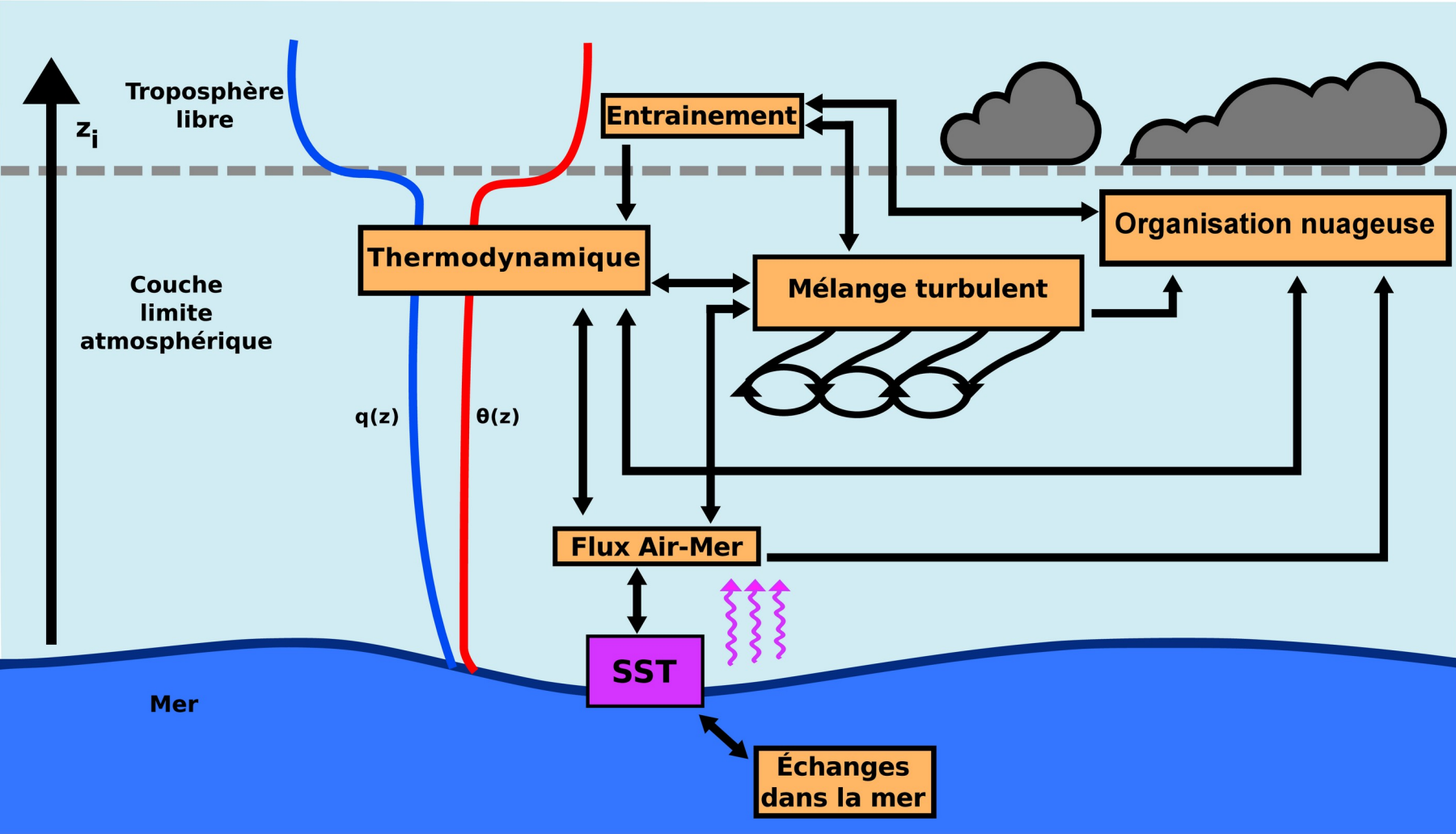


Clear-sky turbulence and shallow convection: new insights combining SAR images, satellite brightness temperature and in-situ measurements

