

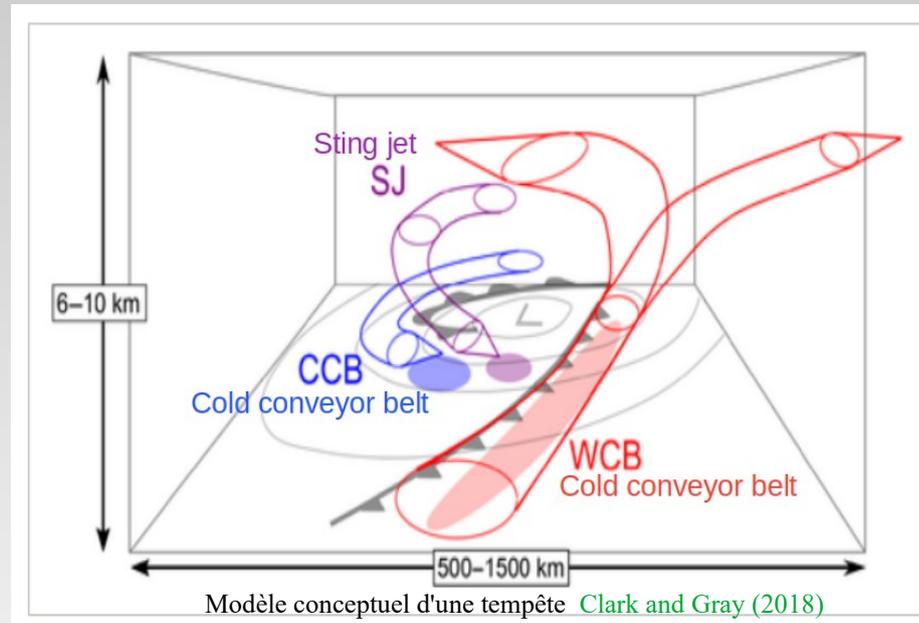
Des rouleaux convectifs aux rafales de vent une affaire très sensible aux flux de surface dans les LES

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

Contexte général

A photograph showing a boat in a harbor during a storm. The boat is tilted and surrounded by rough, white-capped waves. In the background, there are multi-story buildings and palm trees. The scene is overcast and appears to be a coastal area. The text 'Contexte général' is overlaid on the left side of the image.

Les **tempêtes** font partie des catastrophes naturelles les plus **destructives** aux moyennes latitudes
→ **Dégâts** en vies humaines et en biens matériels



La dynamique et les caractéristiques **méso-échelle** des tempêtes sont bien connues :

- Les vents forts peuvent se produire dans différentes régions de la dépression sous forme de **bandes transporteuses** :
 - Bande transporteuse d'air froid (CCB)
 - Bande transporteuse d'air chaud (WCB)
 - Sting jet (SJ) *Browning 2004*

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

Les **processus** menant à la formation des rafales de vent sont mal connus :

→ Courtes durées + étendues locales

→ Inaccessibles aux réseaux d'observation et aux modèles de prévision numérique du temps

→ Quels sont les **processus de fine échelle** responsables du transport des **vents forts** vers la surface dans les tempêtes ?

- Convection profonde *Ludwig et al. 2015*

- Averses convectives *Browning et al. 2015*

Forte incertitude des flux à l'interface air-mer par vents forts

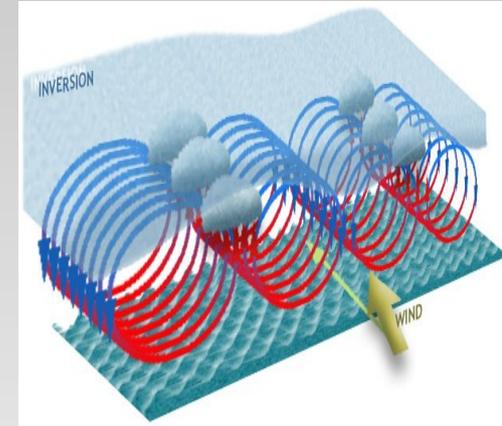
→ Quel est le rôle des **flux turbulents** à l'interface air-mer sur ces processus et sur les vents de surface ?

Les **rouleaux convectifs** sont:

Des structures quasi-bidimensionnelles, alignées approximativement dans la direction du vent, s'étendent sur la profondeur de la couche limite atmosphérique, en créant des zones de mouvement alternatif ascendant et descendant

En fonction de leur taille et de leur intensité, les rouleaux sont responsables du transport de la quantité de mouvement, de la chaleur et de l'humidité à travers la couche limite atmosphérique

LeMone 1976, Morrison et al 2005, Zhang et al. 2008



Rouleaux convectifs tirée de :
www.brockmann-consult.de

Transport des vents forts par des rouleaux convectifs

Dans des cas d'ouragans, et à partir des observations Radar :

Les rouleaux transportent et augmentent fortement le flux de quantité de mouvement, ce qui entraîne des vitesses de vent de surface plus élevées *Wurman et Winslow 1998, Morrison et al. 2005*

Dans le cas d'une tempête Atlantique impliquant un Sting-Jet

Des **observations radar** Doppler ont montré que la couche limite est organisée en rouleaux séparés de 0,5 à 3 km, transportant des vents forts provenant du Sting jet et de la bande transporteuse d'air froid vers la surface *Browning et al. 2015*

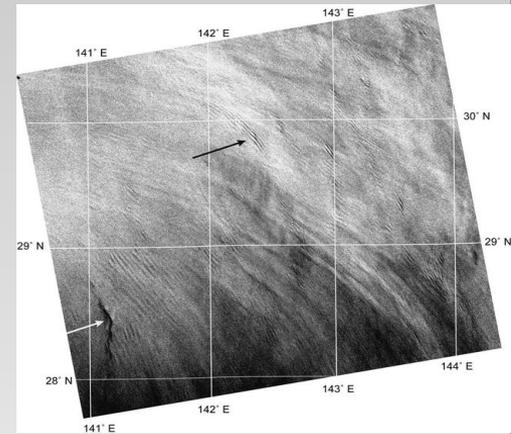


Image prise par RADARSAT-1 montrant des signes des rouleaux à petite échelle. Le centre de l'ouragan se trouve au sud-ouest de l'image. Tirée de *Morrison et al. 2005*

Limitations des études précédentes :

→ Peu de cas d'études sur des tempêtes de moyennes latitudes généralement des cas idéalisés

