

Réunion des Chefs de Bord

Groupe International de Croisière

Quelques éléments sur le changement climatique
et
des phénomènes météorologiques extrêmes

Samedi 23 novembre 2024

Sarah Puginier

*D'après des documents de Météo France, ECMWF, Copernicus, GIEC
Keraunos, Windy, Windfinder*

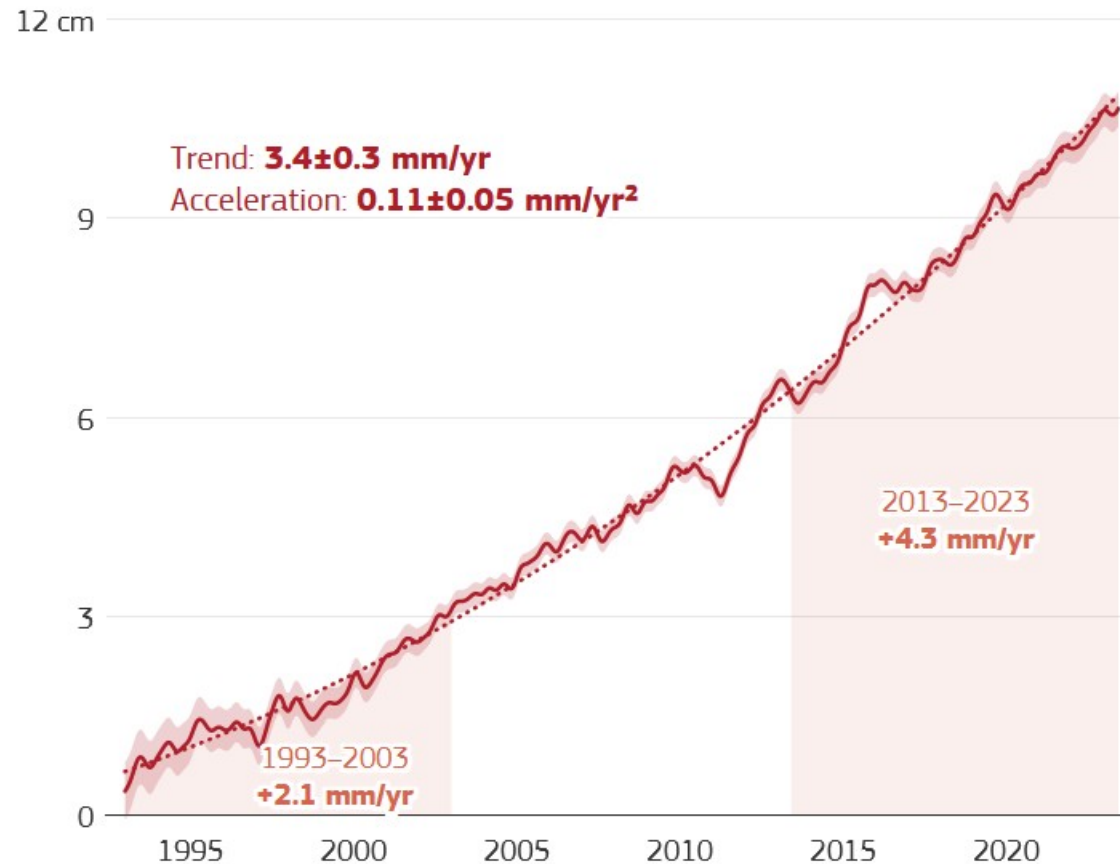
Plan

- Le changement climatique : quelques constats
- Les modèles météorologiques : des notions
- Des cas de phénomènes extrêmes des moyennes latitudes
 - La convection (de la cellule ordinaire à la supercellule)
 - Les trombes : cas de Porticello
 - les Medicanes en Méditerranée
 - les déferlements : cas du Cap Corse

Le changement climatique : quelques constats

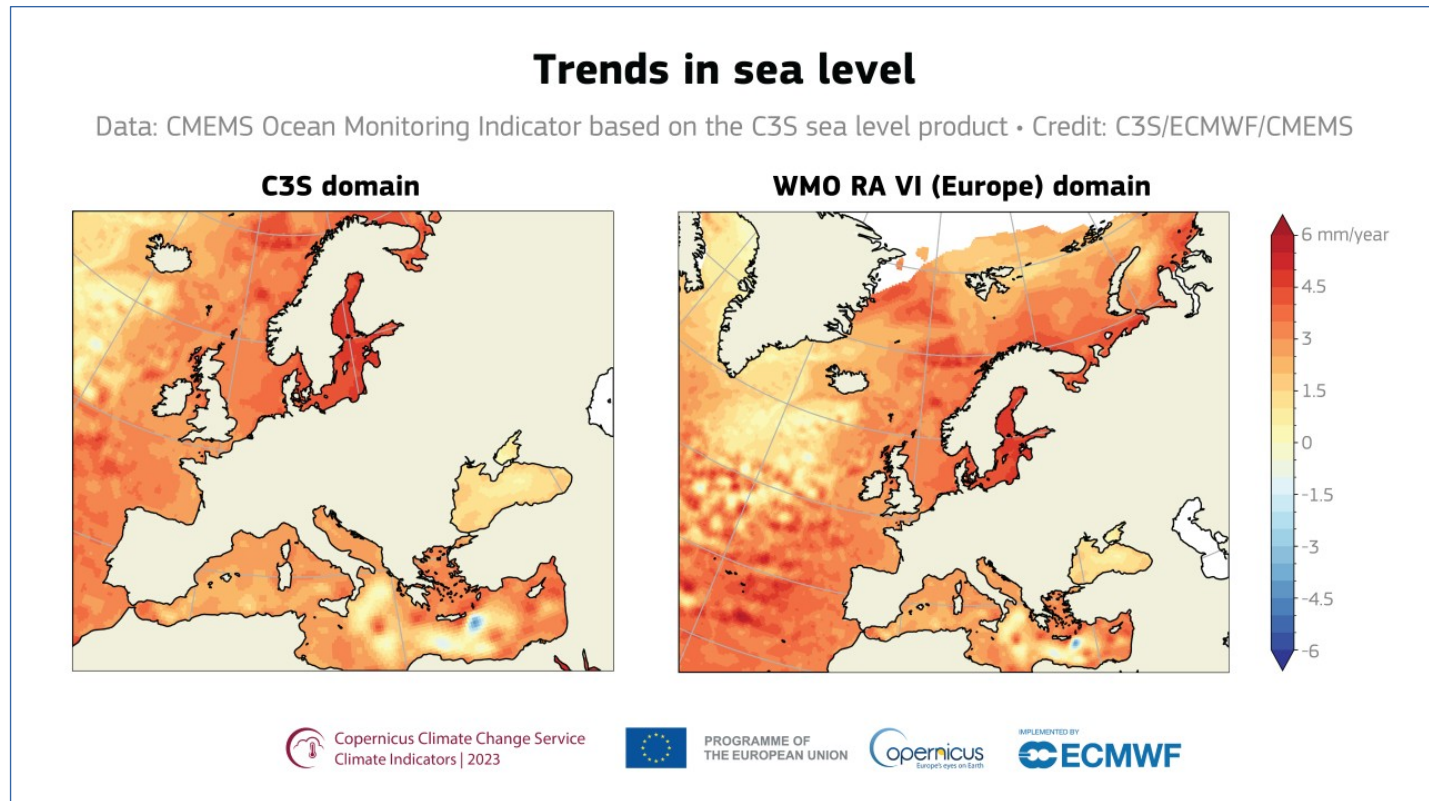
Évolution du niveau des océans du globe, mesure par altimétrie

Mean sea level globally



Évolution du niveau des océans sur l'Atlantique nord

Le niveau de la mer s'est élevé en moyenne de 2 à 4 mm/an au cours des 30 dernières années.



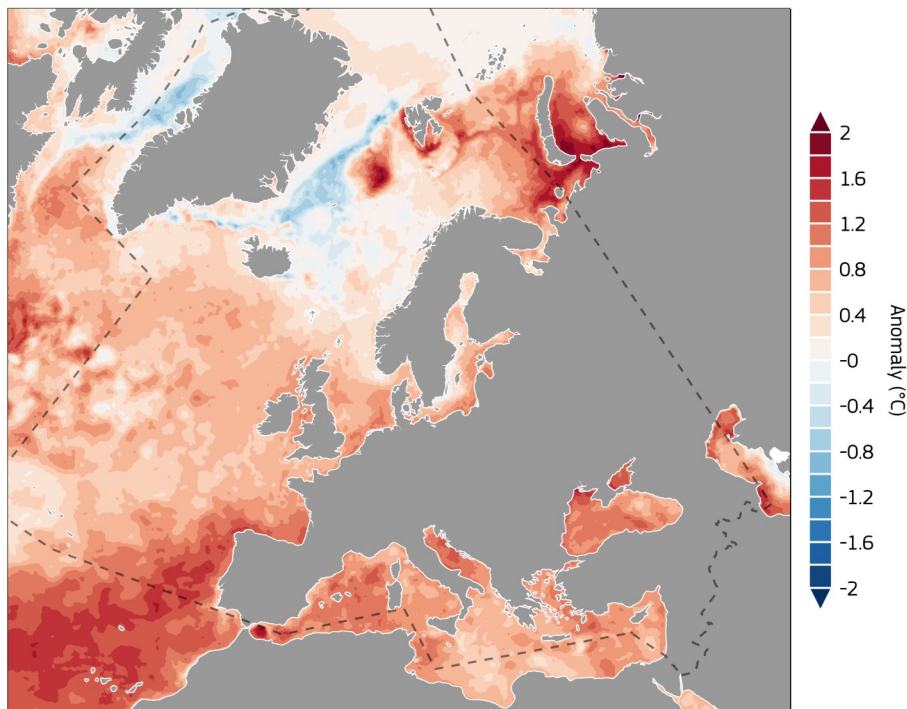
Evolution du niveau de la mer (mm/an) à partir de l'altimétrie satellitaire dans les mers européennes de janvier 1993 à juin 2023

Évolution de la température de la surface de la mer en Europe

Anomalies in sea surface temperature in 2023

Data: ESA SST CCI Analysis v3.0 • Reference period: 1991–2020

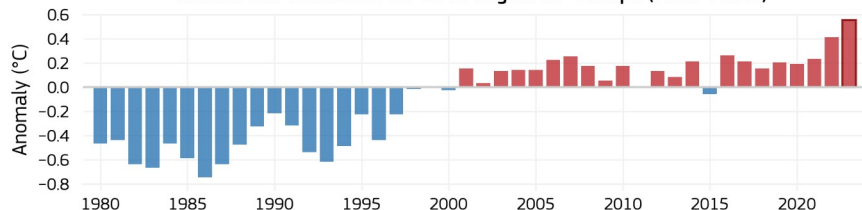
Credit: ESACCI/EOCIS/UKMCAS/C3S/ECMWF



La TSM (température de surface de la mer) annuelle dans l'ensemble de la région européenne a été en 2023 la plus chaude jamais enregistrée, avec 0,55 °C au-dessus de la moyenne.

Température moyenne annuelle de la surface de la mer (°C) pour 2023, par rapport à la moyenne de la période de référence 1991-2020.

Annual SST anomalies for WMO Region VI - Europe (1980–2023)



Anomalies de la température moyenne annuelle de la surface de la mer (°C) pour 1980 à 2023, par rapport à la moyenne de la période de référence 1991-2020.

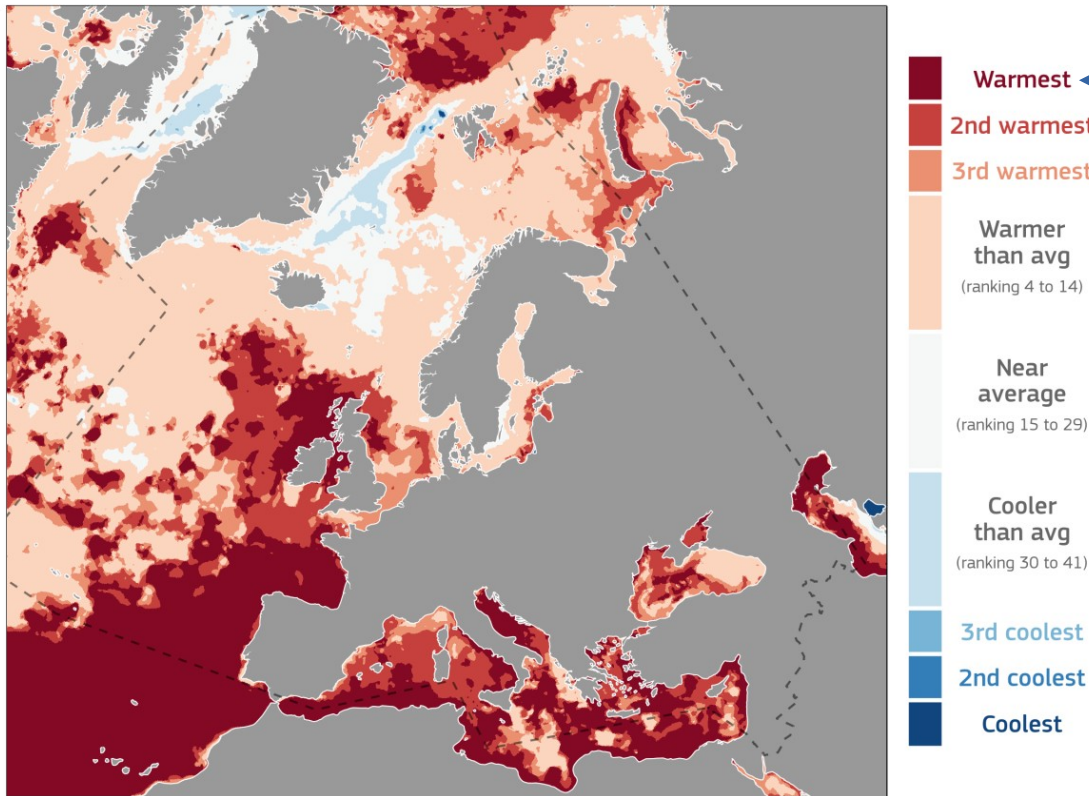
Évolution de la température de la surface de la mer en Europe, 2023

Classement des températures moyennes annuelles de la surface de la mer en 2023, par rapport à la période de 44 ans allant de 1980 à 2023.

Ranking of sea surface temperatures in 2023

Data: ESA SST CCI Analysis v3.0 • Data period: 1980–2023 (44 years)

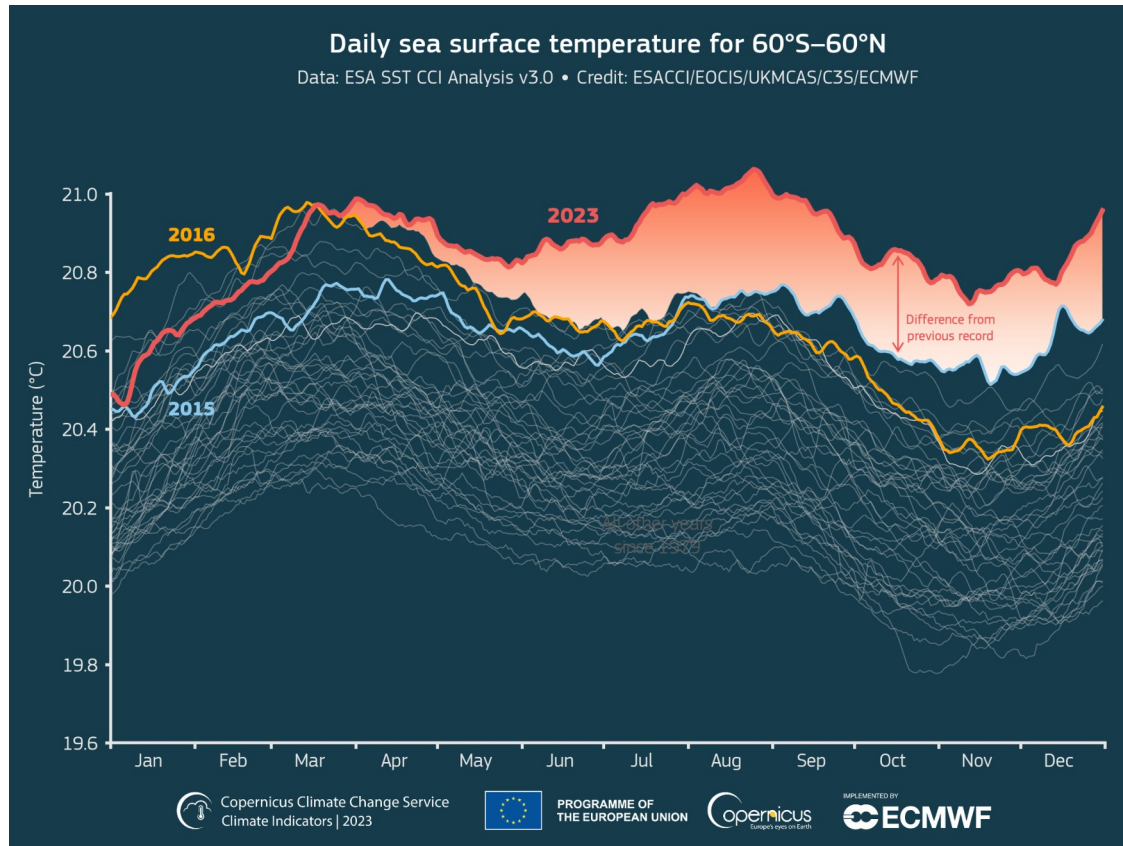
Credit: ESACCI/EOCIS/UKMCAS/C3S/ECMWF



Le rouge le plus foncé indique les zones où 2023 a été l'année la plus chaude jamais enregistrée.

