



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

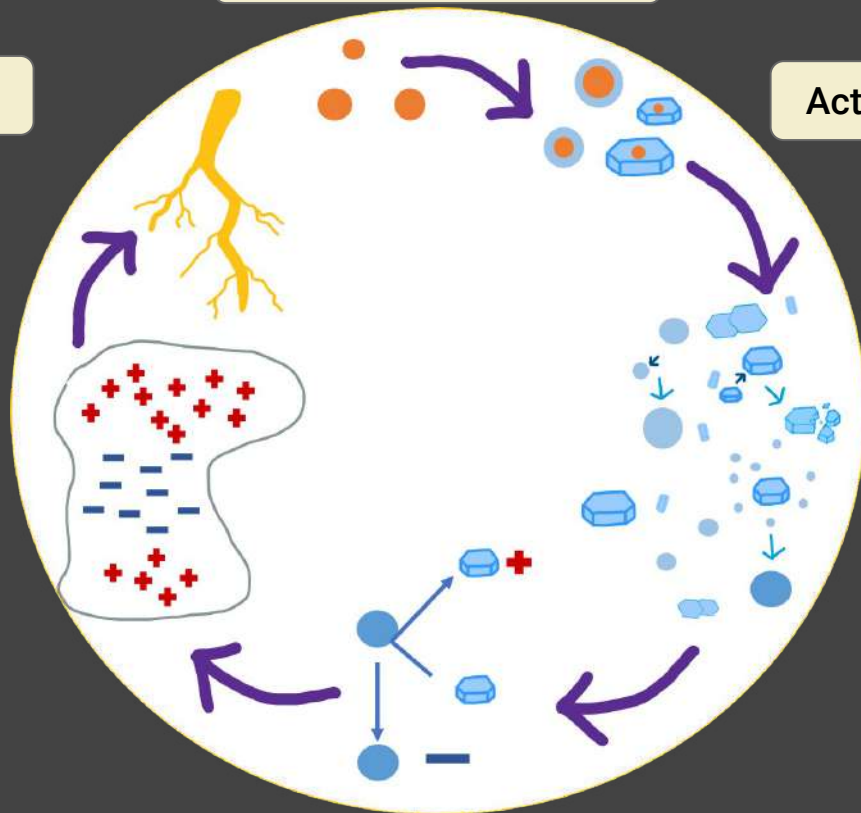
Éclairs

Activation

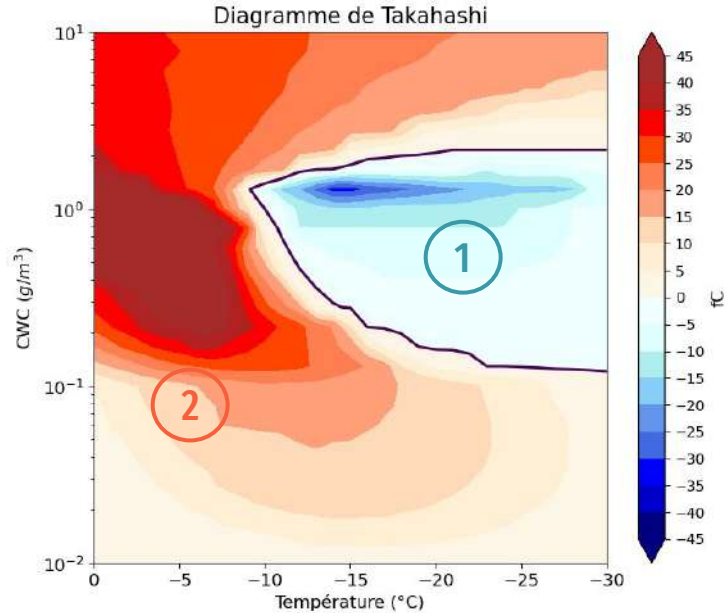
Séparation de charge
dans le nuage

Processus
microphysiques

Electrisation par processus non inductif

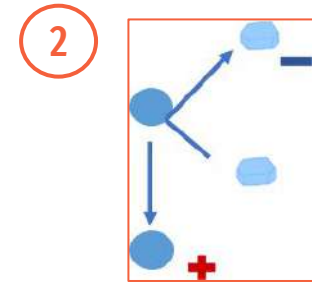
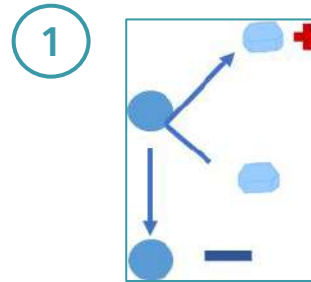


Introduction : échange de charge et rôle des aérosols



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 ?

