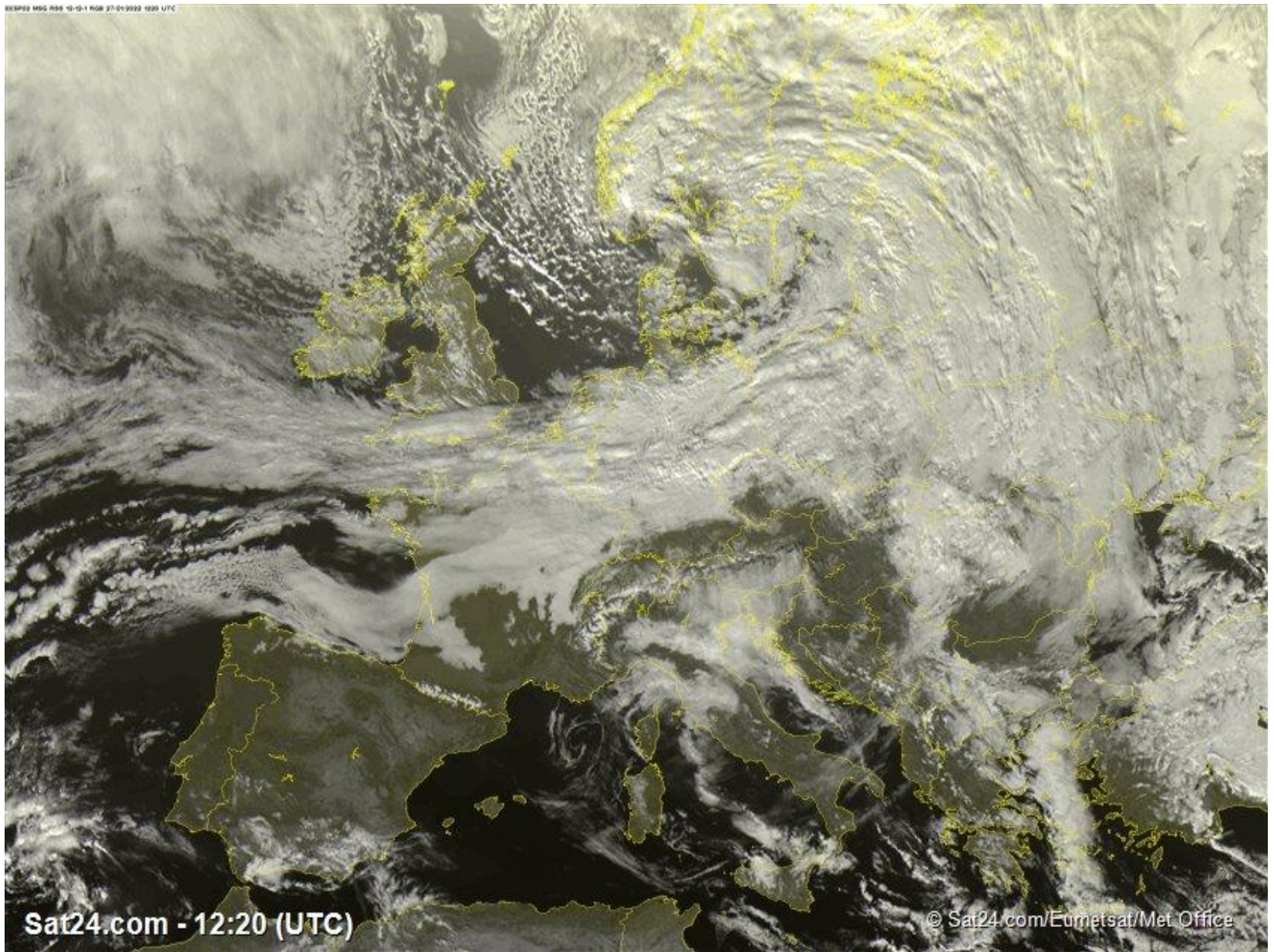


# METEOROLOGIE



# LA METEOROLOGIE

## 1 - Généralités sur l'atmosphère

- 1.1 température, humidité, visibilité ;
- 1.2 pression atmosphérique (sol – altitude).
- 1.3 le vent
- 1.4 la mer

## 2 – Frontologie

- 2.1 le bilan radiatif
- 2.2 la circulation générale atmosphérique
- 2.3 les masses d'air

# L'ATMOSPHERE

# L'ATMOSPHERE

Chaleur latente de condensation / d'évaporation (J/Kg)

L'atmosphère ➡ **la troposphère**

Troposphère → altitude variable :

- tropopause basse pôles : 7 km,  $-50^{\circ}\text{C}$  ;
- tropopause haute équateur : 18 km,  $-80^{\circ}\text{C}$  ;
- tropopause moyenne zones tempérées 13 km,  $-56^{\circ}\text{C}$ .

(ISS 330/420 Km)

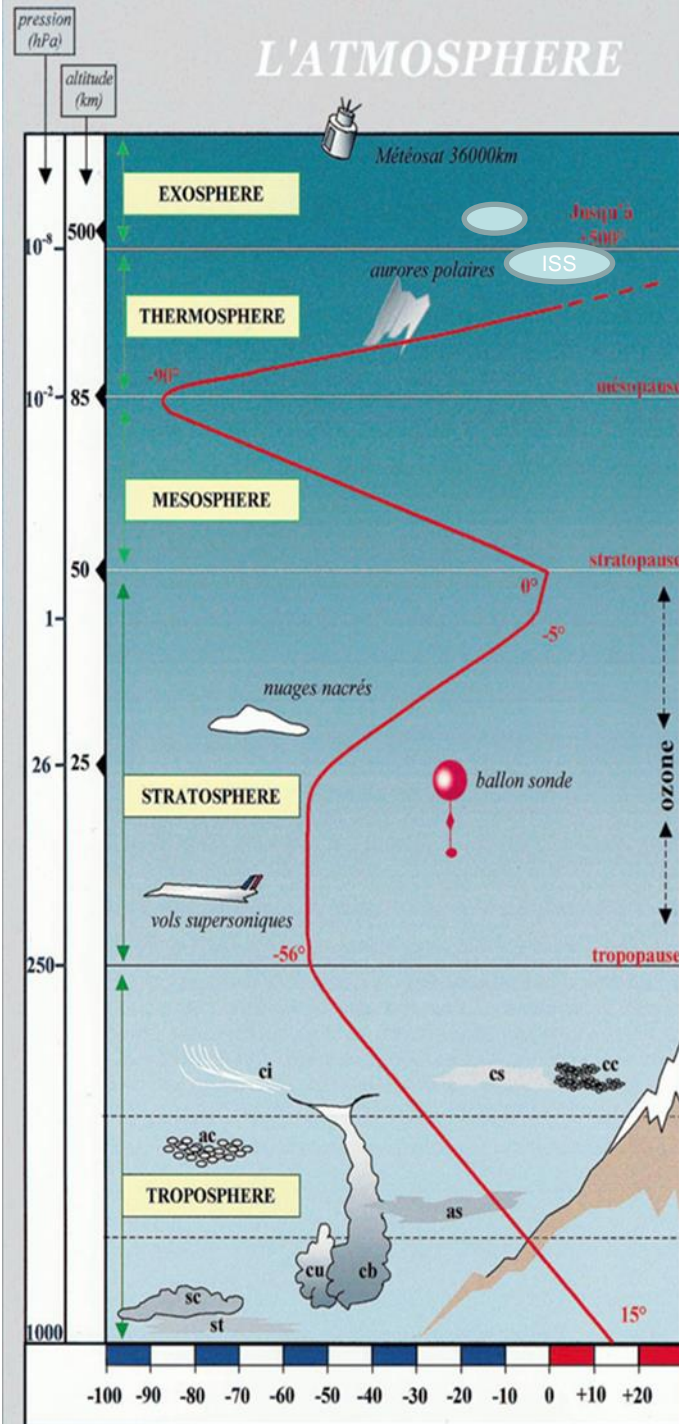
**T,U,P** décroissent avec l'altitude, 50% de la masse de l'atmosphère dans 5 km ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ).

Exception faite des nuages à fort développement vertical, les nuages se concentrent essentiellement dans la basse et moyenne troposphère ( $Z \leq 5000/6000$  mètres).

Nuages : 60% de la surface du globe.

**Atmosphère standard** :

P: 1013,25 hPa, T :  $15^{\circ}\text{C}$  ( $288,15^{\circ}\text{K}$ ),  $\Delta T$  :  $1^{\circ}\text{C}/100$  m air sec,  $0,65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  air saturé, T Tropo  $-56,5^{\circ}\text{C}$ .



**AU SOL**

**TEMPERATURES, HUMIDITE, VISIBILITE**

**EN ALTITUDE**

**PROFILS VERTICAUX DE TEMPERATURE**

**INVERSIONS DE TEMPERATURE**

# LA TEMPERATURE : **Température du thermomètre sec** **au niveau du sol**

T max : + 58°C en Libye

T min HN : -78°C en Sibérie,

T min HS : -94,5°C Vostok

T max. à 14h00 loc.(bilan ray soleil / terre - brise)

T min. 1 heure après lever du soleil (brouillard)

**Grande variation de la température dans la journée.**

**Air sec : toujours vapeur d'eau.**

**Température du point de rosée Td** (formule de Tetens):  
température à laquelle il faut refroidir un volume d'air, à pression et humidité constantes, pour qu'il devienne saturé. Caractérise une masse d'air.

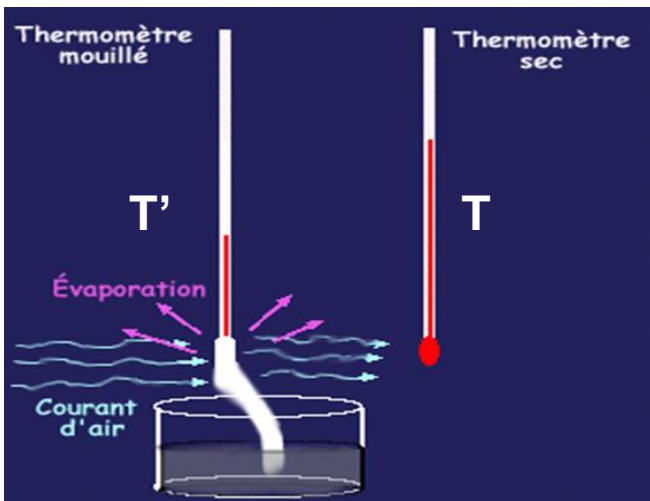
**Td** : relative stabilité dans le temps, sensiblement identique au sein d'une masse d'air donnée , discontinuité dans l'espace indique changement de masse d'air.

Evolution de Td :  $T = T_d \leftrightarrow$  saturation, si évolution se poursuit  $\rightarrow$  condensation  $\rightarrow$  précipitations.

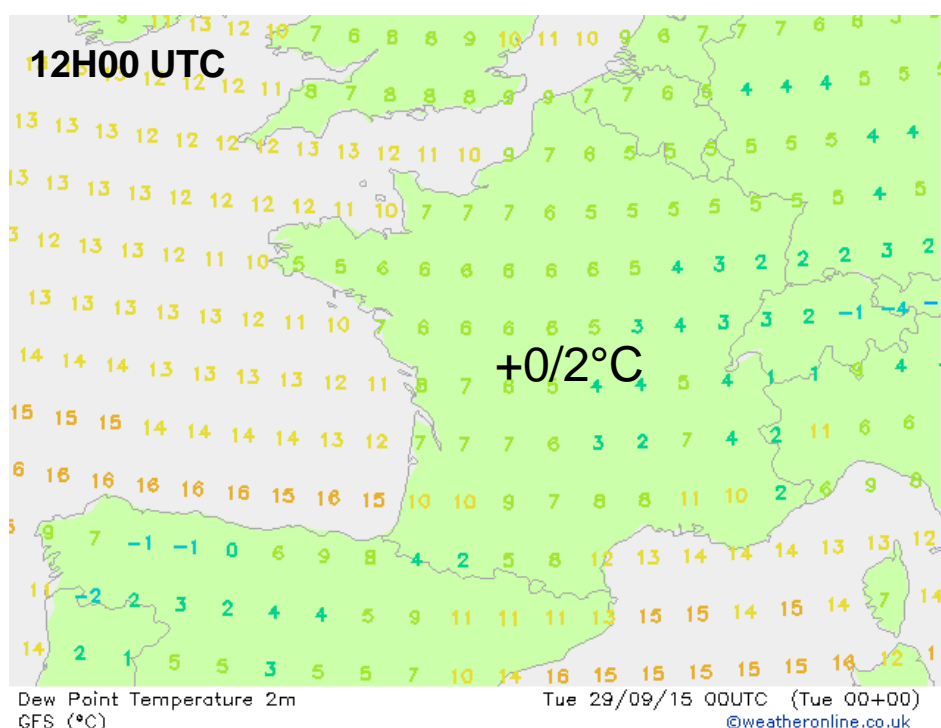
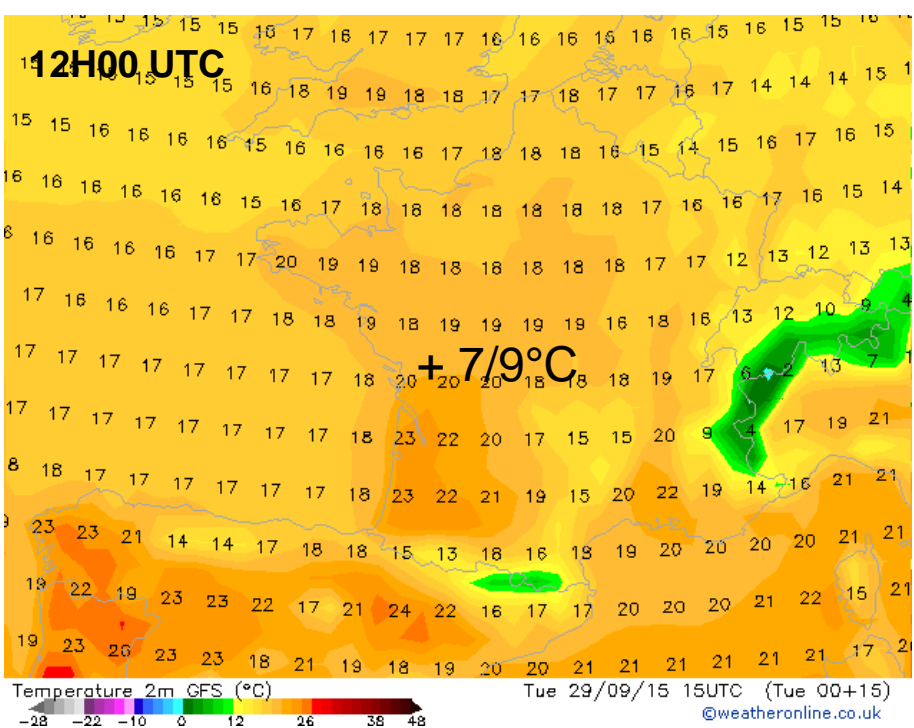
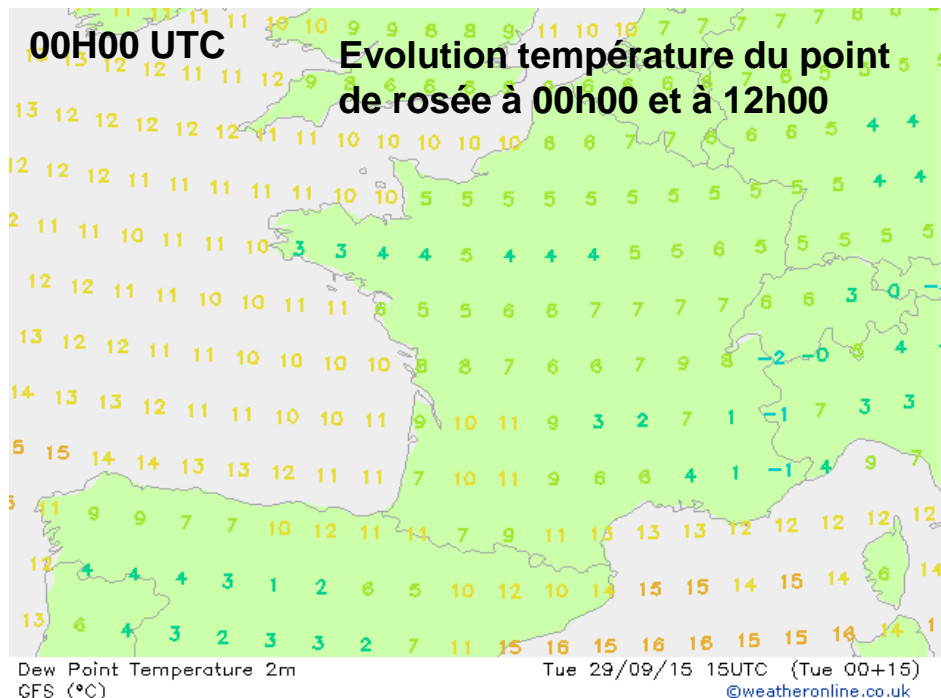
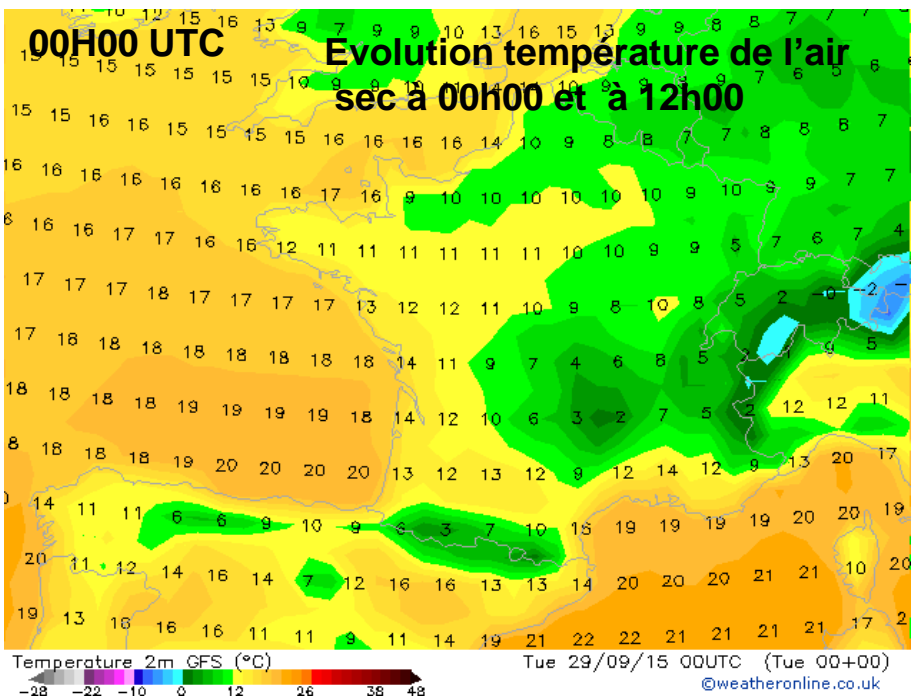
La chaleur latente modifie l'état physique d'une matière solide, liquide ou gazeuse par opposition à la chaleur sensible qui modifie la température d'une matière. la chaleur de vaporisation ou de condensation est de 2 454 kJ/kg à 20°C et de 2 501 kJ/kg à 0°C.

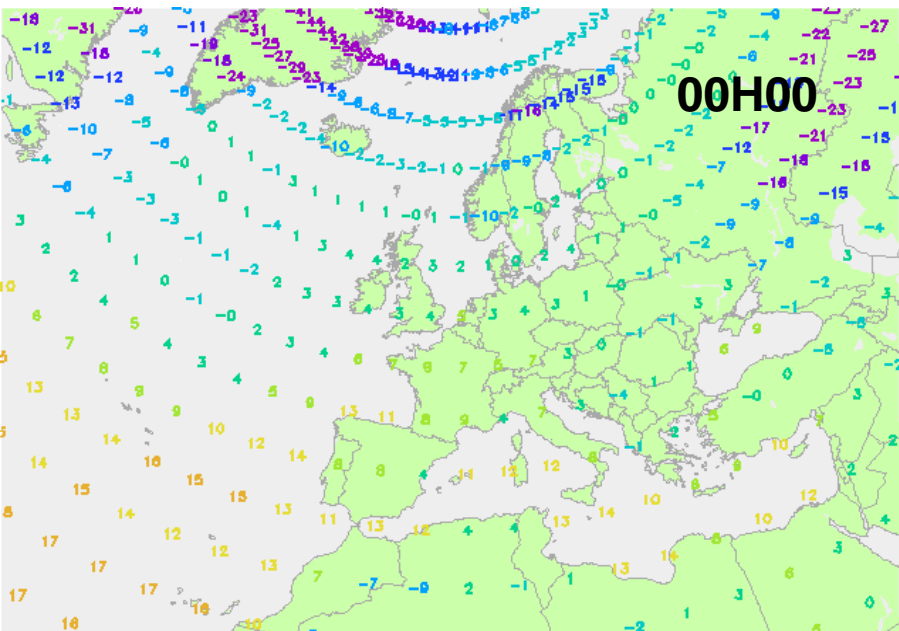
Arrivée d'air chaud et humide bordure SW anticyclone (flux de SW),  $T_d \uparrow$  .  $T_d$  et  $T_{mer}$

Variations diurnes, rayonnement nocturne, inversion de température au sol, brouillard.



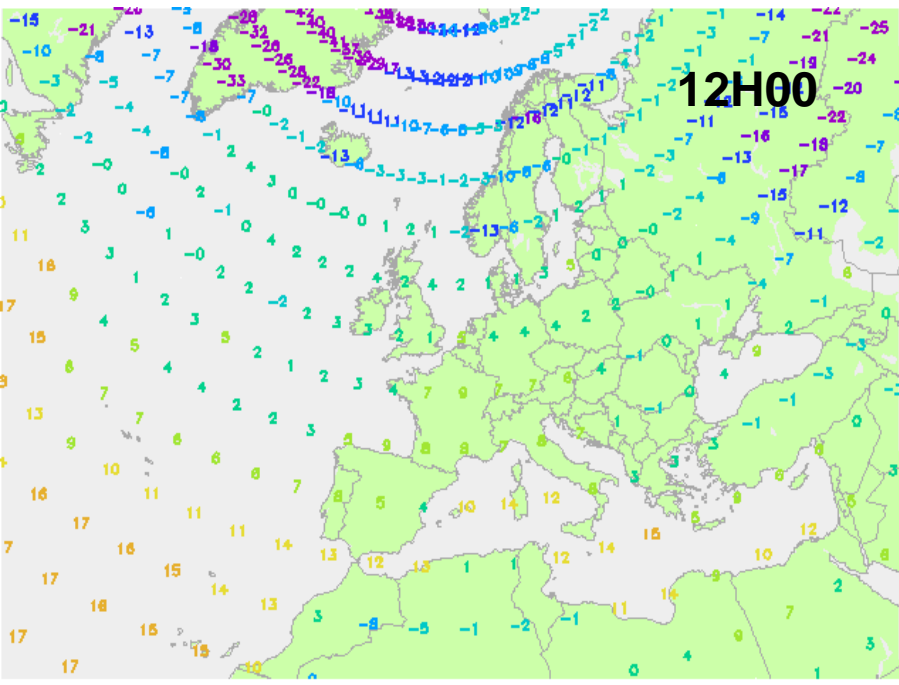
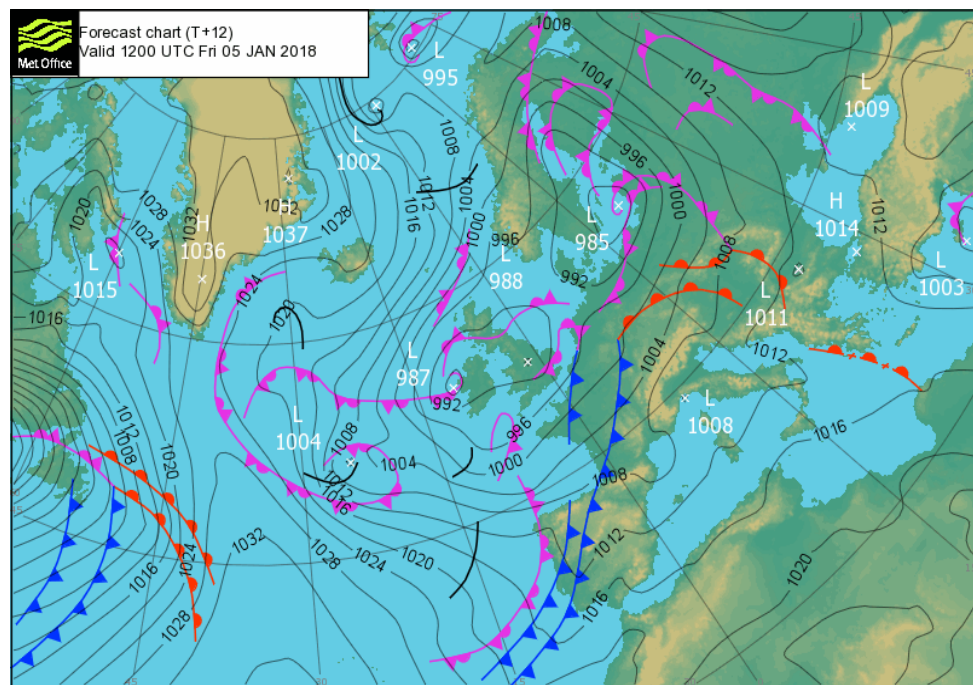
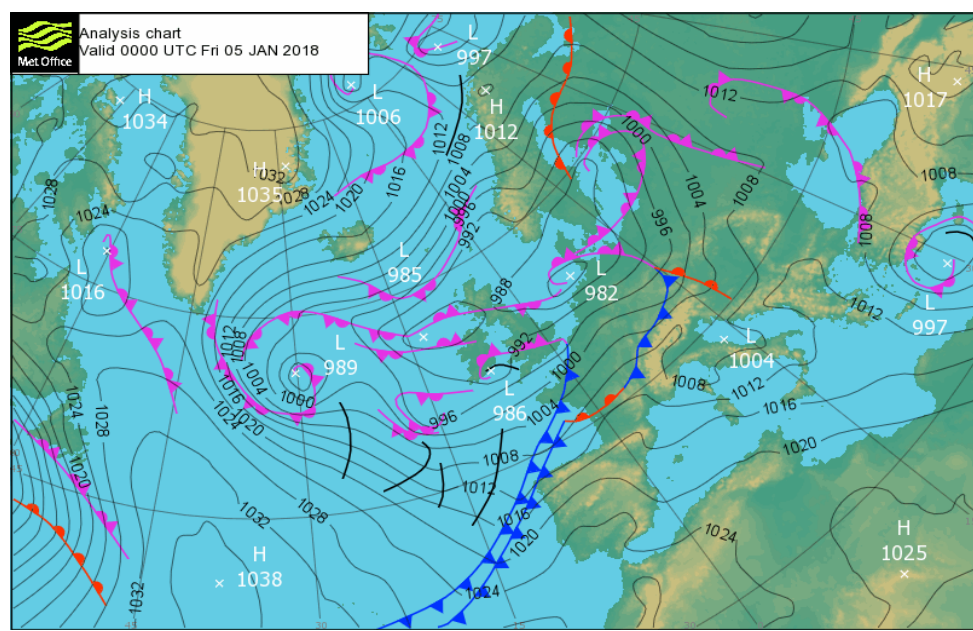






Dew Point Temperature 2m  
GFS (°C)

Fri 05/01/18 00UTC (Fri 00+00)  
@weatheronline.co.uk



Dew Point Temperature 2m  
GFS (°C)

Fri 05/01/18 12UTC (Fri 00+12)  
@weatheronline.co.uk

# EVOLUTION DE LA TEMPERATURE AU SOL ET VISIBILITE HORIZONTALE

## Brouillard



- Plus petite distance à laquelle on peut apercevoir un objet.

- Réduite par la présence d'eau liquide ou solide en suspension dans l'air (pluie, bruine, grains, brume).

- En mer on parle de **brume** lorsque la visibilité est réduite hors précipitations ( $V < 1$  km,  $1 < V < 5$  km) :

- **brouillard d'advection** (air chaud sur mer froide - brouillard marin).

- **brouillard de rayonnement** (près des côtes, ciel clair, air humide, vent faible inf à 7 nds).

- **brouillard d'évaporation** (air froid sur mer + chaude), latitudes élevées, étangs et lacs en hiver.