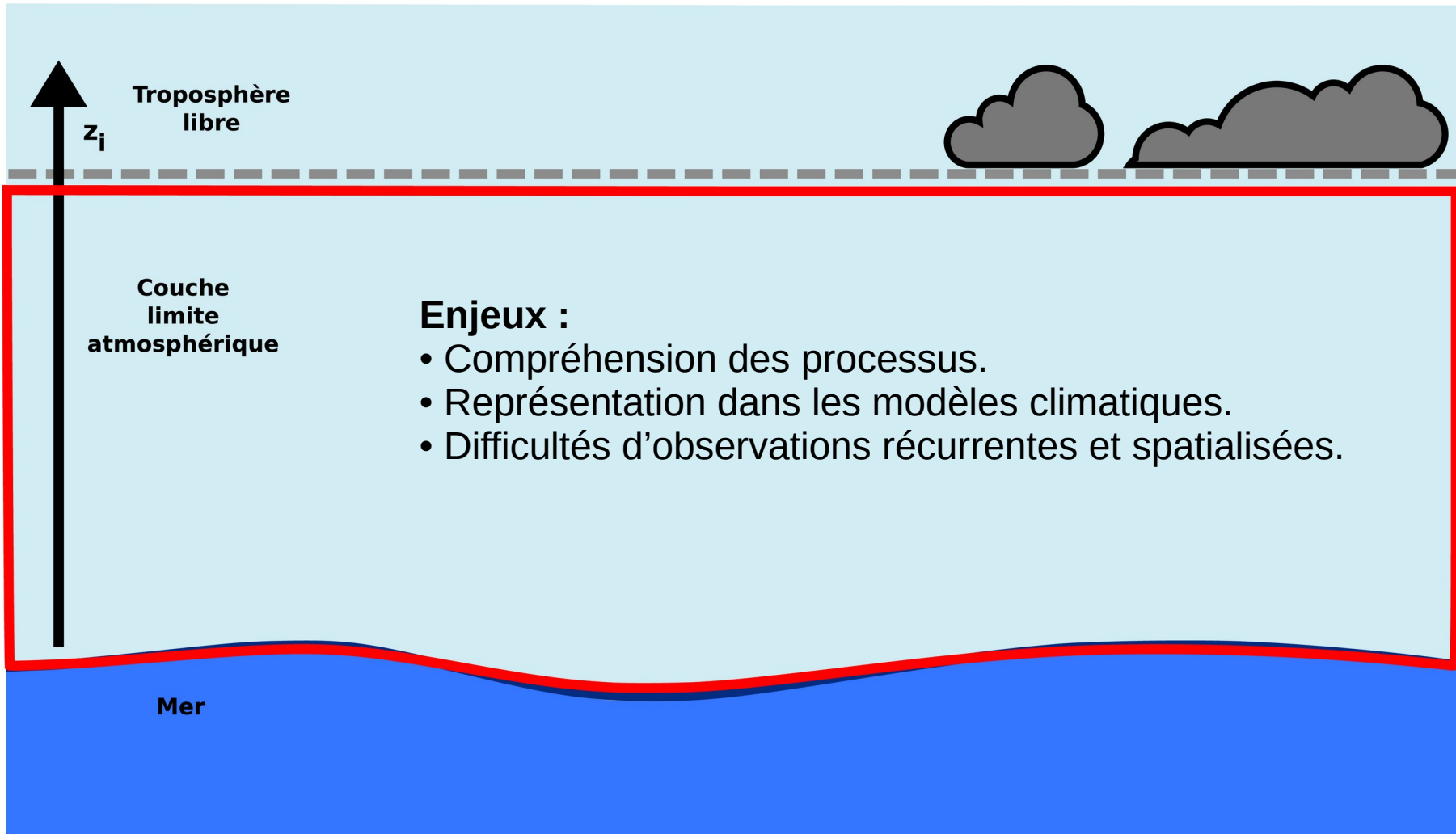
Pierre-Etienne Brilouet (1), Alex Ayet (2), Dominique Bouniol (1), Fleur Couvreur (1),
Carlos Granero-Belinchon (3), Marie Lothon (4), Alexis Mouche (5)

- (1) CNRM, Toulouse
- (2) GIPSA-Lab, Grenoble
- (3) Lab-STICC, Plouzané
- (4) LAERO, Toulouse
- (5) LOPS, Plouzané

Objet d'étude : la couche limite atmosphérique marine



Objet d'étude : la couche limite atmosphérique marine



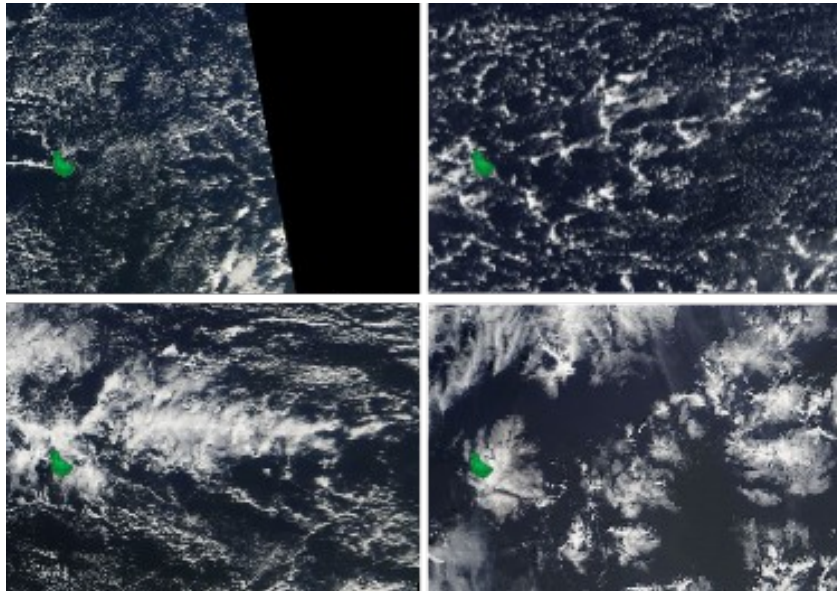
Contexte : observation satellite pour l'étude de la CLAM

- Collaboration initiée au LOPS.
Constat : Opportunité de s'appuyer sur la synergie des communautés Océan et Atmosphère en terme d'outils d'analyse et de questionnements scientifiques.
- **Emergence de l'observation spatiale** pour l'étude de la CLAM - partie de l'atmosphère difficile à observer par satellite.
- **Adaptation** d'une mesure satellite **de la rugosité de surface** de la mer pour l'étude de **processus atmosphériques** à partir d'images SAR (Synthetic Aperture Radar).
- **Suivi temporel** de l'organisation spatiale **des nuages bas** à partir d'images GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite).
- Contexte favorable du programme EUREC4A - **campagnes de mesures peu nombreuses** : jeu de données de grande qualité comme référence in situ.

