



# Simulation des interactions aérosols-microphysique- électricité en cas idéalisé

**Inès Vongpaseut, Christelle Barthe**

Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère  
9-11 mai 2023

# Introduction

Aérosols : CCN, IFN

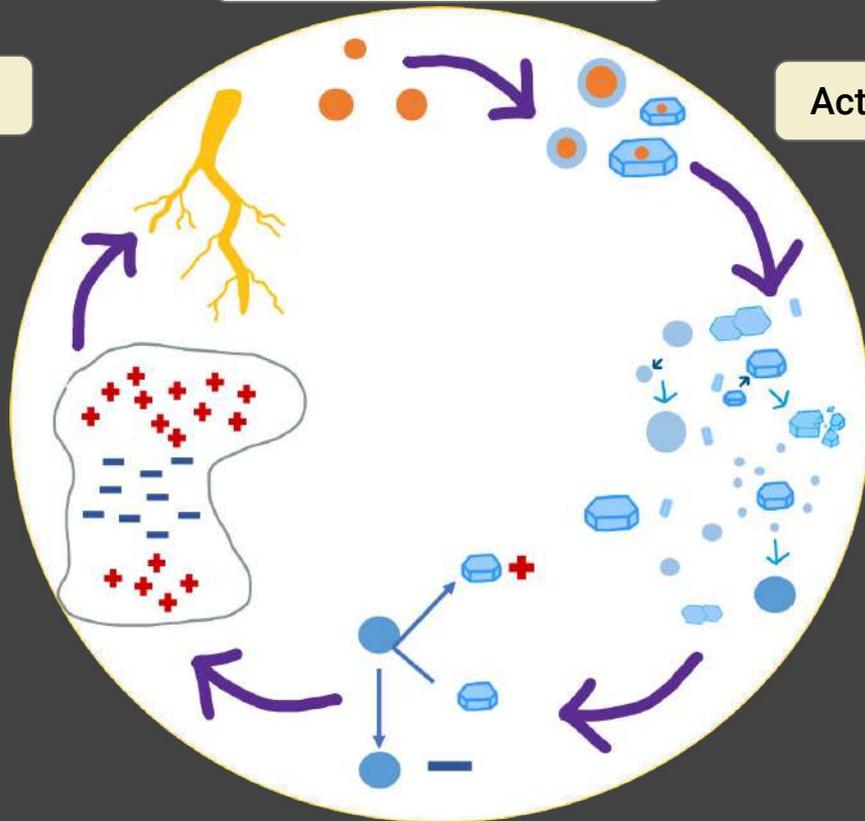
Éclairs

Activation

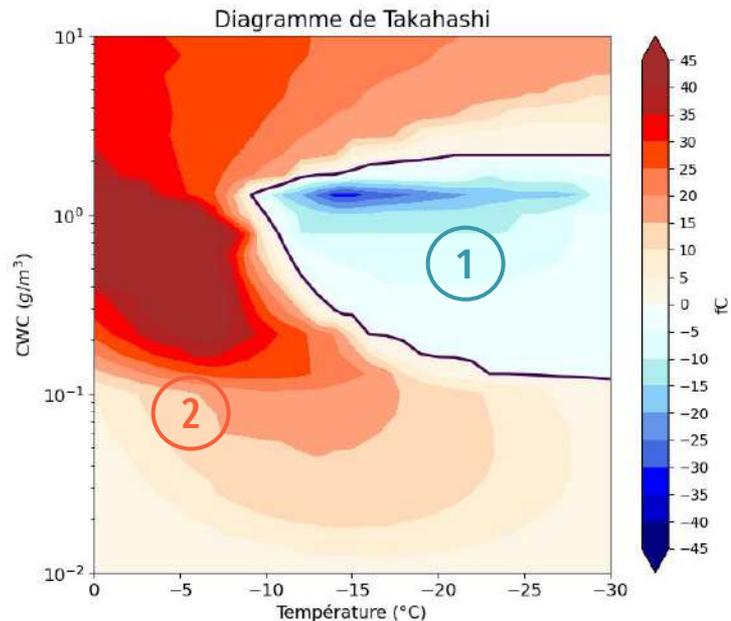
Séparation de charge  
dans le nuage

Processus  
microphysiques

Electrisation par processus non inductif

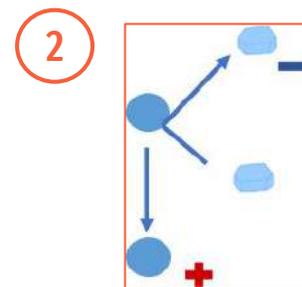
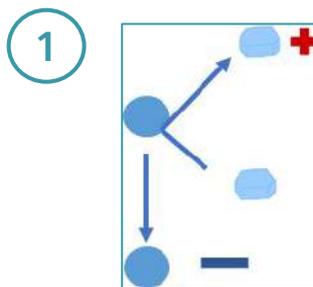


