

Intégration et évaluation d'un modèle de couche limite atmosphérique dans CROCO

Joris Pianezze^(1,2)

F. Lemarié⁽²⁾, F. Dumas⁽³⁾, M.-N. Bouin⁽⁴⁾

(1) Laboratoire d'Aérodynamique (LAERO), Toulouse, France

(2) Laboratoire Jean Kuntzmann (LJK), Grenoble, France

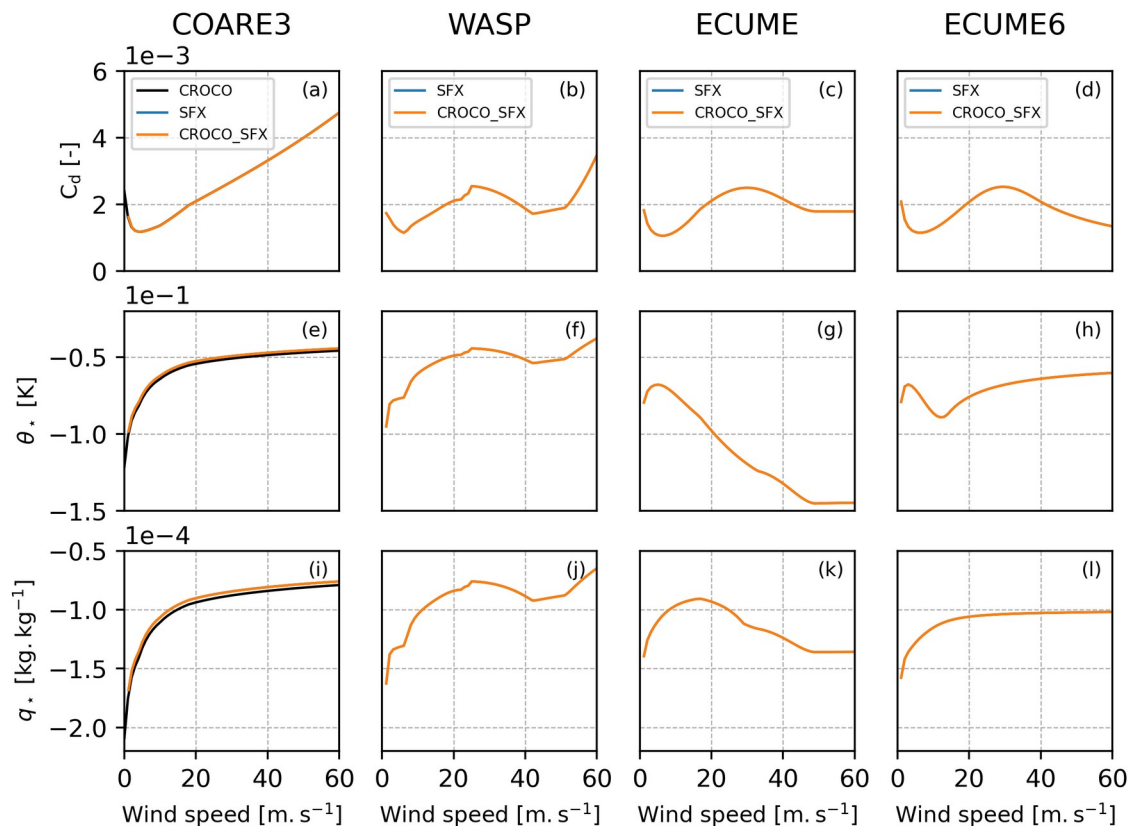
(3) Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), Brest, France

(4) Laboratoire d'Océanographie Physique et Spatiale (LOPS), Plouzané, France



Revisite bulk_flux.F

Mise à jour et ajout de nouvelles paramétrisations des flux OA

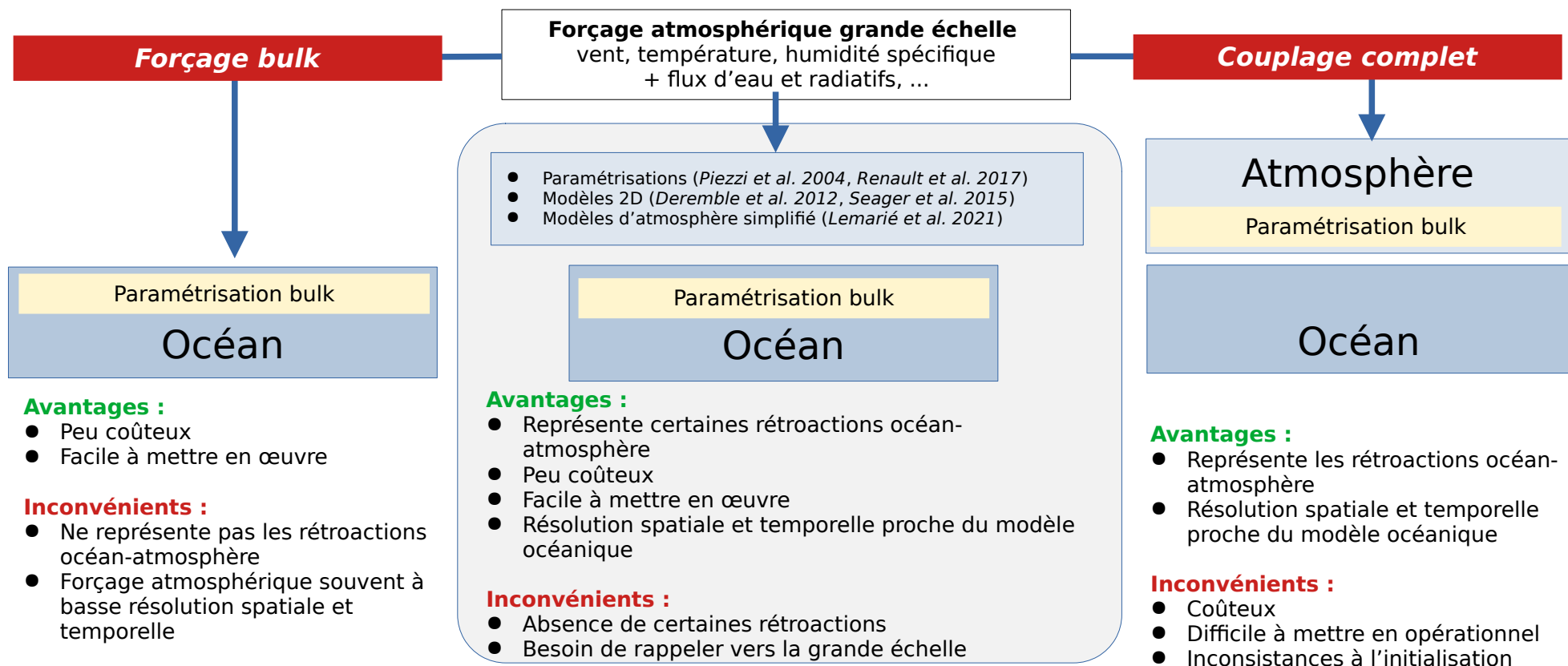


cppdefs.h

```
/* Surface Forcing */  
  
# define BULK_FLUX  
# ifdef BULK_FLUX  
#   undef ECUMEv0  
#   undef ECUMEv6  
#   undef WASP  
#   define GUSTINESS
```

Contexte

A la recherche d'une complexité intermédiaire entre un forçage bulk et un couplage complet



→ Choix du **modèle simplifié de couche limite atmosphérique** guidé par des réanalyses ou des prévisions opérationnelles atmosphériques (e.g. ERA5, IFS opérationnel, ...)