De juin à août, une série de vagues de chaleur marine s'est abattue sur de vastes secteurs (impact sur les éco-systèmes)

Évolution de la température de la surface de la mer sur le globe, 2023

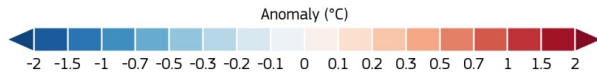
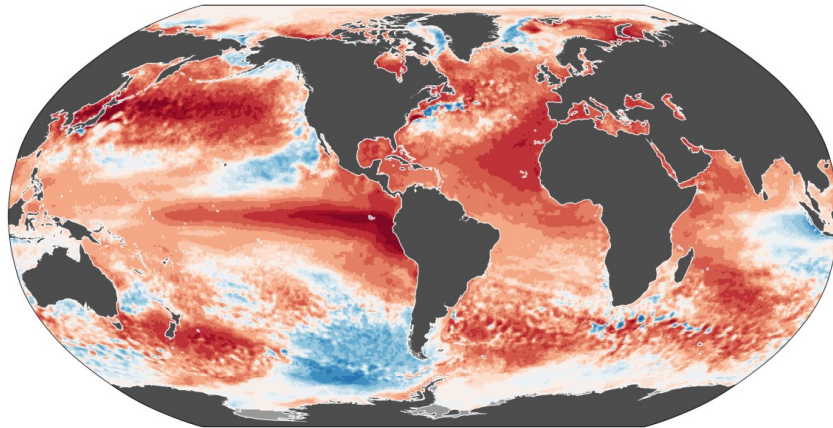


- 2023 est une année record
- 2023 est remarquable avec une valeur maximale en août et non en mars/
- Après 3 ans de la Niña, El Niño se met en place à partir juillet 2023
- En 2023, le phénomène El Niño n'est pas aussi fort que les précédents épisodes de 2015-2016 et 1997-1998

Évolution de la température de la surface de la mer sur le globe, 2023

Annual sea surface temperature anomalies in 2023

Data: ESA SST CCI Analysis v3.0 • Reference period: 1991–2020 • Credit: ESACCI/EOCIS/UKMCAS/C3S/ECMWF



Copernicus Climate Change Service
European State of the Climate | 2023



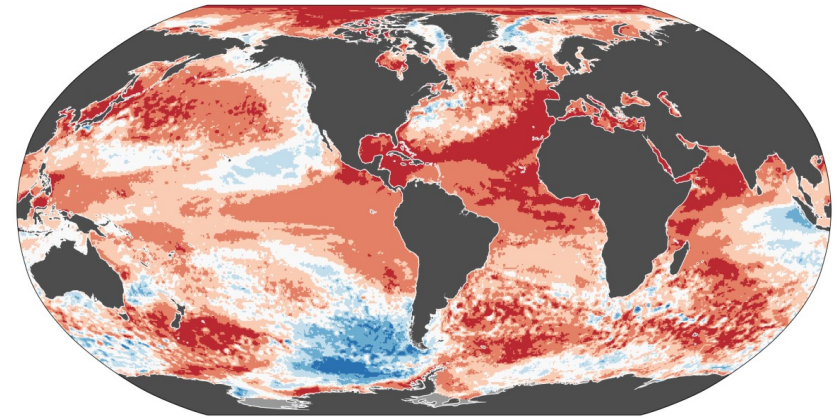
PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION

copernicus
Europe's eyes on Earth

IMPLEMENTED BY
ECMWF

Anomalies and extremes in sea surface temperature in 2023

Data: ESA CCI SST v3.0 1980–2023 • Reference period: 1991–2020 • Credit: C3S/ECMWF



Copernicus Climate Change Service
European State of the Climate | 2023



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION

copernicus
Europe's eyes on Earth

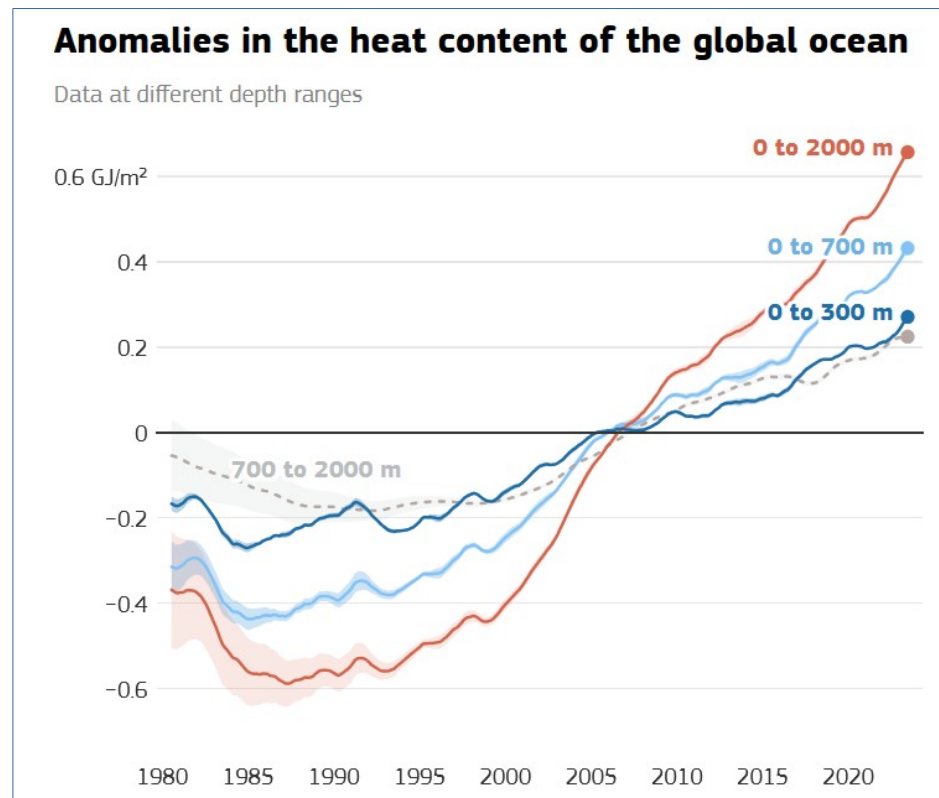
IMPLEMENTED BY
ECMWF

Anomalies de la température de surface de la mer (°C) en 2023, par rapport à la moyenne de la période de référence 1991-2020.

Les catégories « les plus chaudes » et « les plus froides » sont basées sur les classements pour la période 1980-2023.

Transfert vers la profondeur : évolution du contenu thermique

Le gain thermique se fait essentiellement dans les 700m premiers mètres depuis la surface, le transfert vers les profondeurs 700-2000m est plus lent.
En 2023, le contenu thermique de l'océan mondial a été le plus élevé jamais enregistré depuis 1993.



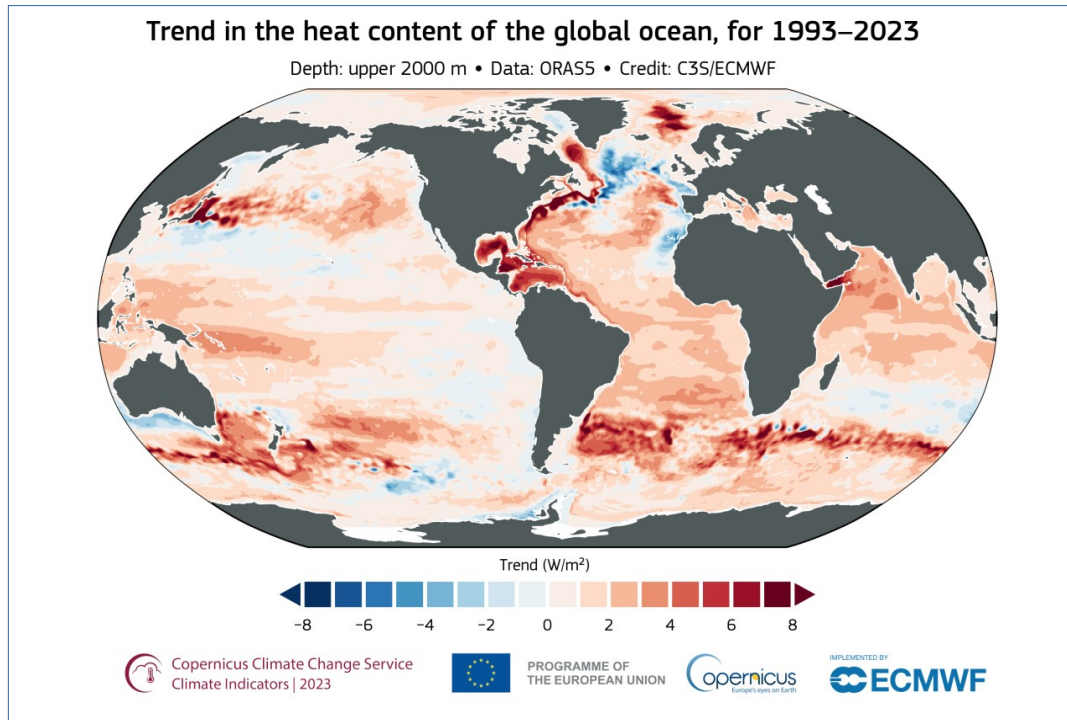
Copernicus Climate Change Service
Climate Indicators | 2023



PROGRAMME OF
THE EUROPEAN UNION



Evolution du contenu thermique des océans sur la période 1993 - 2023



Évolution du contenu thermique de l'océan (W/m²)
dans les 2000 premiers mètres.

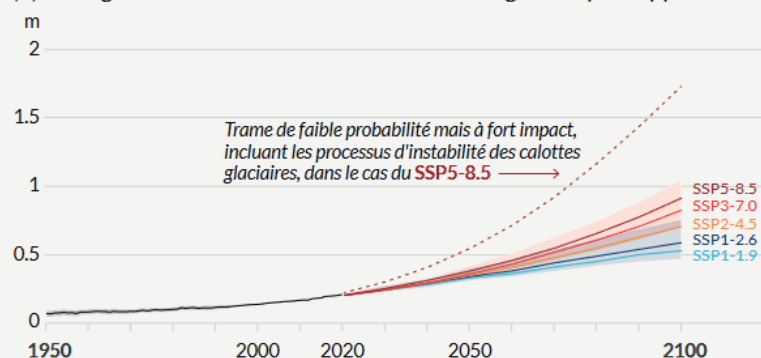
Change in ocean heat content from 1993 to 2023			
Ocean depth		Global ocean	Northeastern Atlantic
0–2000 m	W/m²	1.30 ± 0.01 W/m²	0.22 ± 0.1 W/m²
	°C	0.22 ± 0.004°C	0.04 ± 0.01°C
0–700 m	W/m²	0.83 ± 0.01 W/m²	0.39 ± 0.04 W/m²
	°C	0.40 ± 0.005°C	0.18 ± 0.02°C
700–2000 m	W/m²	0.47 ± 0.02 W/m²	-0.16 ± 0.13 W/m²
	°C	0.12 ± 0.005°C	-0.04 ± 0.03°C

En °C et en W/M²

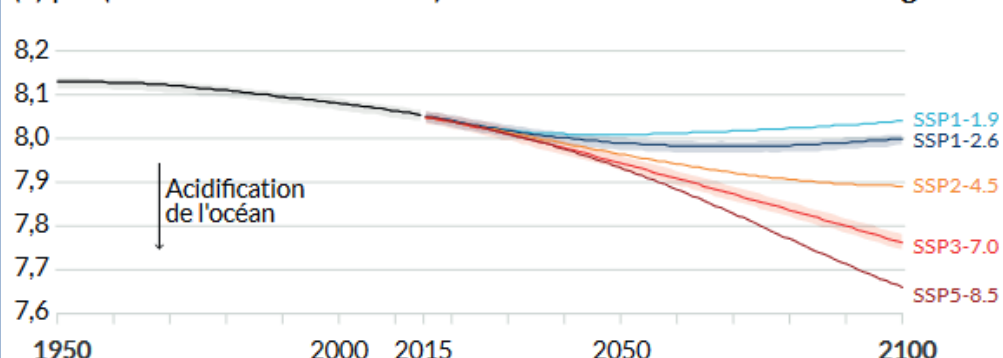
Projections futures : des signaux

- Augmentation du réchauffement de l'océan:
 - Stratification des couches supérieures
 - Acidification
 - Désoxygénation
- Poursuite de l'élévation du niveau de la mer à l'échelle du globe d'ici à 2100 :
 - de 0,28 à 0,55 m dans le cas du scénario de très basses émissions de GES
 - de 0,32 à 0,62 m dans le cas du scénario de basses émissions de GES;
 - de 0,44 à 0,76 m dans le cas du scénario d'émissions de GES intermédiaires
 - de 0,63 à 1,01 m dans le cas du scénario d'émissions de GES très élevées

(d) Changement du niveau de la mer à l'échelle globale par rapport à 1900



(c) pH (une mesure de l'acidité) de surface de l'océan à l'échelle globale



B.5.1 De nombreux changements dus aux émissions de gaz à effet de serre passées et à venir sont irréversibles à l'échelle de siècles à millénaires, en particulier les changements concernant l'océan, les calottes glaciaires et le niveau de la mer à l'échelle du globe

Projections futures : des signaux

- Augmentation de la fréquence et intensité :
 - des extrêmes chauds
 - des vagues de chaleur marine
 - des précipitations extrêmes
- Augmentation des sécheresses agricole et écologique dans certaines régions
- Augmentation de la proportion de cyclones tropicaux intenses (catégorie 4-5) et des vents max associés

- Diminution de la glace de mer de l'Arctique
- Diminution du manteau neigeux
- Diminution du pergélisol

B2 : Il existe une relation directe entre l'amplification de nombreux changements au sein du système climatique et l'augmentation du réchauffement planétaire. Il s'agit notamment de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des extrêmes chauds, des vagues de chaleur marines, des précipitations extrêmes et, dans certaines régions, des sécheresses de type agricole et écologique ; de l'augmentation de la proportion de cyclones tropicaux intenses ; et de la diminution de la glace de mer de l'Arctique, du manteau neigeux et du pergélisol

B.2.4 : Il est très probable que les précipitations extrêmes s'intensifieront et deviendront plus fréquents dans la plupart des régions pour chaque hausse supplémentaire du réchauffement planétaire. A l'échelle mondiale, il est projeté que les précipitations journalières extrêmes s'intensifieront d'environ 7 % pour chaque degré (°C) de réchauffement planétaire supplémentaire (degré de confiance élevé). Il est projeté que la proportion de cyclones tropicaux intenses (catégorie 4–5) et la vitesse maximale des vents des cyclones tropicaux les plus intenses augmenteront avec la hausse du réchauffement planétaire (degré de confiance élevé).

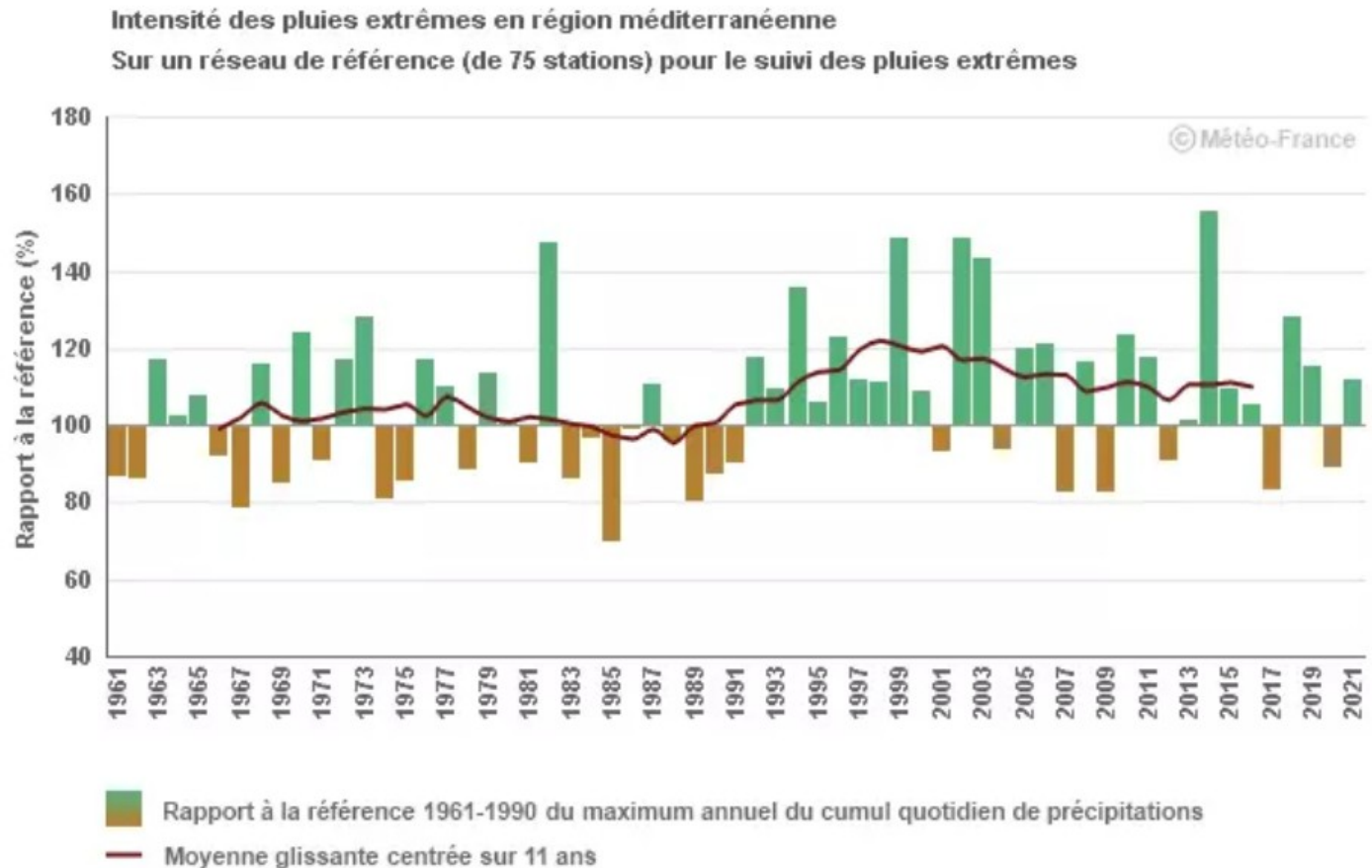
Projections futures : des signaux

- Augmentation de la variabilité des phénomènes:
 - des précipitations
 - au cours d'une même saison,
 - d'une année à l'autre
 - d'une région à l'autre
 - Des débits des cours d'eau
 - Avec des pointes plus élevées (fonte des neiges plus précoce)
 - Faiblissant l'été

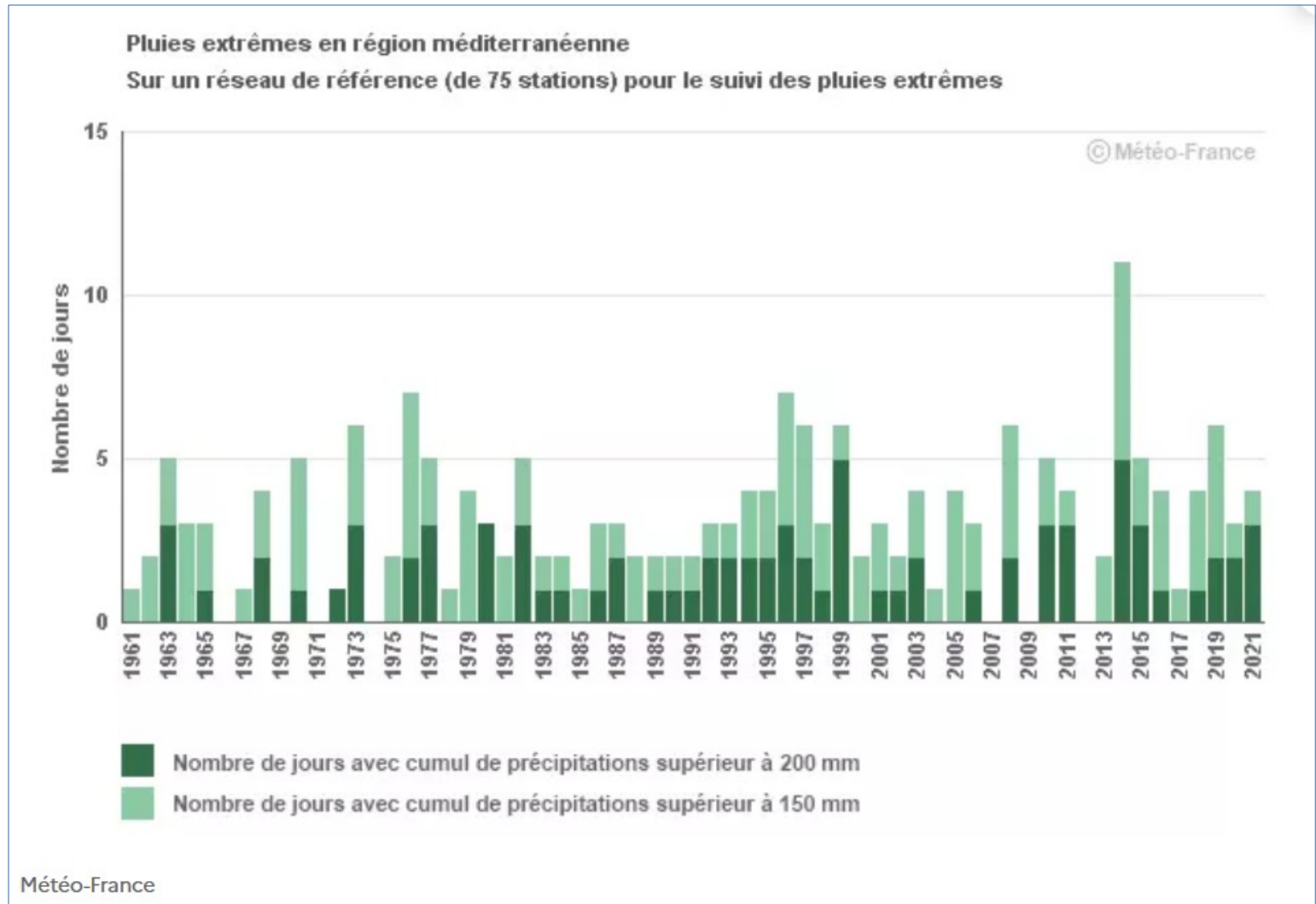
B.3: Il est projeté que la poursuite du réchauffement planétaire intensifiera davantage le cycle global de l'eau, notamment sa variabilité, les précipitations de la mousson globale et la sévérité des épisodes humides et secs.