# Introduction : échange de charge et rôle des aérosols



Processus de séparation de charge non-inductif (*i.e.* Takahashi, 1978) : échange de charge entre cristaux de glace et grésil lors de chocs avec rebond

- Résultats obtenus à partir de mesures en laboratoire
- Signe et quantité de charge acquise dépend de la **température** et du **contenu en eau nuageux (CWC)**



## Questions scientifiques :

- Est-ce que les CCN et IFN ont le même impact dans le développement des orages ?
- Quel est l'effet des aérosols en phase chaude ou froide sur l'électrification des orages ?

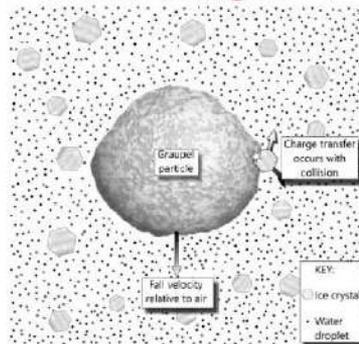
# Schéma électrique dans Meso-NH : CELLS

▷ Reproduire le cycle de vie des charges électriques dans le nuage

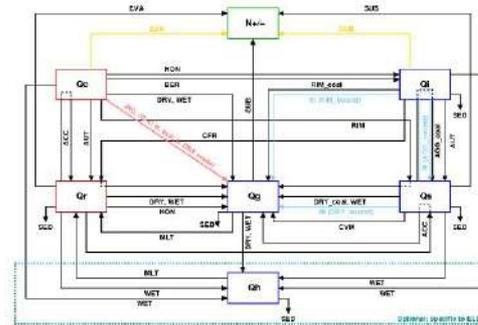
$$\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{q}_x + \nabla \cdot (\mathbf{q}_x \vec{U} - \mathbf{K} \nabla \mathbf{q}_x) = S_{NI} + S_I + S_{\mu\phi} + S_{neut}$$

$$\frac{\partial n_{\pm}}{\partial t} = -\nabla \cdot (n_{\pm} \vec{U} \pm n_{\pm} \mu_{\pm} \vec{E} - \mathbf{K} \nabla n_{\pm}) + G - \alpha n_{+} n_{-} - S_{att}^{\pm} + S_{evap}^{\pm} + S_{neut}^{\pm} + S_{pd}^{\pm}$$