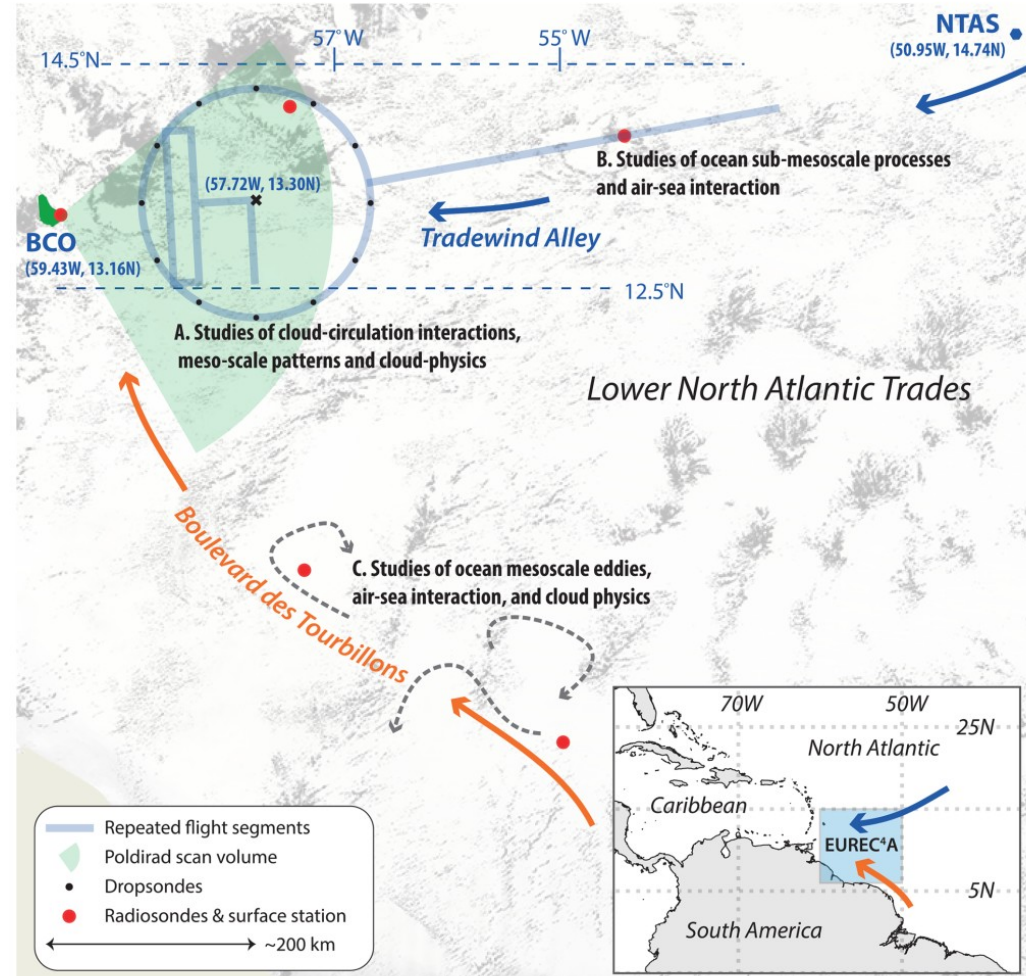
Contexte : le projet EUREC4A

Elucidating the Role of Clouds-Circulation Coupling in Climate (*Bony et al., 2017*) :

- Interactions nuages bas, convection atmosphérique et circulation de grande échelle.
- Campagne de mesures au large de la Barbade (Jan – Fev 2020), d'envergure internationale avec une synergie des observations in situ et de télédétection.



Stevens et al., 2019

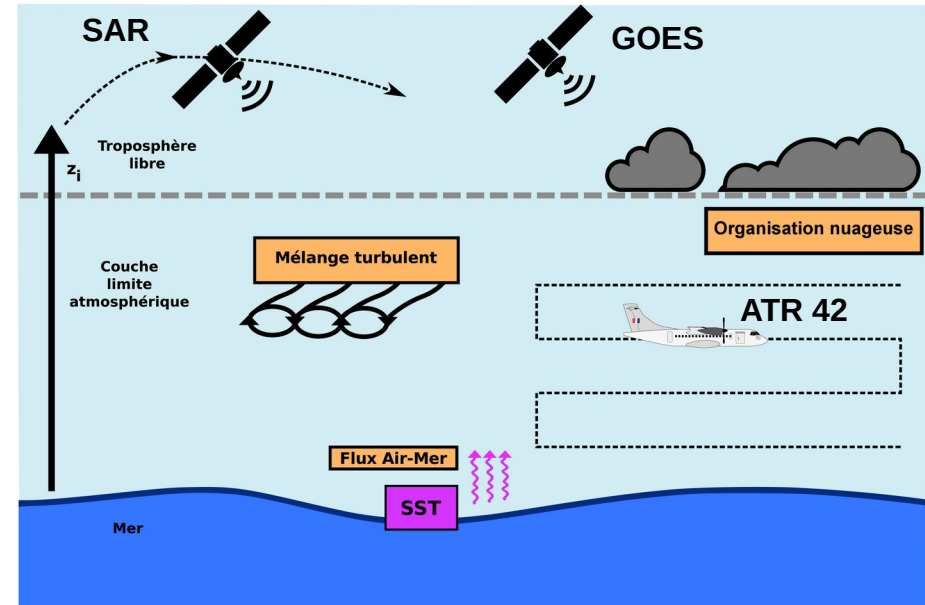


Stevens et al., 2021

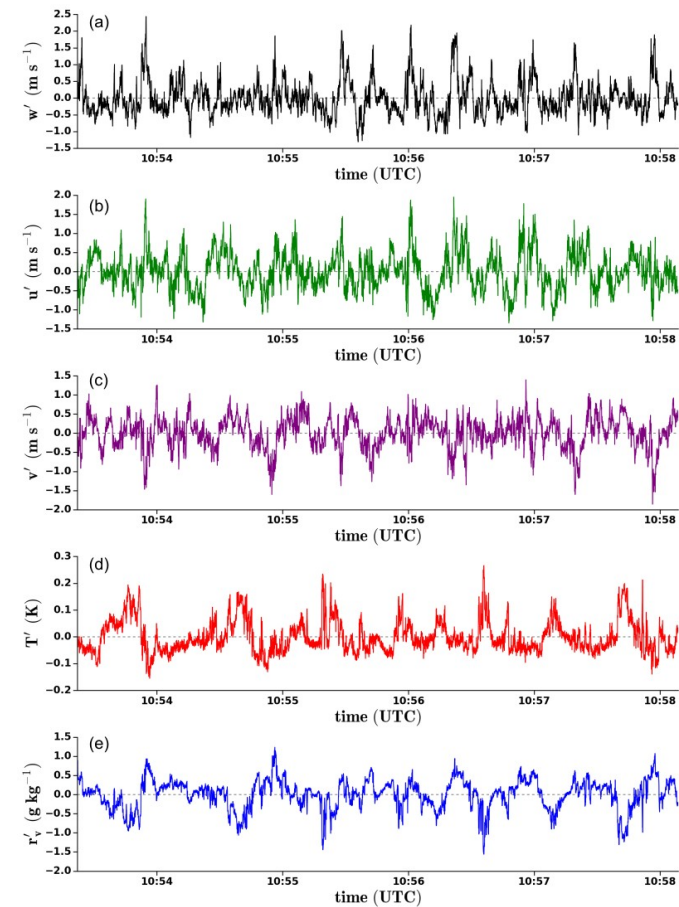
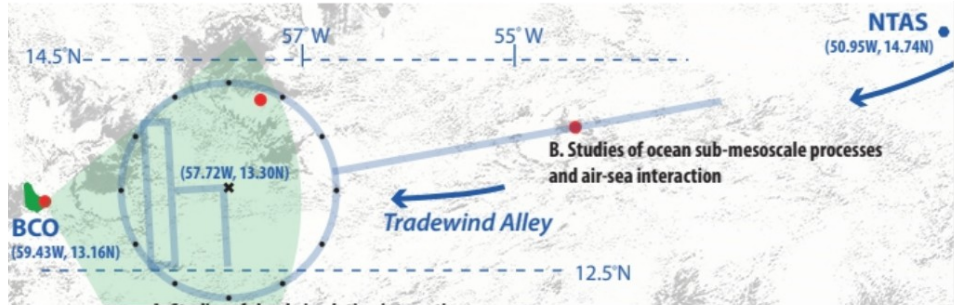
Objectifs