Evolution de l'intensité des pluies extrêmes sur les régions méditerranéennes de France

Évolution de l'intensité des pluies extrêmes sur les régions méditerranéennes de la France à partir de 1961



Evolution du nombre de jours de pluies extrêmes sur les régions méditerranéennes de France

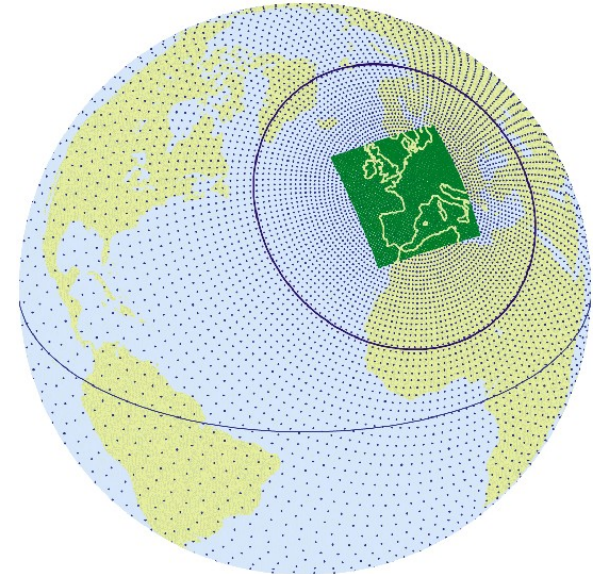


Les modèles météorologiques : des notions

LES MODELES OPERATIONNELS – Météo France

ARPEGE :

- Modèle global
- Maille variable
(5.1 km sur la France,
24km sur la Nouvelle-Zélande)
- 105 niveaux (10m $\rightarrow$ 0.01hPa)
- 4 fois par jour (00, 06, 12 et 18h)
- Maximum 102h d'échéance
- Pas de temps : 4mn



MFWM : Prévion d'état de la mer, Météo-France (11km)
forçage atmosphérique possible avec plusieurs modèles (MF,CEP, etc.)
courants océaniques : MERCATOR

LES MODELES OPERATIONNELS

ECMWF : Modèle du CEPMMT

(Centre Européen de Prévision Météorologique A Moyen Terme) :

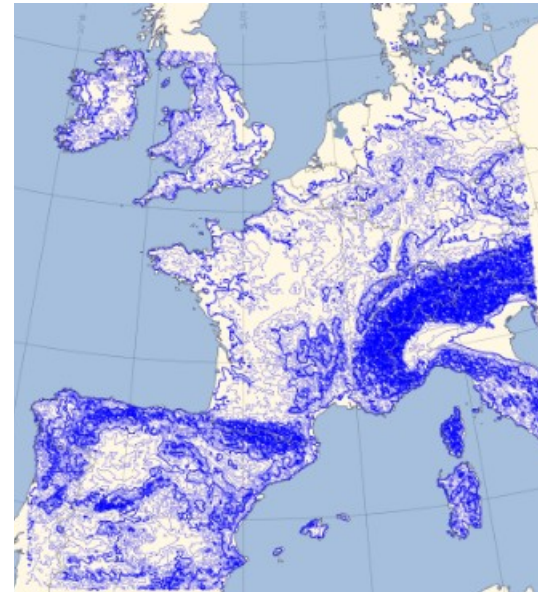
- Modèle global
- Maille fixe : ~9km
- 137 niveaux (20m → 0.01hPa).
- 4 fois par jour
- 10 jours d'échéance

LES MODELES OPERATIONNELS

AROME

- Modèle non-hydrostatique
(résolution de la convection)
- Résolution : 1.3km
- 90 niveaux (5m à 5hPa)
- 8 réseaux par jour, couplés ARP :
48h de profondeur de prévision

Couplage ARPEGE et ECMWF (IFS)



Représentation du relief dans les modèles

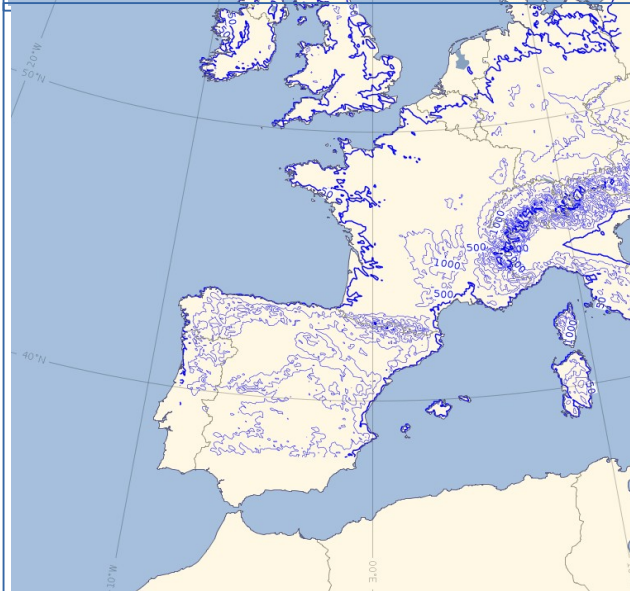
ARP 0.1



GFS 0.5



ARO 0.01



CEP 0.125

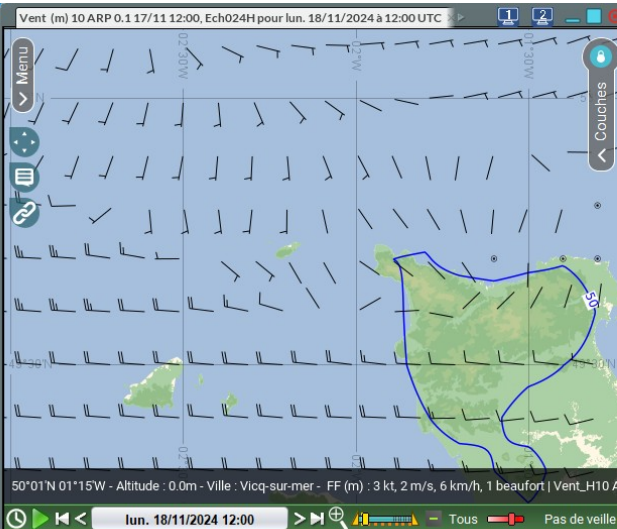


Impact de la résolution des modèles sur la représentation du relief et des vents à 10m

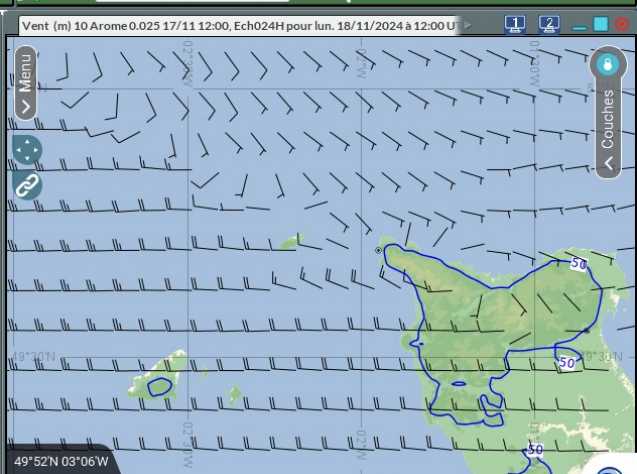
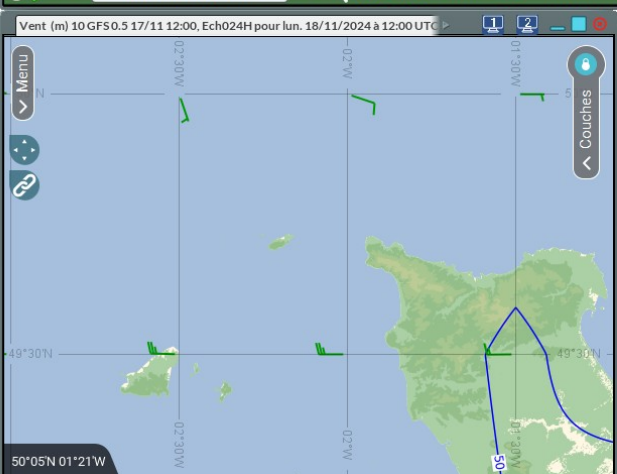
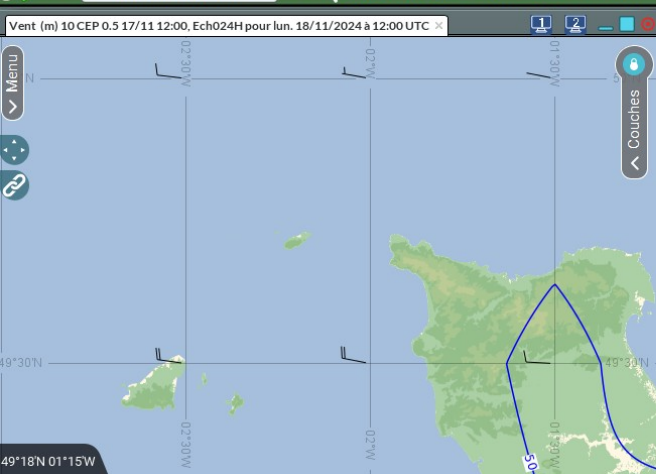
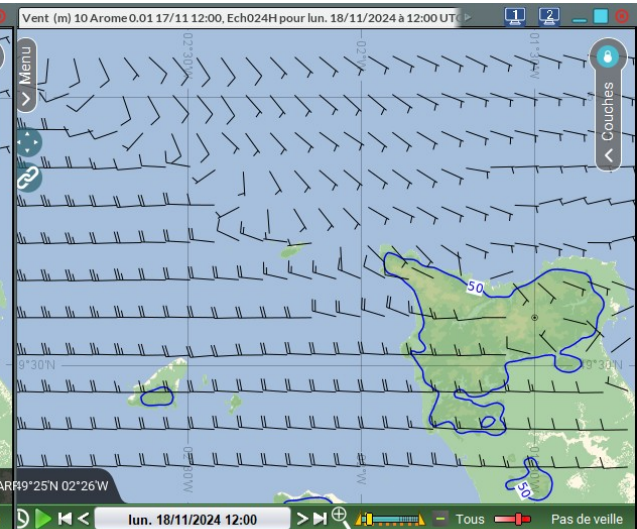
ECMWF, CEP 0.125



ARPEGE 0.1



AROME 0.01



ECMWF, CEP 0.5

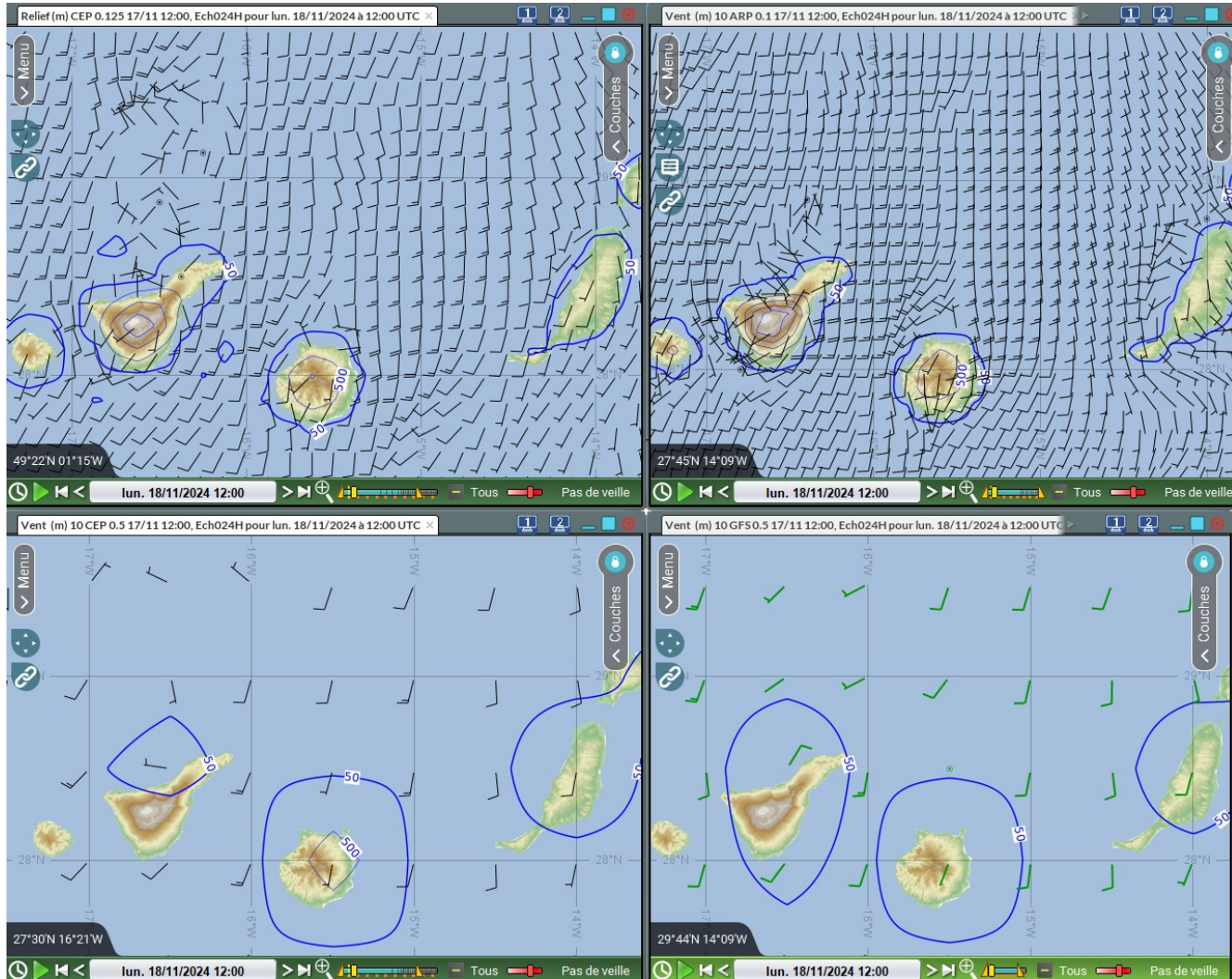
GFS 0.5

AROME 0.025

Cas de l'archipel des Canaries

ECMWF, CEP 0.125

ARPEGE 0.1

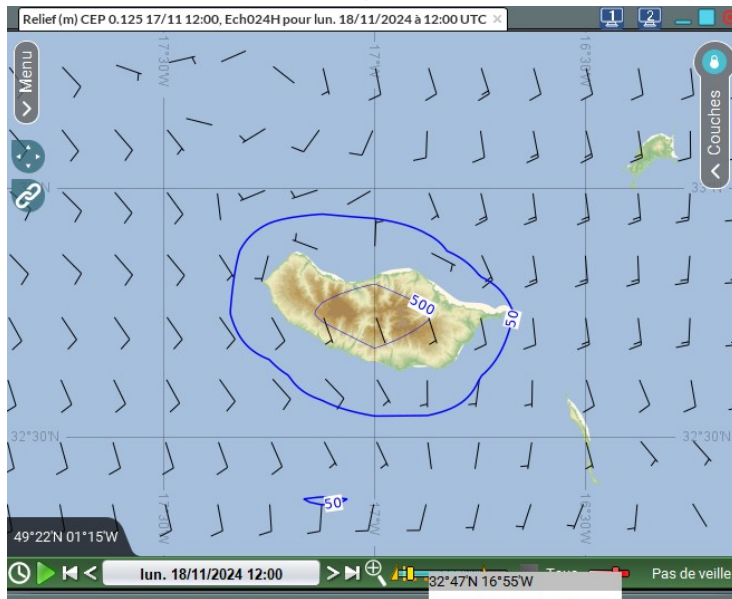


ECMWF, CEP 0.5

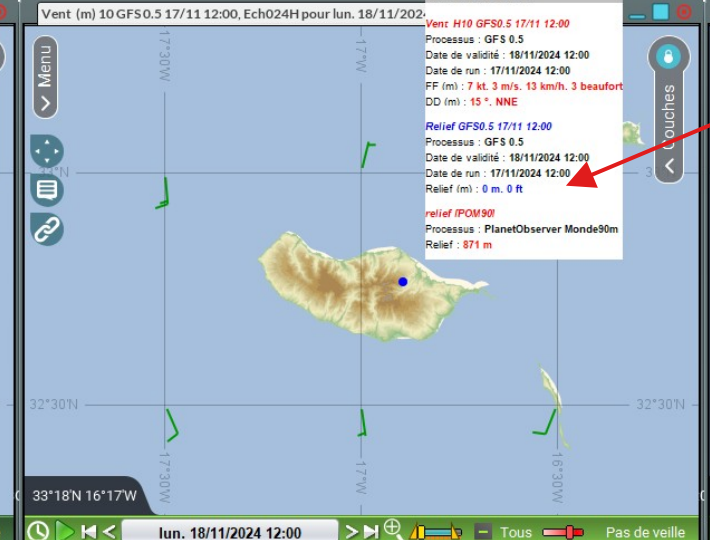
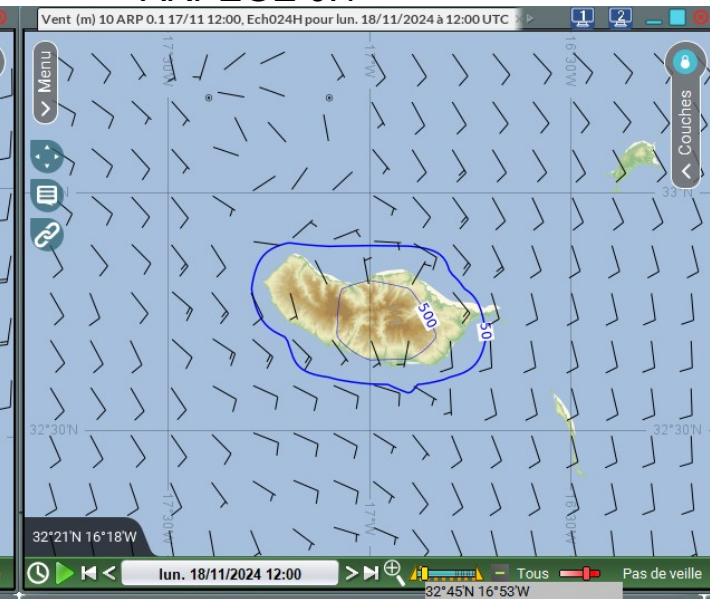
GFS 0.5