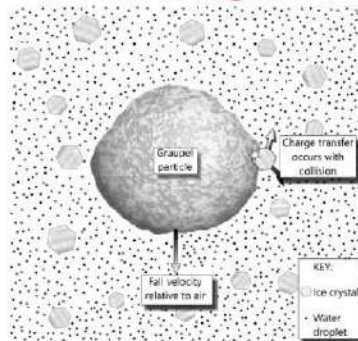
Schéma électrique dans Meso-NH : CELLS

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

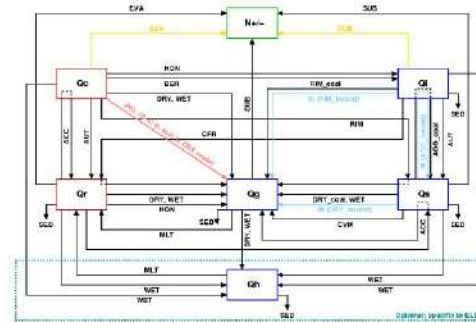
$$\frac{\partial}{\partial t} \mathbf{q}_x + \nabla \cdot (\mathbf{q}_x \vec{U} - \mathbf{K} \nabla \mathbf{q}_x) = \mathbf{S}_{NI} + \mathbf{S}_I + \mathbf{S}_{\mu\phi} + \mathbf{S}_{neut}$$

