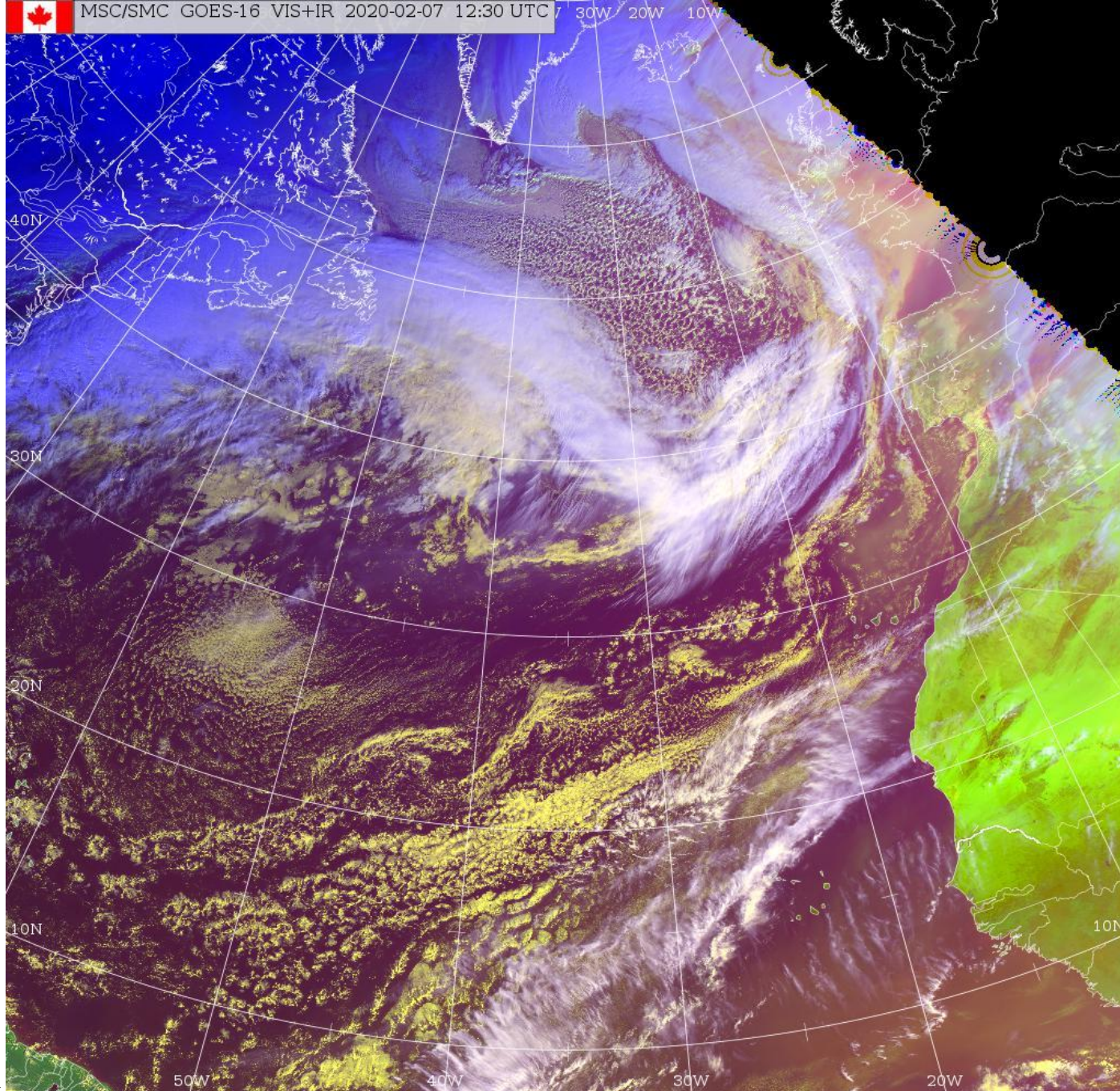


METEOROLOGIE

Module 1

Fev 2020 JJ Quéré



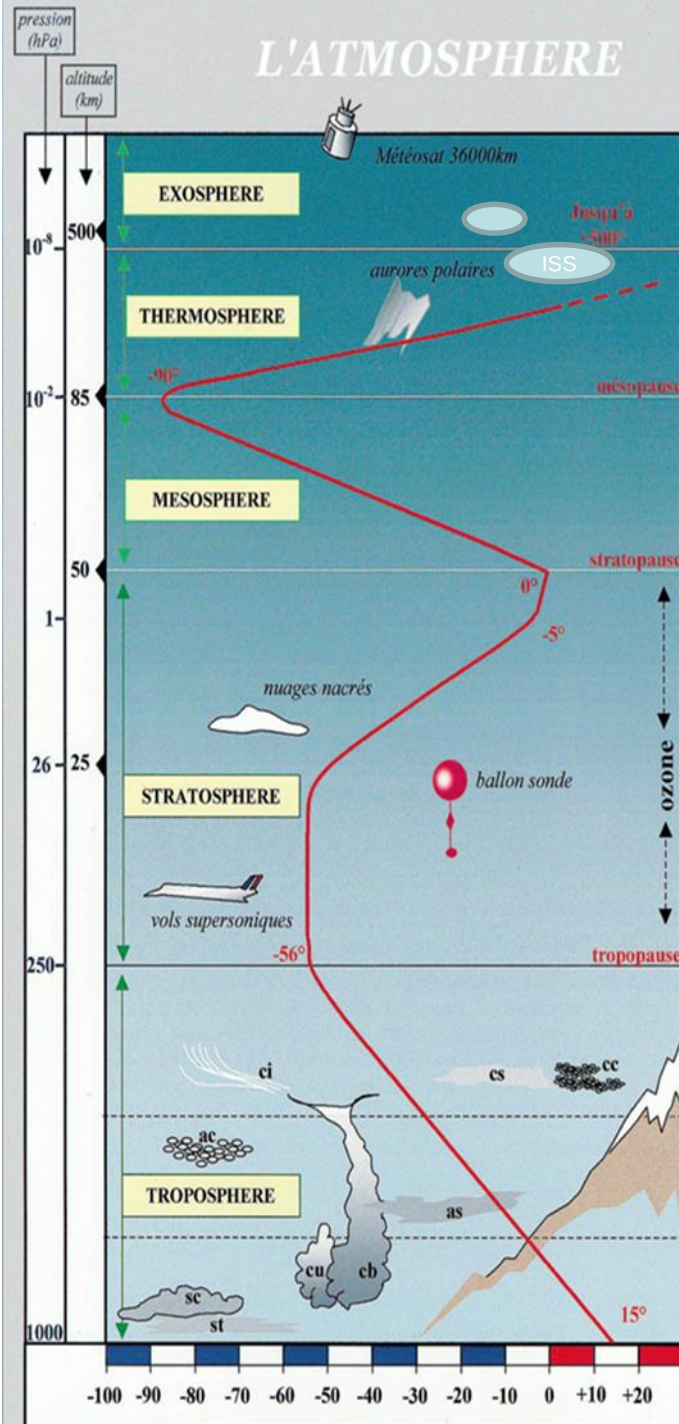
LA METEOROLOGIE

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'ATMOSPHÈRE

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

L'atmosphère ➡ **la troposphère**

Troposphère → altitude variable :

- tropopause basse pôles : 7 km, -50°C ;
- tropopause haute équateur : 18 km, -80°C ;
- tropopause moyenne zones tempérées 13 km, -56°C.

(ISS 330/420 Km)

T,U,P décroissent avec l'altitude, 50% de la masse de l'atmosphère dans 5 km (N², O², H²O, CO²).

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°C (288,15°K), ΔT : 1°C/100 m air sec, 0,65°C/100m air saturé, T Tropo -56,5°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.

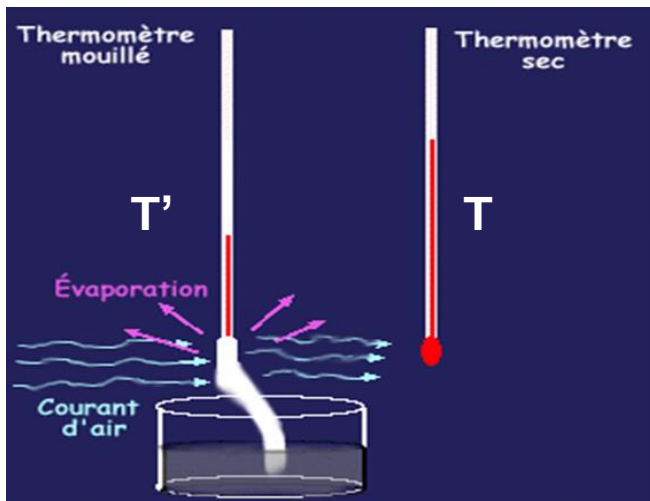
Td : relative stabilité dans le temps, sensiblement identique au sein d'une masse d'air donnée , discontinuité dans l'espace indique changement de masse d'air.