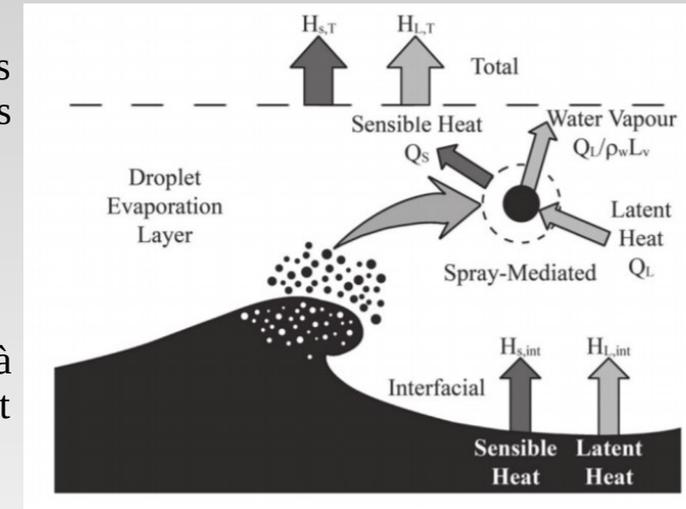
Les échanges à l'interface air-mer, jouent un rôle important dans l'évolution de la structure de la couche limite atmosphérique, plus particulièrement lors de conditions des **vents forts**

→ Ces échanges s'effectuent par des mouvements turbulents, que l'on quantifie sous la forme de **flux turbulents**

Les paramétrisations des flux turbulents sont basées sur des mesures in-situ acquises pour des vitesses de vent $< 30\text{m/}$, et ne sont pas extrapolables pour des vents supérieurs [Pianezze et al. 2020](#)

Dans des cas d'ouragans, et à partir des observations Radar :

Des études antérieures [Morrison et al. 2005](#) ont suggéré que les rouleaux contribuent à la moitié ou beaucoup plus au flux total de quantité de mouvement, ce qui se traduit par un transport fortement accru lorsque des rouleaux sont présents



Les échanges mer-atmosphère liés aux flux turbulents
Tirée d'[Andreas et al. \(2015\)](#)

Limitations des études précédentes :

→ Peu de cas d'études dans des conditions des vents forts réelles

→ La majorité des études s'intéressent au rôle des rouleaux convectifs dans le transport de la quantité de mouvement

Comment les flux turbulents de quantité de mouvement et de chaleur influencent-ils les rouleaux convectifs ?



Méthodologie et cas d'étude

La tempête méditerranéenne Adrian

Vaia est le nom attribué par l'Université de Berlin

Tempête spectaculaire développée le **29 Octobre 2018** en Méditerranée occidentale, suite à un apport froid du golfe du Lion

L'interaction entre l'air froid et la couche limite marine chaude et humide a déclenché l'intensification rapide de la dépression

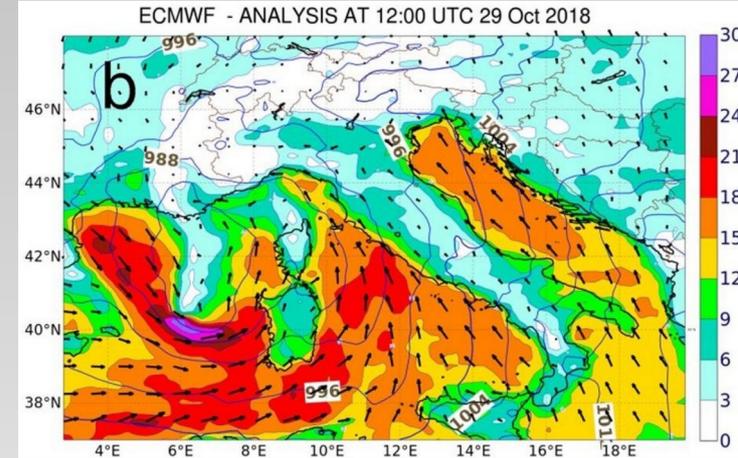
Cavaleri et al. 2019 ; Giovannini et al. 2021

→ **cyclogenèse explosive** → **vigilance rouge pour vents violents**

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

→ **Dégâts en Corse**

- Constructions démolies
- Plusieurs blessés
- glissements de terrain



Champs de vitesse du vent à 10m (m/s) et de pression sur la Méditerranée occidentale issue de l'analyse du CEPMMT
Tirée de : *Cavaleri et al. 2019*



Problématique : Large spectre d'échelles impliquées dans les tempêtes
 → Déplacement de la tempête sur ~1000 km
 → Transport des vents vers la surface sur des échelles < à 1 km

Solution : Simulation résolvant à la fois la structure entière de la tempête et le transport des vents à l'échelle de la centaine de mètres → LES

Configuration :

Initialisation : 29-10-2018 à 06UTC

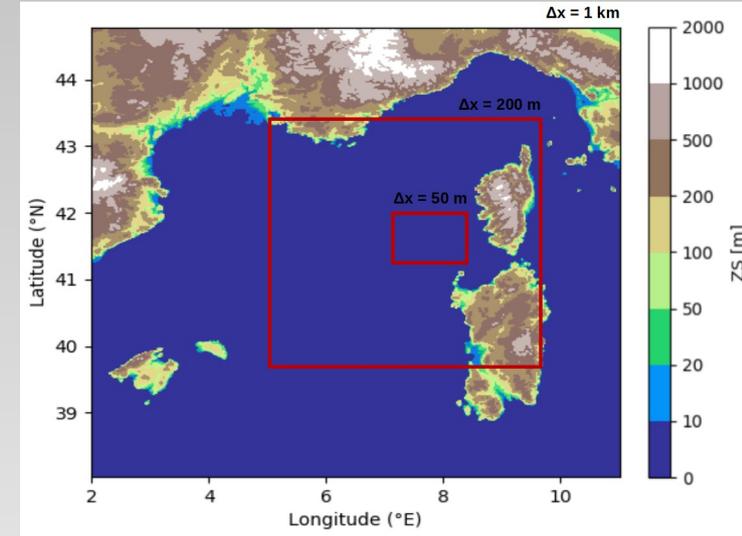
Conditions initiales et latérales: ECMWF

70 niveaux verticaux : 1^{er} niveau à z =10m

Schéma de rayonnement [ECMWF](#)

Schéma de surface SURFEX : Flux turbulents [COARE3](#)

