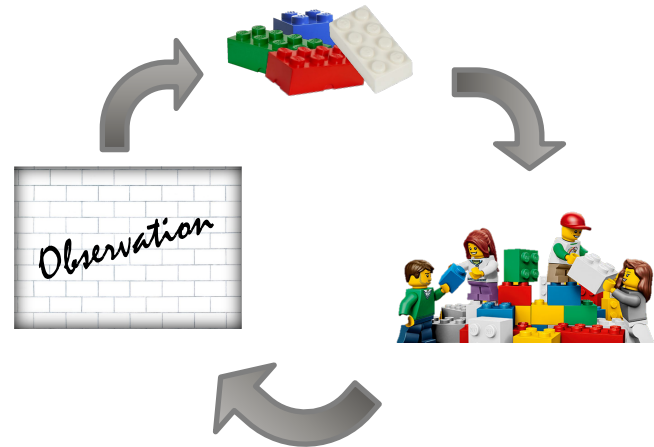


Interactions entre gouttelettes et aérosols dans les nuages : de la simulation des interactions à l'échelle microphysique à la modélisation du lessivage par les systèmes nuageux

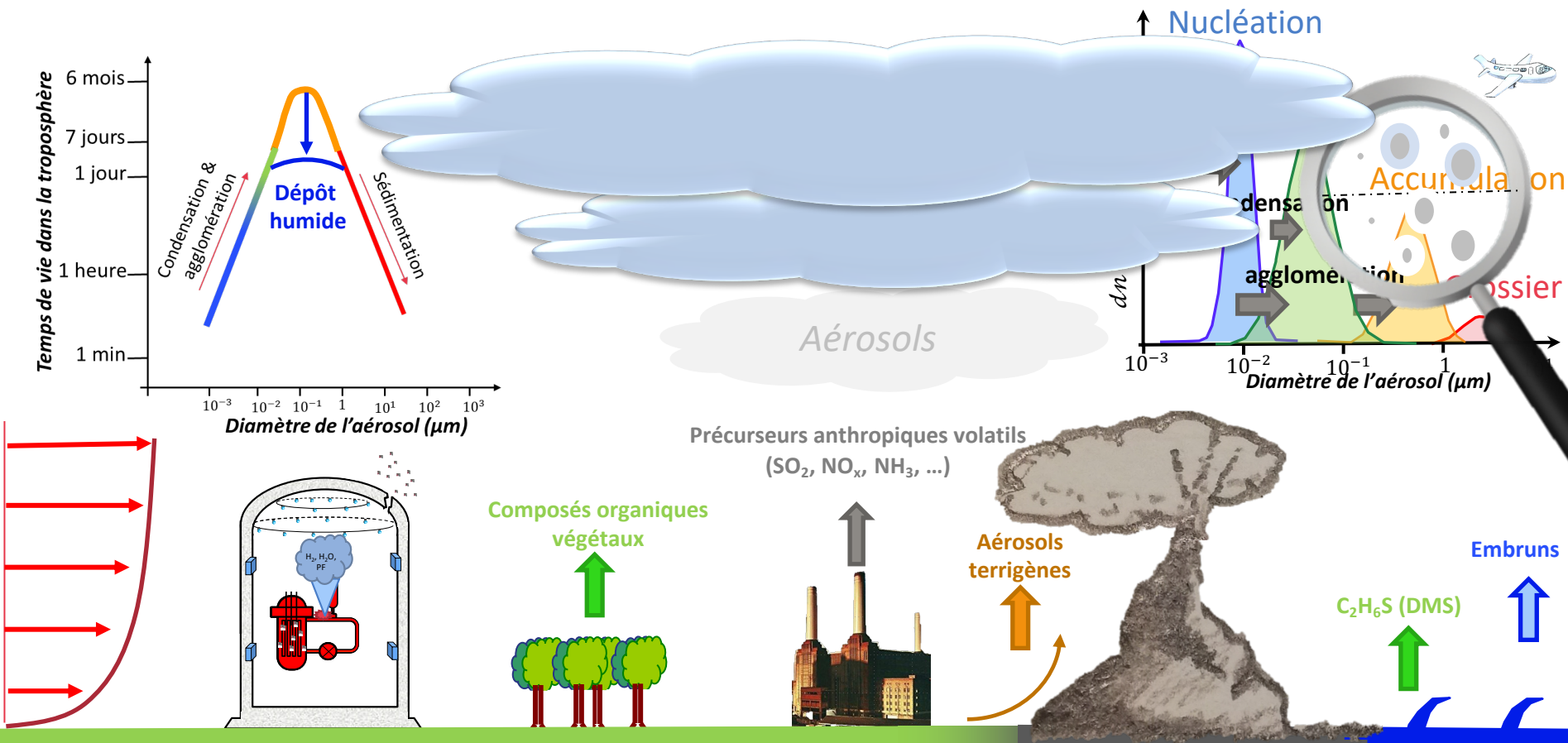
**Pascal Lemaitre, Alexis Dépée, Arnaud Quérel, Alice Guerra
Devigne, Marie Monier, Andrea Flossmann**

Plan de la présentation

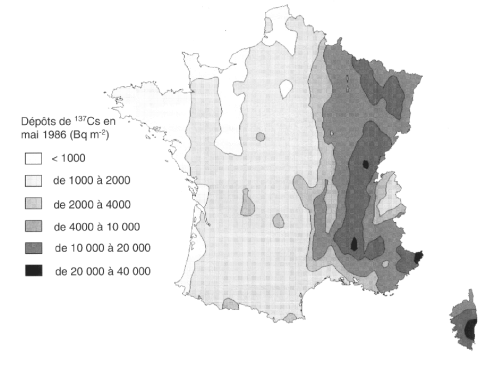
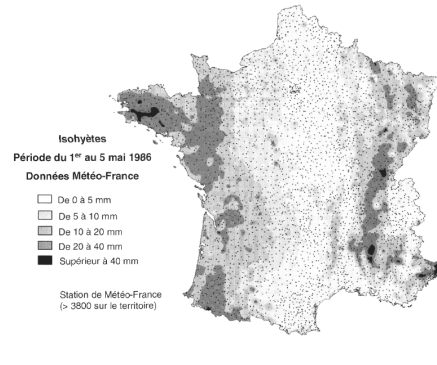
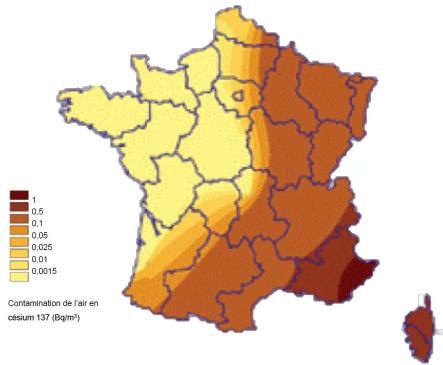
- **Contexte**
- **Description microphysique**
- **Intégration à méso-échelle**
- **Bilan & perspectives**