exemple avec l'île de Madère

ECMWF, CEP 0.125



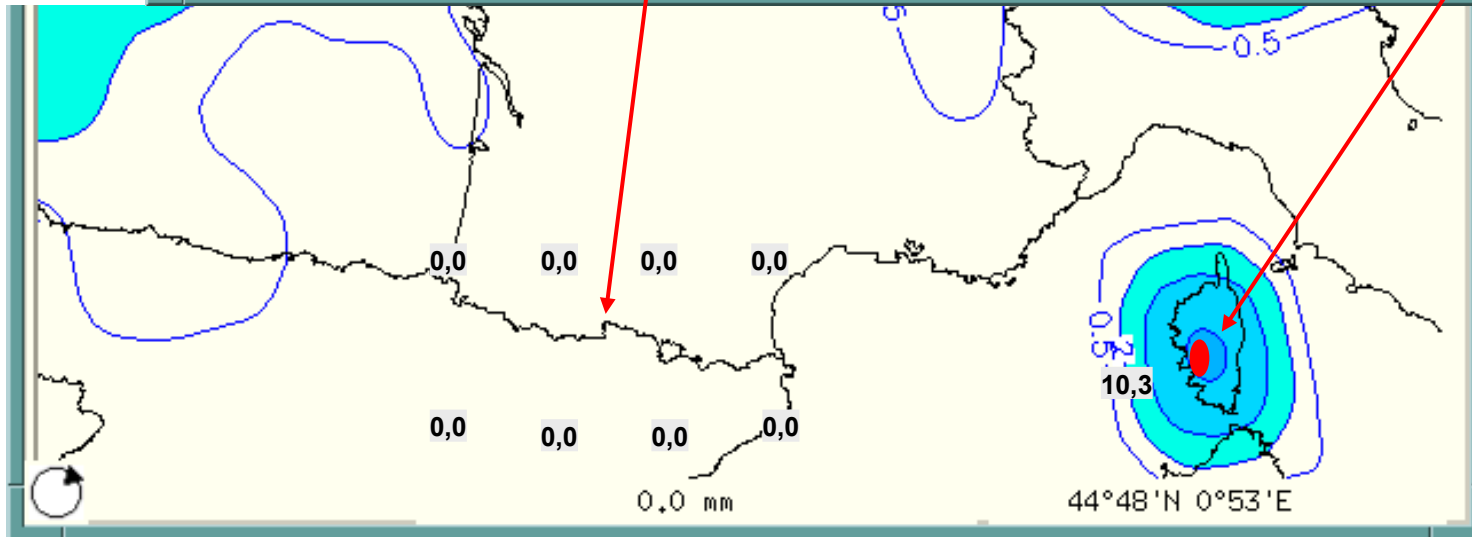
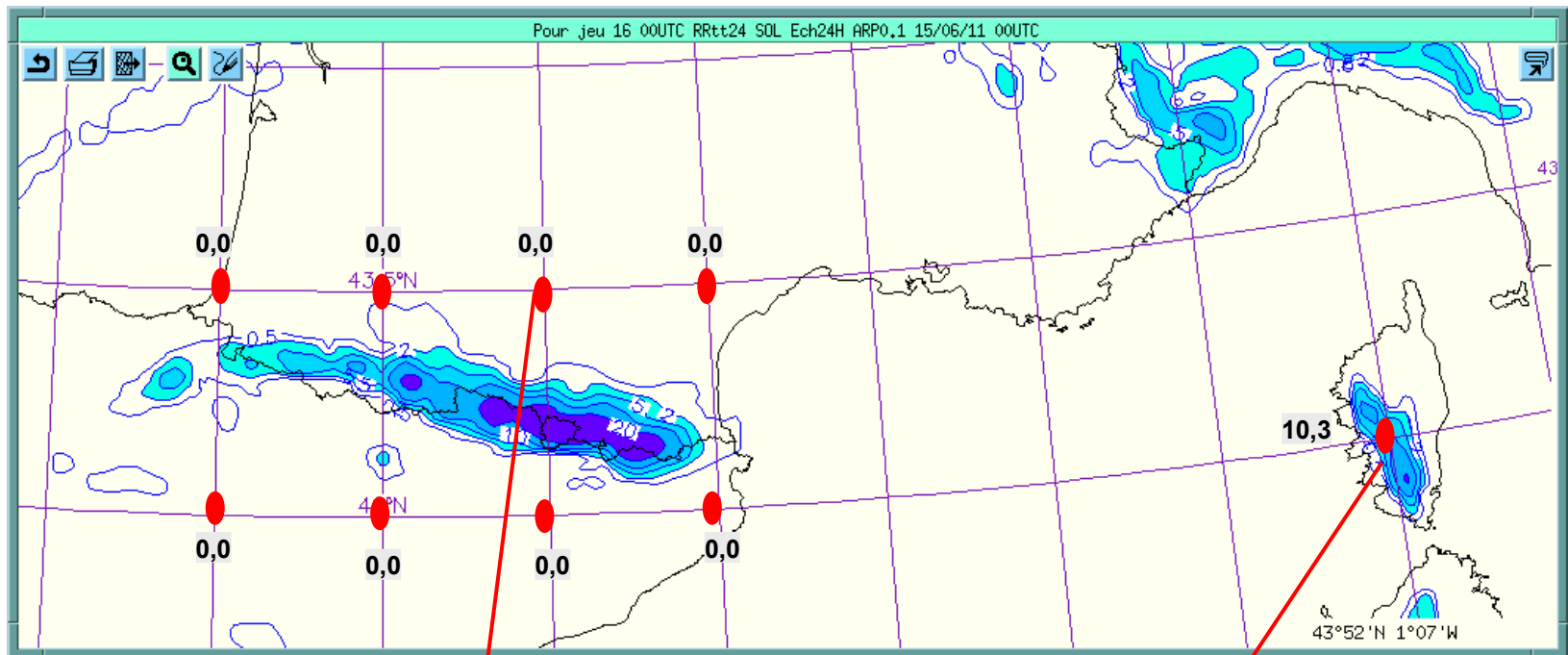
ARPEGE 0.1



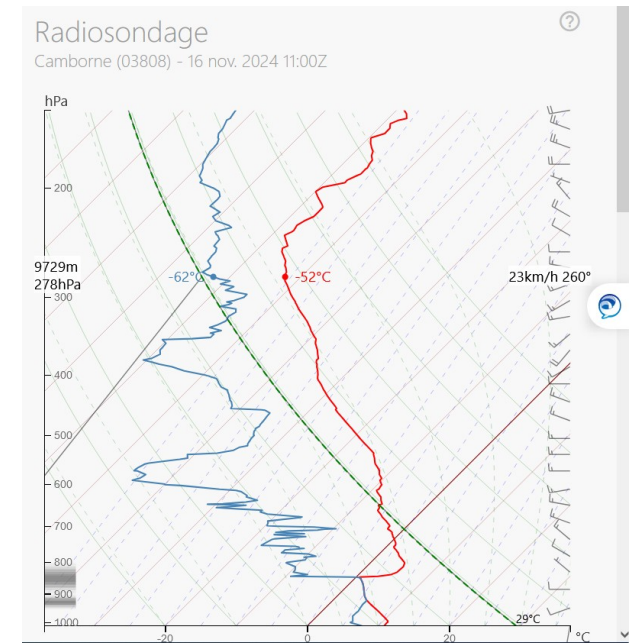
ECMWF, CEP 0.5

GFS 0.5

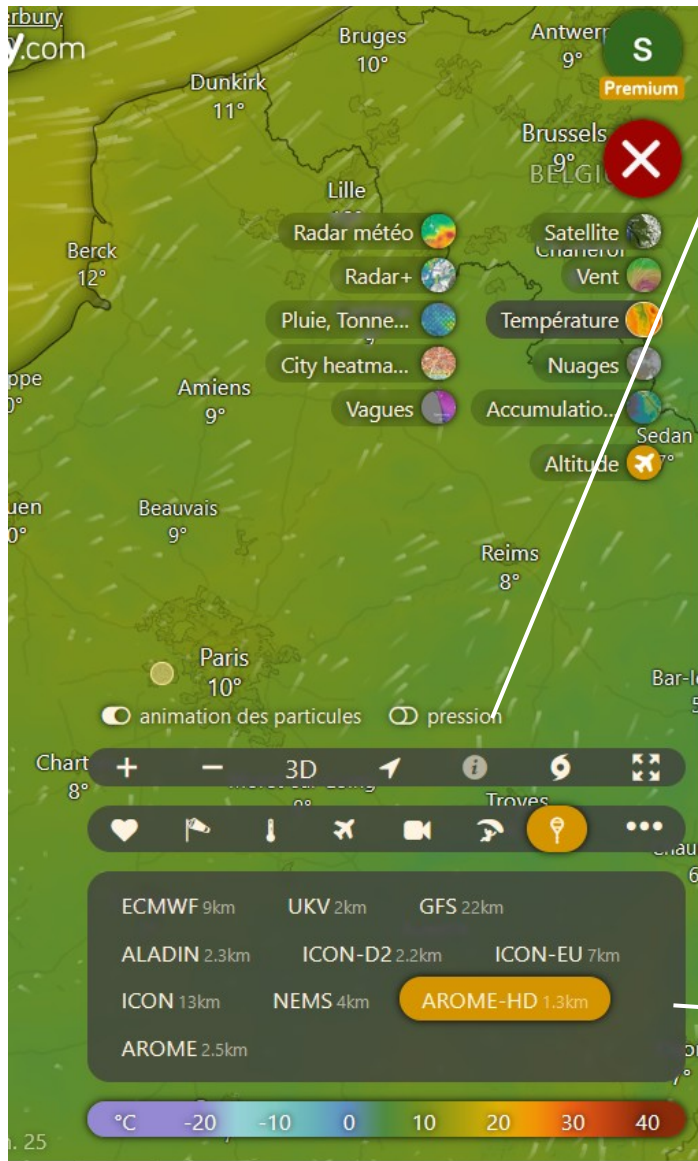
Autre exemple de l'impact de la résolution



Les radio-sondage sur Windy



Les modèles atmosphériques sur Windy



À propos de ces données

Modèle de prévisions: AROME-HD 1.3km
Fournisseur: MF

Mis à jour il y a 4 h (ref 06Z)

Prochaine mise à jour prévue à:

18:54, dans 2h 44m 41s

Intervalle de mise à jour: 6 - 7 hrs

Temps de référence: 2024-11-16T06:00:00Z

Température

Température 2m au-dessus de la surface (ou au niveau de pression sélectionné). La température réelle est influencée par de nombreux facteurs tels que les montagnes, les nuages convectifs et les villes.

ECMWF 9km

UKV 2km

GFS 22km

ALADIN 2.3km

ICON-D2 2.2km

ICON-EU 7km

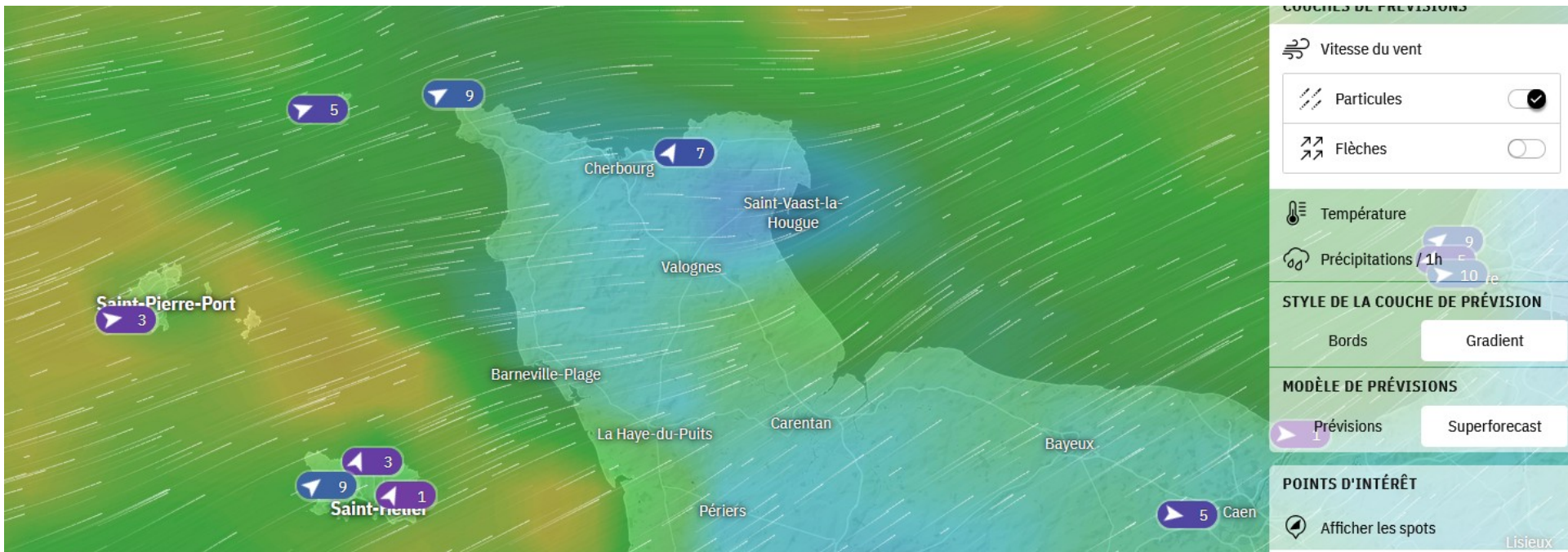
ICON 13km

NEMS 4km

AROME-HD 1.3km

AROME 2.5km

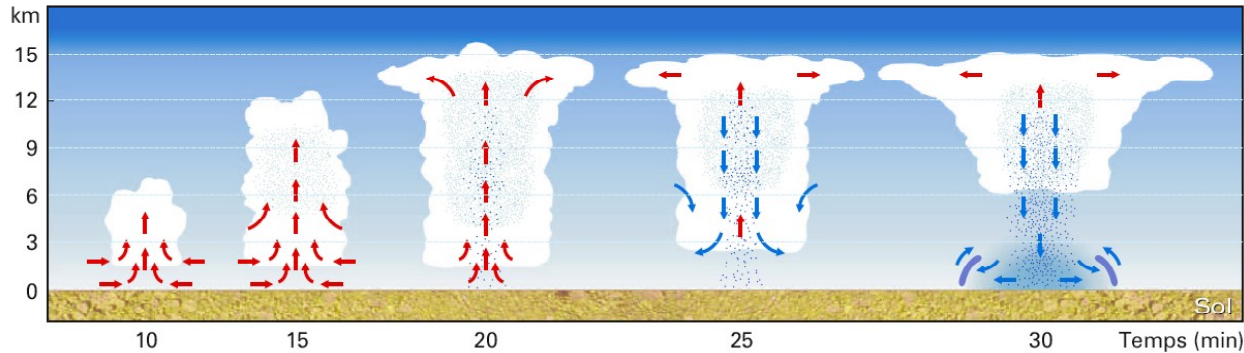
Windfinder



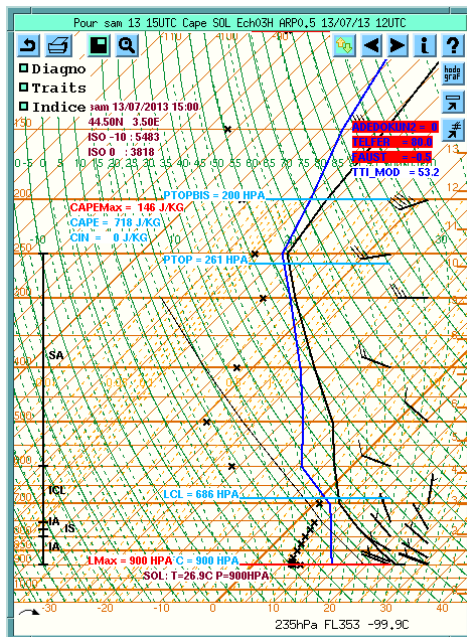
La convection : de la cellule ordinaire à la supercellule

Cellules ordinaires

cellule convective = ascendance + courants subsidants associés



*D'après Malardel
Fondamentaux
de Météorologie*



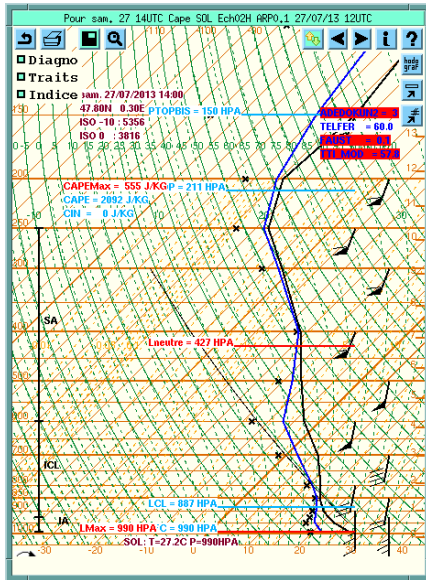
Faible cisaillement vertical de vent en vitesse et en direction
ou

Faible cisaillement vertical de vent en vitesse et fort en direction

Estimation du déplacement :
direction: flux à 700hpa
vitesse: 2/3 du flux à 700 hPa



Orage multicellulaire



Système convectif comportant plusieurs cellules individuelles, à différents stades de leur développement.

La durée de vie de chaque cellule est faible (15 à 30 minutes), mais l'ensemble peut persister plus longtemps (3 à 4 heures), par la présence d'un cisaillement de vent.

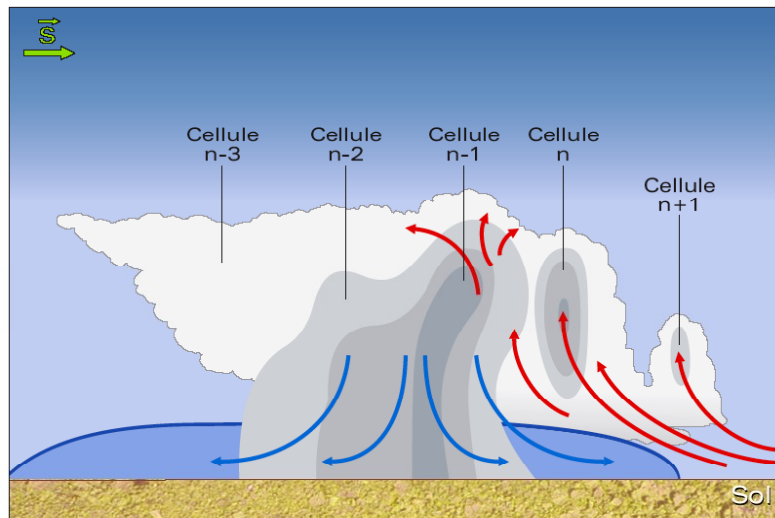
Les courants ascendants et subsidents sont bien séparés.



Cellule n+1

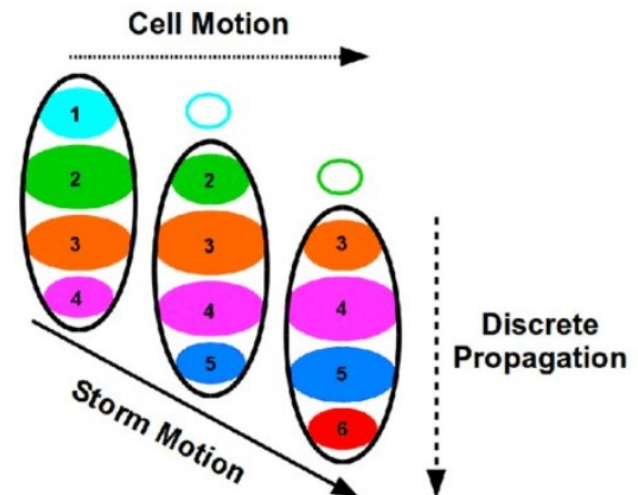
Cellule n

Cellule n-1

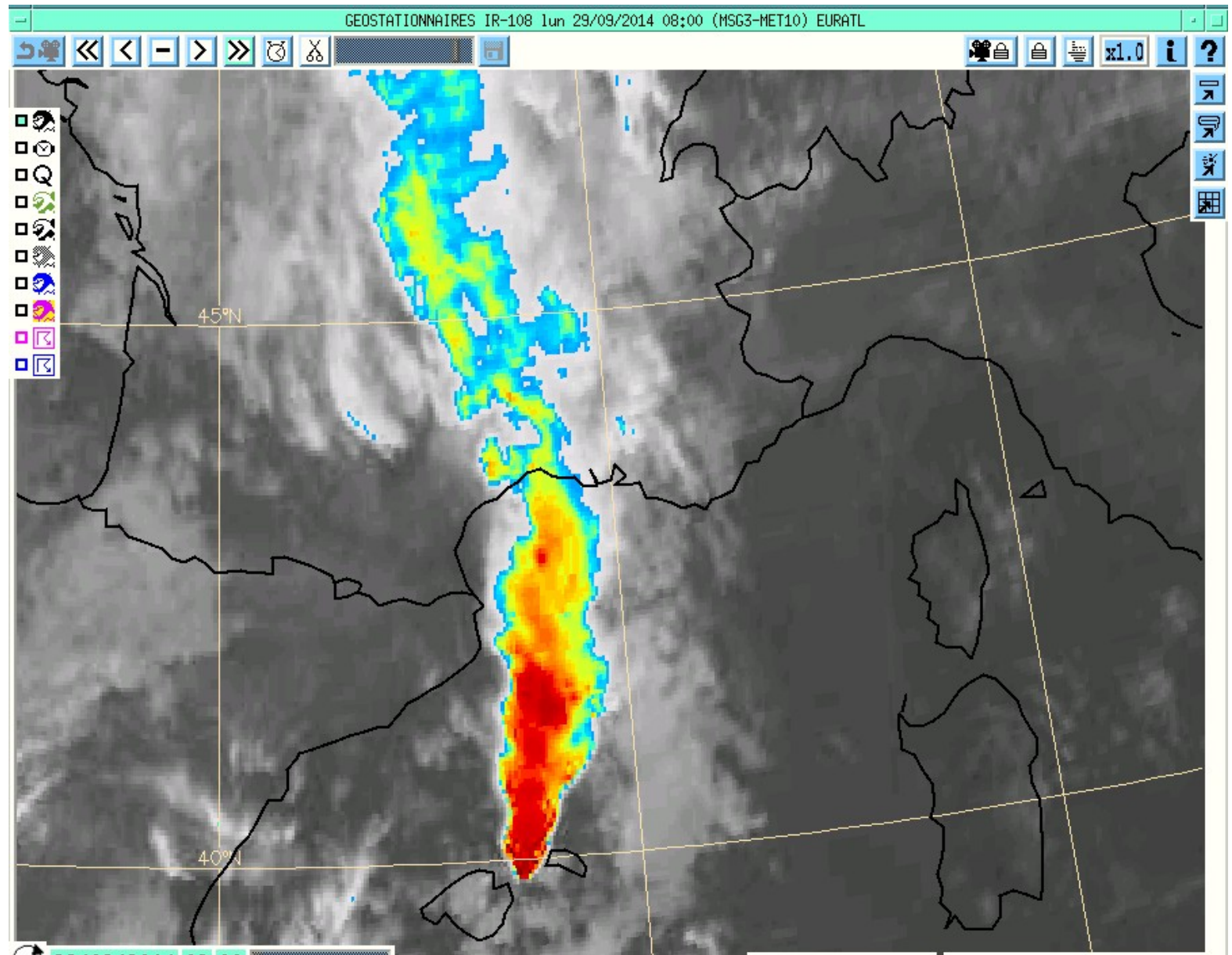


Déplacement en « crabe »