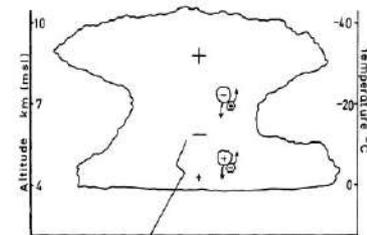
Séparation locale des charges



Echanges de charges lors des transferts de masse



Séparation des charges à l'échelle du nuage



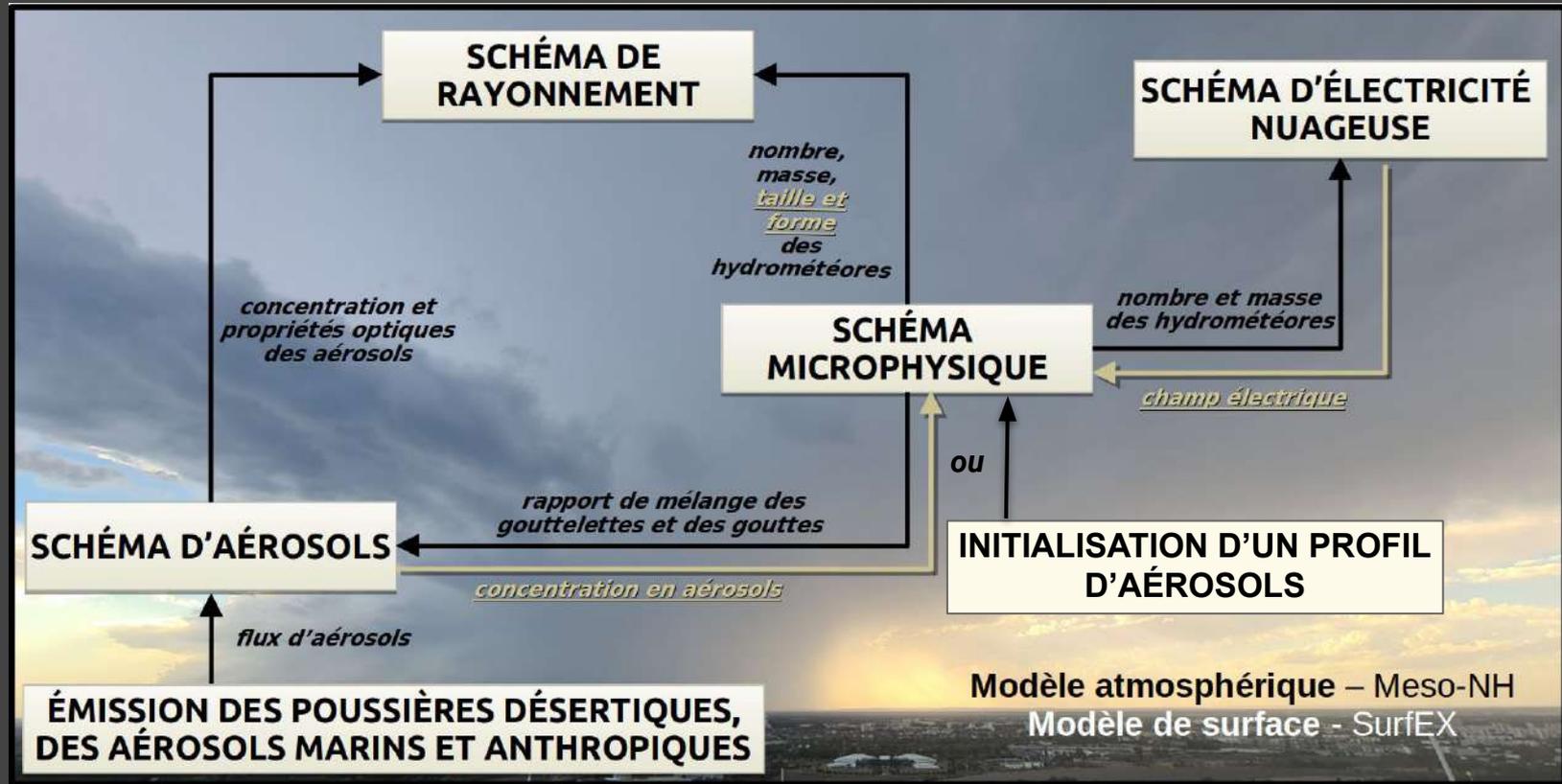
Calcul du champ électrique / Solveur de pression de Meso-NH