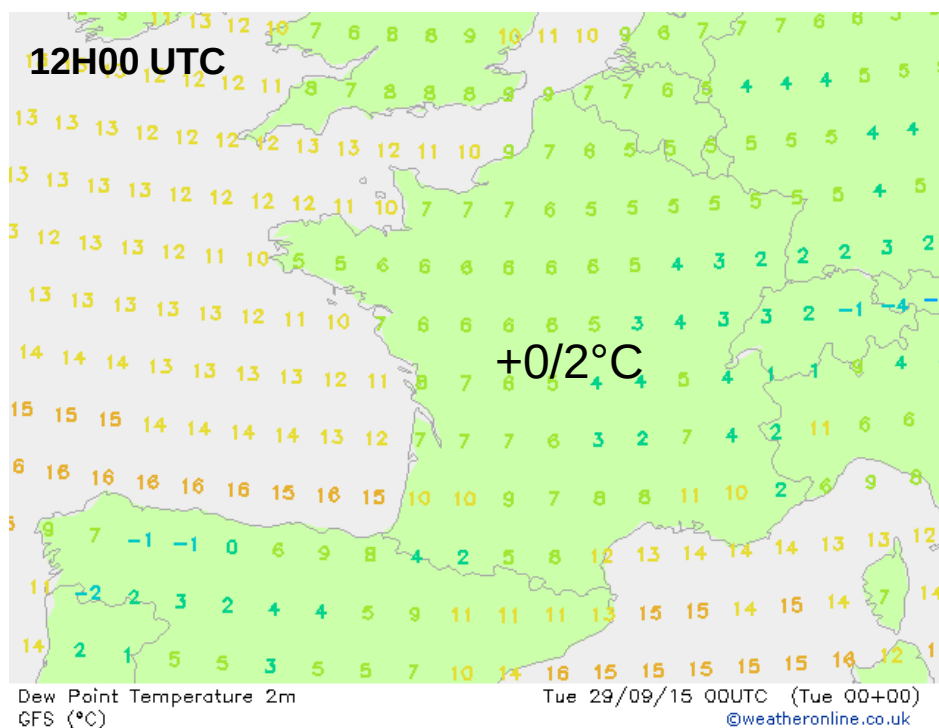
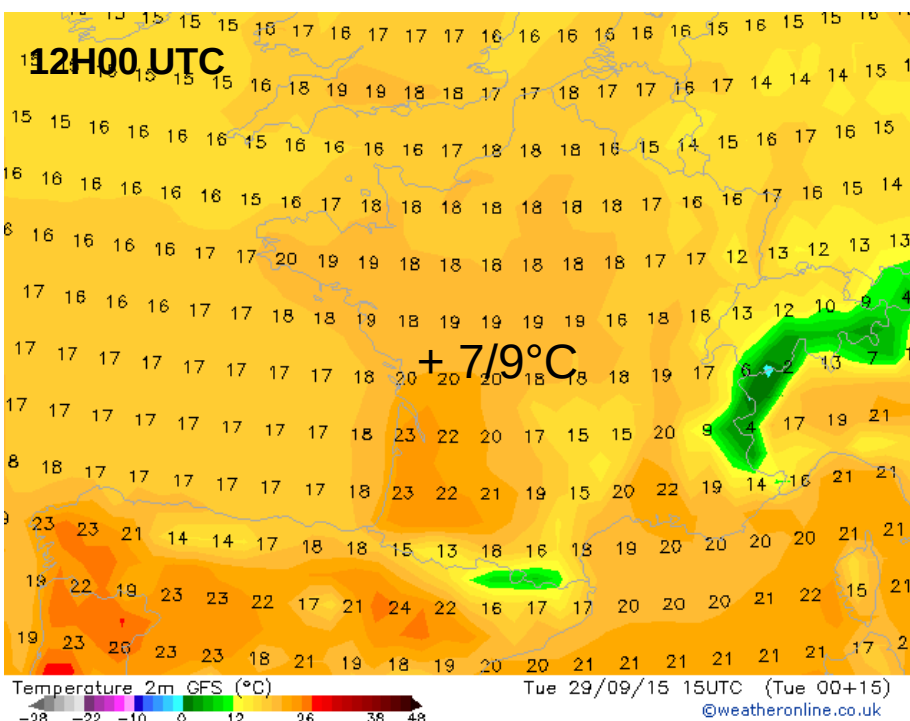
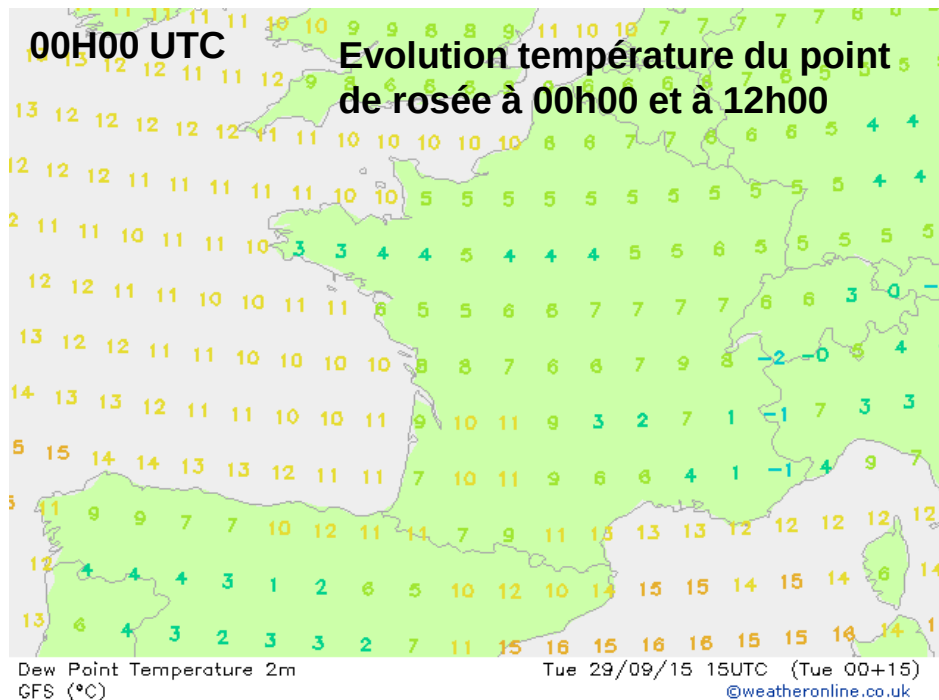
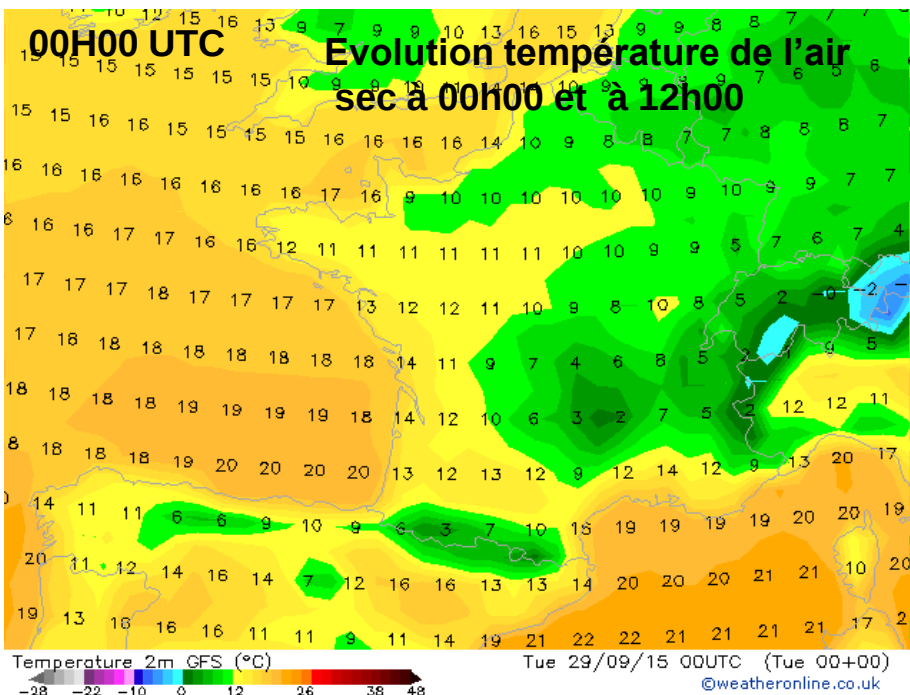
Evolution de Td : $T = T_d \leftrightarrow$ saturation, si évolution se poursuit $\rightarrow$ condensation $\rightarrow$ précipitations.