Présentation du modèle ABL1d

Hypothèse : processus dominant des rétroactions océan-atmosphère → mélange vertical turbulent (gradient de pression horizontal négligé)

Simplifications :

- Homogénéité horizontale ($\partial_x = \partial_y = 0$)
- Advection verticale négligée
- Atmosphère transparente : flux radiatifs et de précipitations imposés par un modèle grande échelle, microphysique ignorée

Système d'équation résolu par le modèle ABL1d :

$$\begin{cases} \partial_t u = +fv + \partial_z(K_m \partial_z u) + \lambda_m(u_{LS} - u) \\ \partial_t v = -fu + \partial_z(K_m \partial_z v) + \lambda_m(v_{LS} - v) \\ \partial_t \theta = \partial_z(K_s \partial_z \theta) + \lambda_s(\theta_{LS} - \theta) \\ \partial_t q = \partial_z(K_s \partial_z q) + \lambda_s(q_{LS} - q) \end{cases}$$

Avec :

- u, v, θ et q : variables prognostiques, f : paramètre de Coriolis
- K_s, K_m : diffusivités turbulentes (schéma turbulent d'ordre 1.5 basé sur Cuxart et al. 2000)
- $u_{LS}, v_{LS}, \theta_{LS}$ et q_{LS} : variables grandes échelles (condition initiale et rappel (relaxation newtonienne))
- λ_s et λ_m l'inverse des temps de rappel, fonction de H_{pbl}

Plus de détail dans Lemarié et al. 2021

- Est à la même résolution horizontale et temporelle (pas de temps barocline) que le modèle océanique
- Possède sa propre grille verticale

Intégration de l'ABL1d dans CROCO

Un peu de code ...

Forçage bulk

Algorithme :

- Mise à jour des forçages atmosphériques 2d (*get_bulk.F*)
- Calcul des coefficients d'échanges (*bulk_flux.F*)
- Calcul des flux (*bulk_flux.F*)

Couplage ABL1d / CROCO

Algorithme :

- Mise à jour des forçages atmosphériques 3d (*get_bulk.F*)
- Calcul des coefficients d'échanges (*bulk_flux.F*)
- Calcul des diffusivités et viscosité turbulentes (*abl_tke.F*)
- Itération temporelle du modèle ABL1d + calcul des flux (*abl_step.F*)

step.F

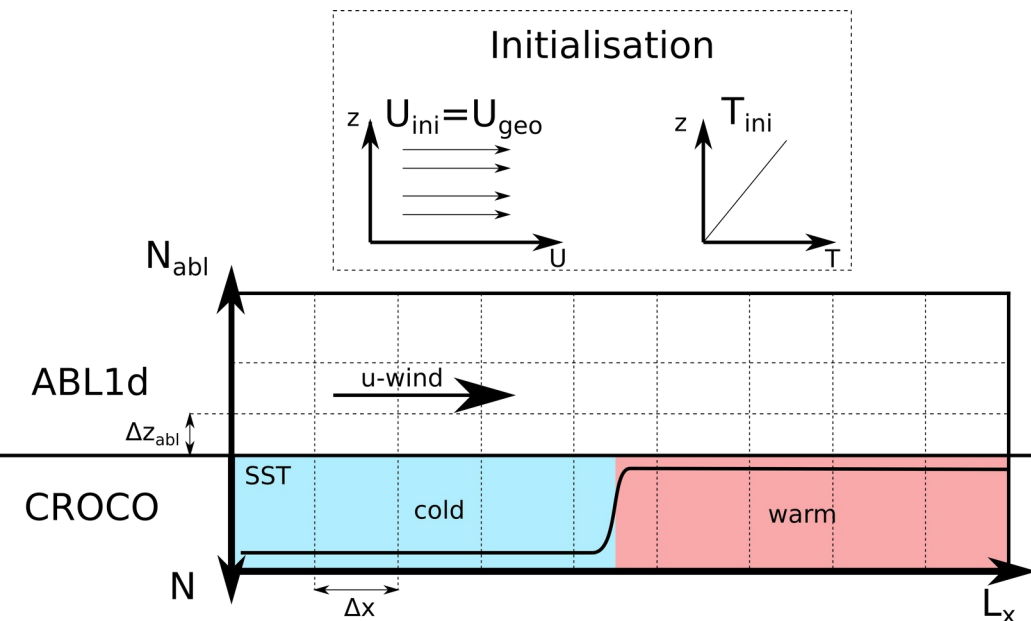
```
#ifdef BULK_FLUX
do tile=my_first,my_last
  call bulk_flux(tile)
# ifdef ABL1D
  call abl_tke (tile)
  call abl_step (tile)
# endif
enddo
#endif
```

Développements :

- Ajout de la lecture des champs atmosphériques 3d dans l'interface de lecture (*nf_fread.F*)
- Ajout de l'écriture de deux fichiers output pour l'ABL1d (*croco_abl_his.nc* et *croco_abl_avg.nc*)
- Ajout des sorties de l'ABL1d dans les fichiers XIOS
- Ajout de différentes namelists : fichier input pour l'ABL1d, choix des variables en sortie pour l'ABL1d et paramètres du nudging
- Ajout de l'ABL1d
- Création de quelques cas tests

Évaluation de l'ABL1d dans CROCO – cas idéalisé

Écoulement atmosphérique au dessus d'un front persistant de TSM



- État de quasi-équilibre atmosphérique
- Cas 2D, atmosphère sèche, flux radiatifs nuls
- Ajustement de la couche limite atmosphérique par le mélange vertical turbulent et par le gradient de pression

Grille : $\Delta x = 6 \text{ km}$, $L_x = 3400 \text{ km}$

Temps de simulation : 24 h

Conditions initiales :

- $U_{geo} = 15 \text{ m.s}^{-1}$
- T_{ini} est fonction de z
- $q = 0 \text{ g.kg}^{-1}$
- SST est fonction de x

Spall 2007, Kilpatrick et al. 2014, Ayet et al. 2021, Lemarié et al. 2021

Référence N°1 : simulation ABL1d - NEMO

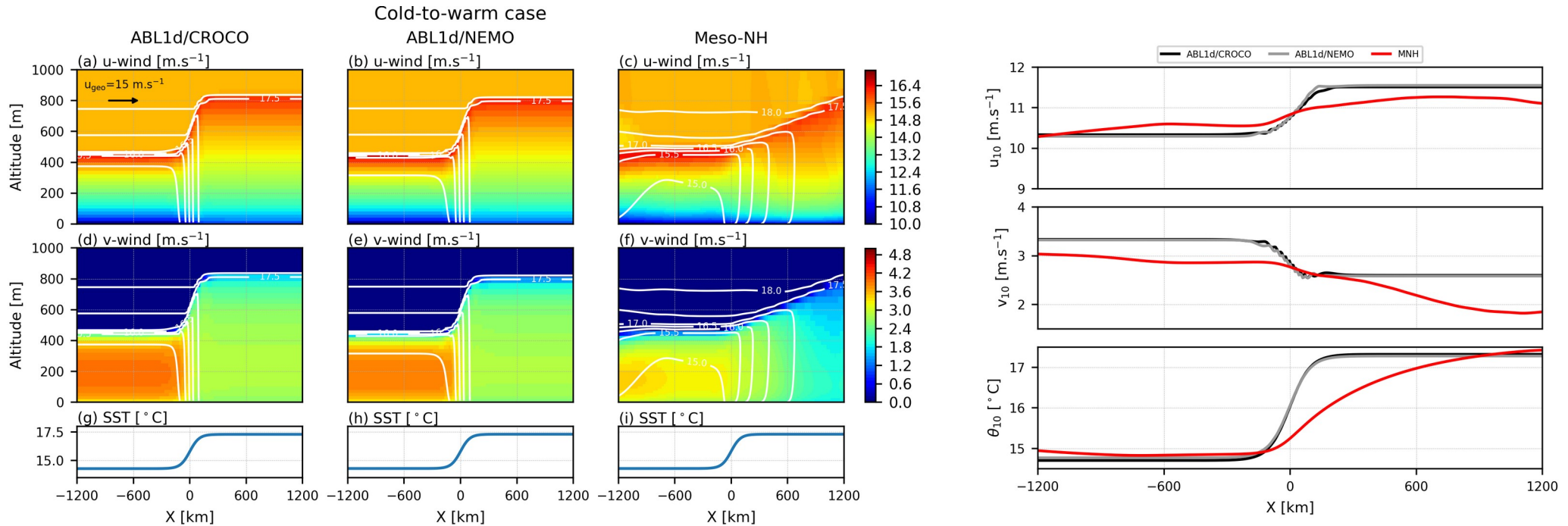
- Reproduction de la simulation de Lemarié et al. 2021 (NEMO4) à partir du dépôt zenodo : <https://doi.org/10.5281/zenodo.3904518>
- Utilisation de COARE3.0

Référence N°2 : simulation Meso-NH

- Portage de la config de Meso-NH utilisée dans Lemarié et al. 2021 (MNH514) à la version 550 avec l'aide de Jean-Luc Redelsperger
- Utilisation de COARE3.0