- 1) Quelles informations concernant les propriétés de la CLAM et l'organisation nuageuse peuvent être déduites des observations SAR ?
- 2) Dans quelle mesure la structure turbulente de la CLAM et l'organisation nuageuse interagissent ?

| Platform | Instruments | Parameters | Domain | Resolution | Sample frequency |
|----------------|---------------------------|--|----------------------|---------------|--|
| Satellite data | | | | | |
| Sentinel-1 | SAR { EW mode IW mode | sea surface roughness | swath of 400 km | 20 m 50 m | 2 per day |
| GOES-16 | ABI { Visible Infrared | reflectivity brightness temperature | full disk | 500 m 2 km | 10 min - 15 min |
| In situ data | | | | | |
| ATR42 | Turbulence | { moisture temperature wind components | legs of 75 km | 4 m | 18 flights of 4.5 hrs over Jan-Feb 2020 |
| HALO | Dropondes | large-scale conditions | 100 km diameter disk | - | - |
| Vessels | Radiosoundings | thermodynamic fields | - | - | - |
| Buoy Stations | | | | | |
| UAV | | | | | |



Données disponibles – mesures aéroportées de turbulence

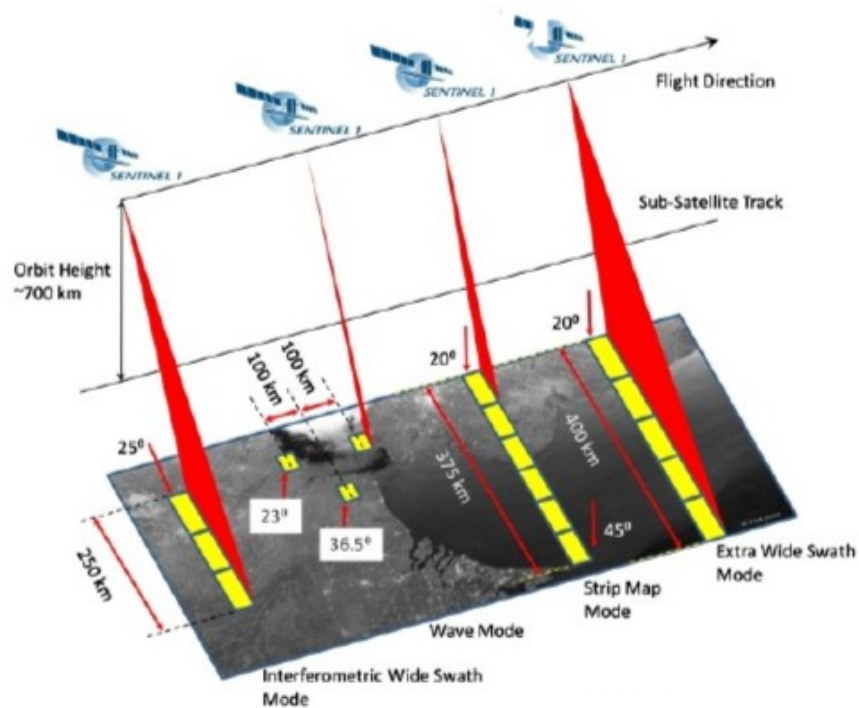


| RF | Date | u | v | w | T | r_v |
|----|-------|--------|--------|-------|--------|-------|
| 03 | 26/01 | Orange | Orange | Red | Yellow | Green |
| 04 | 26/01 | Yellow | Yellow | Red | Yellow | Green |
| 05 | 28/01 | Yellow | Yellow | Red | Yellow | Green |
| 06 | 30/01 | Yellow | Yellow | Red | Yellow | Green |
| 07 | 31/01 | Yellow | Yellow | Red | Yellow | Green |
| 08 | 31/01 | Yellow | Yellow | Red | Yellow | Green |
| 09 | 02/02 | Green | Green | Green | Yellow | Green |
| 10 | 02/02 | Green | Green | Green | Yellow | Green |
| 11 | 05/02 | Green | Green | Green | Yellow | Green |
| 12 | 05/02 | Green | Green | Green | Yellow | Green |
| 13 | 07/02 | Green | Green | Green | Yellow | Green |
| 14 | 07/02 | Green | Green | Green | Yellow | Green |
| 15 | 09/02 | Green | Green | Green | Yellow | Green |
| 16 | 09/02 | Green | Green | Green | Yellow | Green |
| 17 | 11/02 | Green | Green | Green | Yellow | Green |
| 18 | 11/02 | Green | Green | Green | Yellow | Green |
| 19 | 13/02 | Green | Green | Green | Yellow | Green |

17 vols disponibles
 535 segments de ~ 30 km
 Calcul des moments et des
 fluctuations turbulentes

