

Utilisation de simulations LES pour élaborer une stratégie d'échantillonnage adaptatif avec des drones pour caractériser les hétérogénéités des cumulus

Nicolas Maury^(1,*), G. Roberts^(1,2), F. Couvreur⁽¹⁾, N. Villefranque^(1,5), T. Verdu^(3,4), P. Narvor⁽⁴⁾, S. Lacroix⁽⁴⁾, G. Hattenberger⁽³⁾

* nicolas.maury@meteo.fr, Doctorant

(1) CNRM, Météo France, CNRS, Toulouse, France

(2) Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, USA

(3) ENAC, Université de Toulouse, Toulouse, France

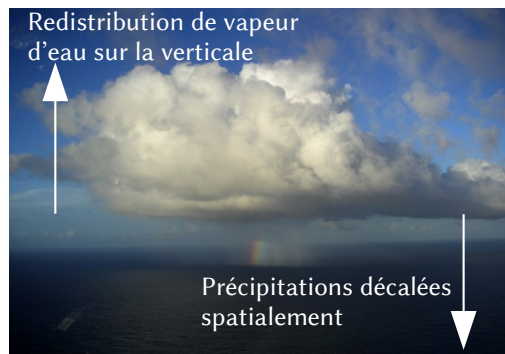
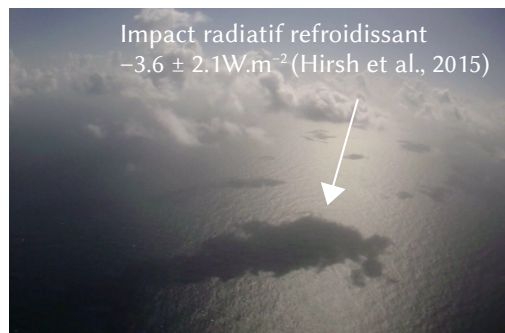
(4) LAAS-CNRS, Université de Toulouse, CNRS, Toulouse, France

(5) Laboratoire de Météorologie Dynamique, CNRS, Paris, France

AMA 2021, 8 mars 2021
La Convection Atmosphérique

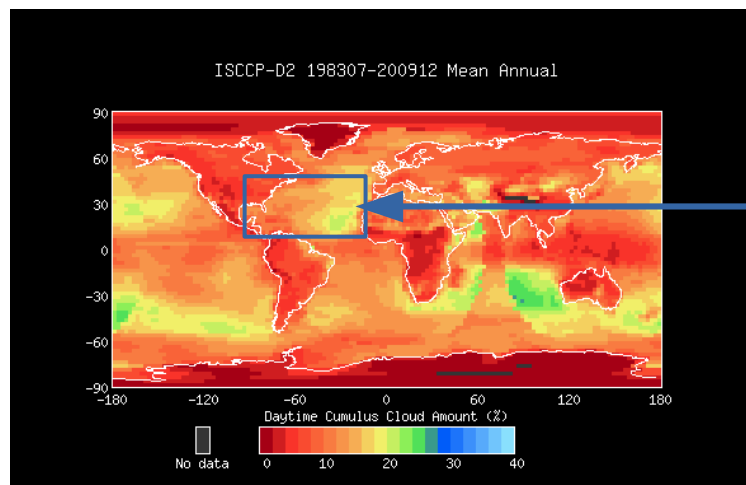


Pourquoi étudier les cumulus ?



Rauber et al., (2007)

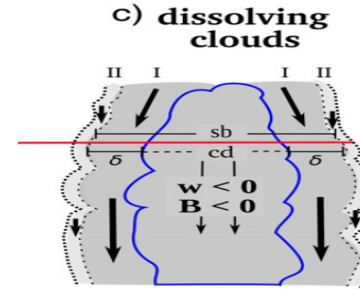
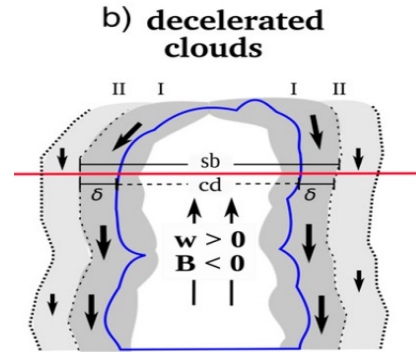
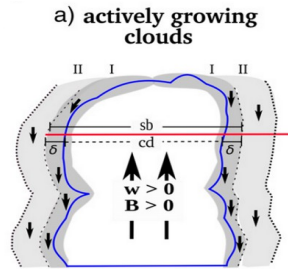
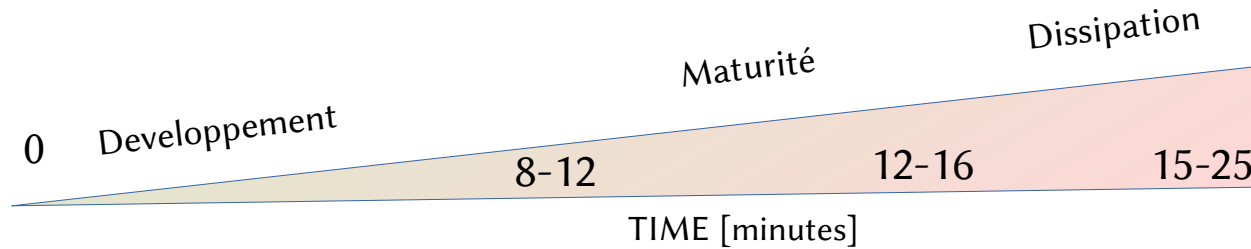
Répartition géographique



Zones privilégiées :
Régions océaniques subtropicales (vent d'alizés)

Campagne d'observation
Sur l'Atlantique Nord
BOMEX, 1969
SCMS, 1995
RICO, 2004
EUREC⁴A, 2020

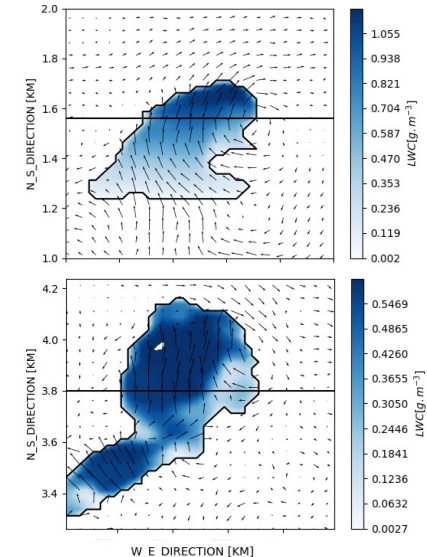
Comment se décompose un cumulus?