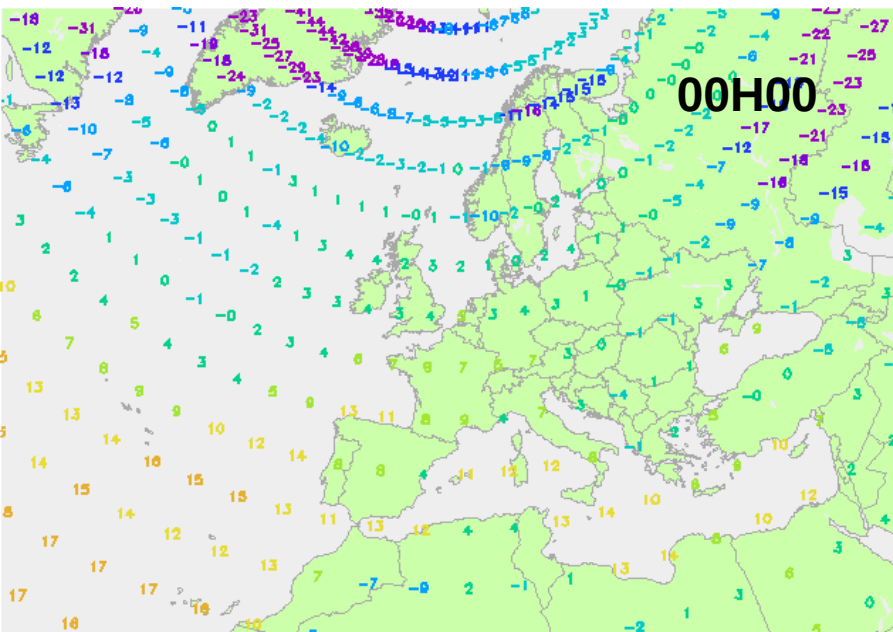
La chaleur latente modifie l'état physique d'une matière solide, liquide ou gazeuse par opposition à la chaleur sensible qui modifie la température d'une matière. la chaleur de vaporisation ou de condensation est de 2 454 kJ/kg à 20°C et de 2 501 kJ/kg à 0°C.

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.

