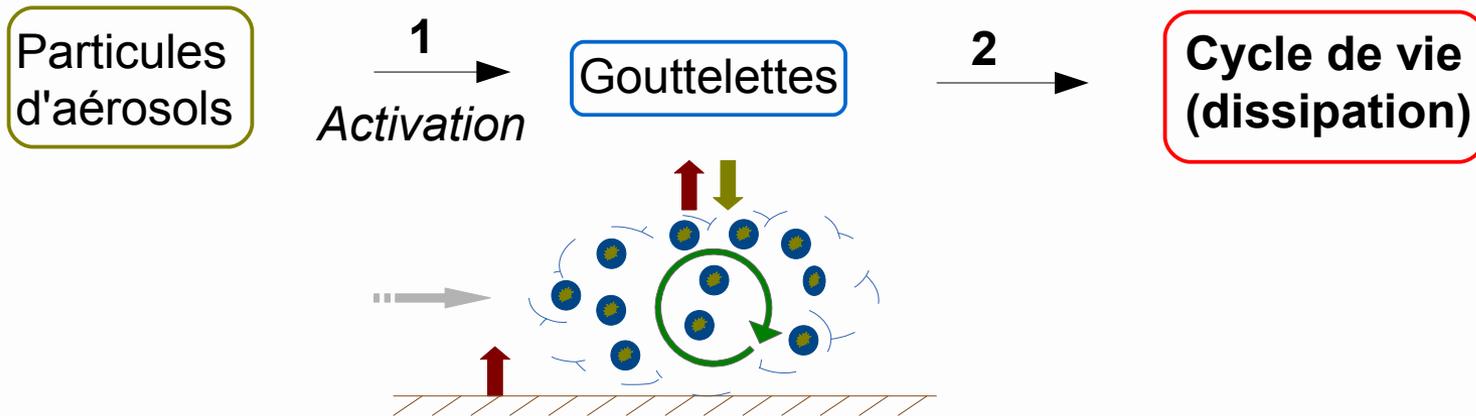
ACTIVATION



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

METHODE & MOYENS

Impact du processus d'activation sur les propriétés microphysiques des brouillards et sur leur cycle de vie



Moyens : 1. Dispositif expérimental

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

2. Simulation numérique Méso-NH

- En mode LES
- Schéma microphysique à deux moments

PLAN

Impact du processus d'activation sur les propriétés microphysiques des brouillards et sur leur cycle de vie

1. Étude expérimentale - PréViboSS hivers 2010-2013

1.1 Dispositif expérimental

1.2 Activation des particules d'aérosols (Concentration)

1.3 Evolution microphysique

2. Simulation numérique - Méso-NH en mode LES

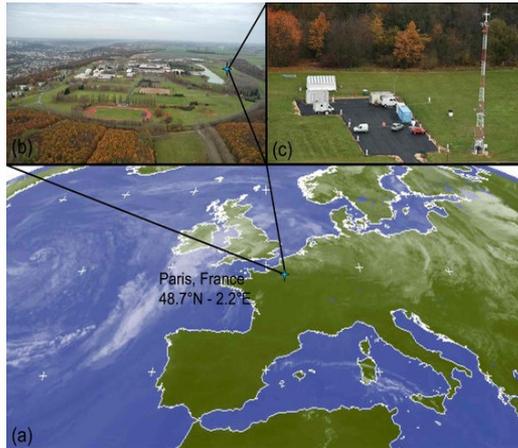
Conclusion

1.1 Dispositif expérimental

PréViboSS hiverns 2010-2013

Site du SIRTa, Palaiseau (environnement semi-urbain)

Influence de masse d'air océaniques, continentales, polluées



Mesures :

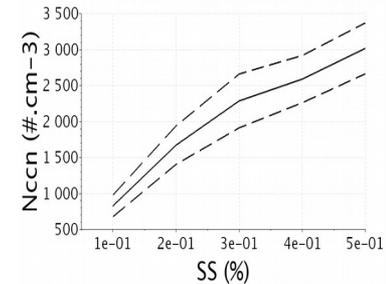
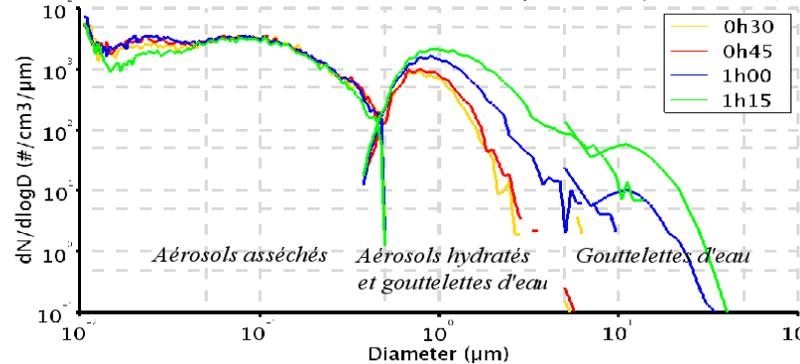
- Couche limite de surface
- Surface et sol
- Radiatif
- Télédétection
- Microphysique (2,5m)**

