

Étude des circulations thermiques et des nuages de pente sur l'île de la Réunion

EL GDACHI Samira^{1,2}, TULET Pierre², RECHOU Anne¹, BURNET Frédéric³

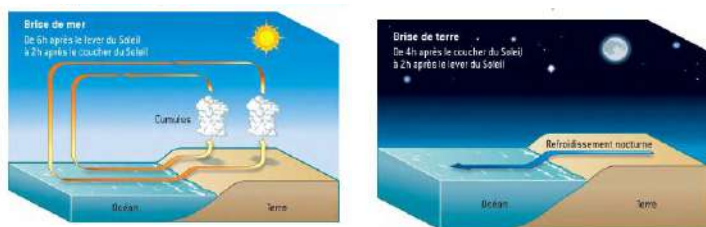
¹ Laboratoire de l'Atmosphère et des Cyclones (LACy), UMR 8105, CNRS, Université de la Réunion, Météo-France, Saint-Denis de la Réunion, 97744, France

² Laboratoire d'Aérodynamique (LAERO), UMR 5560, CNRS, Université Paul Sabatier, IRD, Toulouse, 31400, France

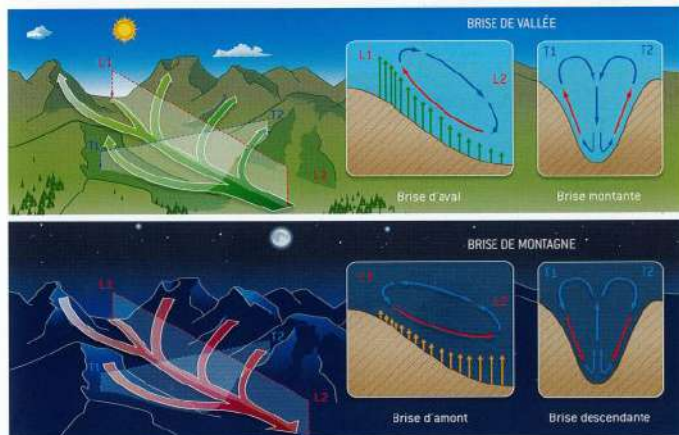
³ Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), UMR 3589, CNRS, Université de Toulouse, Météo-France, Toulouse, 31057, France

Les phénomènes à échelle local sont les plus difficiles à prévoir que les phénomènes à grandes échelles

La brise de terre et de mer



La brise de vallée et de montagne



Source : Atmosphère, océan et climat

Guadeloupe (Cécé et al., 2014)



Majorque (Cuxart et al., 2014) et (Jiménez et al., 2016)



Île de Maui, Hawaii (Carlis et al., 2010)



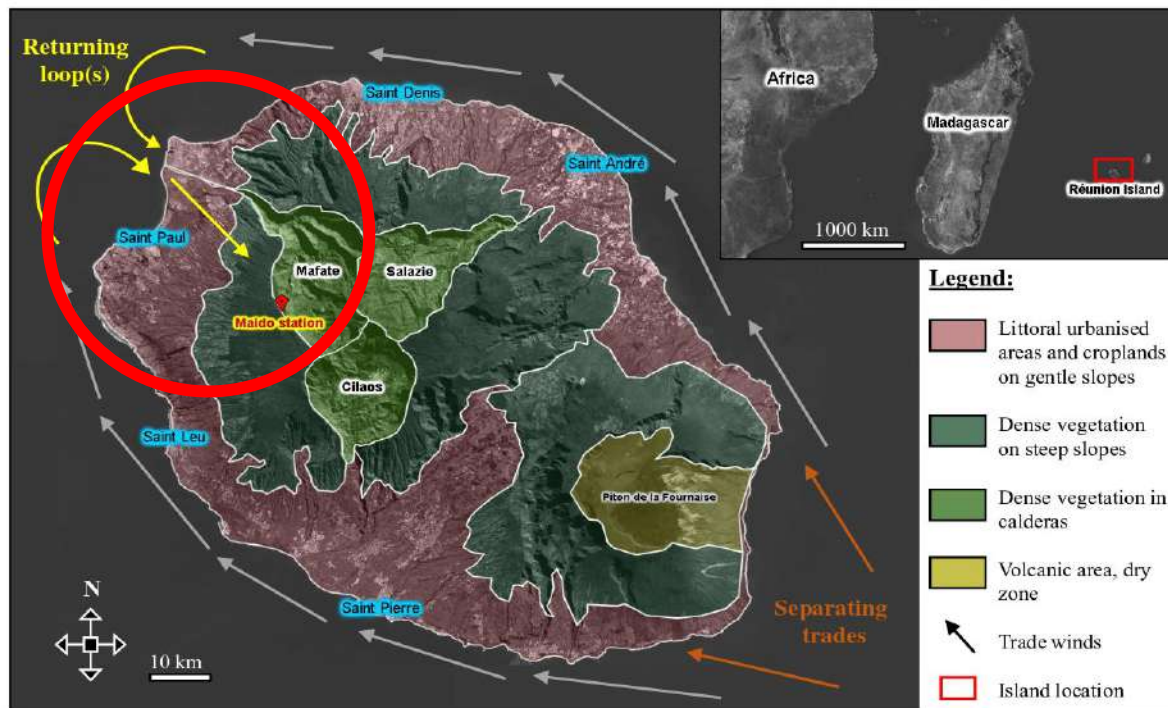
New caledonia (Lefèvre et al., 2010)



Ile de La Réunion (Océan indien , 21°07'S, 55°322'E) est caractérisé par :

- Insulaire
- Tropicale
- Montagneux

Les différents types de terrains et la circulation atmosphérique autour de l'île



Questions scientifiques :

Quels sont les principaux processus dynamiques qui déterminent :

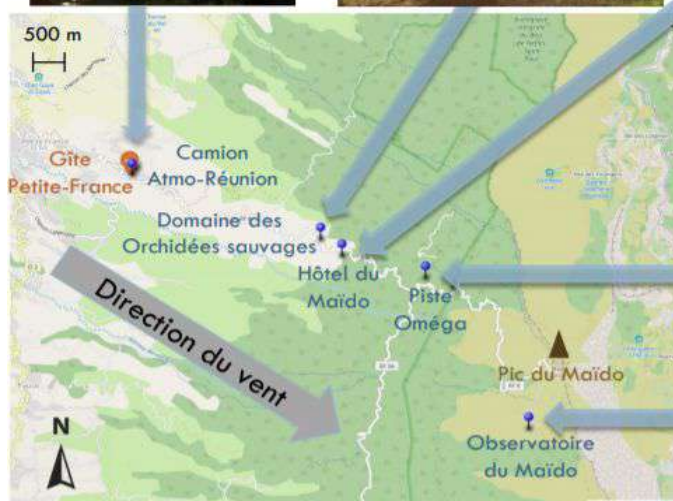
- Interaction entre les circulations régionales et les circulations thermiques locales.
- Le cycle de vie des nuages sur les pentes du Maïdo (interaction aérosols-nuage).

Source : Brice Foucart/ LACy – Réunion / CNRS



Du 11 mars au 7 avril 2019

Une vue sur les différents sites de la campagne BIO-MAÏDO



Source : Maud LERICHE/ LA – Toulouse / CNRS

1 Gîte Petite-France 965 m : Composition chimique de la masse d'air (aérosols et gaz) – PTRMS

2 Orchidées 1465 m : Ballon captif et télédétection

↪ **Suivre le cycle de vie de la CLA et de l'ennuagement**

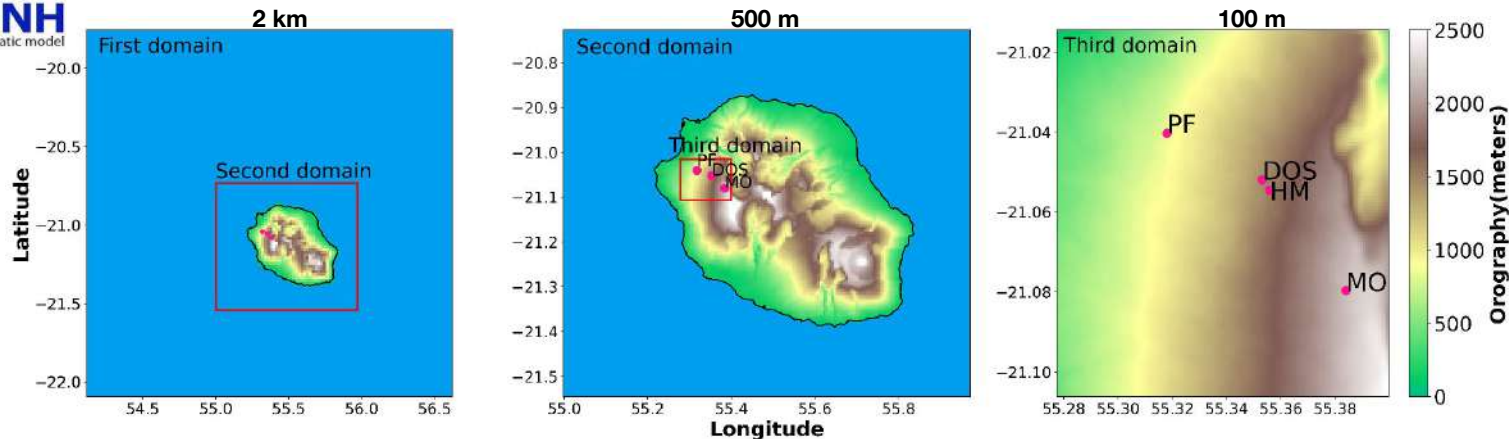
3 Hôtel du Maïdo 1500 m : Mât instrumenté (24 m) : mesures de flux et concentration des COV