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

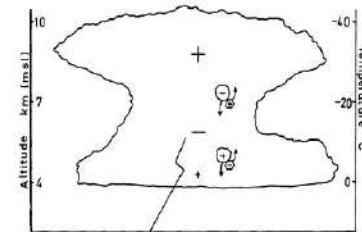
Séparation locale des charges



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

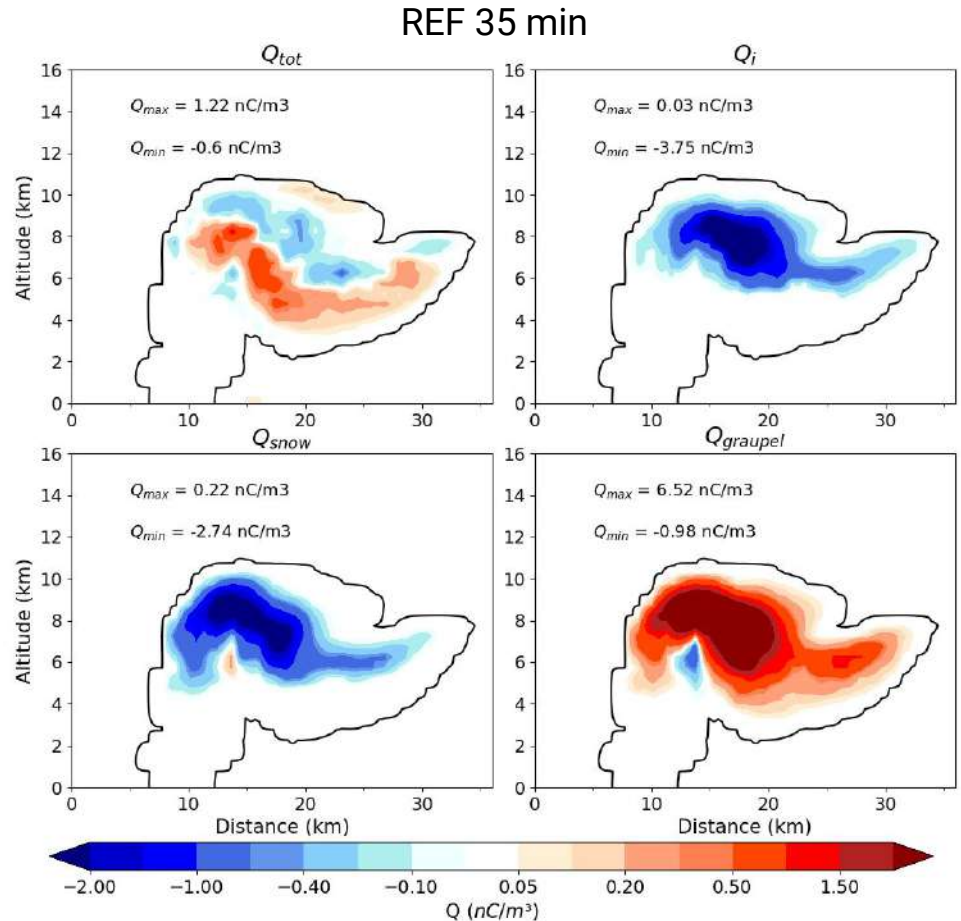
Cas d'étude et simulation de référence

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 cm^{-3} décroissant exponentiellement avec l'altitude
- Initialisation IFN : 100 L^{-1} homogène sur la verticale



Tests de sensibilité

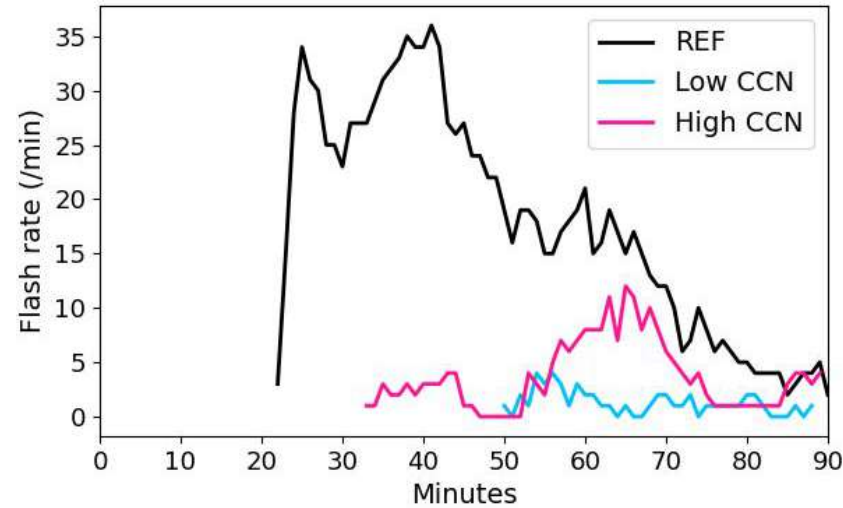
Objectif : Etude de l'impact de la **concentration** des CCN et IFN

Simulation	[CCN] (cm ⁻³)	[IFN] (L ⁻¹)
REF	1000	100
Low CCN	100	100
High CCN	10 000	100
Low IFN	1000	10
Medium IFN	1000	1000
High IFN	1000	100 000