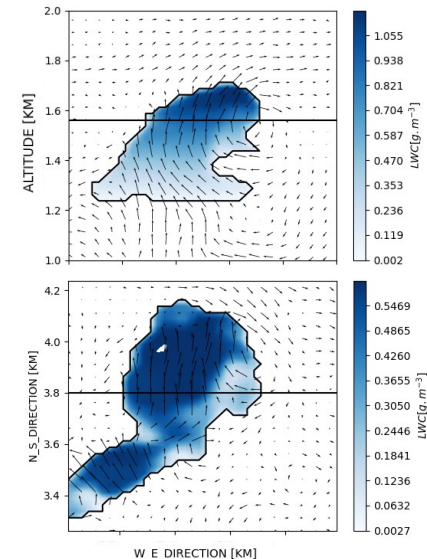


Katzwinkel et al., (2014)

Contraintes pour observations:

- Vie du nuage courte (25 min)
- Variabilité horizontale forte
- Structure verticale évolutive



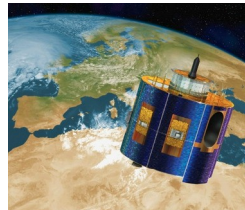
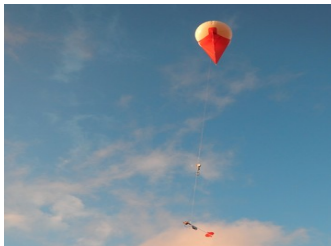


Observations conventionnelles

In situ

+

télédétection

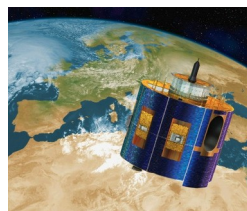
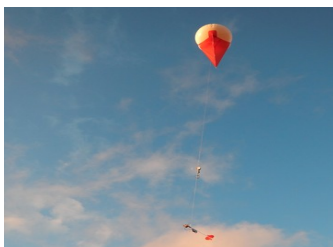


Observations conventionnelles

In situ

+

téledétection



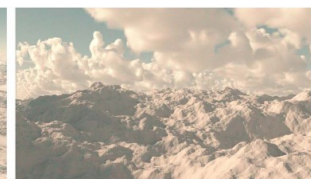
Observations indirectes

Les simulations haute résolutions (LES)

- Résolution spatiale: 10-50 m
- Convection peu profonde résolue
- Paramétrisation sous maille (microphysique, turbulence, rayonnement, advection)



a) BOMEX



b) ARM Cu 1



c) ARM Cu 2



d) FIRE

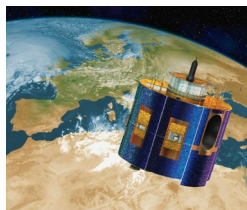
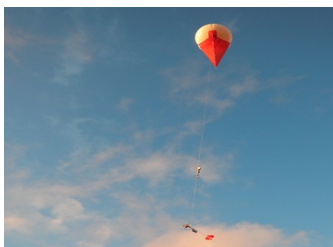
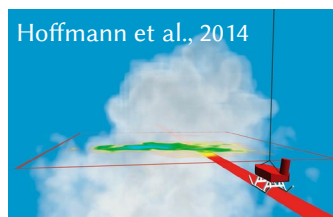
Villefranke et al., (2019)

Observations conventionnelles

In situ

+

téledétection



Quels manques dans les mesures In-situ ?
Les LES peuvent elles soustraire les observations ?

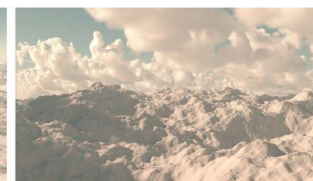
Observations indirectes

Les simulations haute résolutions (LES)

- Résolution spatiale: 10-50 m
- Convection peu profonde résolue
- Paramétrisation sous maille (microphysique, turbulence, rayonnement, advection)



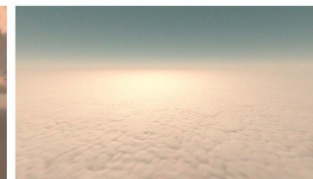
a) BOMEX



b) ARM Cu 1



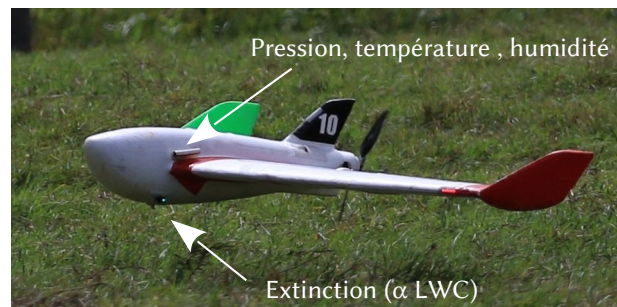
c) ARM Cu 2



d) FIRE

Villefranque et al., (2019)

SkyWalker-X6



Utilisation des drones pour l'observation nuageuse

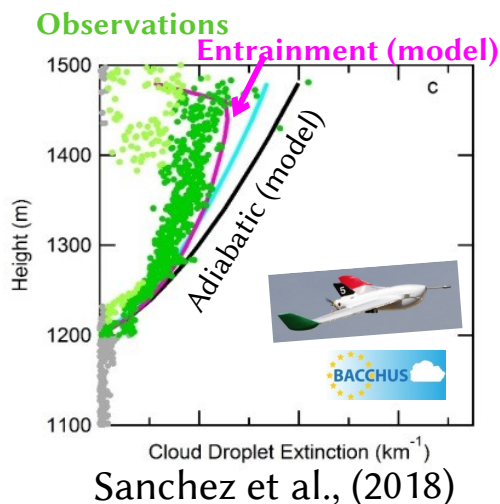
- Maniabilité souple, situation de terrain complexe
- Autonomie (1h30), faible cout de production/utilisation

Objectifs :

- Suivre un nuage dans le temps et l'espace
- Mesurer les variables intra-nuageuses et reproduire de manière fiable une section horizontale nuageuse

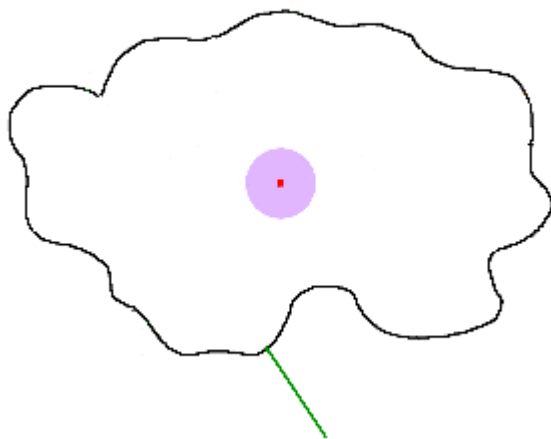
Méthode:

- Définir des trajectoires adaptatives
- Tester et approuver leur efficacité
- Appliquer dans la réalité



Comment faire voler un drone en adaptatif?