- **brouillard de mélange** (rare)

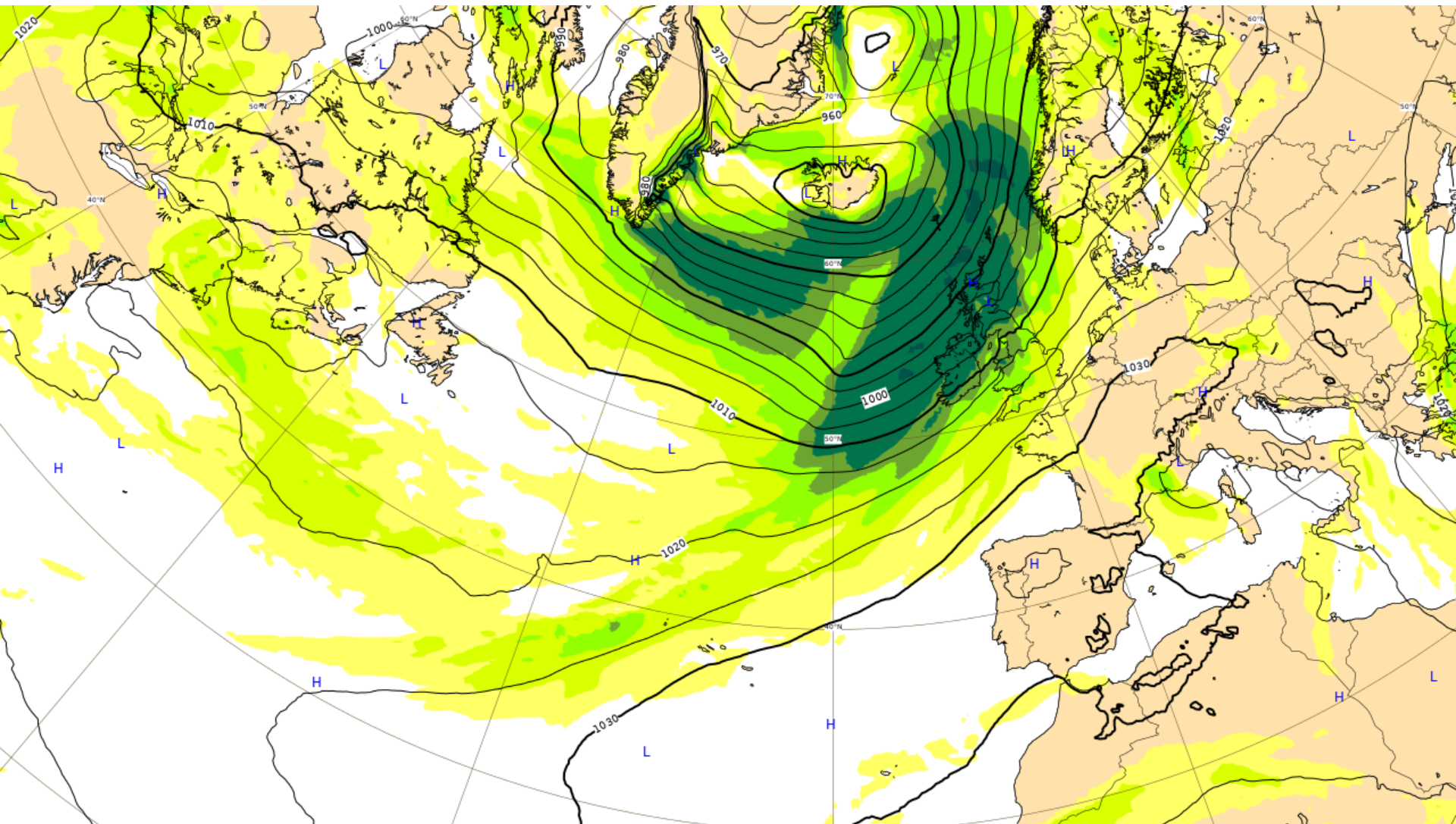
La brume en mer se rencontre souvent par vents faibles (marais barométrique), parfois dans le secteur chaud des perturbations (b. advection même par vents forts), près de la côte par dérive du brouillard de rayonnement formé sur terre (fin brise de terre), upwelling.

Elle représente toujours un danger en mer et nécessite de veiller avec la plus grande vigilance (signaux de brume conventionnels).

**Ouessant** : 49 jours de brouillard par an, 7/8 jours par mois de juin à septembre.

**Penmarc'h** : 28 j/an 3/4 J par mois juin/septembre.

Situation météo favorable à la formation de brouillard d'advection  
Marge sud d'une perturbation circulant dans un flux de SW



Mardi 07 janvier 2020 à 12h00 UTC

# LA TEMPERATURE en altitude

Evolution de la température dans le plan vertical :

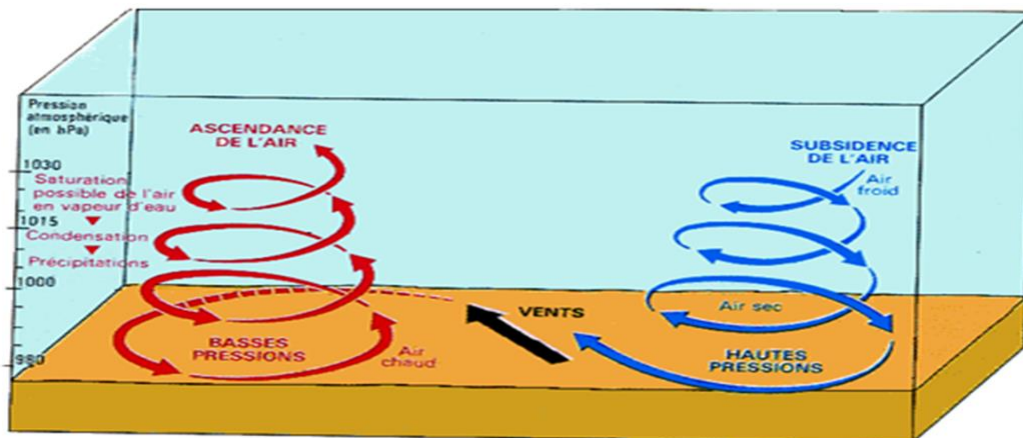
- 1°/100m air non saturé,
- 0.65°C/100m air saturé

**Transformations adiabatiques** (sans échange d'énergie avec le milieu extérieur)

**Ascendance :** (détente adiabatique) → refroidissement → ( $T \searrow$   
 $U \nearrow$ ) → saturation ( $T=T_d$ ) → condensation → nuages si poursuite  
du phénomène : → précipitations  $T$  et  $T_d \searrow$ . Ascendance forcée  
sur les pentes frontales.

**Inversement**

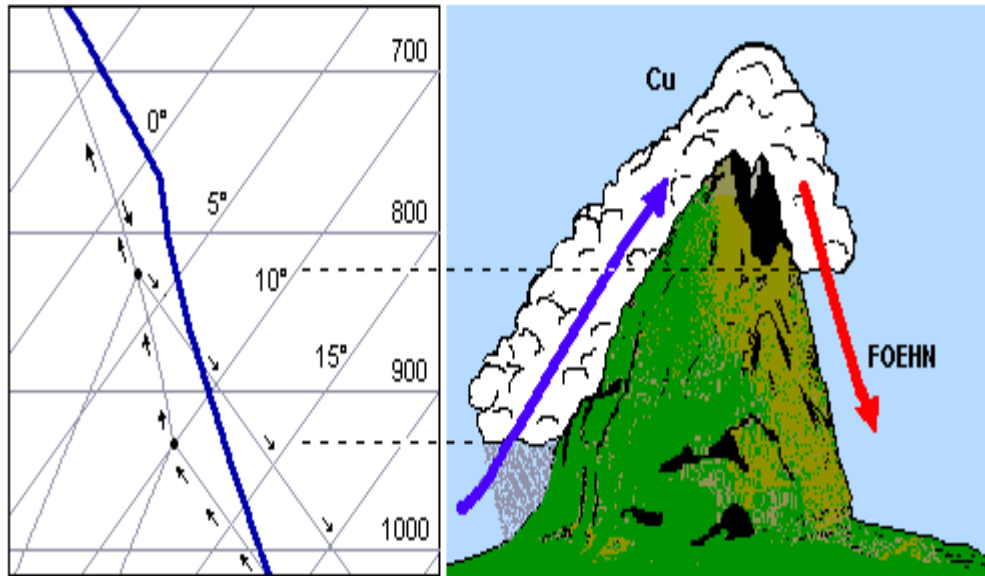
**Subsidence :** (compression adiabatique) → réchauffement → ( $T \nearrow$   
 $U \searrow$  ( $T \neq T_d$ ) → désaturation assèchement → disparition des  
nuages.



**Subsidence** en bordure et  
au centre des cellules  
anticycloniques.

**Ascendance** en bordure et  
au centre des dépressions

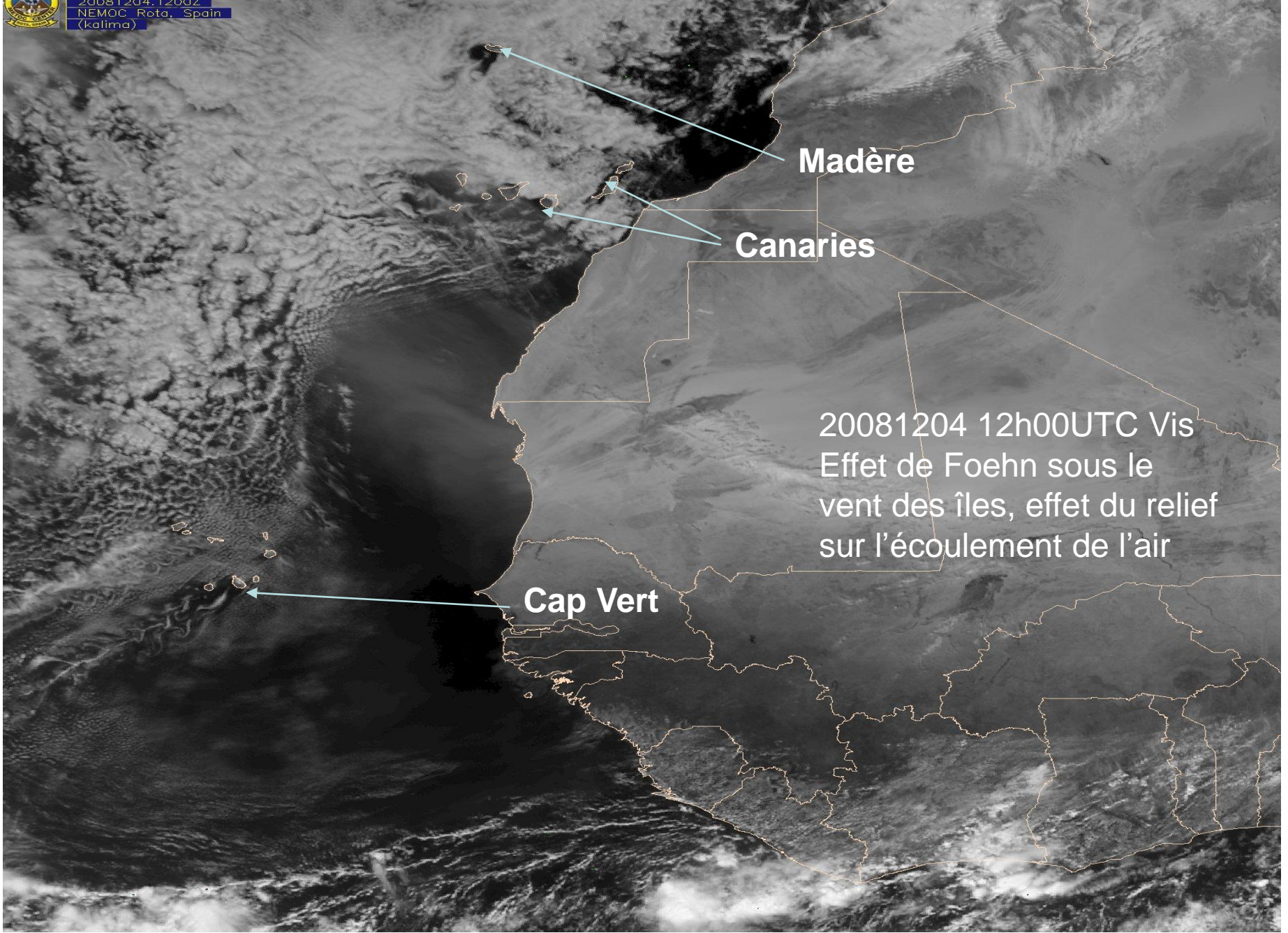
# Niveau du sol, évolution forcée température / humidité



## Humidité :

- Obstacle physique : précipitations au vent du relief, assèchement de la masse d'air et hausse de la température sous le vent du relief : effet de Foehn : Pyrénées, îles montagneuses (températures, nuages, précipitations) ;
- Discontinuité thermique : précipitations à la limite entre deux **masses d'air** de caractéristiques différentes dans zones frontales.

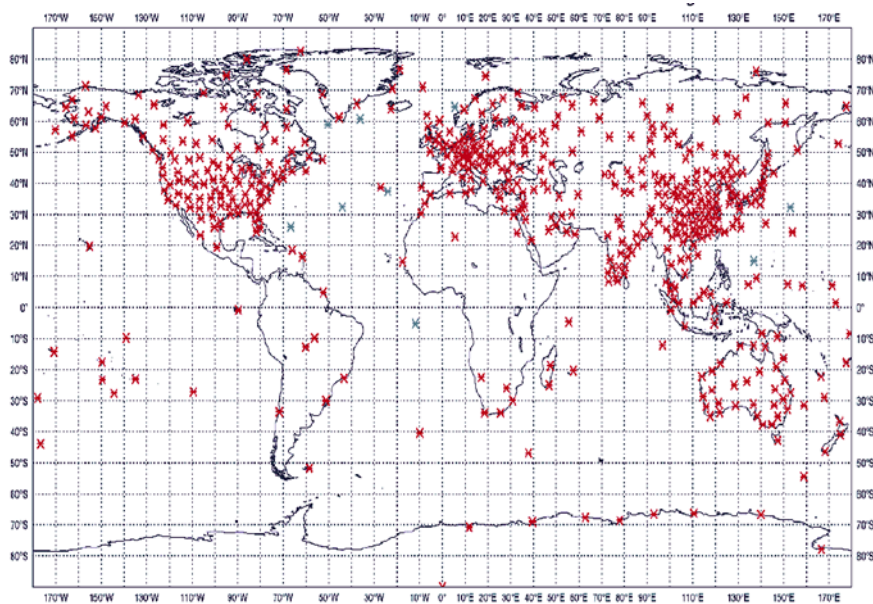




Action du relief sur l'écoulement de l'air :  
nuages orographiques



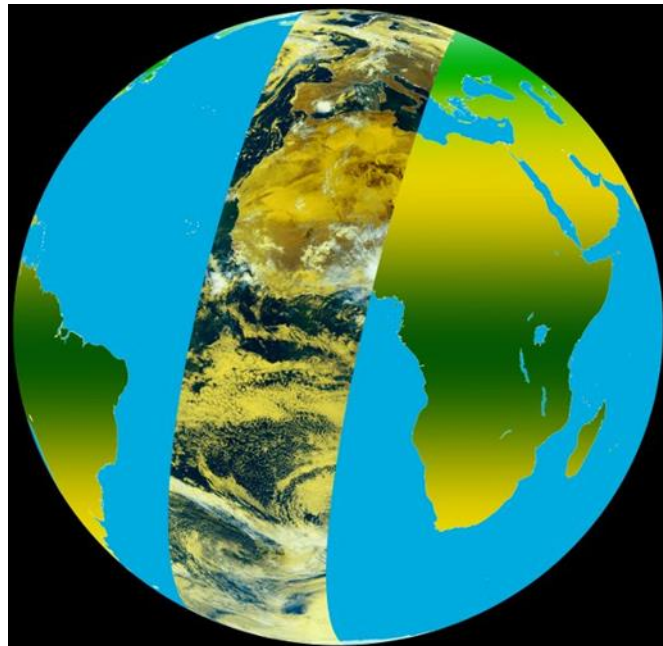
## R.S. (+qq bateaux)



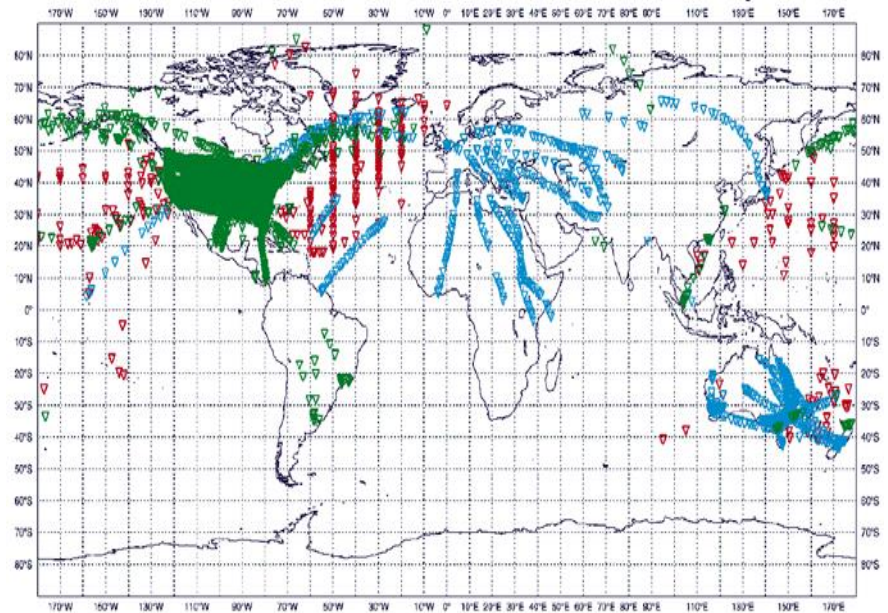
## Mesure de la température en altitude



## Satellites à défilement $\approx 830$ km (MTO + SAR)



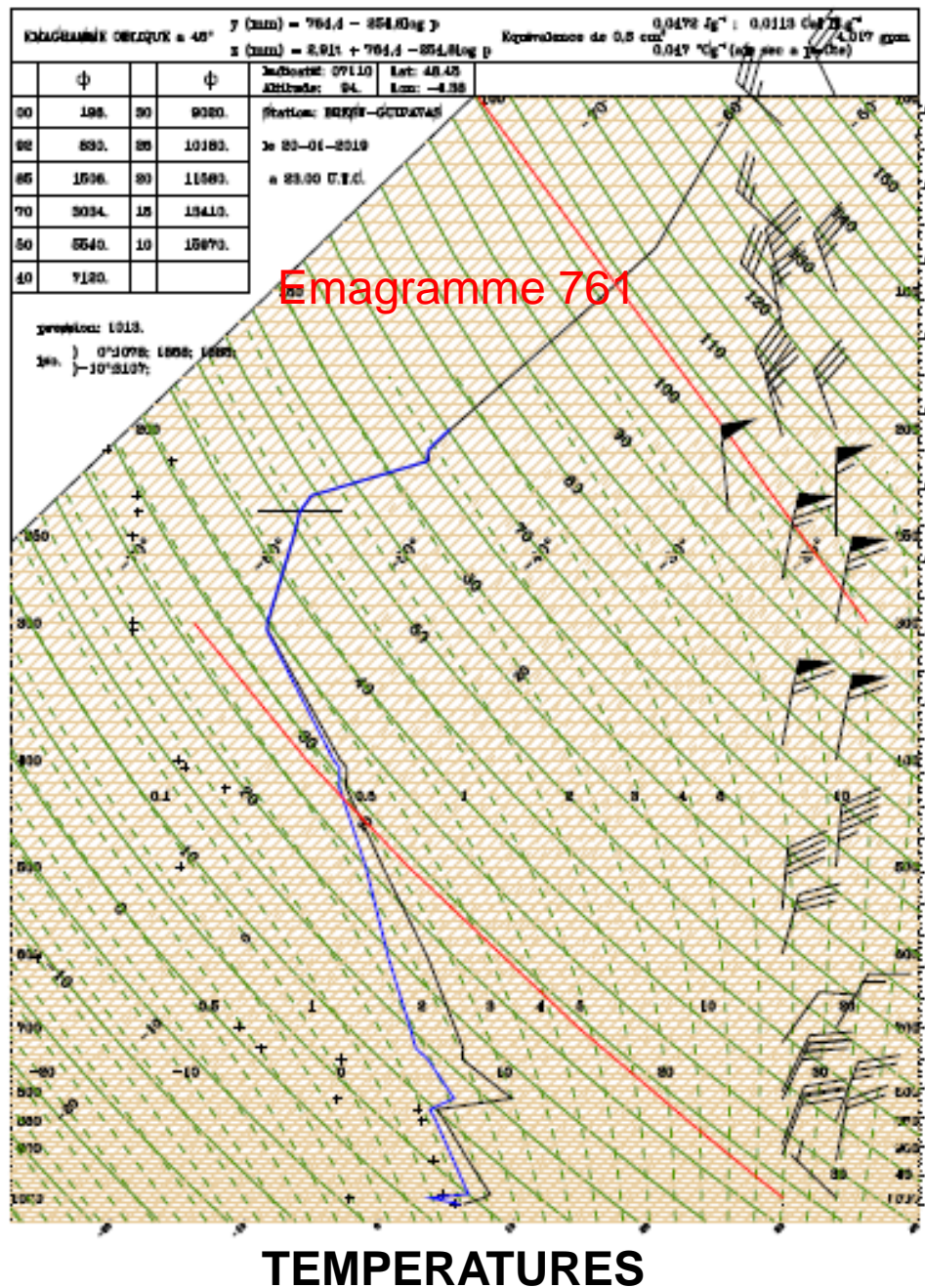
## Avions



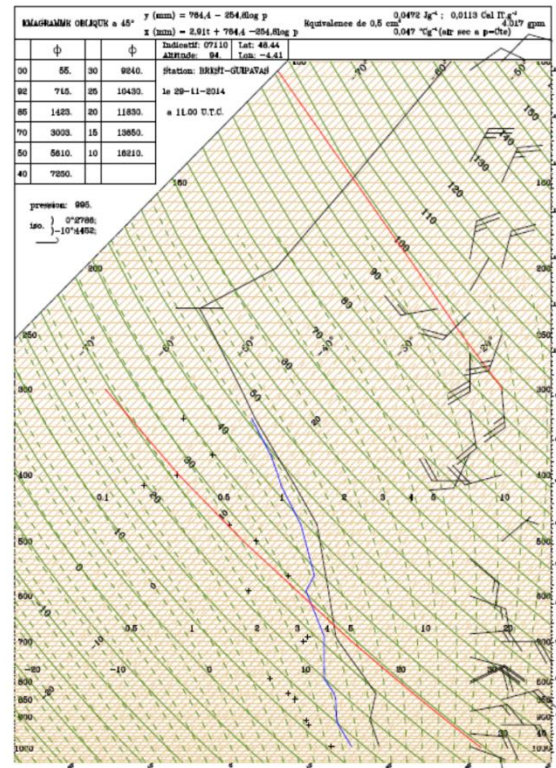
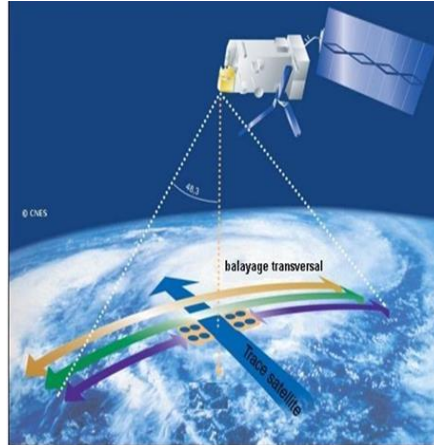
## Sondage en altitude :

- Profils verticaux de températures
- Stabilité et instabilité des couches atmosphériques
- Couches saturées et non saturées
- Altitude de la tropopause
- Correspondance altitudes, pressions, températures
- Détermination de l'épaisseur des couches nuageuses
- Mise en évidence inversions de température
- Mesure des vents en altitude
- CAPE (énergie potentielle de convection disponible (EPCD) ou *convective available potential energy* (CAPE))
- Trainées de condensation
- Altitude isothermes 0°C et -10°C
- ....

ALTI  
TUD  
ES  
/  
PRE  
SSI  
ONS



# Humidité, stabilité et instabilité en altitude et nuages



Deux principaux états de la troposphère :  
**Stabilité  $\Delta T$  -4/-5°C/1000m (air saturé)**

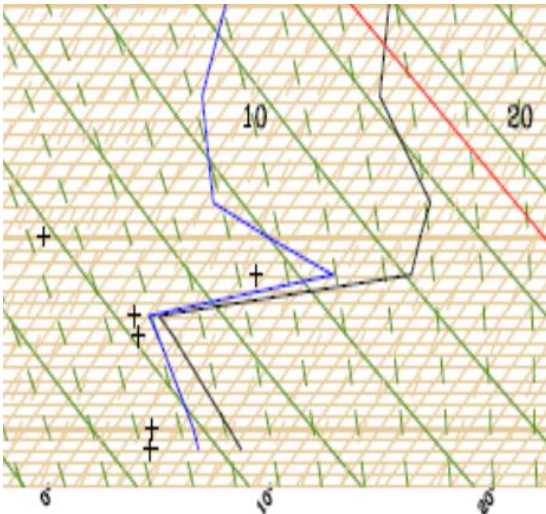
**Instabilité  $\Delta T$  -8/-9°C/1000m**



# Inversions de température :

**au sol** : ray. Nocturne brouillard ou rosée ; -

**en altitude** : surfaces frontales, subsidence en zone anticyclonique) : -  
- peu limiter le développement vertical d'un nuage cumuliforme (évolution); -  
- favorise l'étalement des nuages sous l'inversion (SC marin) ; -  
- peut empêcher la dissipation des nuages bas (surtout en hiver ST) -  
- limite les mouvements verticaux (facteur aggravant de concentration de la pollution urbaine)



EMAGRAMME OBLIQUE a 45° y (mm) = 764,4 - 254,8log p Equivalence de 0,5 cm<sup>3</sup> 0,0472 Jg<sup>-1</sup> ; 0,0113 Cal II.g<sup>-1</sup>  
 x (mm) = 2,91t + 764,4 - 254,8log p 0,047 °Cg<sup>-1</sup> (air sec a p=Cte) 0,017 gpm

	φ		φ
00	254.	30	9530.
92	908.	25	10740.
85	1805.	20	12160.
70	3202.	15	13940.
50	5850.	10	16460.
40	7610.		