Sensibilité à la concentration en CCN

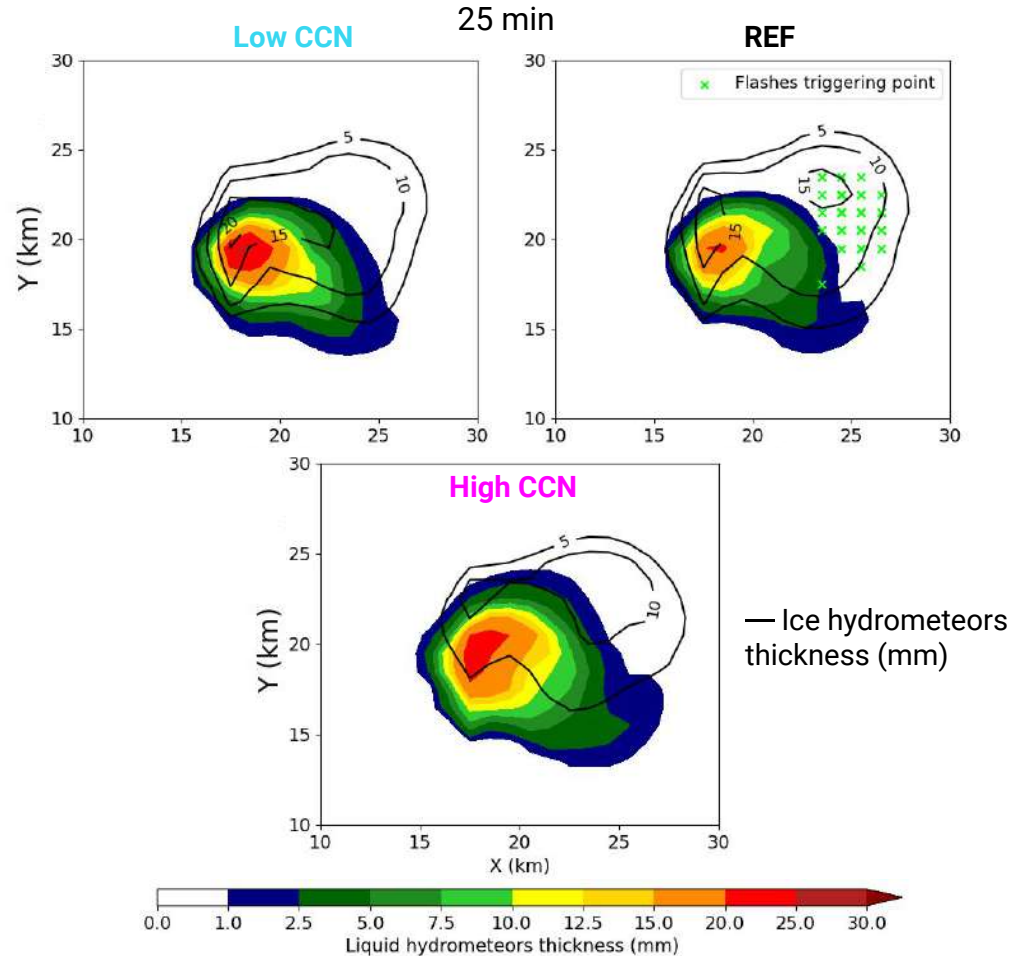
Sensibilité à la concentration en IFN

Effet de la concentration en CCN



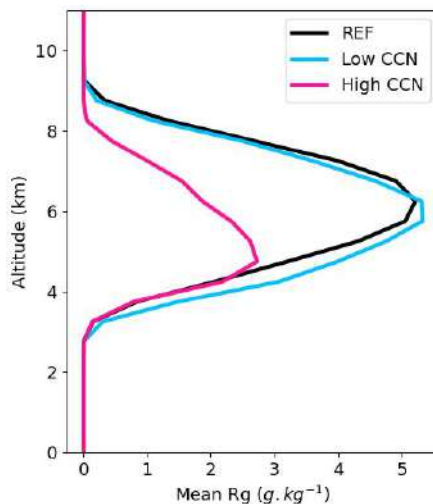
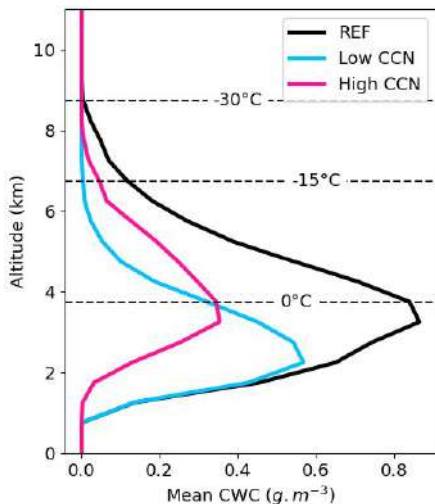
- Réduction du taux d'éclairs pour des concentrations extrêmes de CCN (**Low CCN** et **High CCN**)
 $[CCN] \rightarrow N_c \rightarrow CWC, r_x$ et $N_x \rightarrow$ électrisation