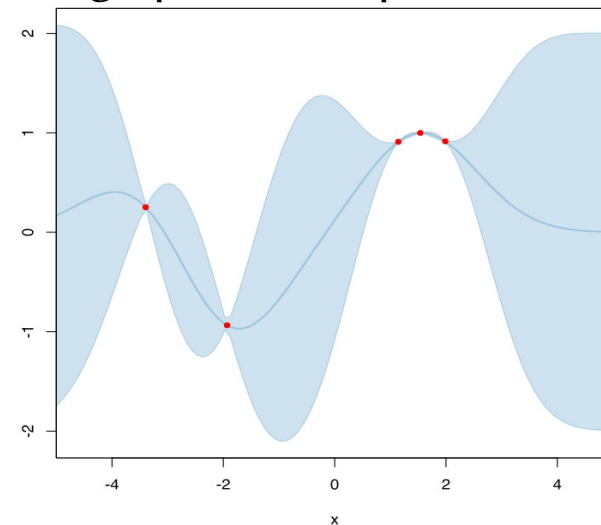
Trajectoire Rosette : échantillonne le cœur du nuage



Test avec 1 drone ? 2 drones ?



Cartographie en 2D par GPR



Comment tester des échantillonnages de nuages?

Champ de cumulus BOMEX

Intercomparaison de modèles en LES:

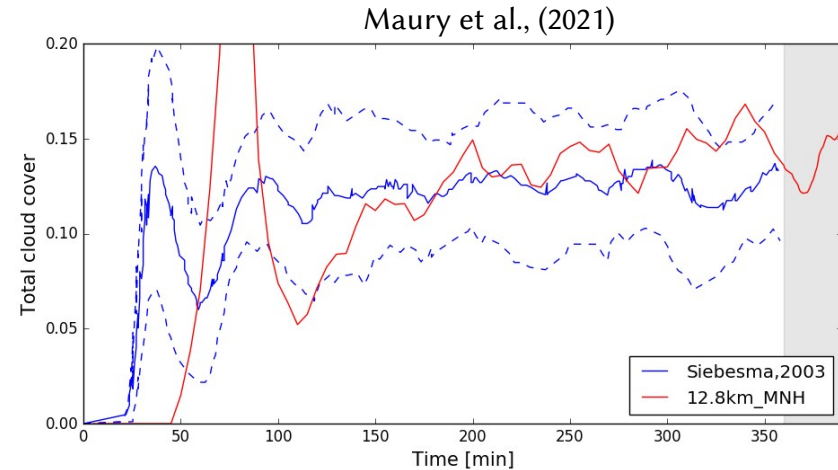
Siebesma et al., (2003)

Domaine: 6.4 km x 6.4 km x 4 km ($\Delta x = \Delta y = 100\text{m}$, $\Delta z = 40\text{m}$)

12.8KM_MNH:

Modèle Mésos-NH (Lac et al., 2018)

Domaine= 12.8 km x 12.8 km x 4 km ($\Delta x = \Delta y = \Delta z = 25\text{m}$)



Aire grisée : sorties haute-fréquence
chaque 5 secondes durant 30 minutes

Comment tester des échantillonnages de nuages?

Champ de cumulus BOMEX

Intercomparaison de modèles en LES:

Siebesma et al., (2003)

Domaine: 6.4 km x 6.4 km x 4 km ($\Delta x = \Delta y = 100\text{m}$, $\Delta z = 40\text{m}$)

12.8KM_MNH:

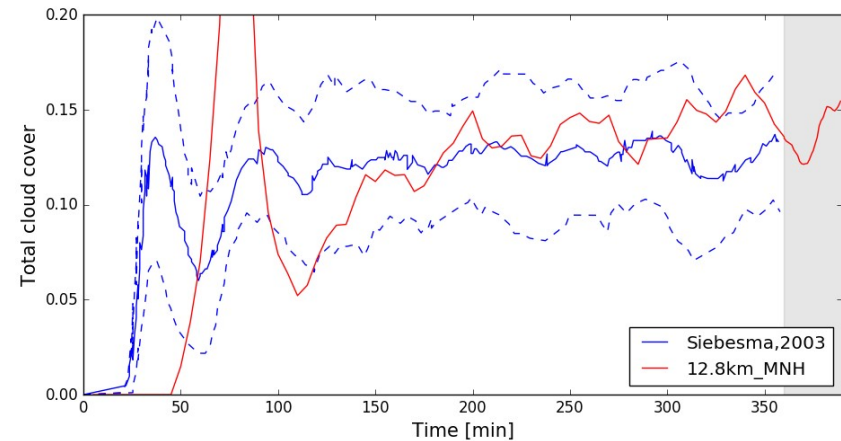
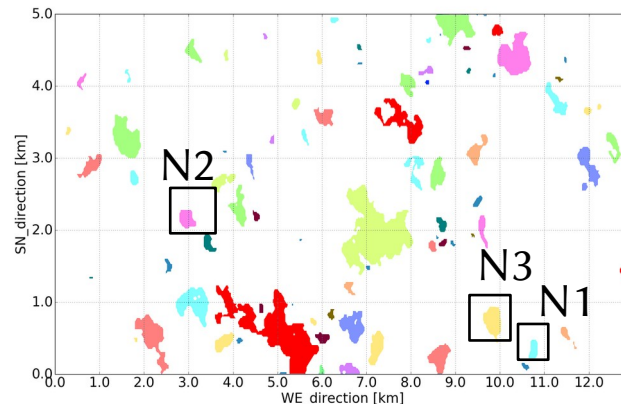
Modèle Méso-NH (*Lac et al., 2018*)

Domaine= 12.8 km x 12.8 km x 4 km ($\Delta x = \Delta y = \Delta z = 25\text{m}$)

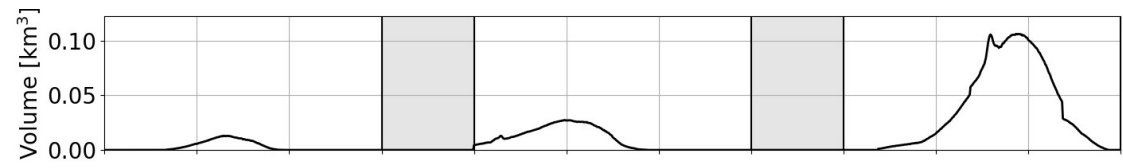
Villefranche (2019)