↪ • **Caractériser la turbulence**
• **Déterminer les flux d'échanges biosphère-atmosphère qui permettent le développement de la CLA**

4 Piste Oméga 1760 m : Impacteur à nuage (biochimie des gouttes)

5 Observatoire du Maïdo 2165 m : Composition chimique de la masse d'air (aérosols et gaz) PTRMS et ACSM / open data

Les domaines du modèle et la zone d'étude



- Initialisation/couplage avec les données ECMWF
- **Turbulence :**
 - En 1D à $\Delta x = 2\text{km}$
 - En 3D à $\Delta x = 500\text{m}$ et $\Delta x = 100\text{ m}$
- **Microphysics :**
 - Initialisation des aérosols à partir des mesures d'aérosols au sol (2 modes)
 - Initialisation des concentrations d'aérosols à partir des données ballon sur la verticale
- **Advection :**
 - En WENO_K à $\Delta x = 2\text{km}$ et $\Delta x = 500\text{m}$
 - En CEN4TH à $\Delta x = 100\text{ m}$

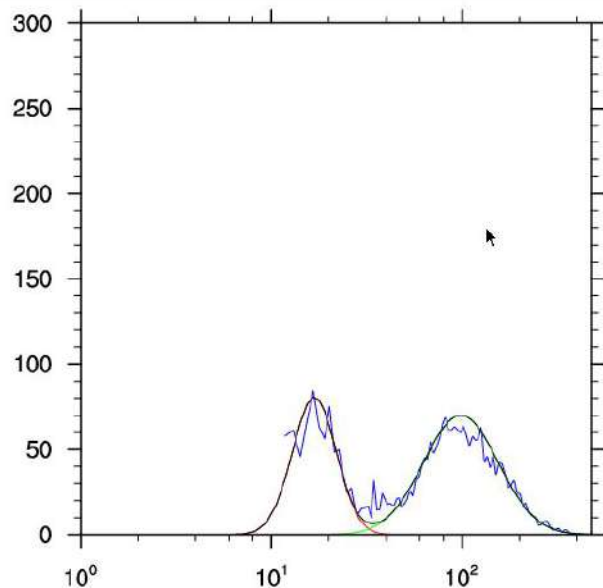
Résolution verticale :

Près du sol : 1m

At $z=500\text{m}$: 30m

Haut du domaine : 380m

La distribution en taille : 28-03-2019



Identification des modes à l'aide des données SMPS (Scanning Mobility Particle Sizer)

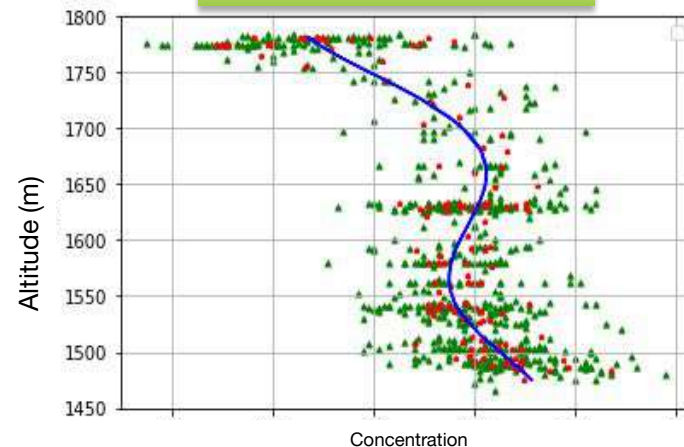
La distribution des aérosols de 11,8nm à 478,3nm, avec une résolution temporelle de 3min

Le paramètre d'hygroscopicité

$$\kappa\text{-Köhler théorème} \quad \kappa = \sum_i \epsilon_i \kappa_i$$

Source : M. D. Petters and S. M. Kreidenweis

Profil verticale



rayon

sigma

Mode 1

18

1,38889

Mode 2

121

1,59667

Corrélation = 0,948413

The potential temperature budget:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \underbrace{-U_j \frac{\partial \theta}{\partial x_j}}_{\text{advection}} - \underbrace{\frac{1}{\rho} \frac{\partial R_j}{\partial x_j}}_{\text{radiation}} - \underbrace{\frac{\partial \overline{U'_j \theta'}}{\partial x_j}}_{\text{turbulence}} + \text{microphysique} + F_\theta \quad (1)$$

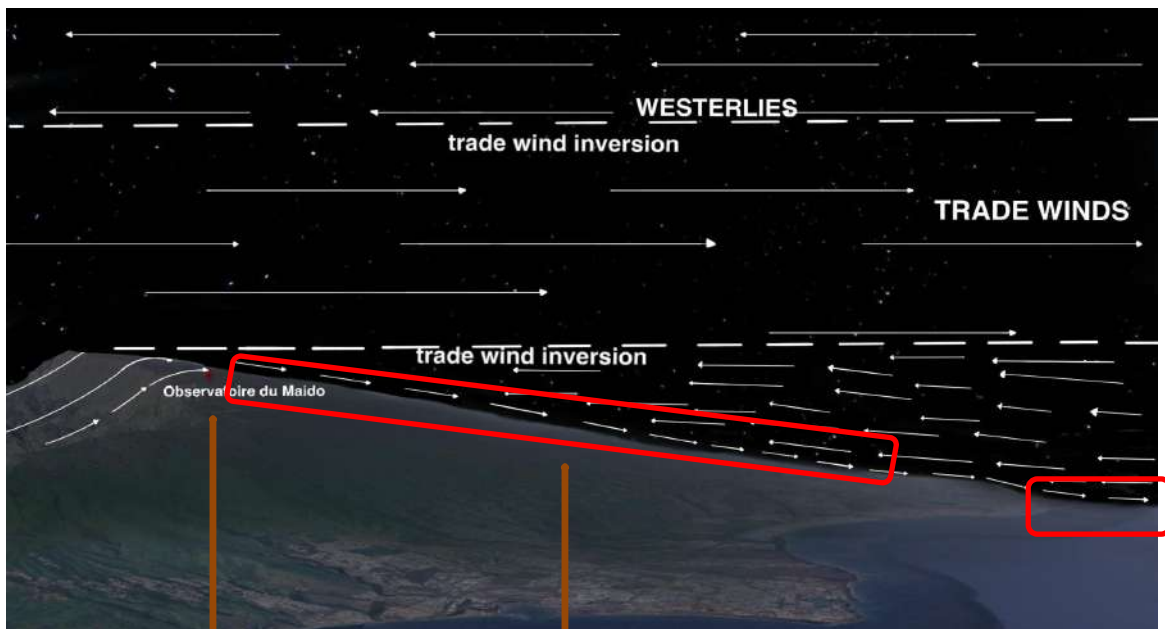
The Turbulence Kinetic Energy (TKE) budgets:

$$\frac{\partial e}{\partial t} = \underbrace{-U_j \frac{\partial e}{\partial x_j}}_{\text{advection}} - \underbrace{\overline{U'_i u'_j} \frac{\partial U_i}{\partial x_j}}_{\text{shear}} + \underbrace{\frac{g}{\Theta_{vref}} \overline{w' \Theta'_v}}_{\text{buoyancy}} - \underbrace{\frac{\partial \overline{U'_j e}}{\partial x_j}}_{\text{turbulencetransport}} - \underbrace{\varepsilon}_{\text{dissipation}} \quad (2)$$

Source: Stull 1988

Le vent observé à PF et MO entre 14UTC et 04 UTC (Nuit) (sur toute la campagne)

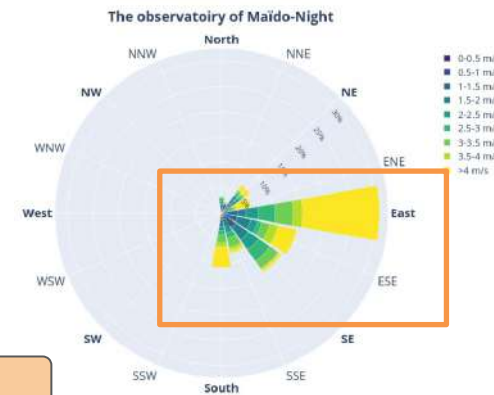
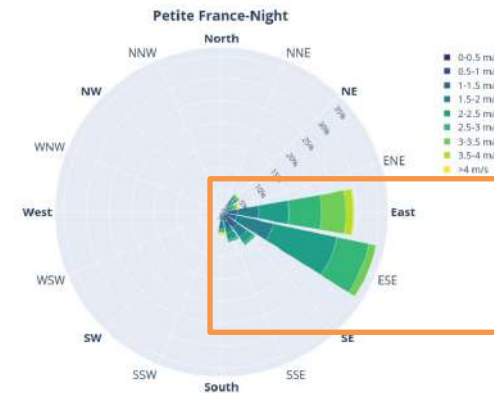
Les circulations le long des pentes de l'île pendant la nuit