Schéma des processus microphysiques [ICE3](#)



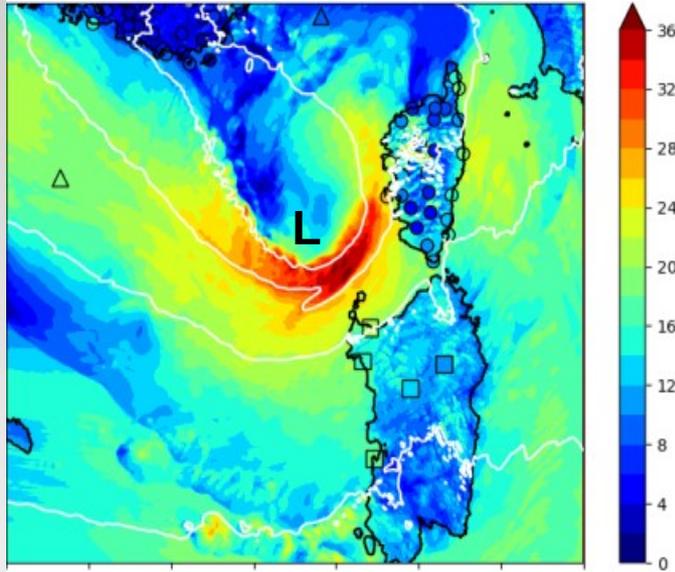
Simulation	Δx	Δt	Domaine	Convection	Turbulence	Longueur de mélange	Advection
Ref1km	1 km	10s	750*750 km	Peu profonde EDKF	TKEL1D	BL89	WENO
LES200m	200m	2s	400*400 km	explicite	3D	DEAR	CEN4TH

Résultats



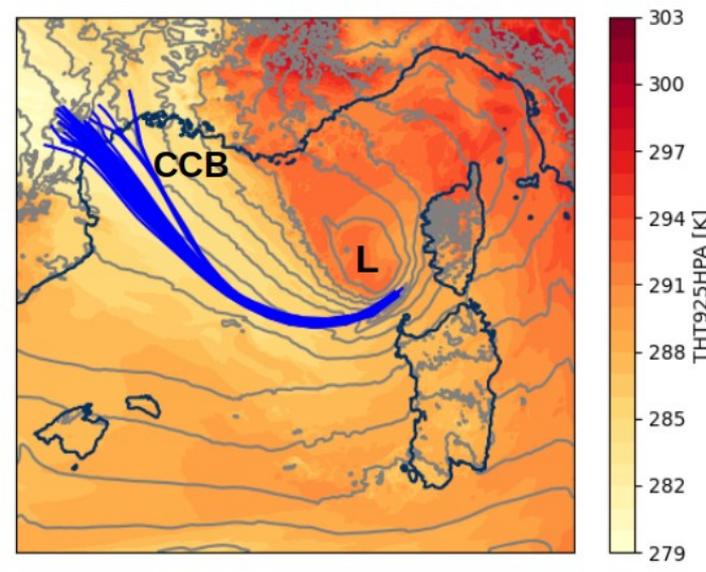
Quel est l'origine des vents forts à **méso-échelle** ?

À **mésos-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



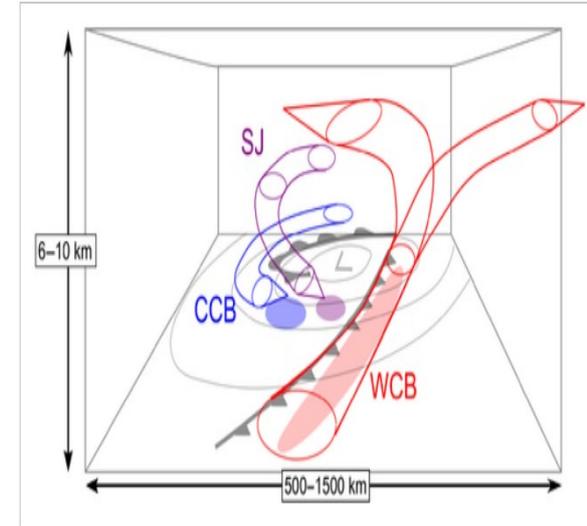
Zoom sur le centre de la dépression
Vitesse de vent à 10m à 15UTC

Les vitesses de vent les plus fortes sont confinées dans une bande relativement étroite, sur le flanc sud du centre dépressionnaire



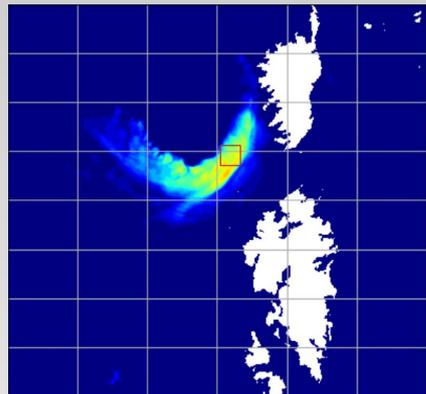
Température potentielle à 925 hPa à 15UTC
Rétro-trajectoires à 15UTC