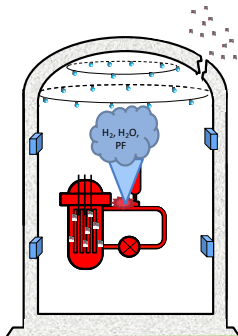
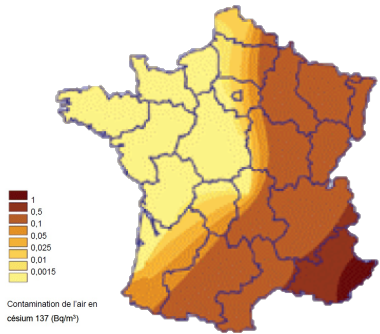
Contexte : la surveillance de l'environnement



Le lessivage de l'atmosphère par les précipitations : problématique



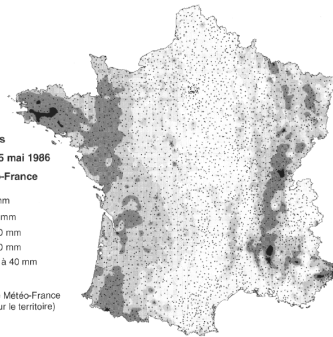
Le lessivage de l'atmosphère par les précipitations : problématique



Isohyètes
Période du 1^{er} au 5 mai 1986
Données Météo-France

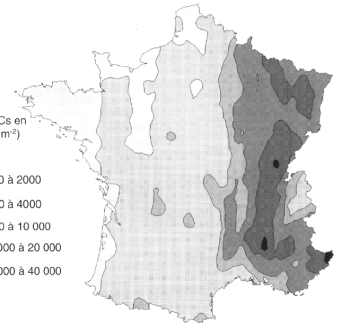
- De 0 à 5 mm
- De 5 à 10 mm
- De 10 à 20 mm
- De 20 à 40 mm
- Supérieur à 40 mm

Station de Météo-France
(> 3800 sur le territoire)



Dépôts de ¹³⁷Cs en mai 1986 (Bq m⁻²)

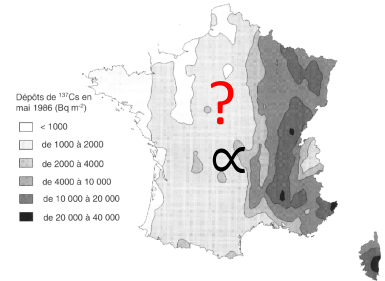
- < 1000
- de 1000 à 2000
- de 2000 à 4000
- de 4000 à 10 000
- de 10 000 à 20 000
- de 20 000 à 40 000



Le lessivage de l'atmosphère par les précipitations : problématique

$$\Lambda_{pluie}(d_{ap})dt \equiv - \left. \frac{dC_{ap}(d_{ap})}{C_{ap}(d_{ap})} \right|_{coll}$$

$$= \int_{D_{gtte}=0}^{\infty} \frac{\pi D_{gtte}^2}{4} u_{\infty,gtte}(D_{gtte}) N_{gtte}(D_{gtte}) E(d_{ap}, D_{gtte}, HR, \dots) dD_{gtte}$$

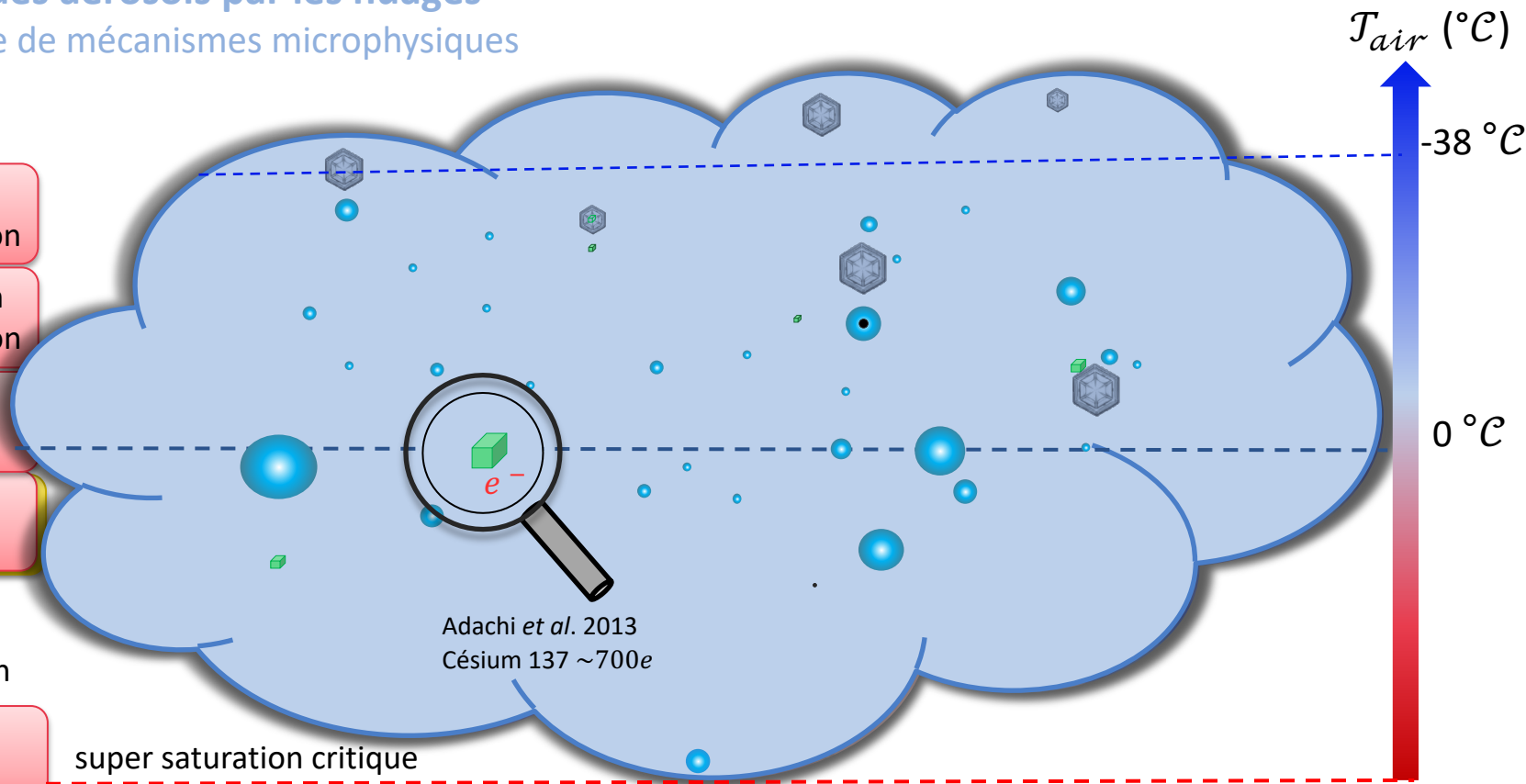


$$\Lambda_{nuage}(d_{ap})dt \equiv ?$$

Lessivage des aérosols par les nuages

Une myriade de mécanismes microphysiques

- Glaciation homogène
- Nucléation par déposition
- Congélation par immersion
- Congélation par contact
- Collecte
- Coalescence
- Condensation
- Activation