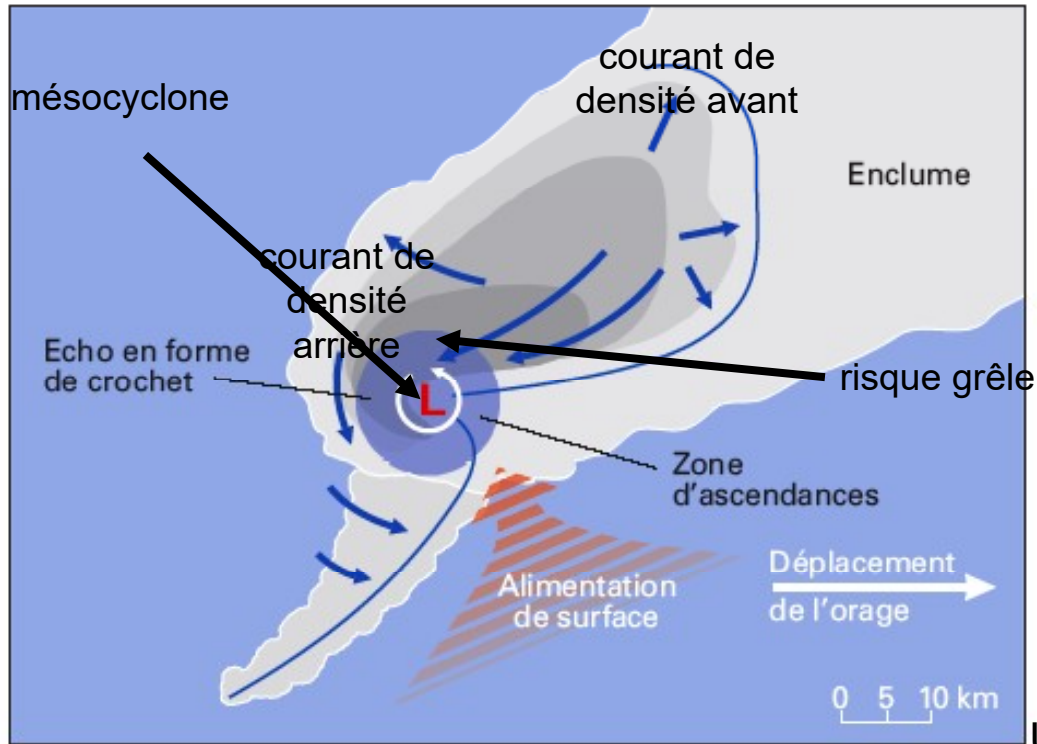
Si la propagation est égale et opposée à la vitesse des cellules, l'orage est stationnaire, voire rétrograde



Systèmes en V



Supercellule



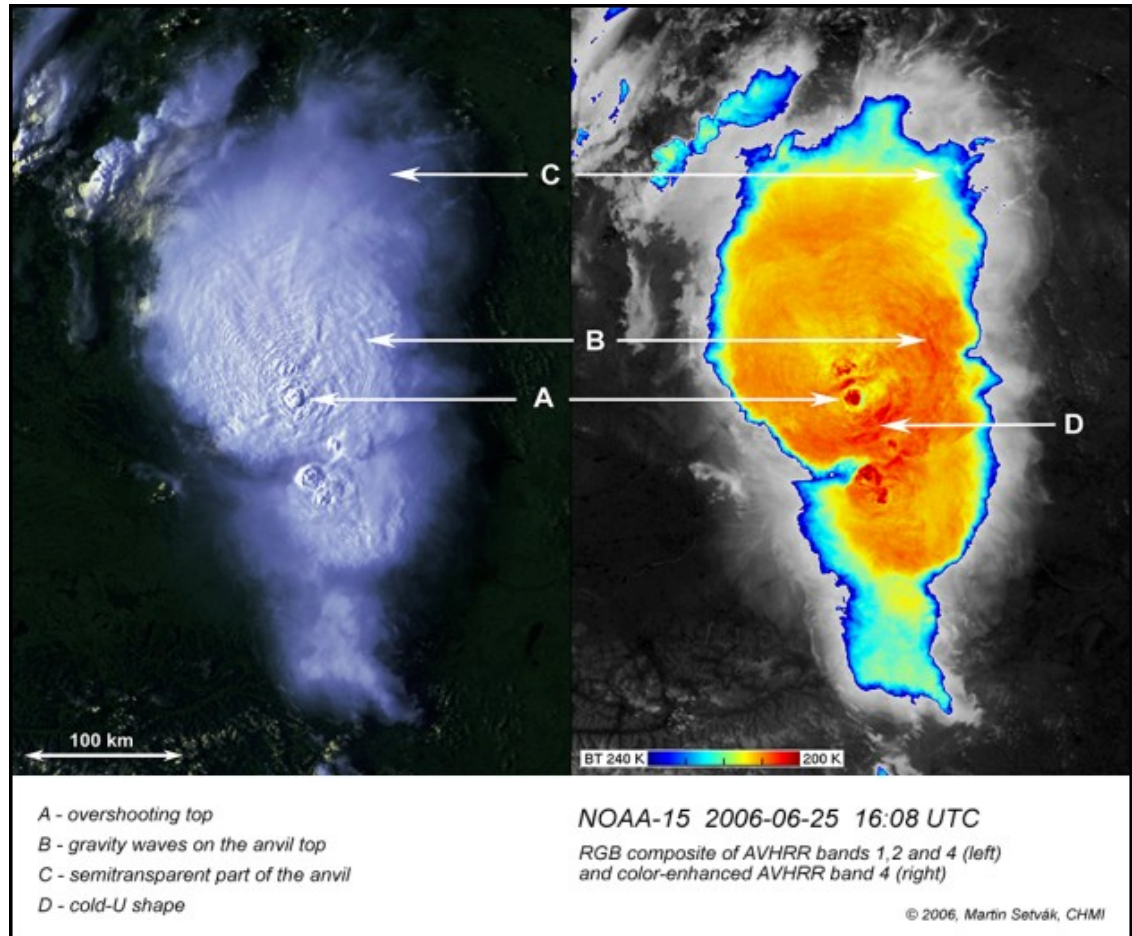
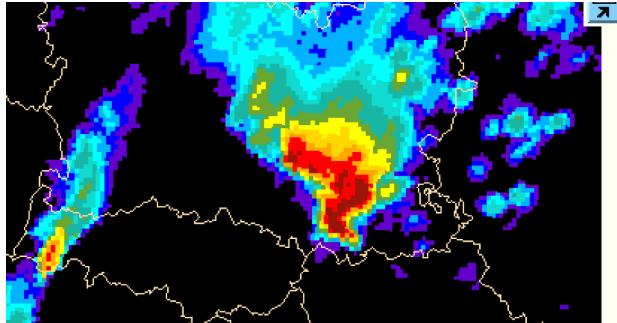
Supercellule remarquable en Beauce en juin 2014 - Nicolas Gascard

Arcus : nuage caractéristique

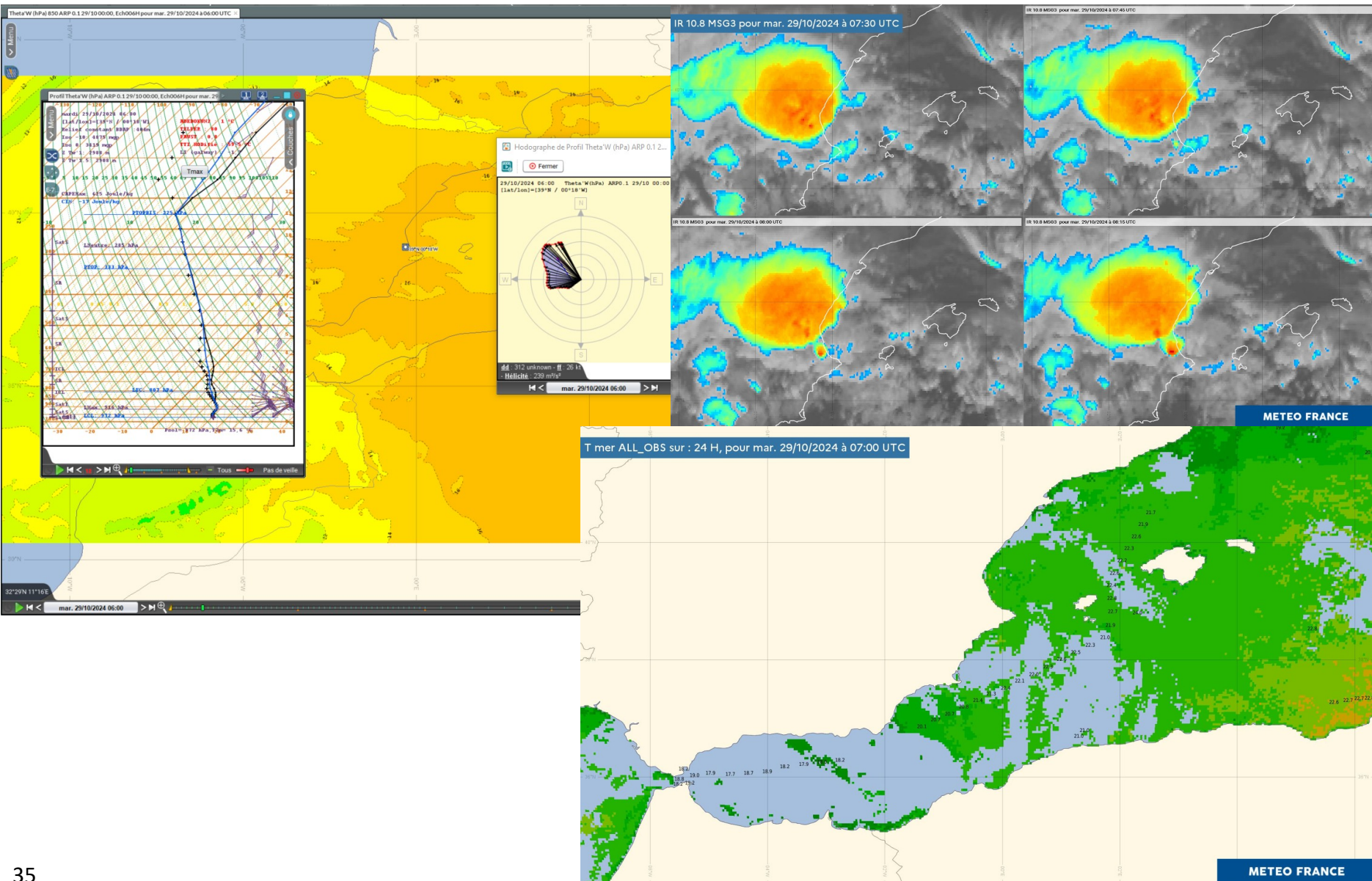
Une partie des précipitation est reprise dans les courants ascendants ; intensification des précipitations, grossissement des granules de glace, grêle
Profil vertical : avec cisaillement rapide et tournant

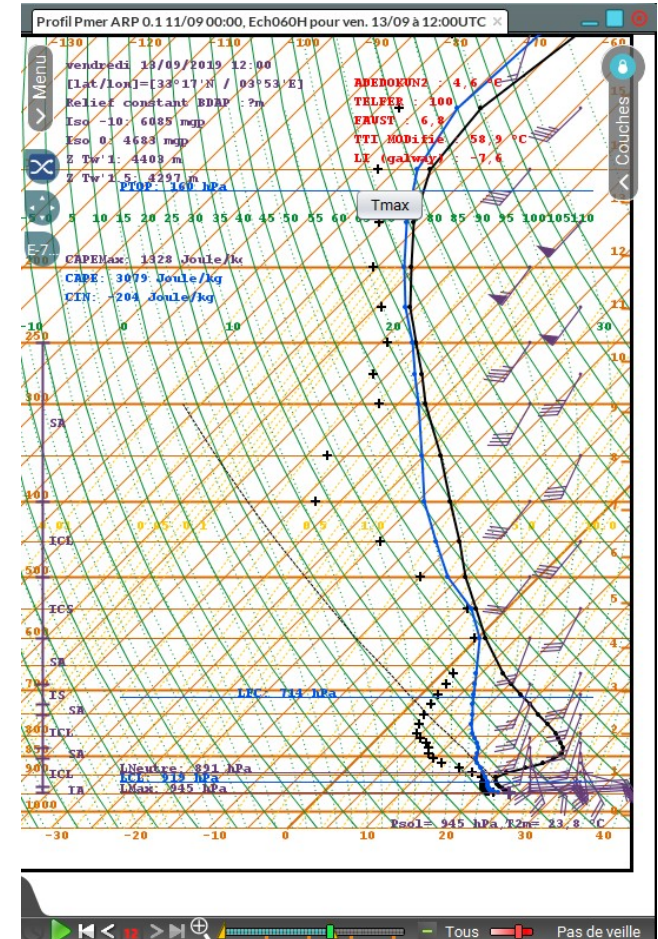
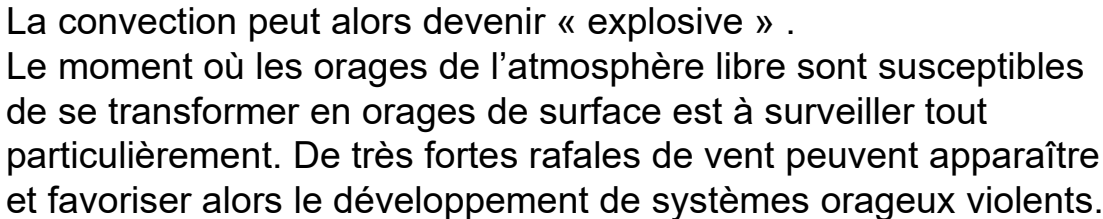
D'après Malardel
Fondamentaux de Météorologie

Supercellule



Valence, octobre 2024 : Supercellule ou cellule en V retrograde ?





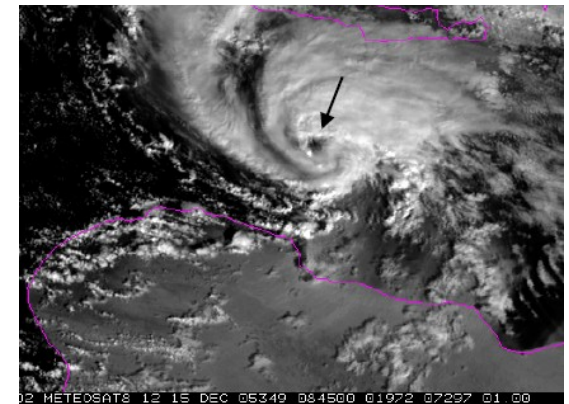
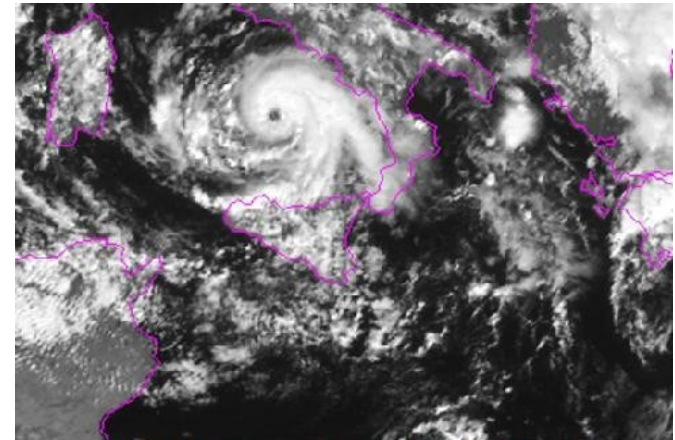
Les Medicanes

Les Medicanes , en Méditerranée

Vortex cyclonique intense similaire à celui d'un cyclone tropical mais de dimension réduite (rayon de 70 à 150, parfois 200 km) :

- **cœur chaud**
- **œil, mur de l'œil** (nuages convectifs très développés près du centre)
- structure nuageuse **quasi-axisymétrique**
- vents en surface pouvant dépasser les 100km/h sur des régions peu étendues.

→ Morphologie voisine des tempêtes tropicales, voire des cyclones, mais sans en adopter ni les dimensions ni la violence.