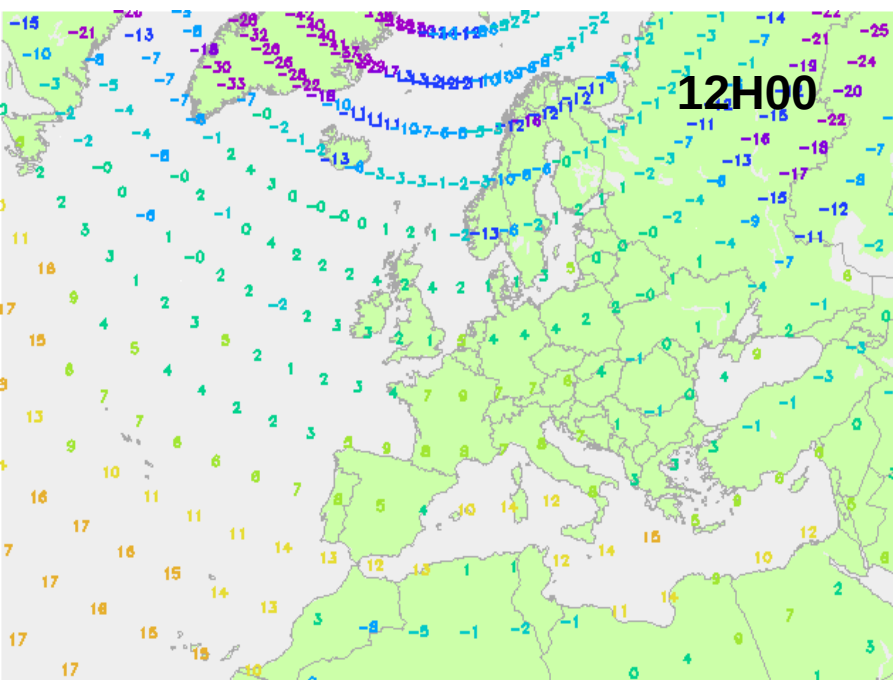






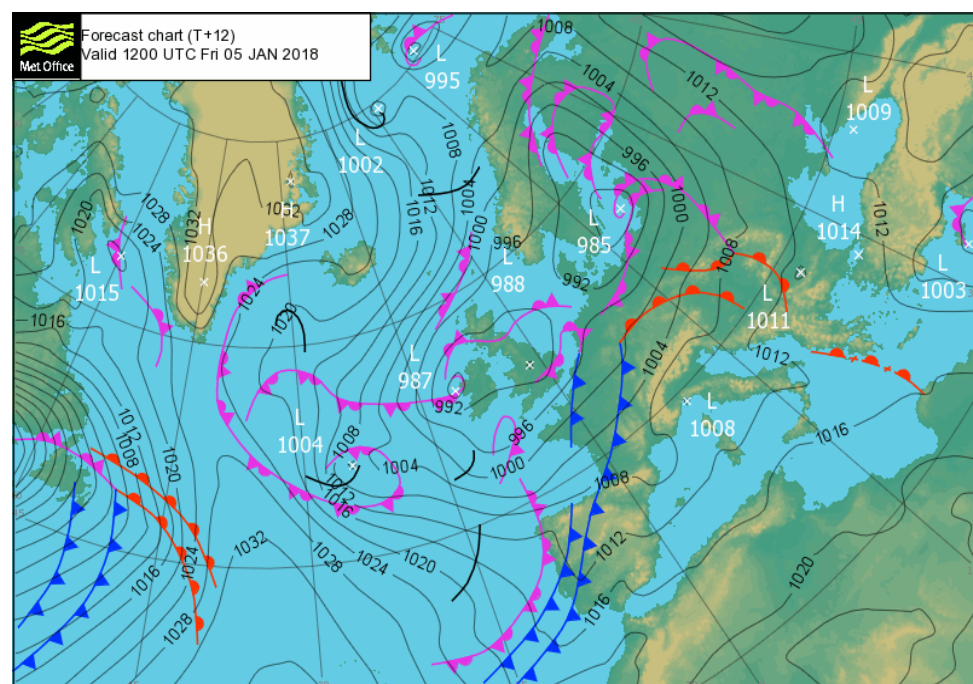
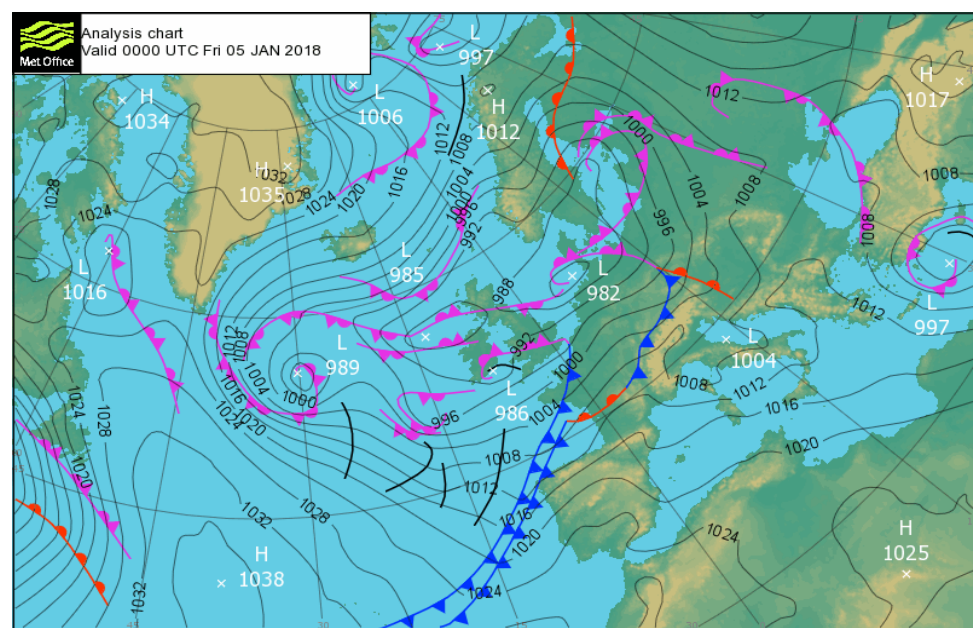