Évaluation de l'ABL1d dans CROCO – cas idéalisé

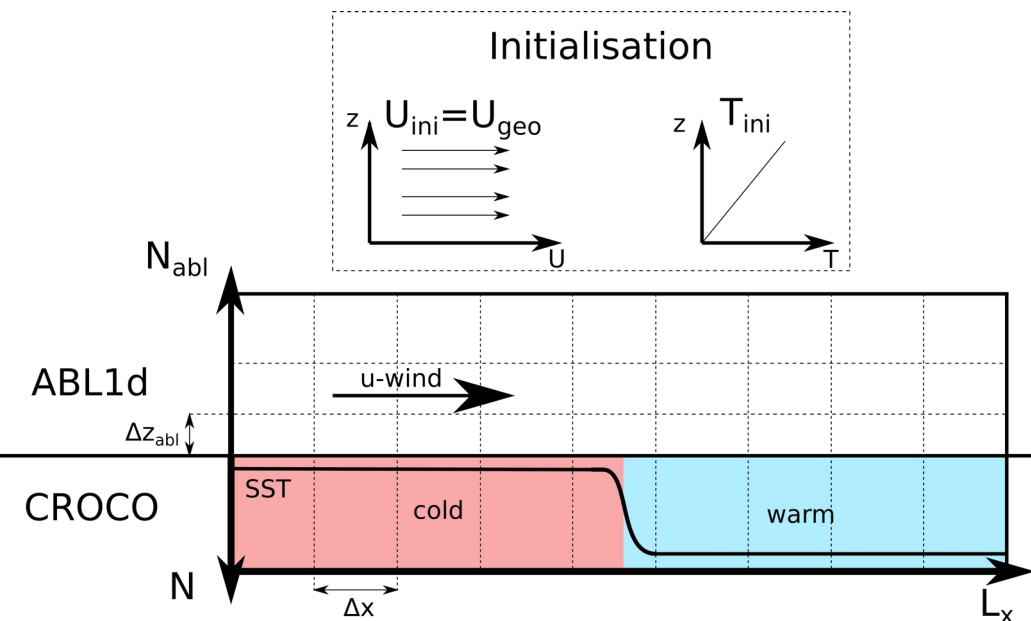
Écoulement atmosphérique au dessus d'un front persistant de TSM



- Réponse de la CLAM dans CROCO très proche de celle de NEMO (différences liées aux paramétrisations bulks)
- Différences avec la simulation Meso-NH principalement dues à l'absence d'advection horizontale dans l'ABL1d

Évaluation de l'ABL1d dans CROCO – cas idéalisé

Mise en défaut du modèle ABL1d – cas « warm-to-cold »



- État de quasi-équilibre atmosphérique
- Cas 2D, atmosphère sèche, flux radiatifs nuls
- Ajustement de la couche limite atmosphérique par le mélange vertical turbulent et par le gradient de pression

Grille : $\Delta x = 6 \text{ km}$, $L_x = 3400 \text{ km}$

Temps de simulation : 24 h

Conditions initiales :

- $U_{geo} = 15 \text{ m.s}^{-1}$
- T_{ini} est fonction de z
- $q = 0 \text{ g.kg}^{-1}$
- SST est fonction de x

Spall 2007, Kilpatrick et al. 2014, Ayet et al. 2021, Lemarié et al. 2021

Référence N°1 : simulation ABL1d - NEMO

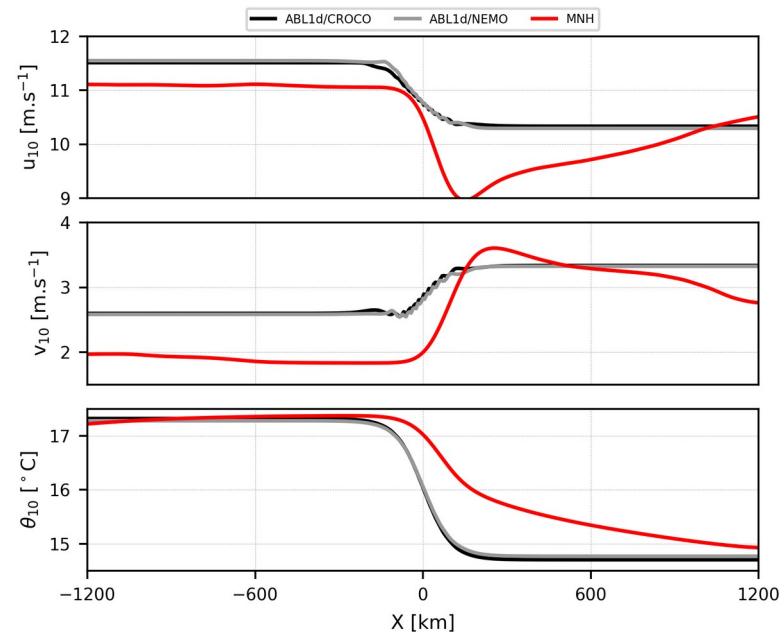
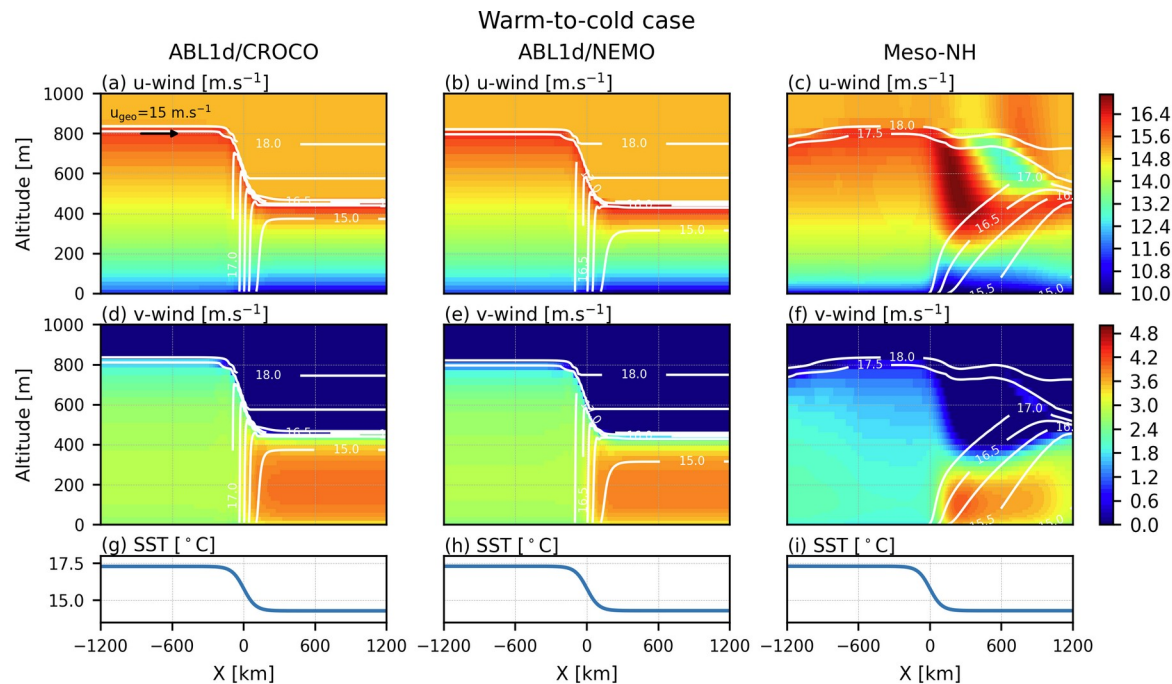
- Reproduction de la simulation de Lemarié et al. 2021 (NEMO4) à partir du dépôt zenodo : <https://doi.org/10.5281/zenodo.3904518>
- Utilisation de COARE3.0

Référence N°2 : simulation Meso-NH

- Portage de la config de Meso-NH utilisée dans Lemarié et al. 2021 (MNH514) à la version 550 avec l'aide de Jean-Luc Redelsperger
- Utilisation de COARE3.0

Évaluation de l'ABL1d dans CROCO – cas idéalisé

Mise en défaut du modèle ABL1d – cas « warm-to-cold »