Méthode
d'identification
des nuages

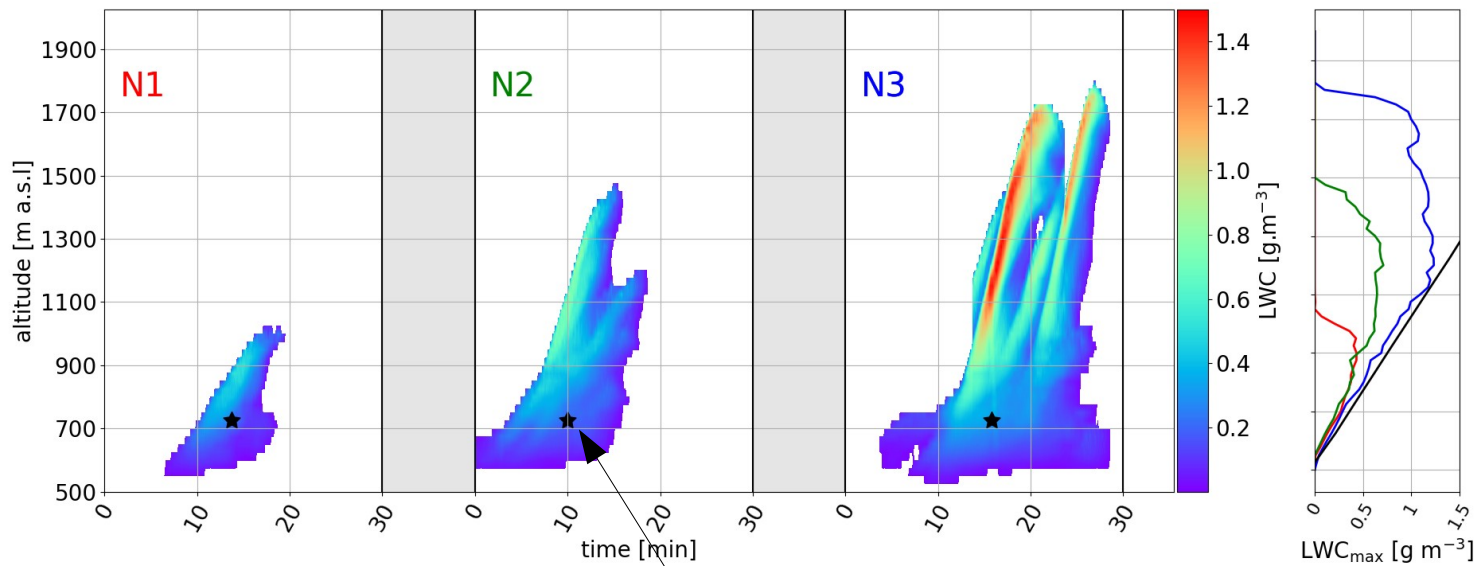
Brient et al., (2019)



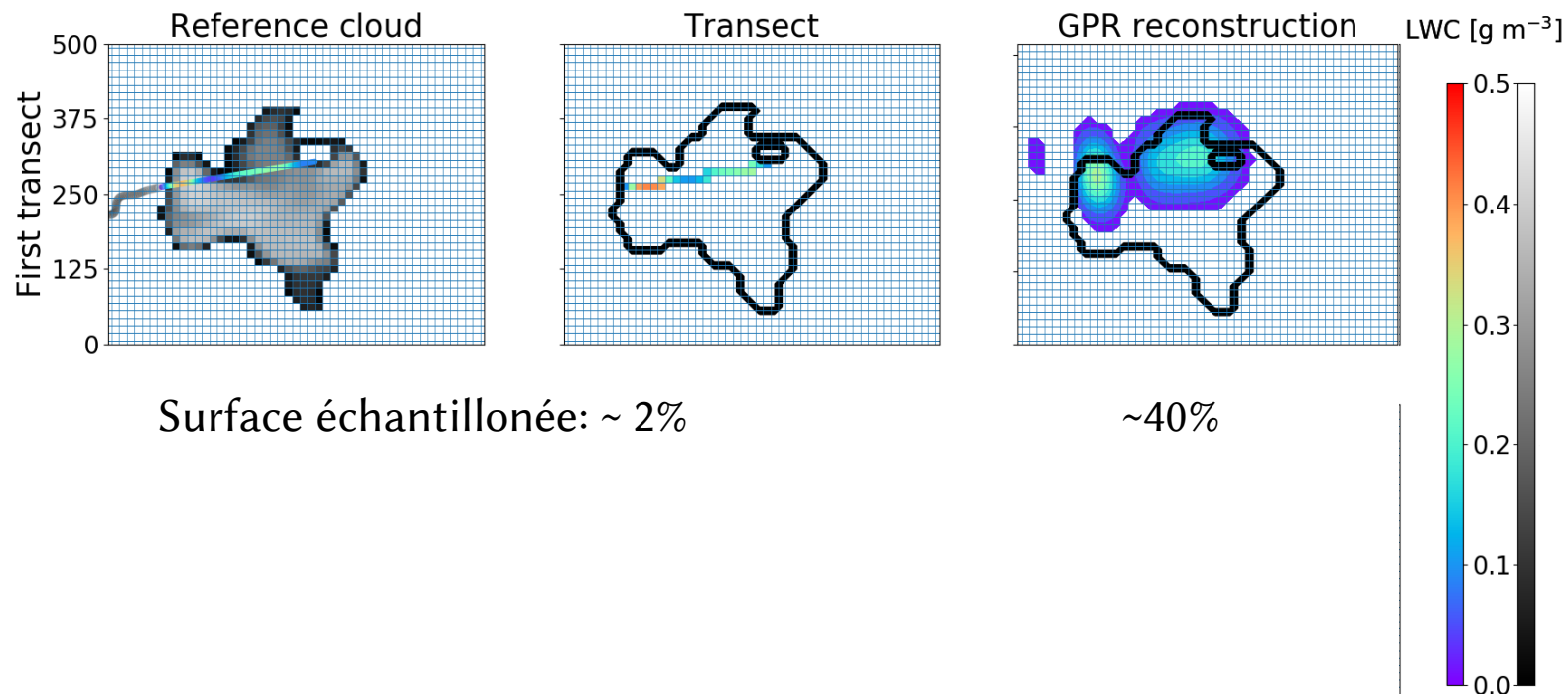
Aire grisée : sorties haute-fréquence
chaque 5 secondes durant 30 minutes