Propagation 3D des éclairs selon une loi fractale

⇒ Neutralisation de la charge

# Couplage aérosols-microphysique-électricité dans Més0-NH



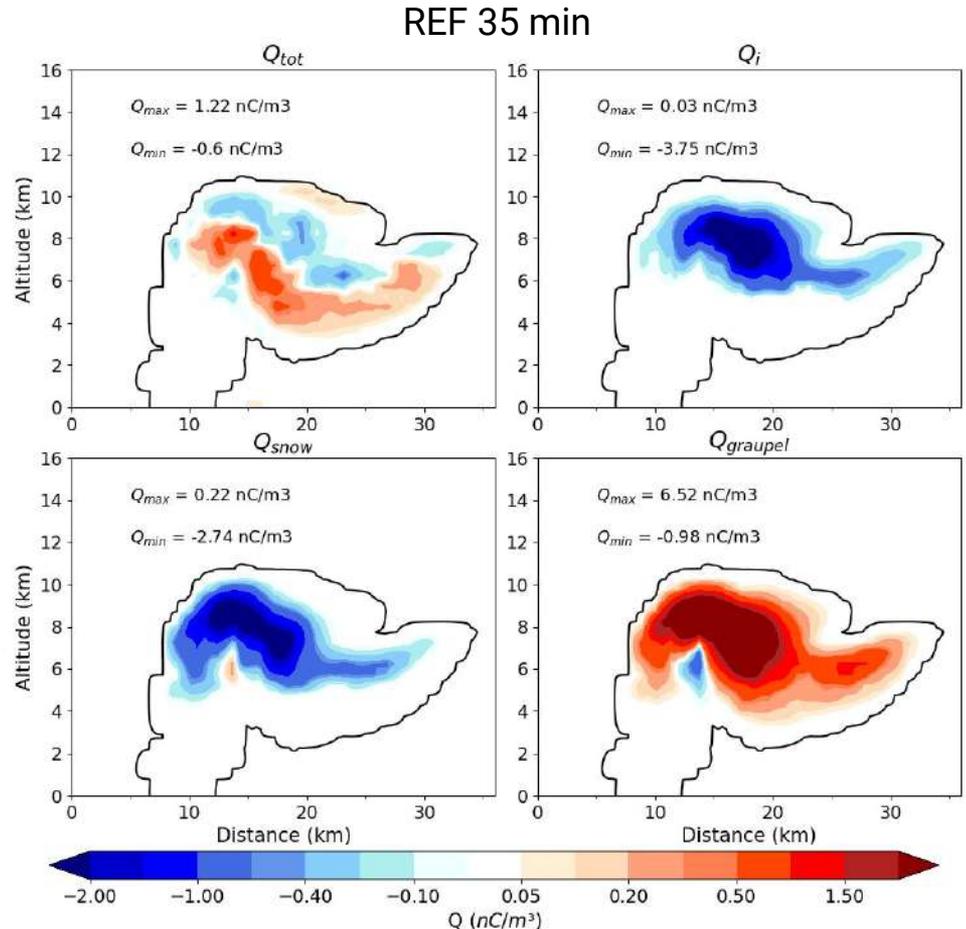
# Cas d'étude et simulation de référence

## Cas d'étude

- Orage continental
- Initialisation :
  - radiosondage (Klemp et Wilhelmson, 1978)
  - perturbation : bulle chaude de 1,5 K
- 40 x 40 x 32 :  $\Delta x, \Delta y = 1$  km et  $\Delta z = 500$  m
- 1h30 de simulation
- Schéma microphysique : LIMA (Vié et al., 2016)
- Schéma électrique : CELLS (Barthe et al., 2012)
- Processus non-inductif : Takahashi (1978)

## Simulation de référence (REF)

- Initialisation CCN : profil vertical de  $1000 \text{ cm}^{-3}$  décroissant exponentiellement avec l'altitude
- Initialisation IFN :  $100 \text{ L}^{-1}$  homogène sur la verticale



# Tests de sensibilité

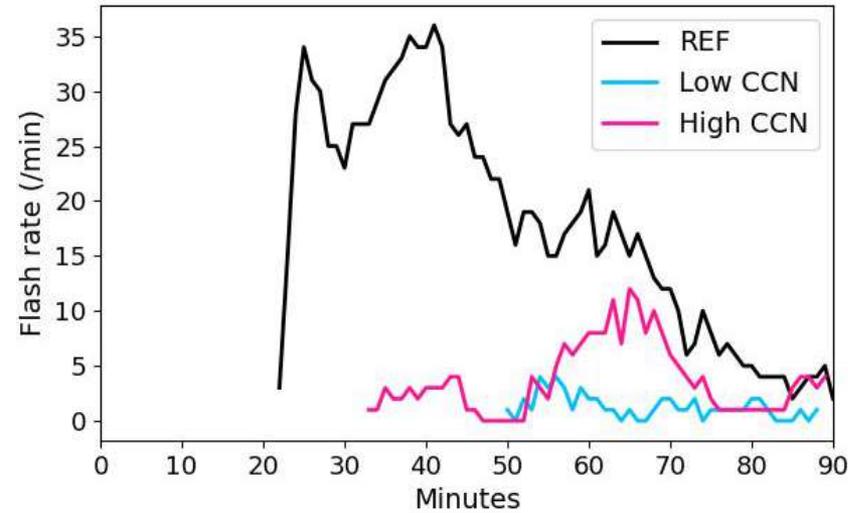
Objectif : Etude de l'impact de la **concentration** des CCN et IFN