critère de sélection: vent horizontal > 50m/s en basse couche

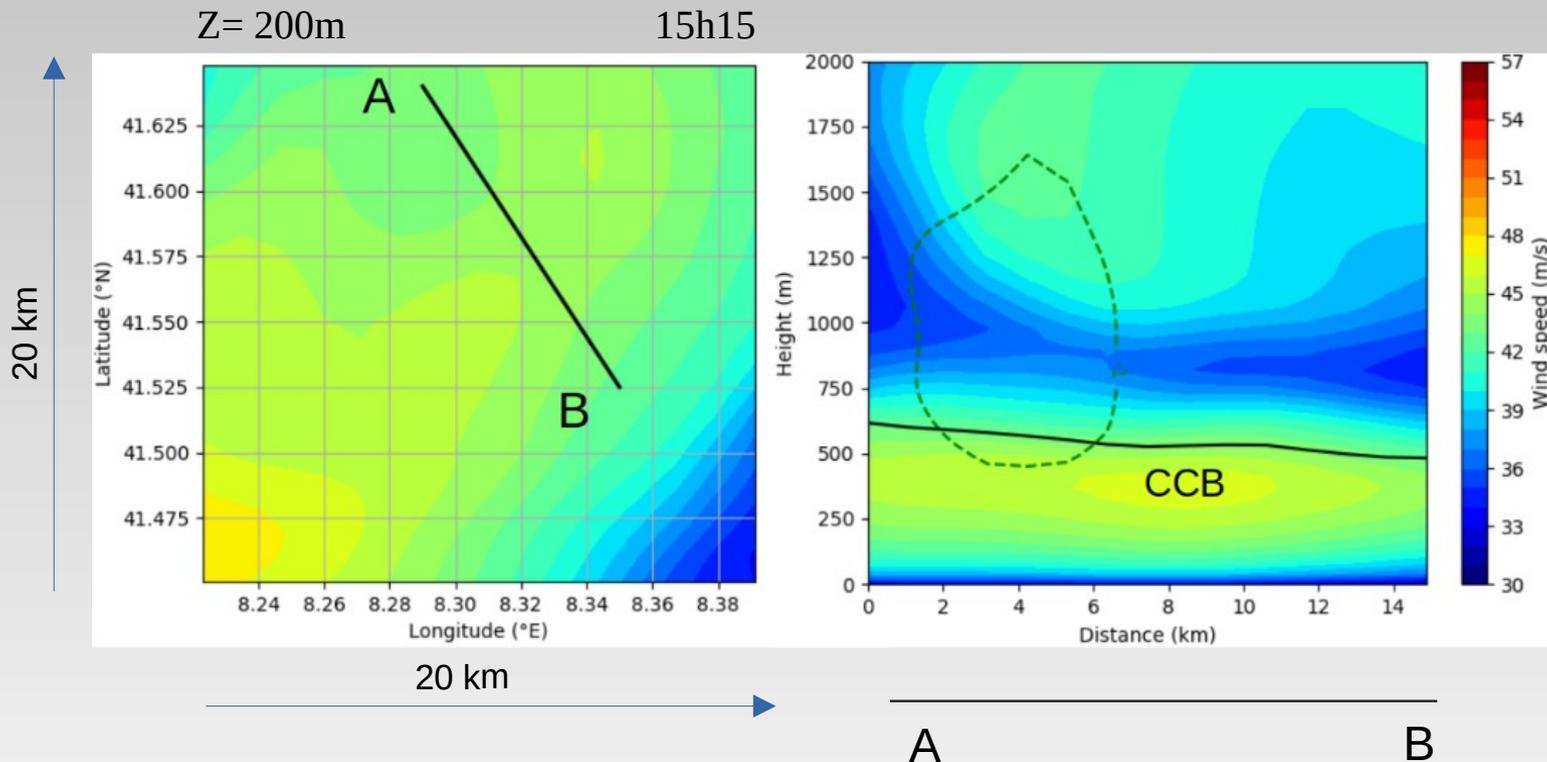


Quels sont les processus de **fine échelle** responsables du transport des vents forts vers la surface dans les tempêtes ?