- Développement spatial et microphysique du nuage différent



Effet de la concentration en CCN

Moyennes dans
la zone convective
à 25 min

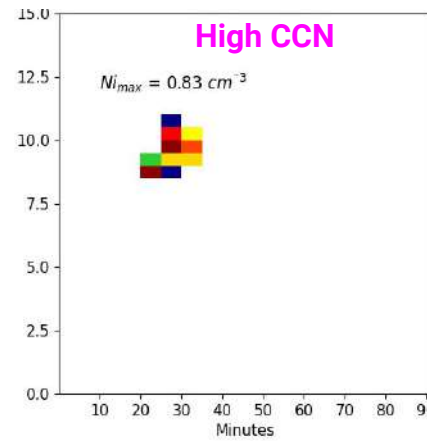
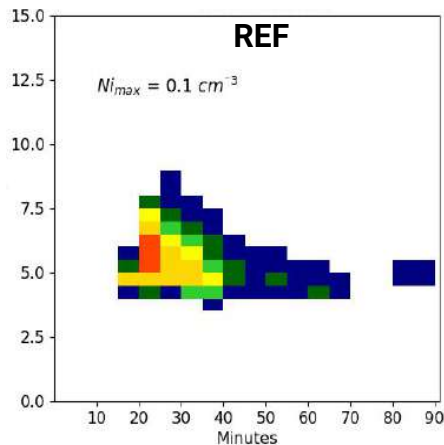
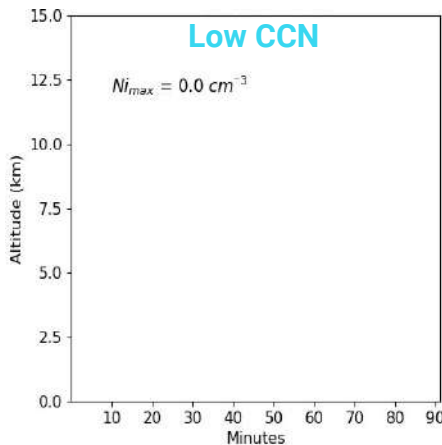


REF :

- 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

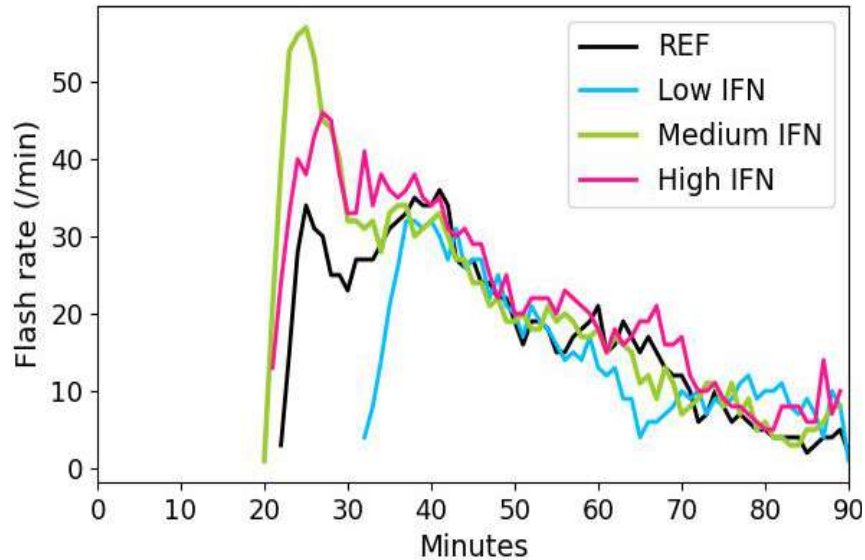


High CCN :

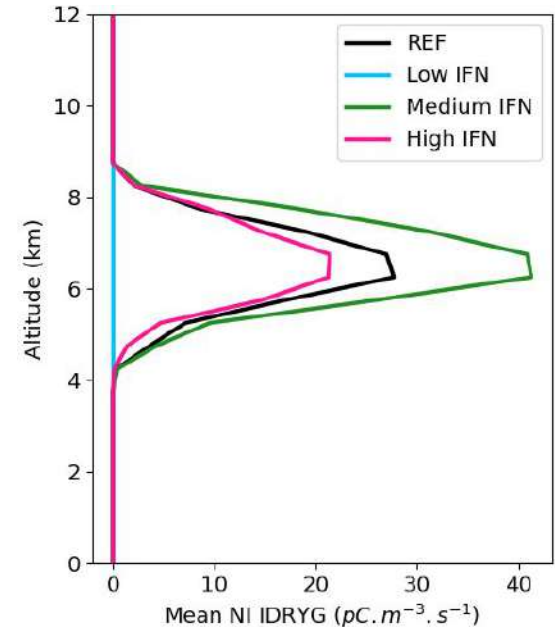
- $[CCN] \nearrow \Rightarrow N_c \nearrow \Rightarrow$ gouttelettes nuageuses de petite taille
 - r_g + faible et à + basse altitude et N_i en altitude
- ⇒ électrification possible dans une région réduite, en altitude