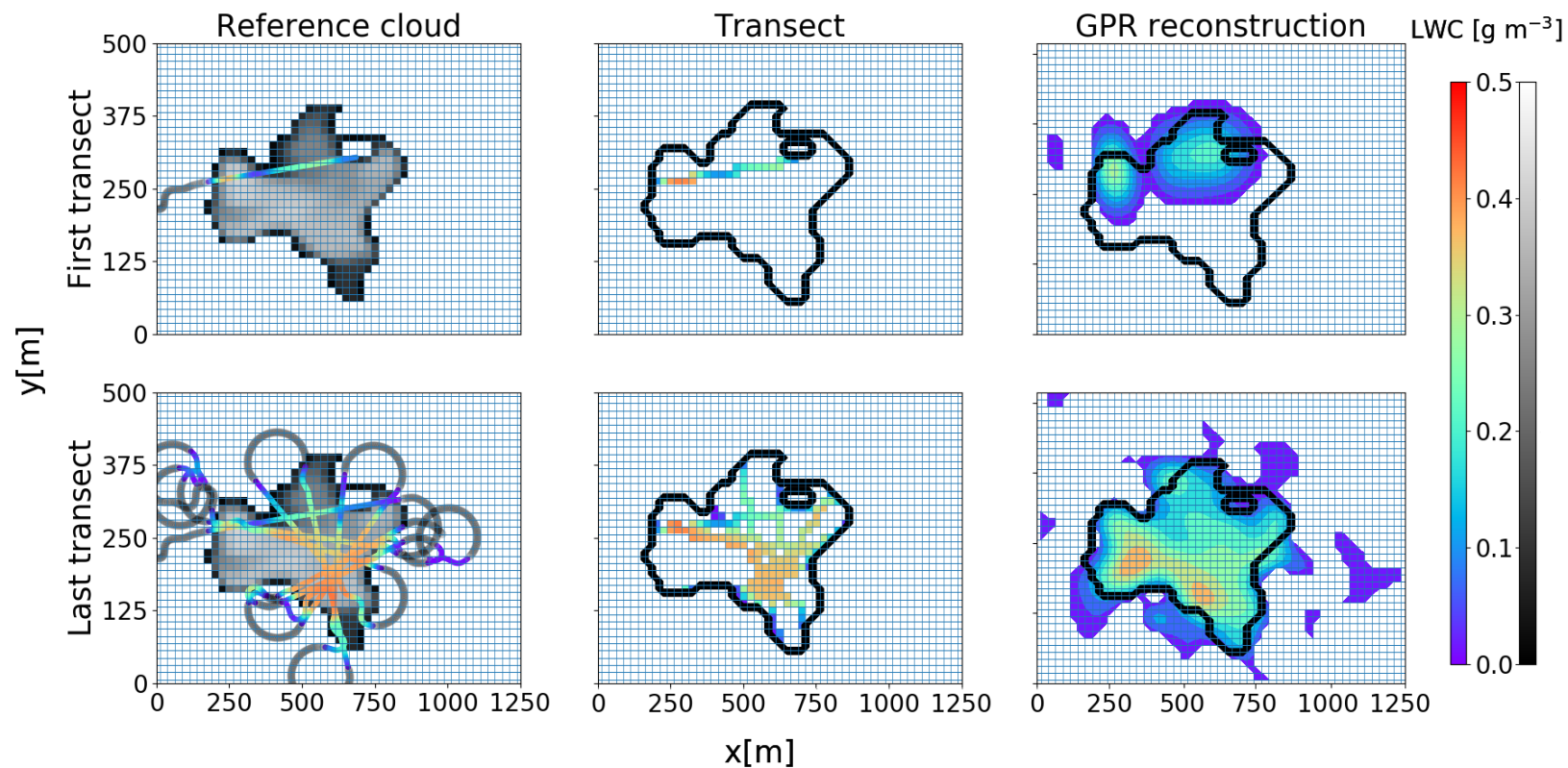


Trois nuages de largeur, hauteur et temps de vie différents



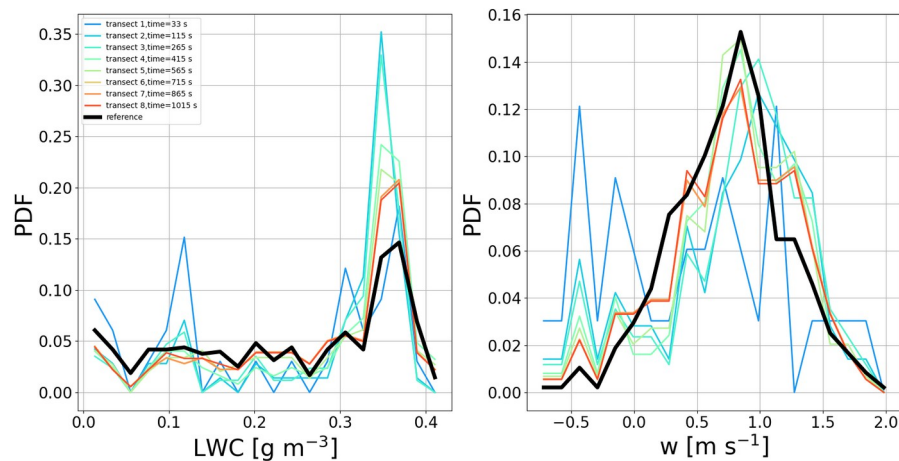
Test d'exploration Rosette en statique sur le nuage moyen





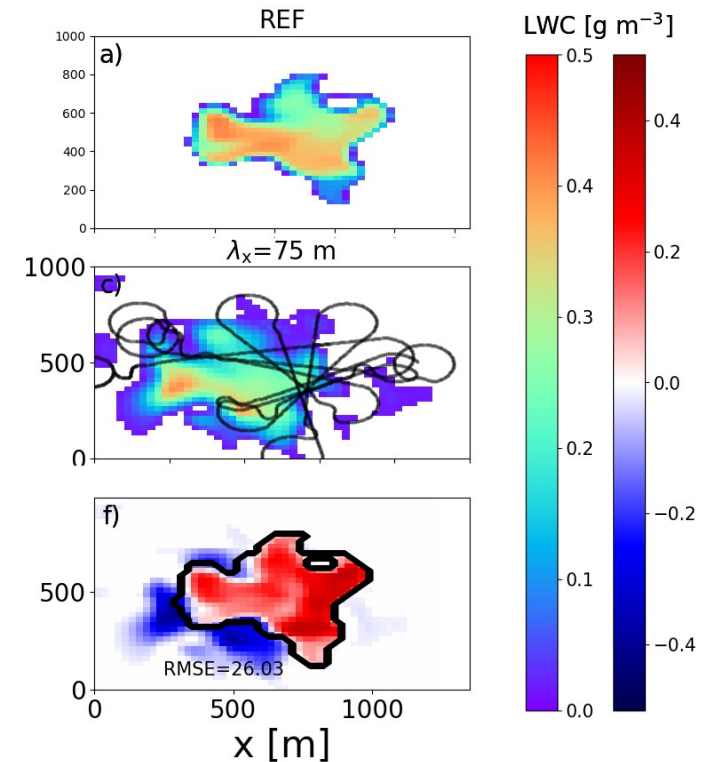
Comment quantifier un échantillonnage ?

Erreur sur les PDF



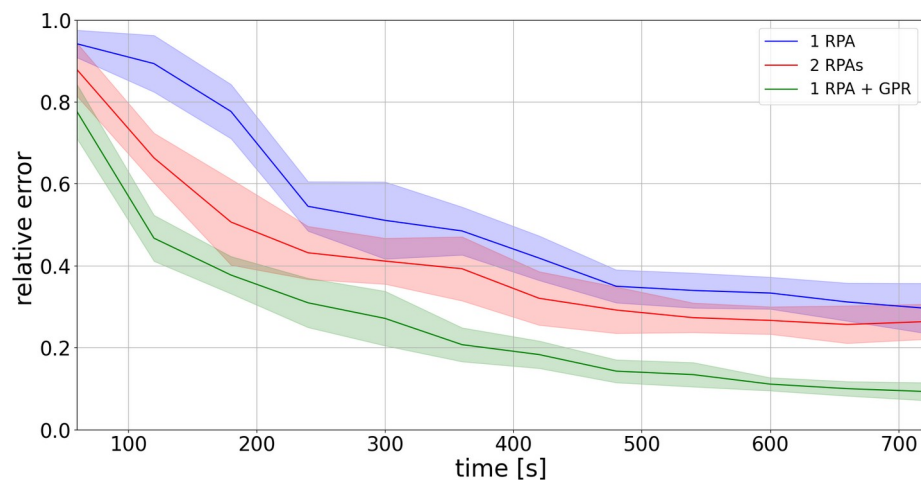
$$relative\ error = \frac{1}{nb_{bin}} \sum_i^{nb_{bin}} \frac{|PDF_{ref,i} - PDF_{reconstructed,i}|}{PDF_{ref,i}}$$