-Spectre granulométrique des particules d'aérosols sèches :
1 instrument (10nm – 496nm)

jusqu'aux gouttelettes d'eau :
2 instruments (0.4µm - 50µm)

-Fraction de CCN parmi les aérosols (hygroscopicité) à différentes sursaturations

2011-11-16 Particles distribution from aerosol to droplets (SMPS, Palas-Welas, Fog Monitor)



> 114 cas de brouillard dont 102 radiatifs et d'affaissement de stratus

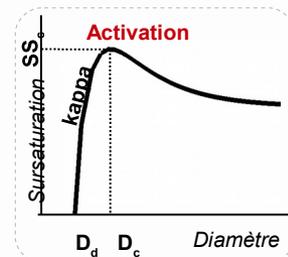
- + Instrumentation « humide » : 48 cas
- + Instrumentation « sèche » : 29 cas

1.2 Activation des particules d'aérosols à la formation

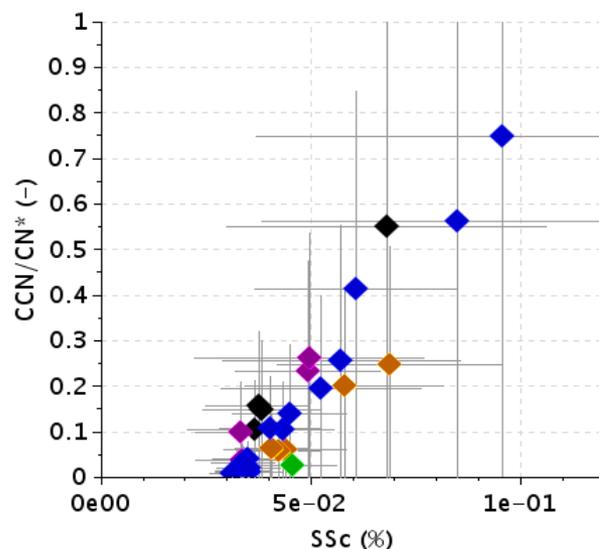
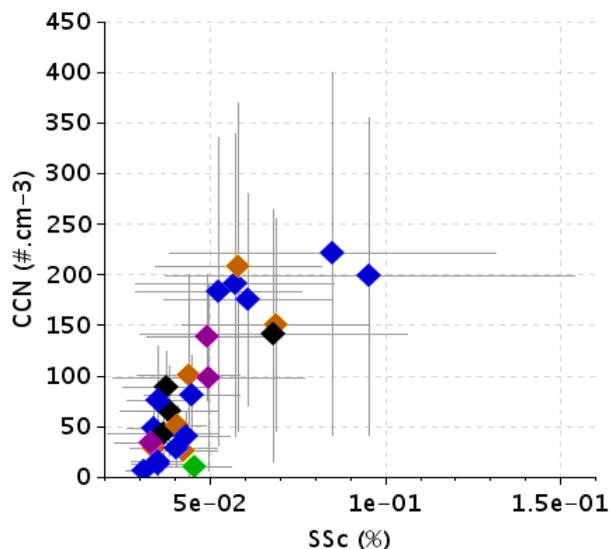
Détermination de N_{CCN} , S_c , Kappa, D_c , D_d - 29 cas



Utilisation de quatre instruments CCNC, SMPS, Palas Welas et Fog Monitor et théorie de Kappa-Köhler (Petters and Kreidenweis (2007))



- Concentration de CCN dans le brouillard $\sim 100\#.cm^{-3}$
- Sursaturation faible $\sim 0,05\%$
- $D_d \sim 0,4\ \mu m$, activation des plus gros aérosols
- Kappa (affinité de l'aérosol avec l'eau) faible $\sim 0,17$: influence de la pollution locale



- ◆ $0.25 < \text{Kappa}$
- ◆ $0.2 < \text{Kappa} < 0.25$
- ◆ $0.15 < \text{Kappa} < 0.2$
- ◆ $0.1 < \text{Kappa} < 0.15$
- ◆ $\text{Kappa} < 0.1$