Dataset :
 ATR-42 – Turbulence Data 25 Hz P.-E. Brilouet and M. Lothon,
<https://doi.org/10.25326/128>
 Datapaper :
 Brilouet et al., 2021 The EUREC4A turbulence dataset derived from the SAFIRE
 ATR 42 aircraft, Earth Syst. Sci. Data. <https://doi.org/10.5194/essd-2021-52>

Principe de la mesure SAR

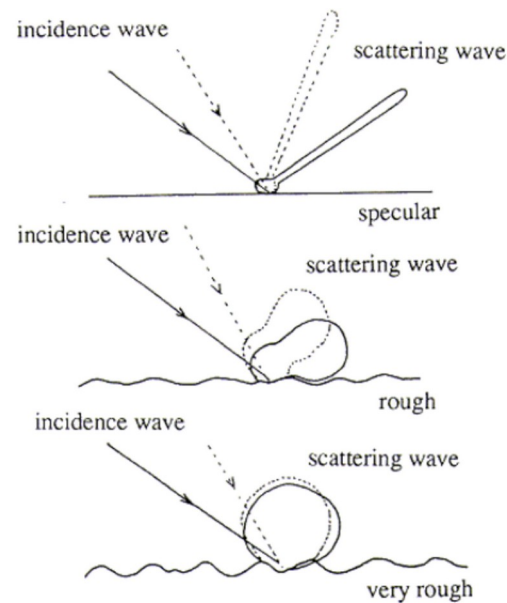


SAR : seuls capteurs embarqués permettant des observations à haute résolution de la surface de l'océan jour/nuit et à travers les nuages - bande C (~ 5 GHz) et bande L (~ 1.4 GHz).

Sentinel-1 SAR : 2 modes d'acquisition

- Wave Mode (~ 20 km x 20 km, ~ 5 m)
- Wide Swath Mode (~ 250 km, ~ 20 m)

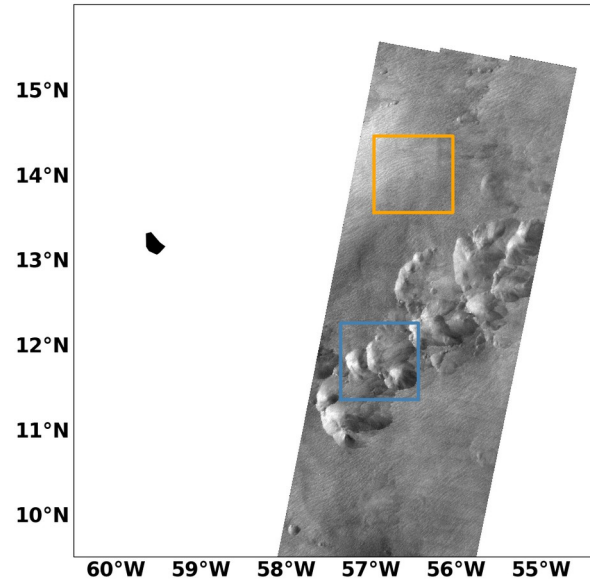
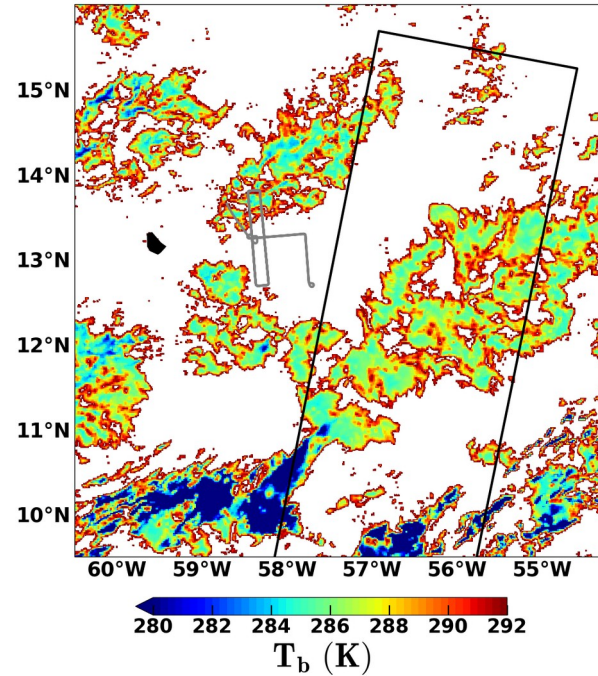
Signal rétrodiffusé = interactions entre l'onde émise et les petites échelles (~ cm) à la surface.
Au 1^{er} ordre, ces échelles sont dominées par le vent de surface instantané. La rétrodiffusion augmente avec l'intensité du vent.



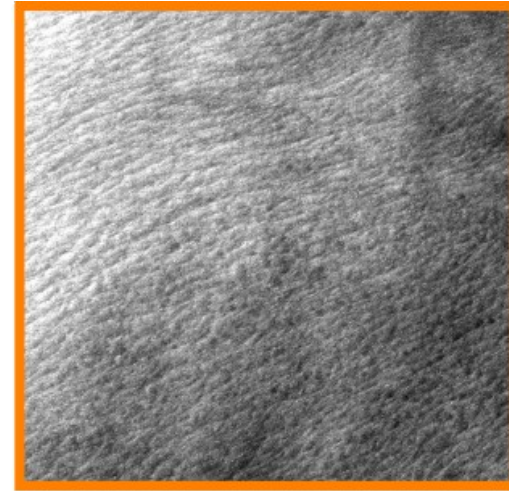
Hypothèse : la signature des structures cohérentes de CLAM peut se détecter au travers de la rugosité de surface.