Indicatif: 07110 Lat: 48.44  
 Altitude: 94 Lon: -4.41  
 Station: BREST-GUIPAVAS  
 le 27-09-2015  
 a 23.00 U.T.C.

pression: 1019.  
 iso. ) 0°3932;  
 ) -10°5436;

1

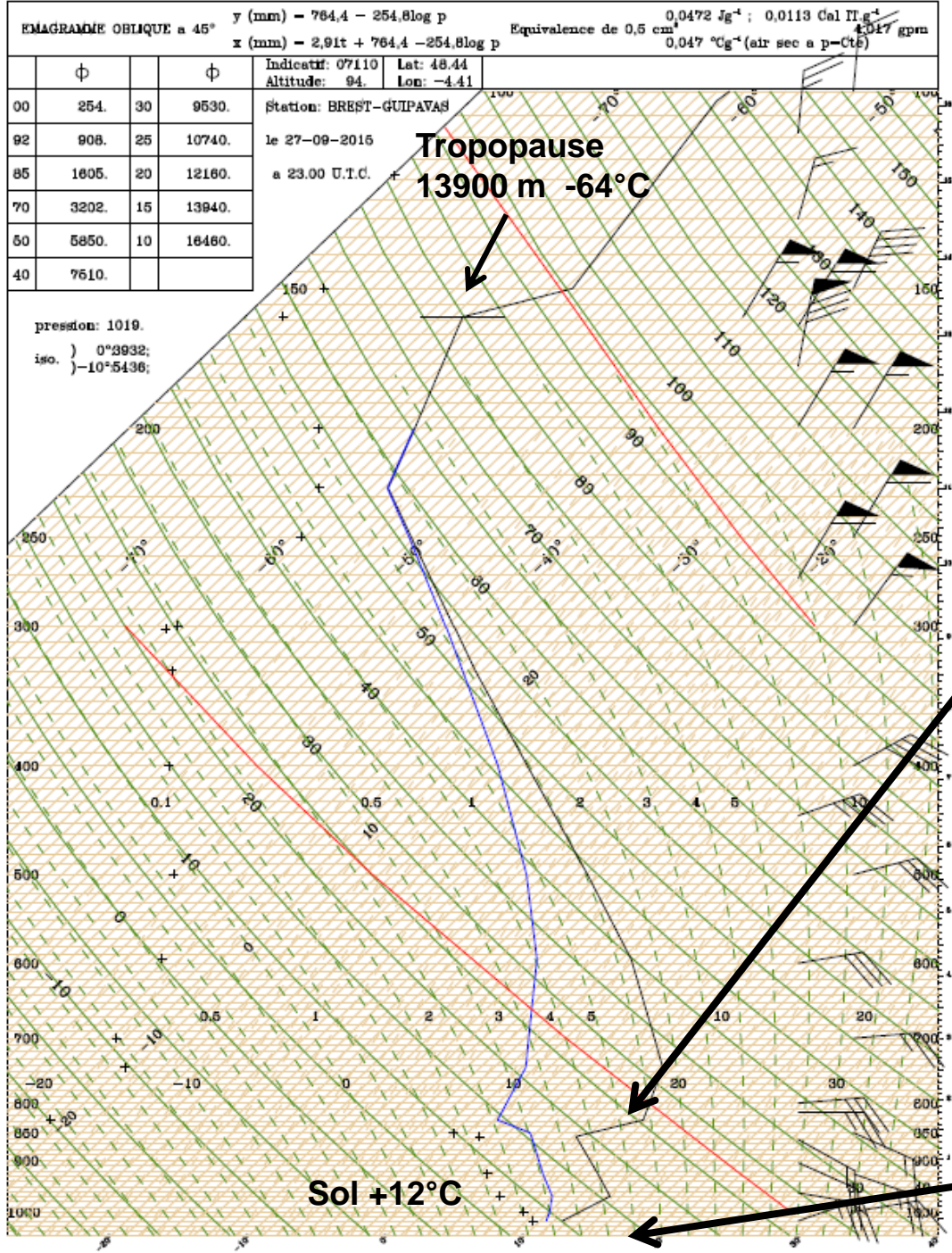
**Radio sondage  
 Brest-Guipavas  
 20150928 - 00h00 UTC**

**situation  
 anticyclonique**

**Assèchement de la  
 masse d'air  
 et  
 inversions de  
 température**

**AXE TEMPERATURES**

**A  
 L  
 T  
 I  
 T  
 U  
 D  
 E  
 S  
 /  
 P  
 R  
 E  
 S  
 S  
 I  
 O  
 N  
 S**

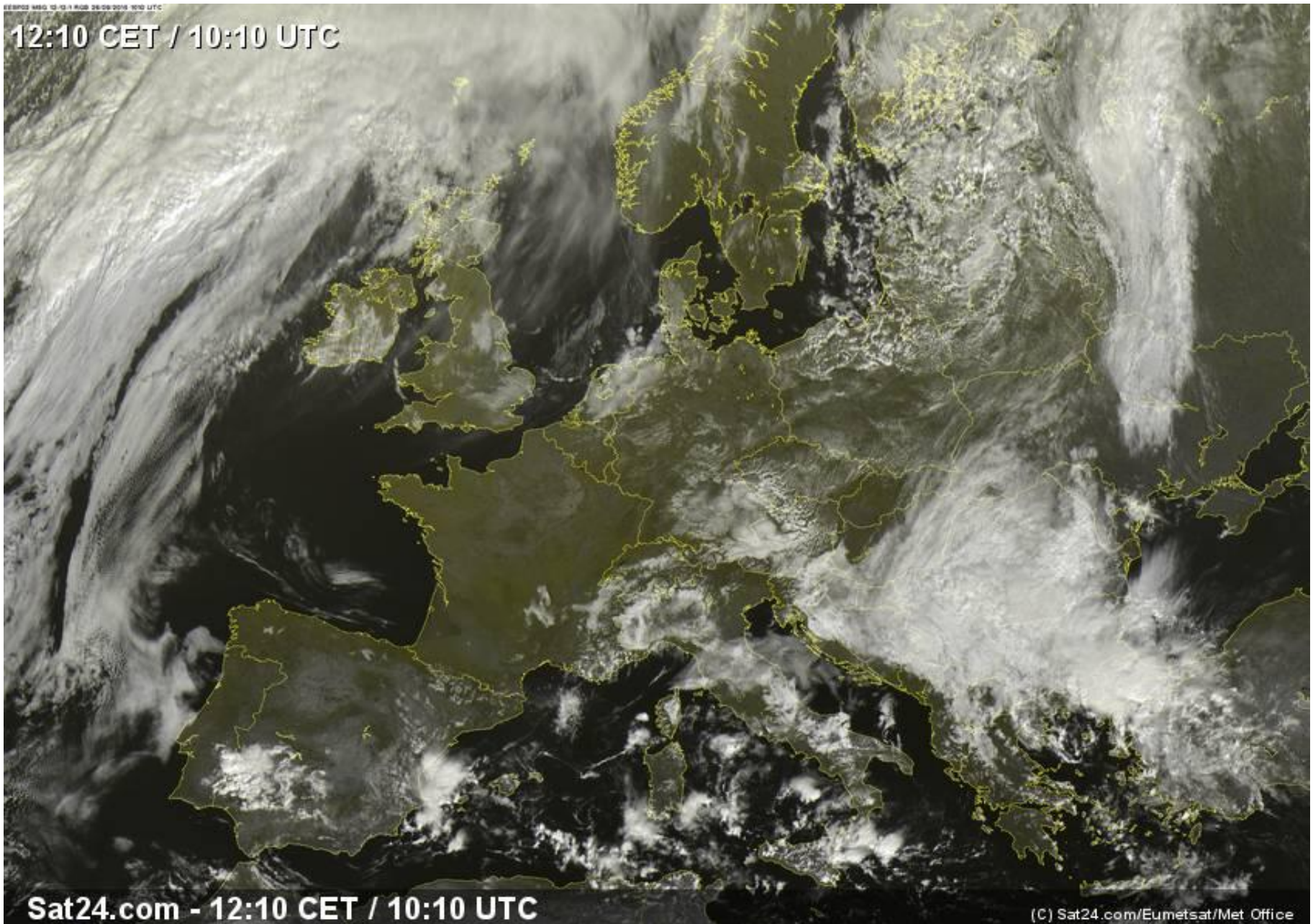


**Tropopause  
 13900 m -64°C**

**Sol +12°C**

SEVIRI MSG 12:10:11 RGB 28/09/2015 10:10 UTC

12:10 CET / 10:10 UTC



3

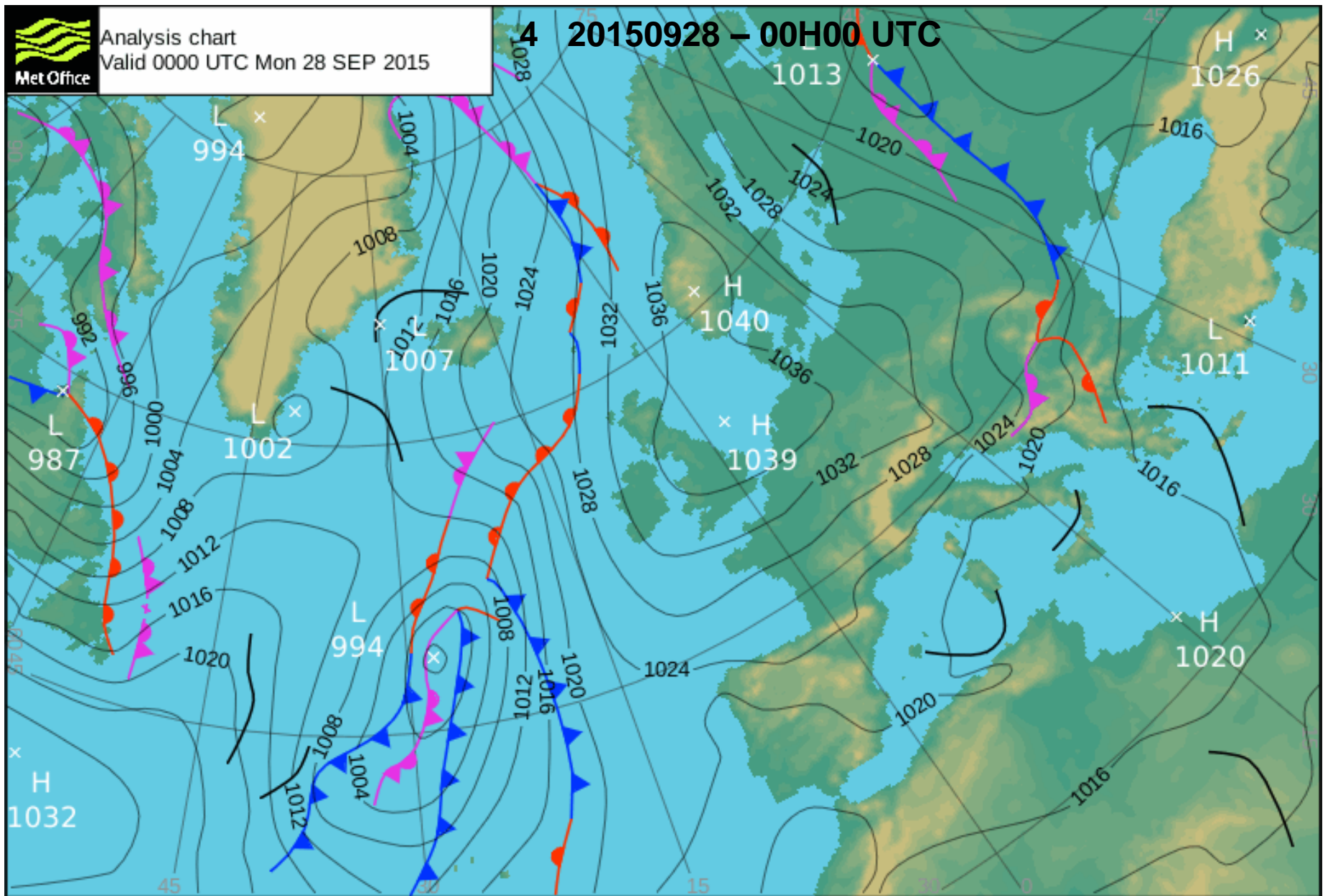
20150928\_10h10 UTC





Analysis chart  
Valid 0000 UTC Mon 28 SEP 2015

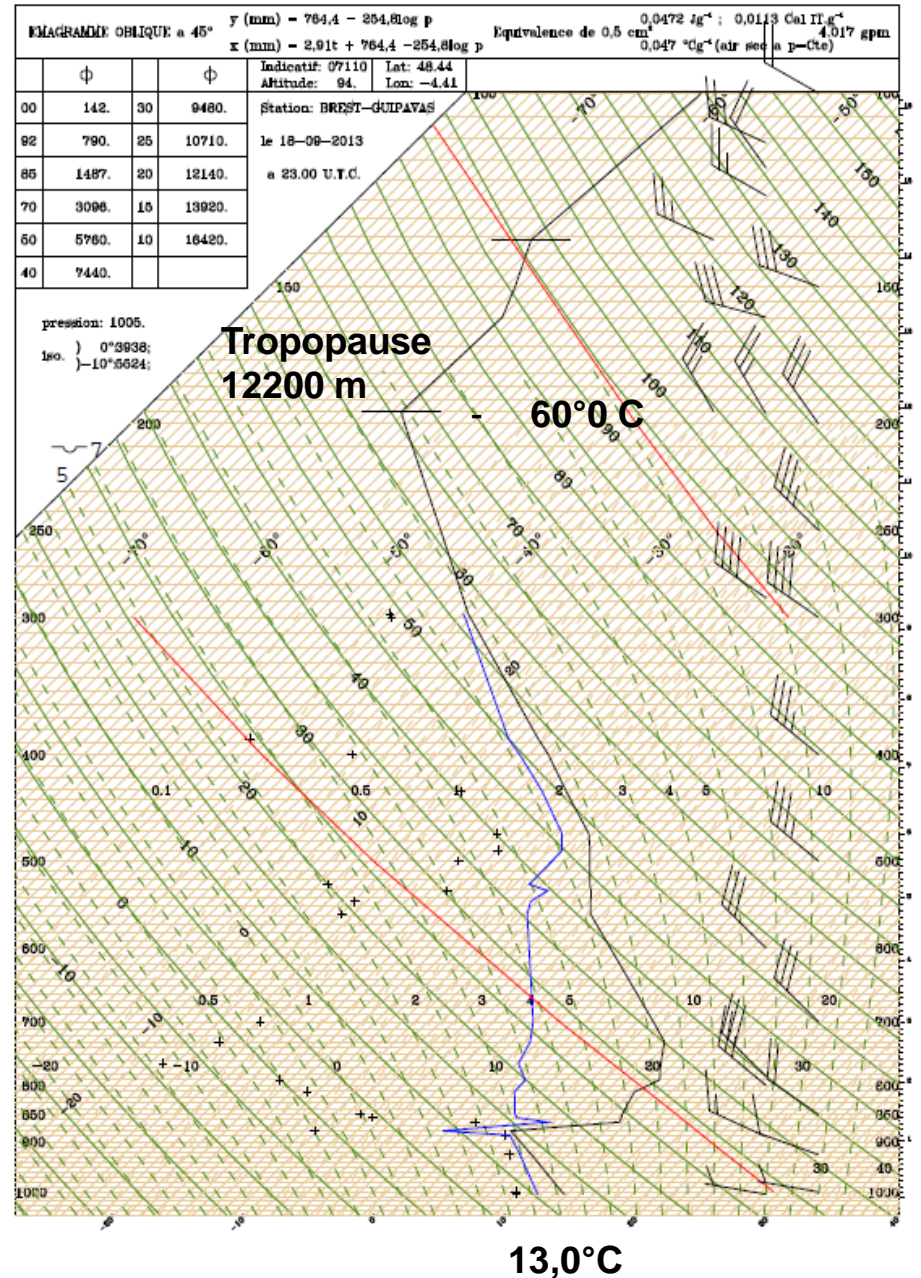
4 20150928 - 00H00 UTC



Air continental sec par flux d'Est, **vent** : pas de brouillard, mais en Manche, risque de visibilité médiocre

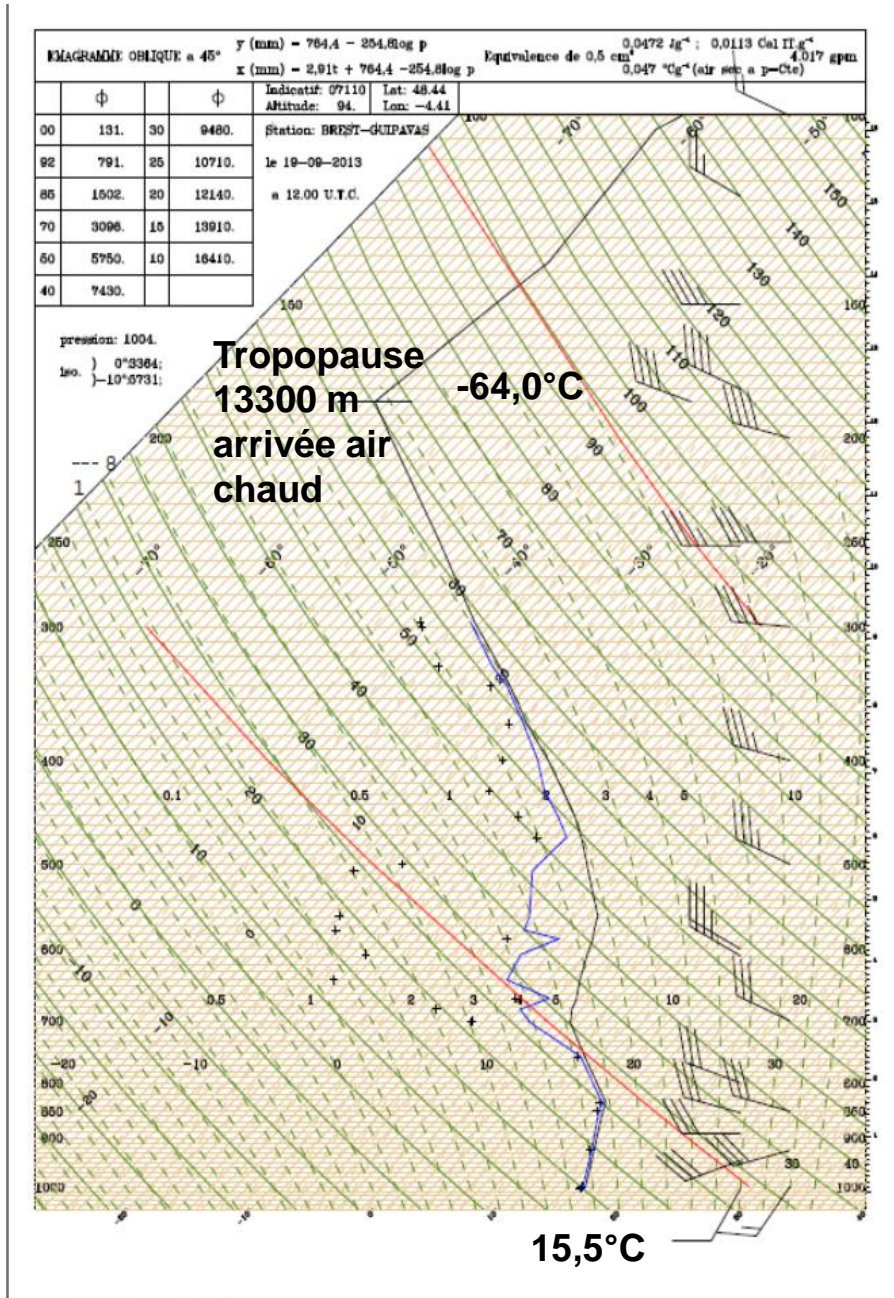
# Radiosondage de Brest du 18/09/13 à 00h00 UTC :

**Forte inversion de température vers 900 m et présence d'une couche nuageuse (SC) bloquée dans son développement vertical**



# Radiosondage Brest du 19/09/13 à 12h00 UTC

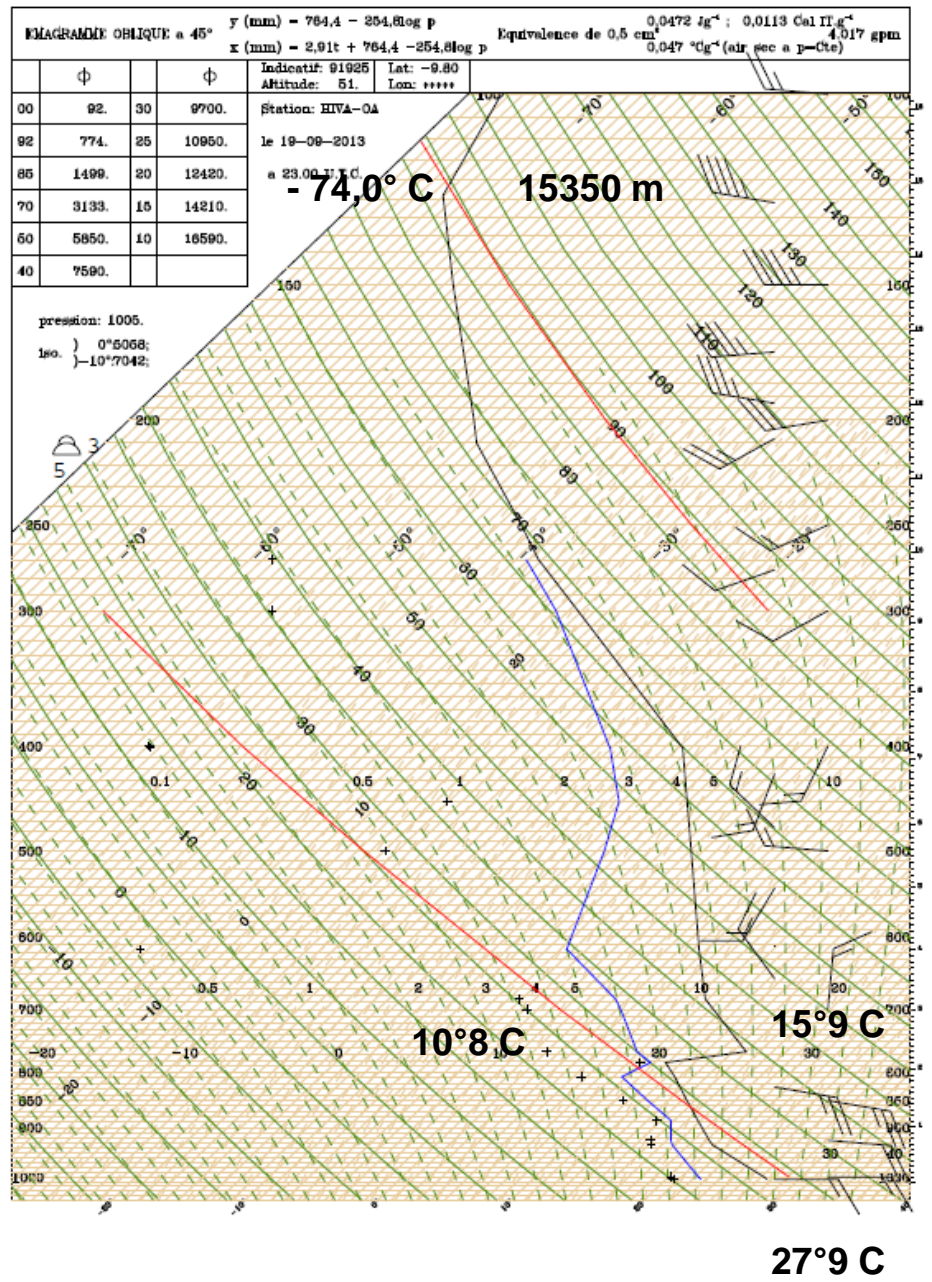
Saturation dans les basses couches dans une masse d'air stable



# Radiosondage Hiva-Oa



**Inversion de température typique de la zone des alizés**



Extension verticale peu marquée. Si développements verticaux??



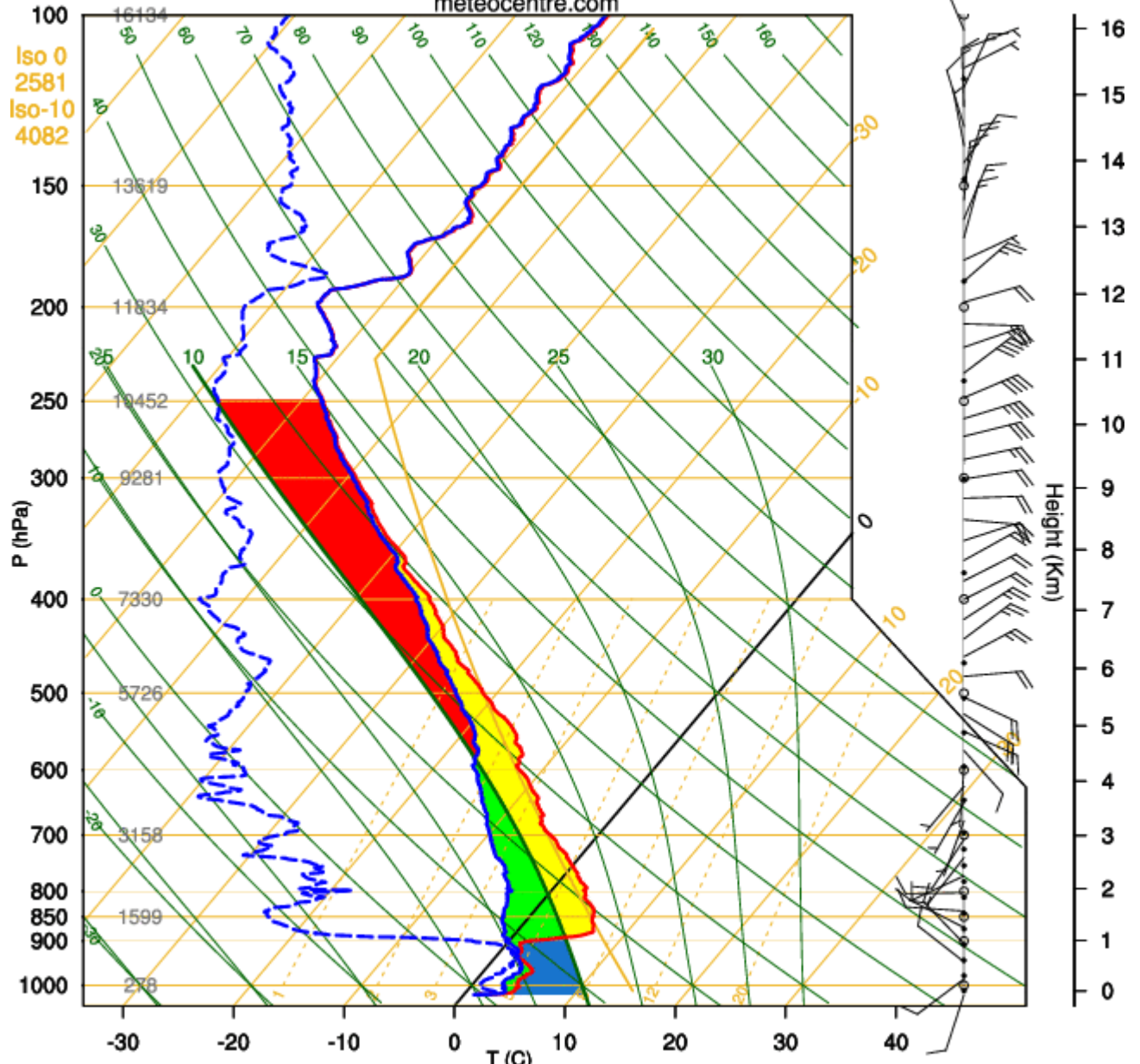
# BREST (07110) - 20220127 00 UTC

meteocentre.com

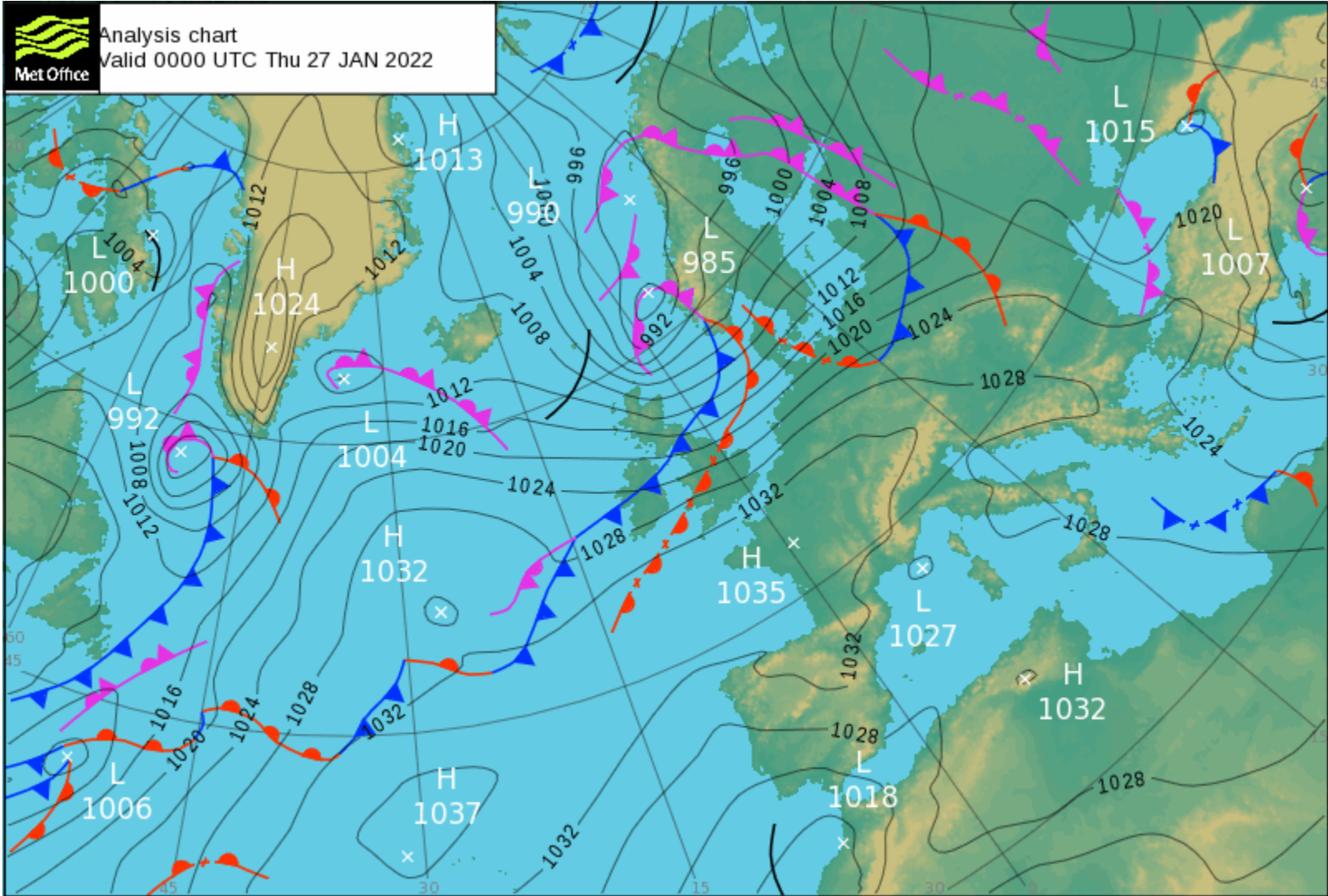
Radiosondage

Brest

20220127  
00h00 UTC

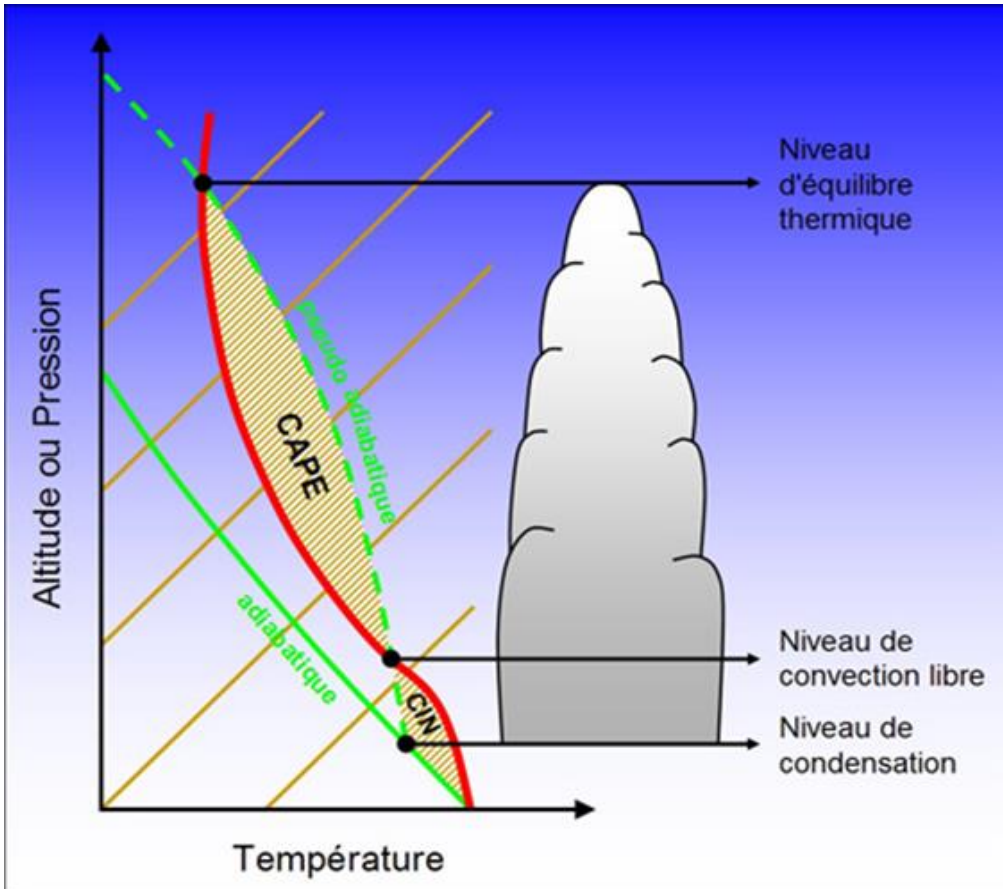


# Analyse 20220127 00h00 UTC



**EPCD** (énergie potentielle de convection disponible)  
ou **CAPE** (convective available potential energy) en J/Kg d'air

**CIN** Convective Inhibition J/Kg.



**L'EPCD (ou CAPE)** est un des paramètres utilisé pour estimer l'instabilité de l'air (mouvements verticaux) et le potentiel de violence d'un orage (quantité d'énergie accumulée entre le niveau de convection libre et celui ou la particule retrouve une température ambiante égale à la sienne).