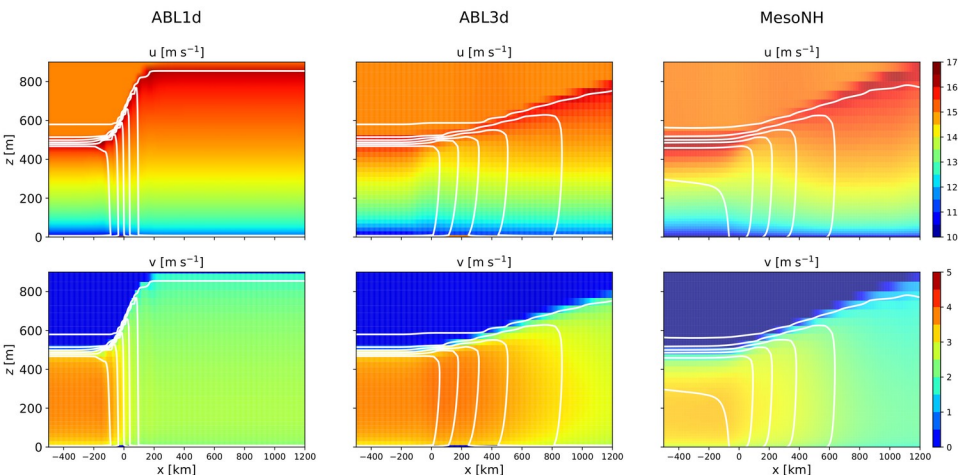


- Réponse de la CLAM dans CROCO très proche de celle de NEMO mais très loin de celle de Meso-NH !
- Différences avec la simulation Meso-NH principalement dues à l'absence d'advection horizontale dans l'ABL1d.
- Kilpatrick et al. 2014 : « Pour un vent de 15 m.s^{-1} , l'onde de gravité forcée par une augmentation de la TSM de 3°C sur 200 km est comparable à celle forcée par un changement de 80 m de la topographie. »

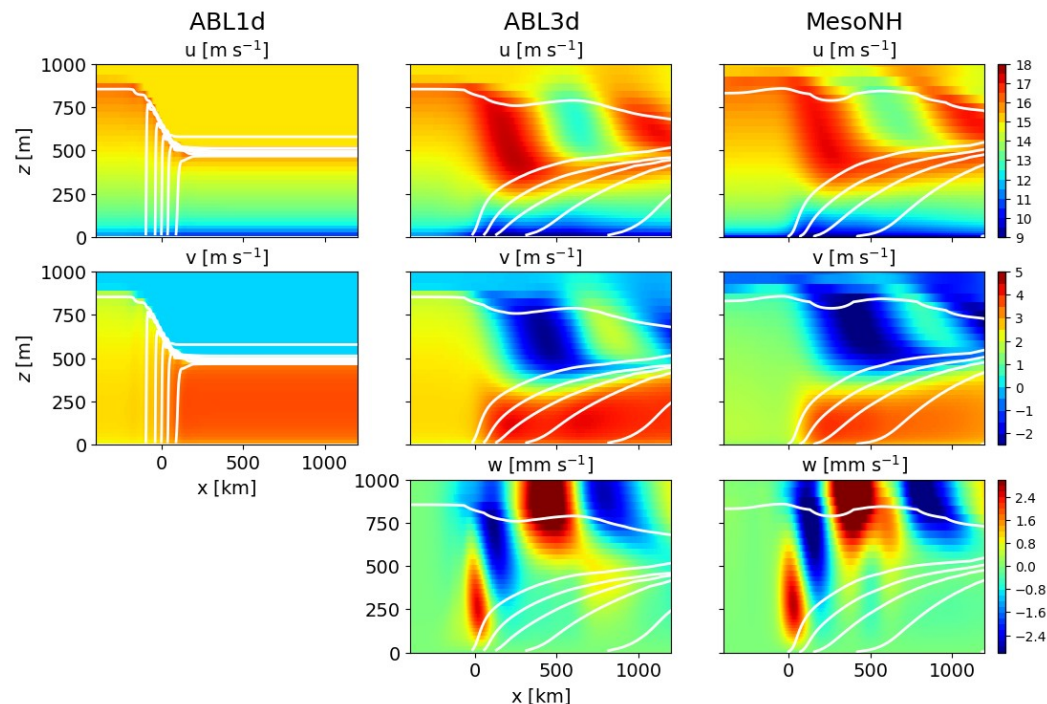
Évaluation de l'ABL1d dans CROCO – cas idéalisé

Perspectives → ABL3d

« Cold-to-warm case »



« Warm-to-cold case »



Figures de Florian Lemarié ; 12 mai 2022

- La version 3d de l'ABL permet de reproduire les ajustements de couche limite dans les deux configurations
 - **Prise en compte de l'ajustement via le gradient de pression** en plus du mélange vertical turbulent
- Différences entre ABL3d et Meso-NH dues à des différences dans les schémas d'advection, dans l'équation de la pression, ...

Conclusions et perspectives

➤ **Développements effectués :**

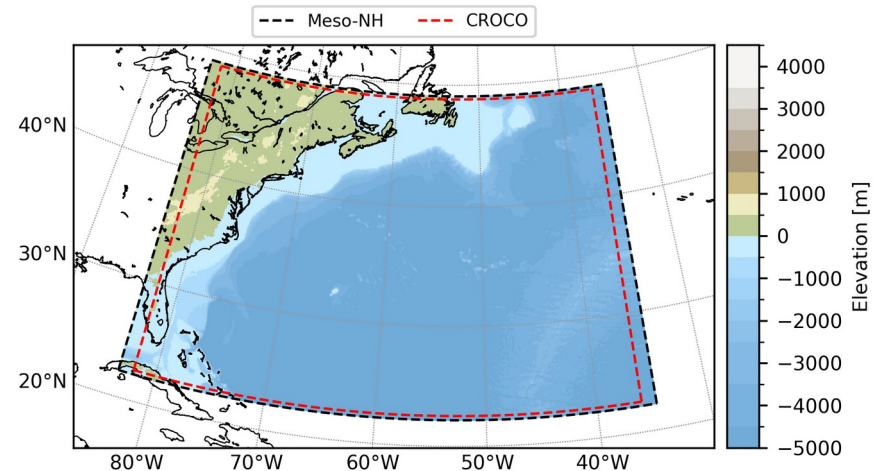
- Mise à jour des paramétrisations bulks dans CROCO + intégration de celle de SurfEx (ECUME, ECUME6) + de WASP
- Intégration de l'ABL1d dans CROCO + modifications de l'interface de lecture des forçages atmosphériques, ...
- Portage du système ABL1d-CROCO sur ubuntu 20.04, nuwa et belenos

➤ **Résultats principaux :**

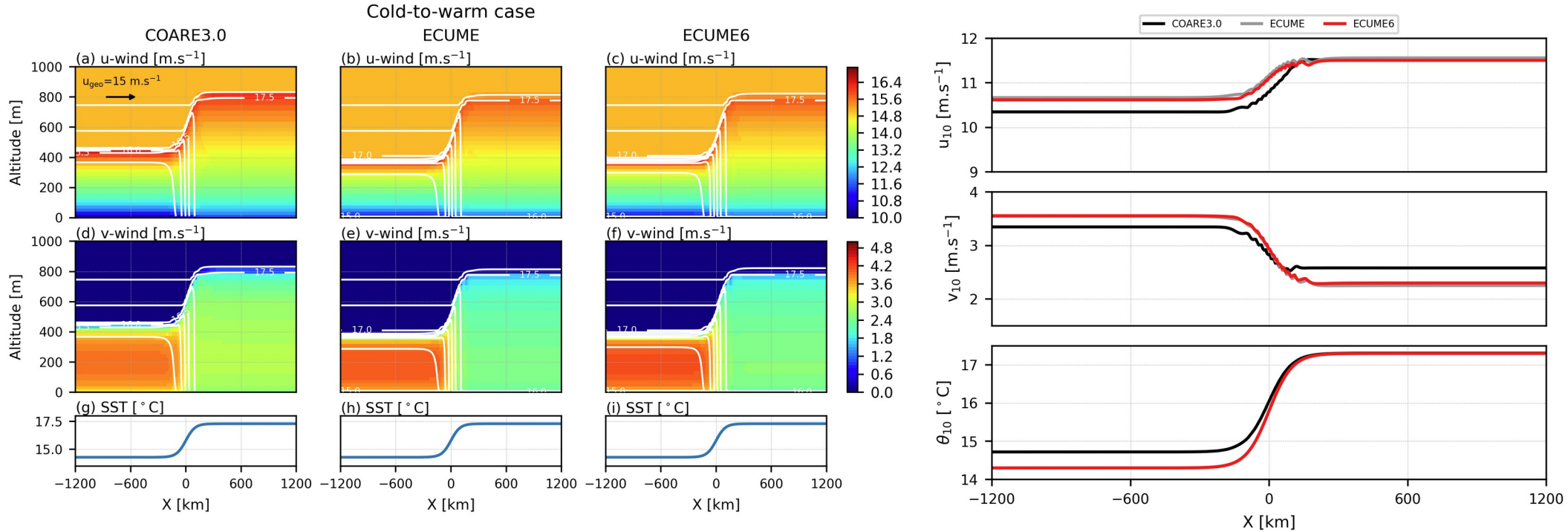
- Évaluation sur cas idéalisé : reproduction des résultats ABL1d-NEMO et Meso-NH
- Évaluation sur cas réel : réponse océanique de l'ABL1d-CROCO proche de la simulation CROCO forcé
- Coût CPU de l'ABL1d ~ 10 % coût de CROCO (dépend surtout de la fréquence de forçage des champs atmosphérique)