Effet de la concentration en IFN

Taux d'éclairs

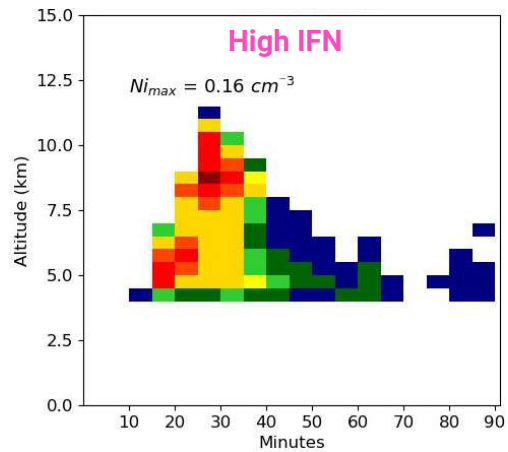
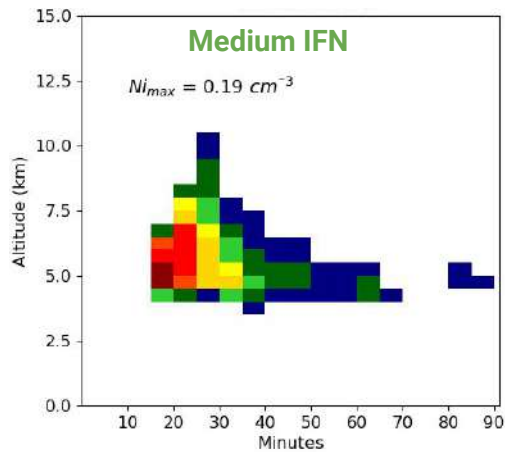
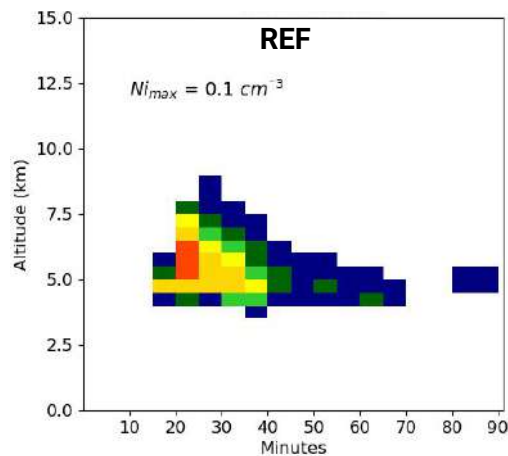
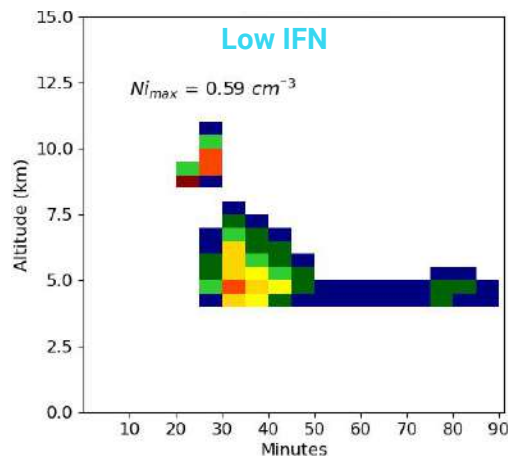


Taux de séparation de charge entre cristaux de glace et grésil – 25 min

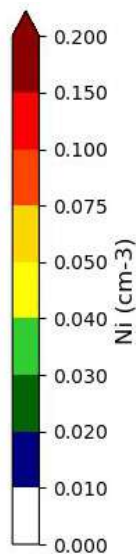


- **Low IFN** : électrisation démarre plus tard, et moins intense
- **REF** vs. **Medium IFN** : $[IFN] \nearrow \Rightarrow$ taux de séparation de charge \nearrow
- **Mais Medium IFN** vs **High IFN** : $[IFN] \nearrow \Rightarrow$ taux de séparation de charge \searrow

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 ?