Dew Point Temperature 2m
GFS (°C)

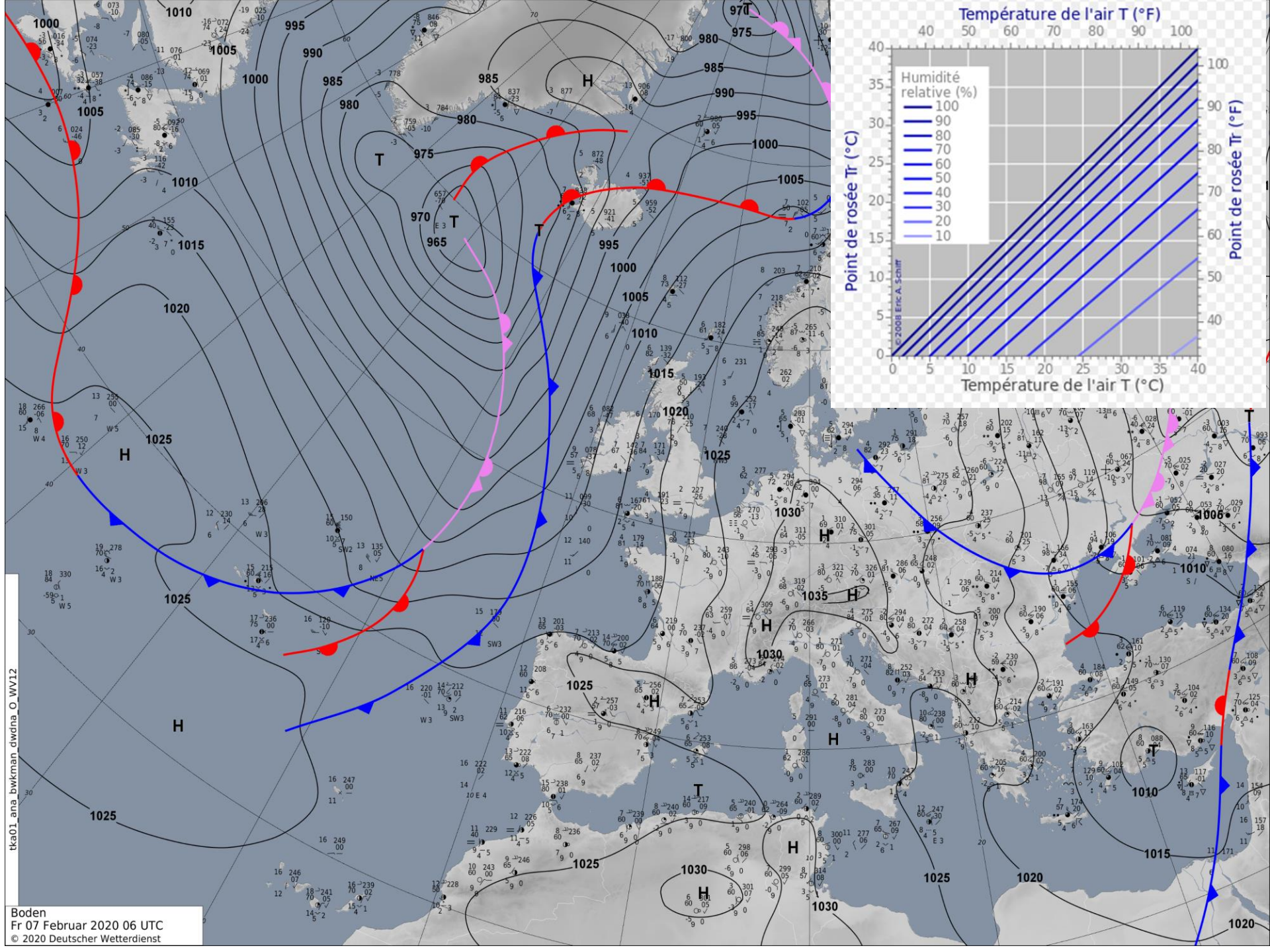
Fri 05/01/18 00UTC (Fri 00+00)
©weatheronline.co.uk



