

Des rouleaux convectifs aux rafales de vent une affaire très sensible aux flux de surface dans les LES

Wahiba Lfarh, Florian Pantillon, Jean-Pierre Chaboureau
Laboratoire d'aérodynamique, Université Toulouse III - Paul Sabatier, CNRS

Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère 2022
Mardi 7 juin 2022

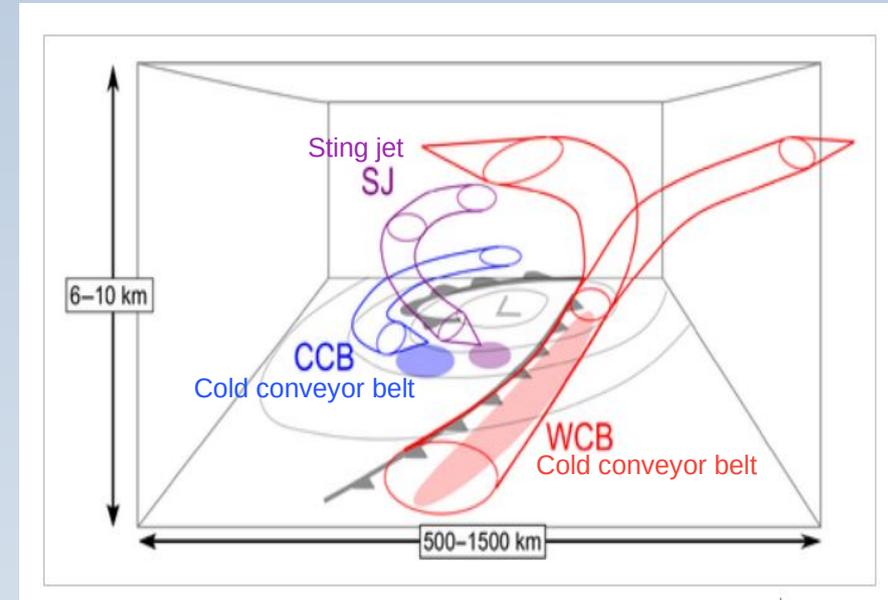
Les vents forts dans les tempêtes

- Les tempêtes font partie des catastrophes naturelles les plus destructives aux latitudes moyennes

→ **vies humaines et dégâts matériels**

- À méso-échelle, les vents forts dans les tempêtes sont dus :

- Bande transporteuse d'air froid (**CCB**)
- Bande transporteuse d'air chaud (**WCB**)
- Sting jet (**SJ**)



Modèle conceptuel d'une tempête Clark and Gray (2018)

Les vents forts dans les tempêtes

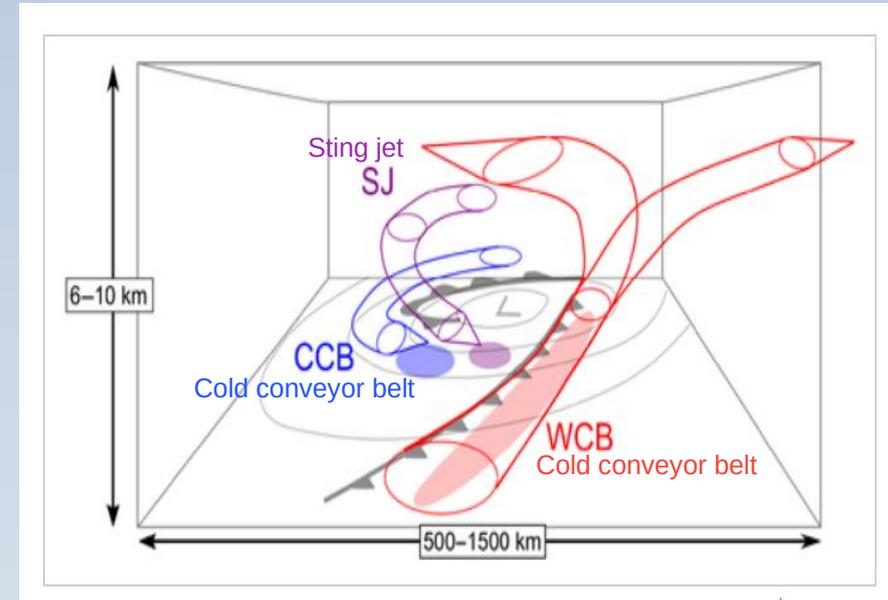
- Les tempêtes font partie des catastrophes naturelles les plus destructives aux latitudes moyennes
→ **vies humaines et dégâts matériels**

- À méso-échelle, les vents forts dans les tempêtes sont dus :

- Bande transporteuse d'air froid (**CCB**)
- Bande transporteuse d'air chaud (**WCB**)
- Sting jet (**SJ**)

- L'impact des tempêtes est principalement dû aux rafales de vent, qui résultent du **transport de vents forts vers la surface**

- Les **processus** qui transportent les vents forts restent mal connus
→ **Quels sont les processus à fine échelle responsables du transport des vents forts vers la surface ?**



Modèle conceptuel d'une tempête Clark and Gray (2018)

Les vents forts dans les tempêtes

- Les tempêtes font partie des catastrophes naturelles les plus destructives aux latitudes moyennes
→ **vies humaines et dégâts matériels**

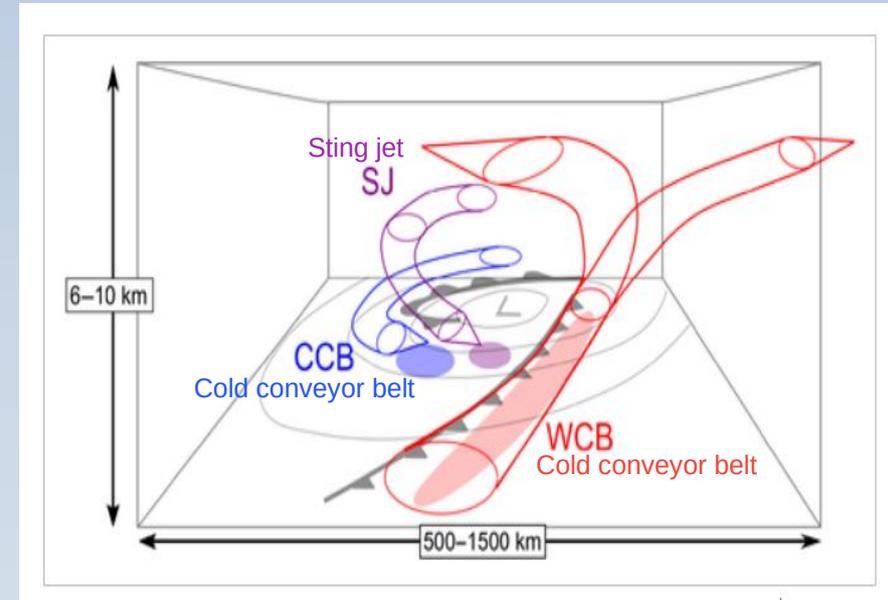
- À méso-échelle, les vents forts dans les tempêtes sont dus :