$CN^* = CN(200nm-500nm)$
Particules activables

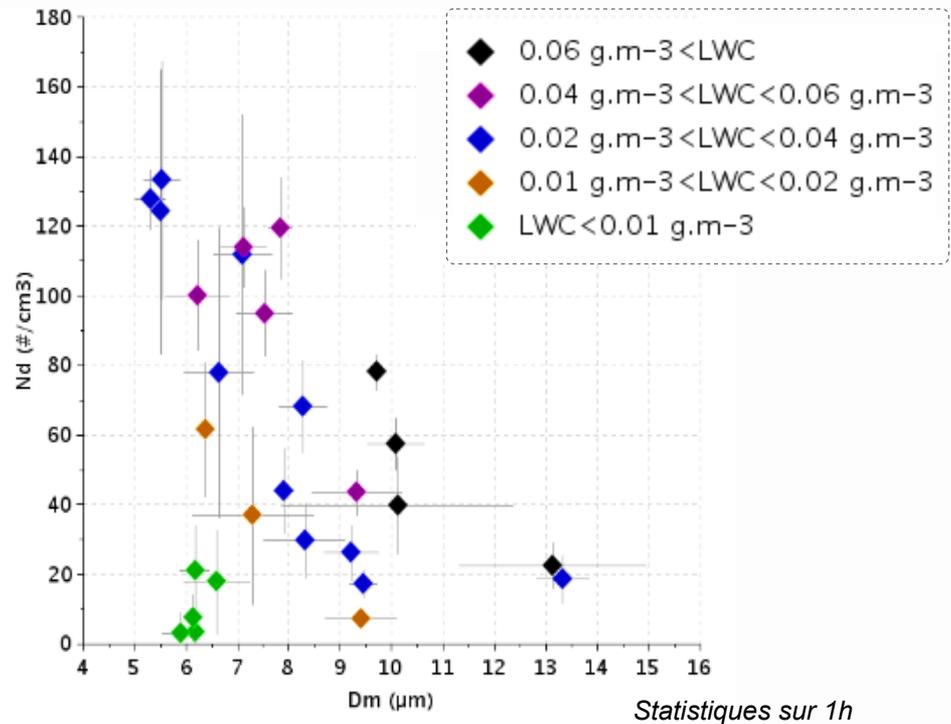
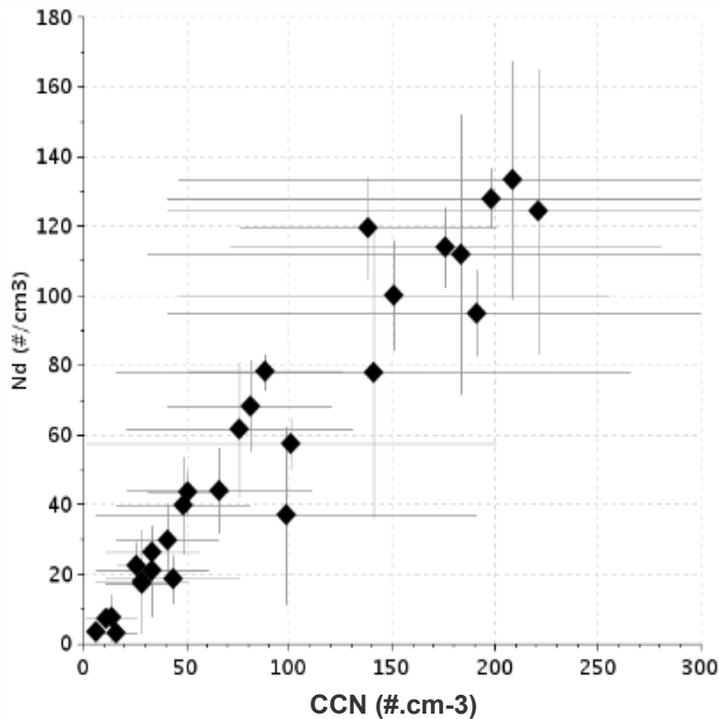
- Impact majeur de la sursaturation sur la concentration de CCN
- Impact fort de la concentration de particules d'aérosols (CN) et secondaire de la chimie des particules (sursaturation modulée par la distribution de particules d'aérosols)

1.2. Microstructure du brouillard à la formation

Particules d'aérosols



Gouttelettes



➤ Pour une même quantité d'eau liquide plus la concentration de gouttelettes activées est importante plus la taille des particules est faible (1^{er} effet indirect)