Observatoire du Maïdo

Petite-France

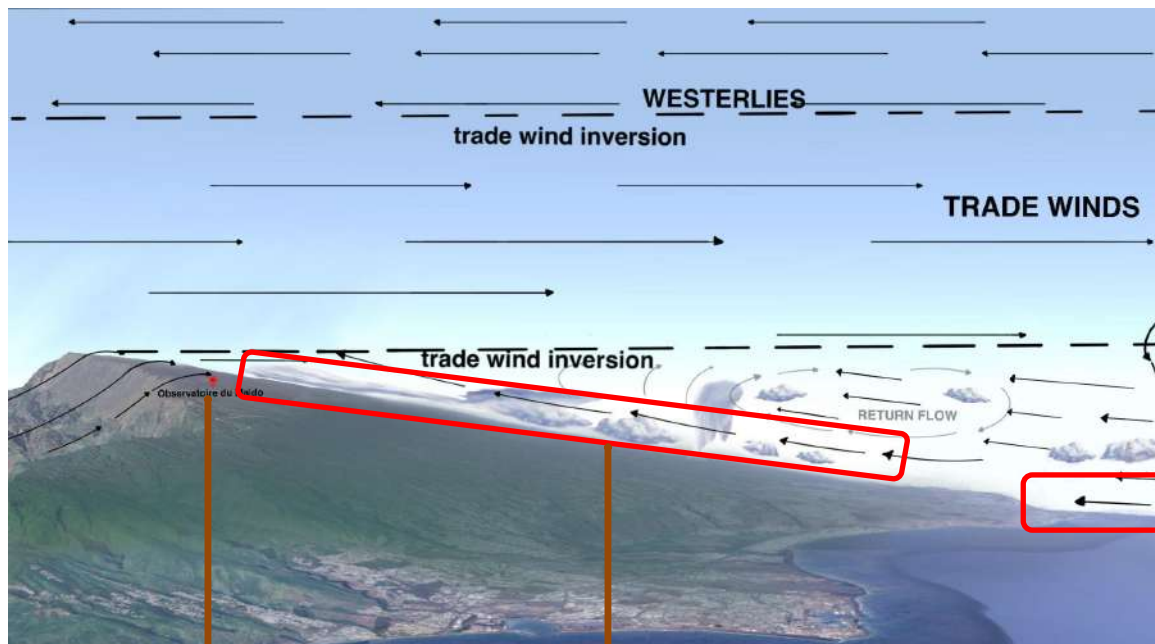
Illustration personnelle



LT=UTC+4

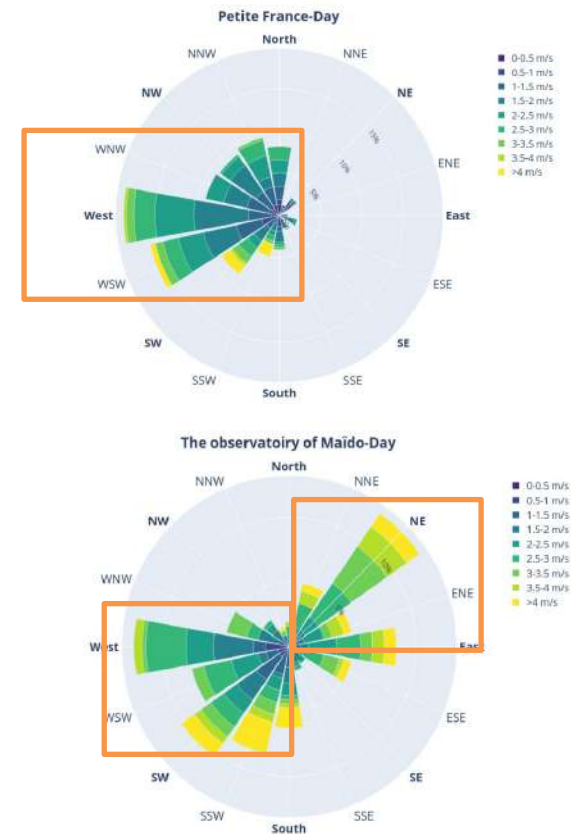
Le vent observé à PF et MO entre 04 UTC à 18 UTC (Jour) (sur toute la campagne)

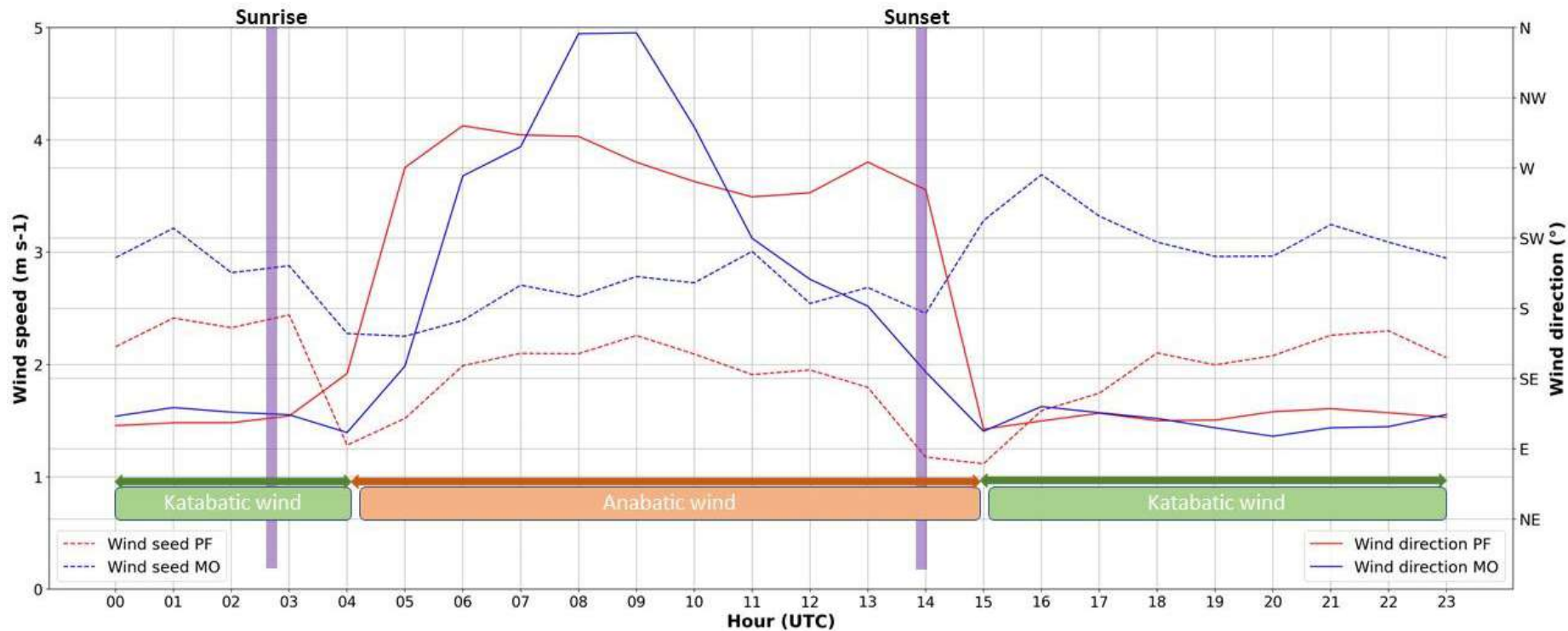
Les circulations le long des pentes de l'île pendant le jour