- Bande transporteuse d'air froid (**CCB**)
- Bande transporteuse d'air chaud (**WCB**)
- Sting jet (**SJ**)

- L'impact des tempêtes est principalement dû aux rafales de vent, qui résultent du **transport de vents forts vers la surface**

- Les **processus** qui transportent les vents forts restent mal connus
→ **Quels sont les processus à fine échelle responsables du transport des vents forts vers la surface ?**

- Forte incertitude des **flux à l'interface air-mer** par vents forts
→ **Quel est le rôle des flux turbulents à l'interface air-mer sur les processus et le vent de surface ?**



Modèle conceptuel d'une tempête Clark and Gray (2018)

Tempête méditerranéenne Adrian

Tempête spectaculaire développée le 29 Octobre 2018 en Méditerranée occidentale :

- Rafales de vent > **180 km/h**
- Fortes précipitations, orages violents...

→ **Dégâts en Corse**

- Constructions démolies
- Plusieurs blessés...



Journal *La Corse*, lundi 29 octobre 2018

Quel est l'origine des vents forts à méso-échelle ?

6 simulations **Meso-NH** mesoscale non-hydrostatic model

Sensibilité aux conditions initiales :

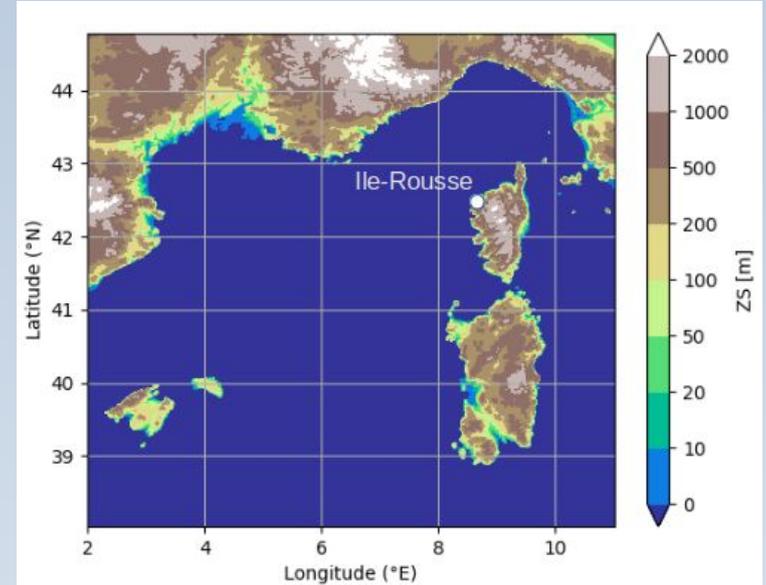
- **Analyses:** ECMWF & AROME
- **Temps d'initialisation** : 00h/06h/12h (29/10/2018)

Configuration

- $\Delta x = 1\text{km}$ (750 * 750km) / $\Delta t = 10\text{s}$
- 70 niveaux verticaux : 1^{er} niveau à $z = 10\text{m}$

Paramétrisations physiques

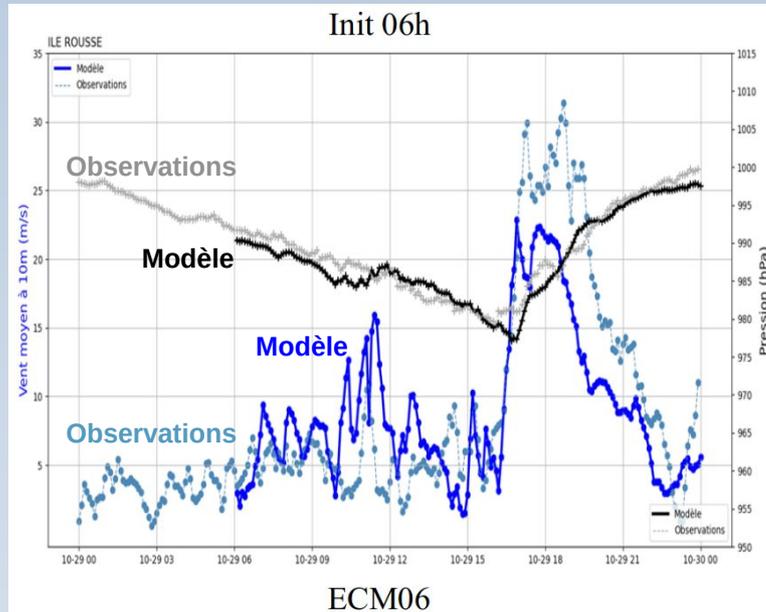
- Schéma de rayonnement **ECMWF**
- Schéma de surface SURFEX : Flux turbulents **COARE3**
- Schéma des processus microphysiques **ICE3**
- Schéma de convection peu profonde **EDKF**
- Schéma de turbulence **TKEL** (1D)