Dew Point Temperature 2m
GFS (°C)

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





tka01 ana bwkman.dwdna O.WV12

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)

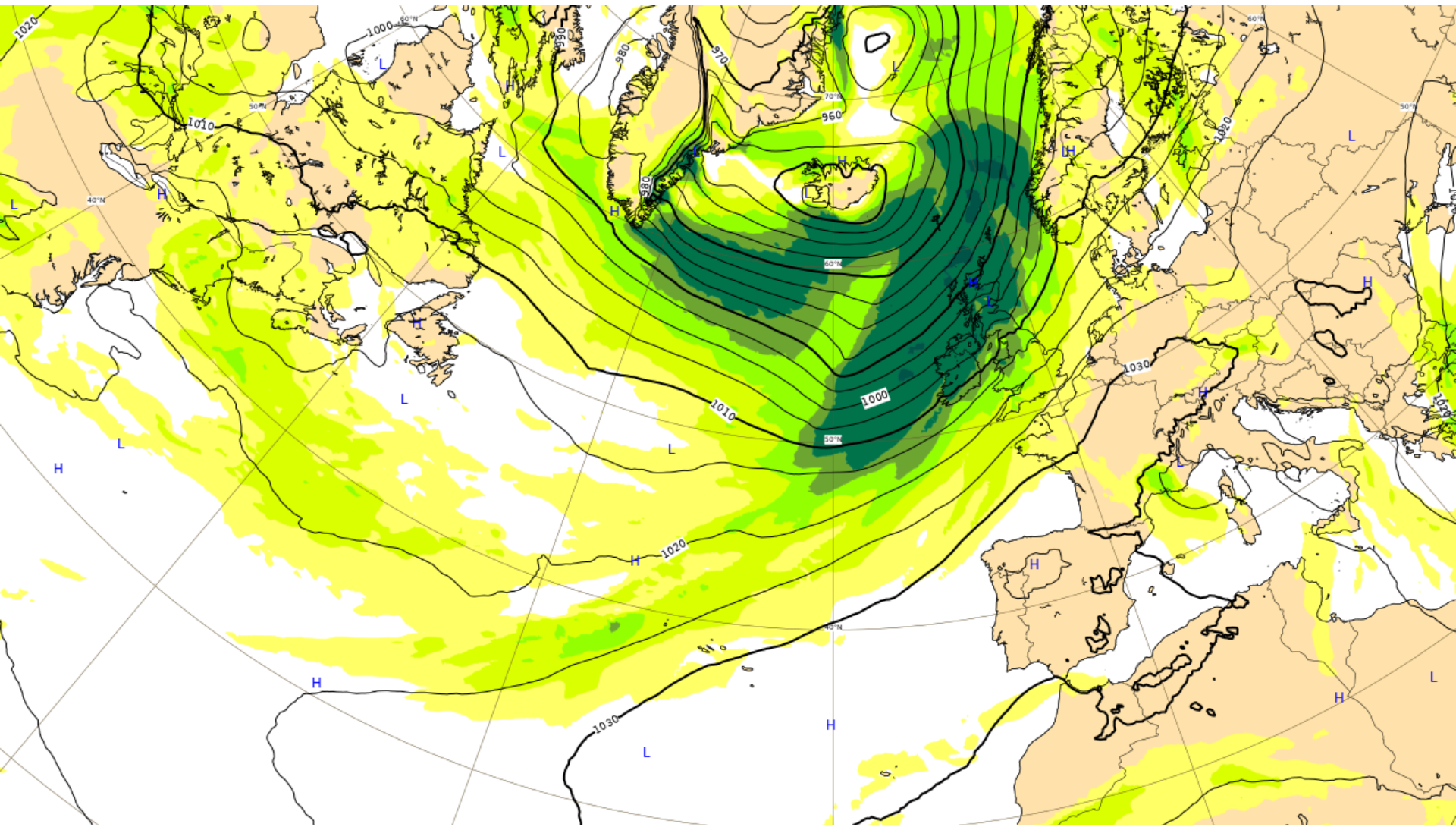
La brume en mer se rencontre souvent par vents faibles (marais barométrique), parfois dans le secteur chaud des perturbations (b. advection même par vents forts), près de la côte par dérive du brouillard de rayonnement formé sur terre, upwelling.