Suivi lagrangien de particules dans le voisinage de gouttes en chute libre

- Calcul des trajectoires des aérosols en appliquant itérativement le principe fondamental de la dynamique (Cf. Beard, 1974)

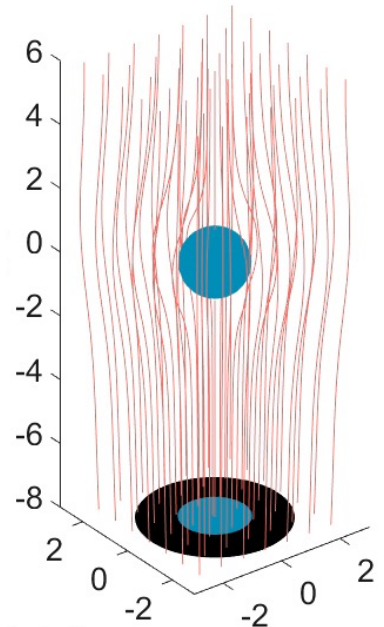
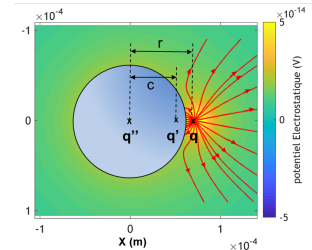
Modélisation du mouvement brownien des particules

- Approche de Langevin (1908)
- Approche Monte-Carlo pour assurer la convergence statistique

Forces électrostatiques

- Théorie des charges images

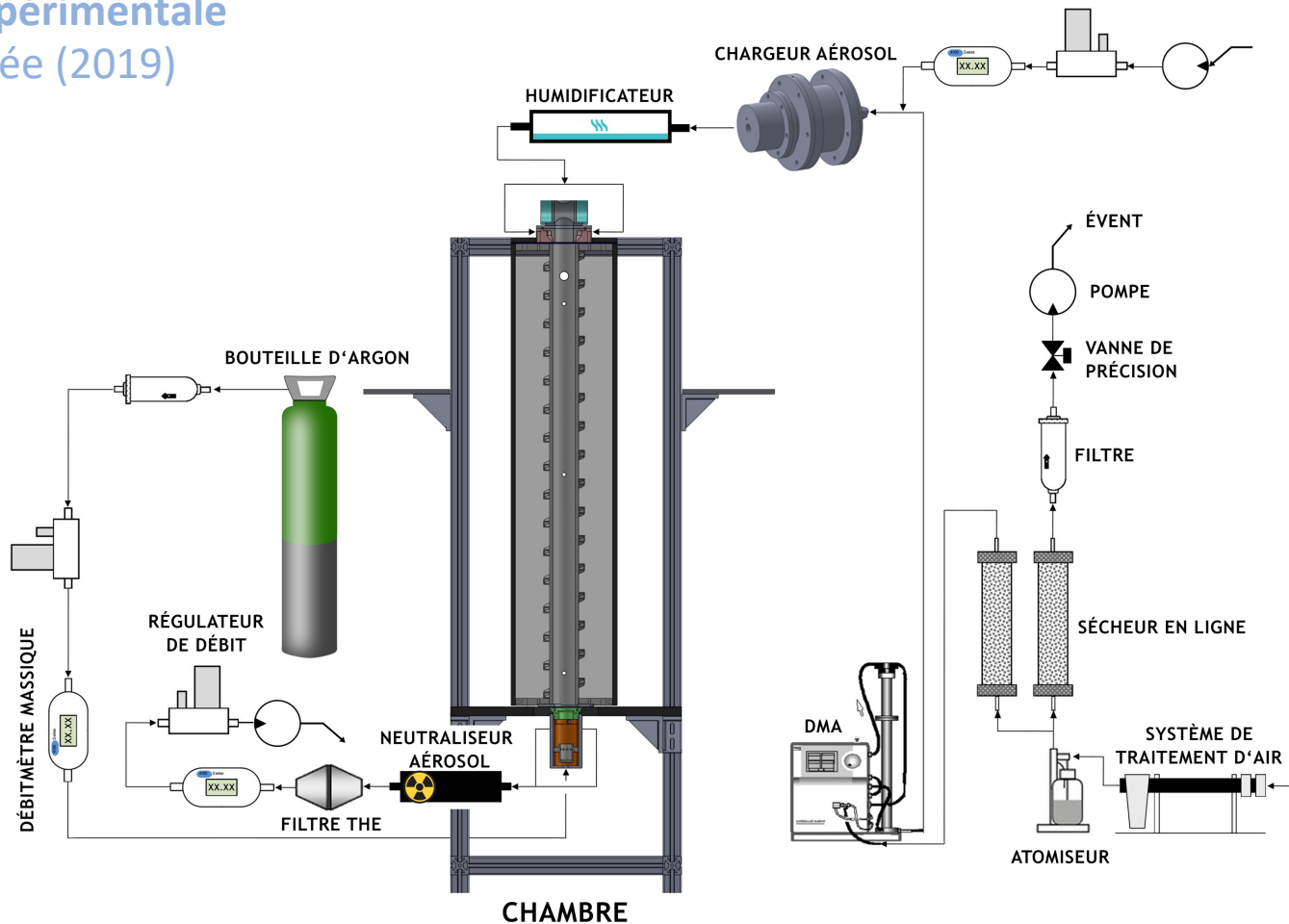
Evaluation de l'efficacité de collecte par inventaire des trajectoires interceptant la goutte



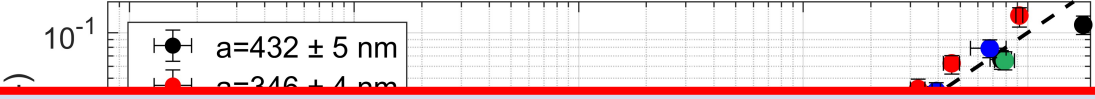
$$\begin{aligned} D_{gtte} &= 100 \mu\text{m}, d_{ap} = 8 \text{ nm}, \mathcal{H}\mathcal{R} = 100 \%, \\ q_{ap} &= 0|e| \\ Q_{gtte} &= 0|e| \end{aligned}$$