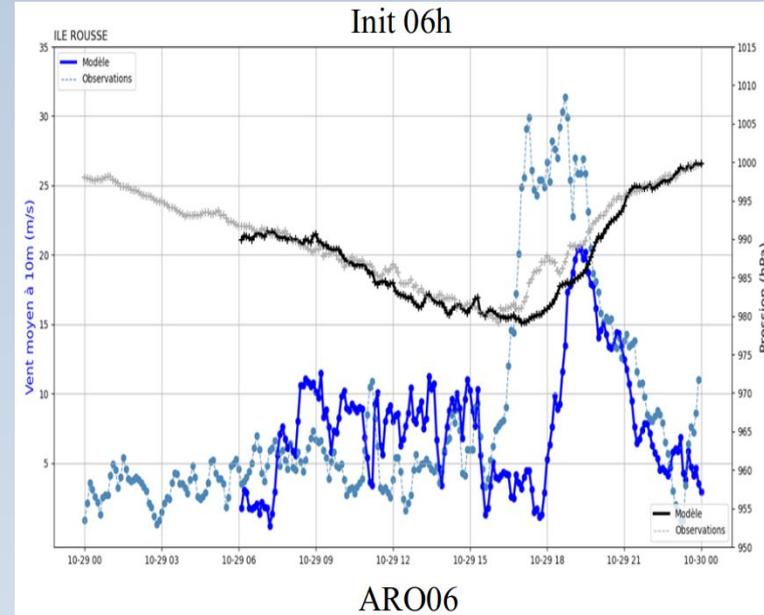
Domaine de simulation à 1km

Comparaison simulations vs. observations à Ile Rousse

Simulation initialisée avec **ECMWF**



Simulation initialisée avec **AROME**



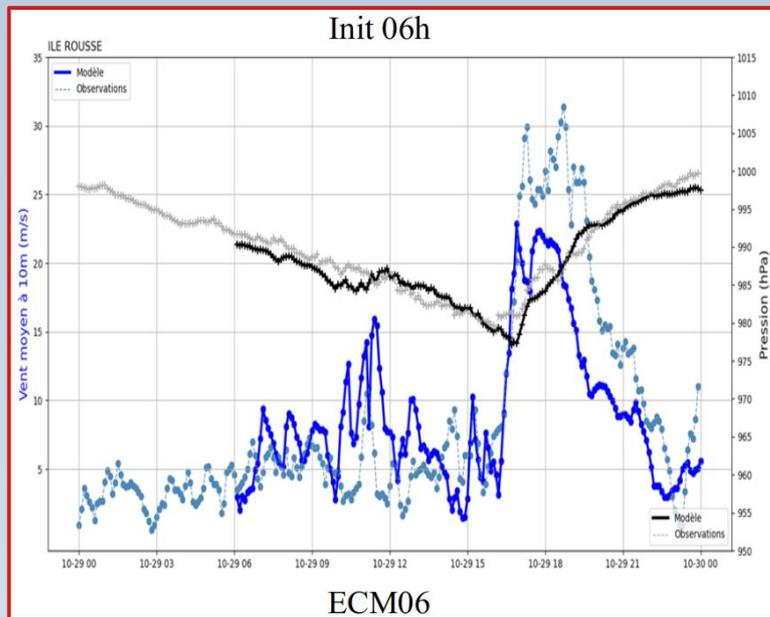
Simulation (ECMWF) : Augmentation rapide du vent au moment du minimum de pression
Chronologie de l'augmentation du vent est bien reproduite

Simulation (AROME) : Augmentation rapide du vent en retard de ~ 2h par rapport aux observations
Dépression décalée ~ 100 km au sud

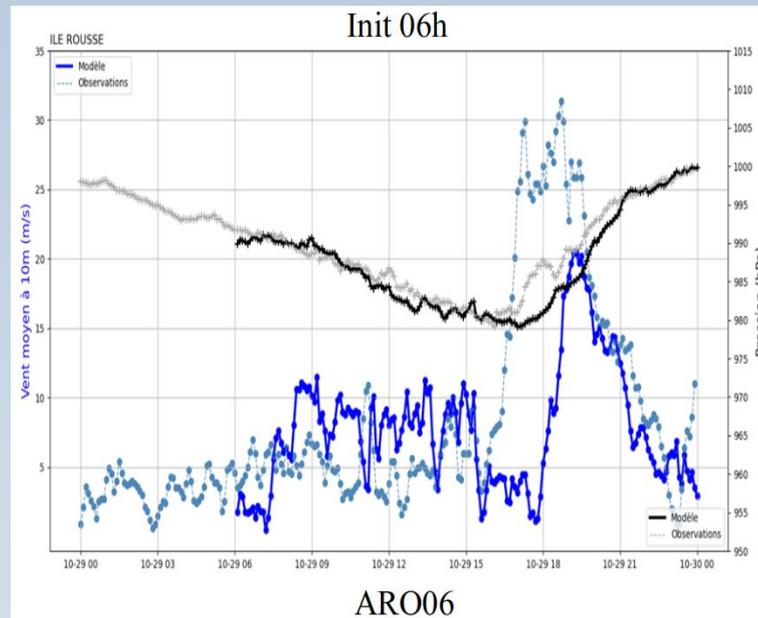
Comparaison simulations vs. observations à Ile Rousse

Référence

Simulation initialisée avec ECMWF



Simulation initialisée avec AROME

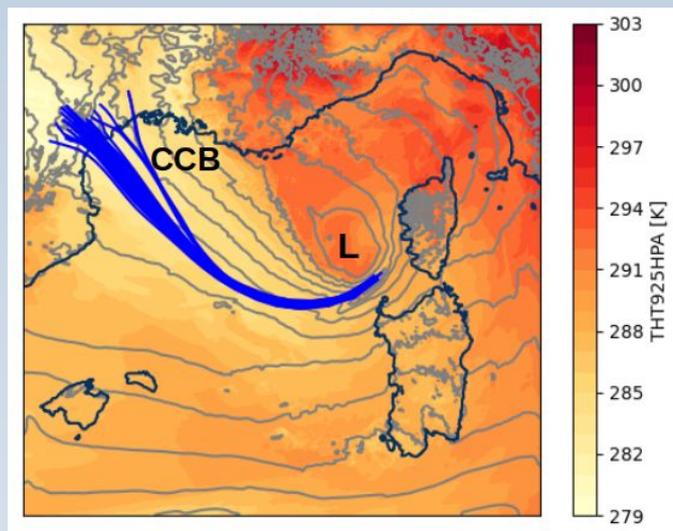


Simulation (ECMWF) : Augmentation rapide du vent au moment du minimum de pression
Chronologie de l'augmentation du vent est bien reproduite

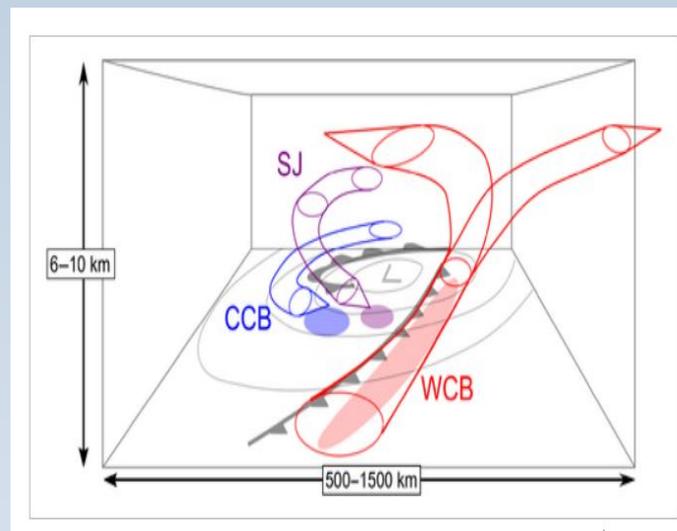
Simulation (AROME) : Augmentation rapide du vent en retard de ~ 2h par rapport aux observations
Dépression décalée ~ 100 km au sud

Origine des vents forts à méso-échelle

A **méso-échelle**, les vents les plus forts à basse altitude sont dus à la bande transporteuse d'air froid (CCB) qui s'enroule autour du centre de la tempête (L) devant le front chaud