1.3 Evolution microphysique

48 cas

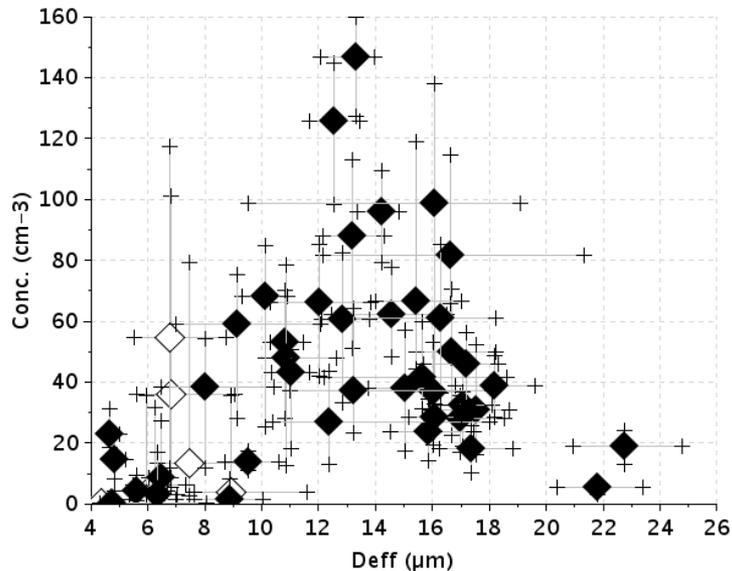
Gouttelettes



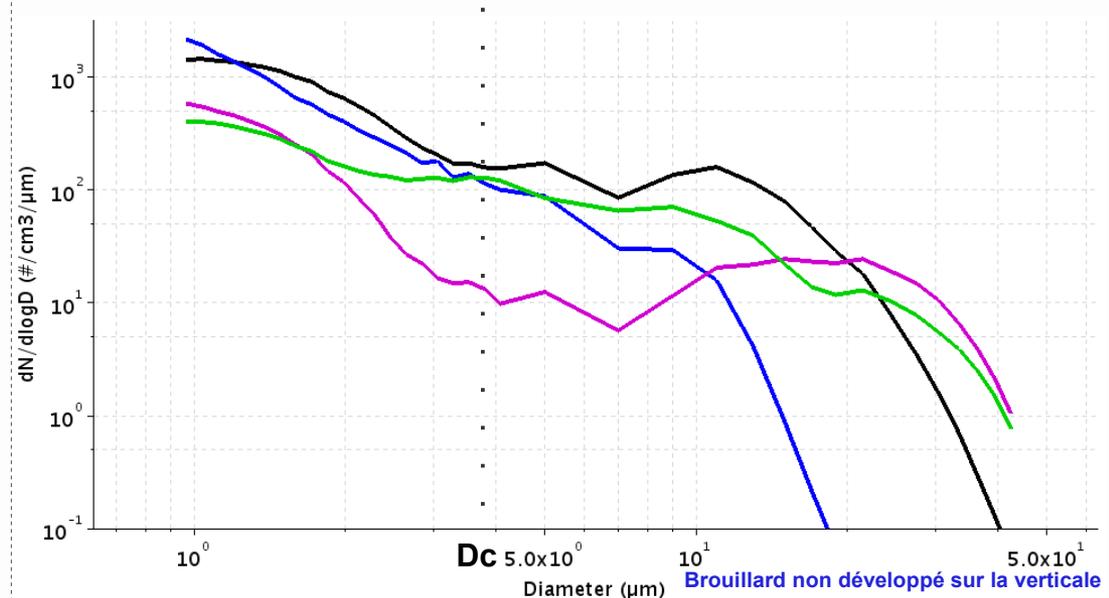
Cycle de vie

➤ 7 nappes de brouillard, 3 nappes se développant sur la verticale, 38 brouillards développés

[2-50]µm, statistiques sur toute la durée des épisodes



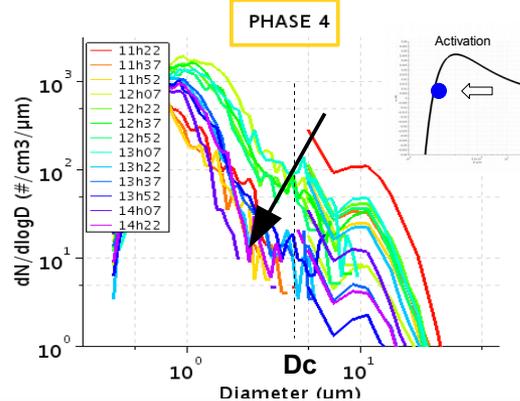
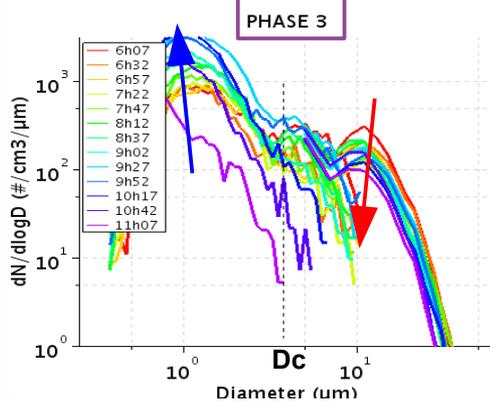
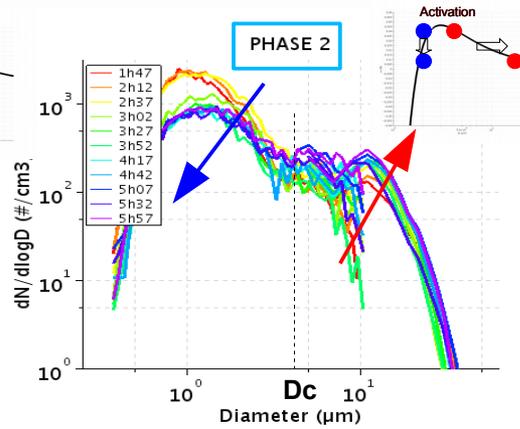
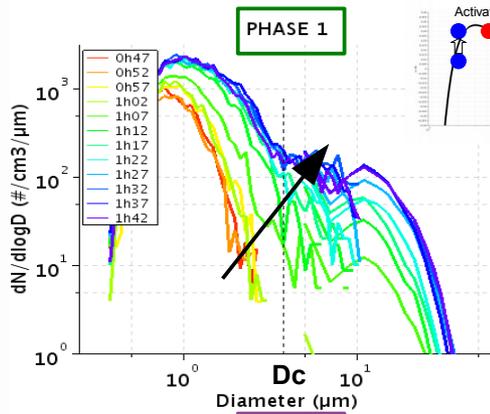
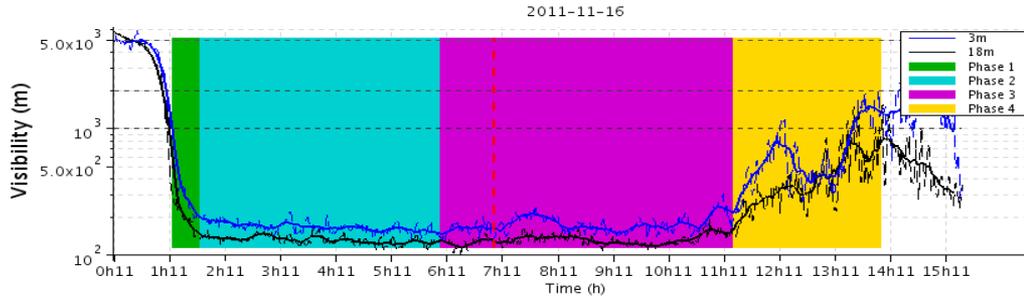
Distribution granulométrique des particules hydratés et des gouttelettes [1-50]µm