Validation Expérimentale

Thèse de Dépée (2019)

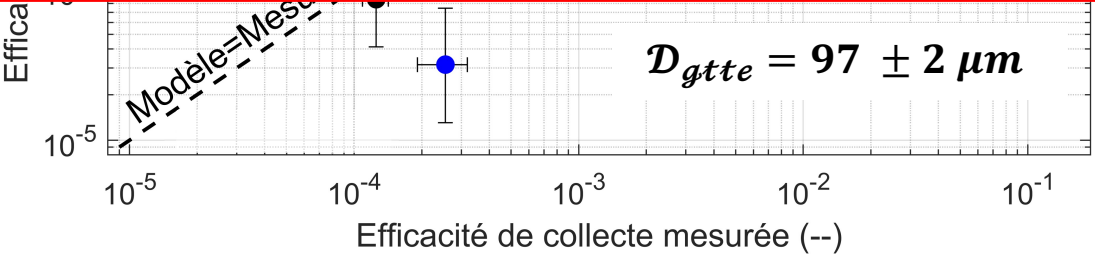


Confrontation du modèle à l'expérience



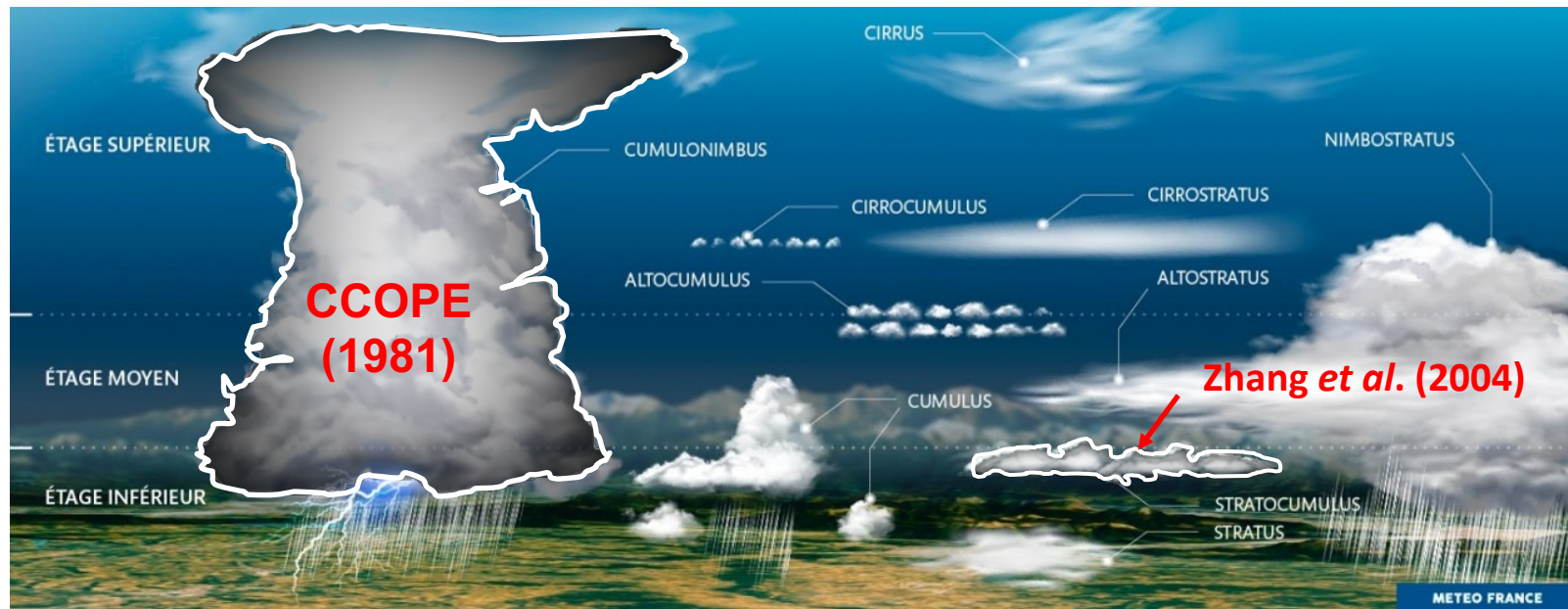
Influence sur plusieurs ordres de grandeur des effets électrostatiques :

Impact à méso-échelle ?



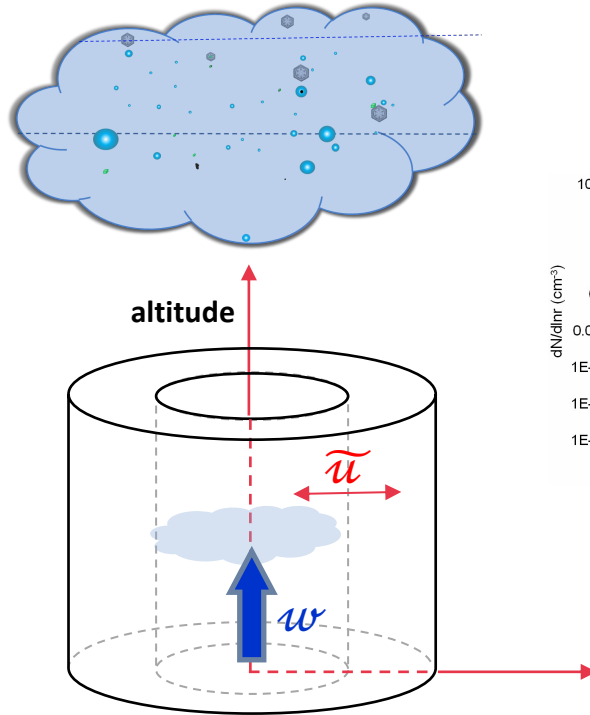
Modélisation du lessivage par différentes typologies de nuages