Simulation	[CCN] (cm <sup>-3</sup> )	[IFN] (L <sup>-1</sup> )
<b>REF</b>	1000	100
<b>Low CCN</b>	100	100
<b>High CCN</b>	10 000	100
<b>Low IFN</b>	1000	10
<b>Medium IFN</b>	1000	1000
<b>High IFN</b>	1000	100 000

*Sensibilité à la concentration en CCN*

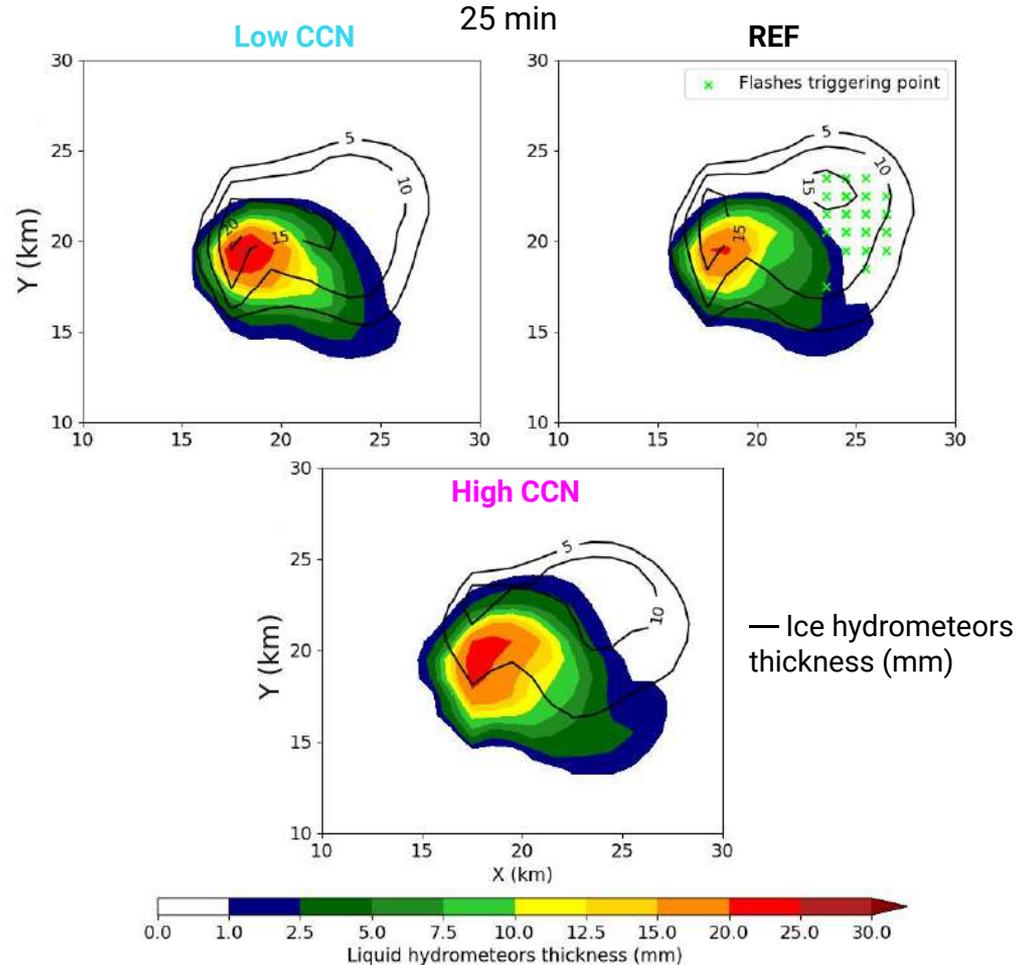
*Sensibilité à la concentration en IFN*

# Effet de la concentration en CCN

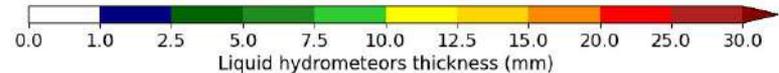


- Réduction du taux d'éclairs pour des concentrations extrêmes de CCN (**Low CCN** et **High CCN**)  
 $[CCN] \rightarrow N_c \rightarrow CWC, r_x$  et  $N_x \rightarrow$  électrisation