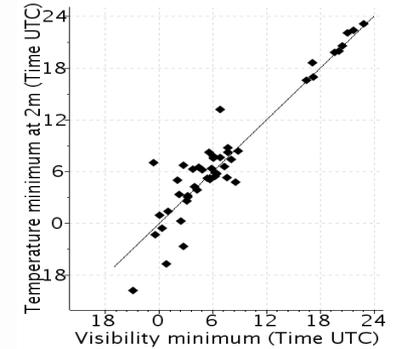
- Très grande diversité de cas
- Cas avec plusieurs modes de gouttelettes
- Cas avec mode de grosses gouttelettes
- Mode plus fin pour les brouillards non développés sur la verticale

1.3 Brouillards développés (38 cas)

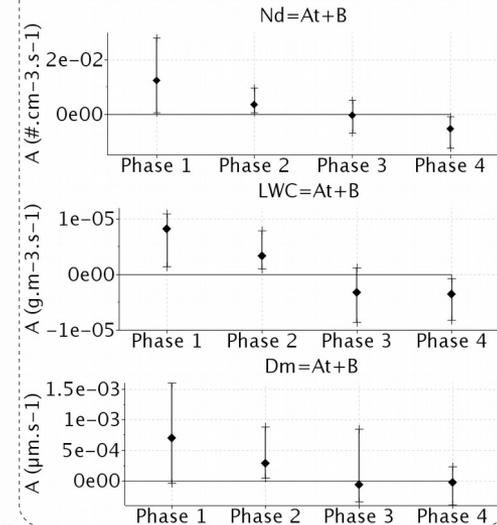
Découpage en phases basées sur l'évolution de la visibilité



Minimum de visibilité correspond au minimum de température à 2m



Nd, LWC, Dm évolution temporelle
Quartiles des pentes (38 cas)