Cumulonimbus vs stratus

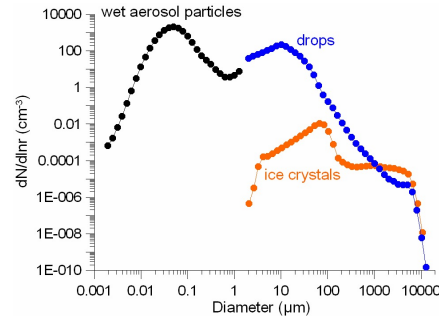


Intégration des processus microphysiques à grande échelle

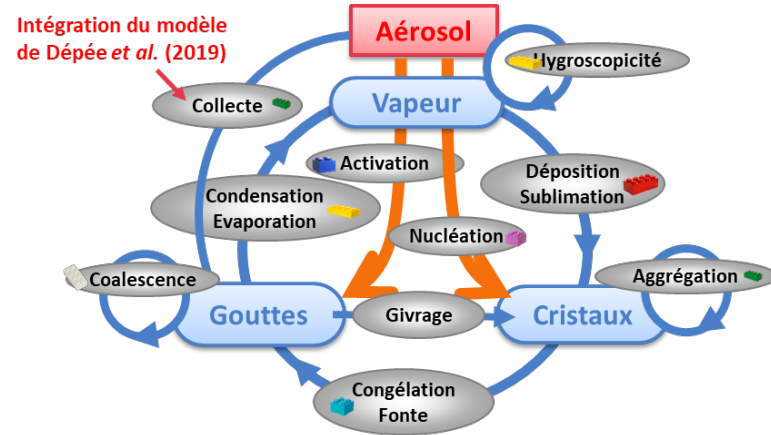
Le modèle DESCAM (Flossmann, 1985)



Dynamics: Cylindrical model
(Asai and Kasahara, 1967)



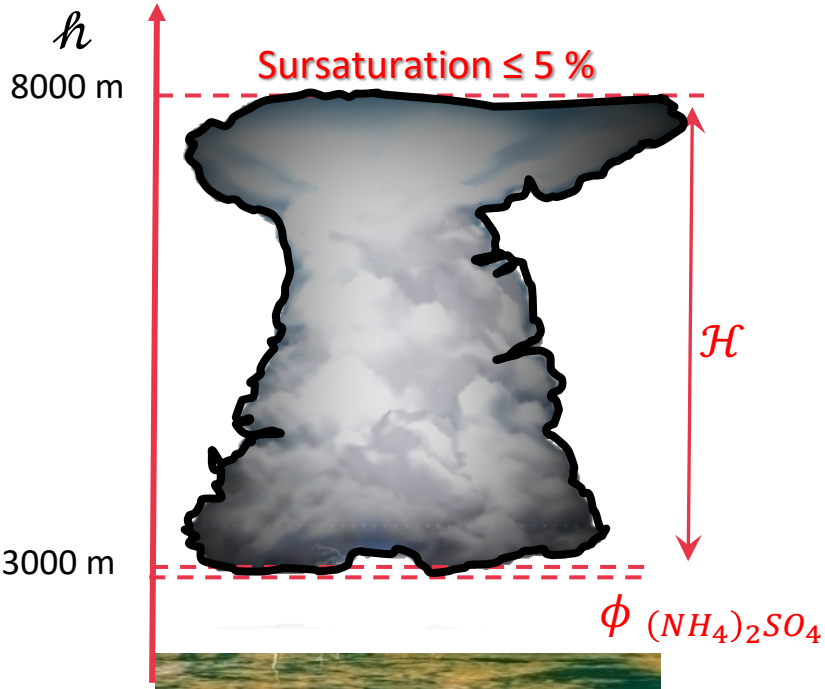
Processus microphysique



Modélisation du lessivage par différentes typologies de nuages

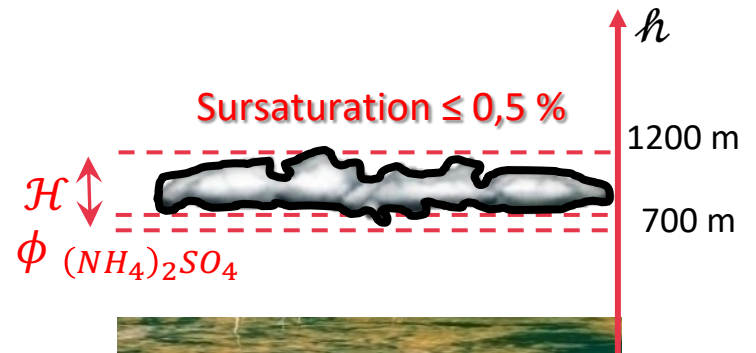
Cumulonimbus vs stratus

CCOPE (1981)



$$\Lambda_{nuage} = \frac{\phi (NH_4)_2SO_4, pluie}{\mathcal{H} \langle C (NH_4)_2SO_4, nuage \rangle}$$

Zhang et al. (2004)



Hypothèses du calcul pour la modélisation de CCOPE

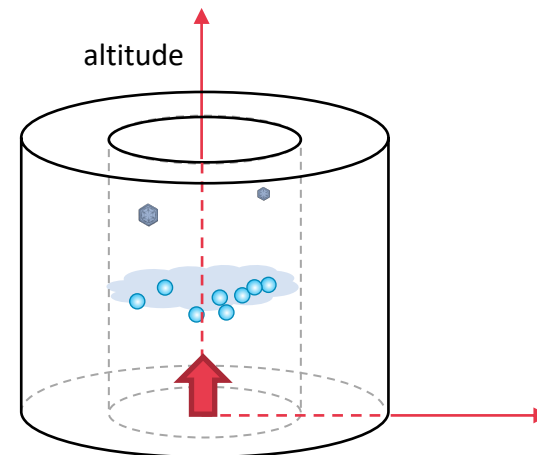
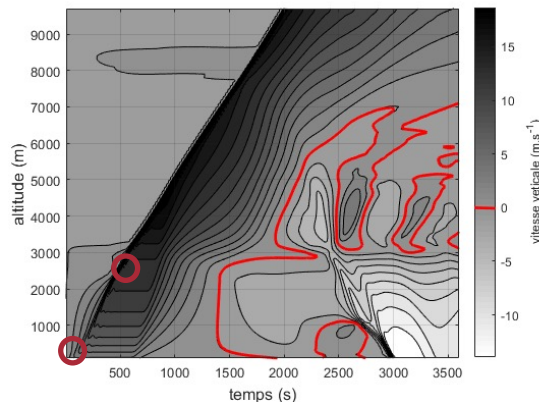
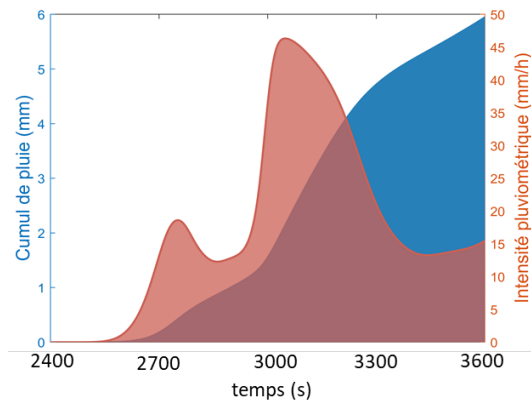
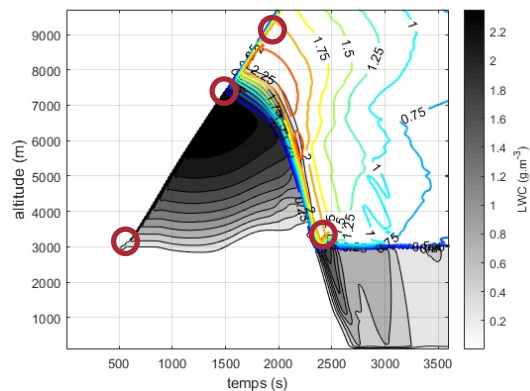
Sur l'aérosol :