Présentation du cas d'étude

13 Fev. 2020 0935 UTC

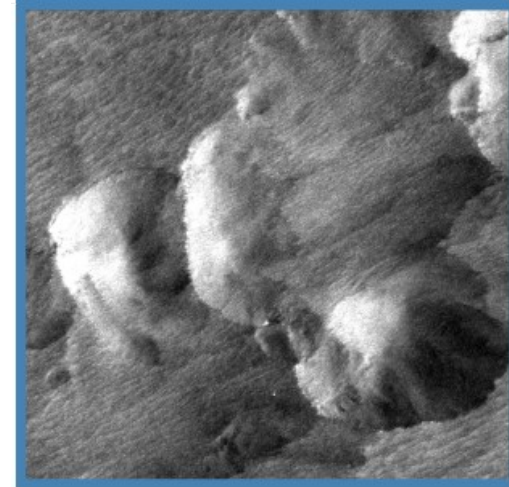


Clear-sky Turbulence – Convective rolls



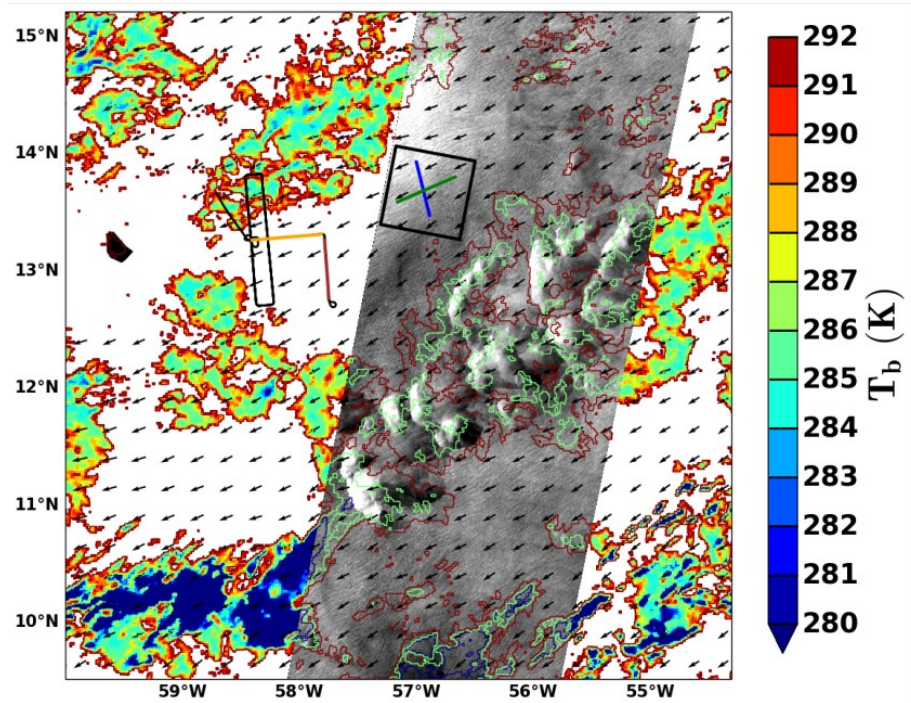
100 km x 100 km

Shallow Convective clouds – Downdrafts and cold pools

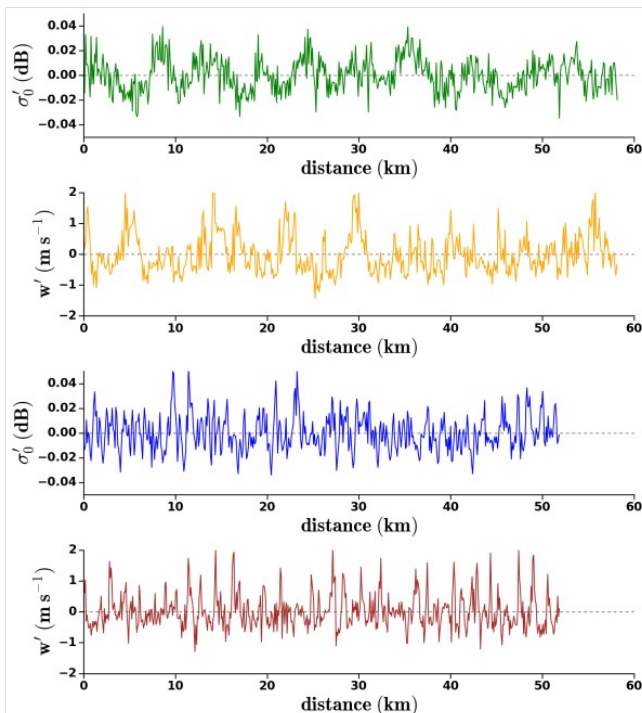


100 km x 100 km

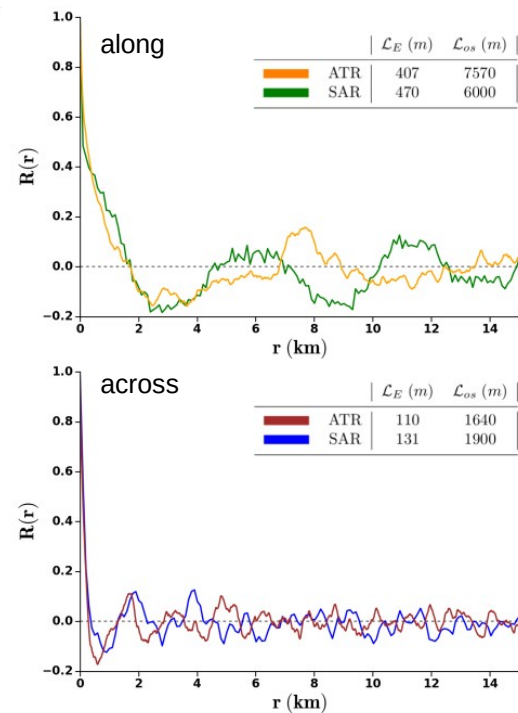
Clear-Sky Turbulence - intercomparaison with in situ measurements



(a) SAR large swath + GOES brightness temperature + Surface wind from WINDSAT



(b) Fluctuations of the backscattered signal and the vertical velocity measured by the ATR along perp. or para. axes at the mean wind direction.