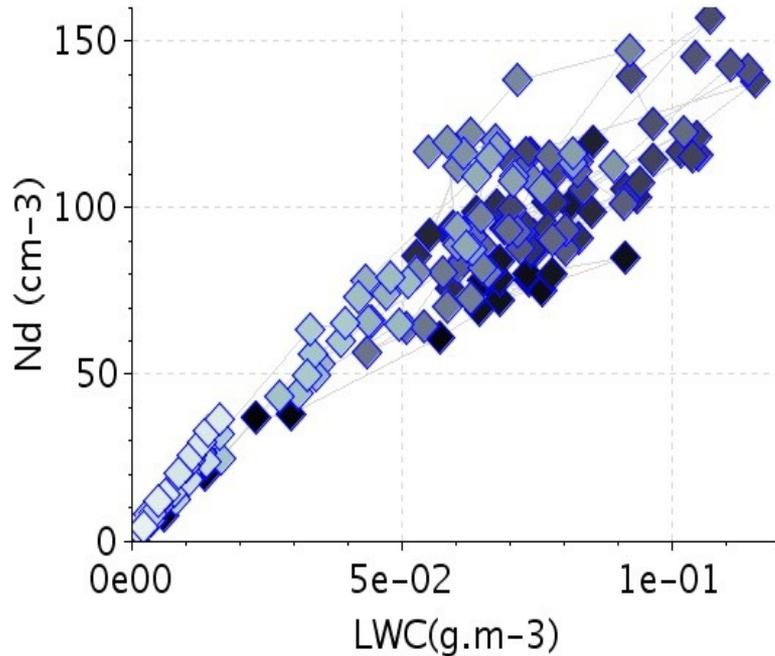


- Mode de gouttelettes stable
- 4 phases 4 évolutions distinctes

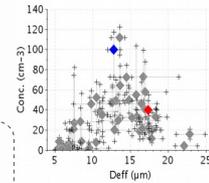
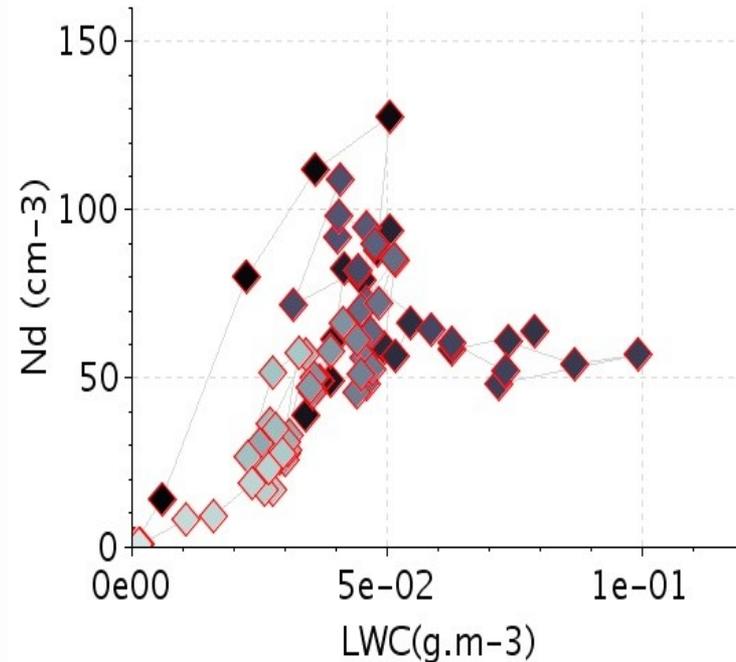
1.3. Evolution de la microphysique : processus

Evolution croisée de LWC et Nd

Brouillard radiatif à 1 mode

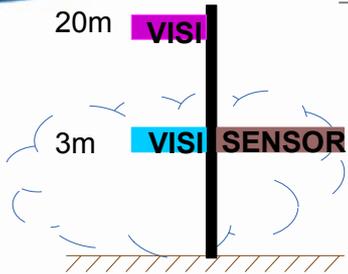


Brouillard radiatif à 2 modes

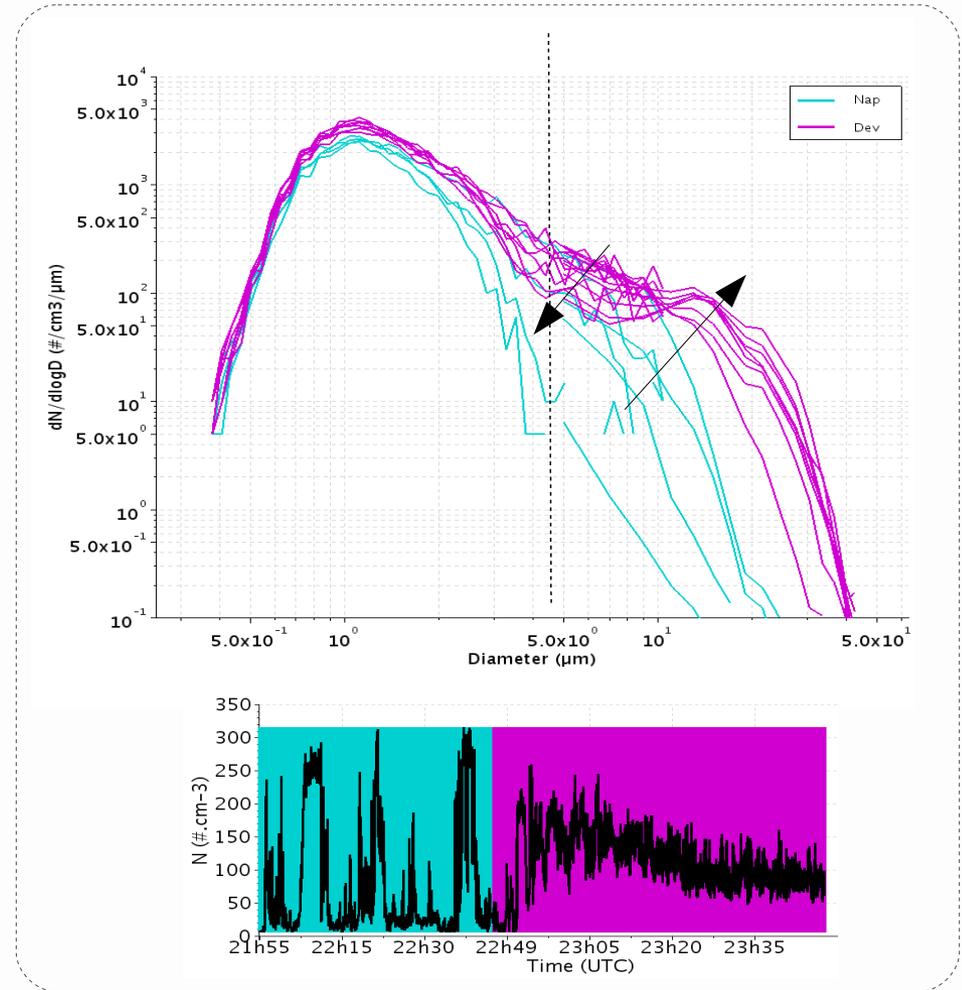
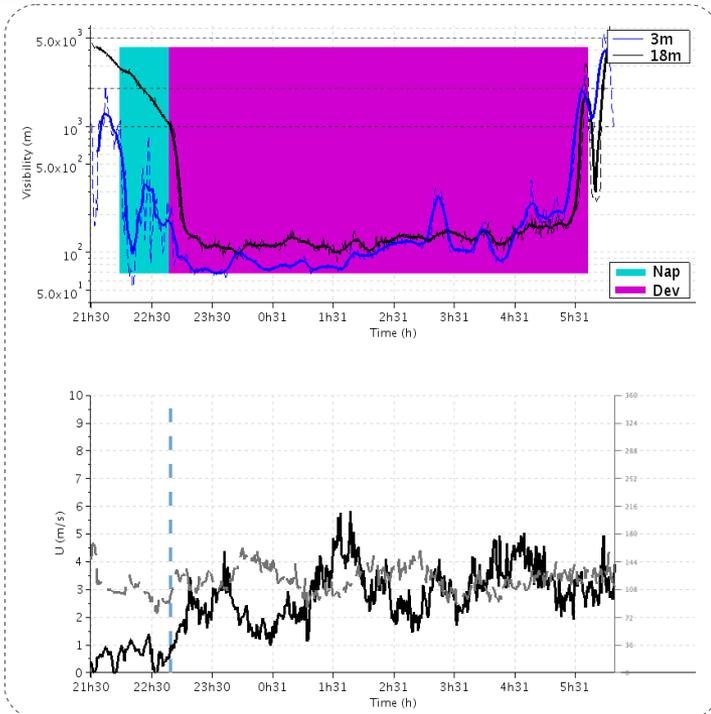