Erreur sur les champs horizontaux

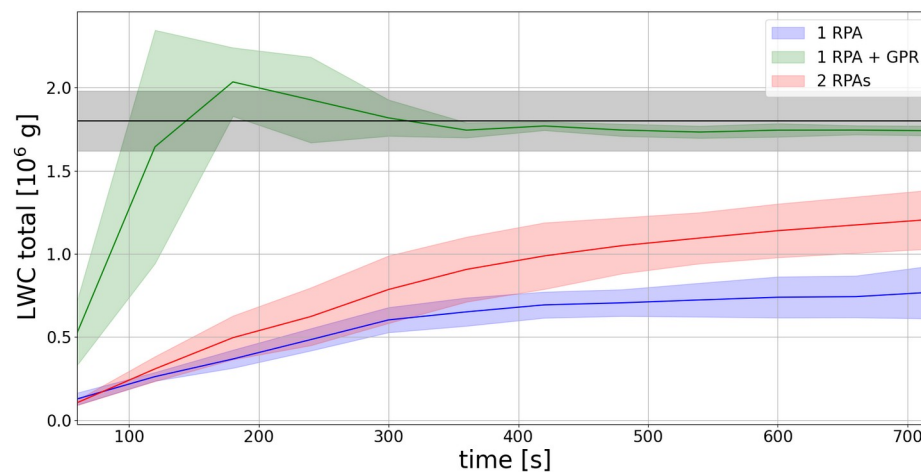


Comment quantifier un bon échantillonnage ?

Erreur sur les PDF

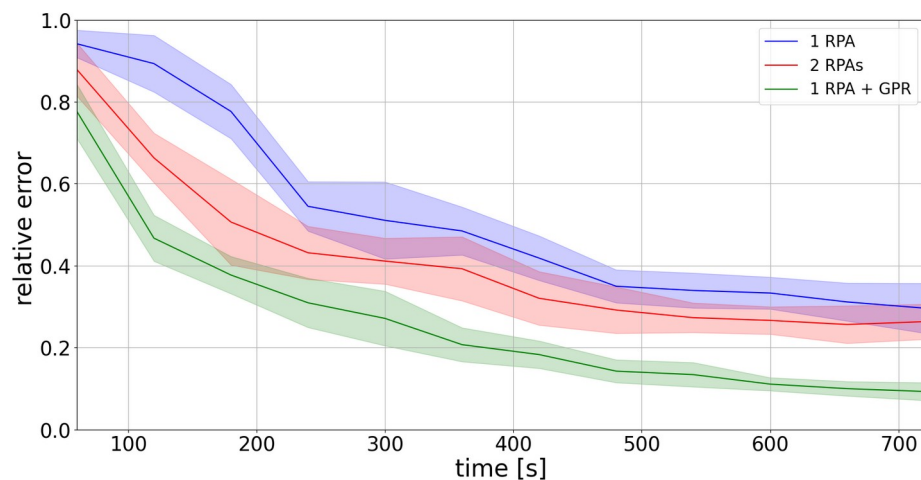


Erreur sur les champs horizontaux

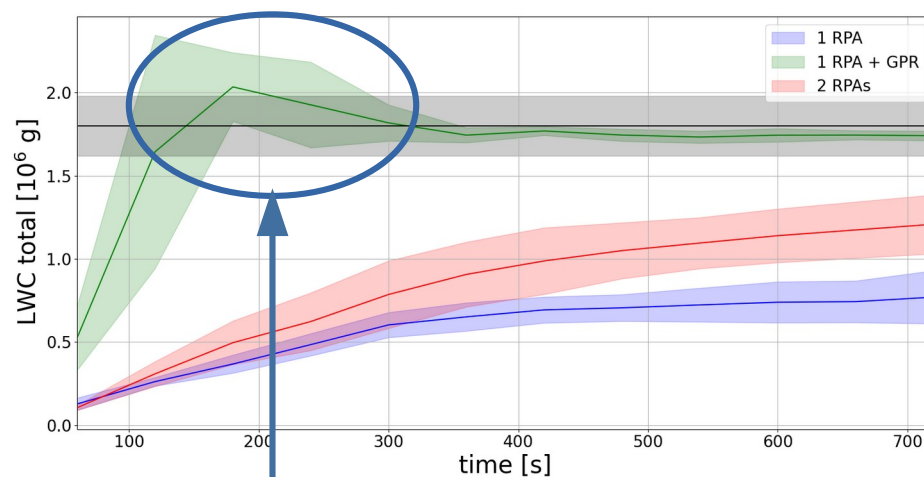


Comment quantifier un bon échantillonnage ?