**La CAPE** est une énergie disponible mais potentielle.

La destruction en cours de journée de fortes inversions de température par l'ensoleillement produit de fortes CAPE. De même, le réchauffement par la base d'une masse d'air déjà instable (flux de NW – air polaire maritime – au contact d'une mer plus chaude) ou la proximité d'une surface frontale (front froid).

**La CIN** représente l'énergie qu'il faudrait fournir à une particule d'air à la base d'une couche en instabilité sélective pour lui permettre de dépasser son niveau de convection libre.

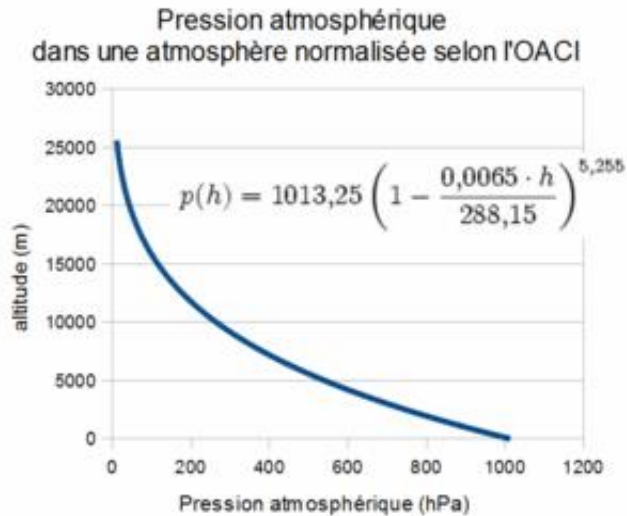
# **LA PRESSION ATMOSPHERIQUE**

**Champs en surface et en altitude**

**Corrélation situation en altitude  
et situation en surface**

# L'ATMOSPHÈRE (troposphère)

## Pression atmosphérique au sol



Pression atmosphérique ?

Atmosphère standard 1013.25 hPa au sol mais seulement 265 hPa à 10 000 mètres.

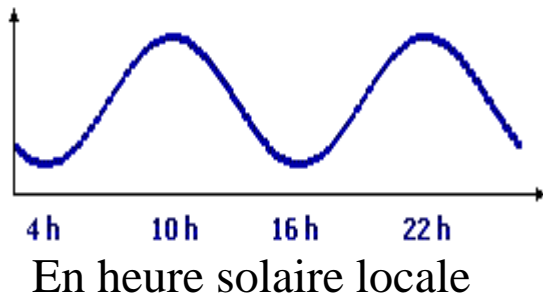
Variation dans le plan horizontal (au sol) :

950 hPa → 1050 hPa (881 hPa cyclone Wilma – Antilles en 2005).

Variation dans le plan verticale  $\int(t)$  : 1 hPa/8,50 m au sol, 1hPa/30 m vers 700 hPa.

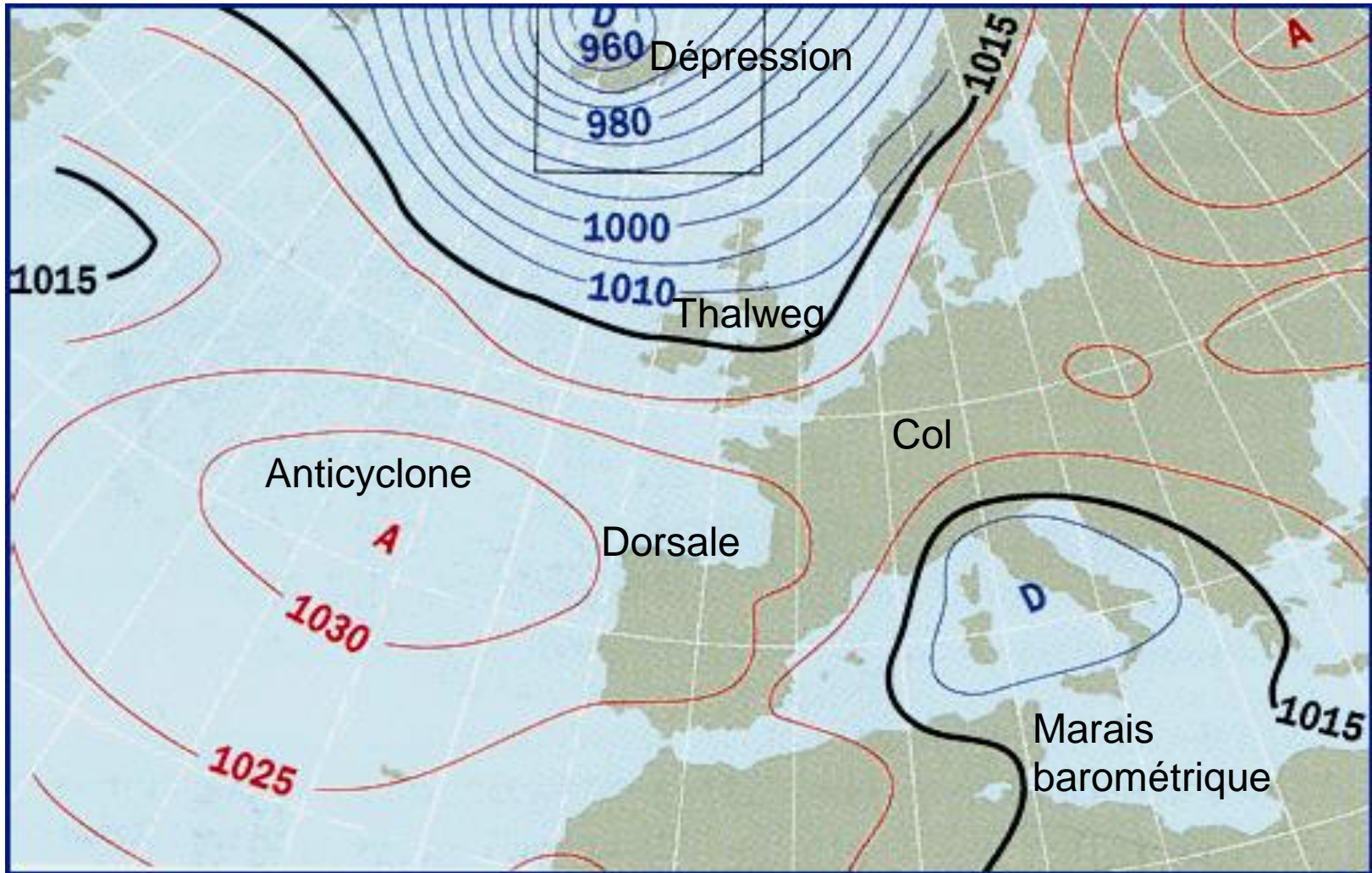
Calage du baromètre : niveau de la mer.

Marée barométrique : variation diurne liée à la marée astronomique (2,5 hPa Antilles, jusque 4 hPa dans d'autres régions).



Influence de la pression atmosphérique sur la marée : surcote, décote (zéro hydro).

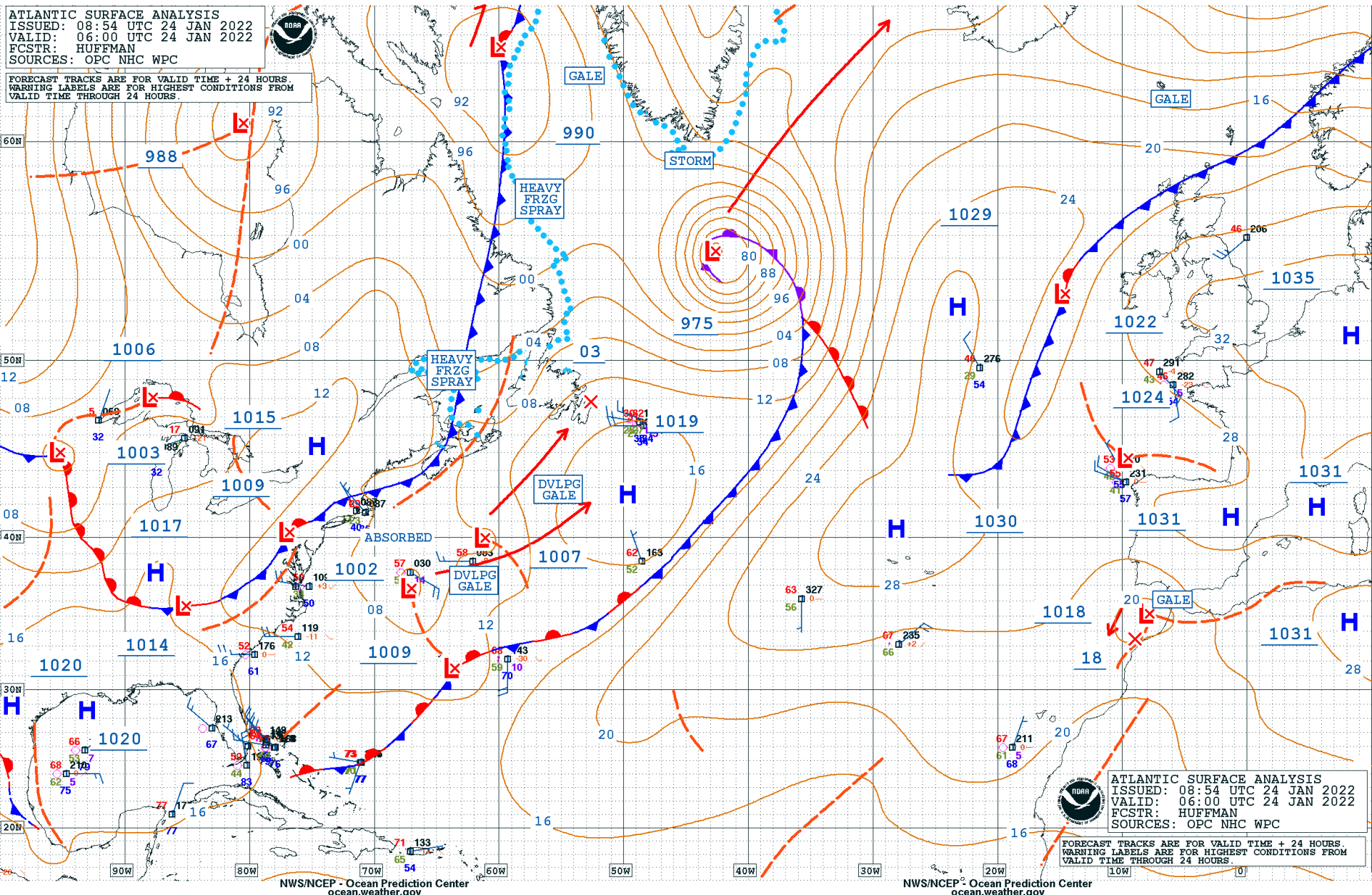
# Pression atmosphérique au sol, terminologie



## Pression atmosphérique

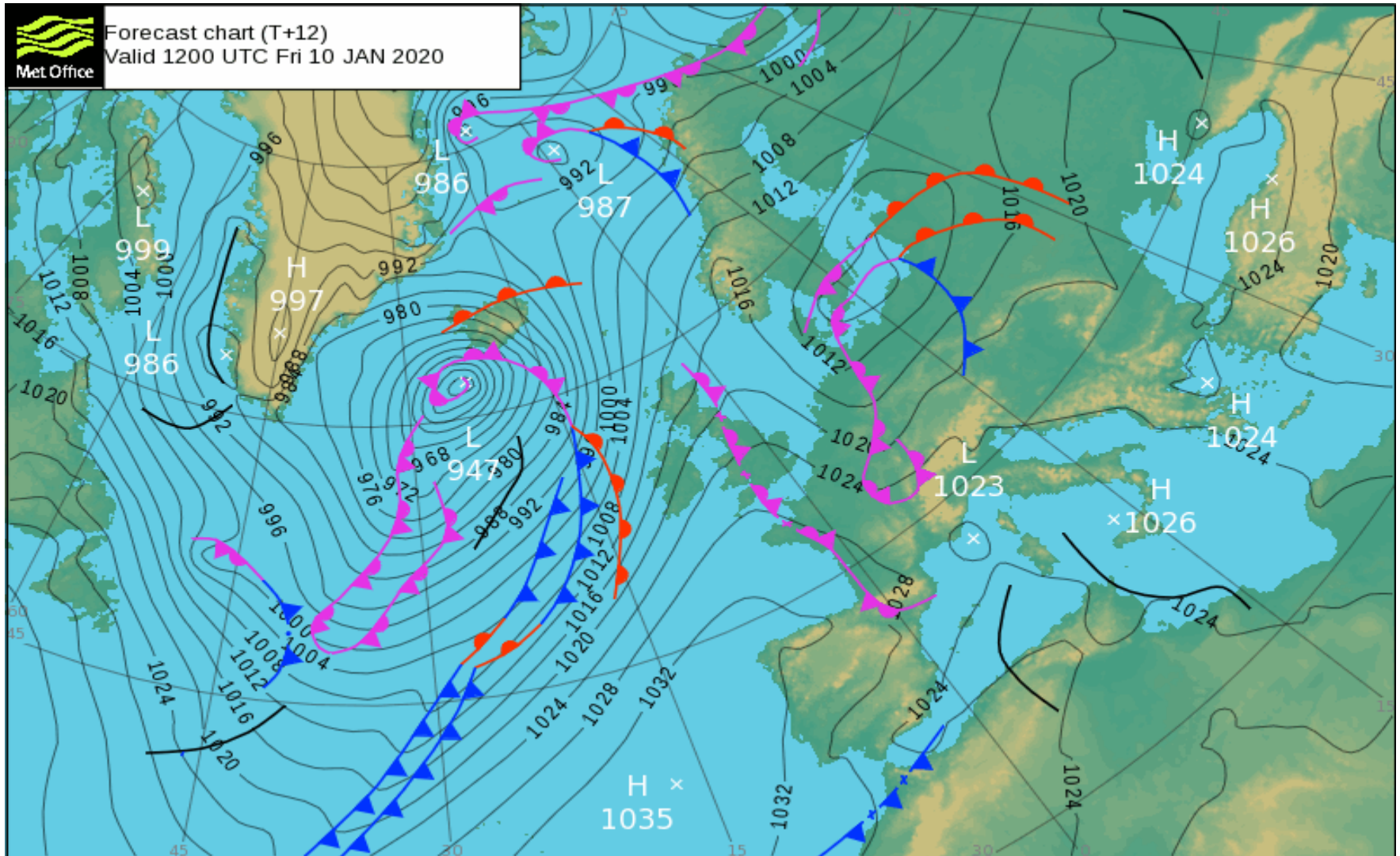
Isobares – zone de haute pression (Anticyclone) – zone de basse pression (Dépression) – dorsale – thalweg – col – marais barométrique

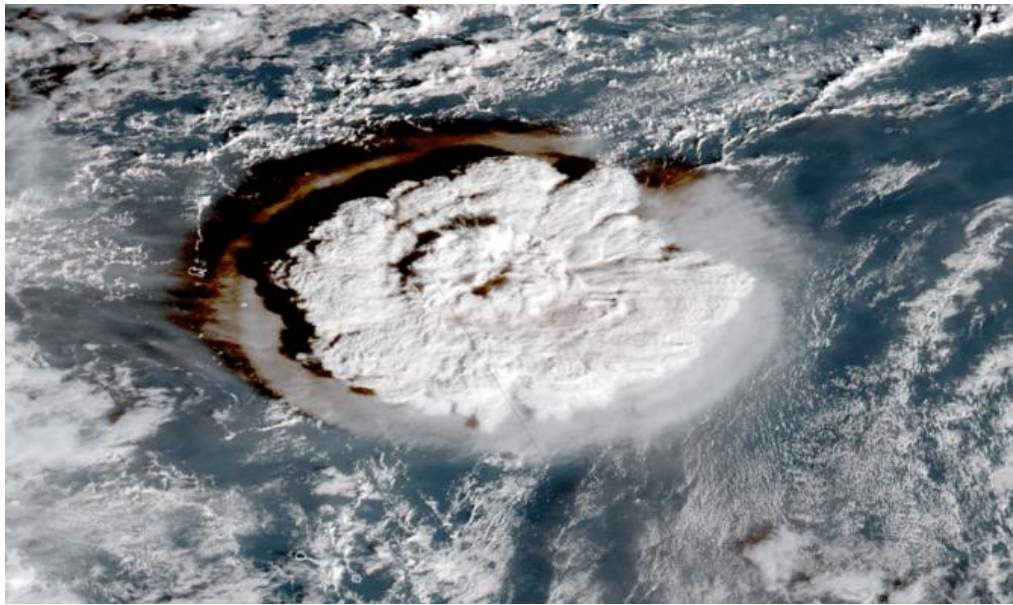
# 20220124 06h00 UTC analyse NOAA



# Variation horizontale du champ de pression au sol

(2020110 à 12h00 UTC H+12 (sans observations pointées))



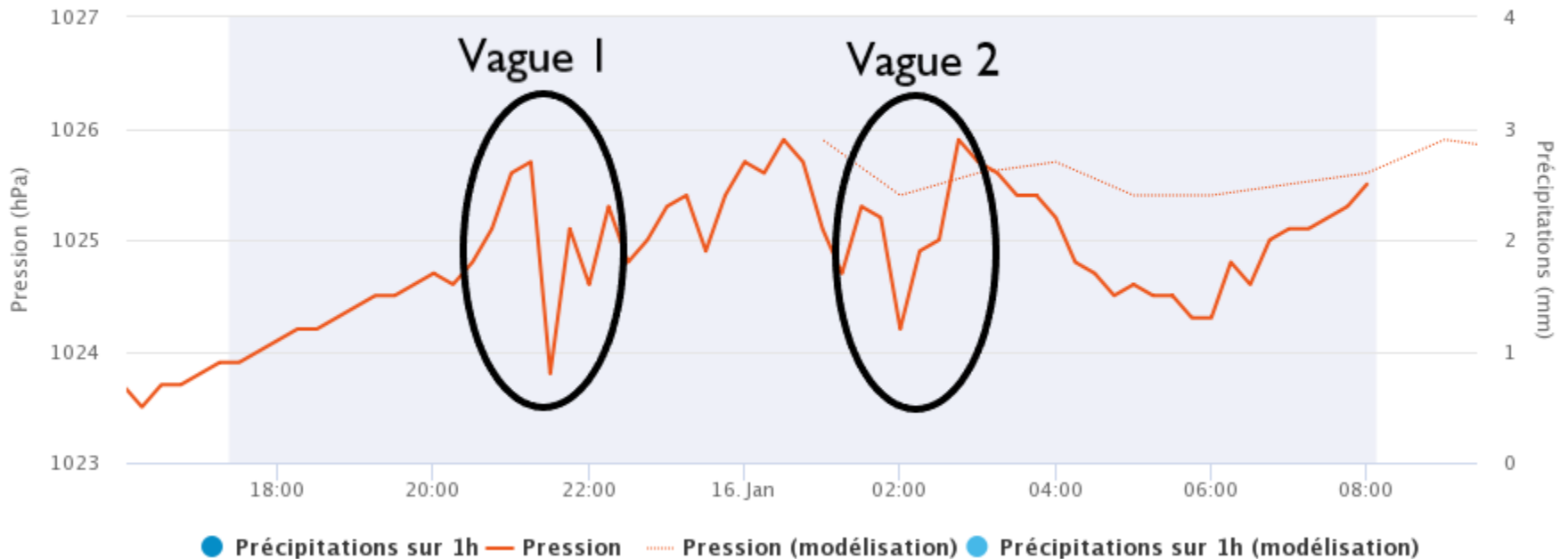


Début de l'éruption du Hunga Tonga le  
15 janvier 2022 à 6h, heure de Paris  
(05h00 UTC) Himawari-8

Impact sur le champ de pression  
atmosphérique globale (en France vers  
21h30 UTC –  $\Delta P$  2,5 hPa)

Pression au niveau de la mer, précipitations, temps observé

A Toulon-Le Baou (83)



# Champs de pression en altitude

Niveaux standards de pression, correspondance en mètres géopotentiels et températures :

1000 hPa → 115 m (mcp) → +14°C

850 hPa → 1500 m (mcp) → +05°C

700 hPa → 3000 m (mcp) → - 05°C

500 hPa → 5560 m (mcp) → - 20°C

300 hPa → 9300 m (mcp) → - 45°C

250 hPa → 10500 m courant jet, tropopause

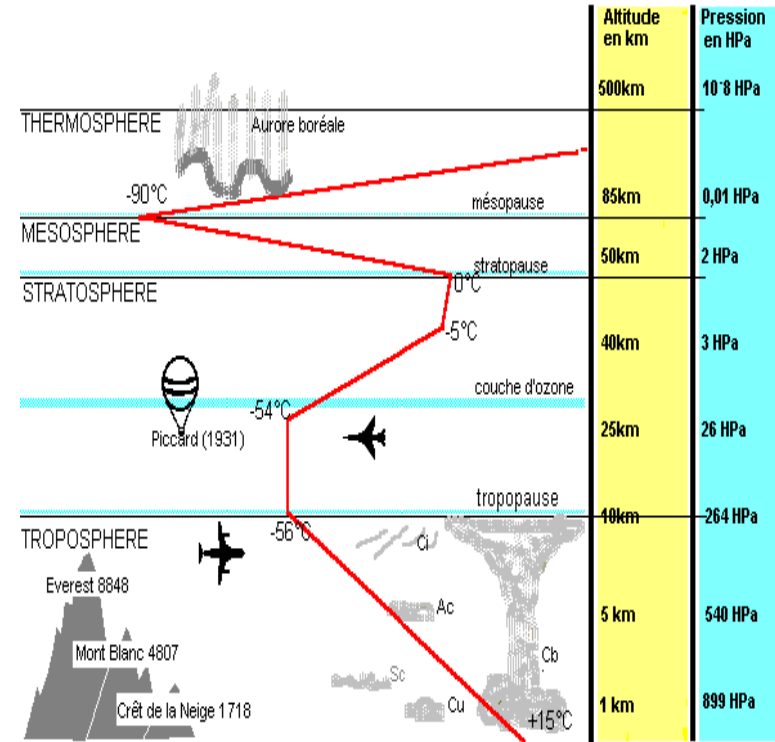
200 hPa → 11500 m (mcp)

150 hPa → 13600 m (mcp)

100 hPa → 16000 m (mcp)

Sol  $\Delta P$  : 1hPa = 8,50 m

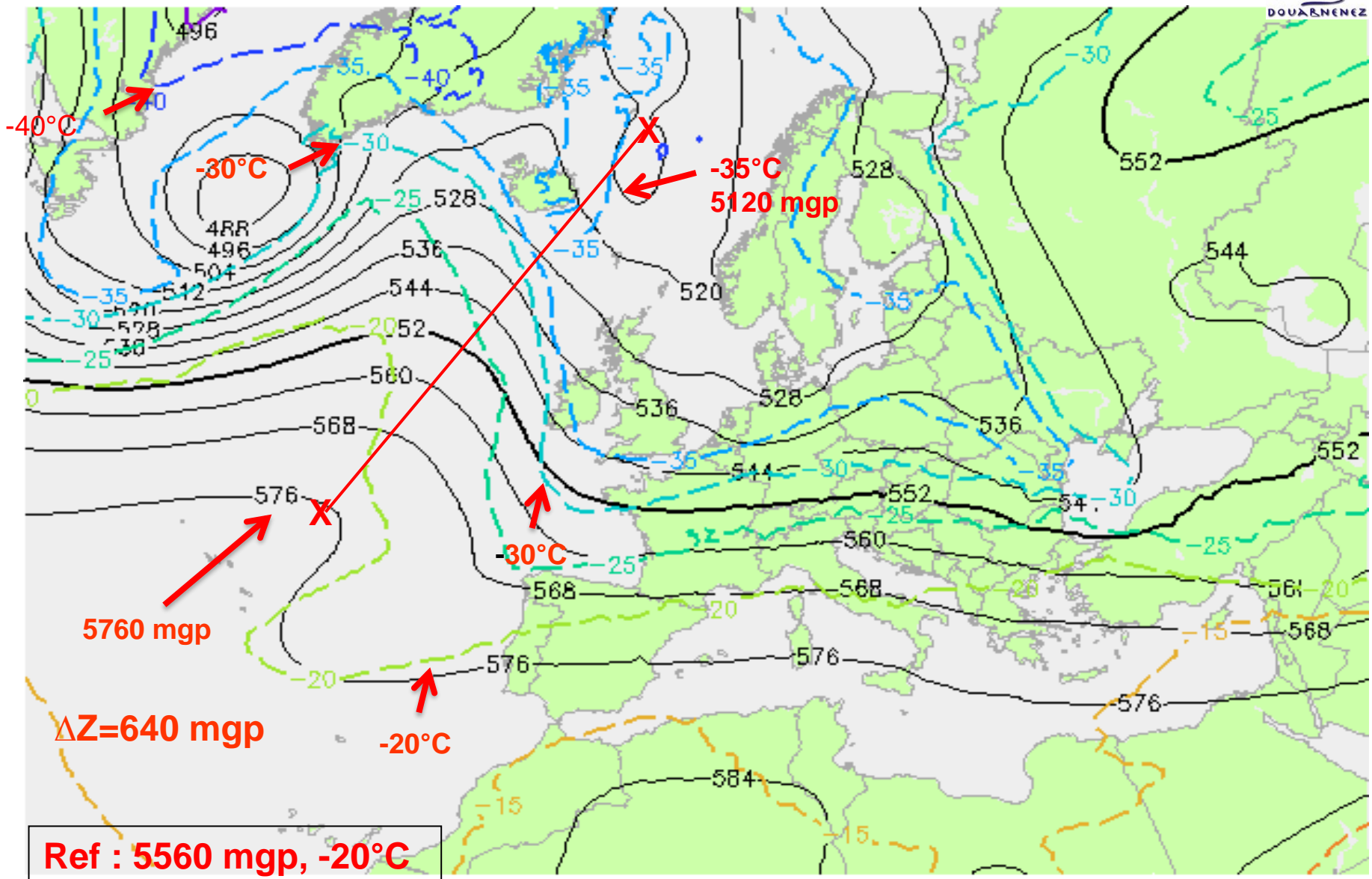
3000 m  $\Delta P$  : 1hPa = 30 m.