- › Processus d'activation/condensation important
- › Mais apparition de coalescence
- › Pour la dissipation : Évaporation et désactivation

1.3. Zoom sur les nappes de brouillard se développant sur la verticale



Nappes
~Étude du
sommet des
brouillards



- Élargissement du mode de gouttelettes lié au développement vertical
- Nappes de brouillard : mélange avec de l'air clair ?

1 (Bergot, 2012 et Nakanishi et al., 1999: instabilité de Kelvin-Helmoltz au sommet du brouillard)

2. SIMULATION MESO-NH EN MODE LES

Cas idéal : $\Delta x \sim 5\text{m}$, $\Delta z \sim 1\text{m}$, $\Delta t \sim 0,05\text{s}$, 200×200 , **surface homogène**

- Schéma microphysique à deux moments KHKO (r,N) (Cohard et Pinty (2002), Geoffroy (2007))
- Schéma pseudo-prognostique pour la paramétrisation de la sursaturation (O.Thouron (2012))

Schéma actuel : ajustement à la saturation. Maximum de saturation doit être atteint à chaque pas de temps, ne convient pas pour des résolutions fines (10m, 1s). Adapté pour des mailles sans liquid water content (LWC) initialement.

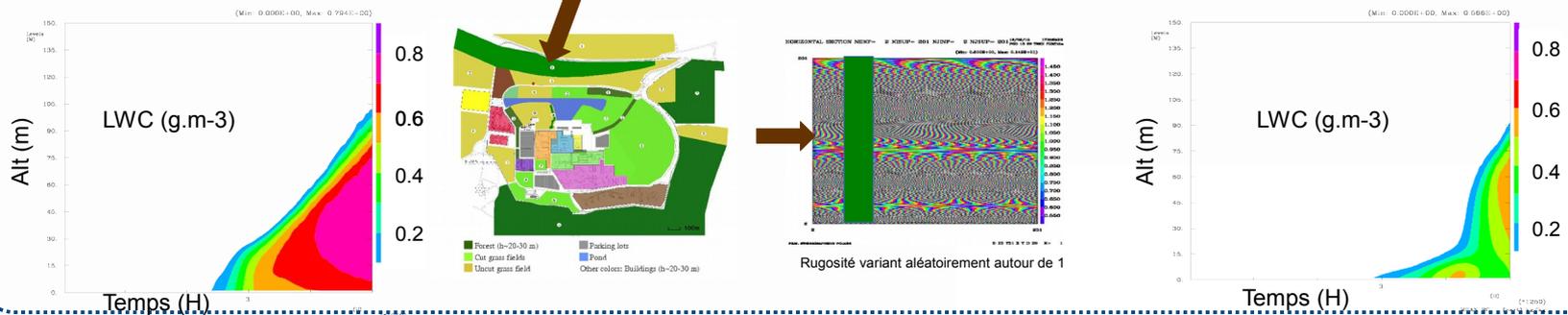
Choix d'un cas de brouillard à simuler : Cas 1 mode de gouttelette – 15/11/11

Objectifs :