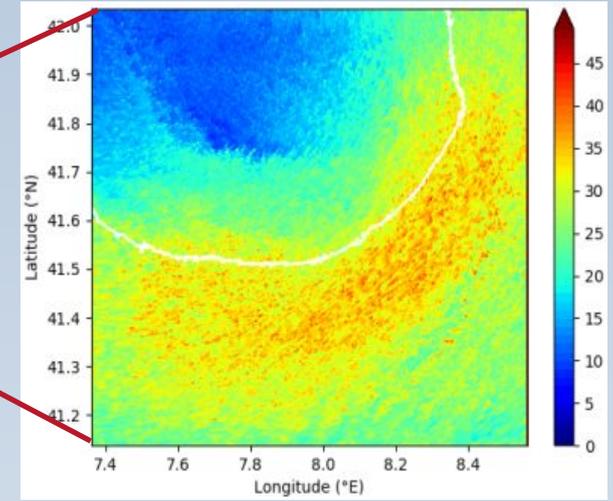
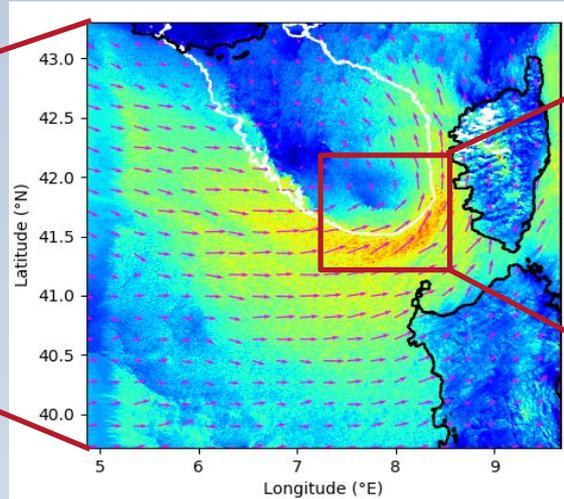
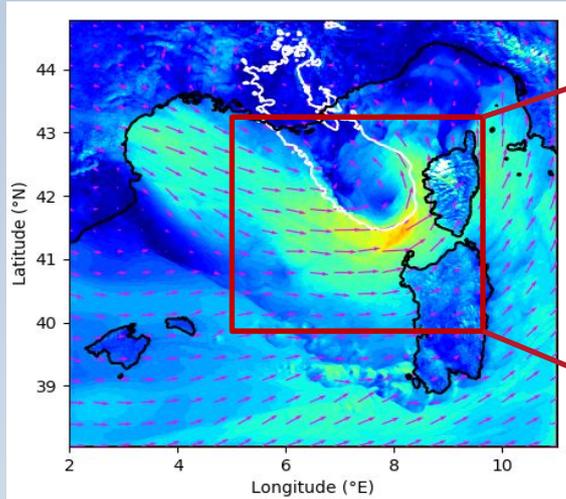
Température potentielle à 925 hPa à 15UTC
Rétro-trajectoires à 15UTC
critère de sélection: vent horizontal > 50m/s
en basse couche



Modèle conceptuel d'une tempête Clark and Gray (2018)

Quels sont les **processus à fine échelle** responsables du transport des vents forts vers la surface ?

Large Eddy Simulation



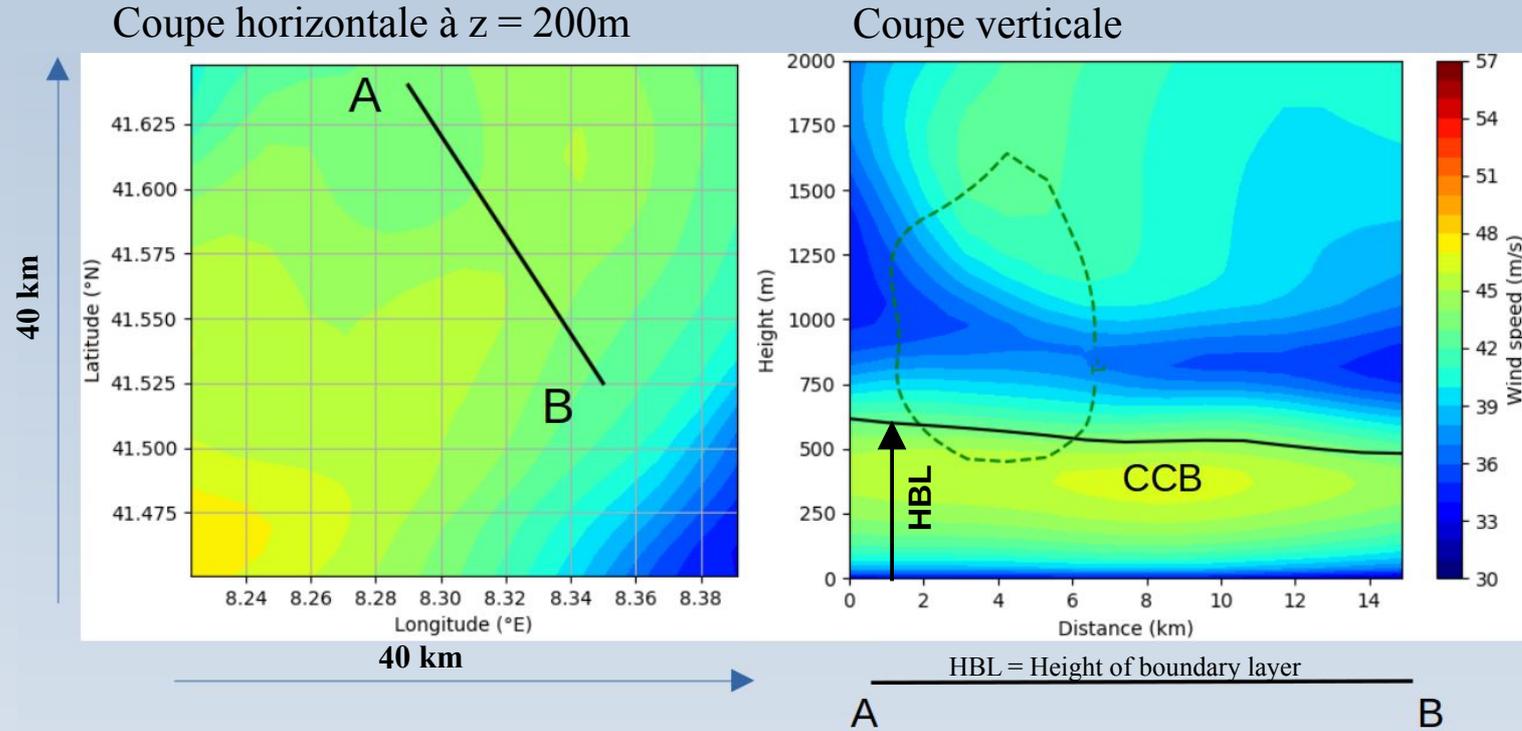
- $\Delta x = 1$ km

- $\Delta x = 200$ m
- 06-18UTC
- Convection explicite
- Turbulence 3D
- Advection CEN4TH