Les vents forts dans la simulation kilométrique



Carré rouge = domaine de la coupe horizontale

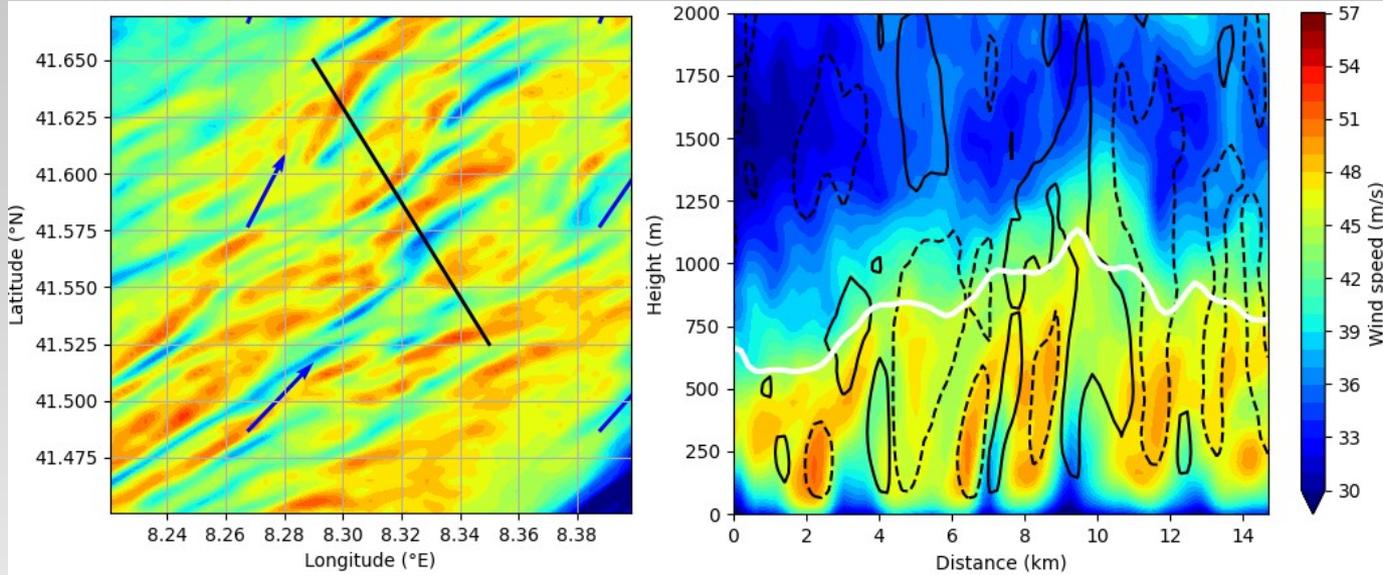


- CCB: Maximum de vent à 500m
- Zone de vent fort homogène

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

Z= 200m

15h15

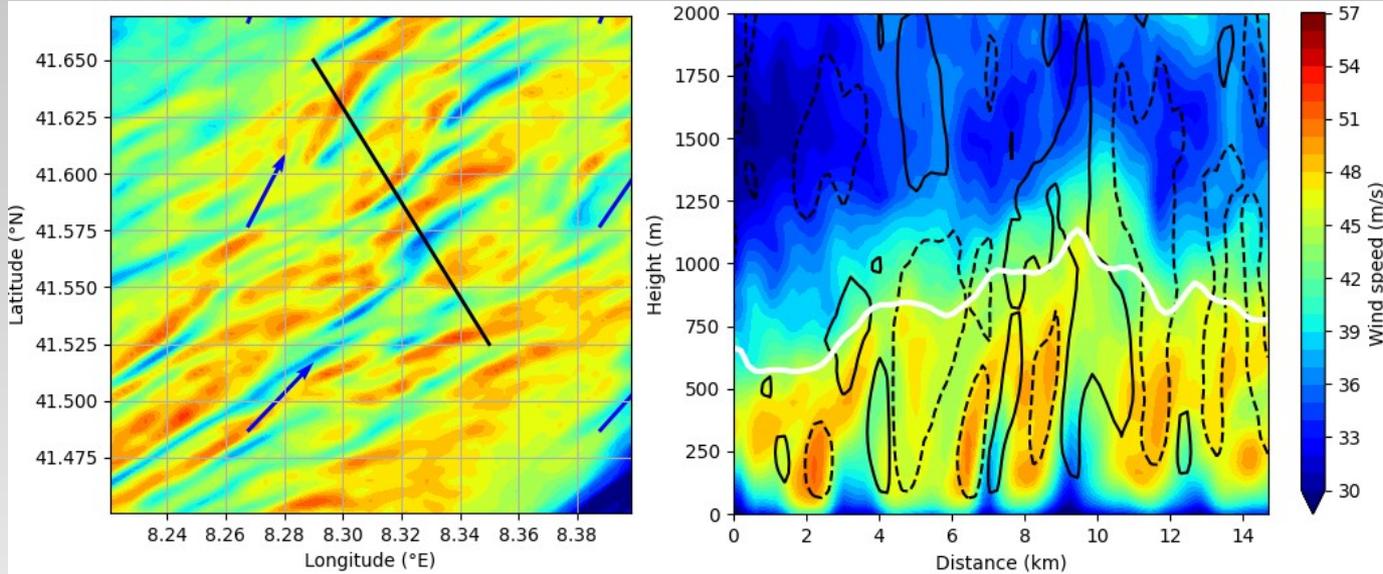


- Structures de vent alignées approximativement dans la direction du vent
- Les structures sont aussi hautes que la couche limite, et sont espacées de ~ 1 km
- Mouvement de rotation : alternance de subsidences et d'ascendances
- Les régions des vents forts correspondent à des subsidences et des vents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

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

Z= 200m

15h15

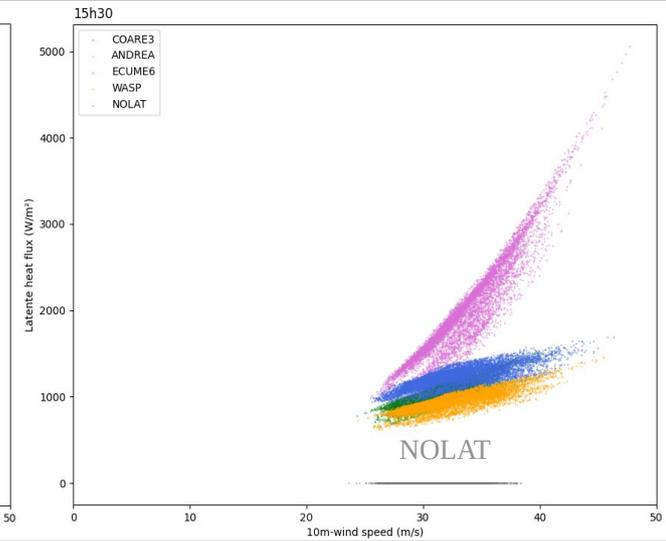
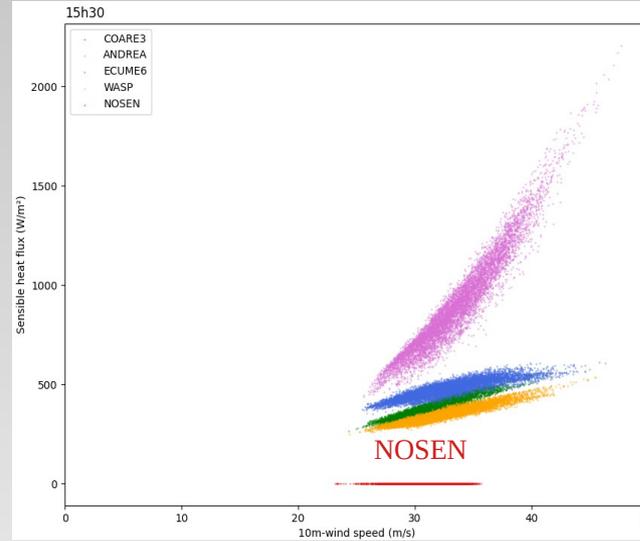
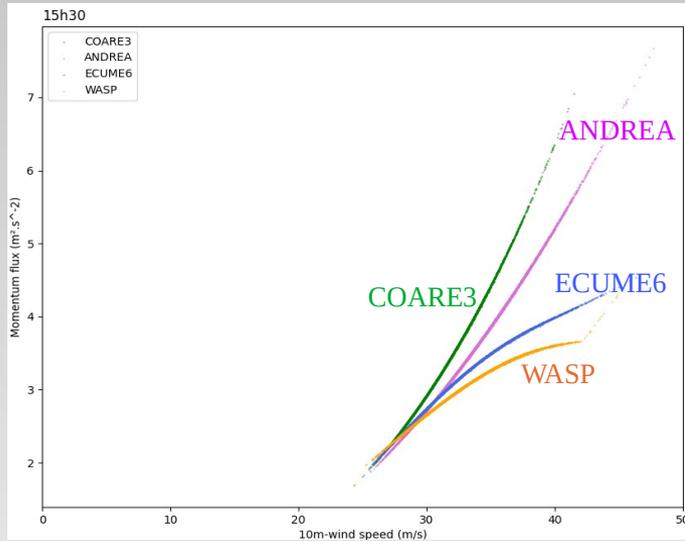


- Structures de vent alignées approximativement dans la direction du vent
- Les structures sont aussi hautes que la couche limite, et sont espacées de ~ 1 km
- Mouvement de rotation : alternance de subsidences et d'ascendances
- Les régions des vents forts correspondent à des subsidences et des vents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

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

Comment les **flux turbulents** à l'interface air-mer influencent les rouleaux convectifs et les vents de surface ?