➤ **Perspectives :**

- Évaluation de l'apport de l'ABL1d sur un cas « Gulf Stream » (config CROCO de Lionel) + ANR MOTIONS (Francis, Florian)
- Création d'un `make_frc` / `make_abl` dans `pyCROCO` !
- Passage à la version 3d

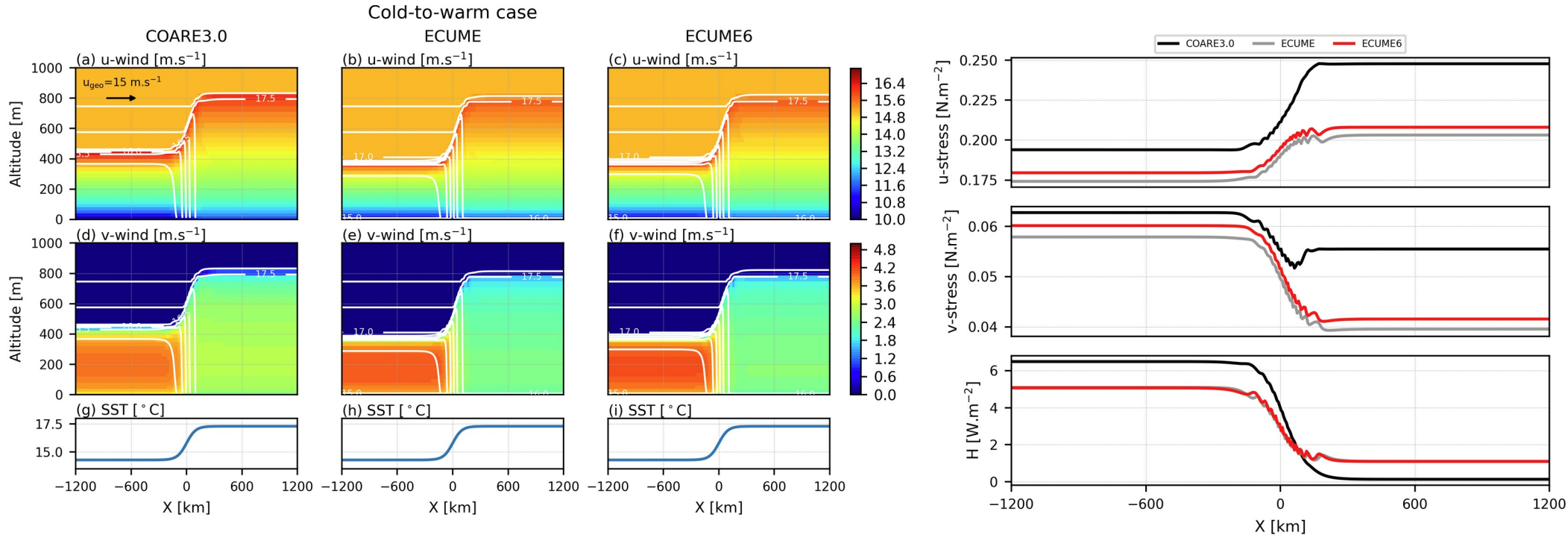


Sensibilité à la paramétrisation des flux océan-atmosphère



- Hauteur de la couche limite plus basse du côté froid dans les simulations avec ECUME et ECUME6
- Même hauteur de couche limite du côté chaud du front entre les différentes paramétrisations
- Différences entre les paramétrisations autour d'environ 2 % sur le vent et la température à 10 m

Sensibilité à la paramétrisation des flux océan-atmosphère



- Hauteur de la couche limite plus basse du côté froid dans les simulations avec ECUME et ECUME6
- Même hauteur de couche limite du côté chaud du front entre les différentes paramétrisations
- Différences entre les paramétrisations autour d'environ 2 % sur le vent et la température à 10 m

Pré-traitement des champs atmosphérique pour l'ABL1d

Outil de preprocessing (Lemarié et al. 2021)

outil fortran avec makefile + namelist
nécessite une librairie netcdf fortran

Fonctions de l'outil

- Lecture des champs u , v , T , q , ϕ_s et $\ln(p_s)$ du CEPMMT obtenus à partir des fichiers grib (IFS oper analyses ou prévisions ou les réanalyses ERAi ou ERA5).
- Calcul de l'altitude des niveaux verticaux des champs CEPMMT.
- Conversion de la température absolue T en température potentielle θ .
- Construction de la grille verticale pour l'ABL1d pour des paramètres θ_s , h_c , h_{\max} et N_{ABL} donnés.
- Interpolation des champs θ , q , u et v sur la grille vertical de L'ABL1d
- Calcul du gradient de pression géostrophique
- Ecriture des champs interpolés dans un nouveau fichier netcdf

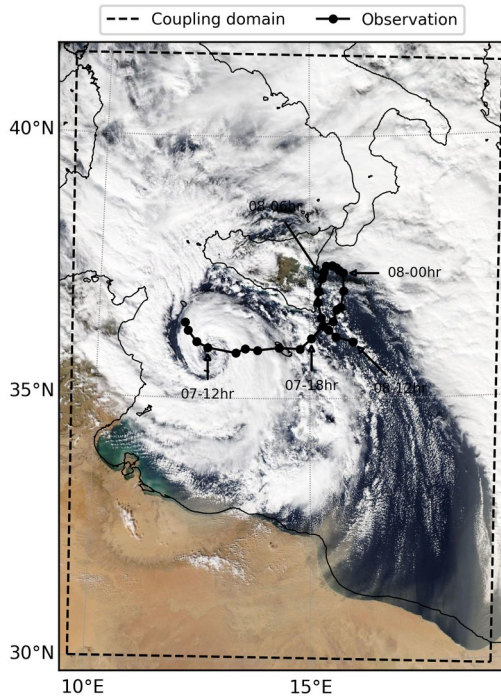
⇒ Conversion du fichier netcdf en un format lisible par CROCO (croco_abl.nc → équivalent du croco_blk.nc)
⇒ mix entre analyse (u , v , T , q) et forecast (flux d'eau douce et radiatifs)