- Développement spatial et microphysique du nuage différent

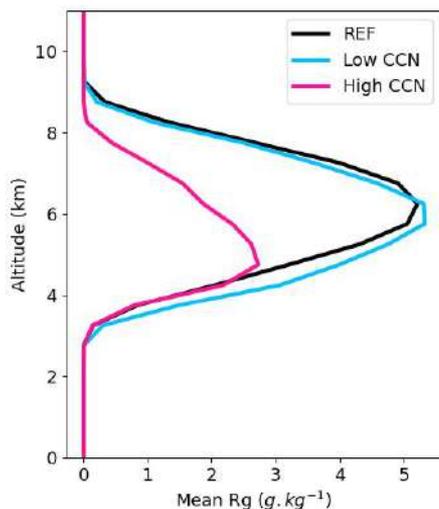
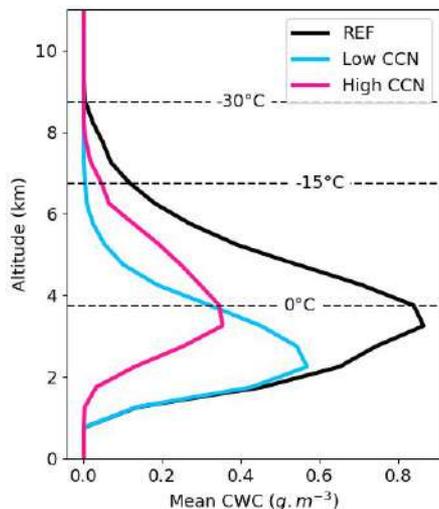


— Ice hydrometeors thickness (mm)



# Effet de la concentration en CCN

Moyennes dans  
la zone convective  
à 25 min

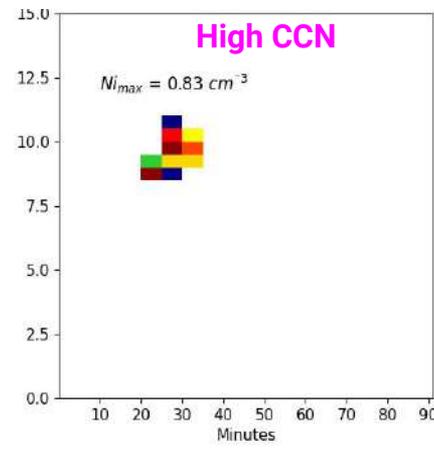
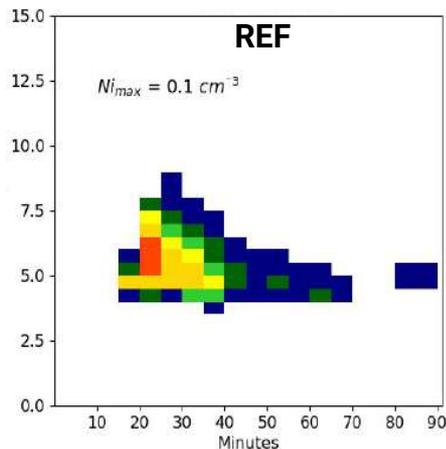
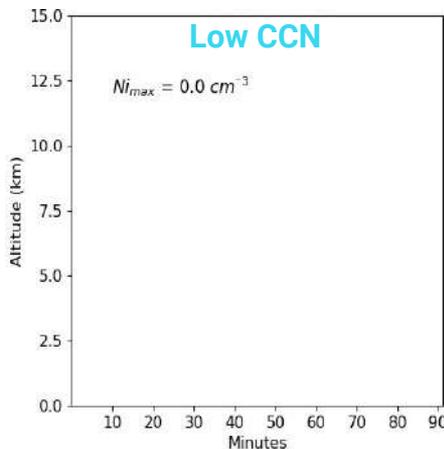


REF :

- CWC élevé entre 0 et -30°C
  - Présence glace primaire et graupel
- ⇒ électrification efficace entre 4 et 9 km

Low CCN :

- $[CCN] \searrow \Rightarrow N_c \searrow$ , formation de pluie au détriment de la glace
  - CWC assez faible entre 0°C et -15°C
  - Graupel mais très peu de glace primaire
- ⇒ électrification faible, à basse altitude