Paramétrisations des flux turbulents à l'interface air-mer



COARE3

Coefficient de traînée augmente avec le vent

→ flux de quantité de mouvement plus fort

ECUME6

Diminution du coefficient de traînée pour des vents $> 30m/s$

→ flux de quantité de mouvement faible

WASP

→ flux de quantité de mouvement le plus faible

Flux de chaleur

ANDREA

Effet des embruns → forts flux de chaleur

+ le vent ↗, + les flux générés par les embruns ↗

Test de sensibilité à Méso-échelle

Configuration :

- $\Delta x = 1 \text{ km}$
- Initialisation : 12UTC
- Durée: 12 à 18 UTC

Nom de simulation	Paramétrisation utilisée
COARE3 (référence)	<i>Fairall et al. 2003</i>
ECUME6	<i>Belamari 2005</i>
ANDREA	<i>Andreas et al. 2015</i>
WASP	<i>Sauvage et al. 2019</i>
NOLAT	F.chaleur latente désactivé
NOSEN	F.chaleur sensible désactivé
NOMOM	F. quantité de mouvement désactivé

Quel est l'effet des différentes paramétrisations sur la trajectoire et l'intensité d'Adrian ?

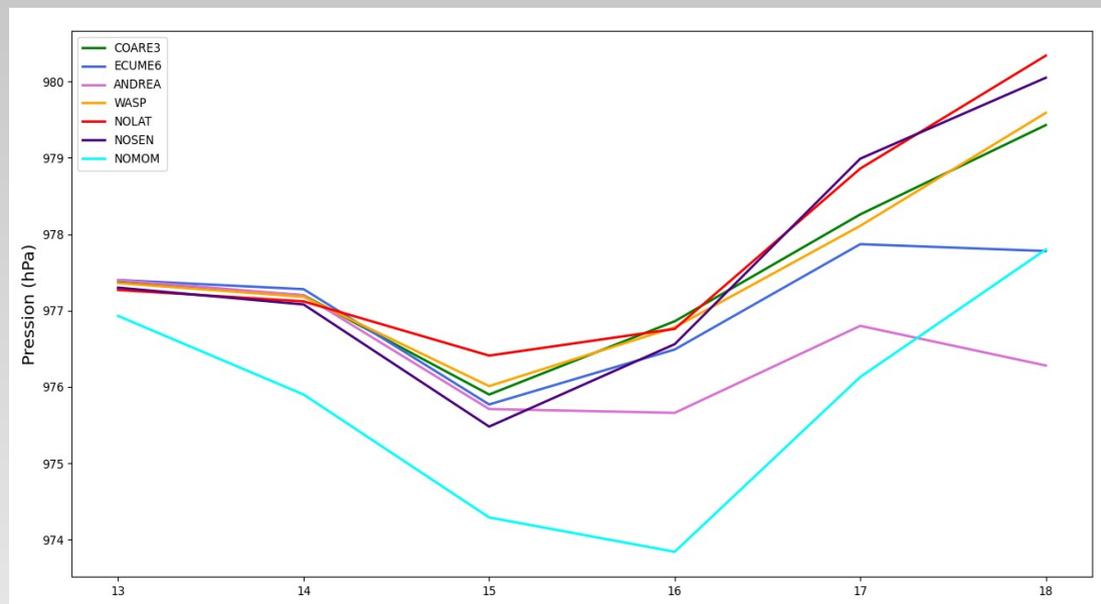
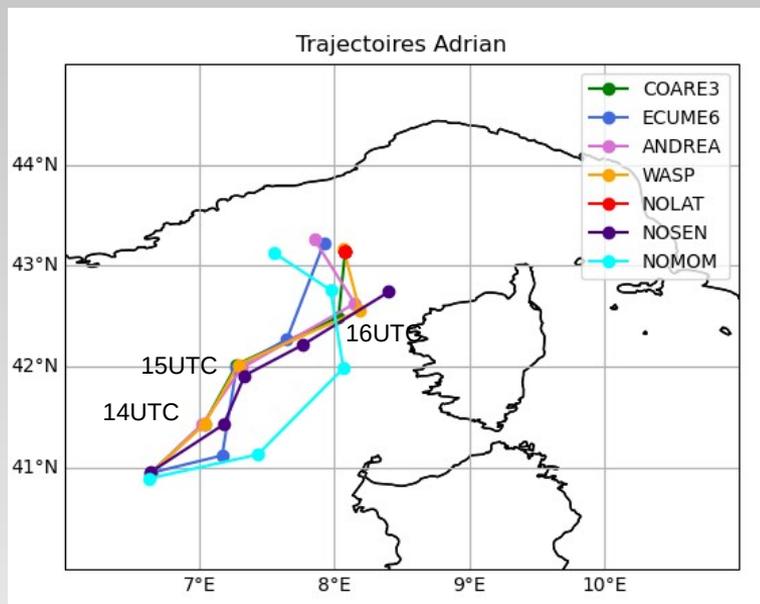
Test de sensibilité à fine-échelle

Configuration :

- $\Delta x = 200 \text{ m}$
- Initialisation : 15UTC
- Durée: 15 à 16 UTC

Quelle est la sensibilité des rouleaux convectifs et des vents de surface aux flux turbulents ?