Erreur sur les PDF

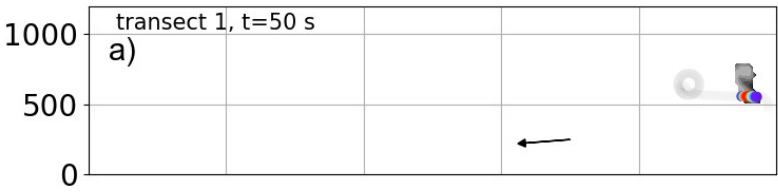


Erreur sur les champs horizontaux

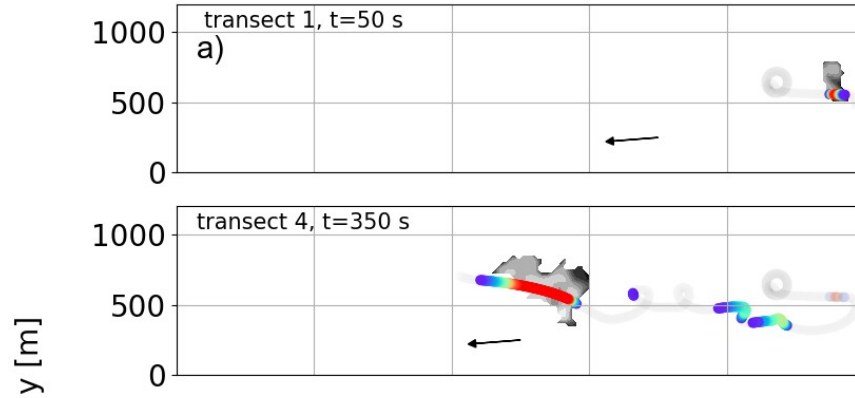


Champ total de LWC résolu en moins de 3 minutes

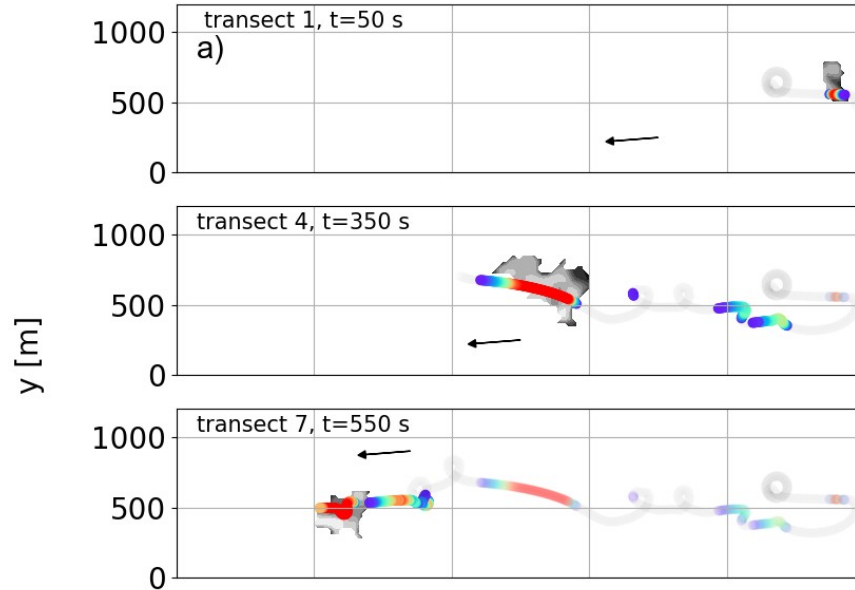
Application dans un cas evolutif



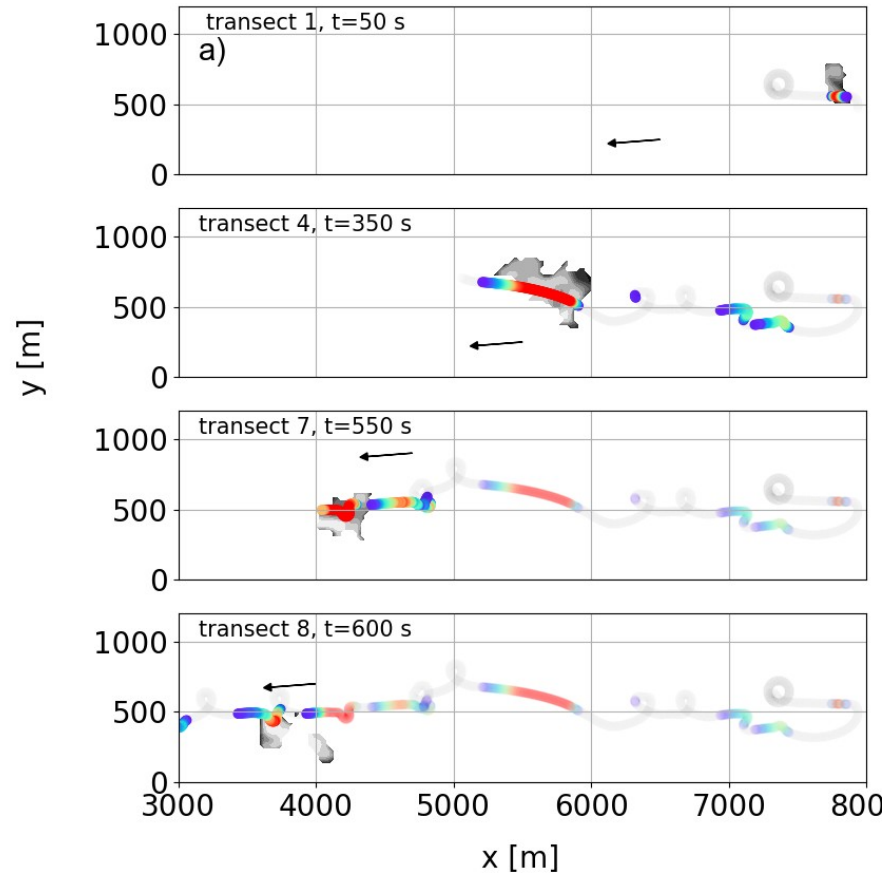
Application dans un cas évolutif



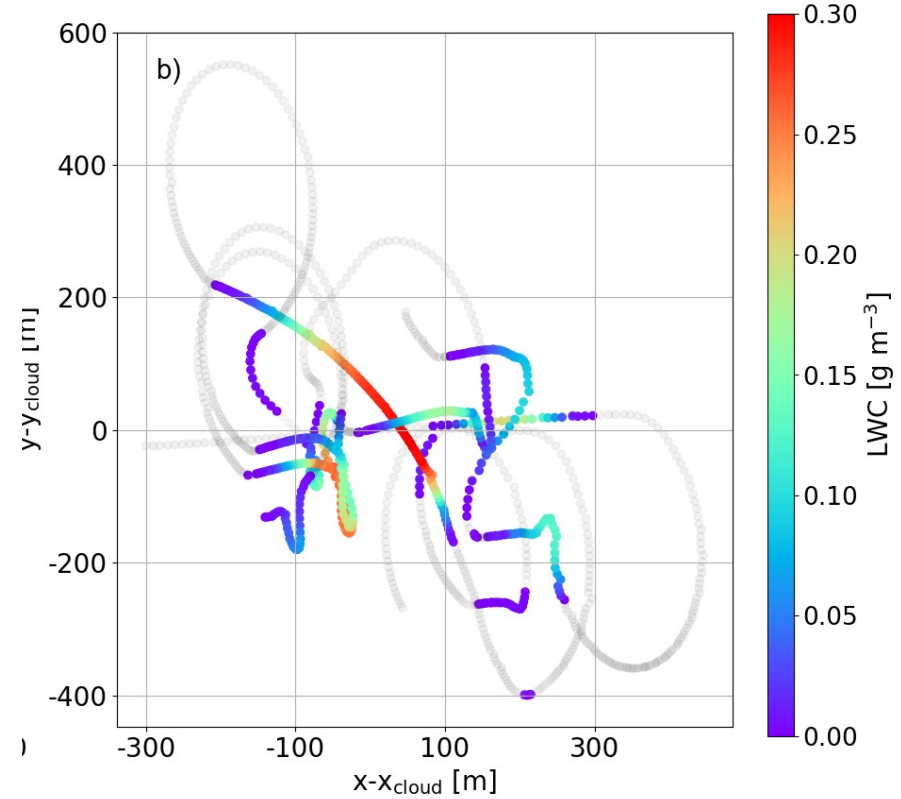
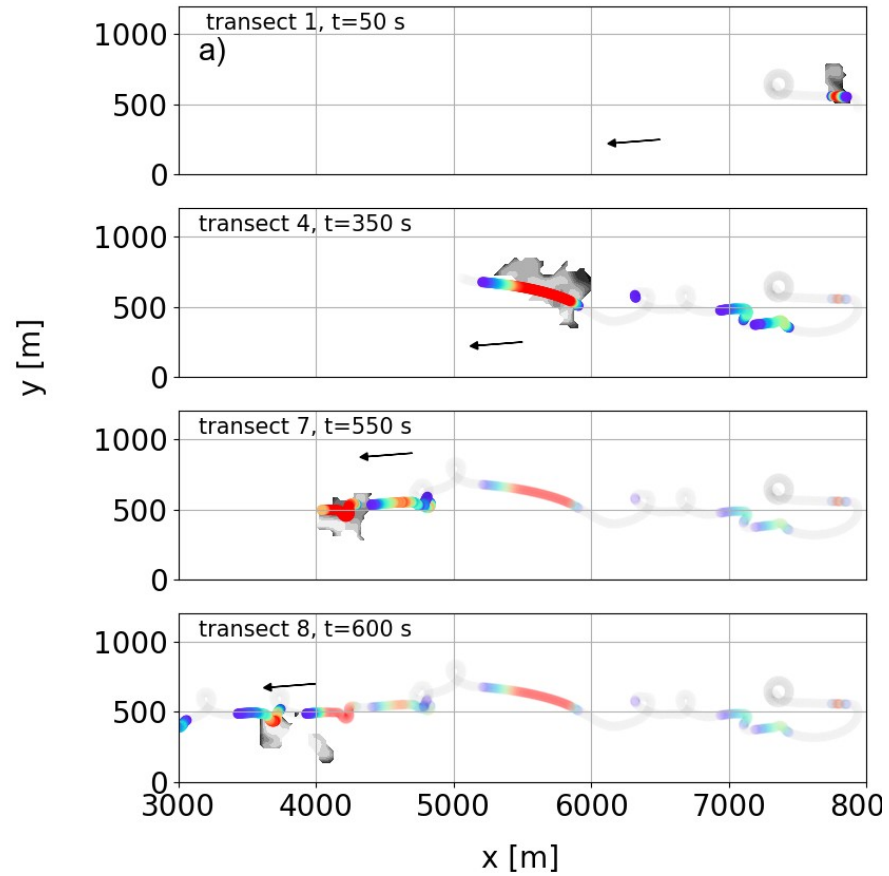
Application dans un cas évolutif