Utilisation du même outil pour ABL1d - NEMO et ABL1d - CROCO

https://github.com/JorisPianezze/preprocessing_for_abl1d

Évaluation de l'ABL1d dans CROCO – cas réel - Qendresa

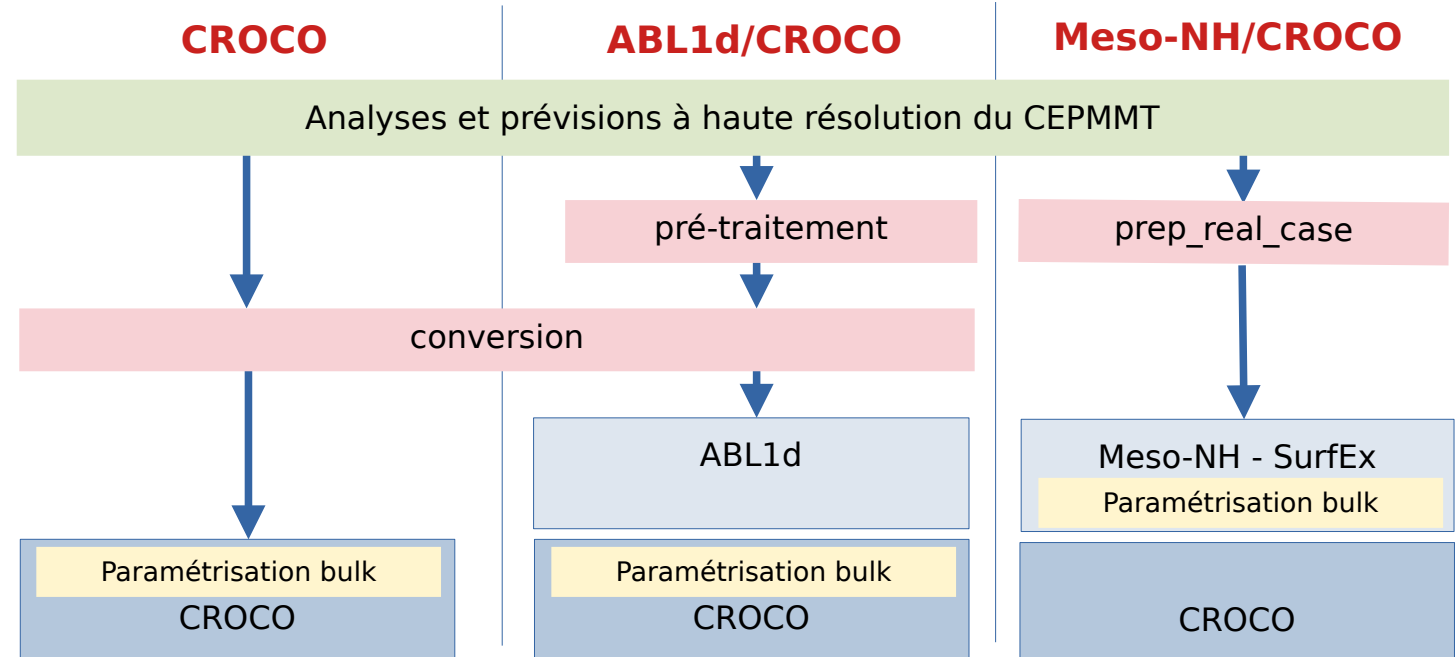
Étude de faisabilité - Medicane Qendresa 2014 (Bouin and Lebeaupin 2020)



Trajectoire extraite de Cioni et al. 2018

Originalités de ce Medicane :

- Trajectoire atypique
- Intensité : + de 35 m.s⁻¹ mesuré
- Intensification rapide



Résolutions spatiales et temporelles :

Meso-NH (550)

$\Delta x = \Delta y = 1.3$ km
 $n_x = 675$, $n_y = 960$
 $n_z = 55$, de 10 m à 20 km
 $\Delta t = 10$ s (RK53, WENO5)

CROCO (1.1 → 1.2.1)

Même emprise, même résolution que Meso-NH
 $\Delta t = 100$ s (barocline)
ABL1d
 $n_z = 50$

Pré-traitement des champs atmosphérique pour l'ABL1d

Extraction des forçages atmosphériques

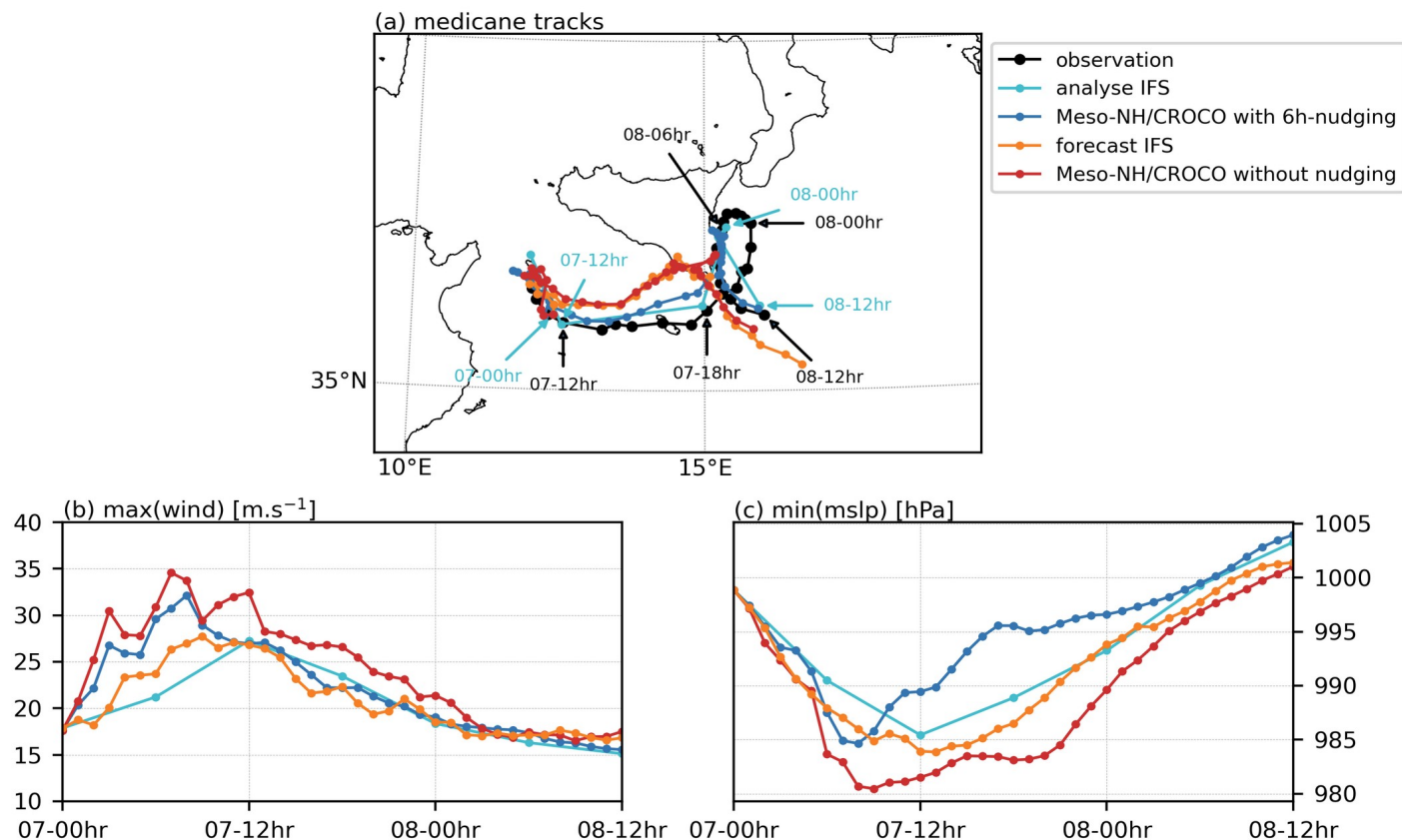
- ERA5 : cdsapi (<https://cds.climate.copernicus.eu/api-how-to>)

```
# ~~~~~  
# Extract Model Level fields : u, v, t et q  
# ~~~~~  
c.retrieve('reanalysis-era5-complete', {  
    'date'      : date_an,  
    'levelist'  : '98/to/137',  
    'levtype'   : 'ml',  
    'param'     : 'u/v/t/q',  
    'stream'    : 'oper',  
    'time'      : time_an,  
    'type'      : 'an',  
    'area'      : area_to_extract,  
    'grid'      : '0.28125/0.28125',  
}, 'model_levels_uvtq_'+file_an+'.grib')
```

- IFS oper analyses ou forecasts : ecmwfapi (<https://www.ecmwf.int/en/computing/software/ecmwf-web-api>)