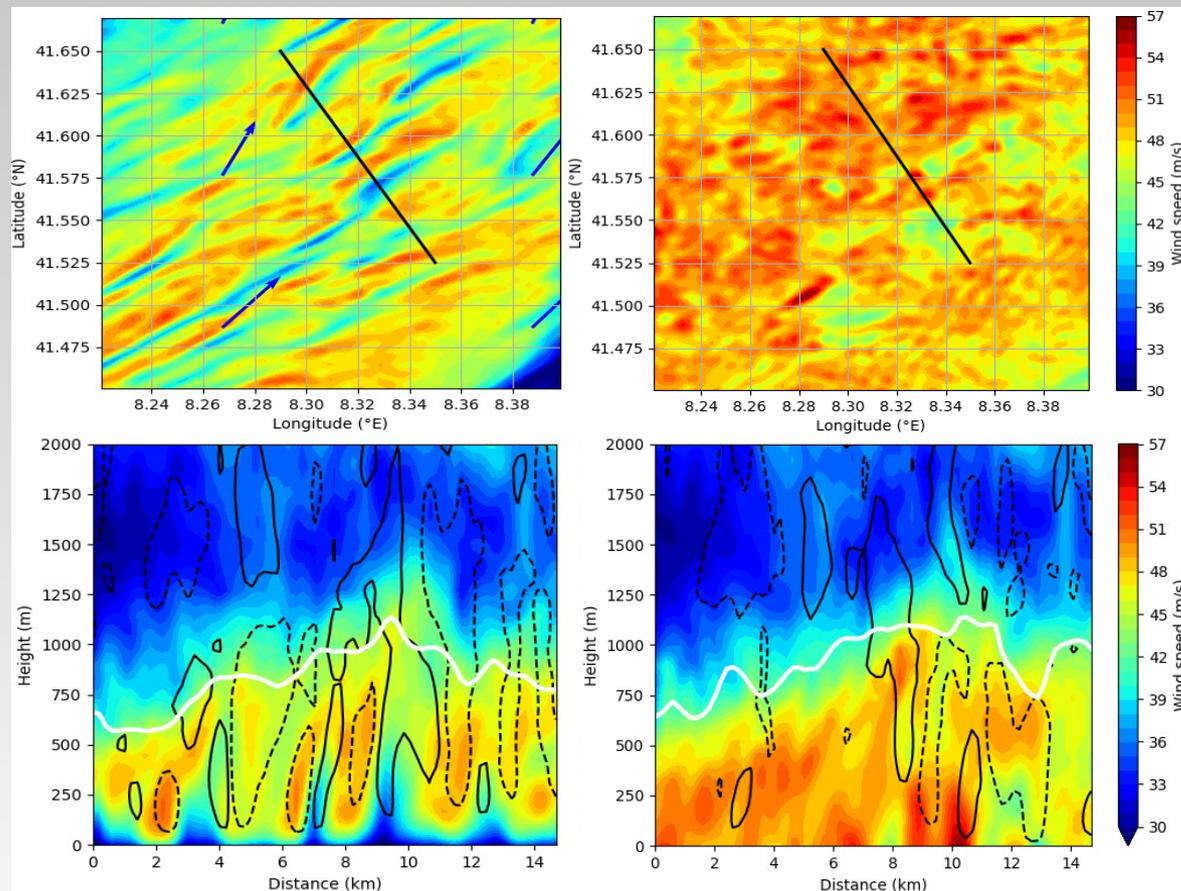
Influence des paramétrisations sur la trajectoire et intensité



- **NOMOM** : trajectoire et intensité très différentes par rapport à **COARE3** :
Flux de QdM = 0 → pas de frottement → vent plus fort → dépression plus intense
- Les trajectoires simulées par **WASP**, **NOLAT** et **NOSEN** (déviiée et retardée en fin de run) sont proches de **COARE3**
- **ECUME** : à 16h, dépression retardée et déviée de la trajectoire de référence
- **ANDREA** : Dépression plus intense en fin de simulation

COARE3

NOMOM = Flux quantité de mouvement désactivé



NOMOM : Absence des rouleaux convectifs

→ Flux de quantité de mouvement sont nécessaires pour l'organisation des rouleaux convectifs