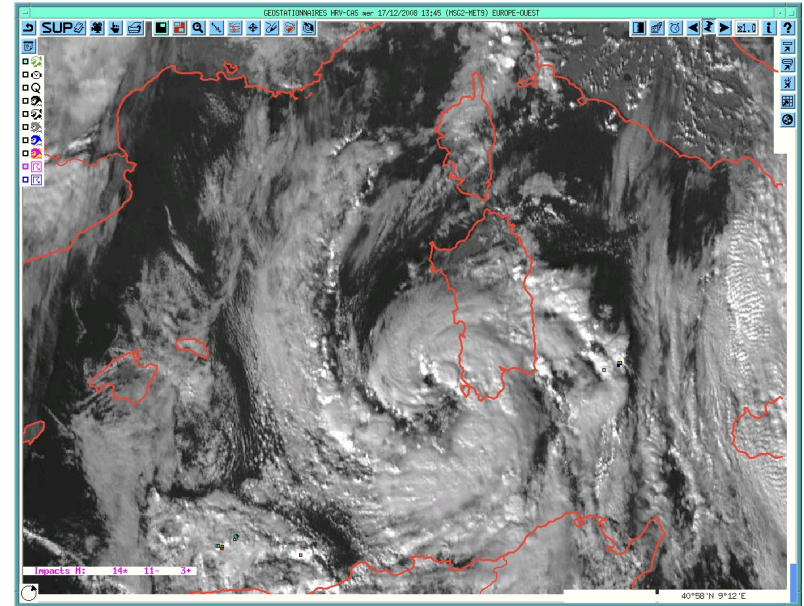


Les Medicanes , en Méditerranée

- Se développent quasi exclusivement sous un très profond **thalweg d'altitude** ou cut off peu mobile présent à l'ouest d'une dépression de surface plus étendue.
- Atmosphère **très instable**.
- Température de surface de la mer **> 16°C** (pour la plupart des cas recensés TSM > 20°C).
- Se développent et évoluent dans une **fort déséquilibre thermodynamique entre air froid d'altitude et TSM chaude**.
- Tirent leur énergie essentiellement de la **TSM et du vent dépressionnaire** au sol.
- durée de vie de plusieurs jours, phase mature de 1 à 3 jours

Medicanes : les risques associés

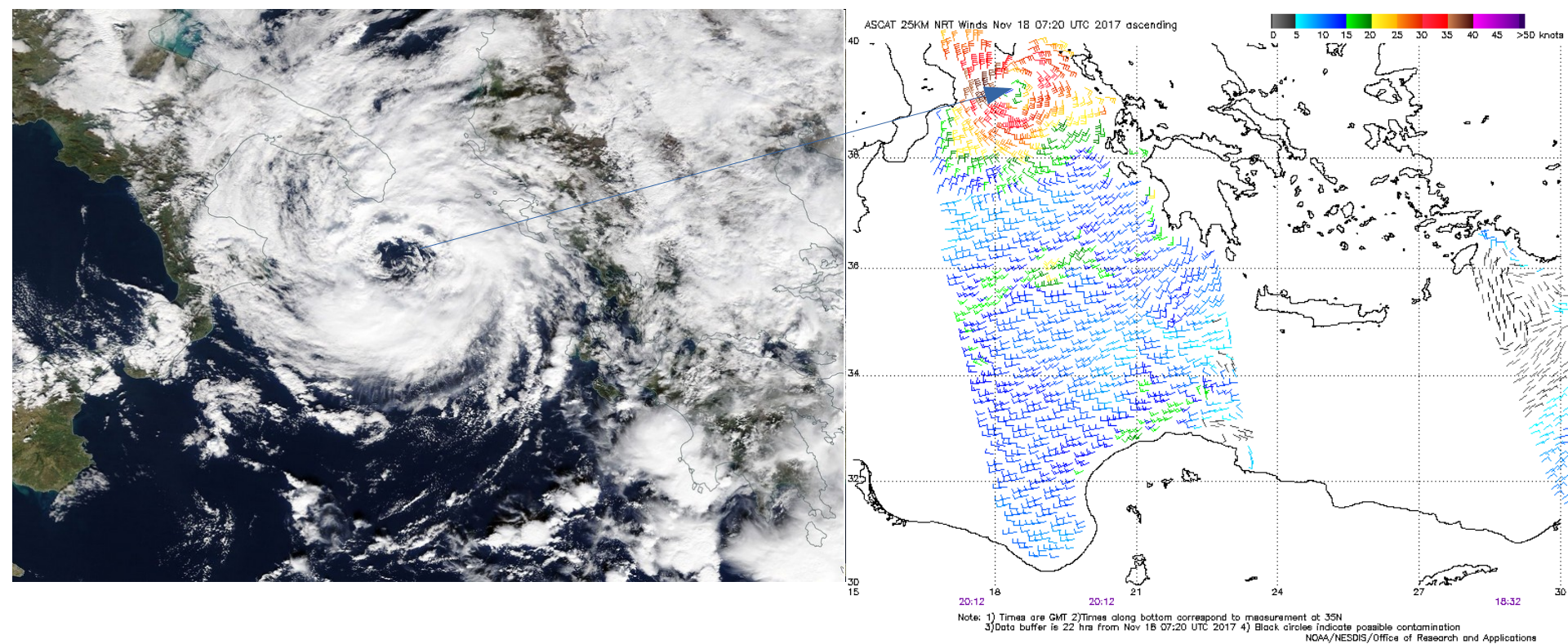
- Vents violents (120 à 150 km/h en rafales) et dégâts associés.
- Bandes pluvieuses parfois intenses.
- Système peu mobile, donc cumuls pouvant être importants.
- Risque d'inondations ou de submersions côtières.



17 décembre 2008 entre Sardaigne et Tunisie

Pour en savoir plus : <http://meteo.uib.cat/medicanes/>

Medicanes : les vents satellite Ascet

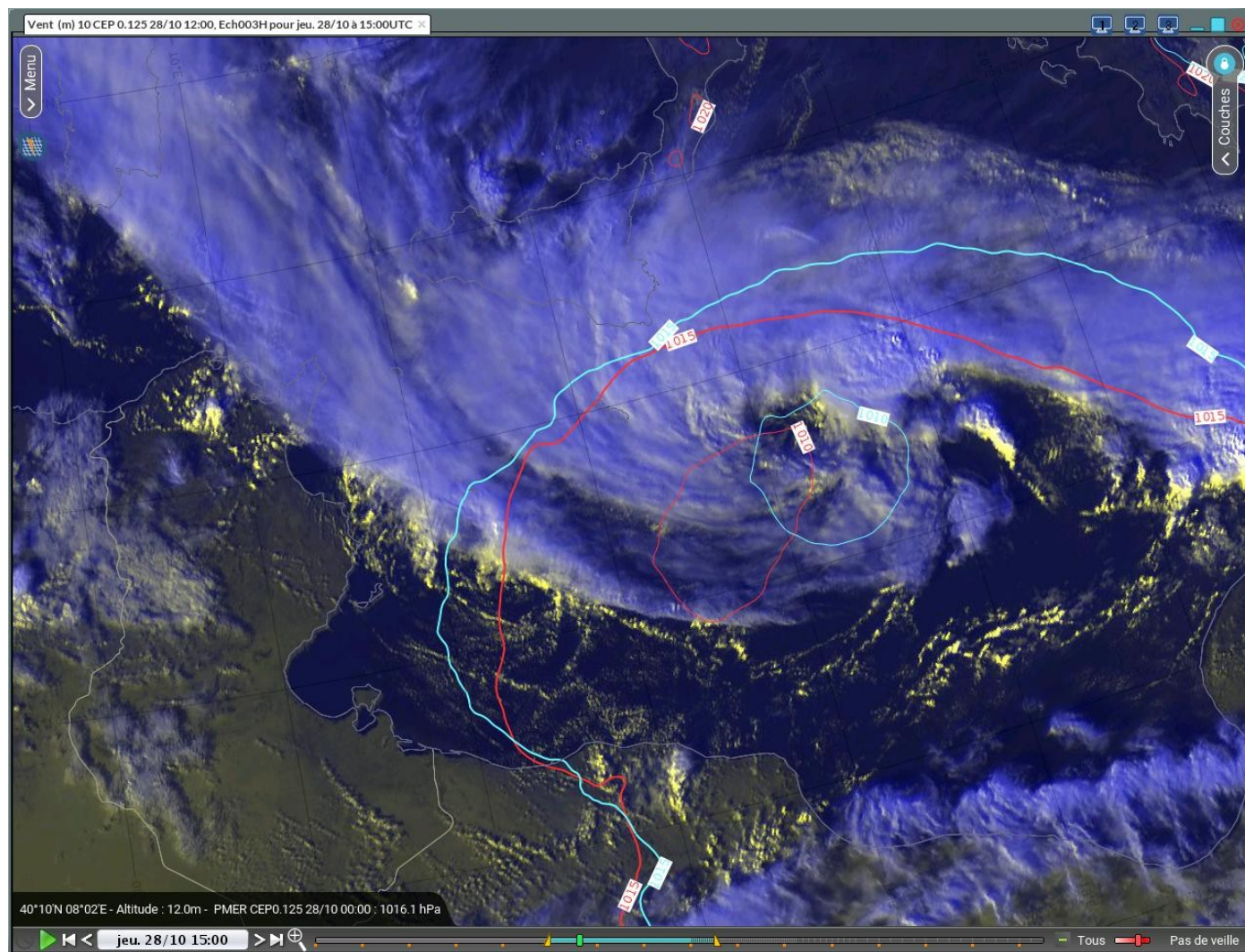


Vents Ascet mesurés par des satellites défilants :

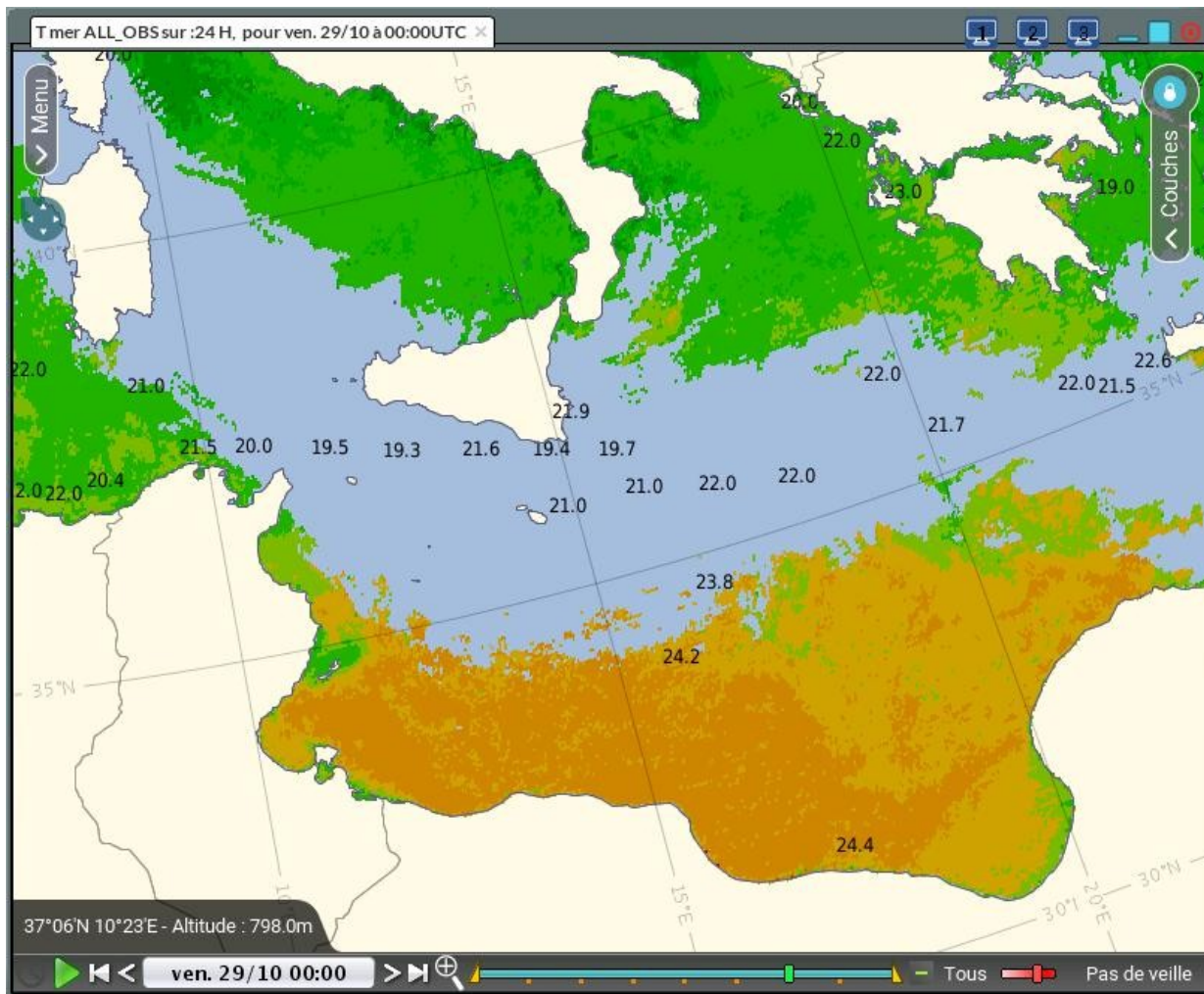
- vitesse et direction du vent moyen
- localisation du centre dépressionnaire

Medicane, 28/10/2021 à 15utc – Pmer

- runs du 28/10/2021 à 12utc pour 15utc
 - ECMWF : bleu
 - ARPEGE : rouge
- importance du calage modèle



Température de la mer 28/10/2021



- SST satellite
- Tmer ship et bouées

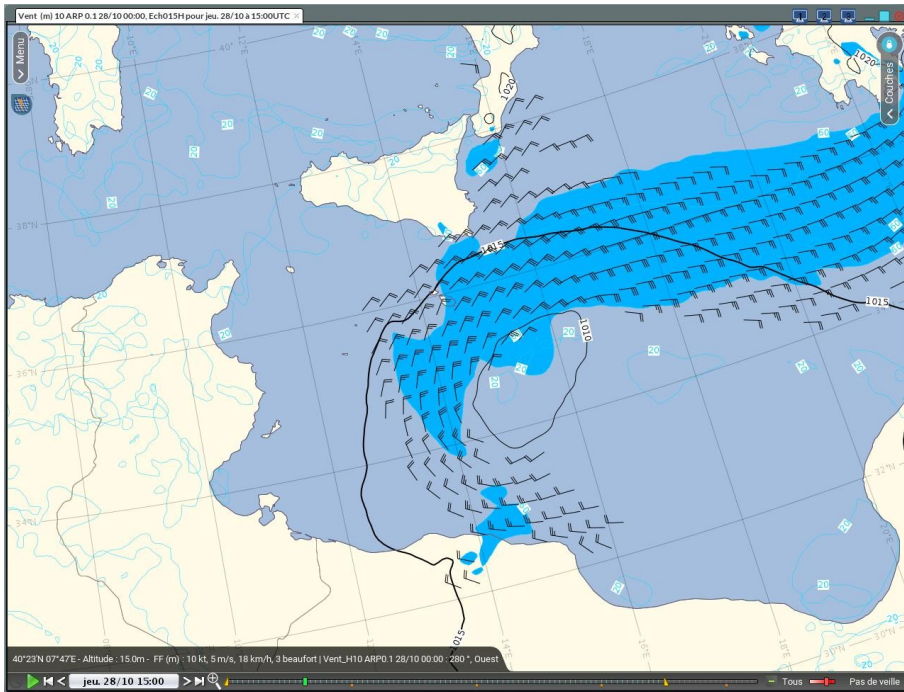
Des Tmer chaudes :

- forte évaporation
- alimentation de masse d'air en humidité
- réchauffe la base de la masse d'air par contact

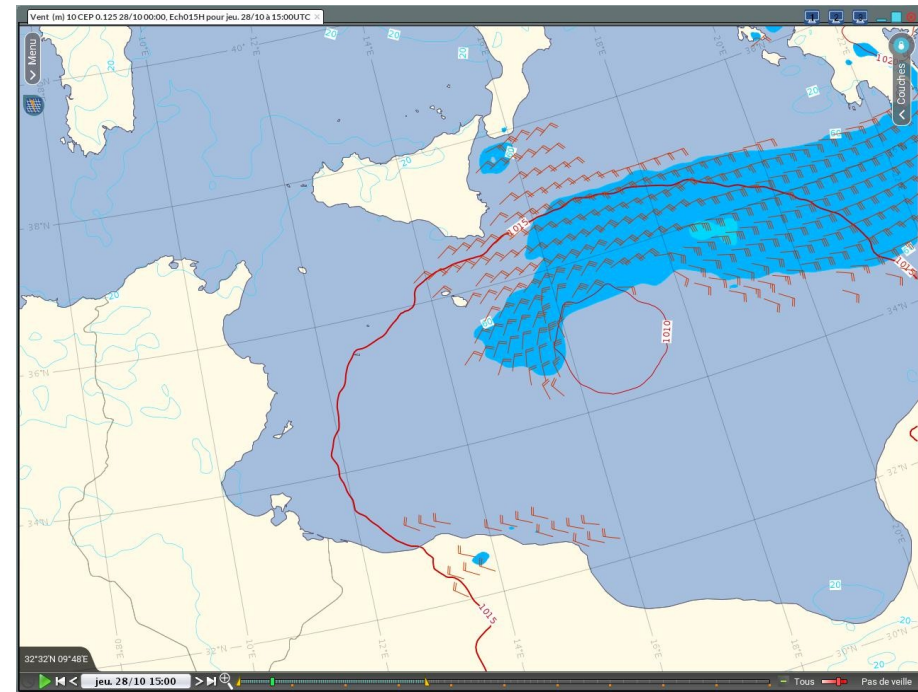
-

Difficulté de la prévision : 28/10/2021 – Vents et rafales

ARP



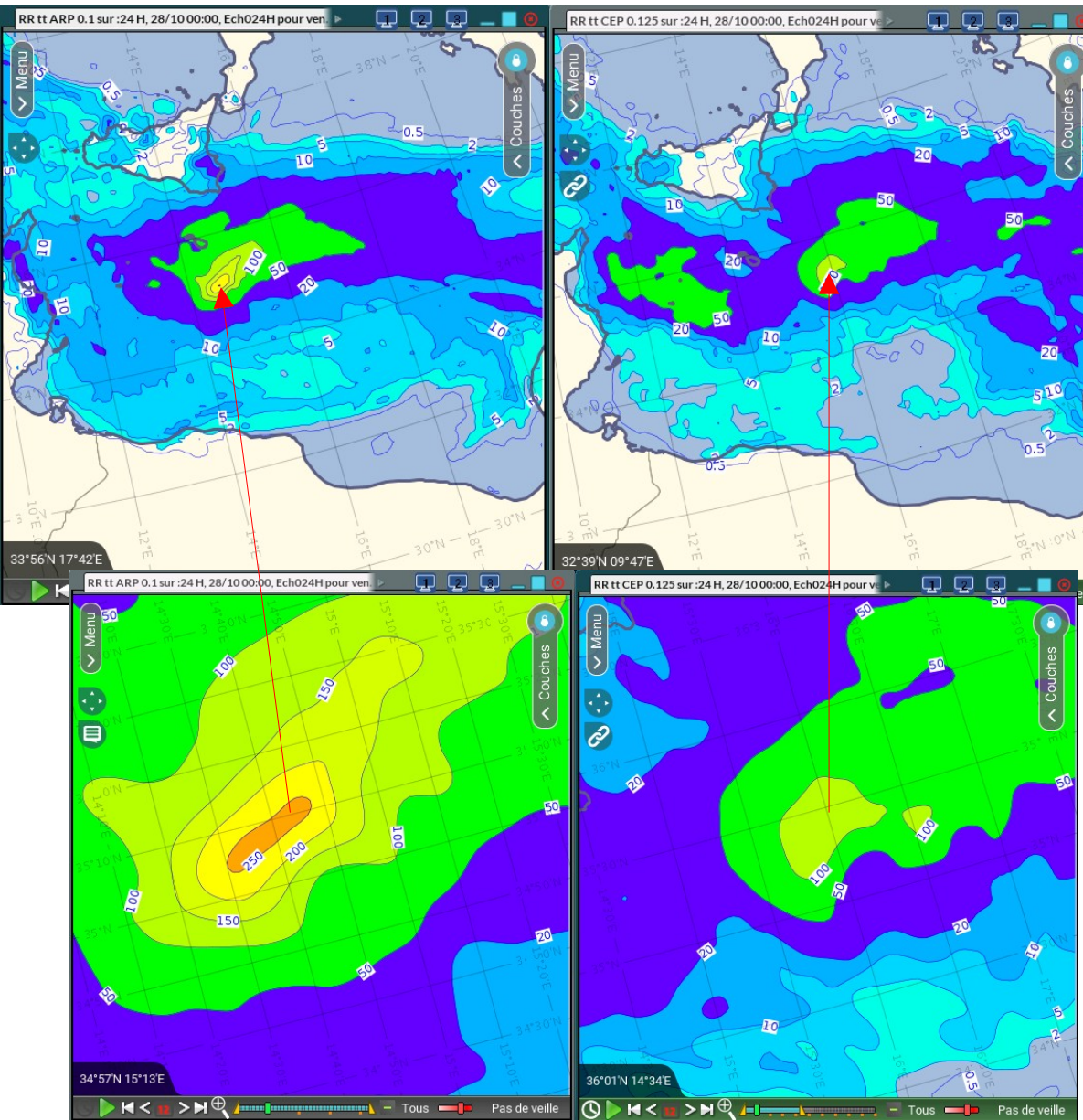
CEP



Rafales : à corriger pour tenir compte des accélérations dues à la convection

- en fonction des observations
- des profils verticaux

Difficulté de la prévision : Précipitations dur 24h le 29/10/2021 à 00utc



ARPEGE alerte souvent mieux que ECMWF (phénomène extrême, localisation, déclenchement) mais a tendance à sur-estimer les quantités