Observatoire du Maïdo

Petite-France

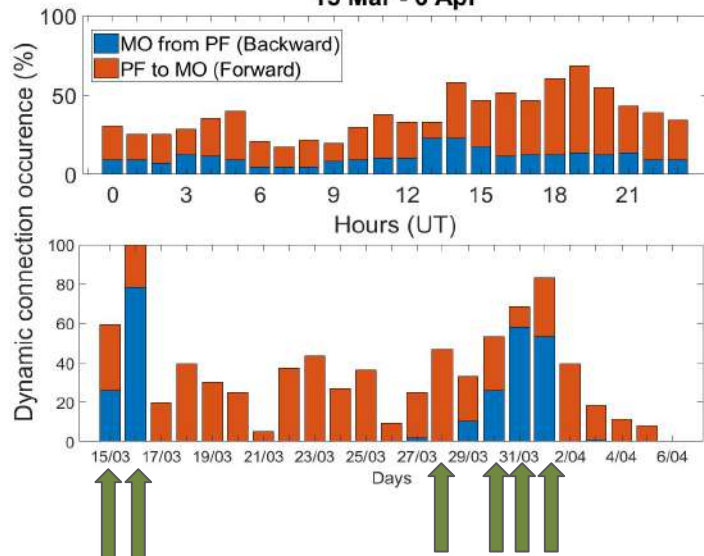




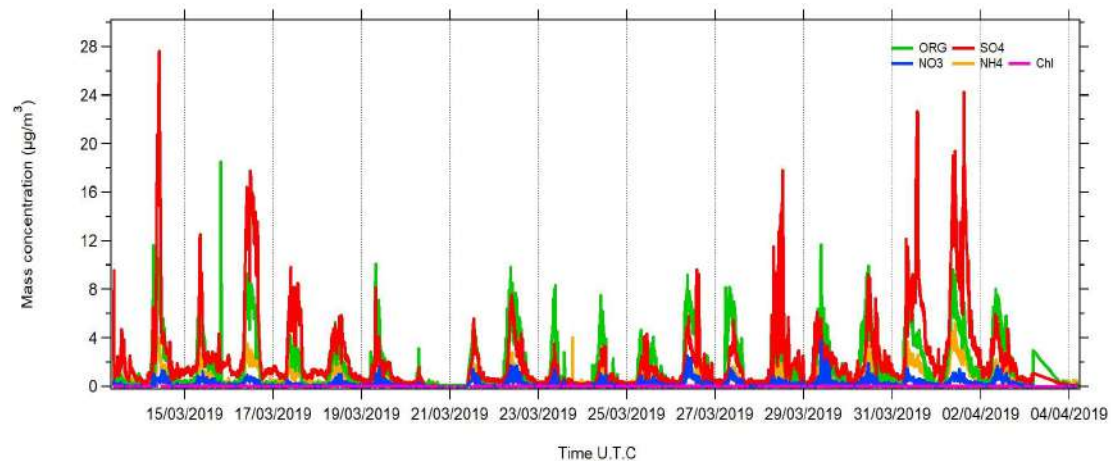
Le vent observé à PF et MO (moyenne sur toute la campagne par heure)

Choix de la période d'étude: [M.Rocco et al., 2022](#)

All the campaign
15 Mar - 6 Apr



Aerosols composition :
Maïdo obs.

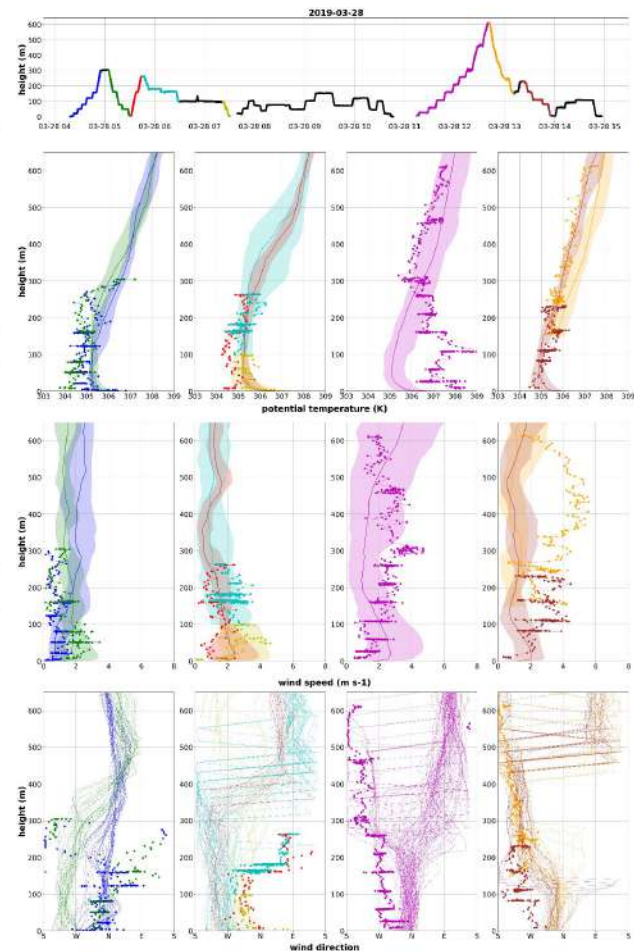
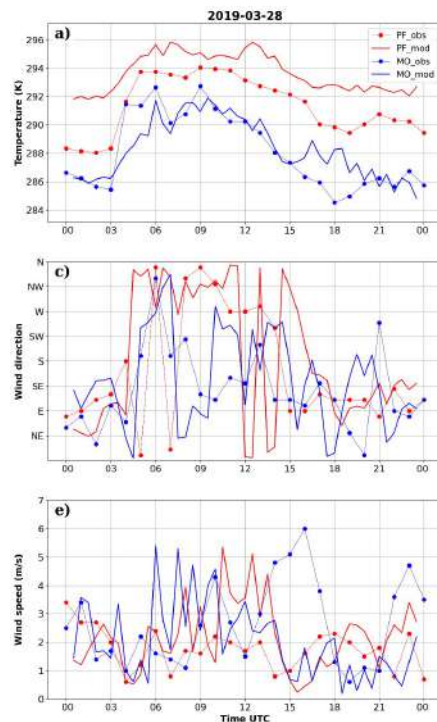


Étude de cas : le 28 mars 2019

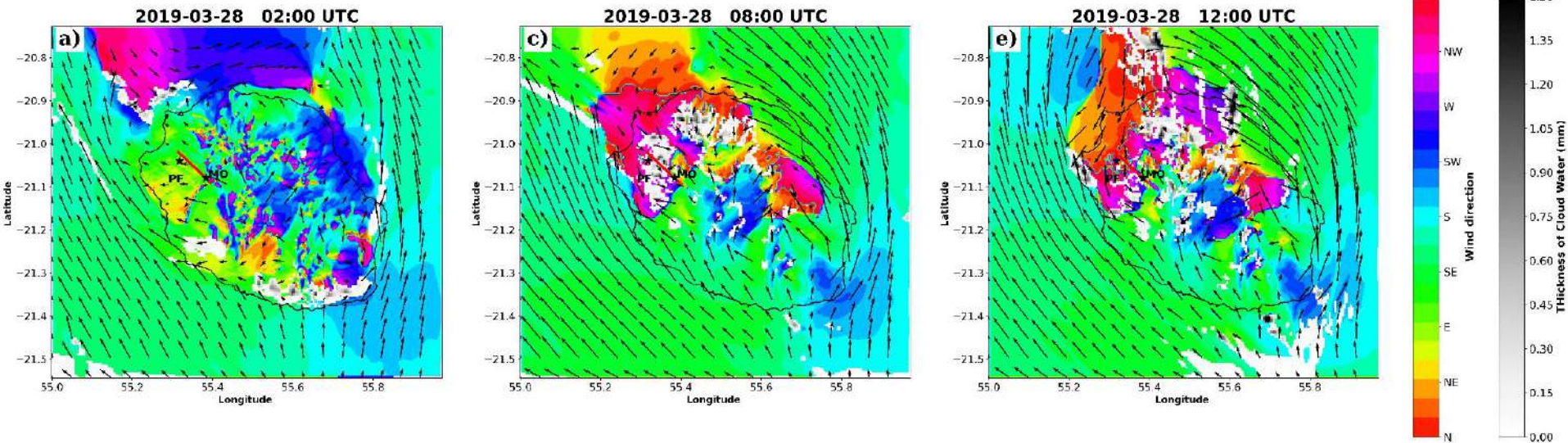
⇒ Biais plus chaud ($\sim 2\text{ °C}$) par rapport à la température observée en PF ⇒ influence locale de la végétation mal prise en compte dans les simulations.

⇒ Le modèle surestime l'intensité, surtout pendant la journée.

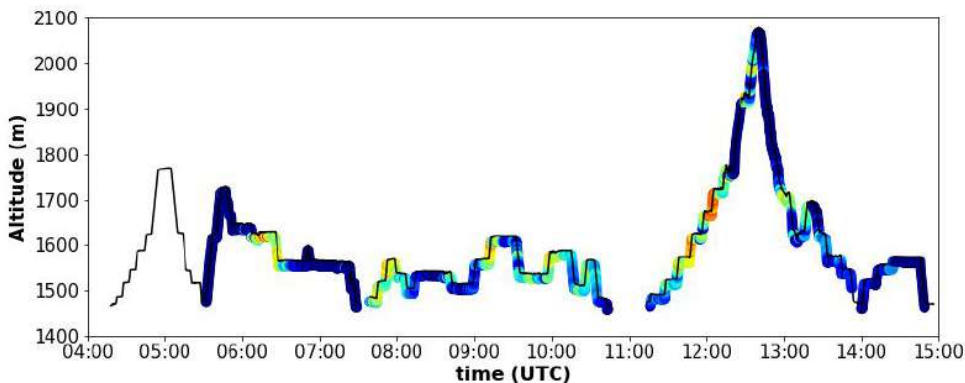
Le modèle reproduit les circulations thermiques.