1. Valider et adapter le nouveau schéma pour la sursaturation
-Activation et cycle de vie du brouillard (phases)
2. Modifier les propriétés des particules d'aérosols en entrée
(distribution, hygroscopicité) et étude de l'impact sur le cycle de vie

Difficulté: Turbulence en couche stable → Stratification trop forte
→ LWC beaucoup trop important

Solution: Introduction d'un effet de trainée des arbres (Aumond et al. (2013))



CONCLUSION/PERSPECTIVES

Impact du processus d'activation sur les propriétés microphysiques des brouillards et sur leur cycle de vie

Étude expérimentale

Analyse des données microphysiques fournies par 4 instruments et obtenues durant trois saisons hivernales (48 cas)

- Détermination des valeurs de sursaturation ($\sim 0,05\%$) et des concentrations de CCN ($\sim 100\#\cdot\text{cm}^{-3}$) dans le brouillard
- Activation ; 1^{er} ordre : sursaturation - 2^{ième} ordre : Distribution d'aérosols - 3^{ième} ordre : chimie
- Décomposition du brouillard en 4 phases
- Processus dominant activation/condensation – désactivation/évaporation
- Mélange au sommet du brouillard ?
- *Deux articles en cours d'écriture*

Simulation numérique

- Surface hétérogène et inclusion d'arbres afin de créer du mélange turbulent
- Test et modification du schéma de sursaturation pseudo-prognostique pour le brouillard
- Étude de l'impact de l'aérosol sur le cycle de vie du brouillard

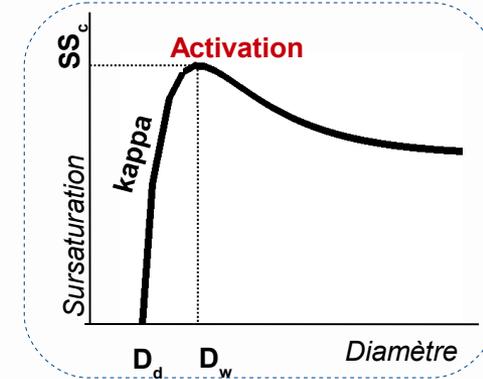
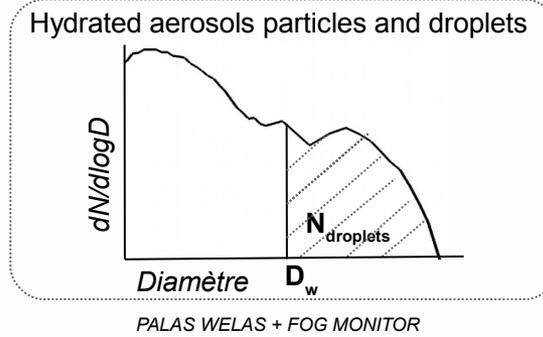
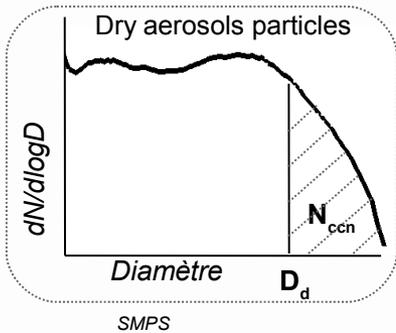
A misty mountain landscape with dense evergreen forests and a thick layer of fog or low clouds filling the valleys. The scene is captured in a cool, blue-toned palette, with the fog creating a soft, ethereal atmosphere. The trees are silhouetted against the lighter mist, and the overall composition is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

Merci de votre attention

Détermination de N: Étude de l'activation à la formation

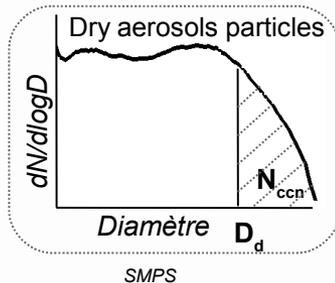
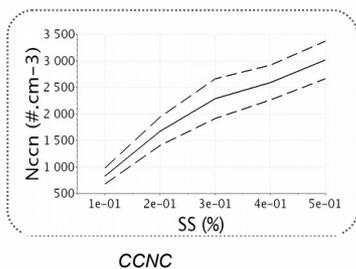
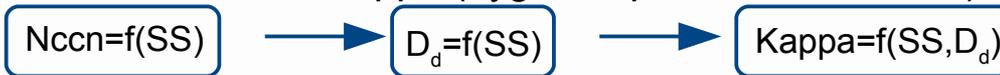
Détermination des paramètres de l'activation (SS_c , D_w , $Kappa$, D_d , N_{act})

➤ Itération sur Nccn pour déterminer les paramètres de l'activation



Kappa-Köhler
(Petters and Kredenweis, 2007)

➤ Détermination de Kappa (hygroscopicité des aérosols)



$$\kappa = \frac{4A^3}{27D_d^3 \ln^2 SS_c}$$

Kappa-köhler

$SS < 0,1\%$ dans le brouillard (Hudson, 80)
Détermination de deux Kappa : $Kappa_{1\%}$