Influence des flux turbulents sur les rouleaux convectifs

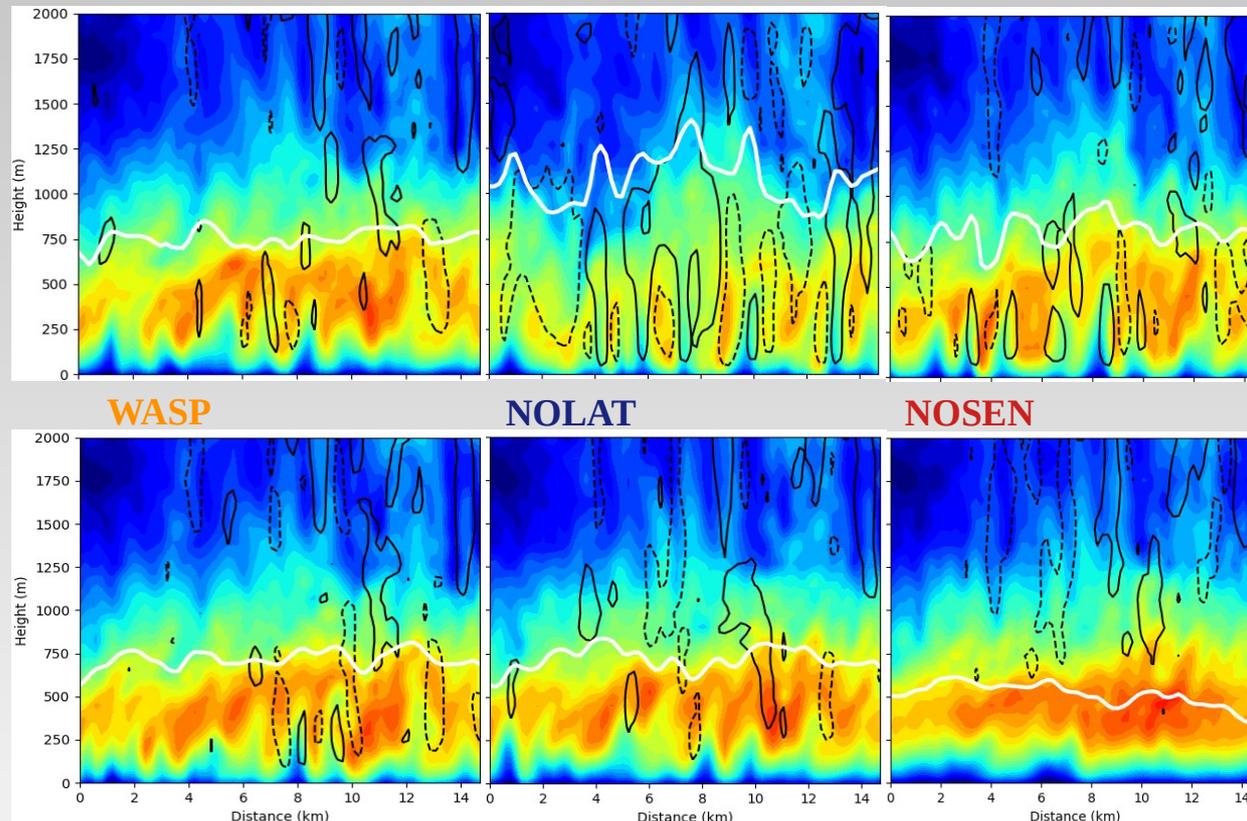
Z= 200m

15h30

COARE3

ANDREA

ECUME6



WASP

NOLAT

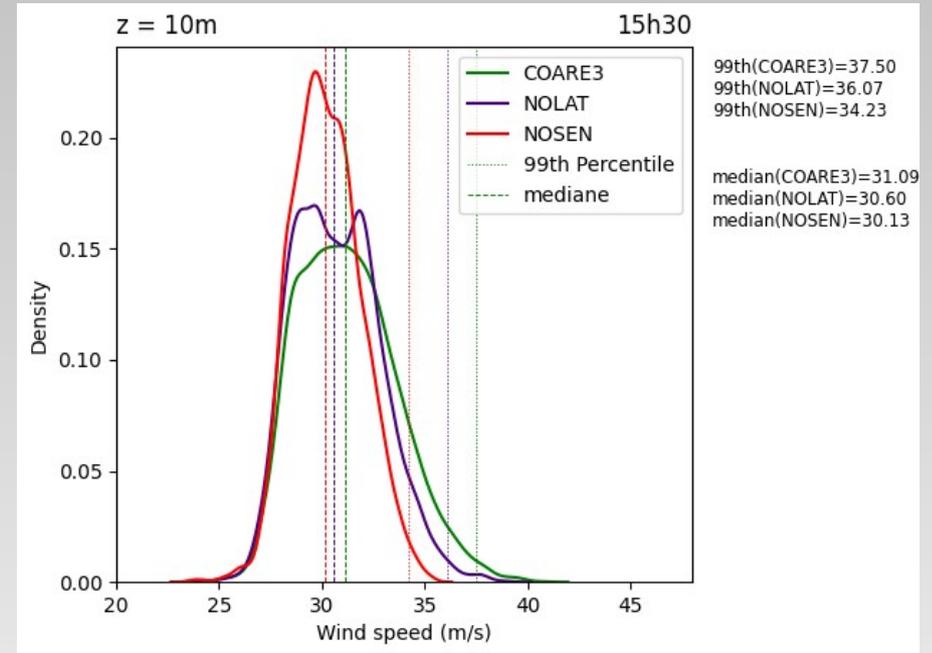
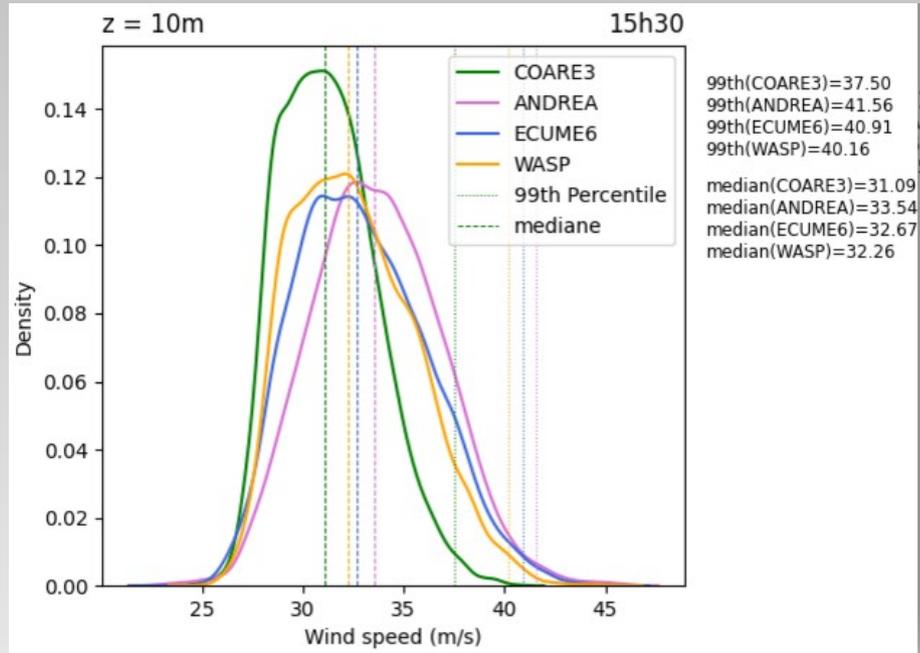
NOSEN

ANDREA (Flux de chaleur forts) : Circulation verticale plus forte + vent horizontal faible

ECUME6, **NOLAT** & **WASP** : Circulation verticale et vent horizontal comparables à COARE3

NOSEN : Couche limite moins profonde + absence des rouleaux convectifs

→ **Les flux de chaleur sensible pilotent la formation des rouleaux**



COARE3 (reference)

38 m/s en 99th percentile

WASP

40 m/s en 99th percentile → +2 m/s en 99e percentile par rapport à COARE3

ANDREA: Flux de chaleur forts

42 m/s en 99th percentile → Vent de surface plus fort

+ 4 m/s en 99e percentile par rapport à COARE3

ECUME6:

41 m/s en 99th percentile → + 3 m/s en 99e percentile par rapport à COARE3

NOSEN : Flux de chaleur sensible désactivée

Vent de surface plus faible

- 4 m/s en 99th percentile par rapport à COARE3

NOLAT: Flux de chaleur latente désactivée

- 2 m/s en 99th percentile par rapport à COARE3

Conclusion

- Passage de la tempête ‘Adrian’ a généré des vents forts à l’ouest de la Corse
 - Les vents forts sont dues à la **bande transporteurs d’air froid CCB**
- Les LES montrent que les **rouleaux convectifs** sont responsables du **transport** à fine échelle des **vents forts**



À méso-échelle :

- À l’exception de **NOMOM**, les trajectoires simulées sont proches de la trajectoire de **COARE3**, la paramétrisation **ANDREA** produit une dépression plus intense

À fine échelle :

- Les **flux de quantité de mouvement** sont nécessaire pour l’organisation des rouleaux convectifs
- Les **flux de chaleur sensible** influencent les rouleaux convectifs et le transport vertical dans la couche limite
- Les vents de surface sont fortement pilotés à la fois par les flux de chaleur sensible et les **flux de quantité de mouvement**

Perspectives

Sensibilité aux flux turbulents

Les flux turbulents à l'interface air-mer auront-ils la même influence sur les vents sur terre ?

Approche quantitative

- Fonction d'auto-corrélation

- Caractériser les rouleaux convectifs : Taille, évolution temporelle et verticale...
- Quantifier le transfert de quantité de mouvement associé aux rouleaux convectifs

- Identification d'objet 3D des subsidences

- Jusqu'à quelle altitude les rouleaux transportent-ils les vents ?



Merci pour votre attention

Dragon Vaia dans la région de Lavarone dans le nord de l'Italie, par: *Marco Martalar*