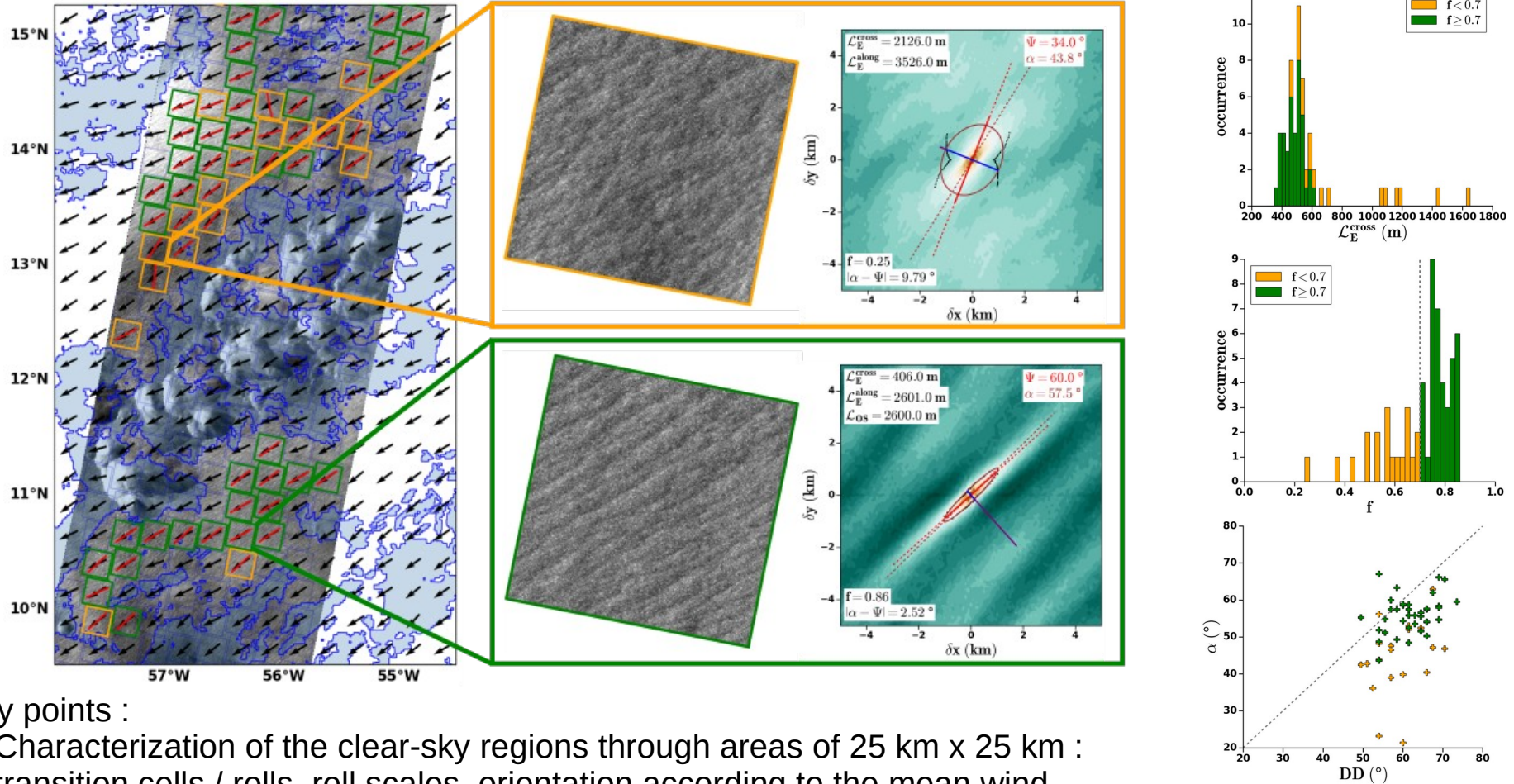


(c) Autocorrelations associated to the time series.

Key points :

- Similar dynamics of turbulent vertical velocity fluctuations from airborne data and backscattered SAR signal.
- Good agreement of the roll characteristic scales and anisotropy of the turbulent field with the elongation of the eddies along an axis close to the mean wind.

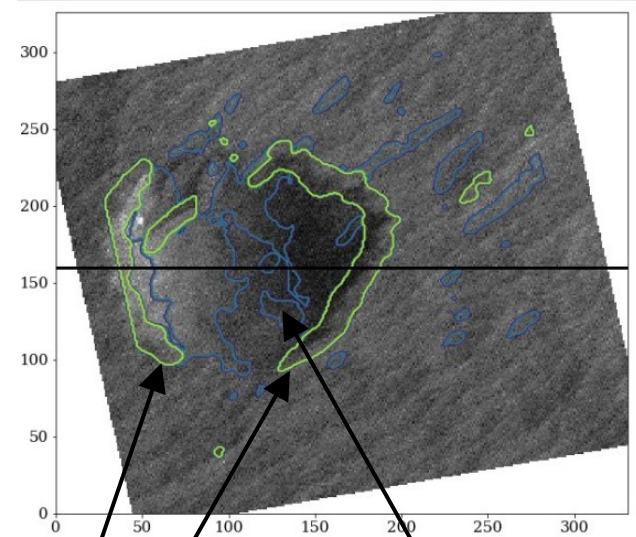
Clear-Sky Turbulence - mapping the clear-sky regions of the entire large swath



Key points :