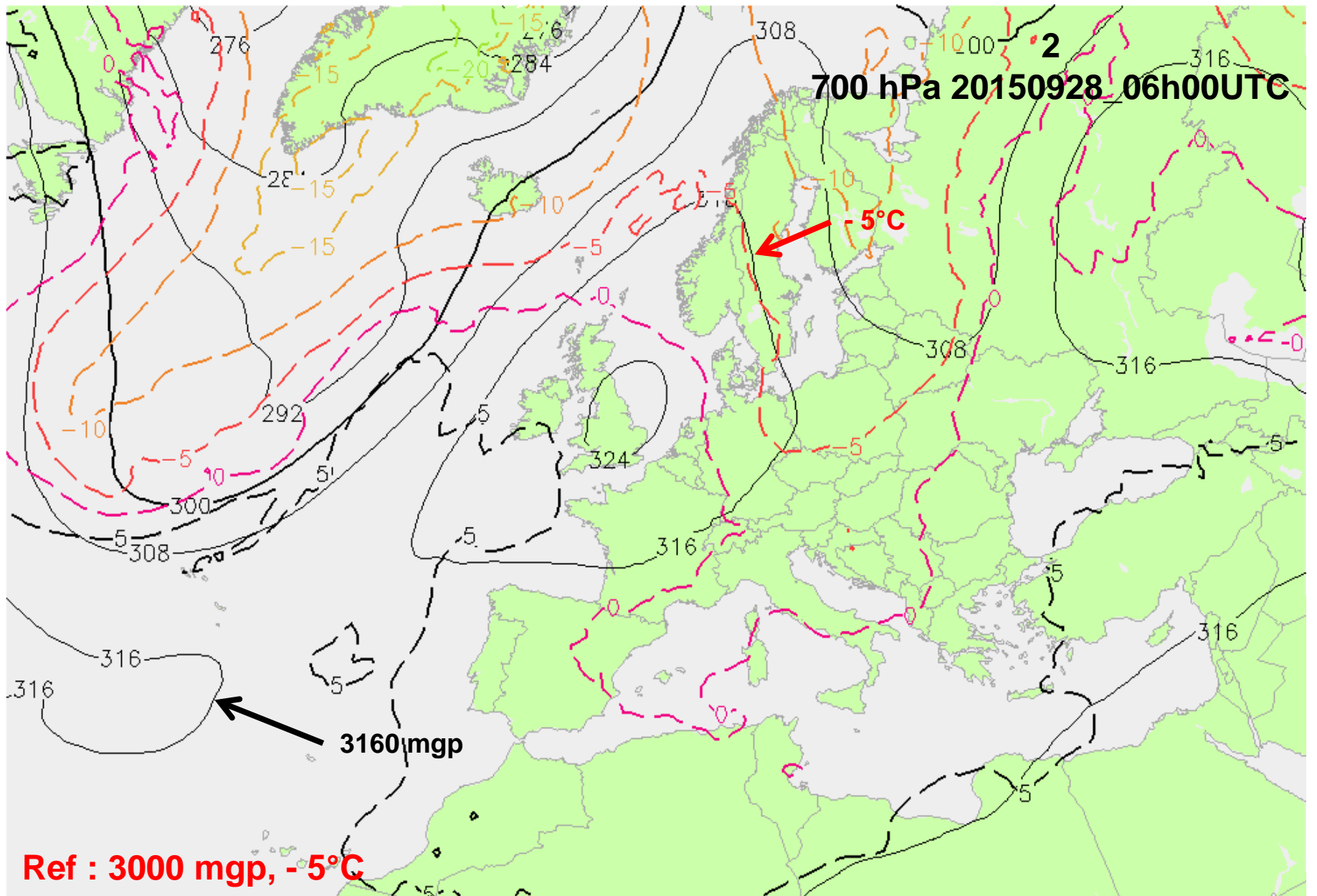
En météorologie, cartes aux niveaux 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa pour analyse et prévision (niveau plus élevés pour courant jet, flux général, aéronautique).

- un niveau de pression avec des isolignes (**isohypses** : lignes d'égale altitude du géopotential sur une surface isobare) cotées en mcp ;
- un champ d'isothermes ;
- advections chaudes et descentes froides
- gradient vertical de température (stabilité, instabilité de la masse d'air).

20150304\_00h00 UTC 500 hPa **mars** : évolutions Z et T  
Champs d'isohypses et d'isothermes à niveau de pression constante



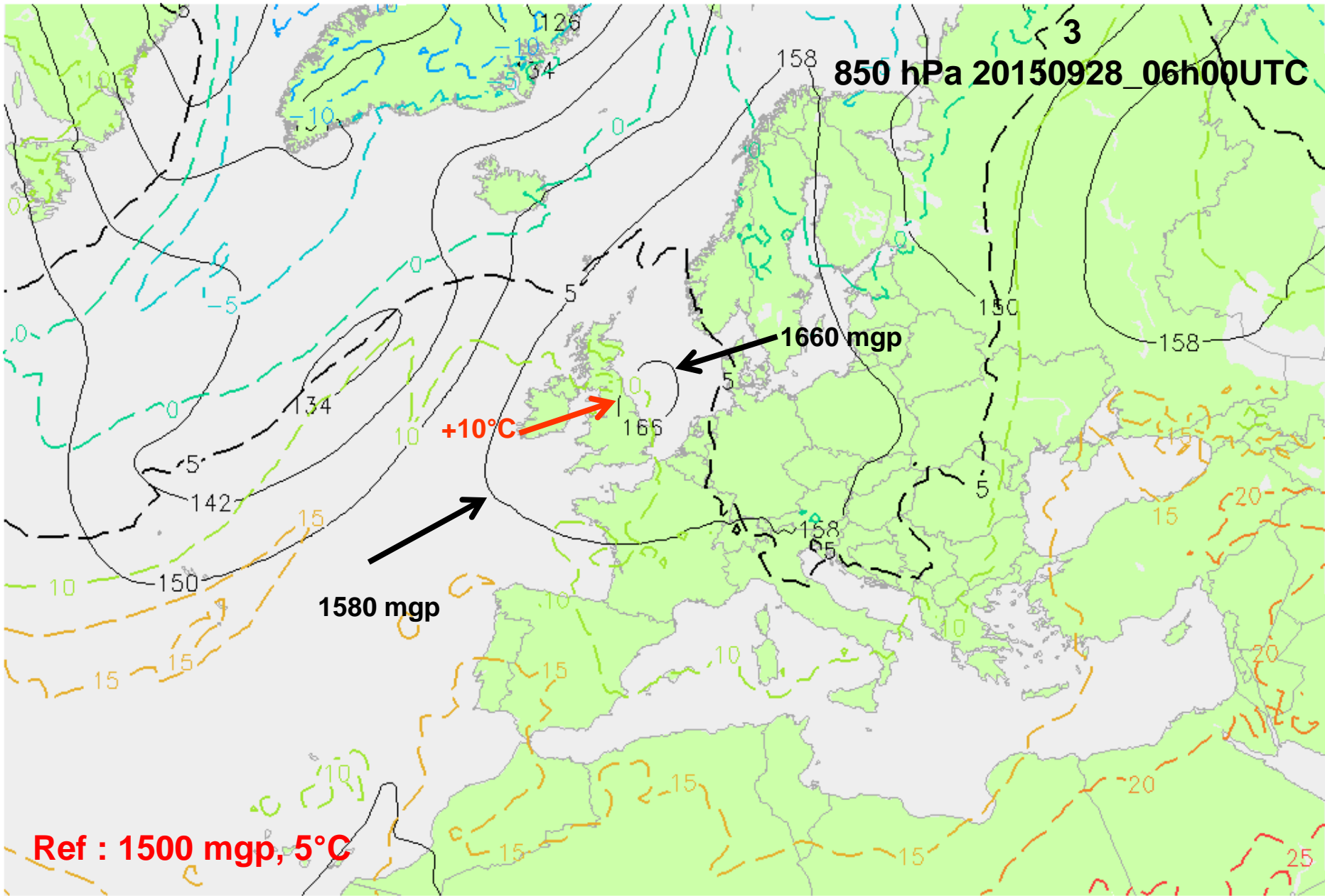




Height (gpdm) & Temp. (°C) in 700 hPa GFS

Mon 28/09/15 06UTC (Mon 00+06)

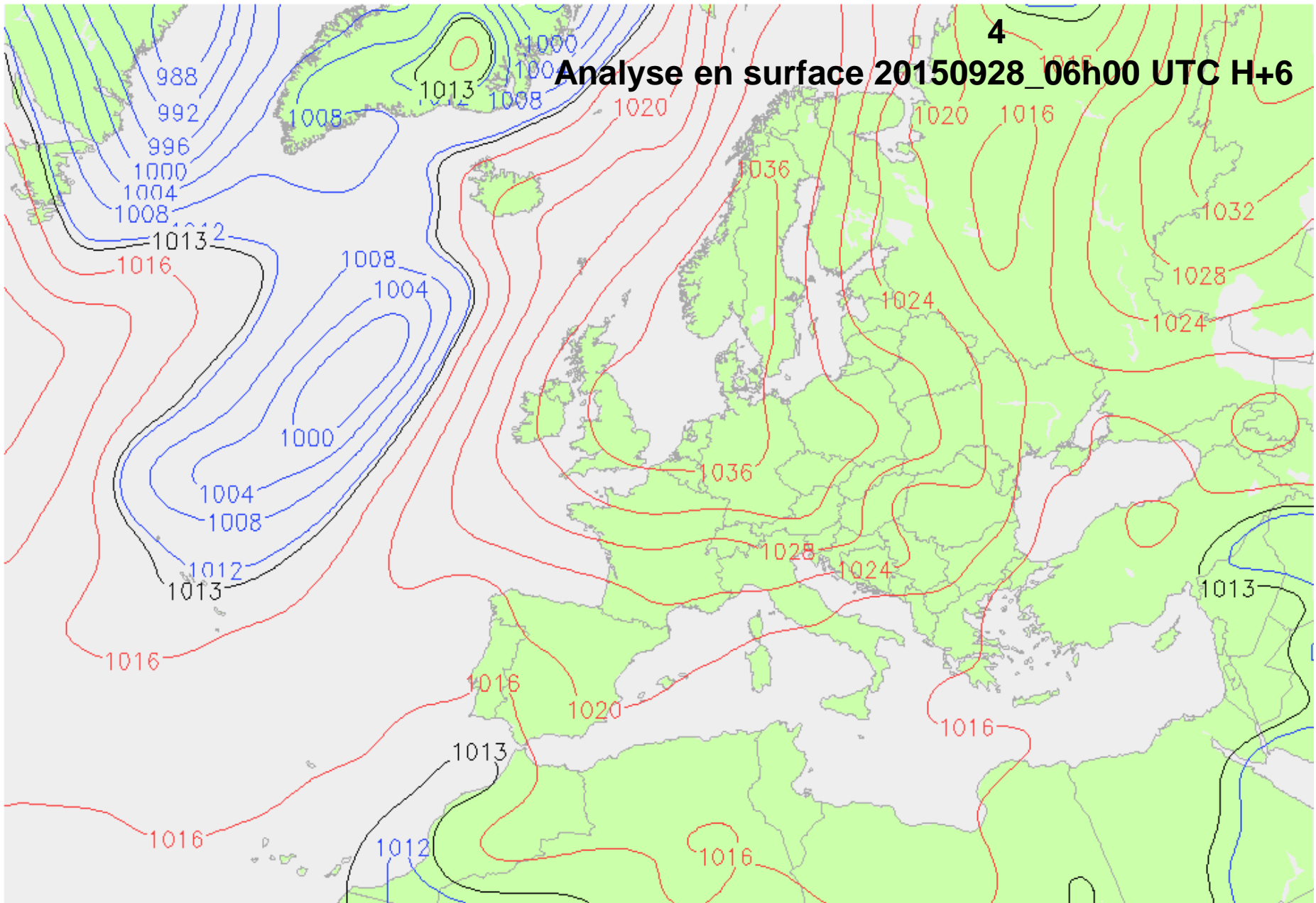
850 hPa 20150928\_06h00UTC



Height (gpdm) & Temp. (°C) in 850 hPa GFS

Mon 28/09/15 06UTC (Mon 00+06)

# Analyse en surface 20150928\_06h00 UTC H+6

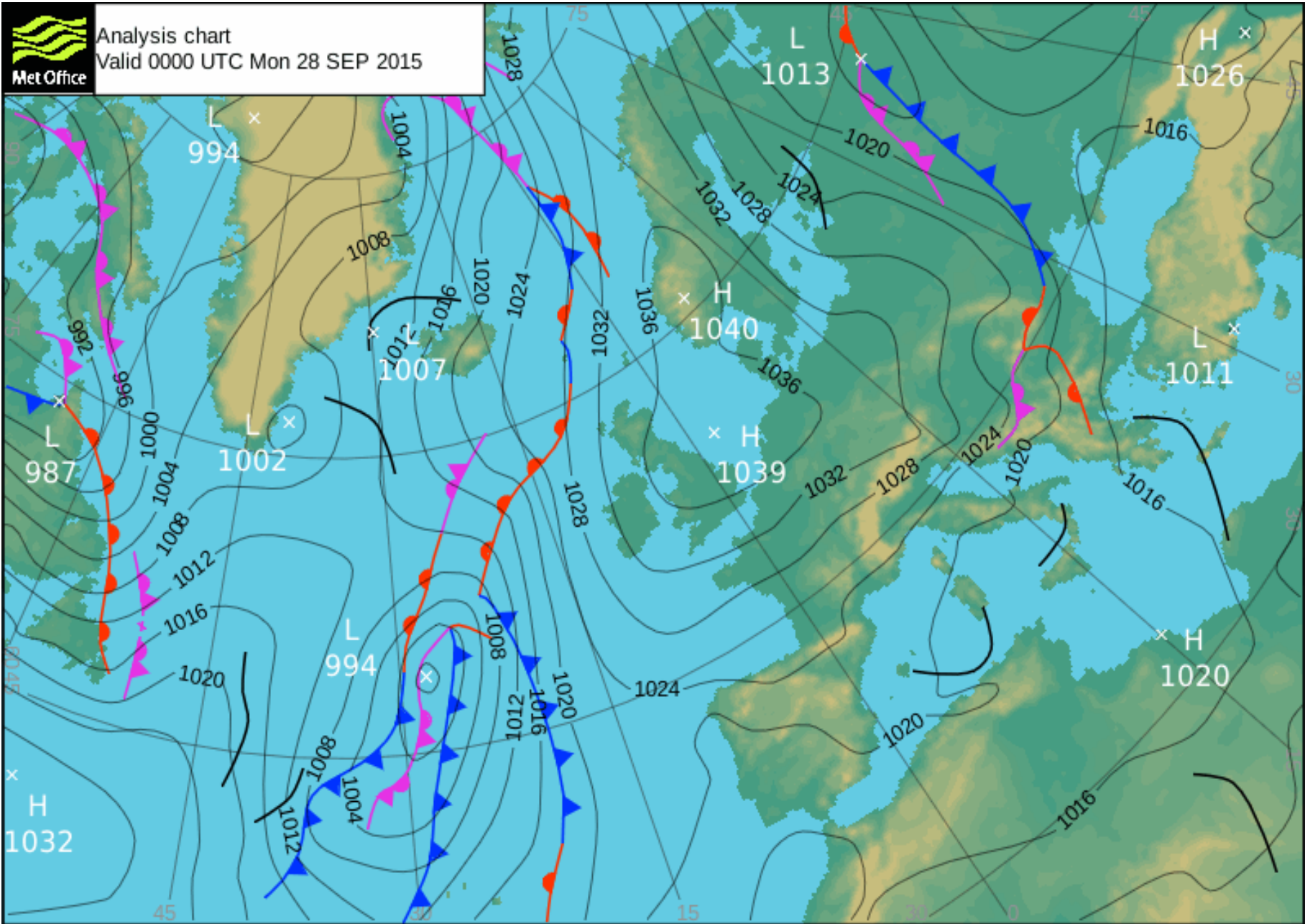


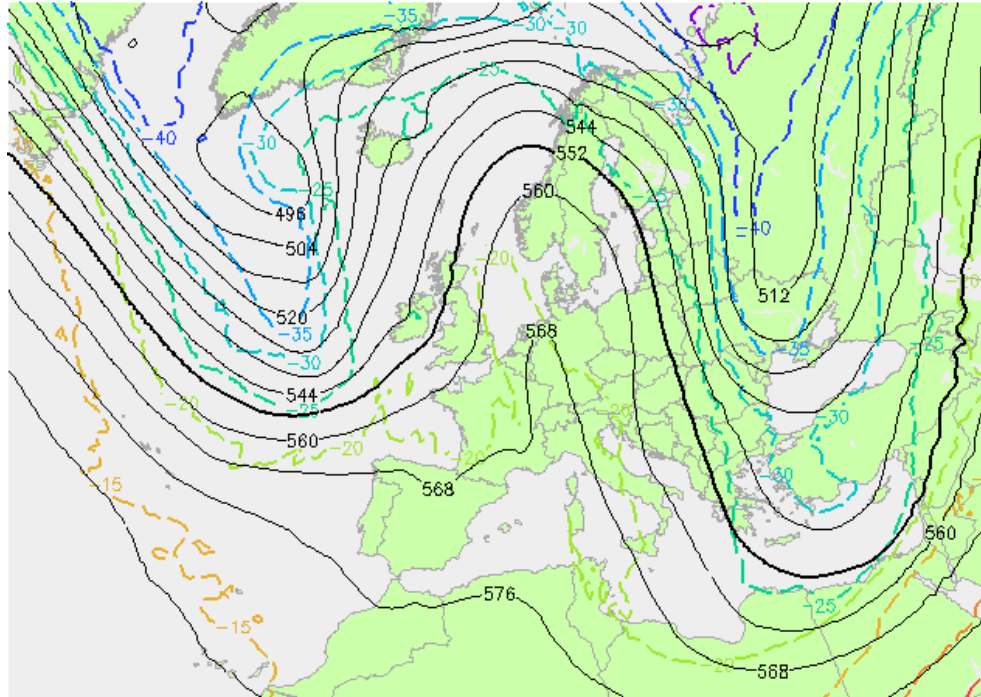
Surface Pressure GFS (hPa)

Mon 28/09/15 06UTC (Mon 00+06)

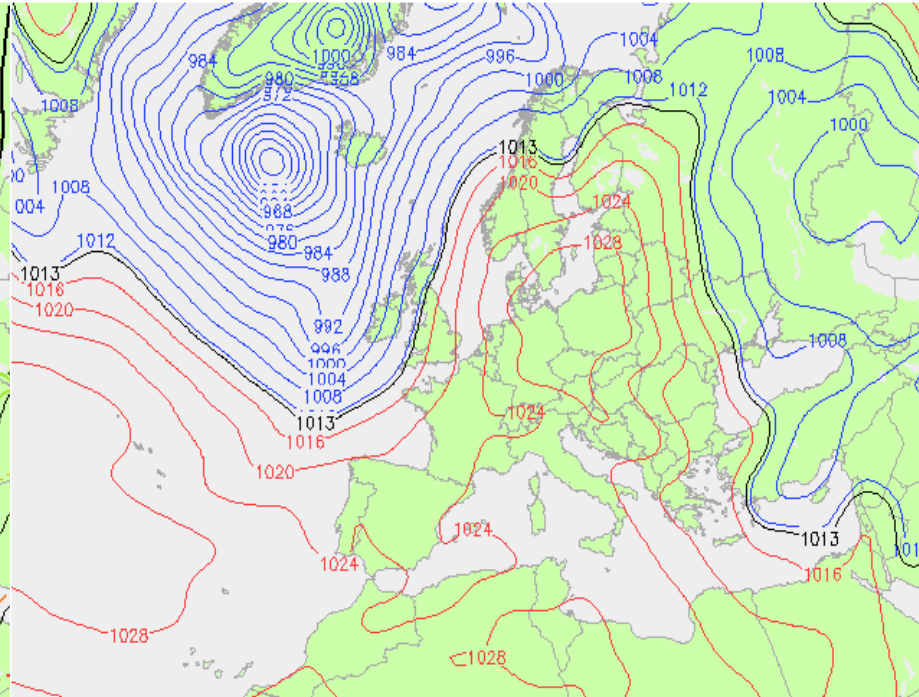


Analysis chart  
Valid 0000 UTC Mon 28 SEP 2015





Height/Temp. 500 hPa [gdp][°C] GFS



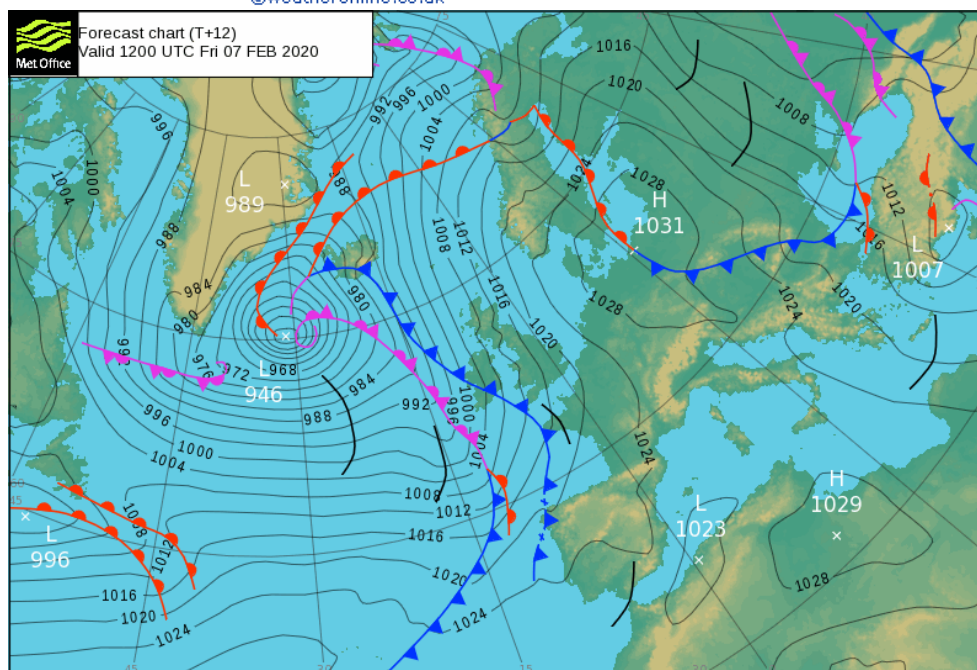
Fr 07-02-2020 12:00 UTC (06+06) Surface pressure [hPa] GFS

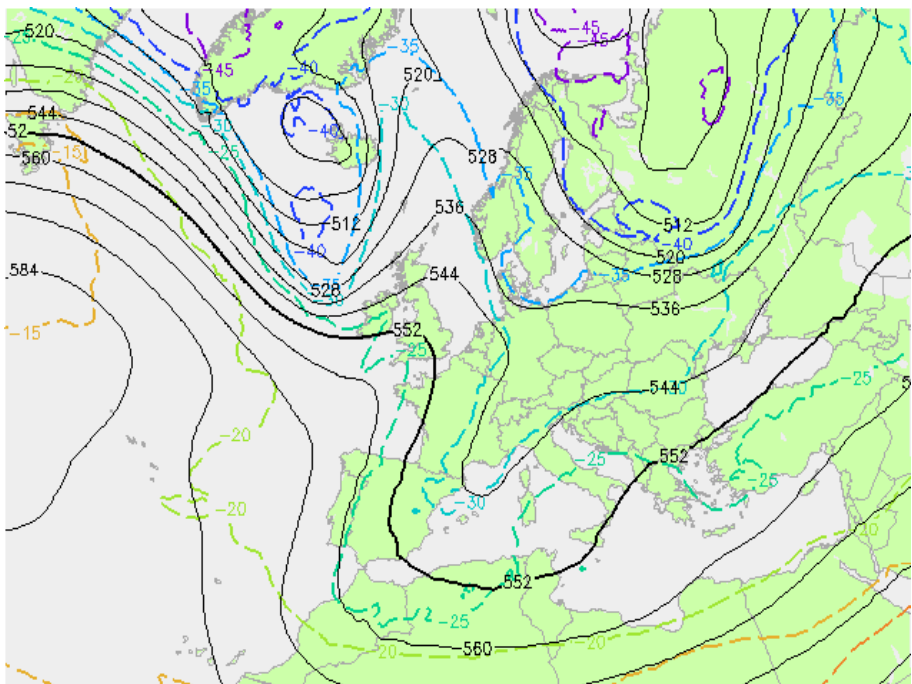
Fr 07-02-2020 12:00 UTC (06+06)

@weatheronline.co.uk

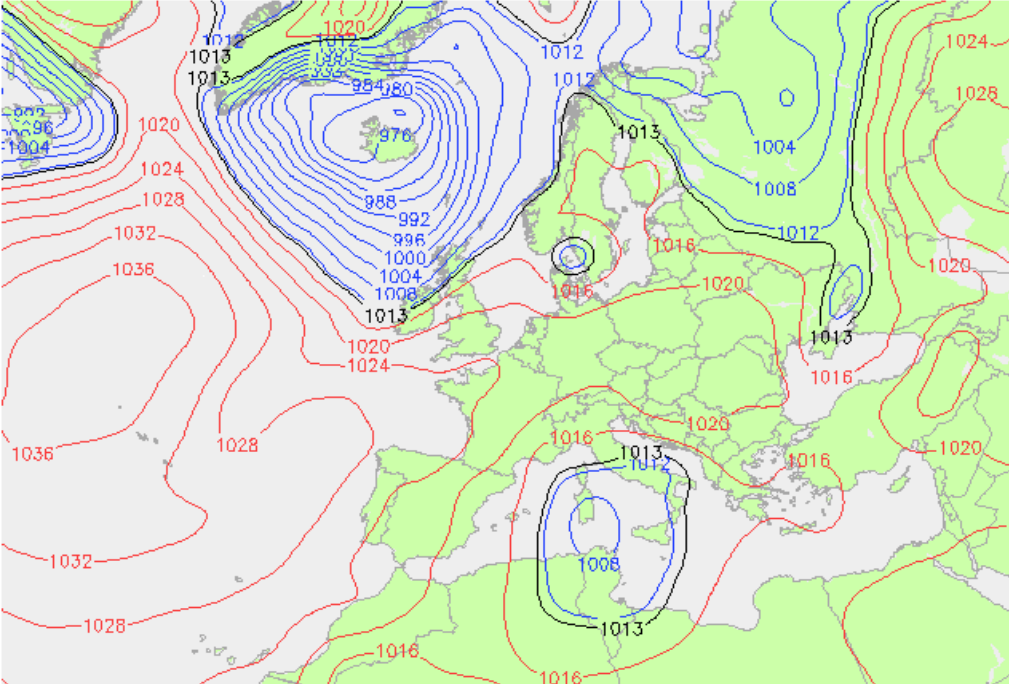
@weatheronline.co.uk

**20200207  
12h00 UTC**





Height/Temp. 500 hPa [gdmp][°C] GFS



Mo 21-01-2019 12:00 UTC (06+06) Surface pressure [hPa] GFS

Mo 21-01-2019 12:00 UTC (06+06)

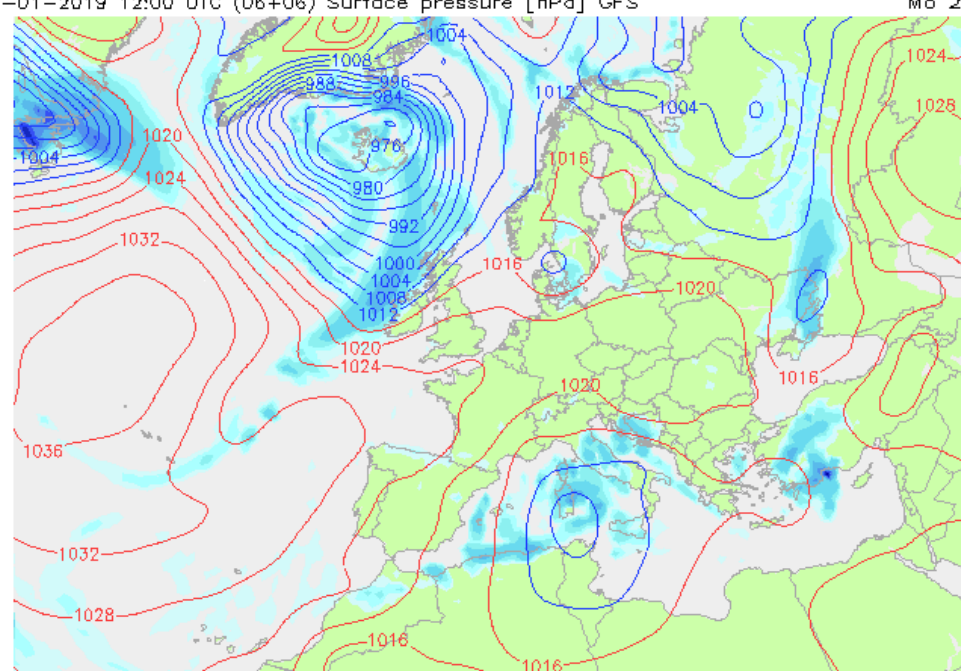
©weatheronline.co.uk

**20190121 12h00 UTC**

**500 hPa**

**Champ isobarique**

**Zones frontales**



Precipitation [mm] GFS

Mo 21-01-2019 09..12 UTC (06+06)

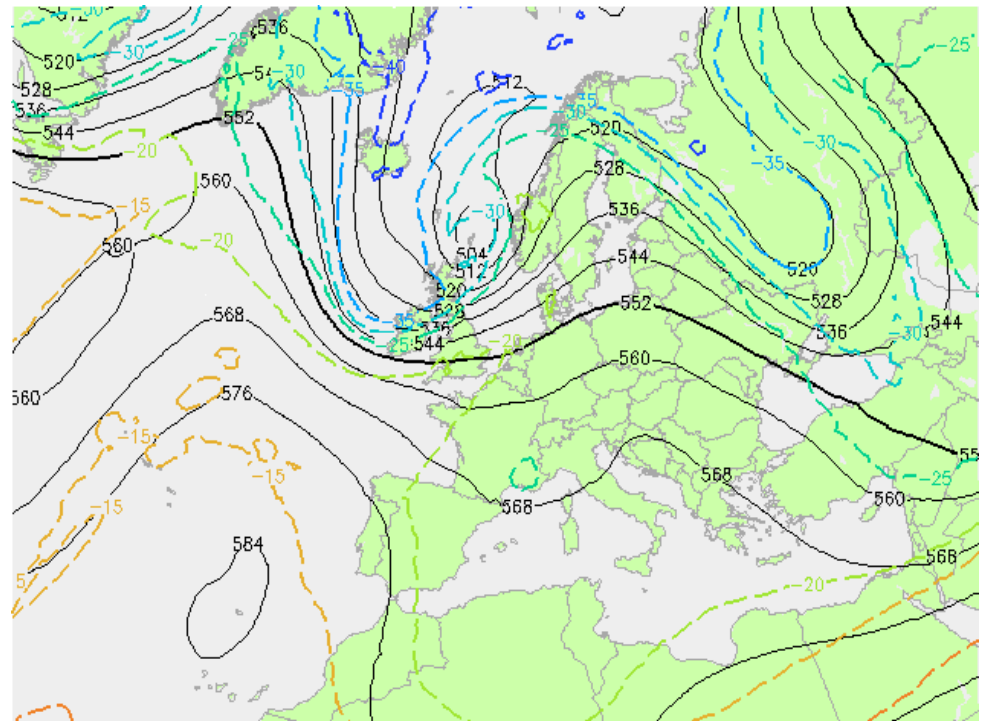
©weatheronline.co.uk



## EN RESUME

### Analyse d'une carte d'altitude 1

- **Un champ d'isohypses** généralement espacées de 80 en 80 mgp mais cotées en décimètres : **560 = 5600 mgp (isohypse de référence 552)**. La hauteur du géopotential désigne l'altitude à laquelle on atteint un potentiel égal de gravité par unité de masse à un niveau de pression donné (mgp  $\approx$  m).
- Des dorsales et des thalwegs.
- Un aperçu de la circulation générale au niveau de référence considéré (vent : idem règle de Buys Ballot autour des basses et des hautes valeurs en surface).
- Des zones de forts et de faibles gradients dans le champs d'isohypses.