- Les aérosols sont constituées de sulfate d'ammonium ($\kappa=0,61$)
- Distribution granulométrique initiale : Jaenicke continentale (1993)
- Concentration initiale homogène sur les 1000 premiers mètres puis décroît exponentiellement

Conditions initiales de l'atmosphère ($T(z)$, $P(z)$, $HR(z)$)

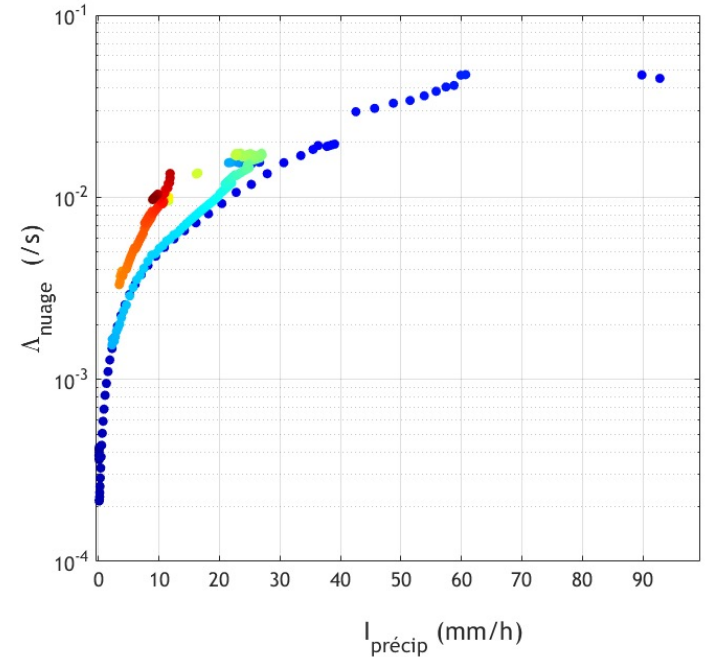
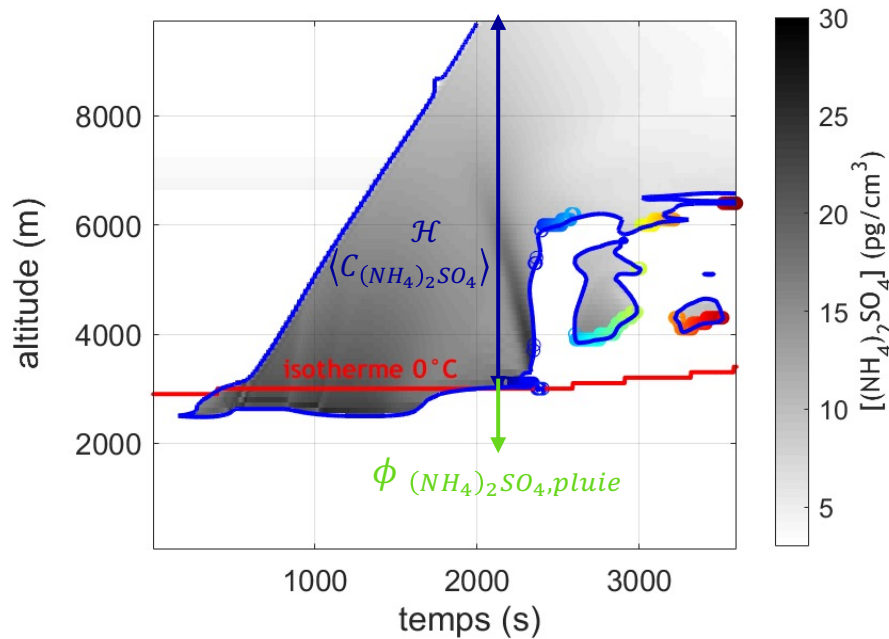
- Mesure (radiosondage)

Résultats de la modélisation



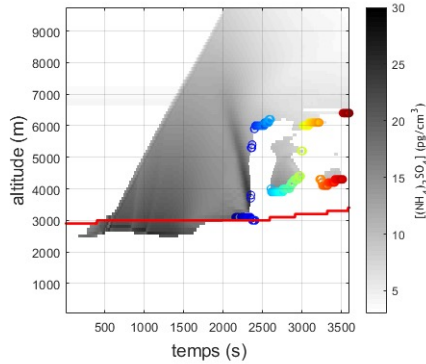
Calcul du coefficient de lessivage du nuage

$$\Lambda_{nuage} = \frac{\phi_{(NH_4)_2SO_4,pluie}}{\mathcal{H} \langle C_{(NH_4)_2SO_4} \rangle}$$

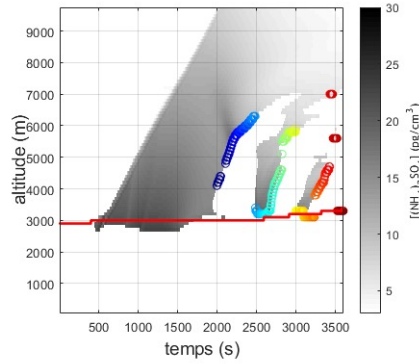


Comment définir les contours du nuage (pendant les précipitations)