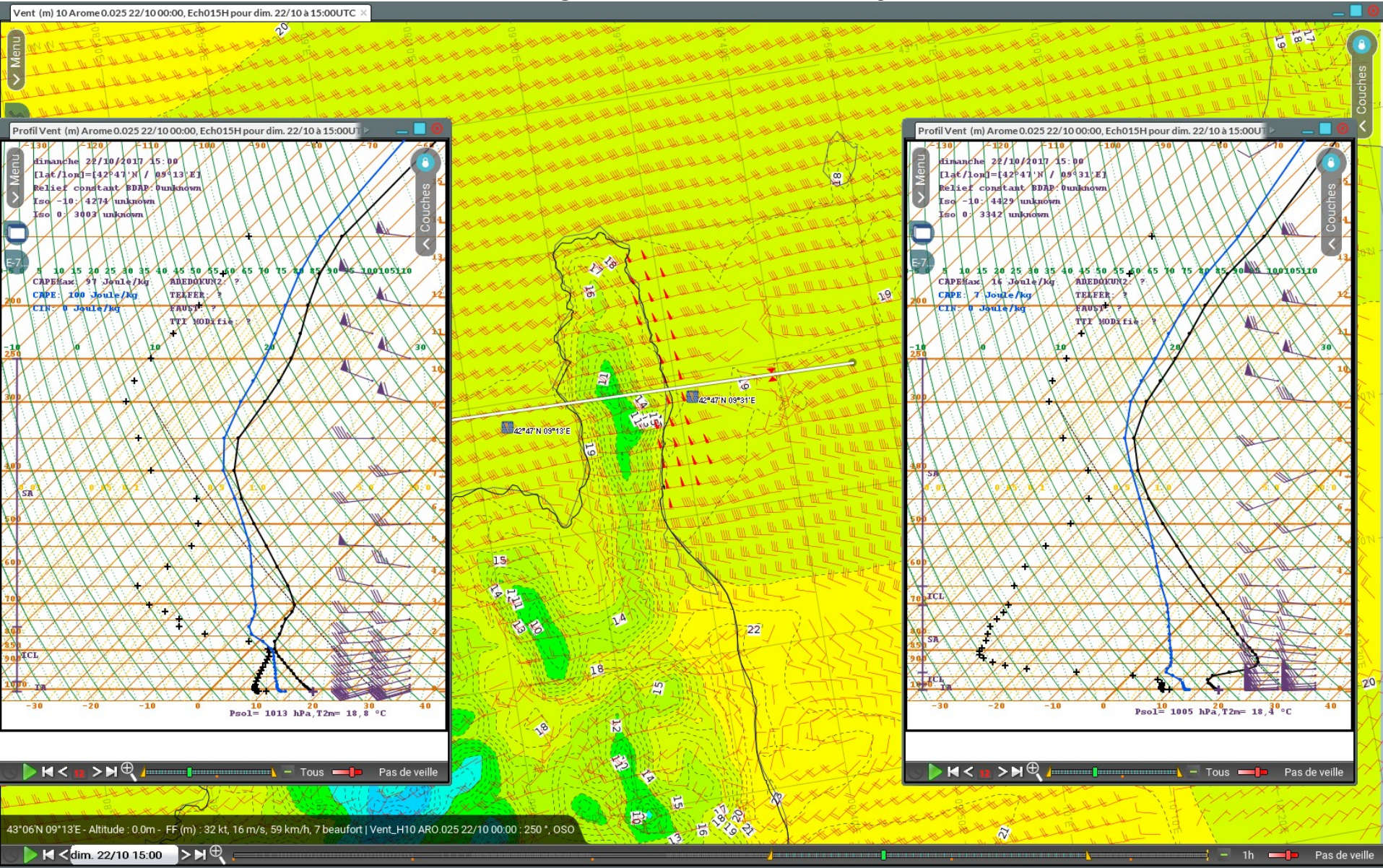
- Zoom:
 - ARPEGE : 260mm en 24h
 - ECMWF : 130mm en 24h

Des particularités du vent :

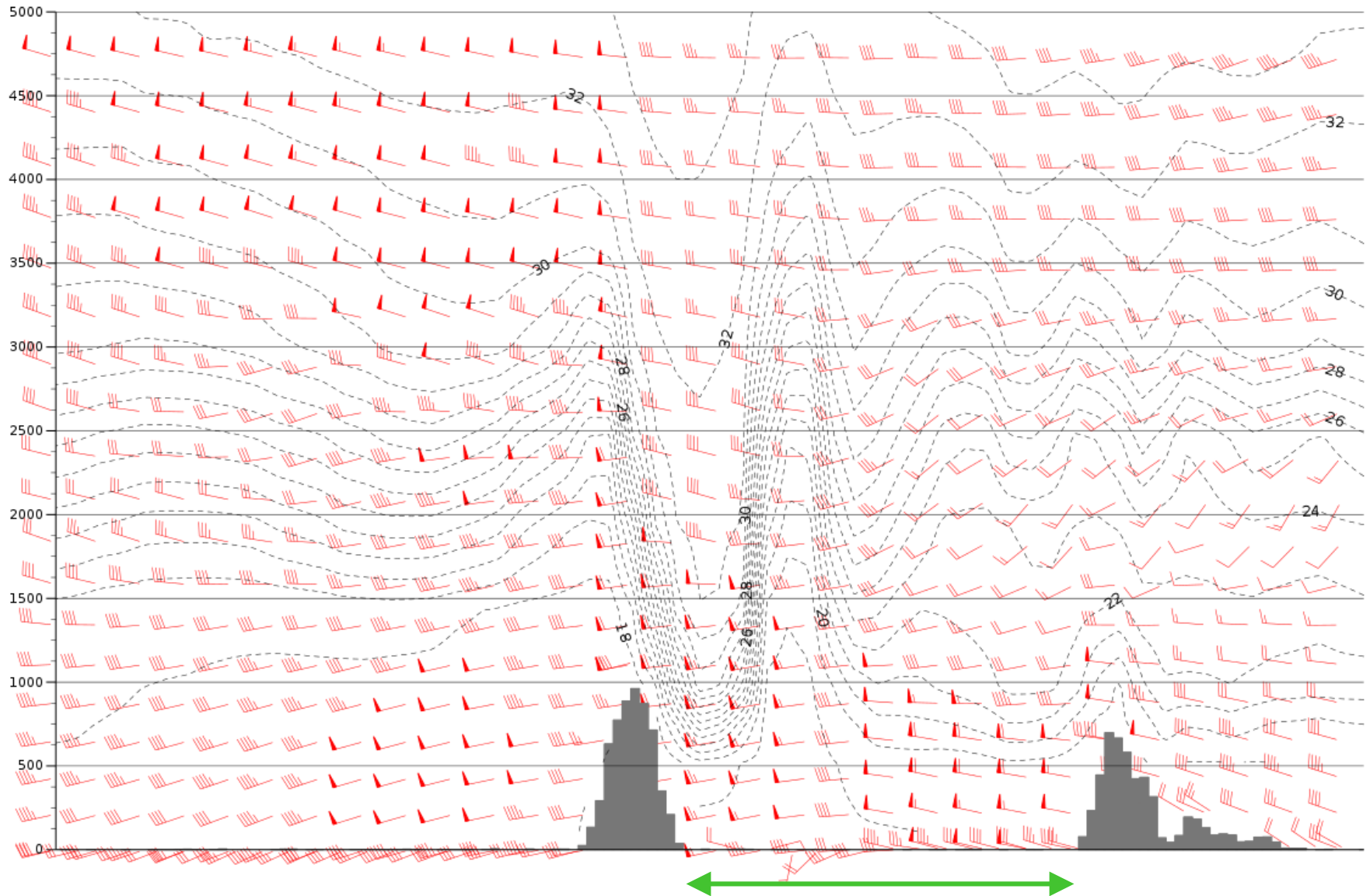
- Les déferlements
- Les lignes de convergences

Déferlement : exemple Cap Corse

AROME : T2m et vent 10m



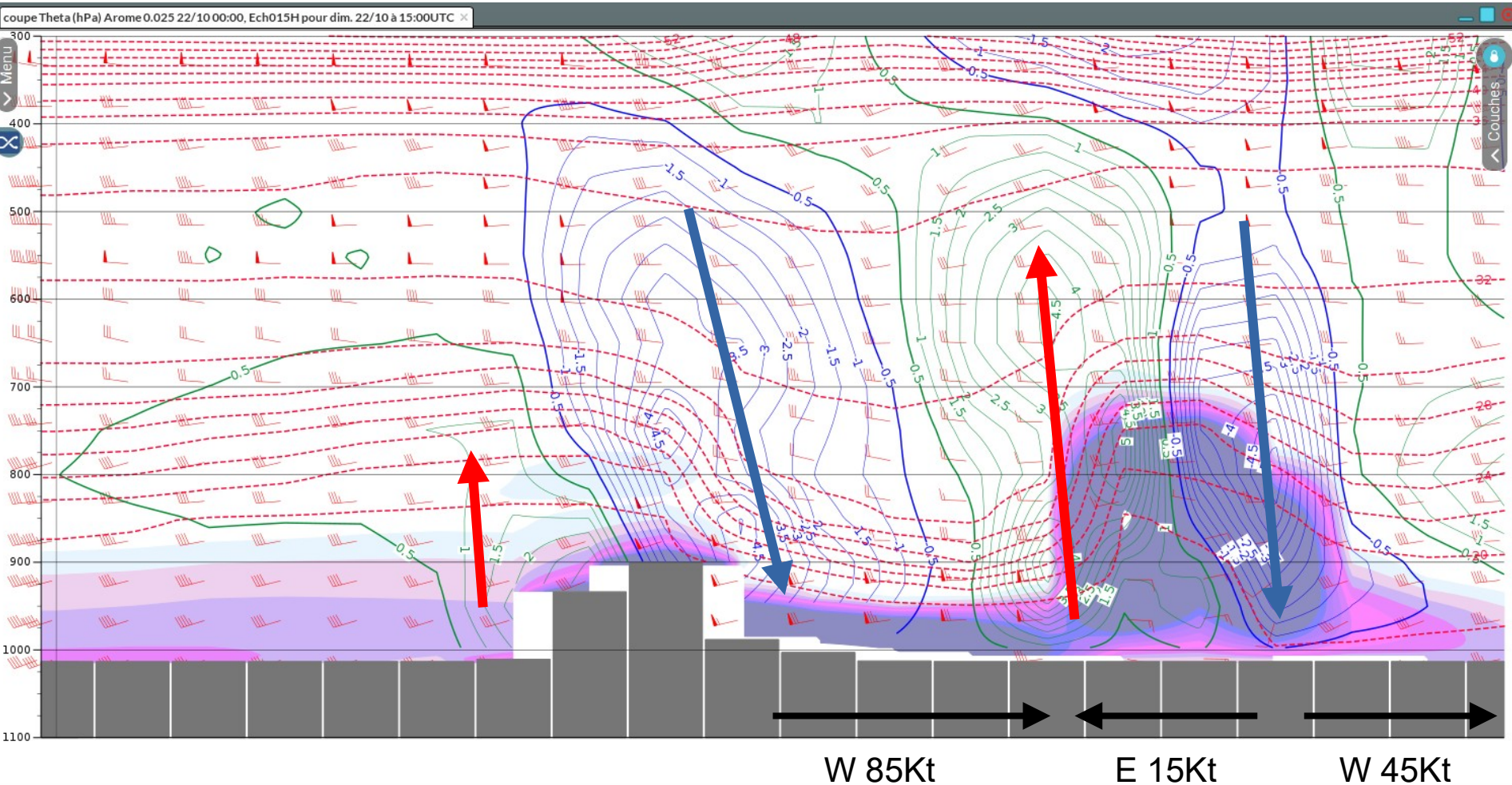
Déferlement : exemple Cap Corse (iso-Théta et Vent)



Propagation d'une onde : forte variabilité du vent en direction et force sur une longue distance

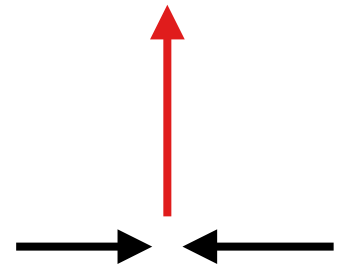
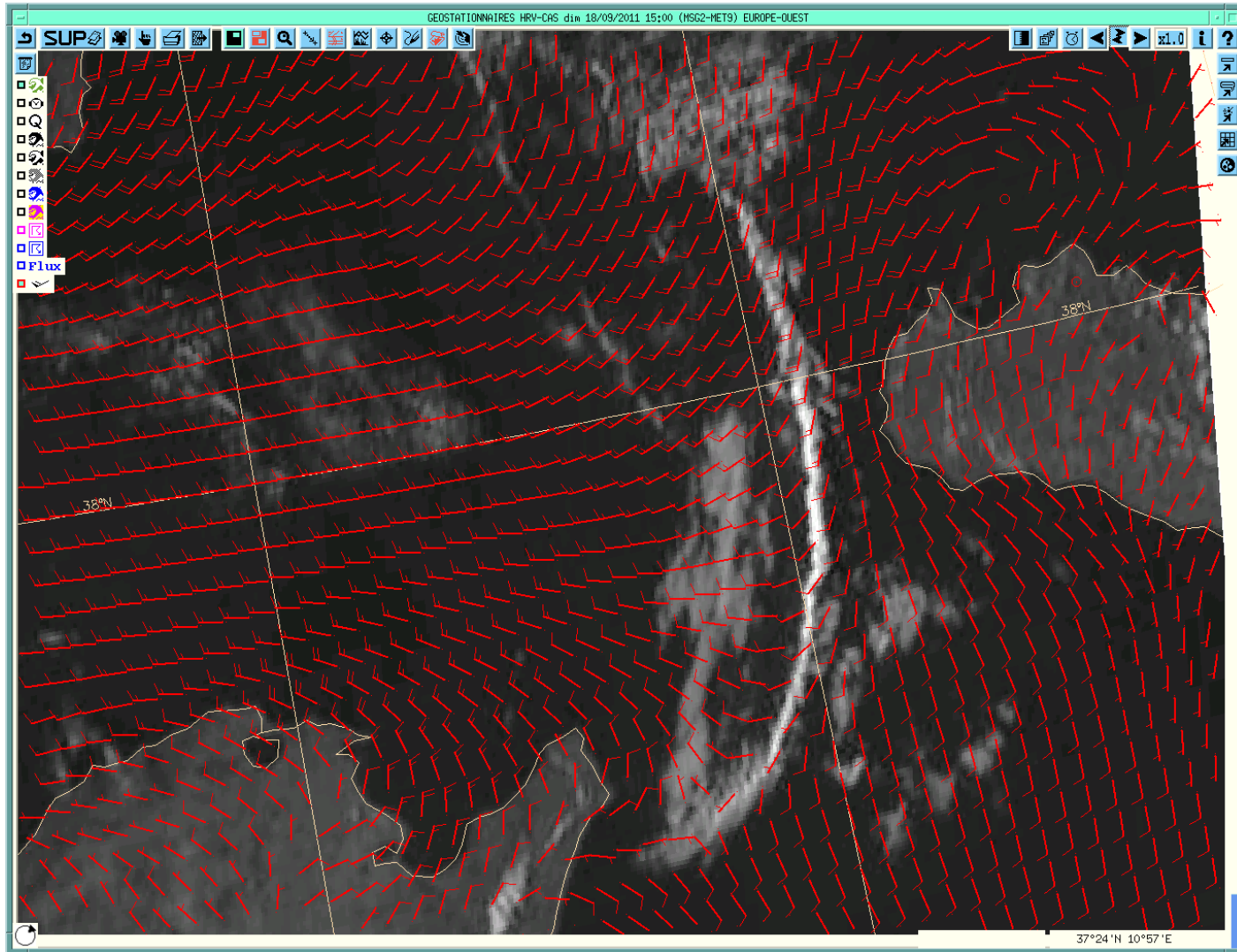
Déferlement : exemple au Cap Corse

AROME : vent, VV, θ , TKE



Propagation d'une onde : forte variabilité du vent en direction et force sur une longue distance

Ligne de convergence



Convergence au
sol :
ascendances,
développement
nuageux pouvant
aller jusqu'à l'orage

Trombe marine

Trombe marine – tornade terrestre



Une trombe marine est un phénomène tourbillonnaire se présentant sous la forme d'un entonnoir touchant une surface d'eau (mer, lac...).

Les trombes se rencontrent sous les Cumulus ou sous les Cumulonimbus dans certaines conditions d'instabilité et de cisaillement.

Une trombe est ordinairement moins puissante que la tornade, sa cousine terrestre.

Si la trombe parvient à toucher terre sur le littoral, elle deviendra tornade.

Porticello 19 août 2024



Vedettes, plongeurs et hélicoptère sont mobilisés pour tenter de retrouver des survivants suite au naufrage du Bayesian. |
VIGILI DEL FUOCO

Article de presse, Voiles et Voiliers

Porticello 19 août 2024 : Situation perturbée

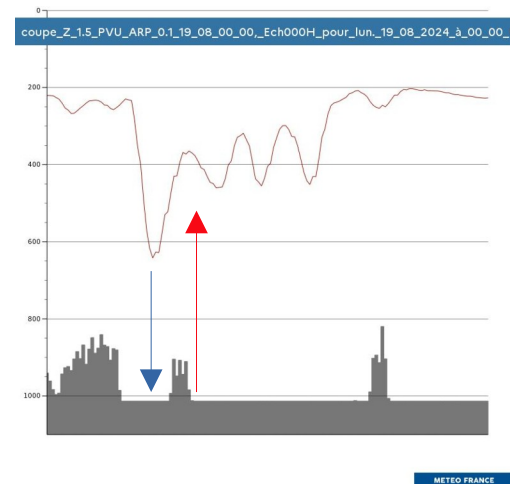
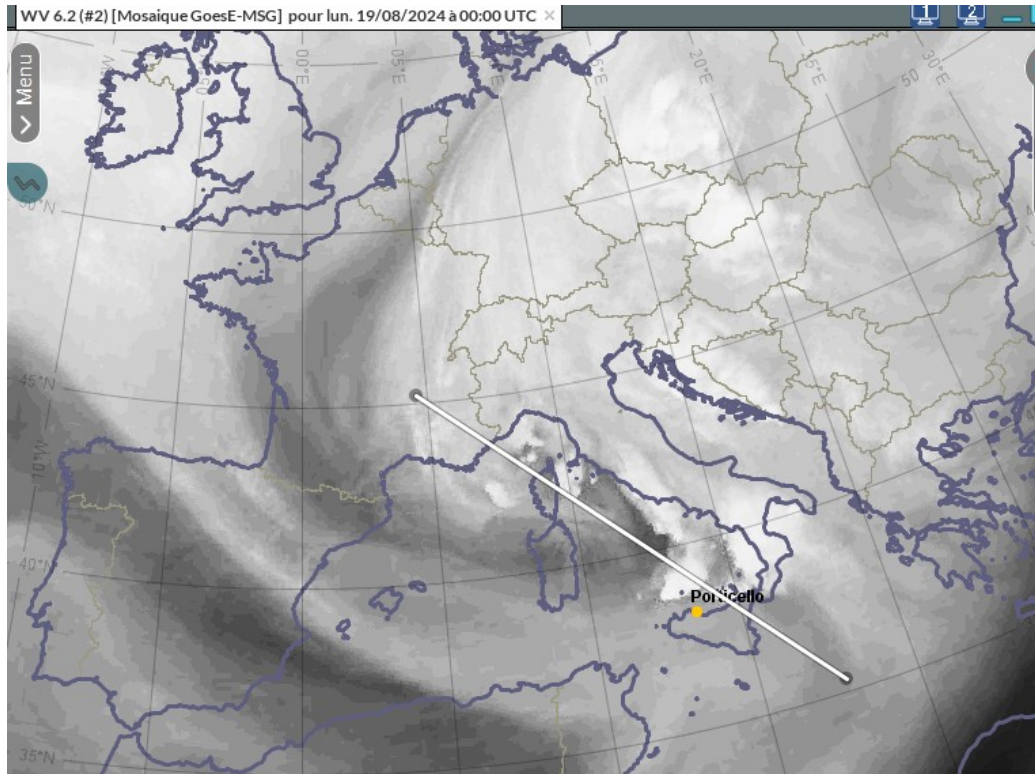