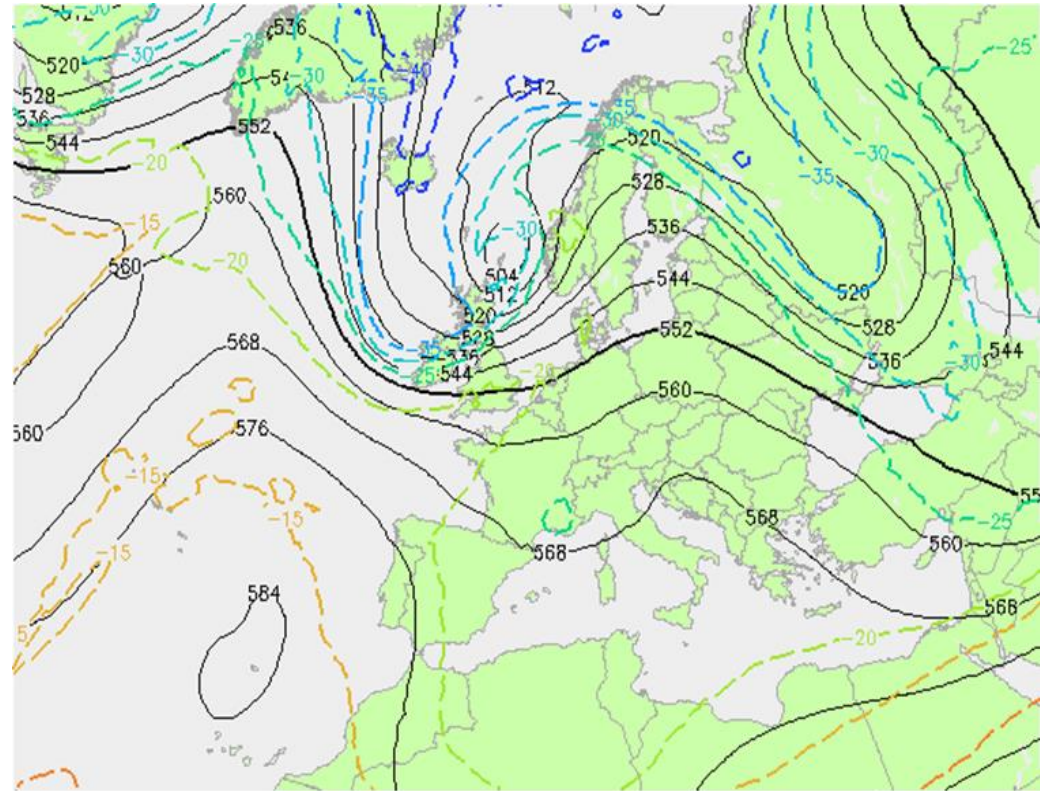
Height (gpdm) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS

Thu 07/12/17 12UTC (Thu 06+06)

©weatheronline.co.uk

## Analyse d'une carte d'altitude 2

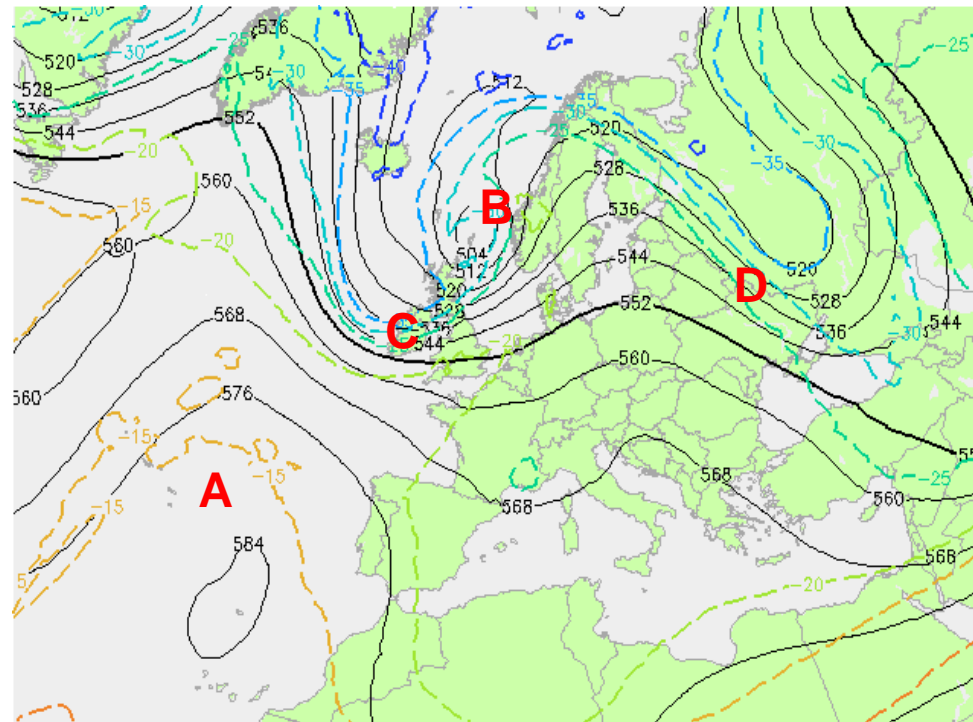
- **Un champ d'isothermes** cotées en °C généralement de 5°C en 5°C qui permet de visualiser la décroissance de la température avec l'altitude et de quantifier le caractère plus ou moins stable de l'atmosphère par rapport à l'atmosphère standard (**850 hPa : +5°C, 700 hPa : -5°C, 500 hPa : -20°C**)
- Les advections chaudes et les descentes froides.
- Les zones de forts et de faibles gradients dans le champs thermique.
- Les zones dans lesquelles le champs d'isothermes coupe le champs d'isohypses avec un angle marqué.



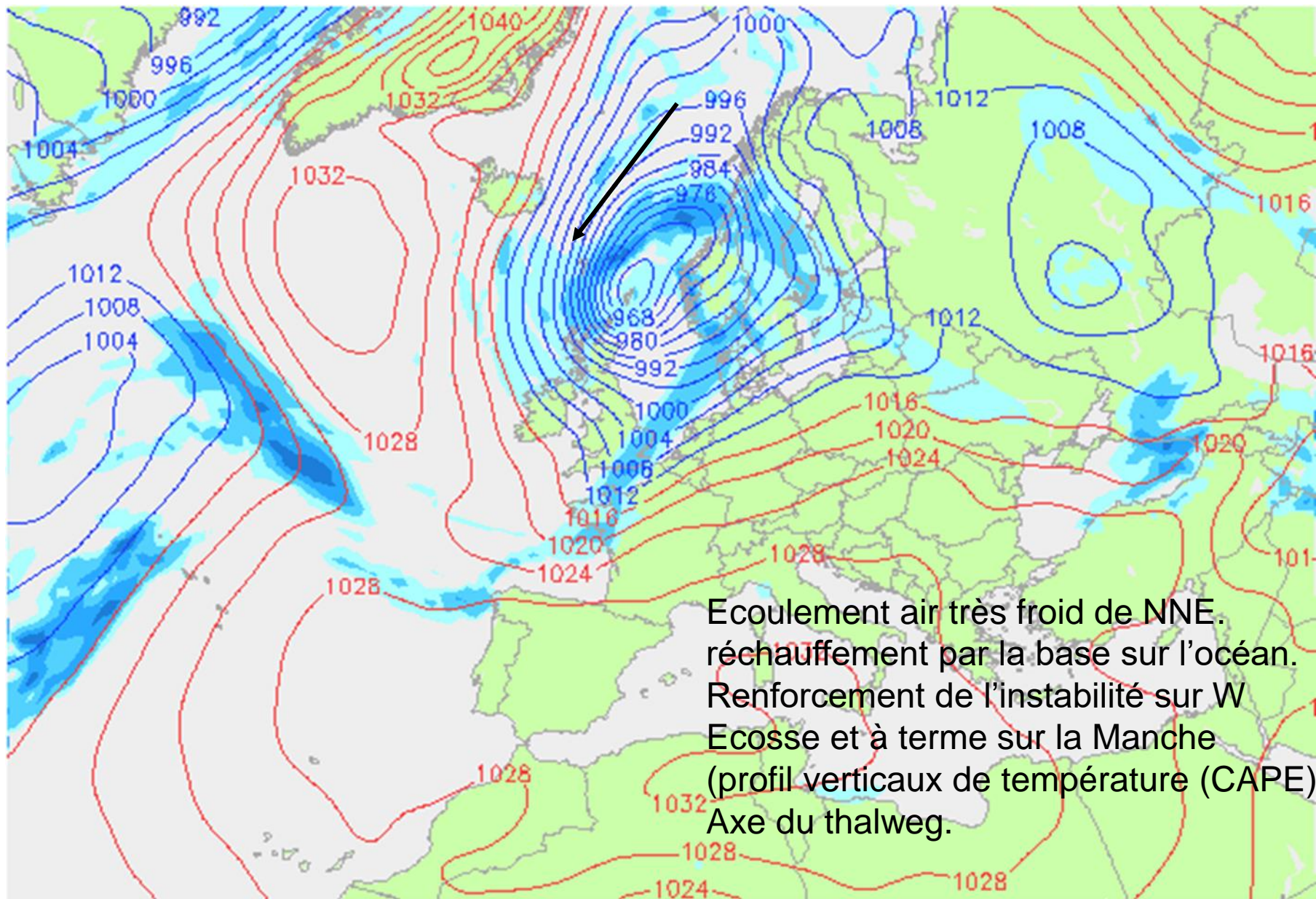
Height (gpdm) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS Thu 07/12/17 12UTC (Thu 06+06)  
©weatheronline.co.uk

## Déductions de l'analyse d'une carte d'altitude 3

- Les zones de hauts géopotentiels sont associées à de l'air chaud (**A**) et inversement les zones de bas géopotentiels sont associées à de l'air froid (**B**).
- Les zones à fort gradient thermique localisent les zones de conflits de masses d'air, conflit d'autant plus marqué que l'angle sous lequel le champs d'isothermes coupe le champs d'isohypses est important (**C, D**).
- Les positions relatives du champs d'isohypses et du champ d'isothermes en altitude est un indicateur de l'évolution d'un centre d'action au sol (creusement ou comblement d'une dépression).
- La valeur des isohypses en un lieu donné associée à celle des isothermes vont donner un aperçu de la nature du centre d'action associé au sol, de sa puissance, du caractère plus ou moins stable de la masse d'air et de l'intensité des phénomènes qui vont caractériser le type de temps.



Height (gpdm) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS Thu 07/12/17 12UTC (Thu 06+06)  
©weatheronline.co.uk



Ecoulement air très froid de NNE.  
 réchauffement par la base sur l'océan.  
 Renforcement de l'instabilité sur W  
 Ecosse et à terme sur la Manche  
 (profil verticaux de température (CAPE)  
 Axe du thalweg.

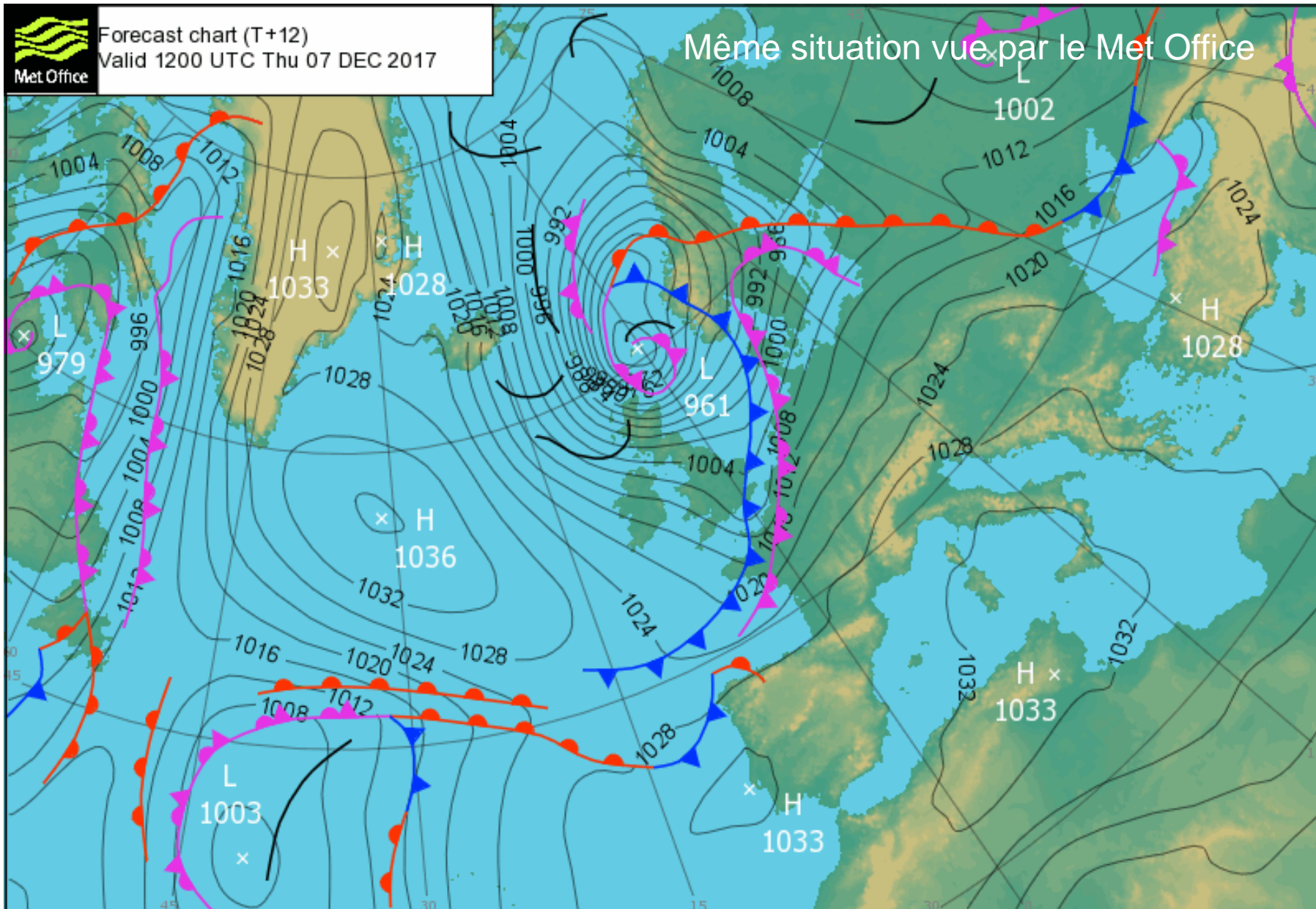
Precipitation GFS (mm)  
 0.5 2 5 10 20 30 40 50 100

Thu 07/12/2017 09..1° °C (Thu 06+06)  
 ©weatheronline.co.uk



Forecast chart (T+12)  
Valid 1200 UTC Thu 07 DEC 2017

Même situation vue par le Met Office



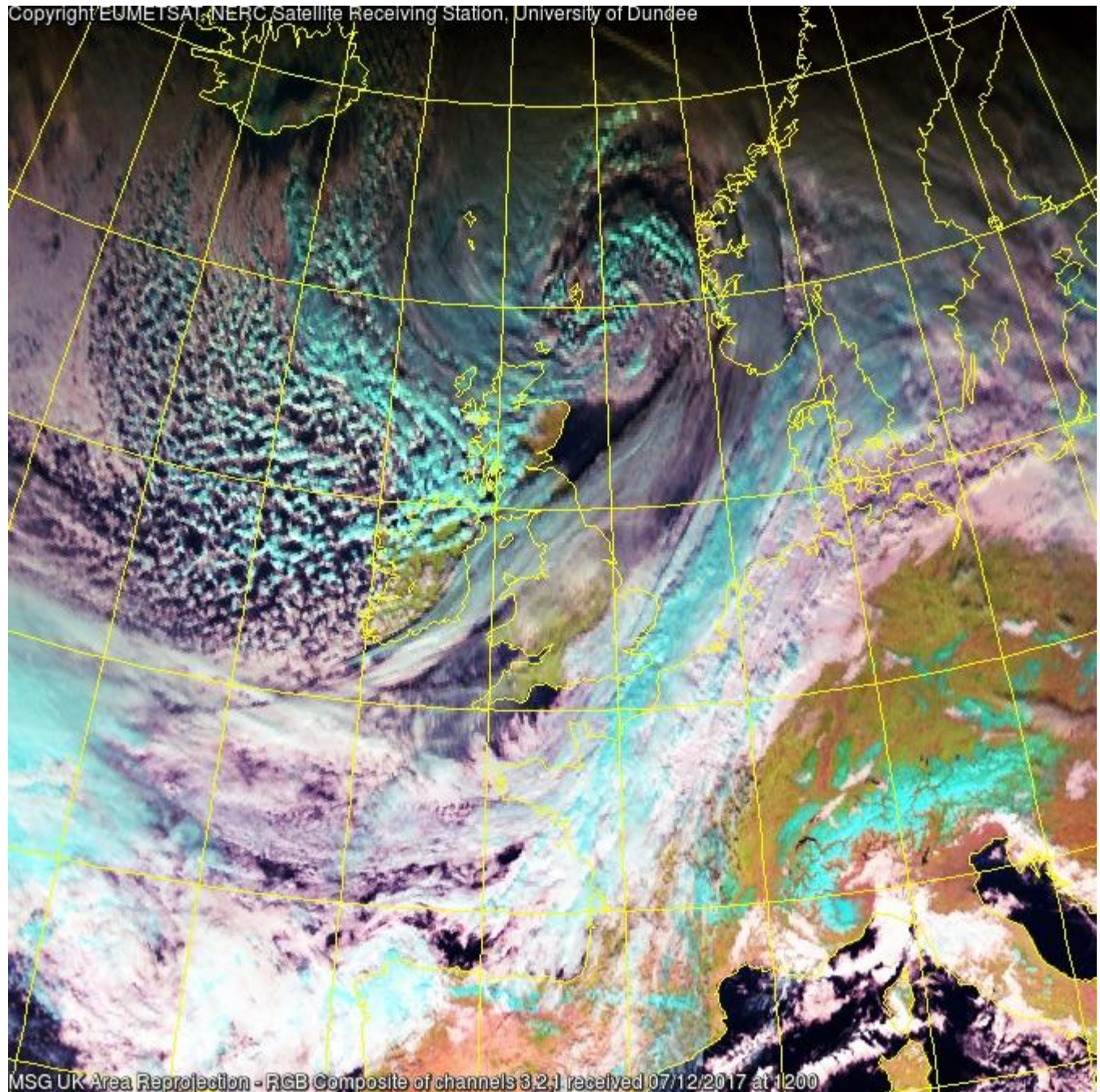
Fort gradient de pression et lignes d'instabilité sur W Ecosse - Air -35°C à 500 hPa ??

EUMETSAT

20171207  
12h00 UTC

Université de  
Dundée

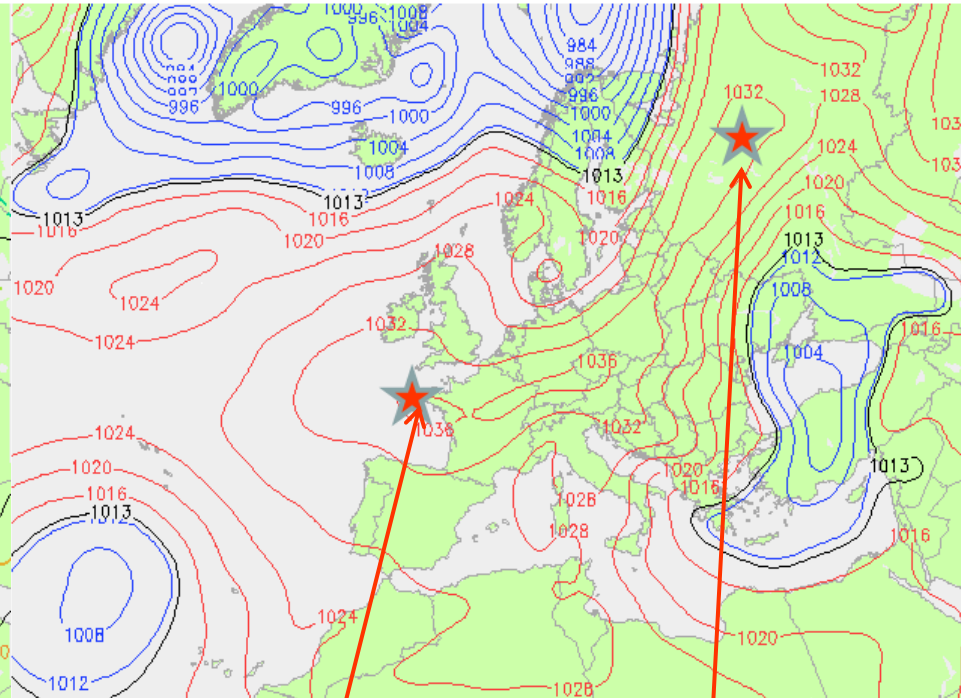
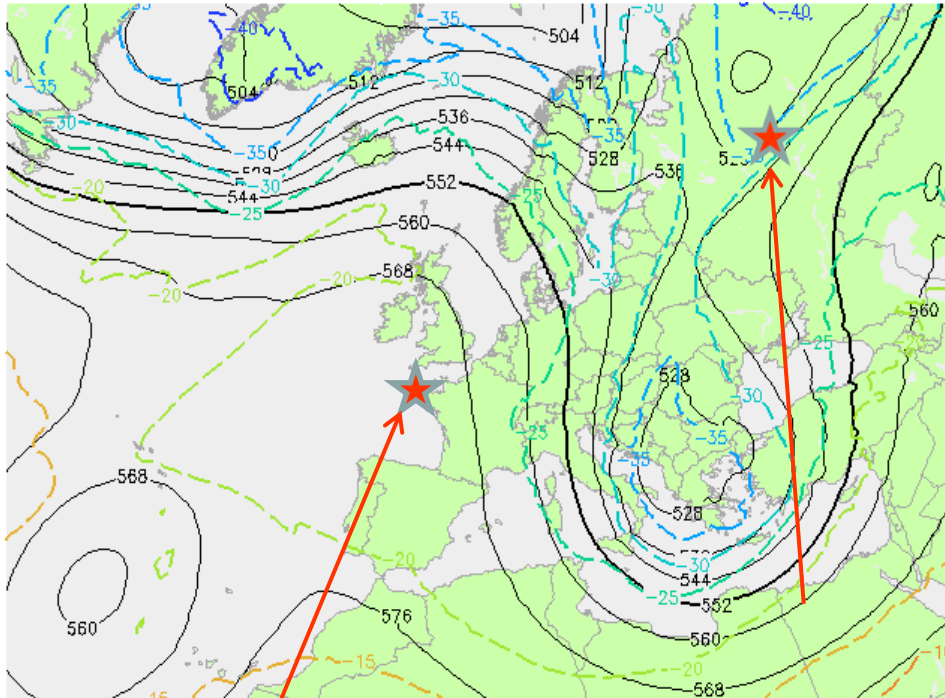
Image satellite  
correspondant  
à la situation  
précédente.  
Nuages de  
très forte  
instabilité sur  
W Ecosse N  
Irlande



# Centres d'action dynamiques et centres d'action thermiques

## 500 hPa

## Sol



Height (gpm) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS Sat 07/01/17 12UTC (Sat 06+06) ©weatheronline.co.uk

Surface Pressure GFS (hPa) Sat 07/01/17 12UTC (Sat 06+06) ©weatheronline.co.uk

570 mgp, -20°C

528 mgp, -35°C

1038 hPa

1034 hPa

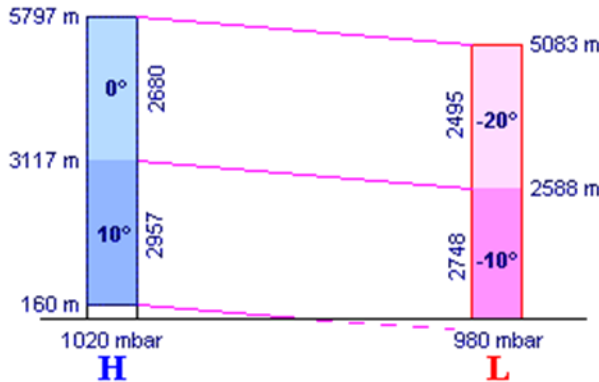
Un anticyclone et une dépression thermiques bien connus ???

# Synthèse : correspondance entre champs d'altitude et situation en surface

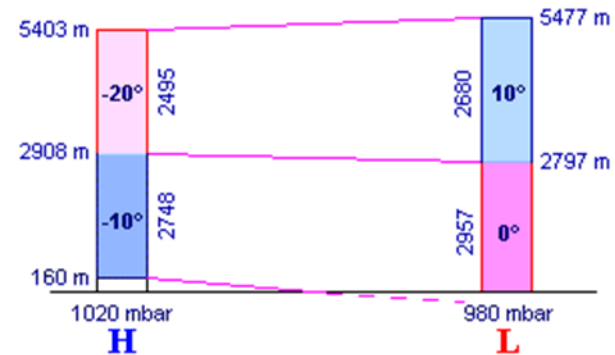
**Advection chaude en altitude** → hautes valeurs du champ d'isohypses → anticyclone **dynamique** au sol.

**Descente froide en altitude** → basses valeurs du champ d'isohypses → dépression **dynamique** au sol.

Dans les cas particuliers **des centres d'action thermiques**, les champs sont **inversés en altitude** (vers 2/3 km d'altitude) : anticyclone thermique de Sibérie, dépression thermique sur continent indien.... (à très petite échelle, dépressions thermiques à proximité du littoral sur le pourtour du bassin méditerranéen (Le Luc)).