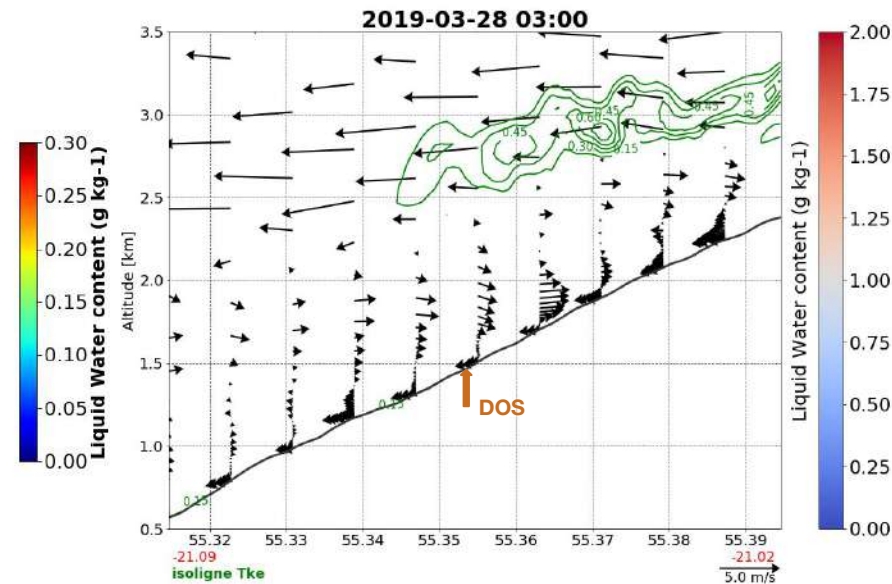
Étude de cas : le 28 mars 2019



Étude de cas : le 28 mars 2019



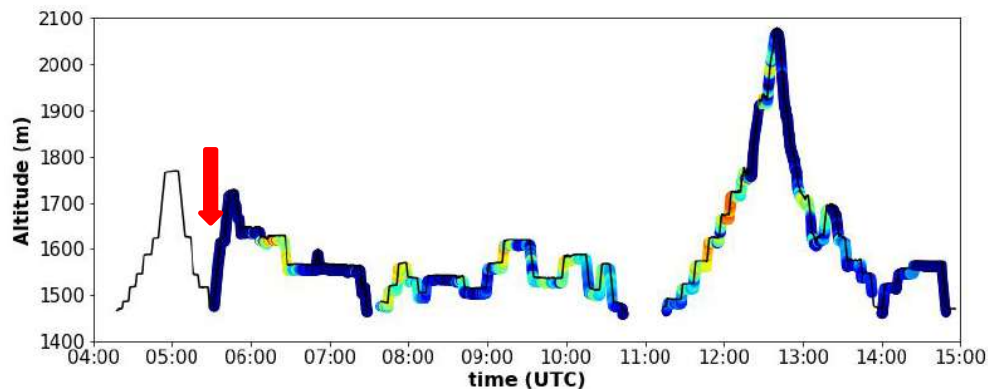
Contenu en eau nuageuse (LWC) (g kg⁻¹) pour le 28 mars 2019



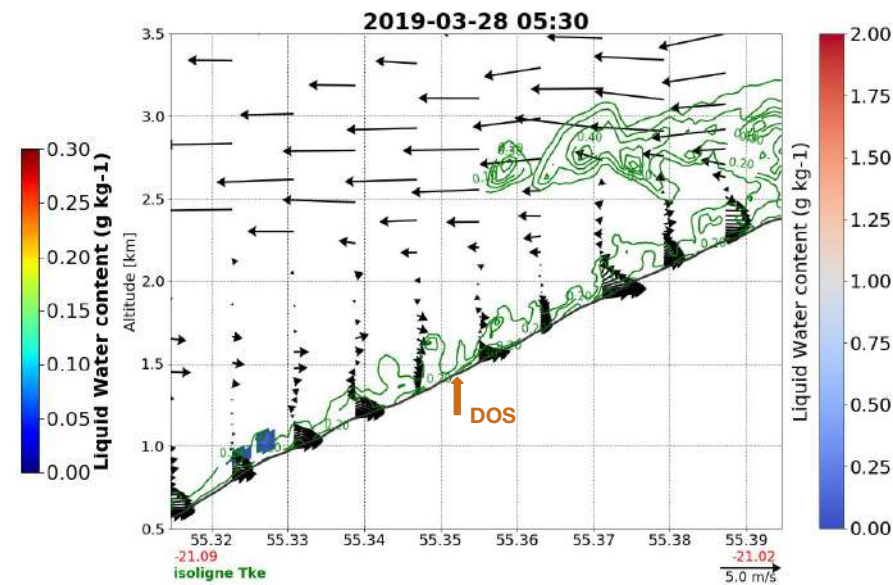
À 03 UTC :

- ⇒ Flux de vent descendant
- ⇒ Couche limite faiblement développée
- ⇒ La TKE est simulée en altitude dû au cisaillement du vent

Étude de cas : le 28 mars 2019



Contenu en eau nuageuse (LWC) (g kg^{-1}) pour le 28 mars 2019



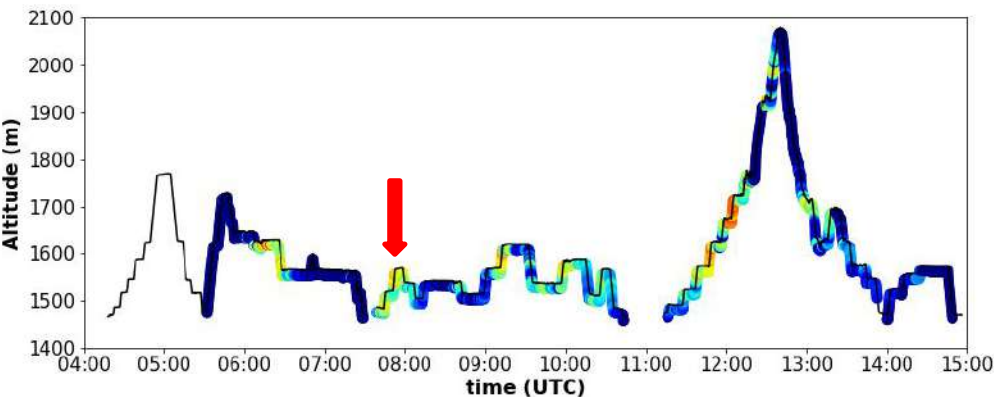
À 05:30 UTC :

⇒ Flux de vent ascendant.

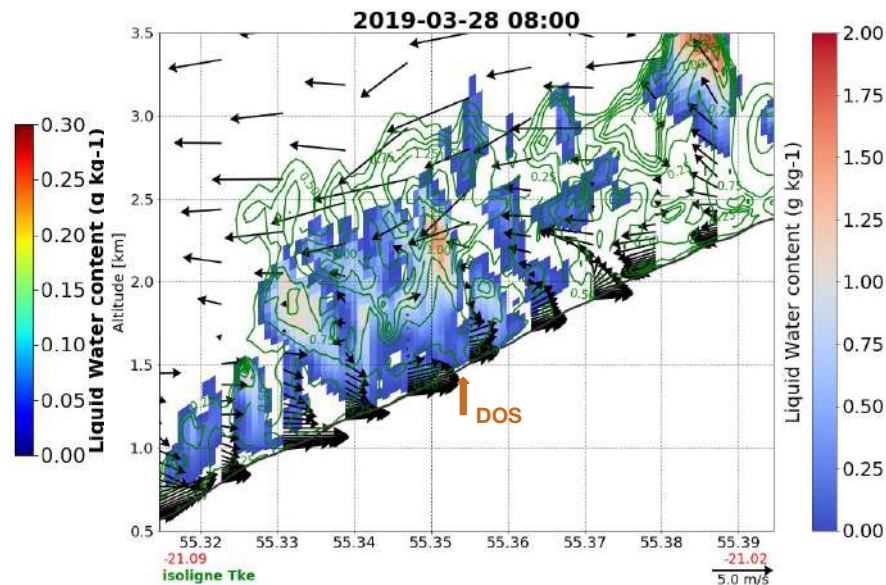
Couche limite qui commence à se développer.

⇒ La TKE est simulée dans les premiers mètres au-dessus de la surface.