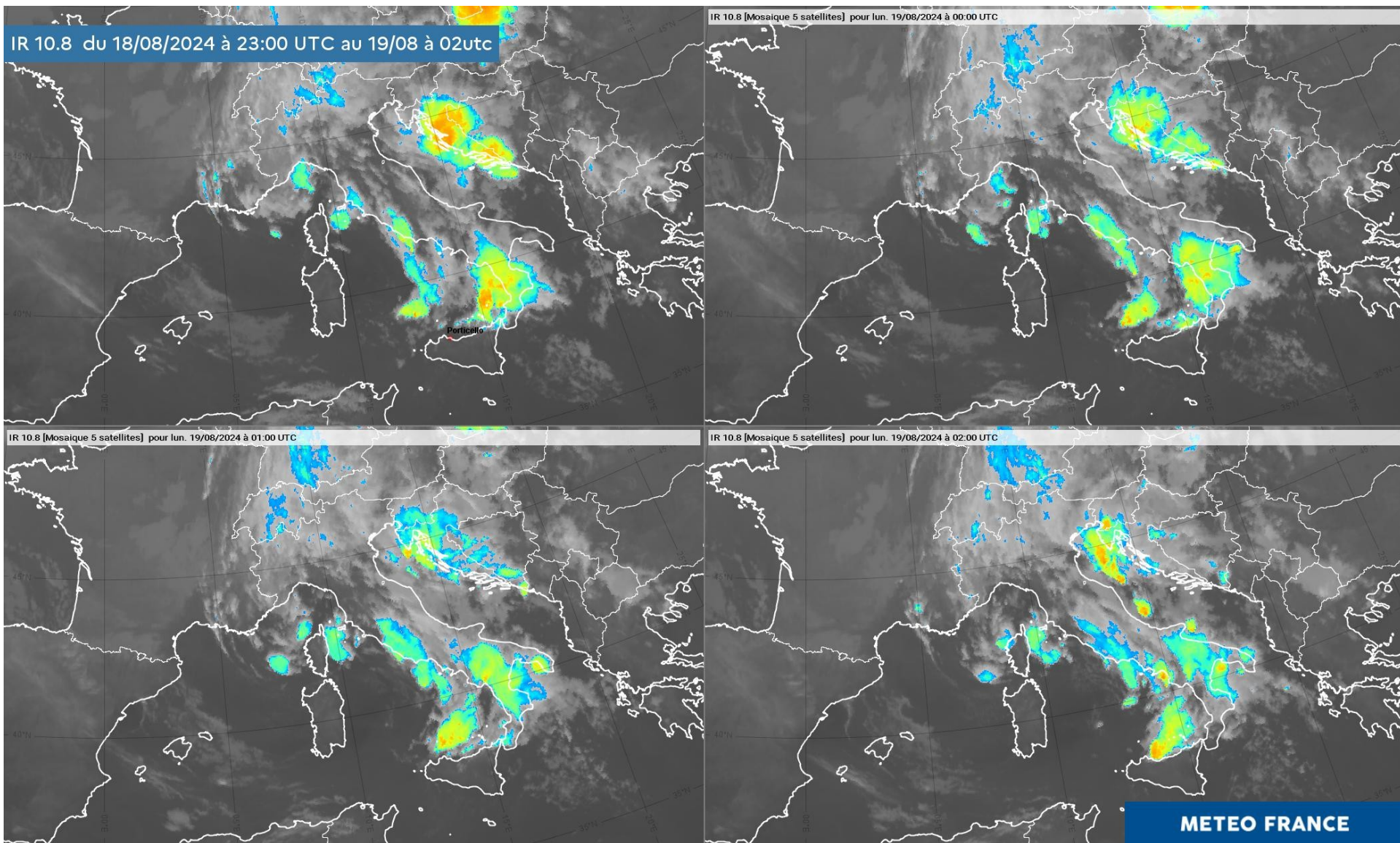
Image Infra-Rouge 6.2

T° vapeur d'eau

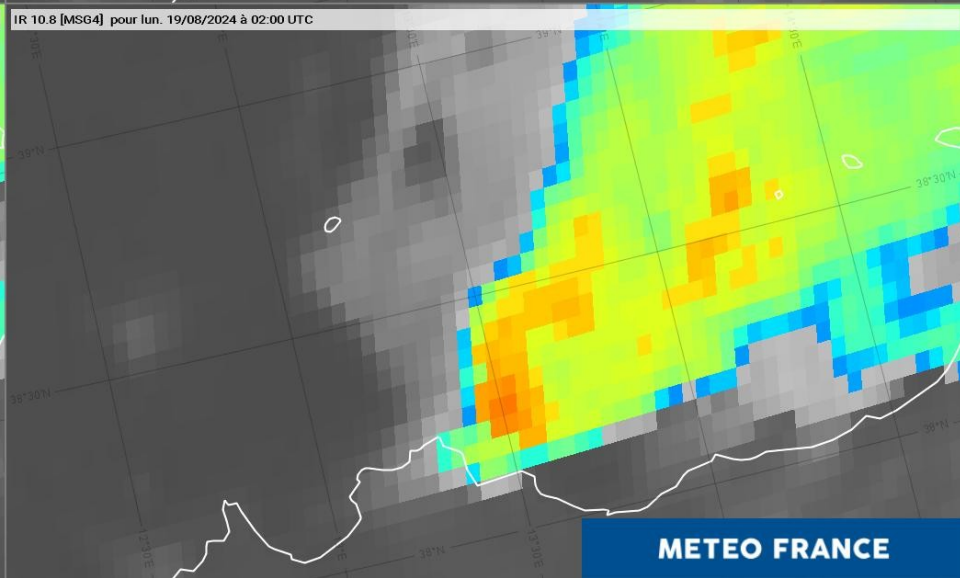
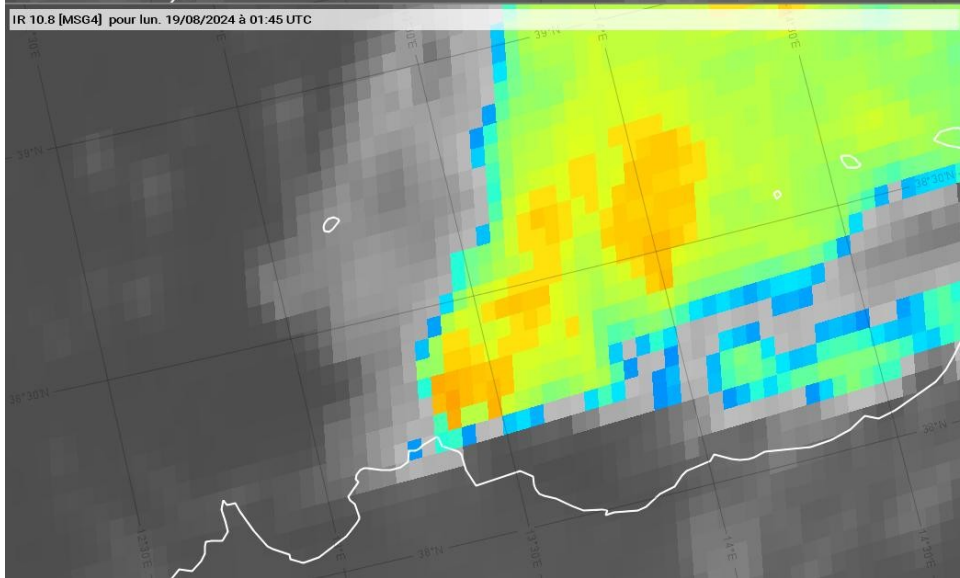
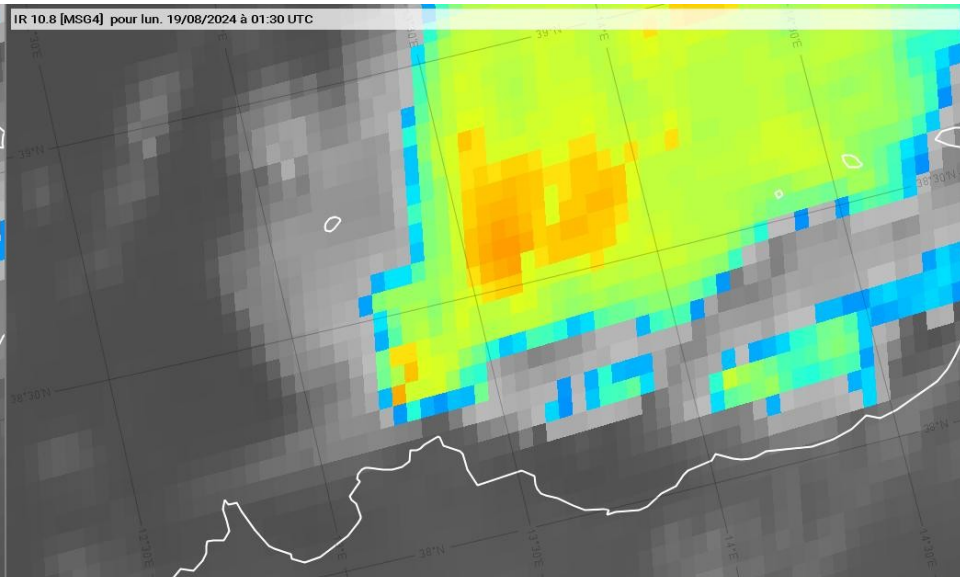
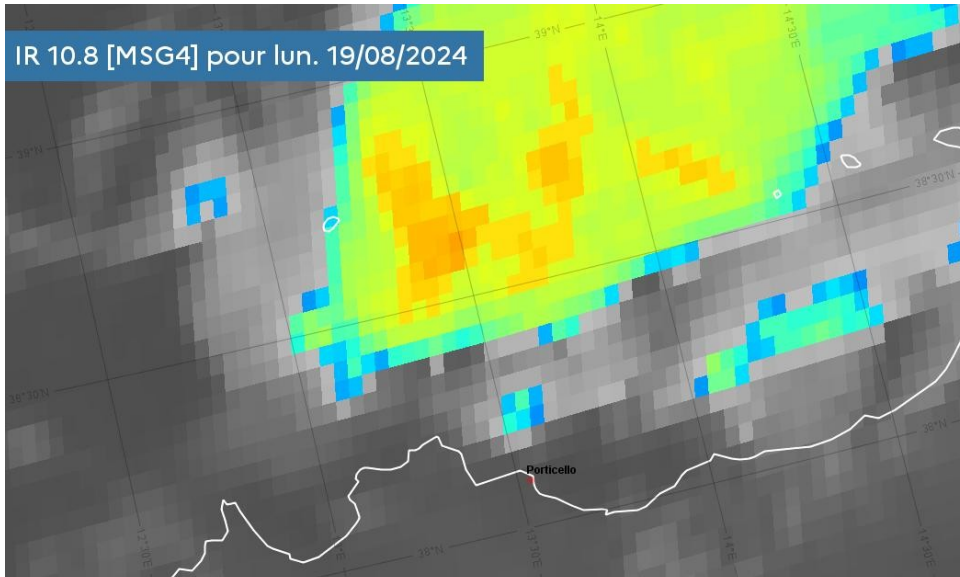
Les zones devenant sombres : subsidences

Les zones devenant blanches : ascendances

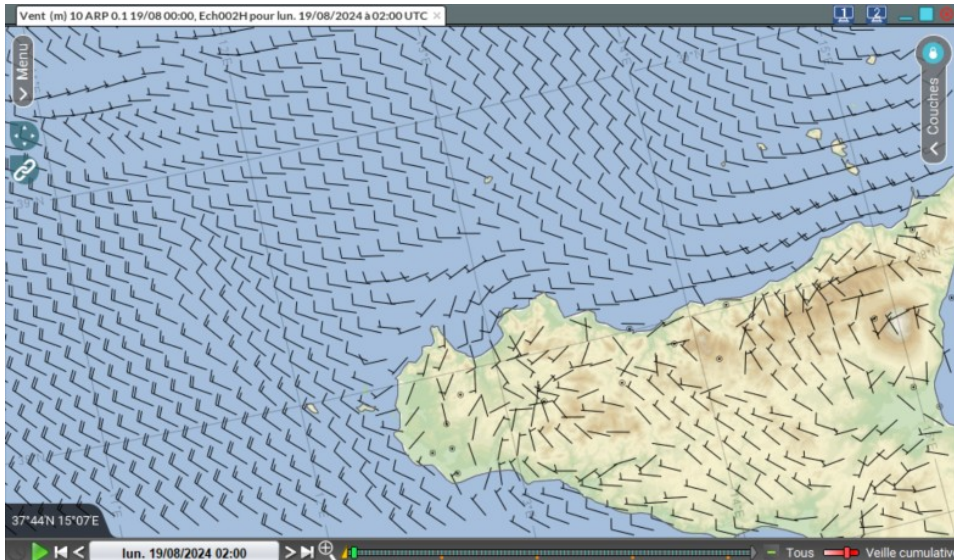
Porticello 18-19 août 2024



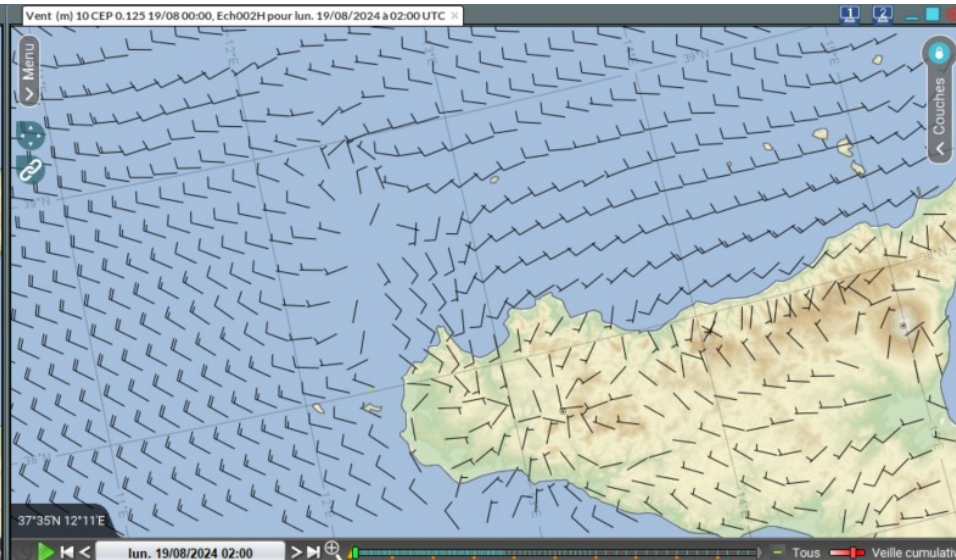
Porticello 18-19 août 2024



Porticello 18-19 août 2024

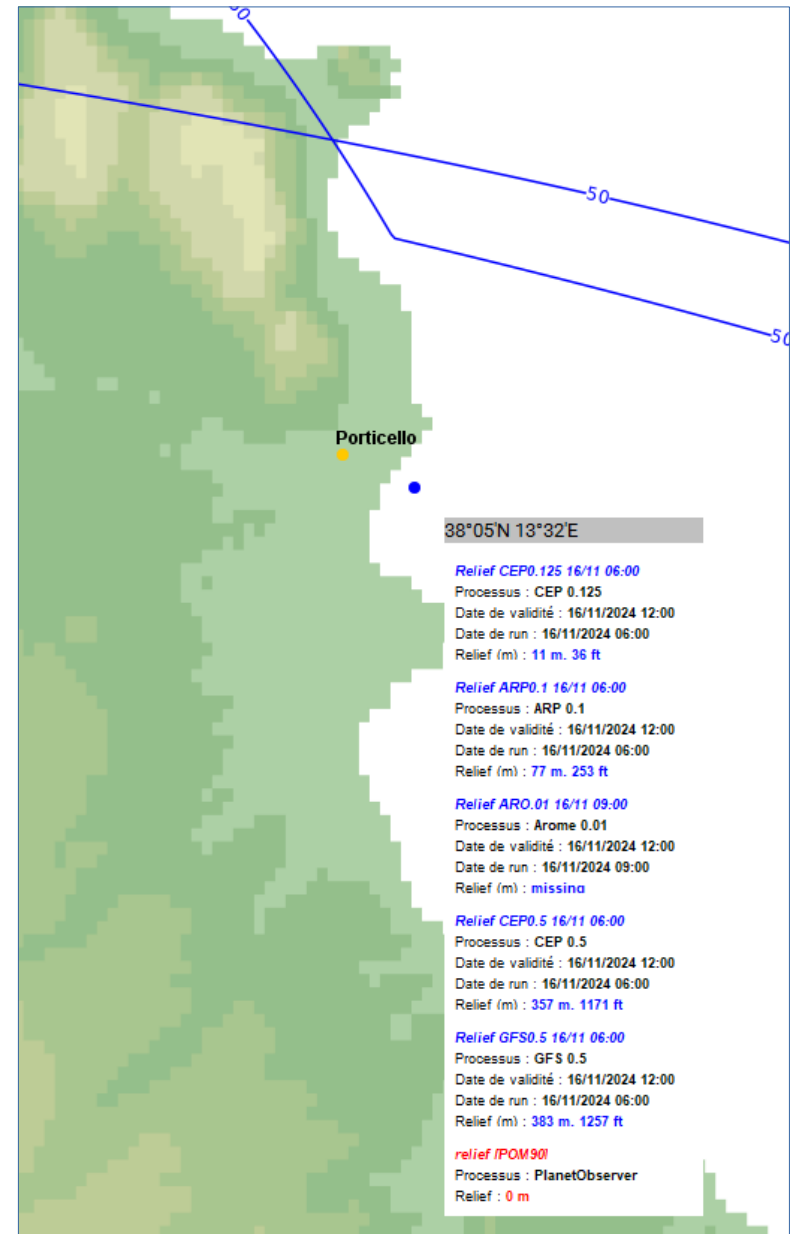
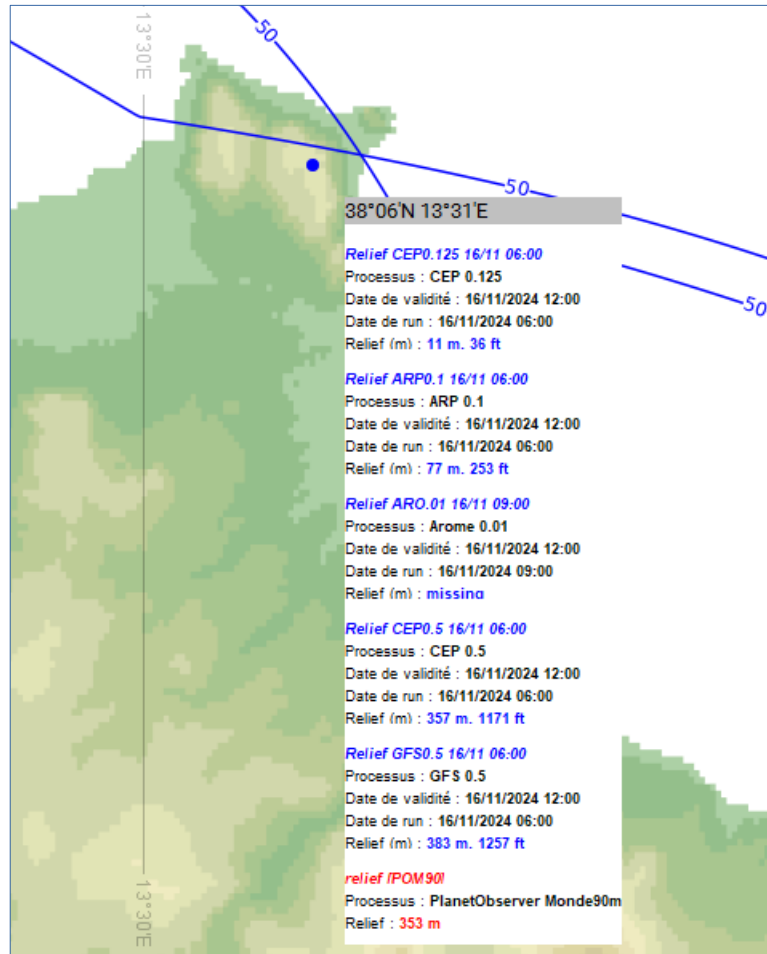


Vent 10m ARPEGE



Vent 10m, ECMWF

Relief, effet semi-venturi, representation dans les modèles



Le Guide Marine – Météo France

https://météofrance.fr/sites/météofrance.fr/files/files/editorial/Guide_marine_octobre2022.pdf



Pour les professionnels de la mer et les plaisanciers.

Le Guide marine indique tous les moyens pour s'informer de la situation météorologique en mer : horaires, fréquences radio, contenu des bulletins diffusés par VHF, BLU, Navtex, radiodiffusion, satellite, fax, téléphone et Internet.

Il contient également :

- les cartes des zones marines,
- les échelles Beaufort et d'état de la mer
- un lexique français-anglais de météo marine.