Phénomènes dynamiques  
centre d'action dynamique



Phénomènes thermiques  
centre d'action thermique

Que ce soit au sol ou en altitude, les isolignes (isobares, isohypses) n'ont pas un écartement constant : → **le gradient horizontal de pression.**

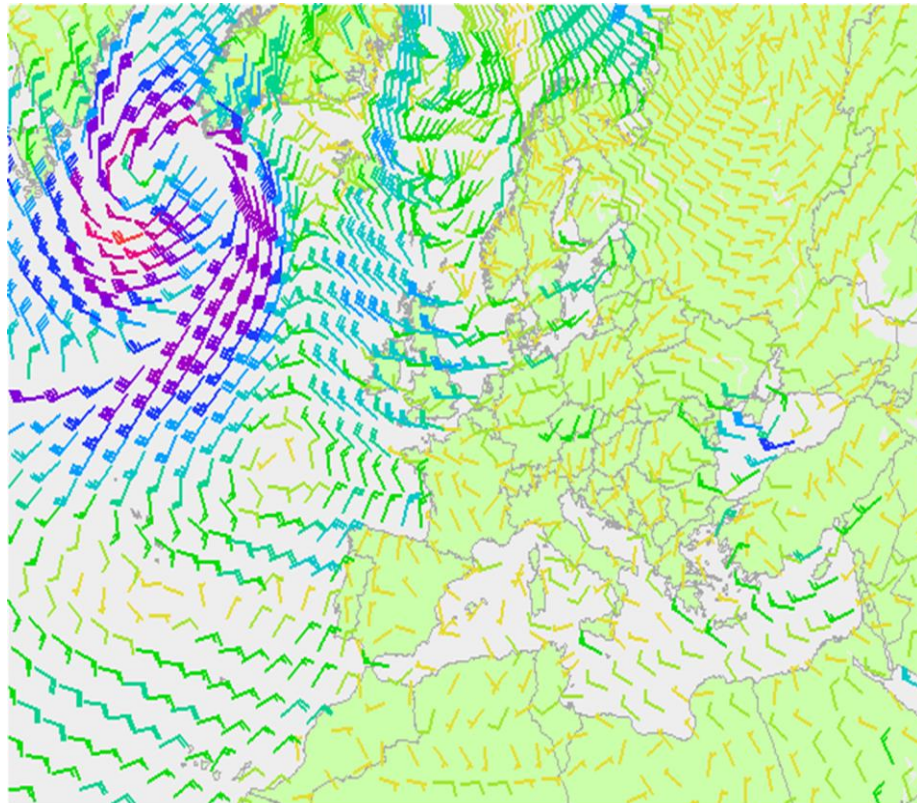


PAUSE .....

PUIS LE VENT

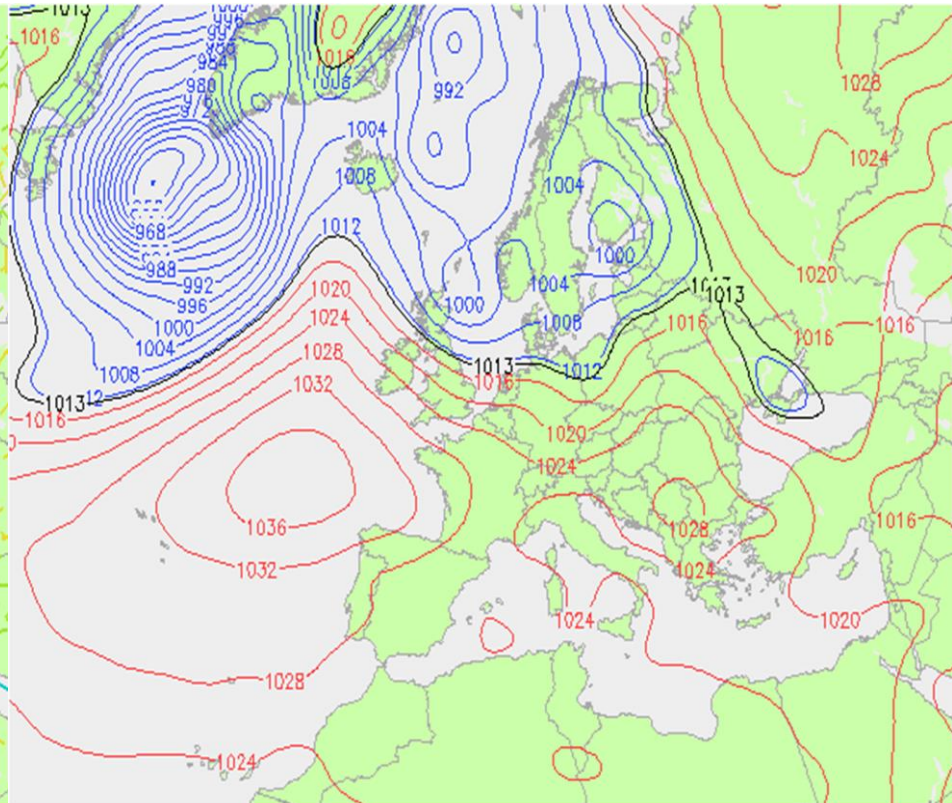
# Le vent : Sens et force du vent 20150304\_00H00 UTC

A remplacer



Wind 10m GFS (kts)  
5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

Wed 04/03/15 00UTC (Wed 00+00) Surface Pressure GFS (hPa)  
©weatheronline.co.uk



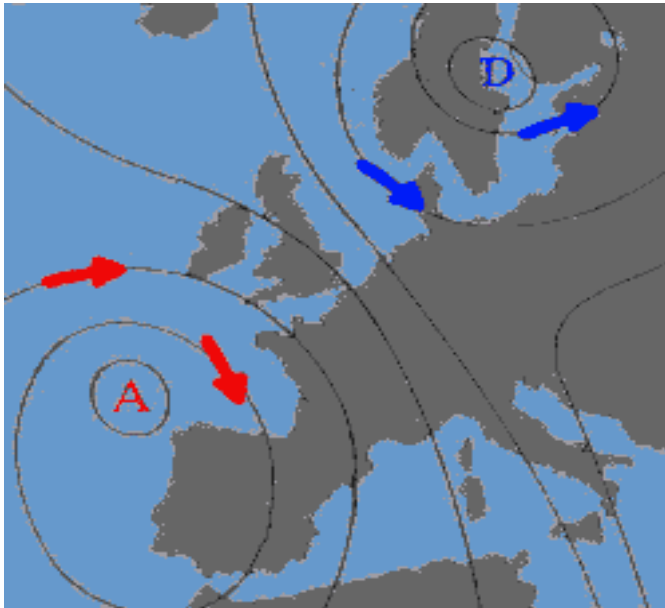
Wed 04/03/15 00UTC (Wed 00+00)  
©weatheronline.co.uk

# LE SENS DU VENT

Le vent souffle le long des isobares, en laissant, **dans l'hémisphère Nord**, les hautes pressions sur sa droite et les basses pressions sur sa gauche.

**En d'autres termes, le mouvement de l'air s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'une zone de hautes pressions et dans le sens inverse autour d'une zone de basses pressions .**

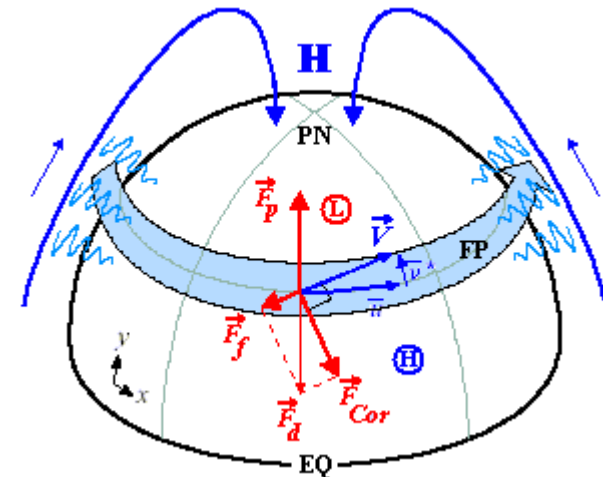
(règle de **Buys Ballots** 1857) .



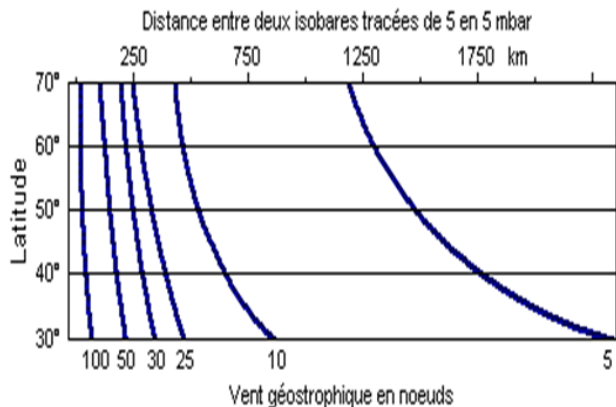
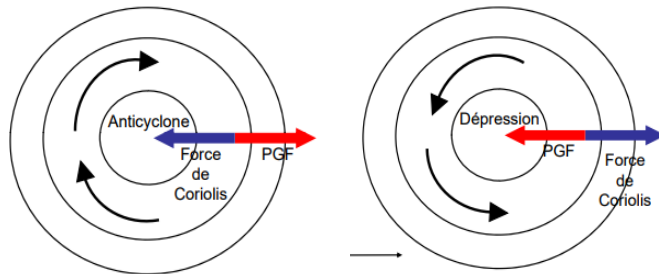
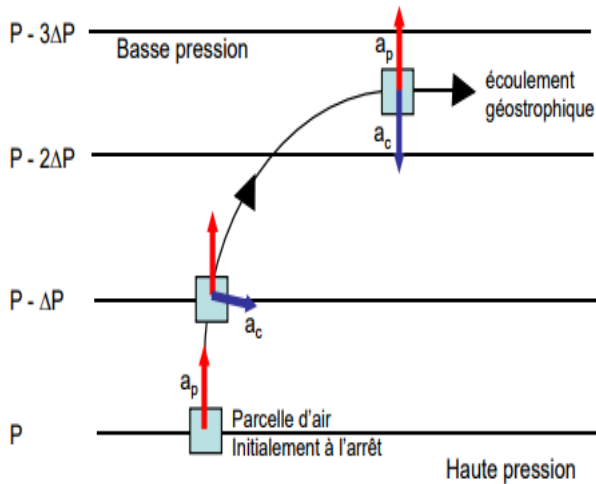
## DIRECTION ET FORCE DU VENT

En météo, le vent vient de.....

La direction et la force du vent sont impactées par des phénomènes qui le rendent différent du vent théorique initial.



# Vent géostrophique, vent du gradient, vent réel.



Le gradient horizontal de pression est à l'origine **du vent**.

C'est une force dirigée des hautes vers les basses pressions qui agit perpendiculairement aux isobares.

Composante horizontale de la force de **Coriolis** : cette force agit perpendiculairement à la direction du mouvement vers la droite dans l'hémisphère Nord et vers la gauche dans l'hémisphère Sud. Sa grandeur est égale à  $F_d = 2 \Omega V \sin \varphi$ ,  $\Omega$  étant la vitesse angulaire de rotation de la Terre et  $\varphi$  la latitude du lieu (**cyclones, upwelling, spirale d'Ekman...**).

→ le **vent géostrophique** : résulte de l'équilibre au dessus de la couche limite et au-delà du 20°N ou S de la force due au gradient horizontal de pression et de la force de Coriolis (équilibre géostrophique : vent // aux isobares PP < 850 hPa,  $Z \leq 1500m$ , cartes d'altitude).

Tangent aux isolignes (isobares - isohypses) (se renforce avec la latitude).

**Vent du gradient** : équilibre FP, FCor et Fcentrifuge (écoulement courbé). Le vent du gradient constitue une bonne approximation du vent réel en atmosphère libre.

# LE VENT DANS LA COUCHE DE FROTTEMENT

## Forces de frottement

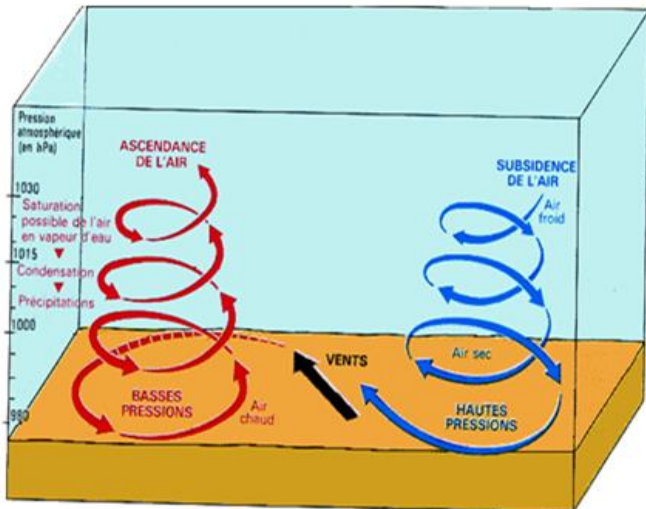
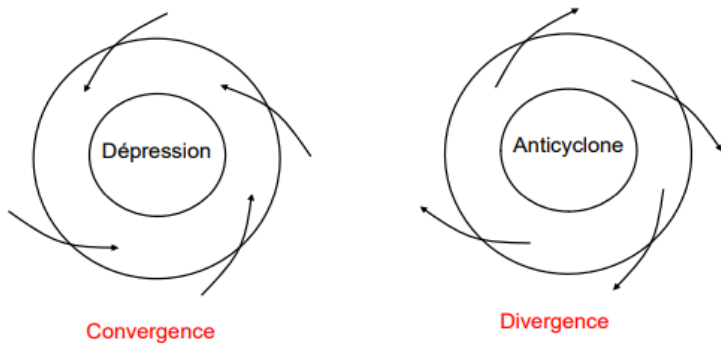
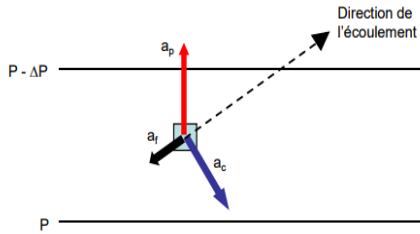
La rugosité de la surface terrestre entraîne une modification importante de la force du vent dans la couche de frottement (c. limite 500/1000 m).

Les forces de frottement :

- réduit fortement la force du vent géostrophique (-30/-40%) ;
- modifie le direction du vent ( $15^\circ$  sur mer,  $30^\circ$  sur terre, réduction de  $F_c$ , **divergence autour A**, **convergence autour D** → vent sort de l'anticyclone et entre dans la dépression) ;
- diminue rapidement avec l'altitude ou le vent réel se rapproche du vent géostrophique;
- peut modifier l'écoulement de l'air en altitude (ondes sous le vent des reliefs).

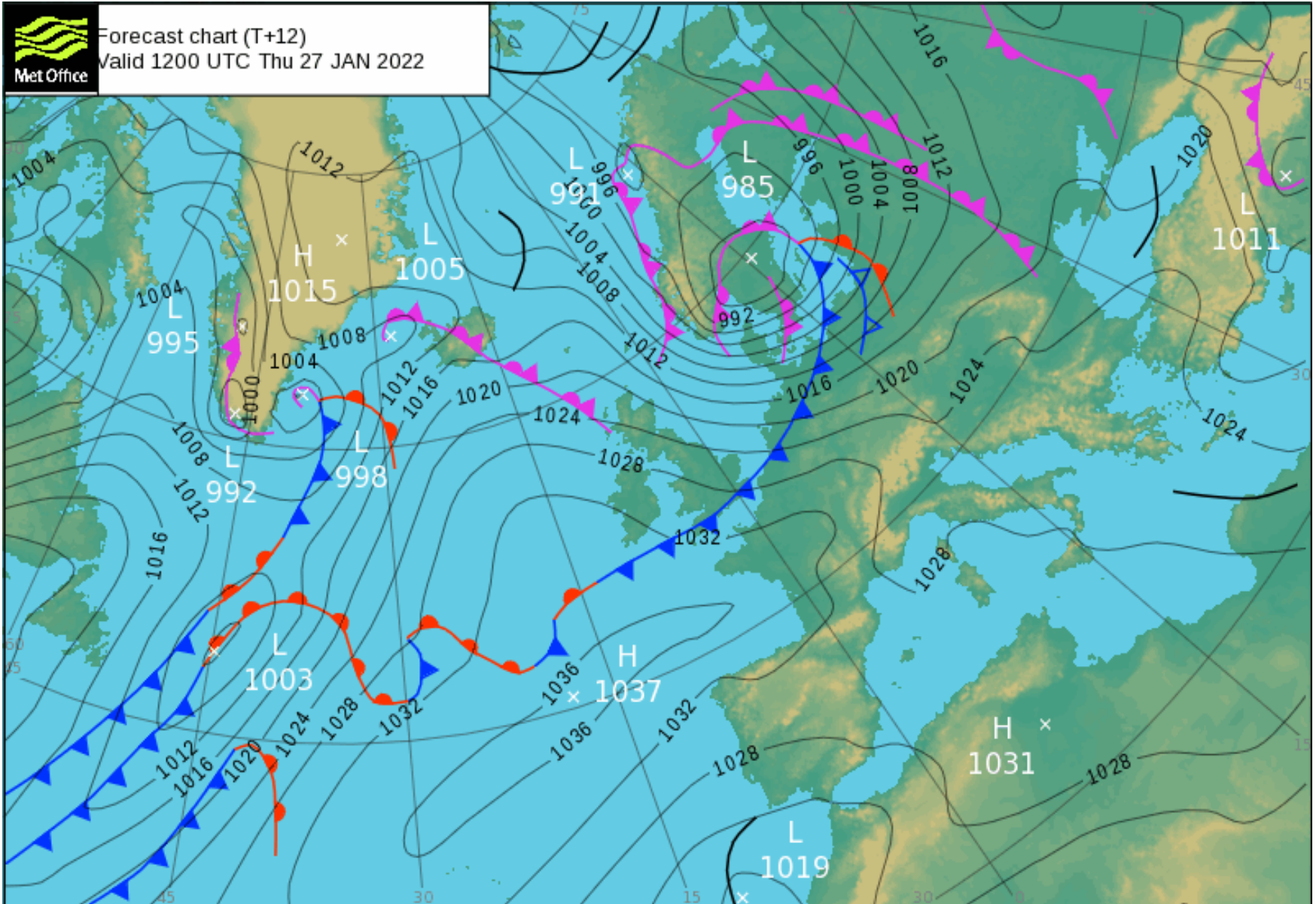
A gradient de pression égal, le vent est plus fort sur mer que sur terre.

La stabilité ou l'instabilité de l'air (air chaud sur mer froide ou air froid sur mer chaude)  $\Delta \pm 3$  nds convection sur courant chaud (contenu thermique dans couche de mélange océanique).

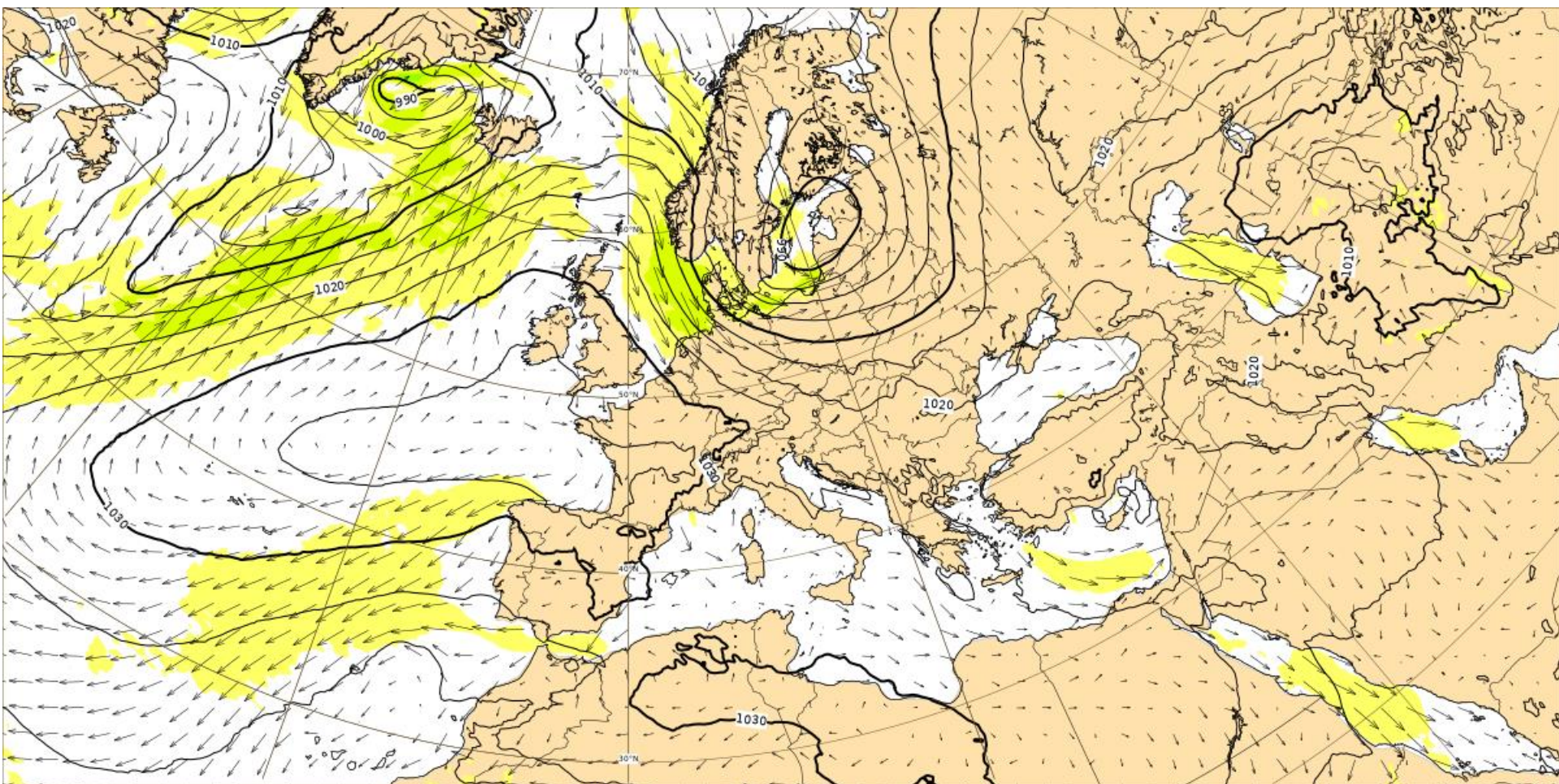




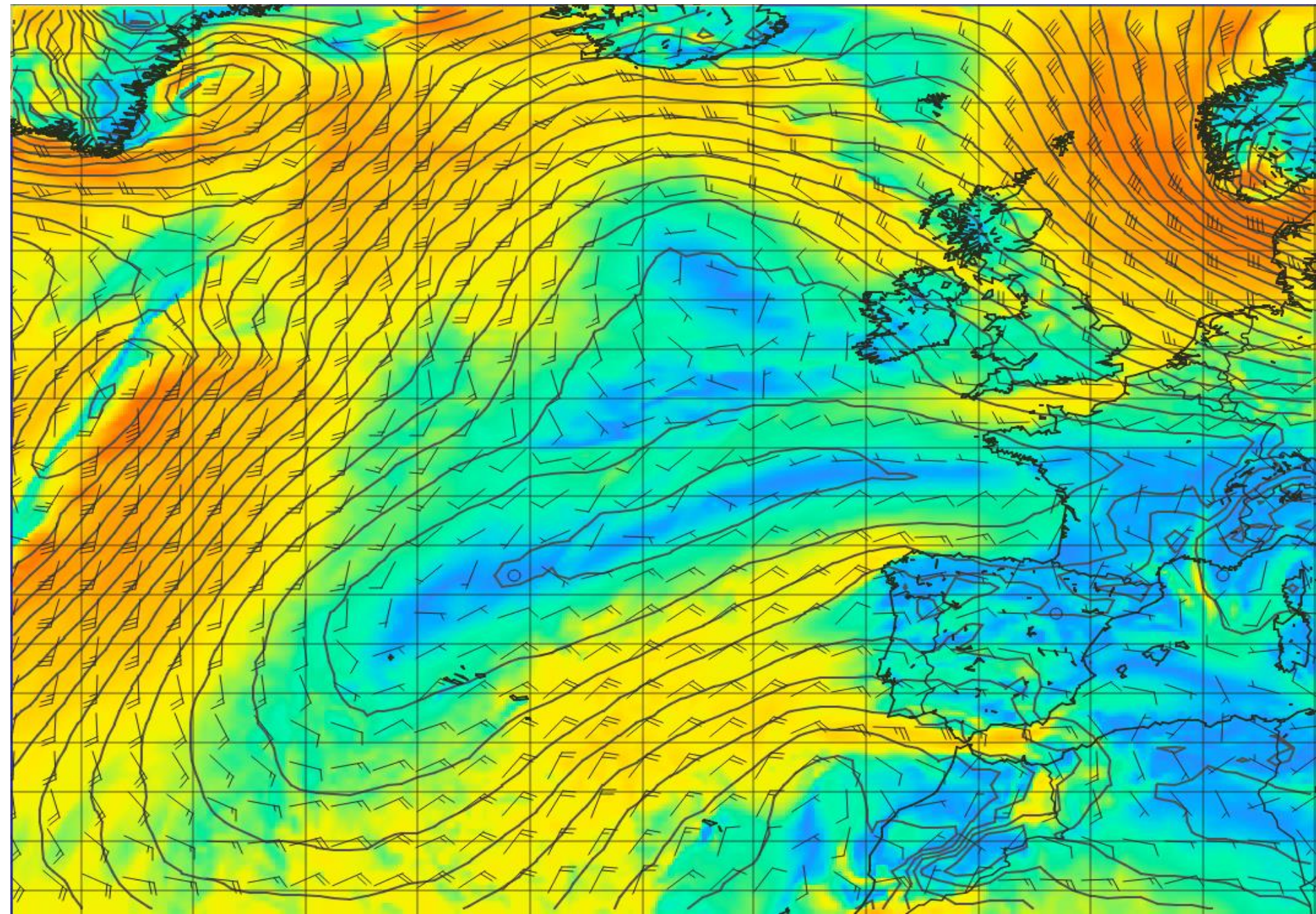
# Prévisions H+12 20220127 12h00 UTC



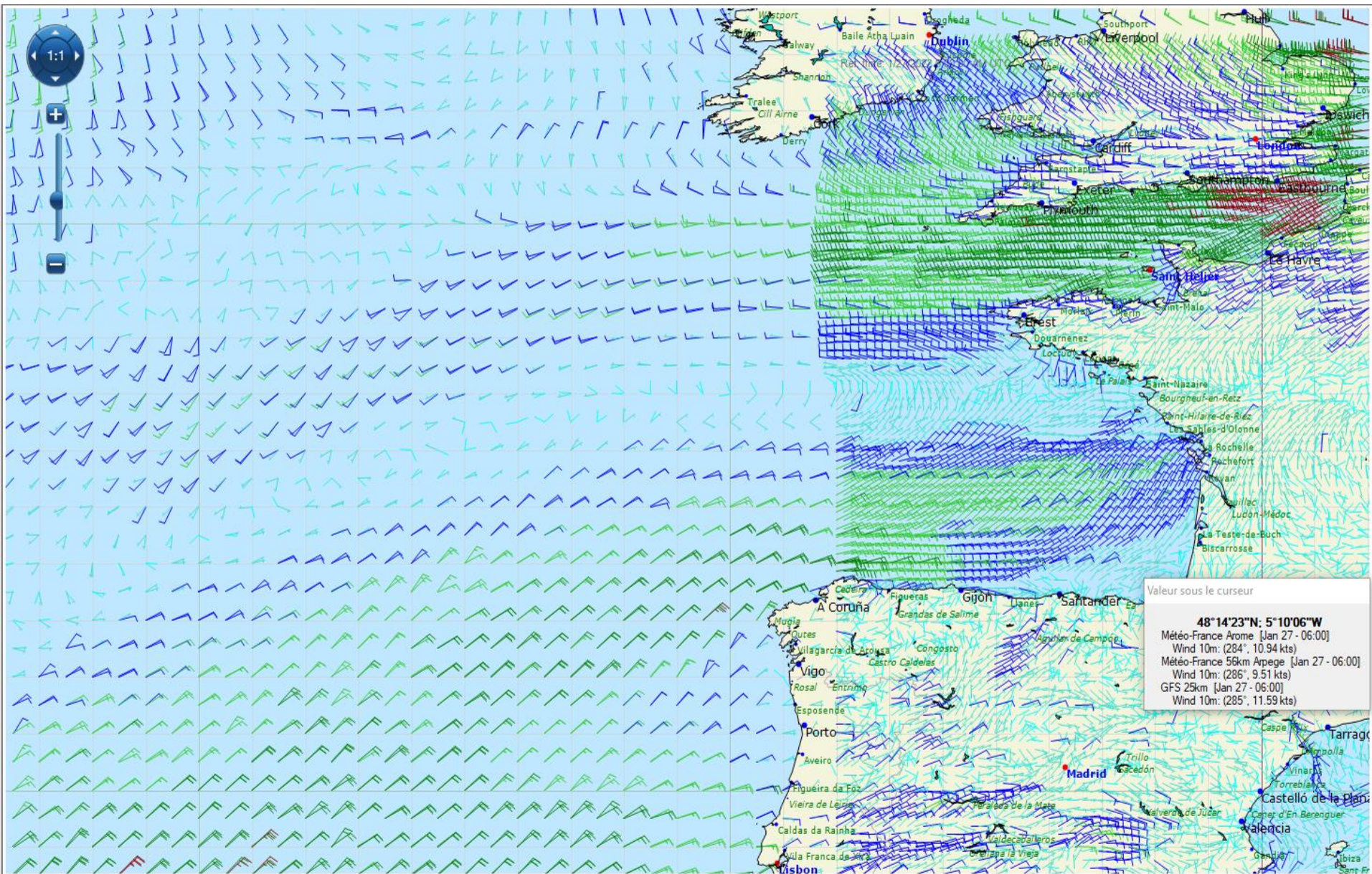
CEPMMT 20220127 12h00 UTC H+12



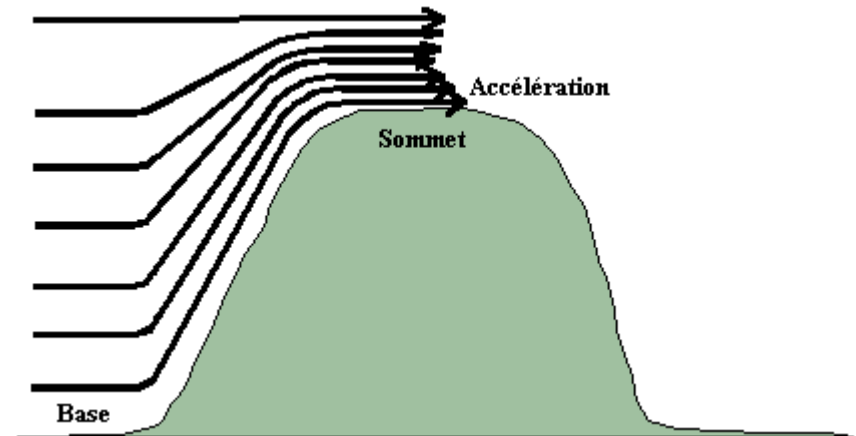
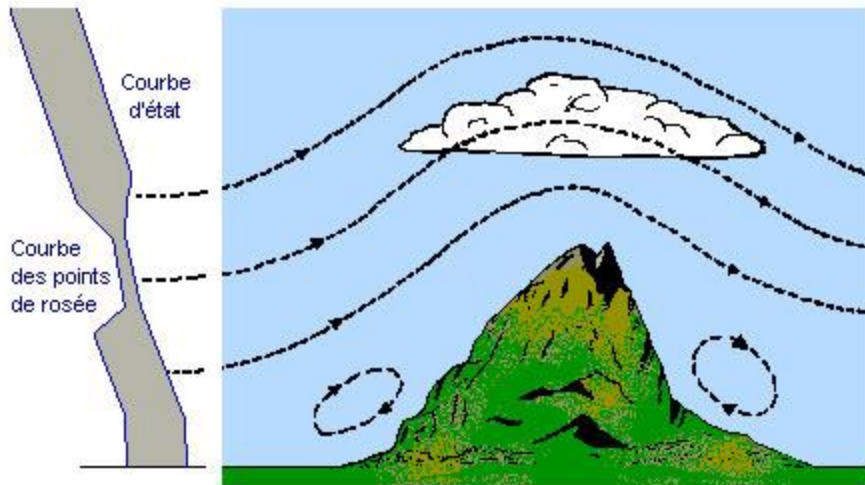
# Vents GFS 20220127 12h00 UTC