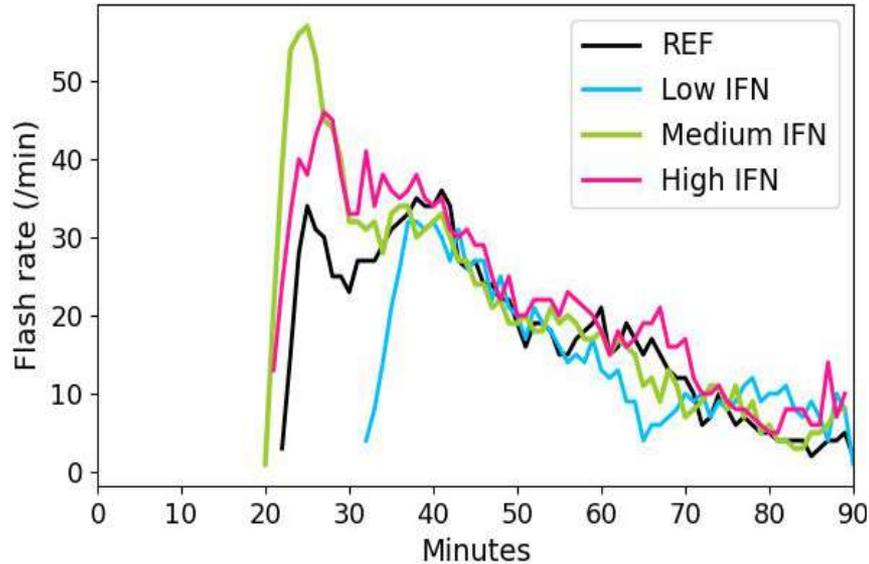


High CCN :

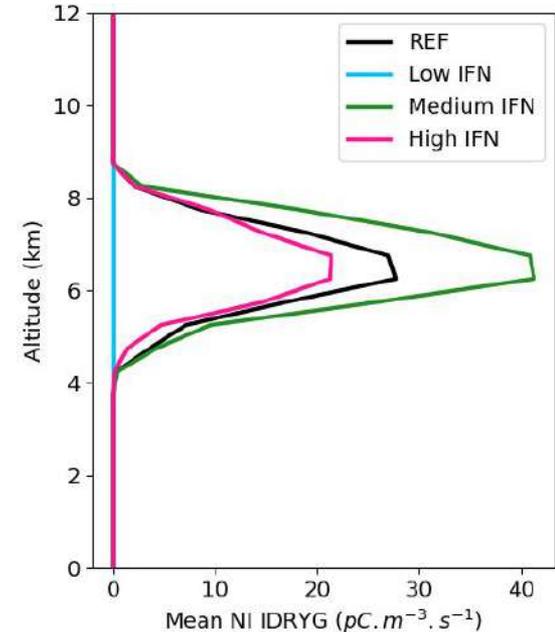
- $[CCN] \nearrow \Rightarrow N_c \nearrow \Rightarrow$  gouttelettes nuageuses de petite taille
  - $r_g$  + faible et à + basse altitude et  $N_i$  en altitude
- ⇒ électrification possible dans une région réduite, en altitude