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.

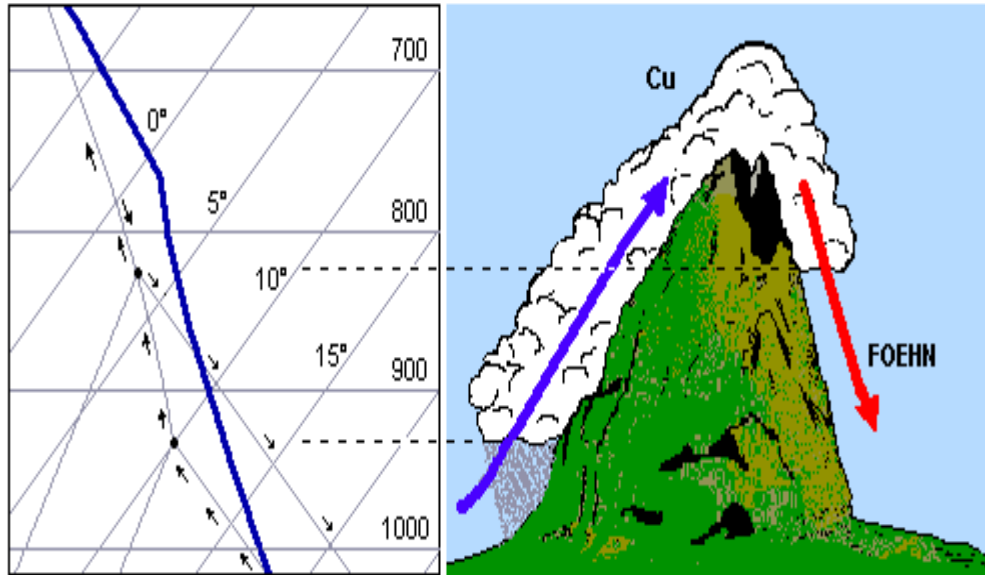
Penmarc'h : 28 j/an 3/4 J par mois juin/septembre.

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

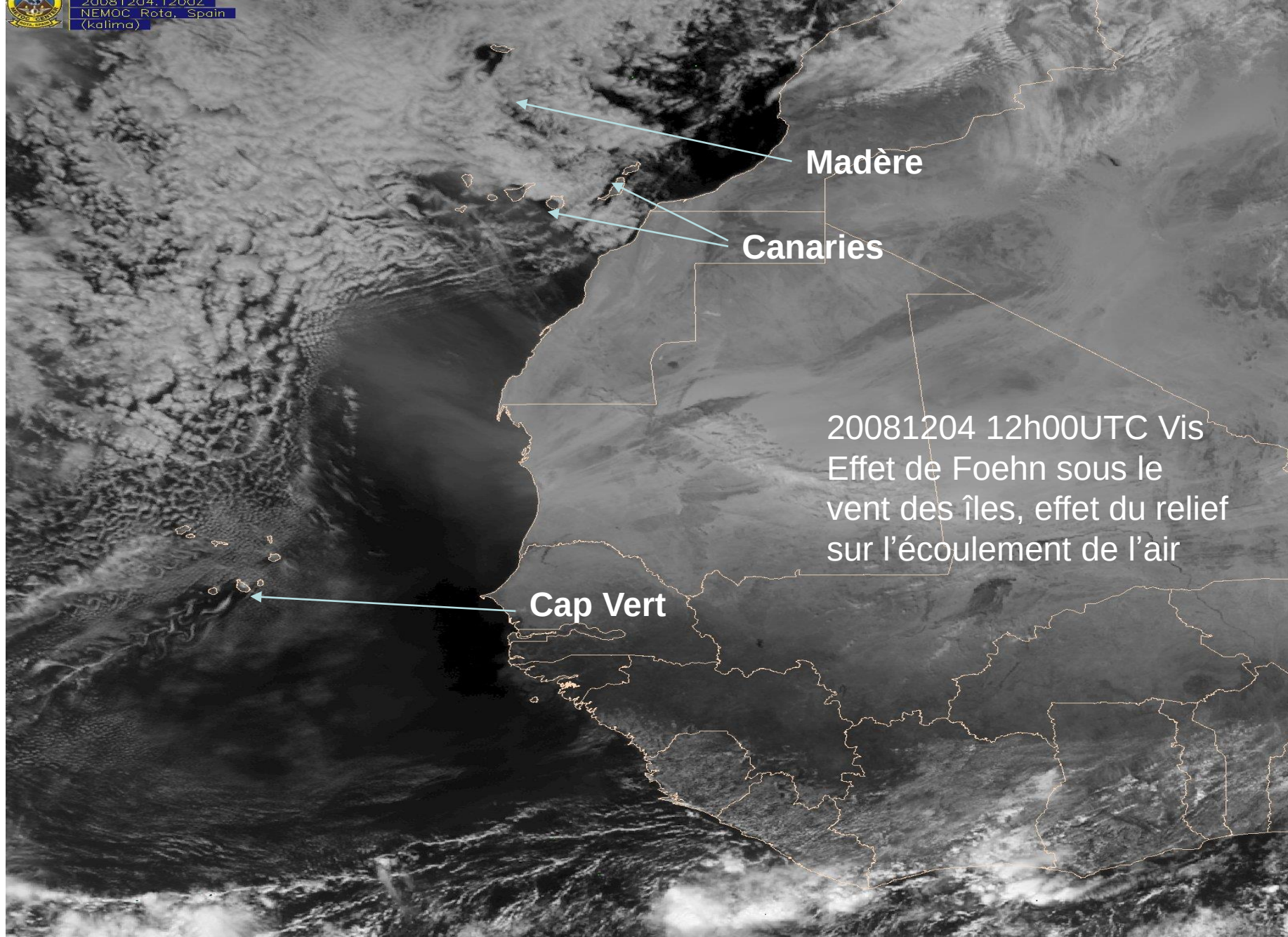
Niveau du sol, évolution forcée température / humidité



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.