- $\Delta x = 50$ m
- Test de sensibilité : 15-1530 UTC

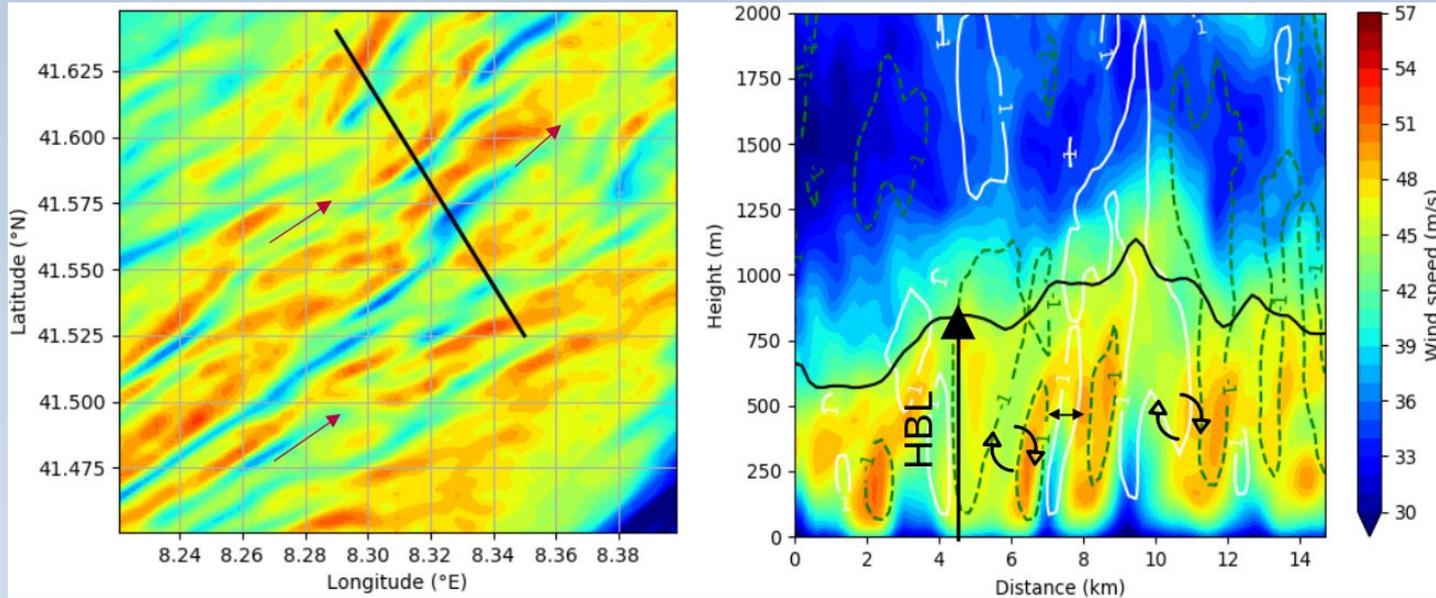
Grand domaine pour représenter à la fois la dynamique à méso-échelle et les caractéristiques à fine échelle

Zone des vents forts dans la simulation kilométrique



- Zone de vent fort homogène
- **CCB**: Maximum de vent à 500m ~ sommet de la couche limite

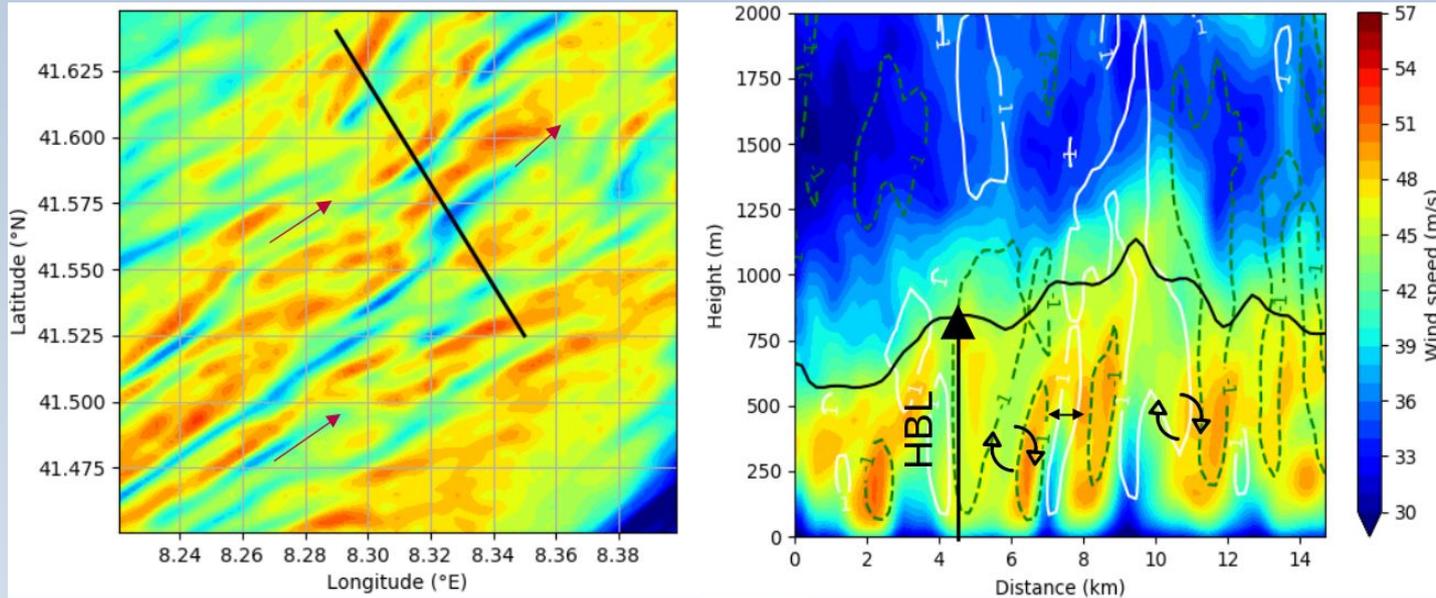
Zone des vents forts dans LES à $\Delta x = 200\text{m}$



HBL = Height of boundary layer

- Structures de vent alignées approximativement dans la direction du vent
- Les structures sont aussi hautes que la couche limite, et sont espacées de ~ 1 km
- Mouvement de rotation : alternance de subsidences et d'ascendances
- Les régions des vents forts correspondent à des subsidences et des vents faibles à des ascendances