Étude de cas : le 28 mars 2019



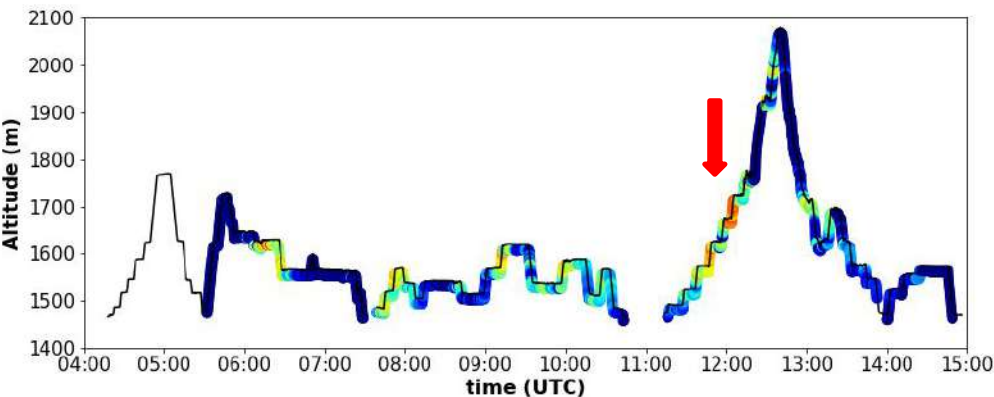
Contenu en eau nuageuse (LWC) (g kg^{-1}) pour le 28 mars 2019



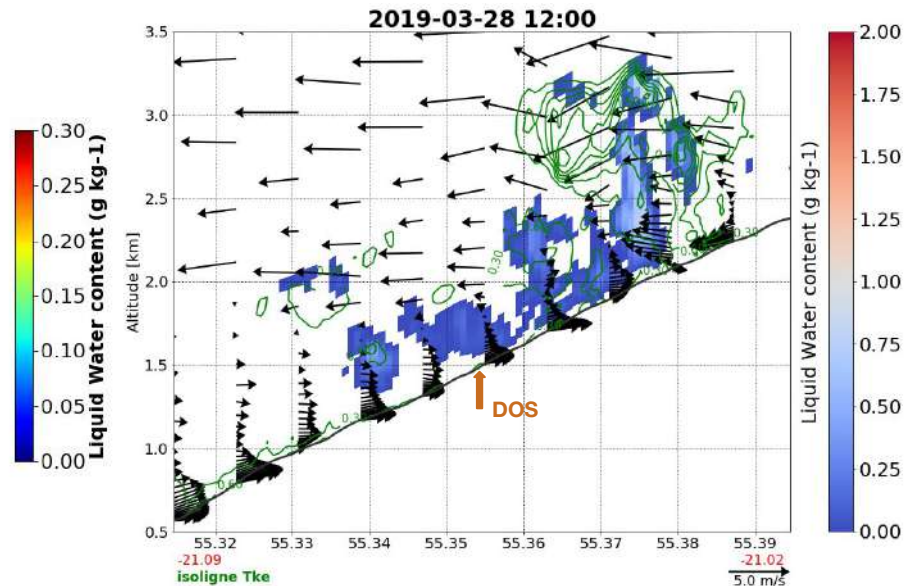
À 08 UTC :

- ⇒ Le flux ascendant de nord-ouest sur les pentes (brise thermique).
- ⇒ Le flux de sud-est associé aux Alizés
- ⇒ Développement de la turbulence sur les pentes
- ⇒ Formation des nuages avec une extension verticale de 1km.

Étude de cas : le 28 mars 2019



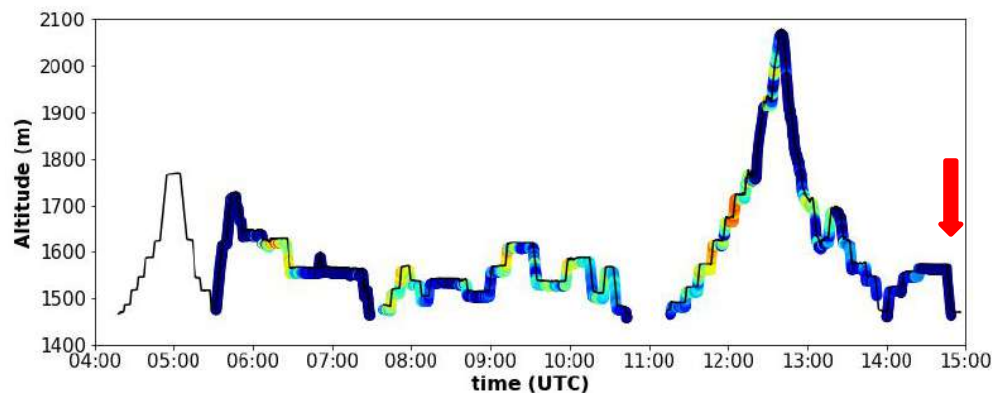
Contenu en eau nuageuse (LWC) (g kg⁻¹), pour le 28 mars 2019



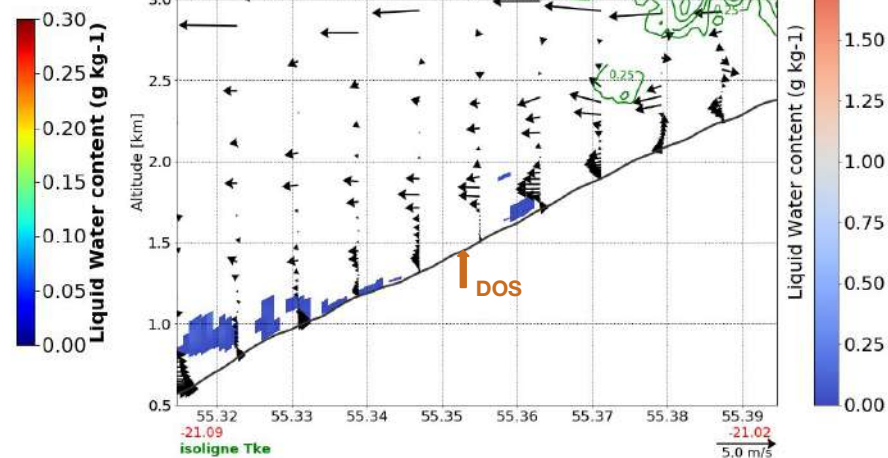
À 12 UTC :

- ⇒ le flux ascendant de nord-ouest sur les pentes (brise thermique).
- ⇒ le flux de sud-est associé aux Alizés

Étude de cas : le 28 mars 2019



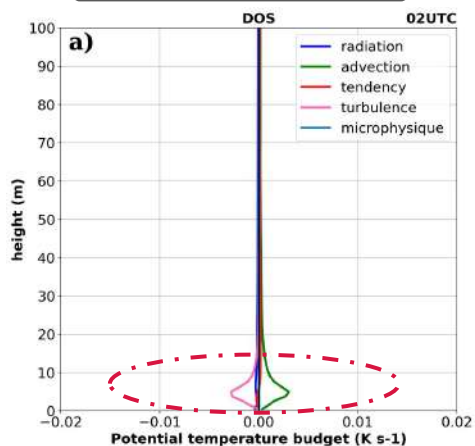
Contenu en eau nuageuse (LWC) (g kg⁻¹) pour le 28 mars 2019



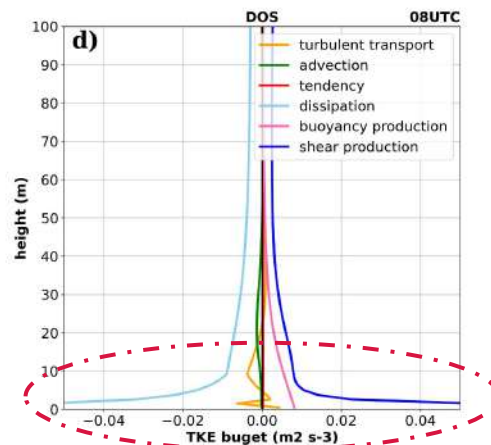
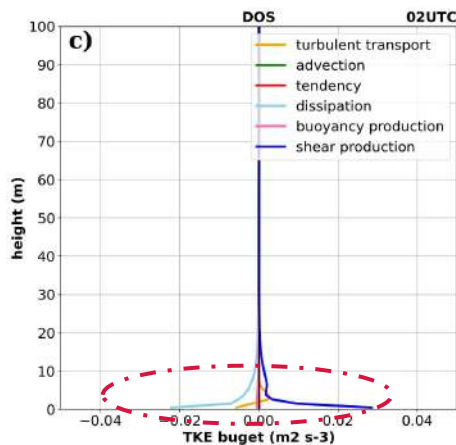
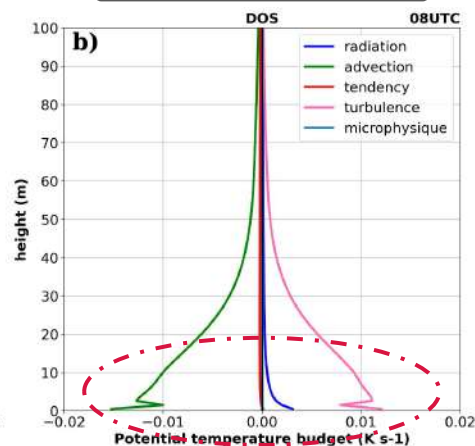
À 15 UTC :