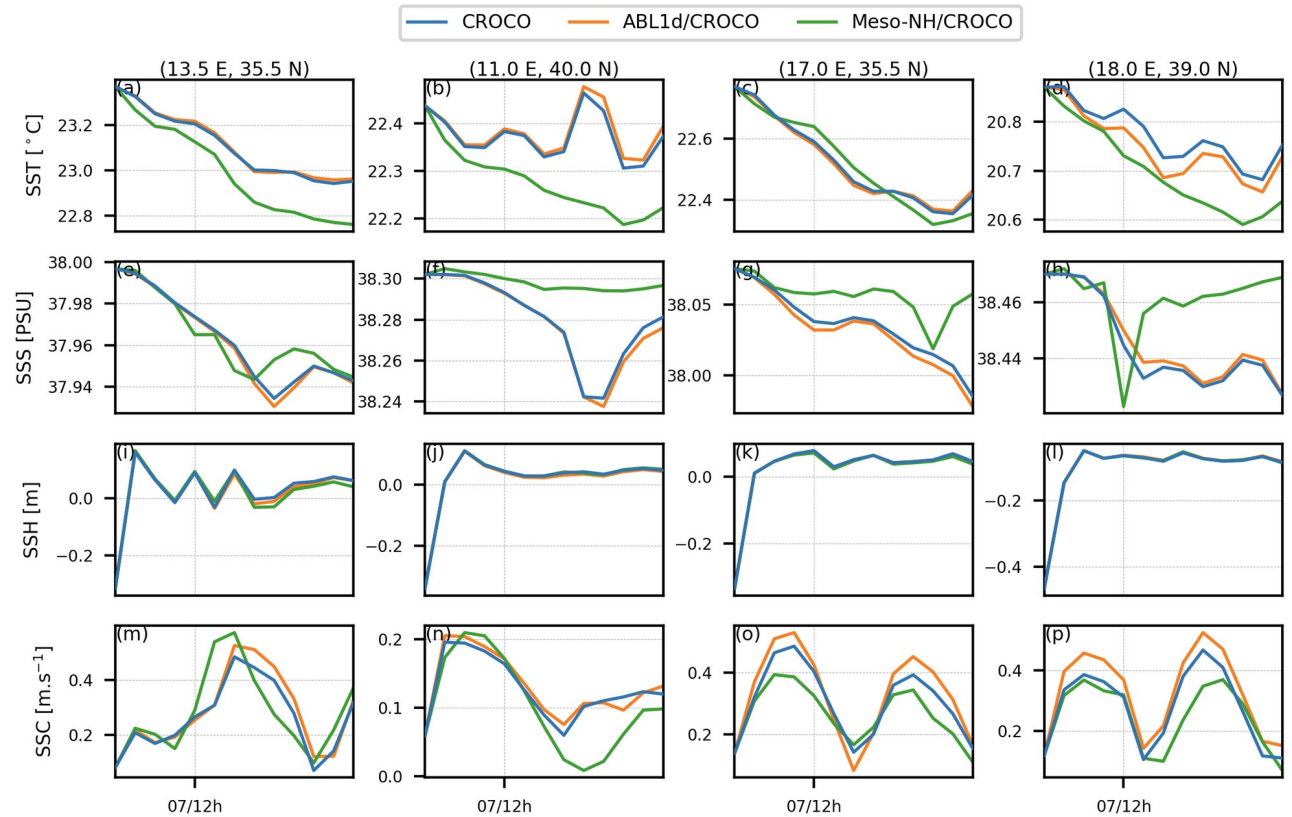
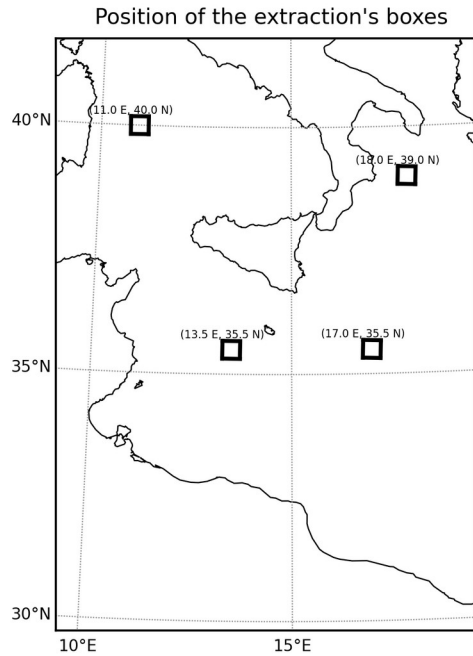
```
# ~~~~~  
# Model Level fields: lnsdp, u, v, t et q  
#   'param'      : 'lnsdp/u/v/t/q',  
# ~~~~~  
server.execute({"stream"   : "oper",  
               "class"    : "od",  
               "type"     : "an",  
               "expver"   : "1",  
               "date"     : "20210915",  
               "time"     : "00",  
               "levtype"  : "ml",  
               "levelist" : "1/to/137",  
               "param"    : "lnsdp/u/v/t/q",  
               "area"     : '55.0/-10.0/40.0/5.0',  
               "grid"     : '0.1/0.1',},  
               'model.grib')
```

À la recherche de la simulation de référence pour Meso-NH / CROCO ...



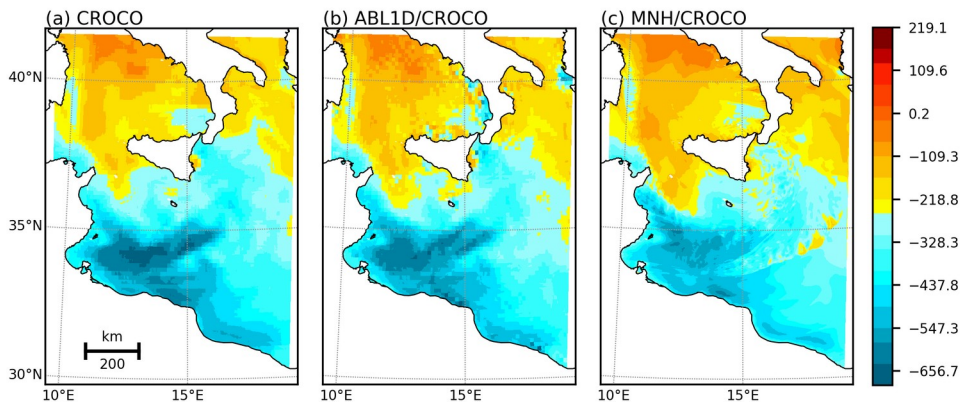
⇒ **Choix de la simulation Meso-NH / CROCO avec nudging toutes les 6 h**

Réponse océanique au passage du Medicane : en surface

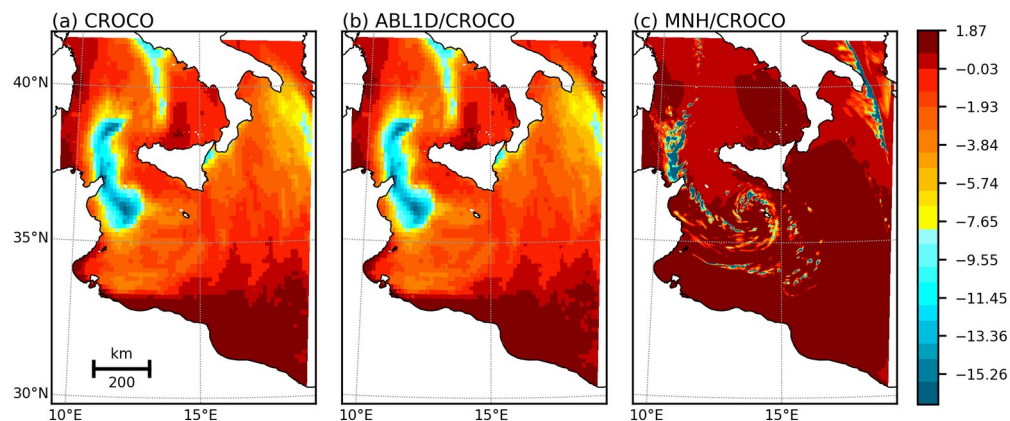


Différences de flux turbulents et non-turbulents

shflx_lat at 20141108 0000



swflux at 20141107 1500



Limitations pour l'ABL1d :