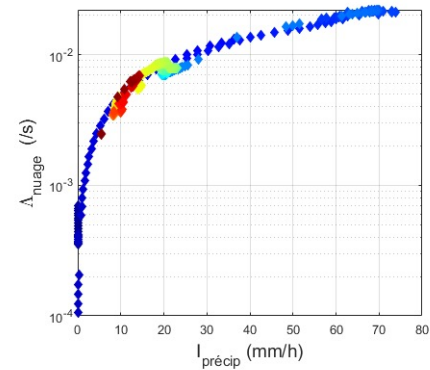
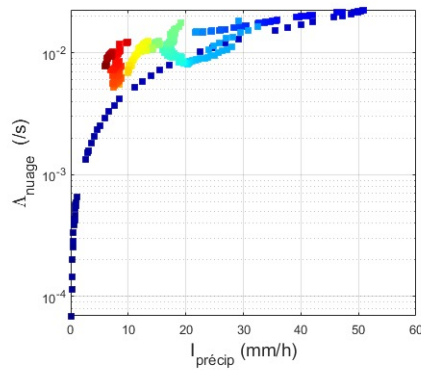
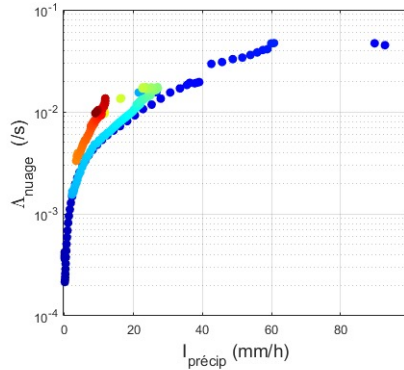
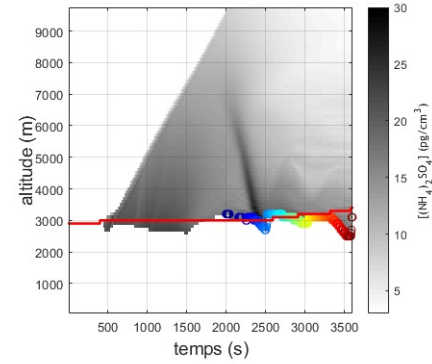
Humidité relative



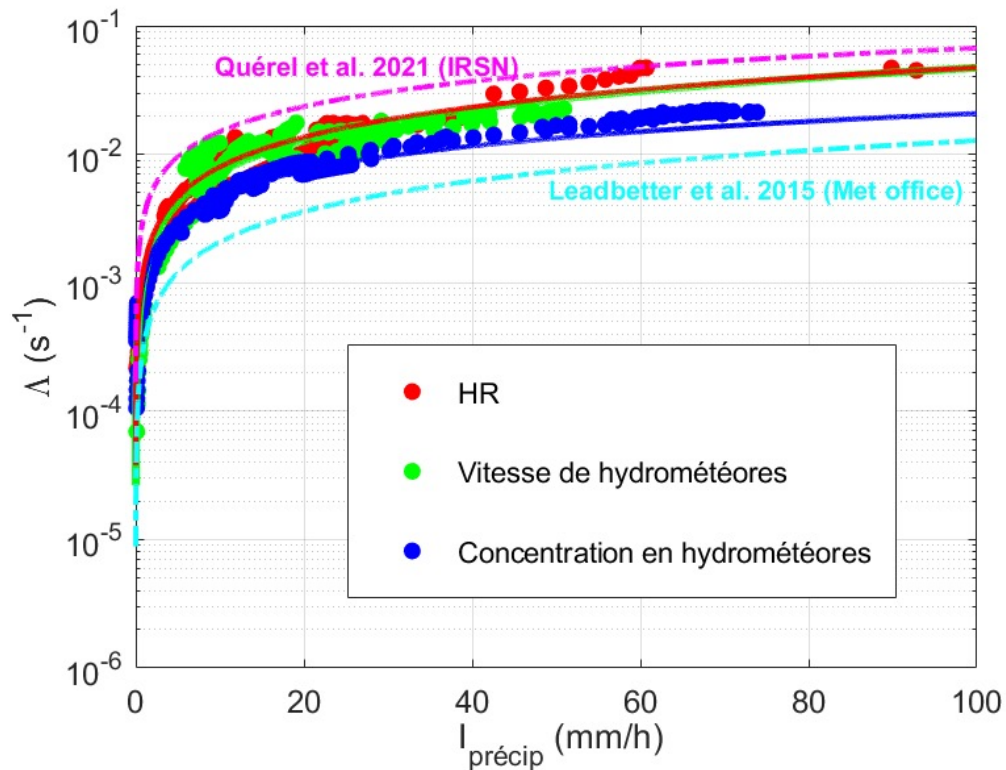
Vitesse des hydrométéores



Nombre d'hydrométéores p.u.v.



Comparaison des taux de lessivages aux modèles de la littérature

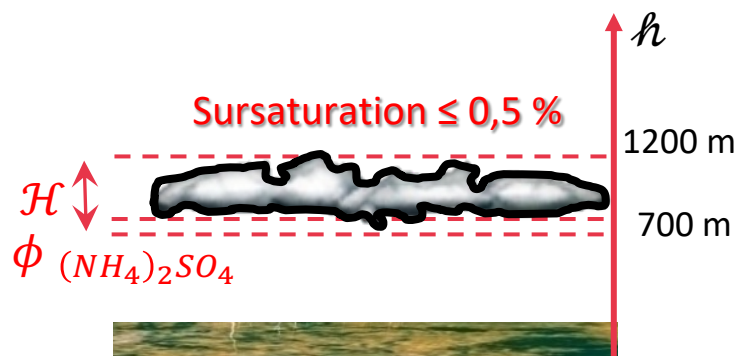


Que dire du lessivage modélisé sur un stratus ?

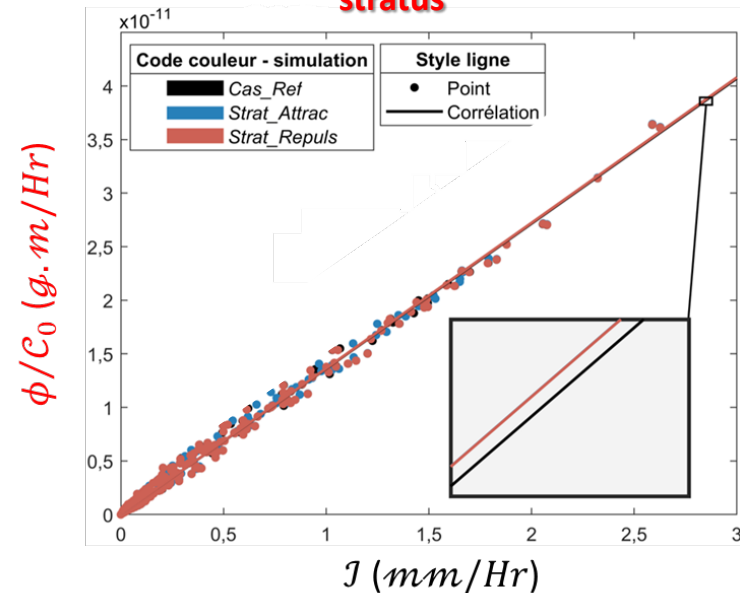
Travaux en cours

$$\Lambda_{nuage} = \frac{\phi_{(NH_4)_2SO_4, pluie}}{\mathcal{H} \langle C_{(NH_4)_2SO_4, nuage} \rangle}$$

Zhang et al. (2004)