- ⇒ Passage du vent anabatique à vent catabatique
- ⇒ Dissipation des nuages

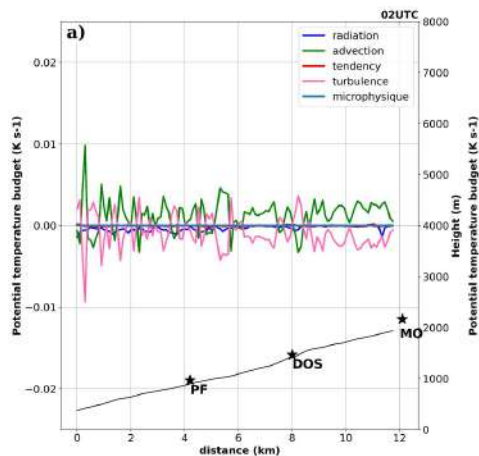
Situation catabatique



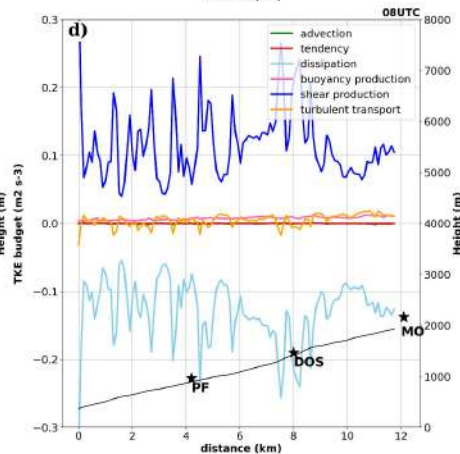
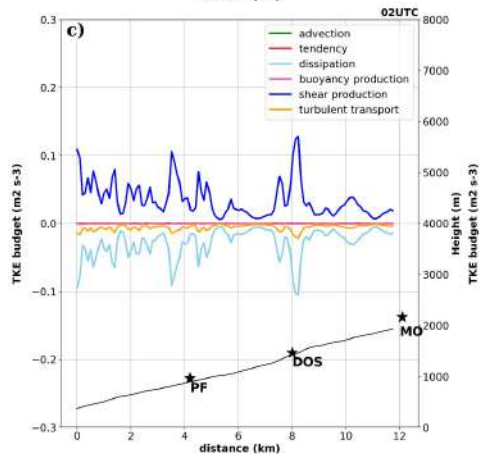
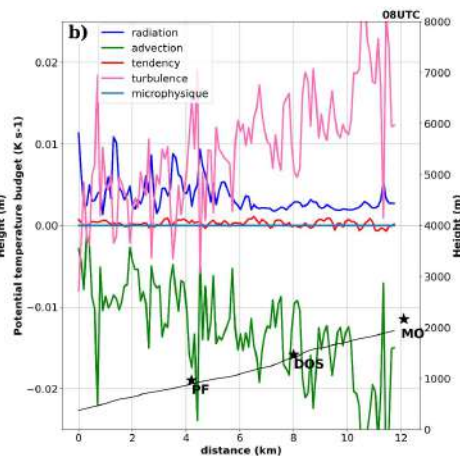
Situation anabatique

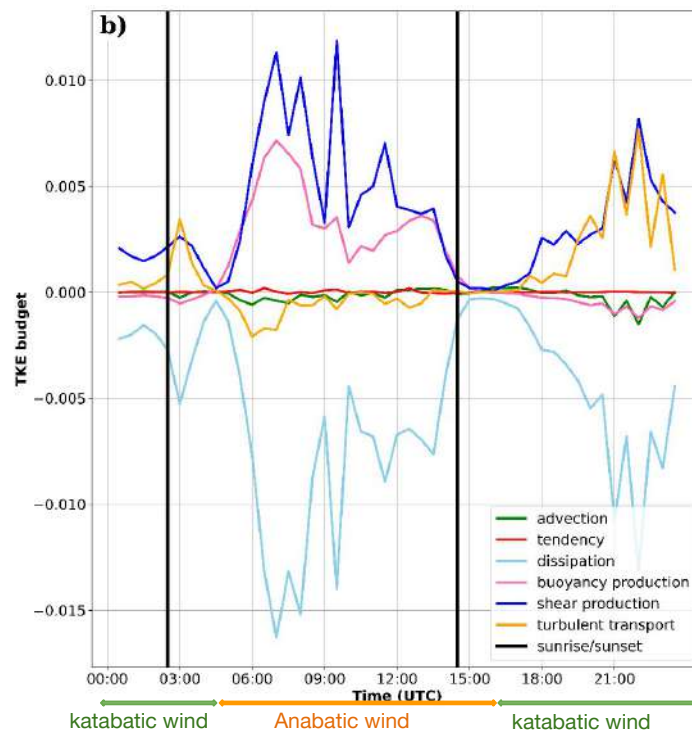
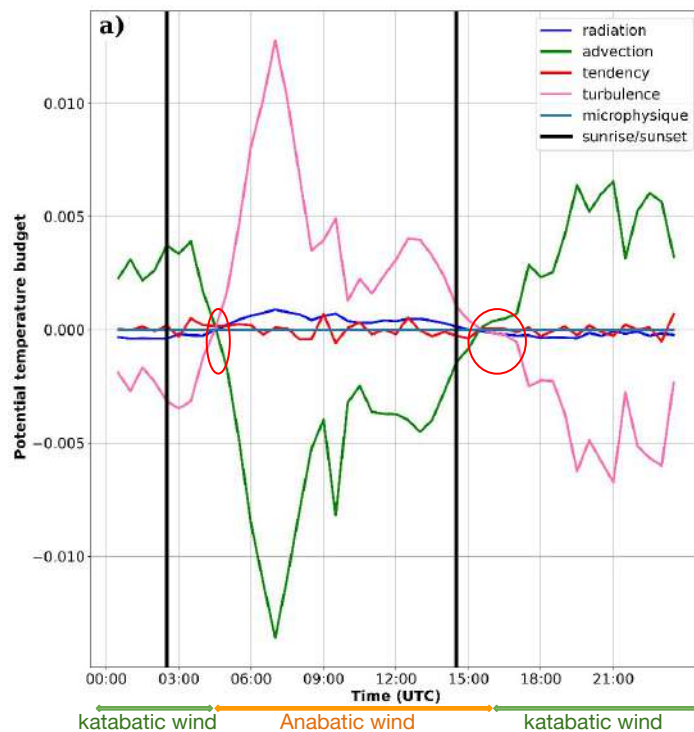


Situation catabatique



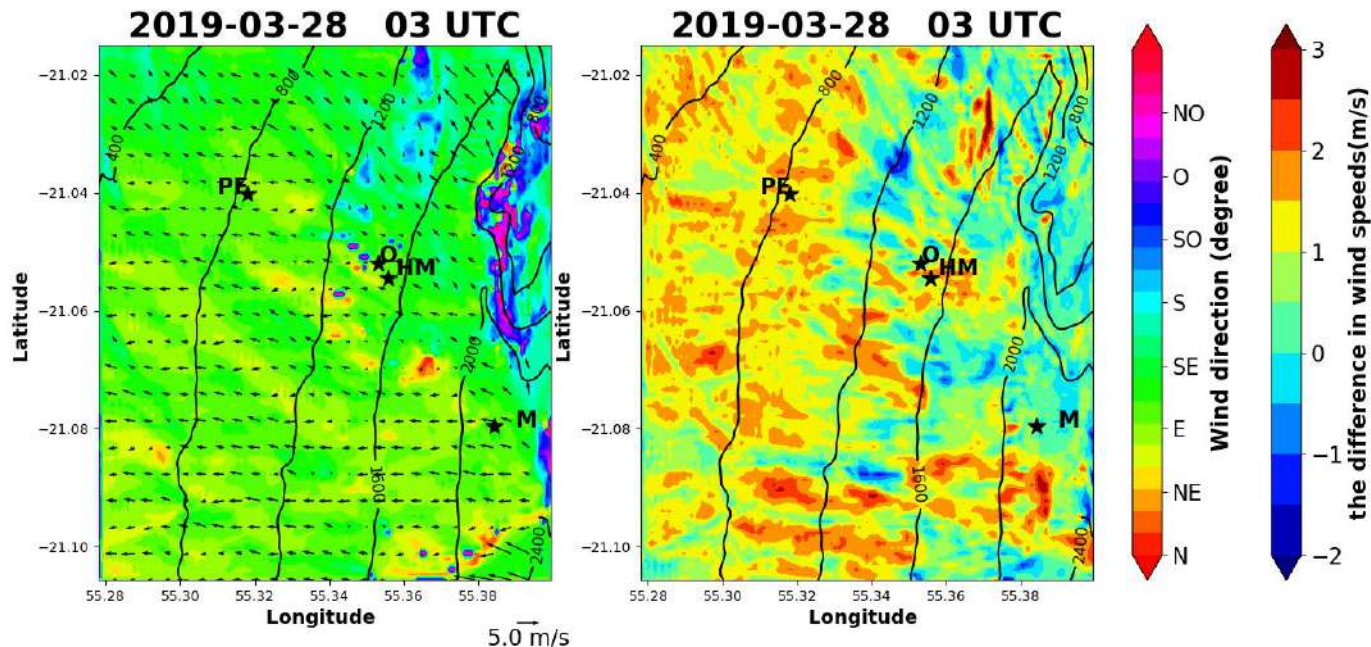
Situation anabatique





→ À partir de 13 UTC, l'advection, la turbulence et le rayonnement diminuent progressivement jusqu'à devenir nuls, ce qui crée les conditions optimales pour l'apparition d'un flux catabatique.