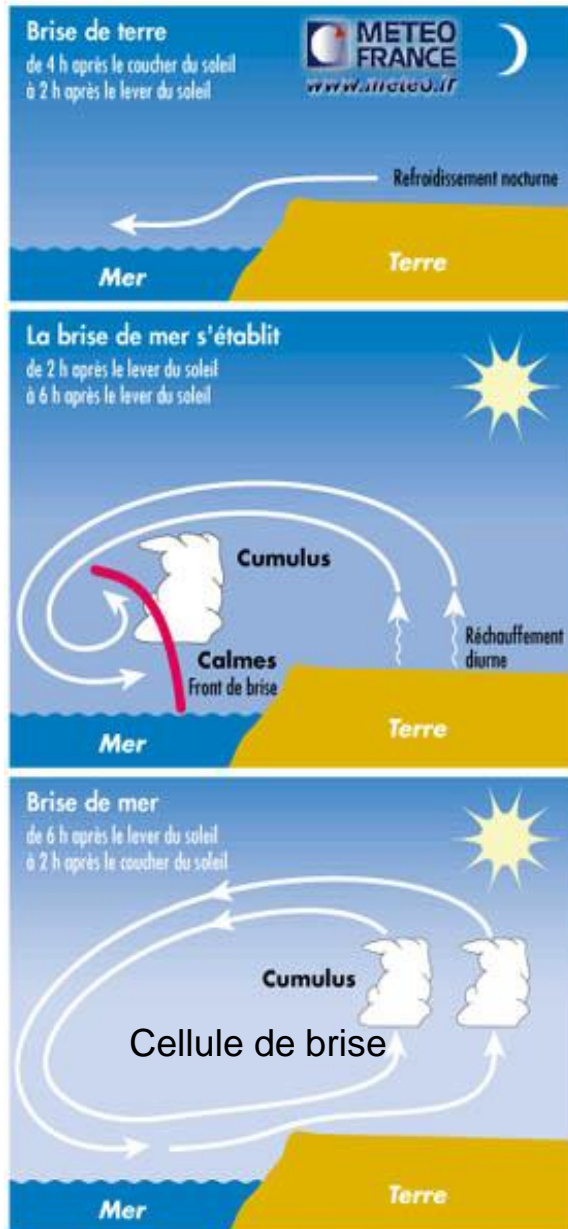
20220127 12h00 UTC (Grib : vents Arome 0,025°, Arpège 1°, GFS 0,25°)



# Action du relief sur le vent : nuages orographiques, effet Venturi



# ACTION DU VENT ET DE LA TEMPERATURE : L'EFFET DE BRISE.



La différence de température entre la terre et la mer génère un flux à l'origine de la brise ( $\Delta T$  4 à 5 °C) :

- la nuit : brise de terre, en journée : brise de mer ;
- Gagne à partir du large (b mer) ou de la terre (b terre) ;
- courant de compensation en altitude (moteur, ép. 200/300 m) aide à l'établissement de la brise ;
- dépressions thermiques côtières (Méditerranée)
- polygone de brise

## Brise de mer :

Epaisseur : environ 150 m (jusque 1000 m observée) ;  
Bande côtière : 7/15 nautiques plus importante en mer que sur terre ( $f$  relief, T, nébulosité, sol, ff vent synoptique..) -  
front de brise : air froid et humide/air chaud et sec ;  
Accélération du vent : 8/10 nds ;

Tend à s'orienter plus à droite en journée.

Un vent synoptique de terre  $\geq$  à 18 nds neutralise la brise.  
Action sensible des nuages élevés (cirrus – 300 hPa).

Brise de terre : moins marquée 6/12 nds (stabilité) mais favorise l'apparition de brouillard côtier formé sur le continent. Incidence sur vent synoptique (attention vents d'Est pointe de Bretagne la nuit qui tend vers le NW le jour)  
Courants de pentes, sortie de vallée, de rivière.

Attention : les heures sont approximatives, notamment les heures des levés de la brise de mer et de la brise de terre sont très variables.

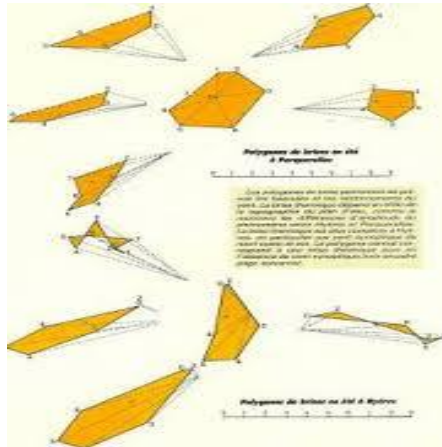
## Exemple de polygones de brise

Dispositif météo pour analyse de l'effet de brise lors de la préparation de la 32ème édition de l'América's Cup (Aréva Challenge) en Espagne en 2007 et 2010 :

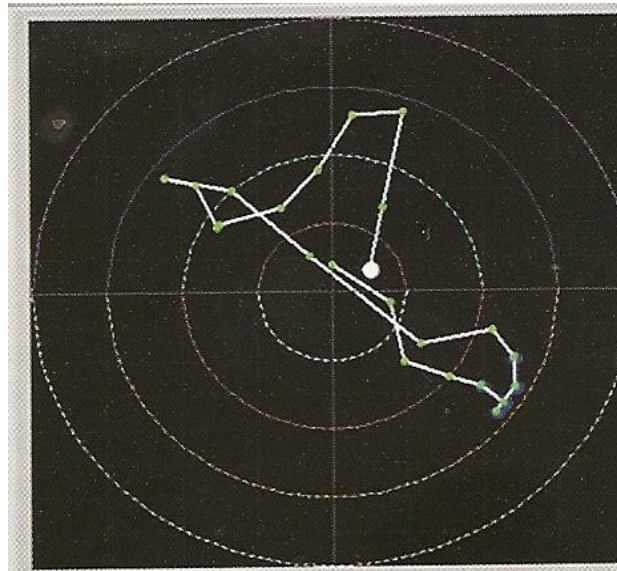
21 bouées en place depuis juin 2005, 6 bateaux et 6 sites à terre, 1 profileur de vent entre 200 et 3000 m à terre : 1 paquet de données toutes les 15 secondes en temps réel jusqu'à 5 minutes avant le départ.

Modèle à maille fine (5 km) Hirlam du SM espagnol plus accès aux données nationales.

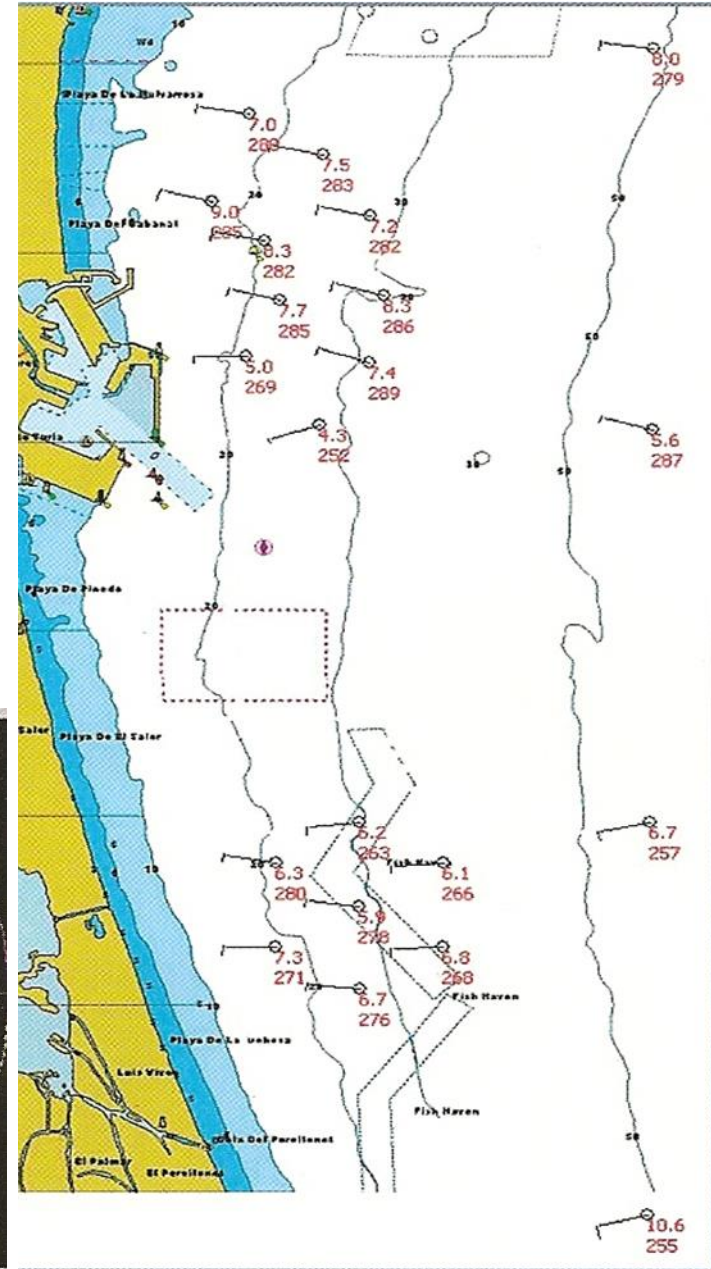
## Autres exemples de polygones de brise



## Polygone de brise réalisé pour l'América's Cup 2007



## Implantation des bouées à Valence



# L'échelle Beaufort (1946)

Degré Beaufort	Terme descriptif	Vitesse moyenne en nœuds	Vitesse moyenne en km/h	Observations en mer	Observations sur terre
0	Calme	< 1	< 1	La mer est comme un miroir.	On ne sent pas de vent ; la fumée s'élève verticalement.
1	Très légère brise	de 1 à 3	De 1 à 5	Quelques rides en écaille de poisson, mais sans aucune écume.	On sent très peu le vent ; sa direction est révélée par la fumée qu'il entraîne, mais non par les girouettes.
2	Légère brise	de 4 à 6	de 6 à 11	Vaguelettes courtes aux crêtes d'apparence vitreuse, ne déferlant pas.	Le vent est perçu au visage ; les feuilles frémissent, les girouettes tournent.
3	Petite brise	de 7 à 10	de 12 à 19	Très petites vagues (environ 60 cm de haut) ; les crêtes commencent à déferler, les moutons apparaissent.	Les drapeaux légers se déploient ; les feuilles et les rameaux sont sans cesse agités.
4	Jolie brise	de 11 à 16	de 20 à 28	Petites vagues s'allongeant, moutons nombreux.	Le vent soulève la poussière, les feuilles et les morceaux de papier, il agite les petites branches ; les cheveux sont dérangés, les vêtements claquent.
5	Bonne brise	de 17 à 21	de 29 à 38	Vagues modérées (2 m de haut), nettement allongées ; beaucoup de moutons ; embruns.	Les yeux sont gênés par les matières dans l'air ; les arbustes en feuilles commencent à se balancer ; des vaguelettes se forment sur les plans d'eau.
6	Vent frais	de 22 à 27	de 39 à 49	Des lames se forment, les crêtes d'écume blanche s'étendent ; davantage d'embruns.	Les manches sont gonflées par les côtés, l'utilisation des parapluies devient difficile ; les grandes branches sont agitées, les fils des lignes électriques font entendre un sifflement.
7	Grand frais	de 28 à 33	de 50 à 61	La mer grossit en lames déferlantes ; l'écume commence à être soufflée en traînées dans le lit du vent.	La marche contre le vent devient pénible ; les arbres sont agités en entier.
8	Coup de vent	de 34 à 40	de 62 à 74	Les lames atteignent une hauteur de l'ordre de 5 m ; tourbillons d'écume à la crête de lames, traînées d'écume.	La marche contre le vent est très difficile ; le vent casse des rameaux.
9	Fort coup de vent	de 41 à 47	de 75 à 88	Grosses lames déferlant en rouleaux, tourbillons d'embruns arrachés aux lames, nettes traînées d'écume ; visibilité réduite par les embruns.	Les enfants sont renversés ; le vent arrache les tuyaux de cheminées et endommage les toitures.
10	Tempête	de 48 à 55	de 89 à 102	Très grosses lames déferlantes (9 m de haut) ; écume en larges bancs formant des traînées blanches ; visibilité réduite par les embruns.	(Rarement observé à terre.) Les adultes sont renversés ; les arbres sont déracinés, les habitations subissent d'importants dommages.
11	Violente tempête	de 56 à 63	de 103 à 117	Lames déferlantes d'une hauteur exceptionnelle ; mer couverte d'écume blanche ; visibilité réduite.	(Très rarement observé à terre.) Ravages étendus.
12	Ouragan	64 et plus	118 et plus	Lames déferlantes énormes (les creux atteignent 14 m), mer entièrement blanche ; air plein d'écume et d'embruns ; visibilité très réduite.	(En principe, degré non utilisé.) Ravages désastreux : violence et destruction.

# ACTION DU VENT SUR LA MER



L'action du vent sur la mer génère des ondulations : la mer du vent et la houle qui dépendent de la **durée**, de la **distance** sur laquelle le vent a soufflé sans rencontrer d'obstacles et de la **force** du vent:

**la mer du vent** : créée par le vent soufflant sur zone ;

**la houle** : s'est propagée hors de la zone d'action du vent générateur. – **Fetch** –  $DD + 30^\circ$

- Caractéristiques : Hauteur (H), période (P constante), longueur d'onde (L), cambrure (H/L).
- Eau profonde si fond  $> \frac{1}{2}$  longueur d'onde.

**En eau profonde** : Seule l'énergie se propage (mouvement orbital) et la vitesse de propagation de la houle proportionnelle à sa longueur d'onde.

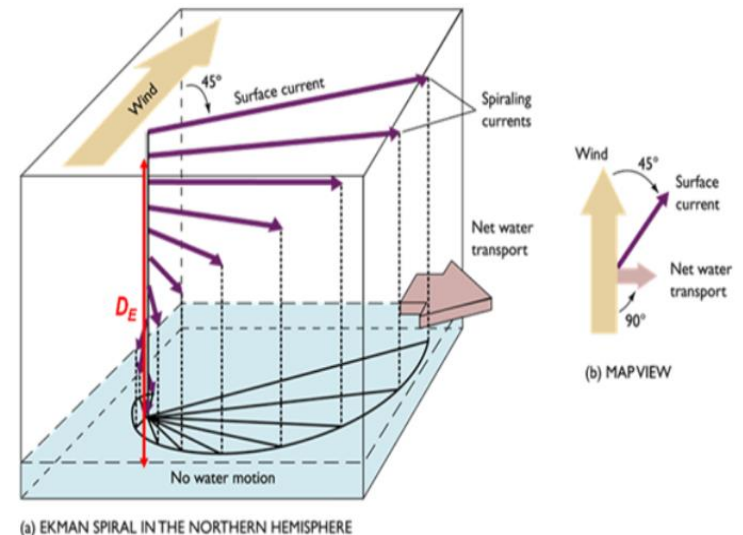
$$C \text{ (nds)} = 3P \text{ (S)}$$

- P 5s → C 15 nds → L 40 m
- P 8s → C 24 nds → L 100 m
- P 12s → C 36 nds → L 220 m.
- P 15s → C 45 nds → L 350 m
- Si fond  $\leq \frac{1}{2}$  longueur d'onde, la houle "sent le fond" :  
P↓ - L↓ - Cambrure ↑ → déferlement (H/L < 1/7).

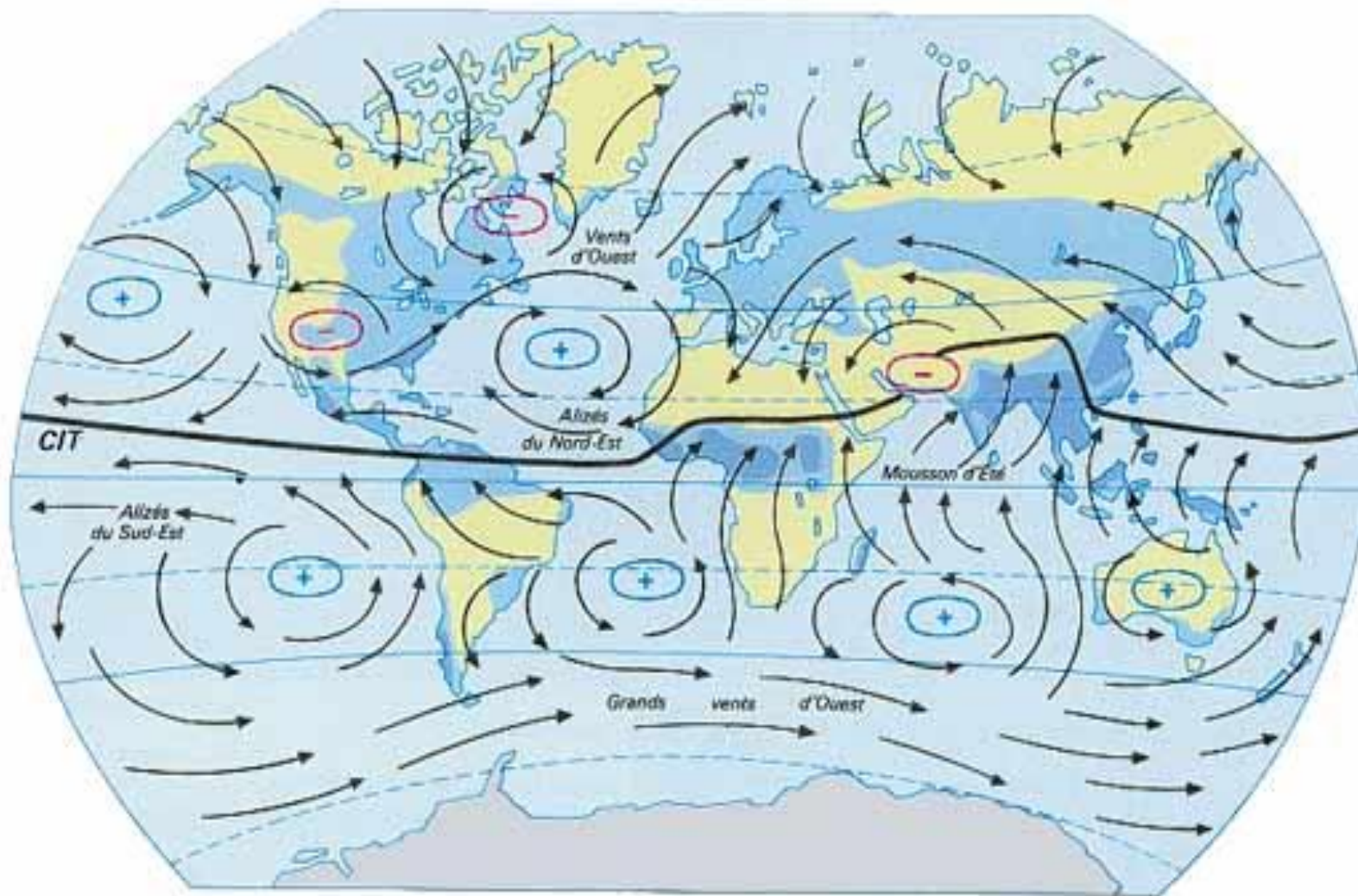


## Autres actions du vent sur la mer :

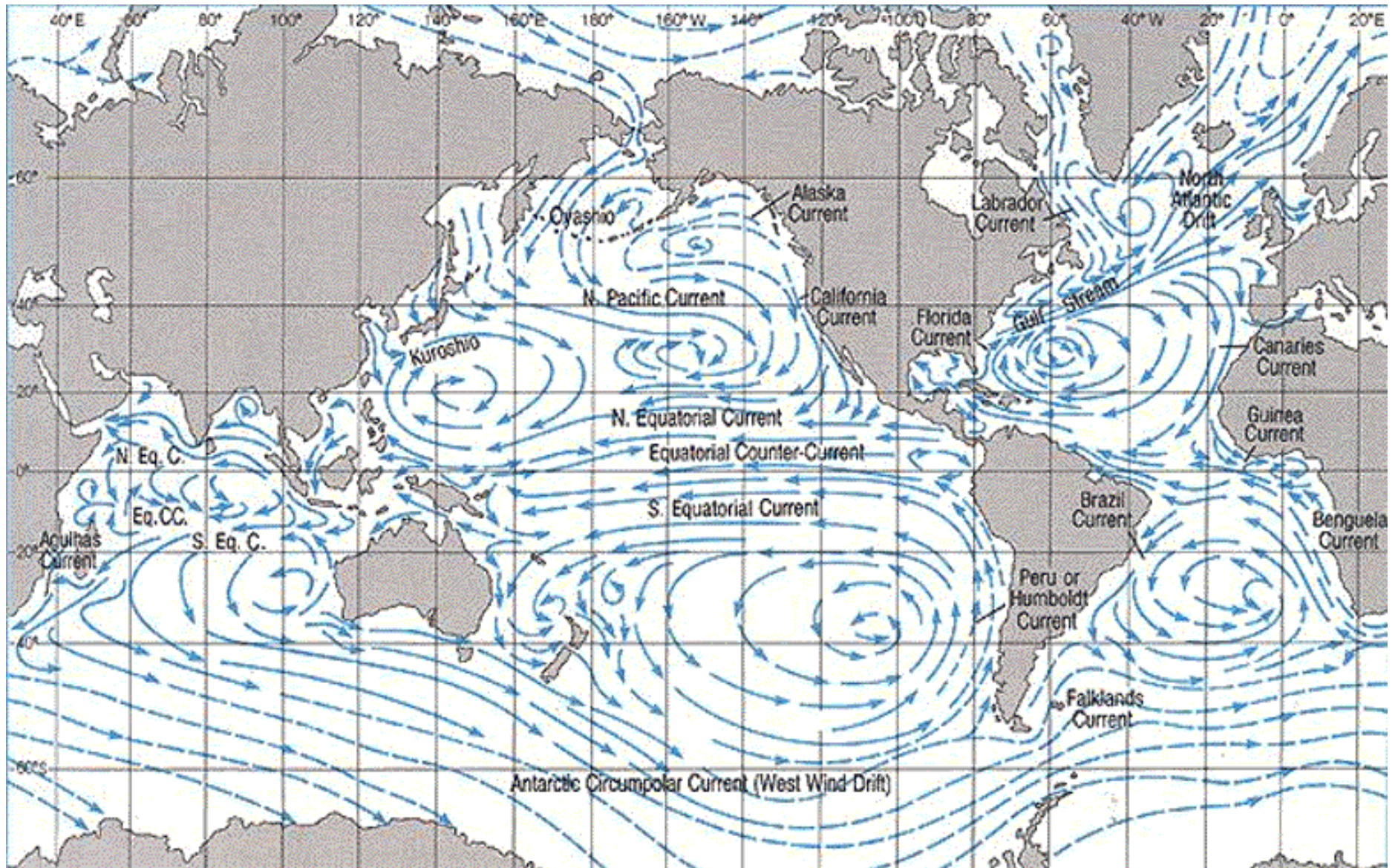
- Upwelling côtier, (visibilité, stabilité basses couches atmosphérique, danger pour la navigation concentration bateaux de pêche,...), upwelling équatorial (T mer plus basse et contre-courant). Sous la surface, spirale d'Ekman (sensible jusque 50/60 m mais parfois jusque 150m ff,) contribue à « évacuer » une certaine quantité d'eau et à réduire l'intensité d'une marée de tempête par fonds sup 50/60 m.
- Marée de tempête, submersion.
- Houle d'W par situation anticyclonique (analyse situation météo générale).
- Mer hachée : rapide rotation des vents derrière un front ou courant avec / contre le vent.
- Vagues scélérates ( $H_{1/3} * 3$ ).
- Courants de dérive (dérives équatoriales, nord Atlantique, courant des Aiguilles, Benguala, Humbolt, El Niño, La Niña, .....).



# LA CIRCULATION GENERALE ATMOSPHERIQUE EN SURFACE (été boréal)



## Les grands courants océaniques : courants de dérive



# ETAT DE LA MER

Force	Termes descriptifs	Hauteur moyenne en mètres *		
0	Calme	0		
1	Ridée	0	-	0,1
2	Belle	0,1	-	0,5
3	Peu agitée	0,5	-	1,25
4	Agitée	1,25	-	2,5
5	Forte	2,5	-	4
6	Très forte	4	-	6
7	Grosse	6	-	9
8	Très grosse	9	-	14
9	Enorme	14 et plus		

\*Hauteur moyenne de la vague obtenue à partir des vagues bien formées, les plus grosses dans le système observé.

## Longueur d'onde de la houle :

Courte → 0 à 100 m

Moyenne → 100 à 200 m

Longue → > à 200 m

## Hauteur de la houle (creux) :

Petite → 0 à 2 m

Modérée → 2 à 4 m

Grande → > à 4 m

## Paramètres

Période, creux, longueur d'onde

Célérité =  $3T$  ex: 8s → 24 nds

$P = 8s$ , Longueur d'onde : 99 m

Déferlement :  $H/L = 0.14$  (1/7)