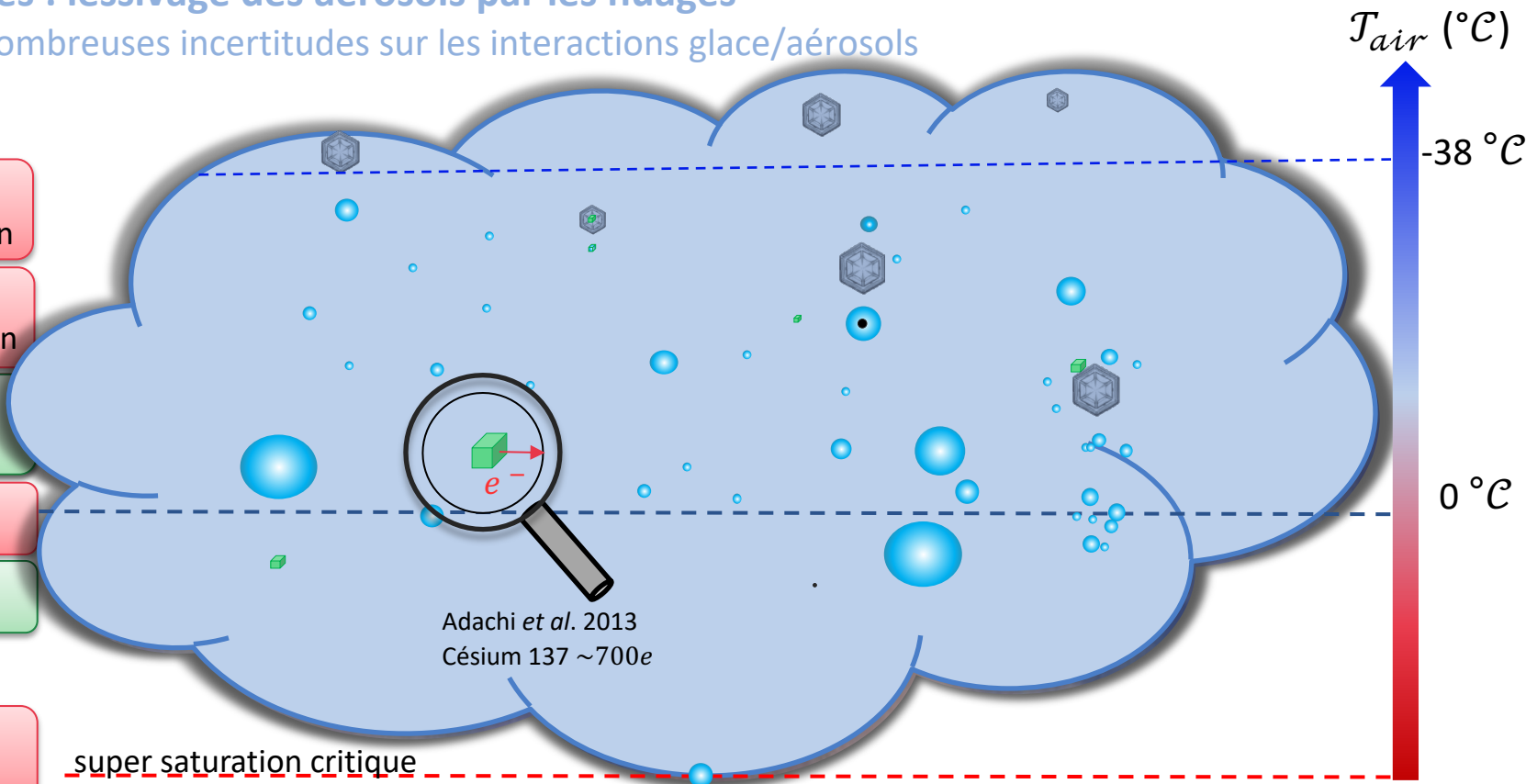
Zhang et al. (2004)
stratus



Perspectives : lessivage des aérosols par les nuages

Encore de nombreuses incertitudes sur les interactions glace/aérosols

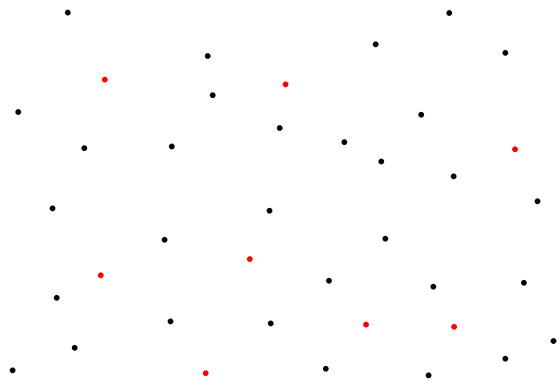
- Glaciation homogène
- Nucléation par déposition
- Congélation par immersion
- Congélation par contact
- Collecte
- Coalescence
- Condensation
- Activation



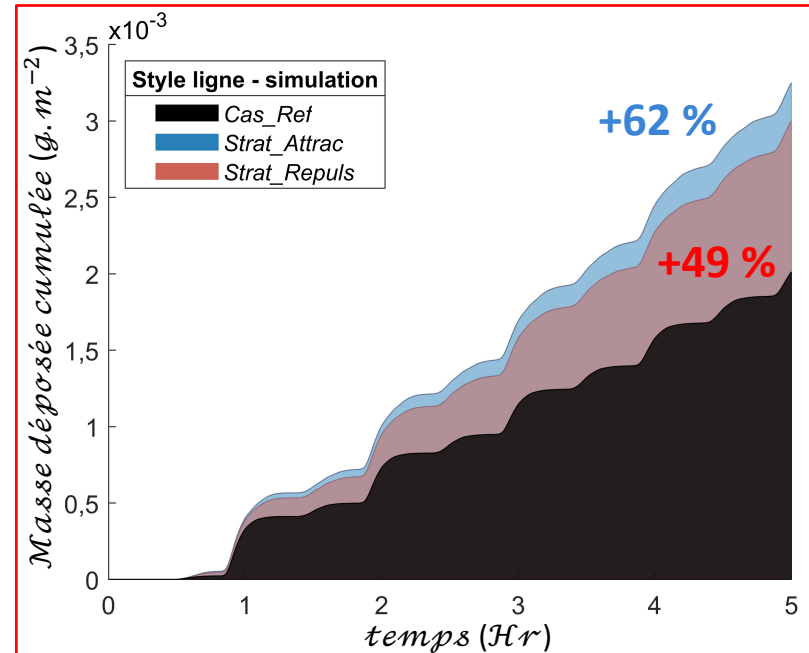
Adachi *et al.* 2013
Césium 137 ~700e

Quid du lessivage des aérosols radioactifs par une bruine ?

- Diamètre des gouttes $\mathcal{D}_{gutte} \leq 200 \mu m$;
- **Aérosol (radioactif)** : Fukushima (Adachi, 2013).



Contamination



*Merci pour votre
attention*