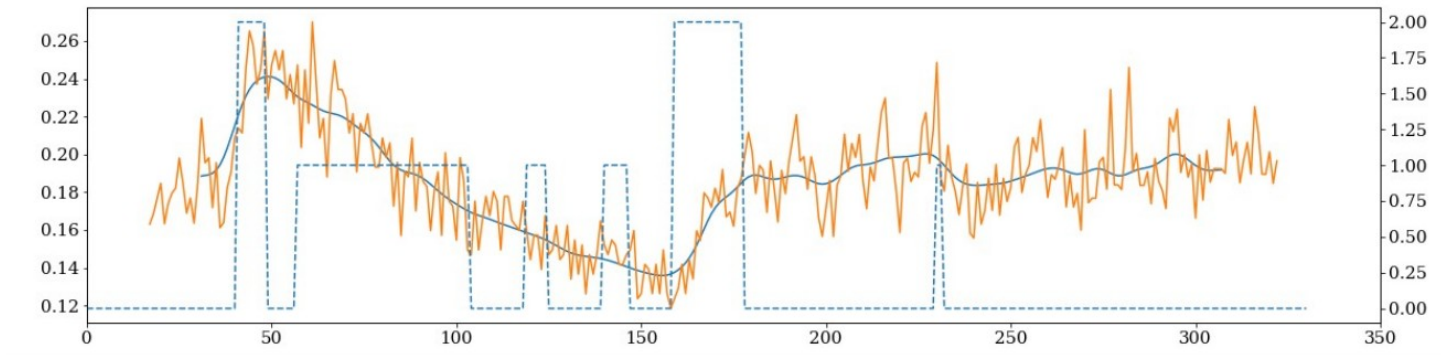
- Characterization of the clear-sky regions through areas of 25 km x 25 km : transition cells / rolls, roll scales, orientation according to the mean wind.
- Possibility to apply this method to the entire SAR images dataset of EUREC4A.

Shallow Convection and Cold Pools – segmentation method



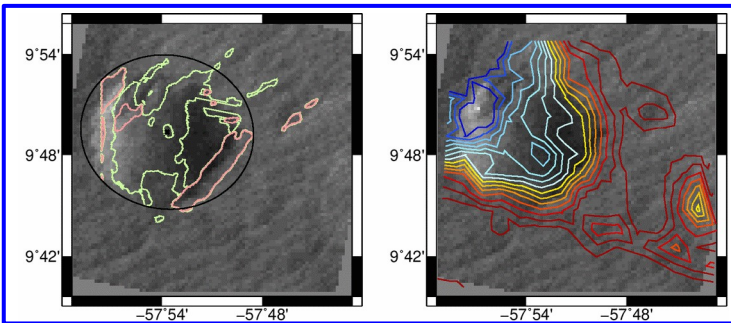
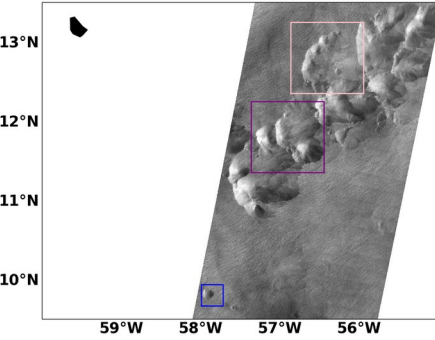
Zones d'entrée et de sortie avec fort gradient positif

Zone « molle » avec gradient négatif

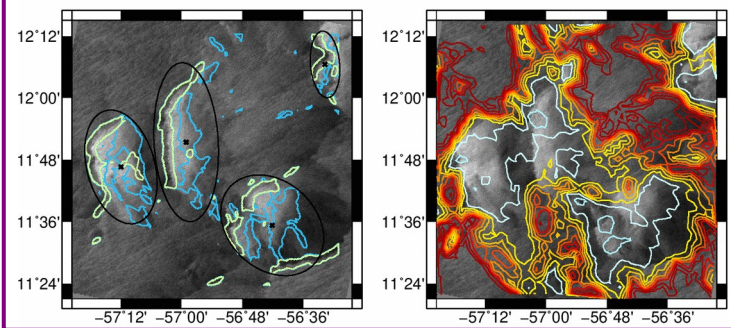


- trait plein orange: signal brut
- trait plein bleu: signal lissé $\sigma = 3$
- pointillets: objets identifiés (axe de droite).
 - 1 → milieu de la balle de tennis (contour bleu)
 - 2 → entrées et sorties (gust fronts, contour vert)

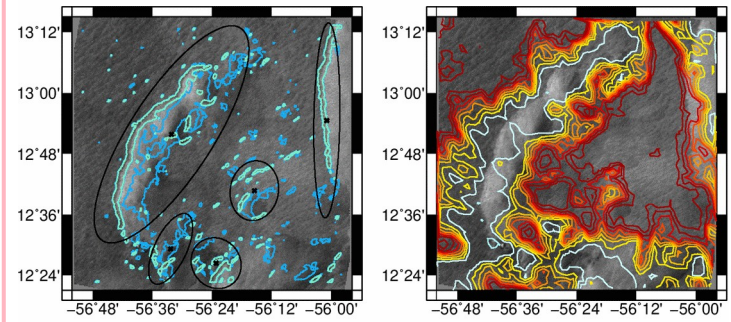
Shallow Convection and Cold Pools – segmentation & link with the brightness temperature



Left : SAR image centered on three areas with cold pool segmentation and associated ellipse fit.
 Right : Superposition of the SAR image and the brightness temperature contours (GOES).



- Key points :
- Good detection of the different elements of a cold pool with the segmentation (gust fronts, soft region, and upstream gradient).
 - Cloud ($T_b < 292K$) and cold pool collocation and cold core identification.



On going work:
 Characterization of cold pools from a set of metrics deduced from the SAR image (size, gradient, intensity,...) and from GOES (Origin and age of the cold pool using the history of the cloud orga at the high temporal frequency)



Points clés

- Analyse basée sur l'utilisation de jeux de données habituellement peu croisées combinant la donnée satellite et la mesure in situ.
- Approche transdisciplinaire avec une méthode de caractérisation des structures de CLAM à partir des images SAR.
- Organisation en rouleaux observée sur la rugosité de surface de la mer avec des caractéristiques similaires aux données in situ de turbulence de CLAM.
- Signatures des cold pools sur la rugosité de surface, très bien colocalisées avec les structures nuageuses.

Perspectives

- Généralisation des processus observés à l'ensemble de la campagne EUREC4A puis approche statistique (Images GOES dispo sur les périodes hivernales de 2018 à 2020).
- Point fort de l'observation spatiale : transposition des résultats obtenus localement à d'autres régions, sur d'autres périodes et à d'autres conditions.
- Lien possible avec la modélisation et la mise au point d'une LES couplée océan-atmosphère.

Compléments – caractéristiques des cold pools détectées