Zone des vents forts dans LES à $\Delta x = 200\text{m}$

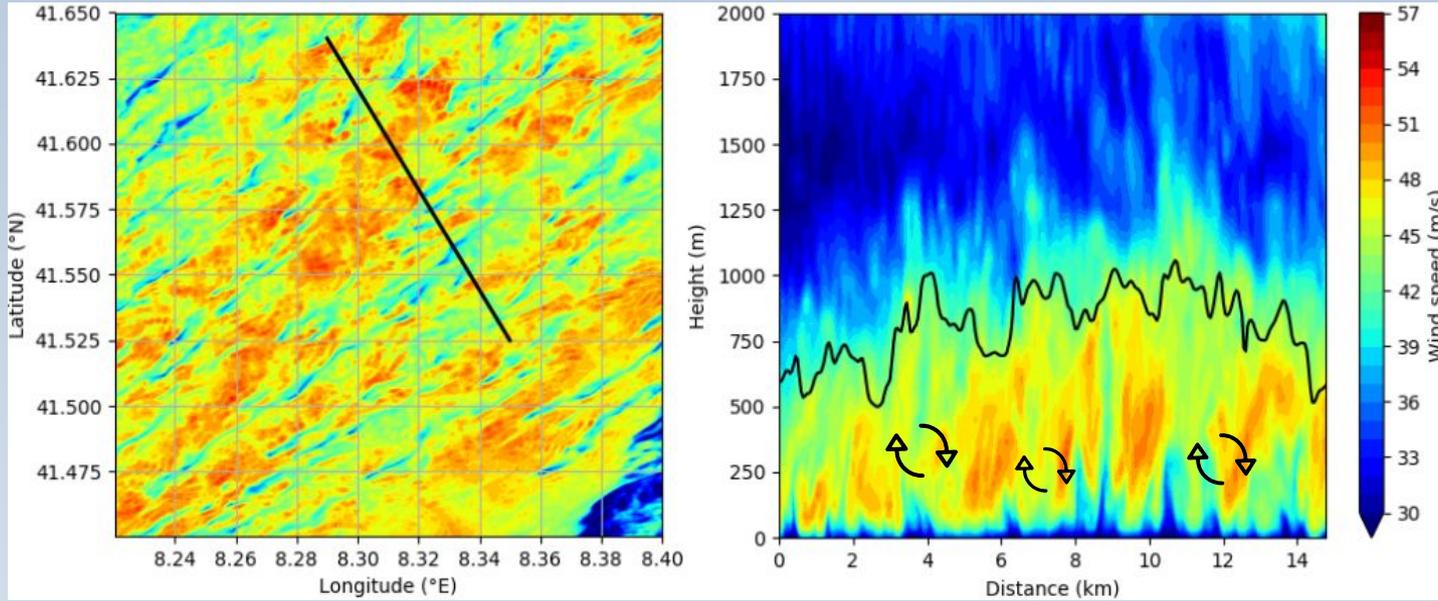


HBL = Height of boundary layer

- Structures de vent alignées approximativement dans la direction du vent
- Les structures sont aussi hautes que la couche limite, et sont espacées de ~ 1 km
- Mouvement de rotation : alternance de subsidences et d'ascendances
- Les régions des vents forts correspondent à des subsidences et des vents faibles à des ascendances

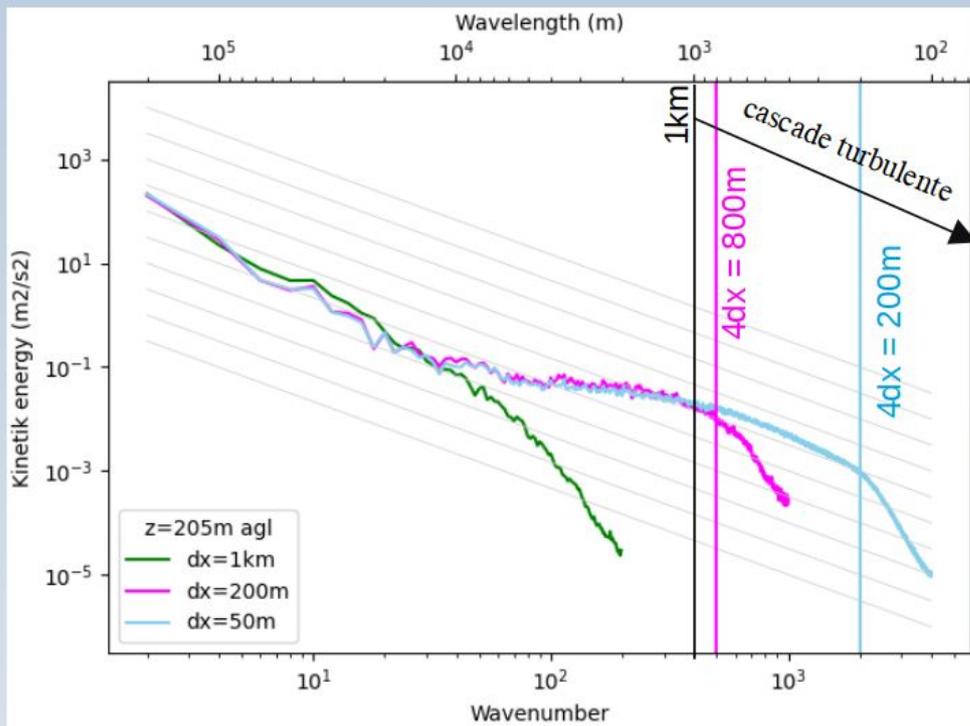
**Structures de vent = rouleaux convectifs
responsables du transport à fine échelle des vents forts vers la surface**

Zone des vents forts dans LES à $\Delta x = 50\text{m}$



- Couche limite organisée en rouleaux convectifs
- Plus de détails: fluctuations à fine échelle

La résolution $\Delta x = 200\text{m}$ est-elle suffisante ?



- À $\Delta x = 50\text{m}$:

→ **résolution.effective = $4dx = 200\text{m}$**

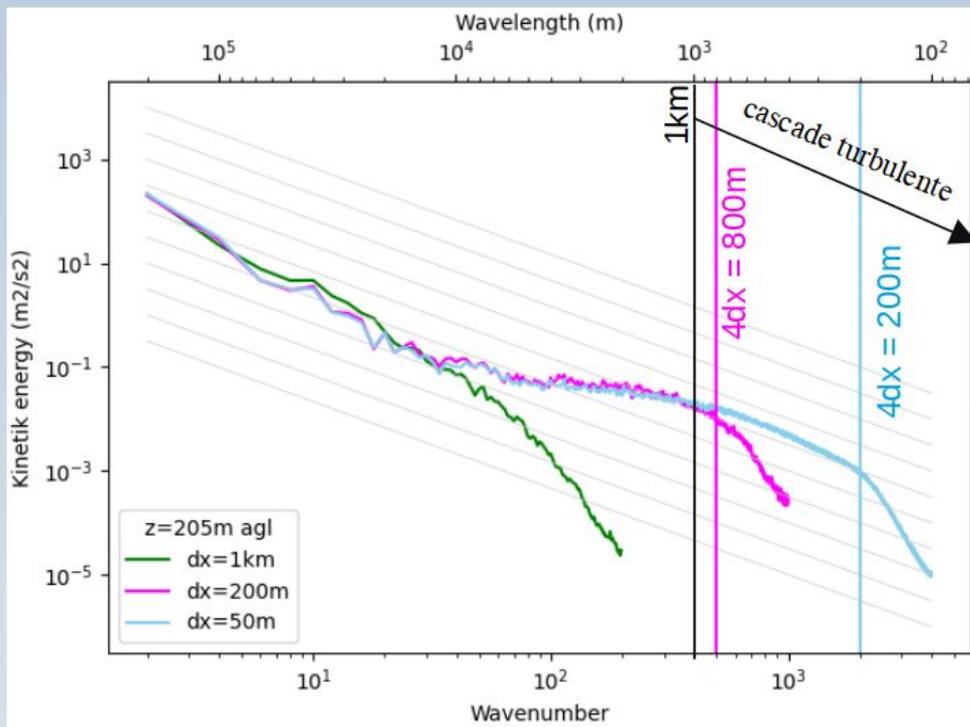
Le spectre d'énergie suit la pente théorique $k^{-5/3}$ pour des échelles $< 1\text{km}$