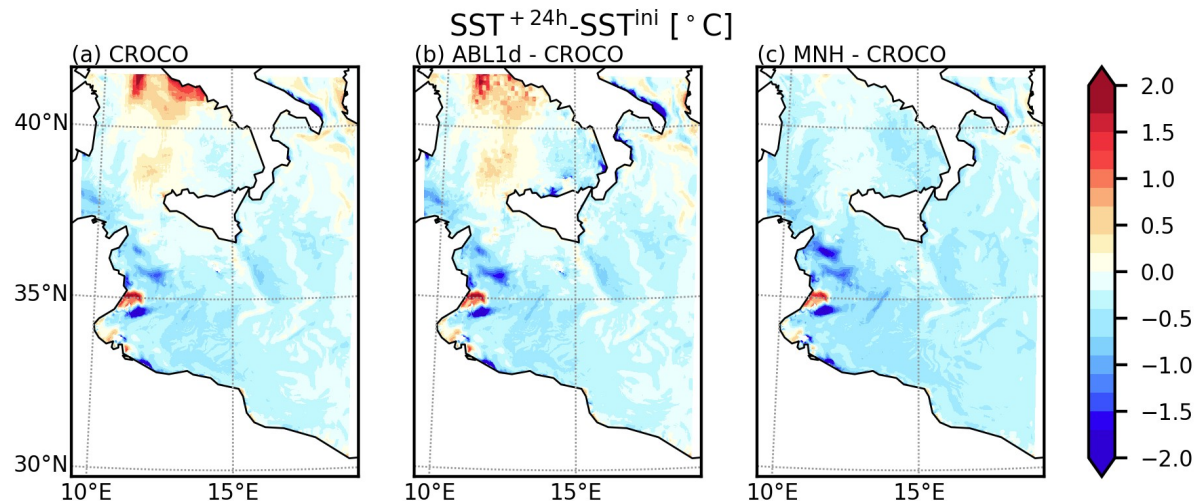
- Flux radiatifs et de précipitation donné par les champs grandes échelles
- Moyennés sur 6 h dans le cas d'un forçage par ERA5 - OD IFS ?
- Flux radiatifs et d'eau douce pas disponible dans les analyses oper IFS mais dans le forecast seulement
- Incohérence avec l'évolution de l'océan

⇒ **besoin d'évaluer l'effet de la simplification « atmosphère transparente » sur la prévision océanique**

⇒ **tester la version 3d du modèle ABL**

Évaluation de l'ABL1d dans CROCO – cas réel - Qendresa

Réponse océanique au passage du Medicane : température de surface de la mer

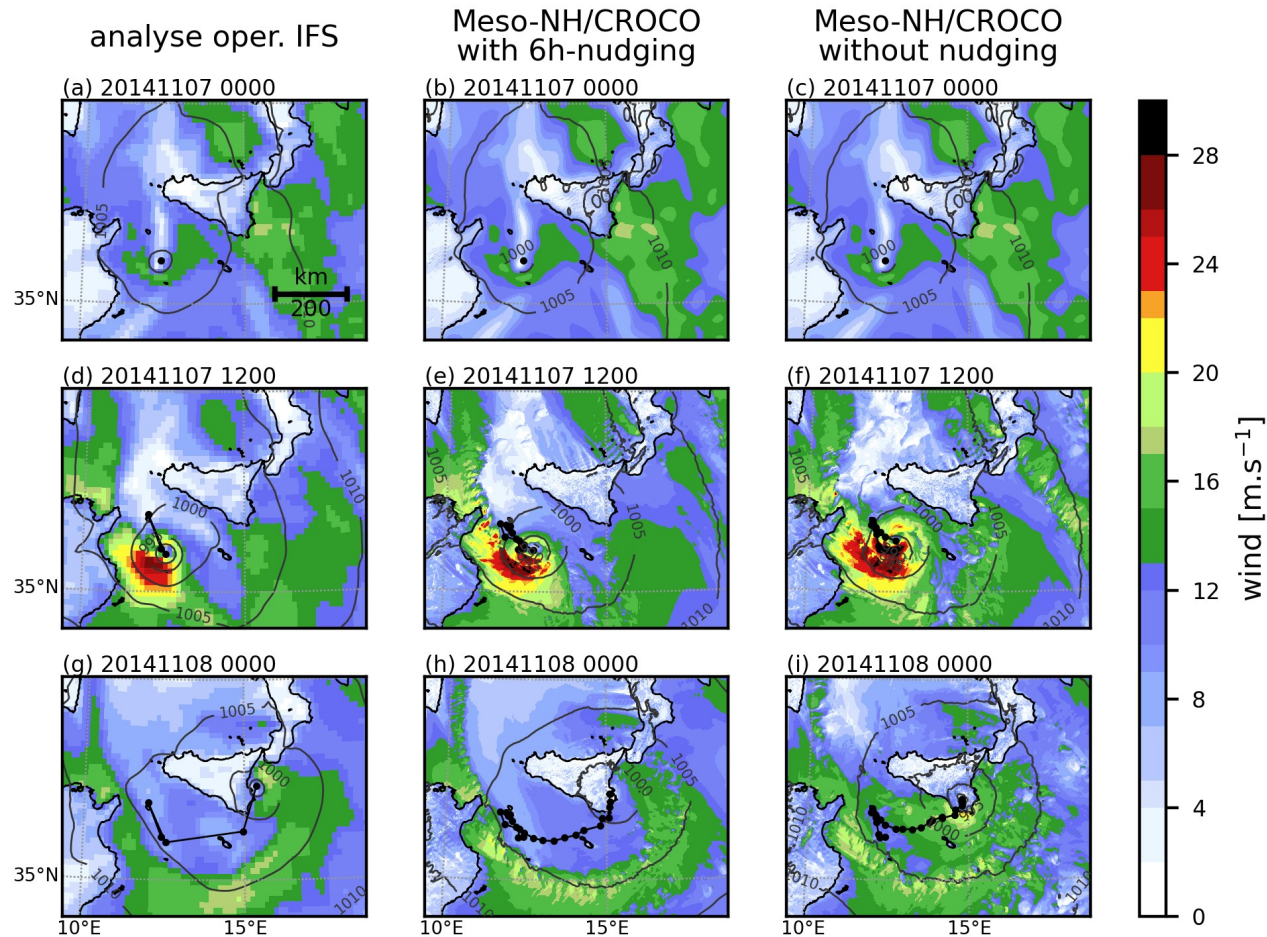


- Réponse océanique de l'ABL1d-CROCO proche de la simulation CROCO forcée
- Origines des différences avec la simulation Meso-NH-CROCO :
 - L'intensité (vent) du Medicane est plus fort dans Meso-NH que dans IFS
 - Flux radiatifs et d'eau douce très différents entre Meso-NH et IFS

Temps de simulation & CPU (belenos - Météo-France)

	Walltime	CPU time
CROCO (1 noeud)	0 h 29 min (ref)	61,9 h (ref)
CROCO-ABL1d (1 noeud)	0 h 32 min (+10%)	68,3 h (+10%)
CROCO-Meso-NH (10 noeuds)	17 h 00 min (x 34)	21 760,0 h (x 340)

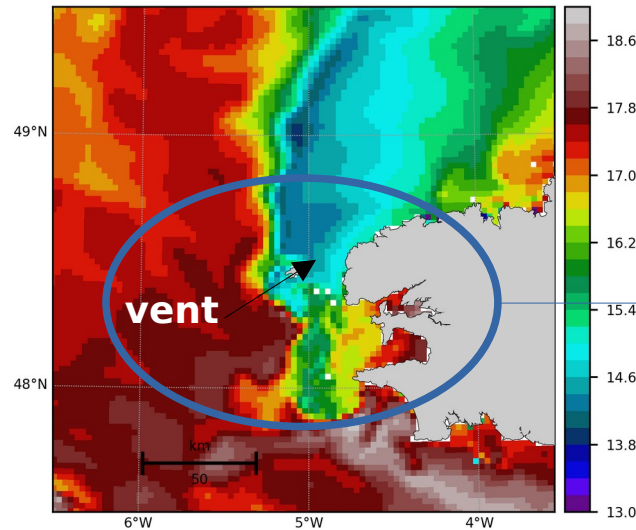
- Le système couplé ABL1d / CROCO fonctionne, est performant et peut être utilisé dans des cas idéalisés et réels
- Besoin d'évaluer l'apport de l'ABL1d sur des simulations plus longues et sur d'autres cas d'études



Évaluation de l'ABL1d dans CROCO – cas réel - Iroise

Réponse atmosphérique sur un front océanique : température de l'air

**Front de marée d'Ouessant
2 septembre 2011**



Cas réel : « warm-to-cold »
Redelsperger et al. 2019