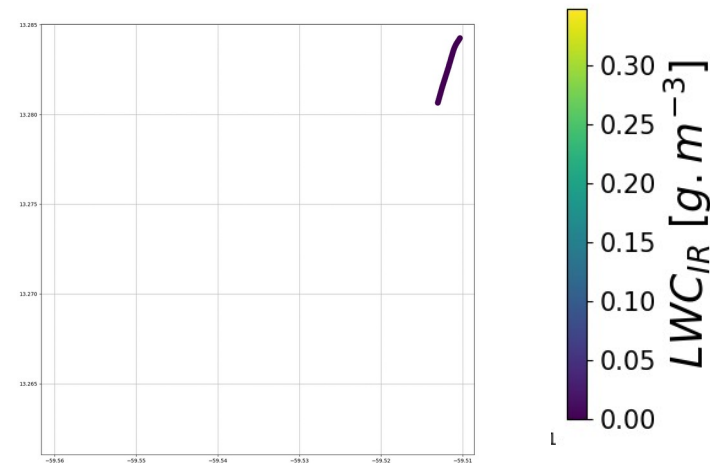
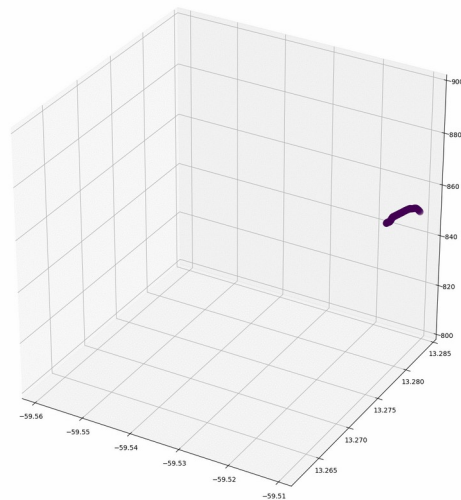
Application dans un cas évolutif



Application dans un cas évolutif



Application dans le cadre de la campagne EUREC⁴A



Conclusion :

Grâce aux simulations LES de Méso-NH
Validation des stratégie d'échantillonnage (Rosette)

Statique :

- 1/ Reconstruction des distributions de LWC :
1 RPA < 2 RPAs < 1 RPA+GPR (erreur<0.3 au bout de 3 minutes)
- 2/ Reconstruction du champ total de LWC :
Seul la cartographie represente 10 % du LWC_{TOT}

Dynamique :

Bon comportement du drone, suivi réalisé > 10 minutes et bonne representation des PDFs

Conclusion :

Grâce aux simulations LES de Més0-NH
Validation des stratégie d'échantillonnage (Rosette)

Statique :

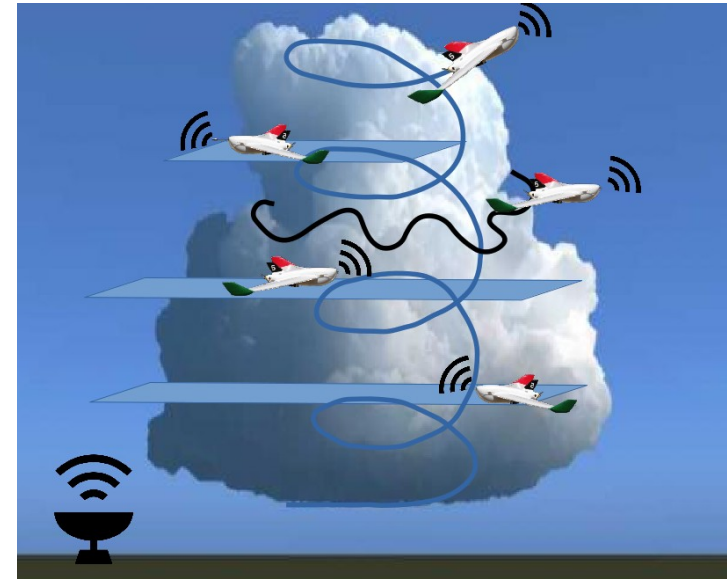
- 1/ Reconstruction des distributions de LWC :
1 RPA < 2 RPAs < 1 RPA+GPR (erreur<0.3 au bout de **3 minutes**)
- 2/ Reconstruction du champ total de LWC :
Seul la cartographie représente 10 % du LWC_{TOT}
en moins de **2 minutes**

Dynamique :

Bon comportement du drone, suivi réalisé > 10 minutes et bonne representation des PDFs

Futures actions :

Tester l'exploration adaptative en flotte sur nuage statique et dynamique



Merci de votre attention.



“La Femme mérite tout notre respect, notre tendresse et notre attention. Le 8 mars, c’est 365 jours sur 365.” Sadek Belhamissi