Résolution verticale



Simulation

70 niveaux

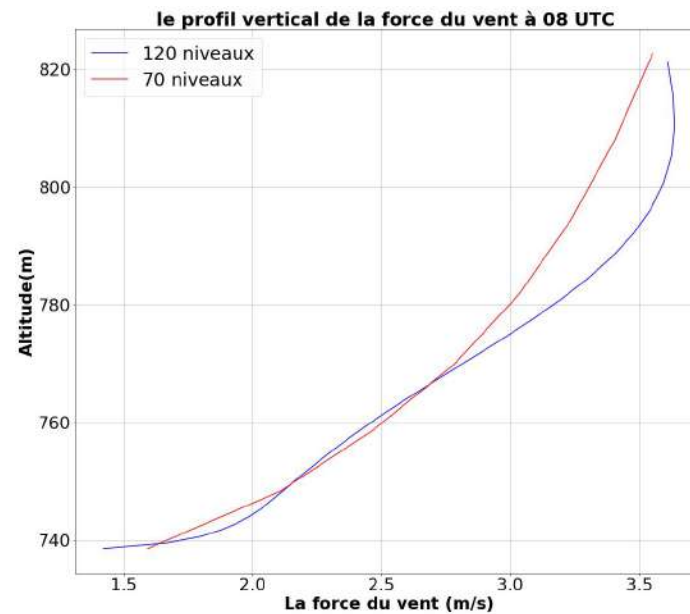
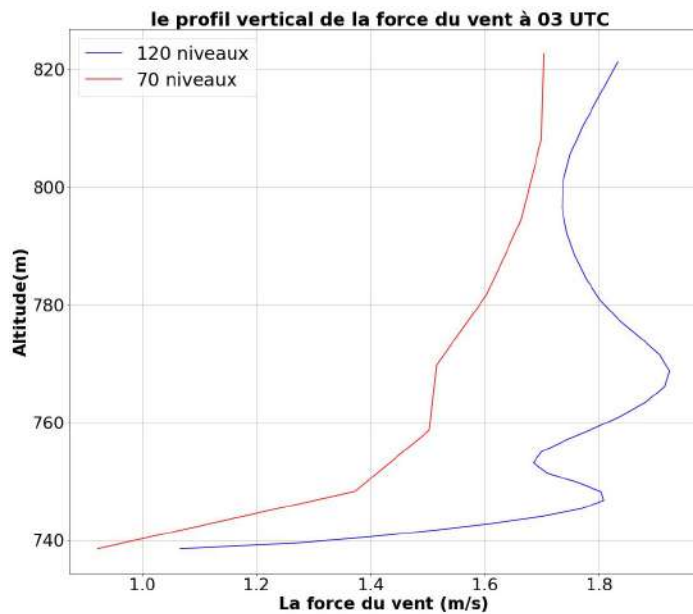
120 niveaux

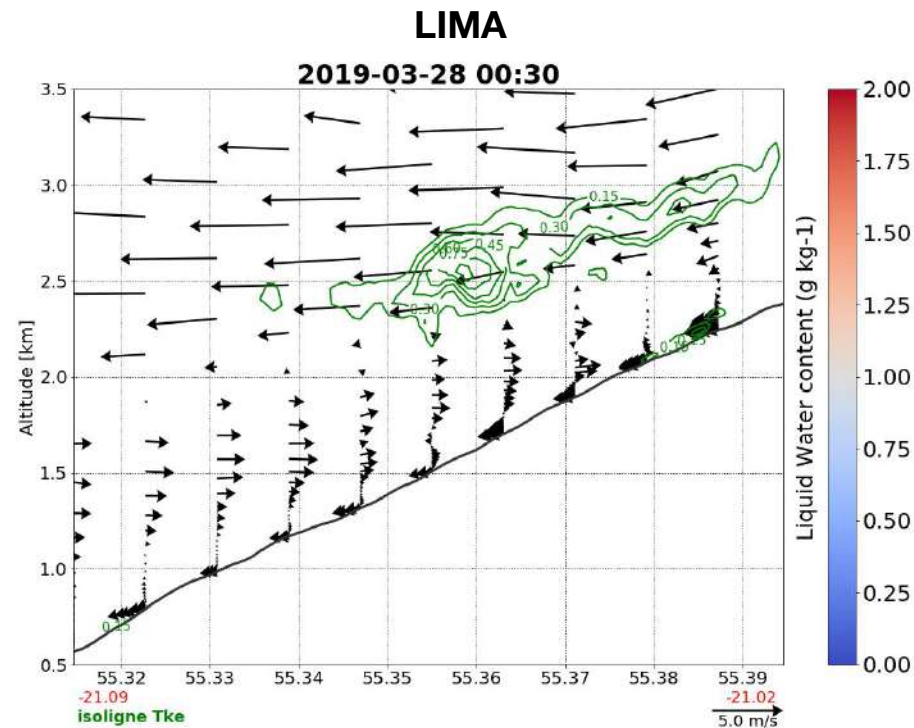
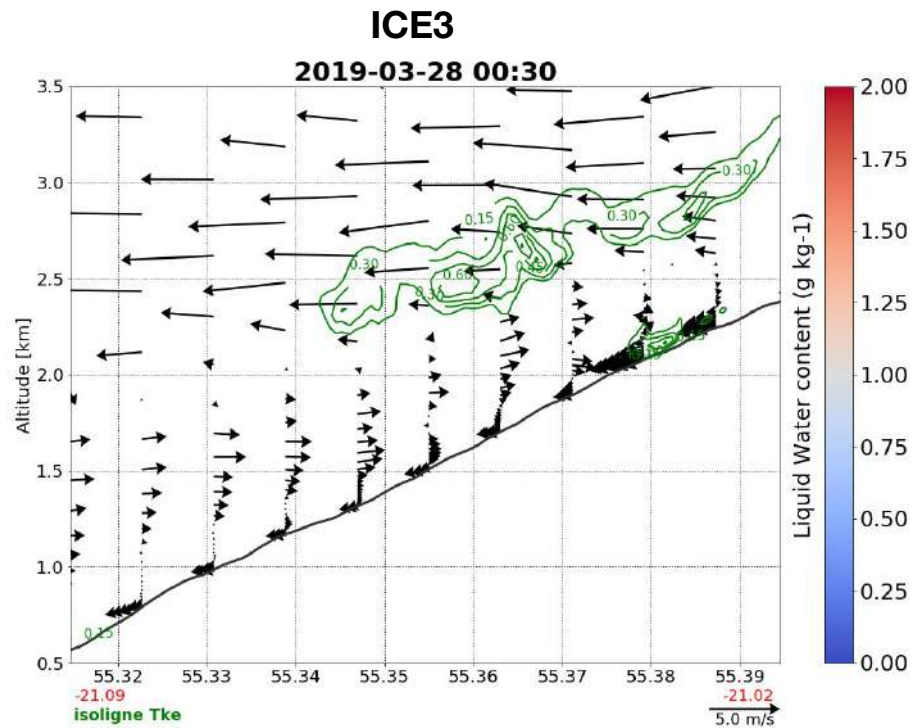
Grille verticale

1^{er} niveau : 10m top (27km)1^{er} niveau : 1m top (36km)

⇒ Différence de la vitesse du vent positive au début de la pente et faible à négative au sommet

Résolution verticale





- ⇒ Formation des nuages au même moment
- ⇒ Nuage plus développé en verticale dans le schéma ICE3 ~500m
- ⇒ Dissipation des nuages plus tôt dans le schéma LIMA ~ 1heure

Conclusions

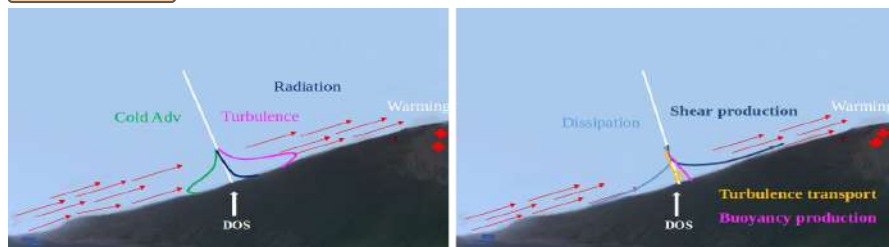
⇒ Une haute résolution verticale permet une analyse précise des mécanismes de circulations thermiques sur les pentes, en particulier sur l'île de La Réunion.

⇒ Un lien direct entre l'intensité des alizés et le développement des circulations thermiques.

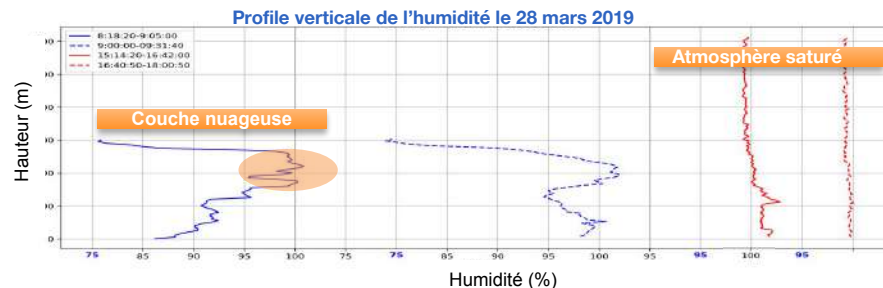
Katabatic situation



Anabatic situation



Travaux en cours





Je vous remercie pour le temps et l'attention