- À $\Delta x = 200\text{m}$:

→ **résolution.effective = $4dx = 800\text{m}$**

Le spectre d'énergie suit la pente théorique $k^{-5/3}$ pour des échelles $< 1\text{km}$: les structures $> 800\text{m}$ sont bien résolues

La résolution $\Delta x = 200\text{m}$ est-elle suffisante ?



- À $\Delta x = 50\text{m}$:

→ **résolution.effective = $4dx = 200\text{m}$**

Le spectre d'énergie suit la pente théorique $k^{-5/3}$ pour des échelles $< 1\text{km}$

- À $\Delta x = 200\text{m}$:

→ **résolution.effective = $4dx = 800\text{m}$**

Le spectre d'énergie suit la pente théorique $k^{-5/3}$ pour des échelles $< 1\text{km}$: les structures $> 800\text{m}$ sont bien résolues

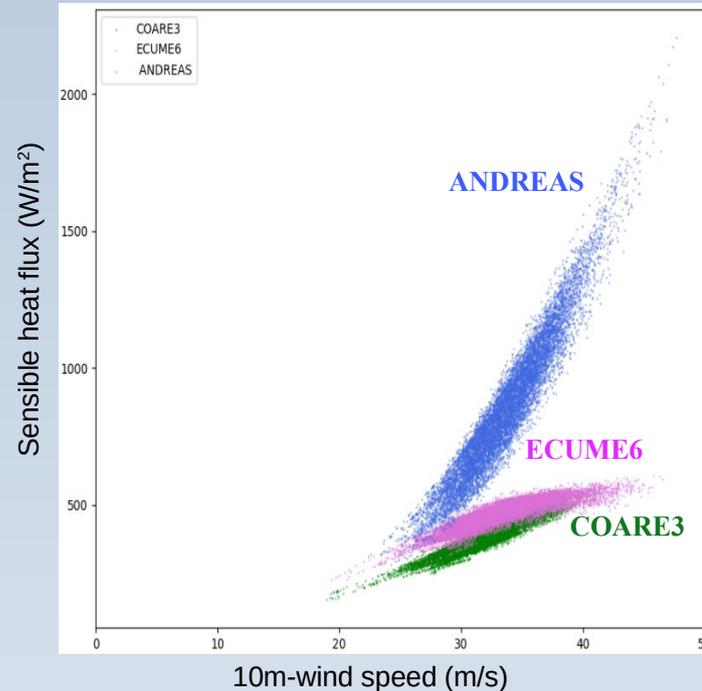
Les rouleaux convectifs sont résolus à $\Delta x = 200\text{m}$

Quel est le rôle des **flux turbulents** à l'interface air-mer ?

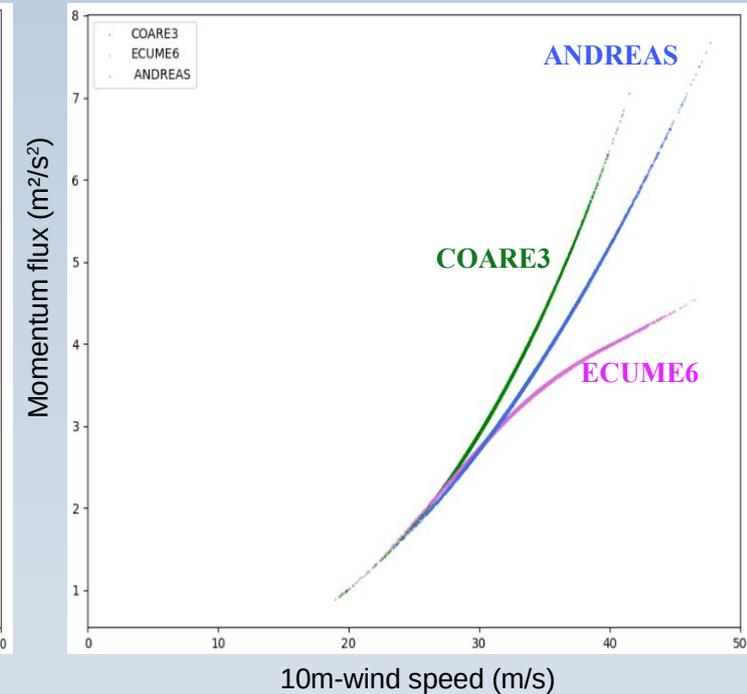
Simulations de sensibilité aux flux turbulents air-mer à $\Delta x = 200\text{m}$

COARE3 (reference), Fairall et al. (2003) :
Coefficient de traînée augmente avec le vent
→ flux de quantité de mouvement plus fort