# Effet de la concentration en IFN

Taux d'éclairs

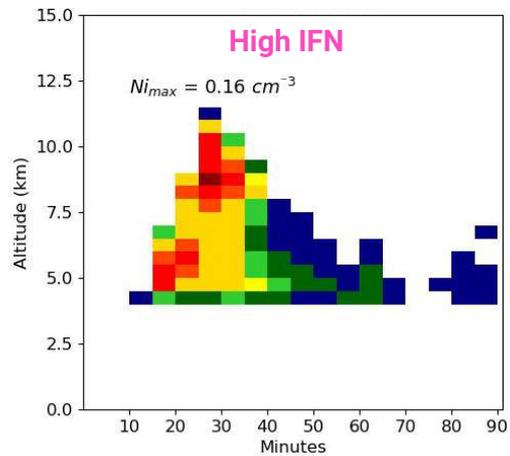
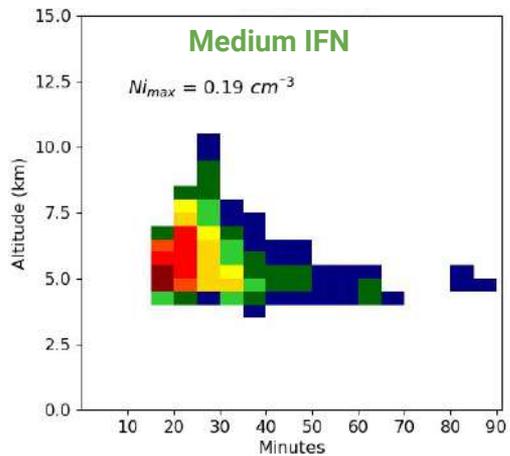
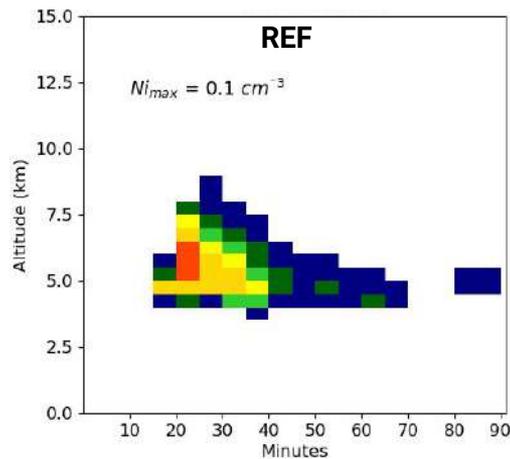
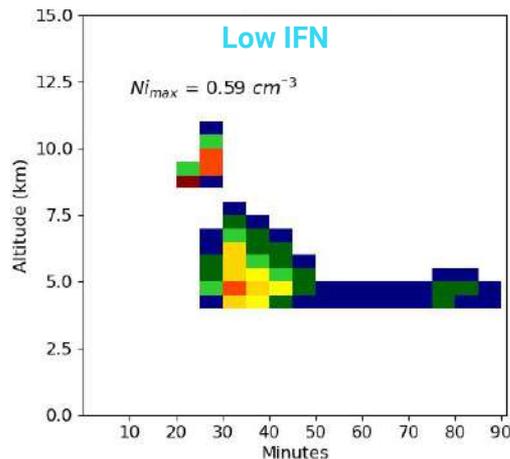


Taux de séparation de charge entre cristaux de glace et grésil – 25 min

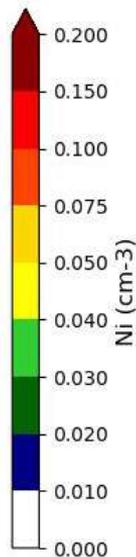


- **Low IFN** : électrisation démarre plus tard, et moins intense
- **REF** vs. **Medium IFN** :  $[IFN] \nearrow \Rightarrow$  taux de séparation de charge  $\nearrow$
- **Mais Medium IFN** vs **High IFN** :  $[IFN] \nearrow \Rightarrow$  taux de séparation de charge  $\searrow$

# Effet de la concentration en IFN



← Moyennes dans la zone convective à 25 min



- [IFN]  $\nearrow \Rightarrow$  max **CWC** identique vers 4 km, mais **CWC**  $\searrow$  au dessus de 4 km
- **Cristaux de glace** :
  - **Low IFN** : peu de glace avant 25 min (mais glace en altitude à 20 min)  $\rightarrow$  nucléation homogène, puis hétérogène, puis Hallett-Mossop)
  - **REF**  $\rightarrow$  **Medium IFN**  $\rightarrow$  **High IFN** : [IFN]  $\nearrow \Rightarrow N_i \nearrow$ , et à plus haute altitude  $\rightarrow$  nucléation hétérogène puis Hallett-Mossop
- **Graupel** :  $r_g$  très faible pour **Low IFN**, et très fort pour **Medium IFN** et **High IFN**

# Conclusion et perspectives

## CONCLUSIONS

- Modèle permettant l'étude des interactions aérosols - microphysique - électrification  
⇒ première étude sur un cas idéalisé
- **CCN**  
→ concentrations extrêmes ⇒ limitation de l'électrification du nuage
  - [CCN] faible : limitation du CWC
  - [CCN] fort : limitation de la masse de graupel
- **IFN**  
→ effet moindre sur le taux d'éclairs
  - [IFN] trop faible : CWC important, mais mise en place de la glace lente ⇒ électrification retardée
  - [IFN]  $\nearrow$  ⇒  $N_i \nearrow, r_g \sim$ , mais CWC diminue ⇒ effet non linéaire sur les éclairs

## PERSPECTIVES

- Effet des processus de **production secondaire de glace** ?
- Simulation de différents types d'orages
  - cause(s) de la faible activité électrique des orages **maritimes** ?
  - rôle(s) des poussières désertiques sur l'électrification du nuage ?