NOFLUX
Simulation avec flux de chaleur latente et sensible désactivés



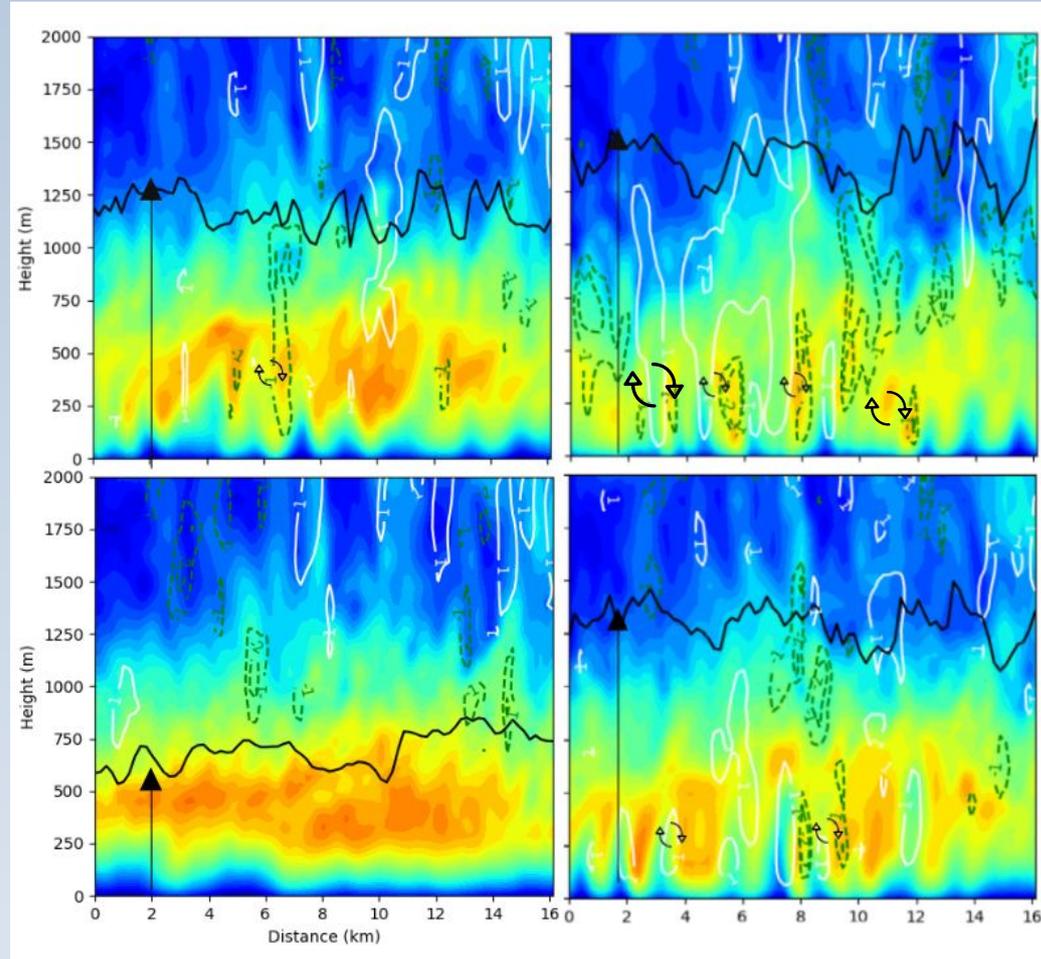
ANDREAS, Andreas et al. (2015) :
Vent $> 13\text{m/s}$ → Effet des embruns
→ forts flux de chaleur.



ECUME6, Belamari (2005) :
Diminution du coefficient de traînée pour des vents $> 30\text{m/s}$
→ flux de quantité de mouvement le plus faible

Influence des flux turbulents sur les rouleaux convectifs

COARE3 (reference)



ANDREAS:
Flux de chaleur forts

- Circulation verticale plus forte
- Vent horizontal faible

NOFLUX:
Flux de chaleur désactivés

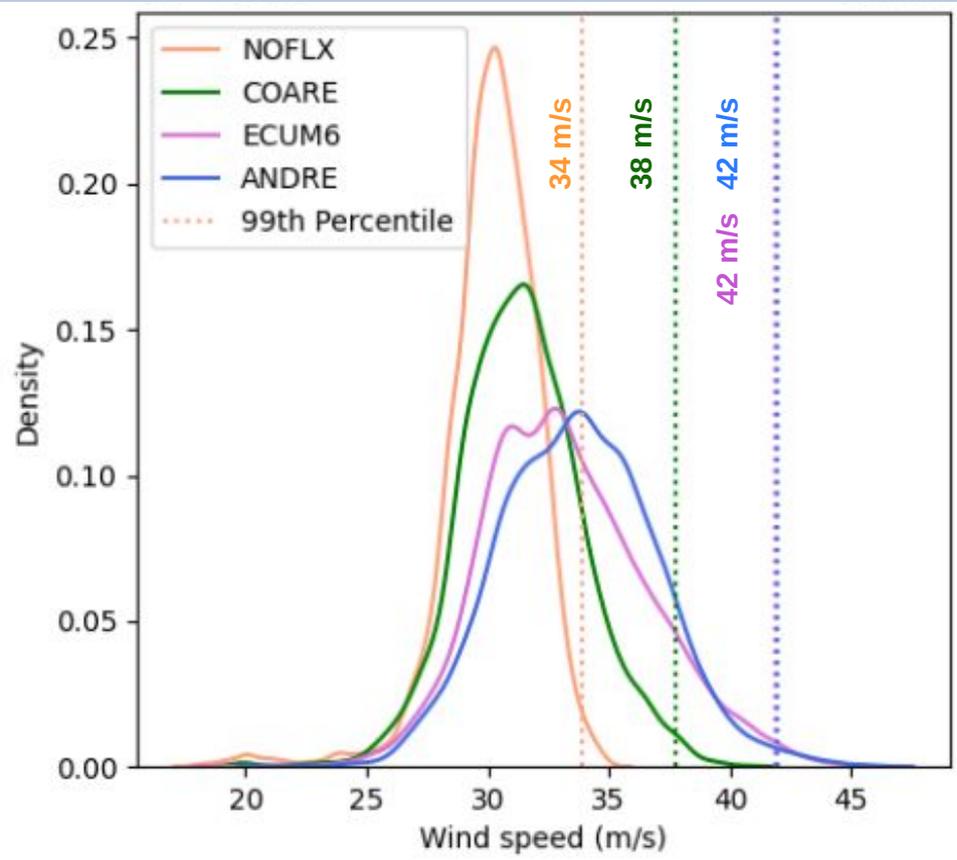
- Couche limite moins profonde
- Absence des rouleaux convectifs

ECUME6:
F.quantité de mvt forts

- Circulation verticale et vent horizontal comparables à COARE3

→ Les flux de chaleur pilotent la formation des rouleaux

Impact des flux turbulents sur les vents de surface



COARE3 (reference)

- 38 m/s en 99th percentile

NOFLUX: Flux de chaleur désactivés

- Vent de surface plus faible
- - 4 m/s en 99th percentile par rapport à COARE3

ANDREAS: Flux de chaleur forts

- Vent de surface plus fort
- + 4 m/s en 99^e percentile par rapport à COARE3

ECUME6: Flux de quantité de mouvement forts

- Comparable à ANDREAS

→ Influence des flux turbulents à la fois de quantité de mouvement et de chaleur

Conclusion

La tempête Adrian a généré de vents forts dues à la bande transporteuse d'air froid et a fortement impactée la Corse

- Les LES montrent que les rouleaux convectifs sont responsables du transport à fine échelle des vents forts vers la surface
- La résolution 200m est suffisante pour représenter les rouleaux convectifs
- Les flux de chaleur influencent les rouleaux convectifs et le transport vertical dans la couche limite
- Les vents de surface sont pilotés à la fois par les flux de chaleur et les flux de quantité de mouvement