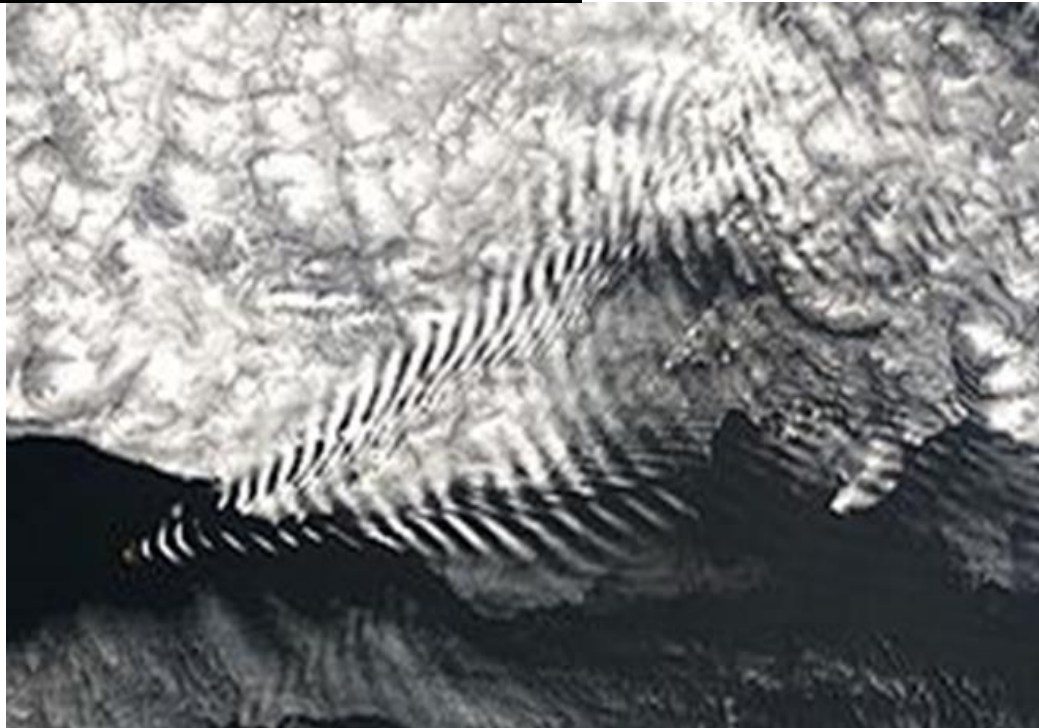
Madère

Canaries

20081204 12h00UTC Vis
Effet de Foehn sous le
vent des îles, effet du relief
sur l'écoulement de l'air

Cap Vert

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



LA TEMPERATURE **en altitude**

Evolution de la température dans le plan vertical :

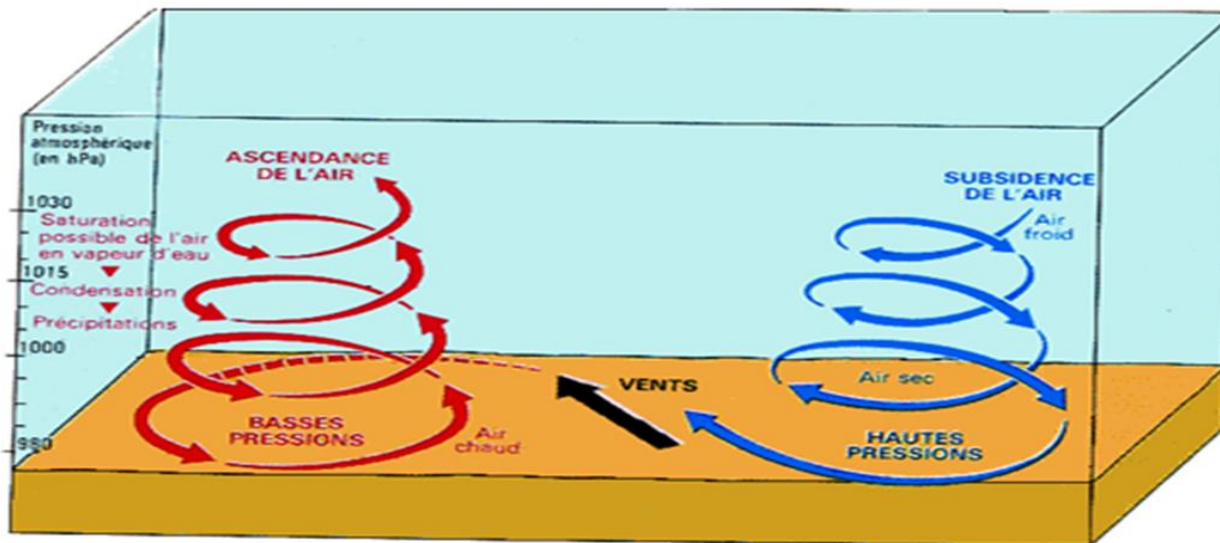
- $1^{\circ}/100\text{m}$ air non saturé,
- $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ air saturé

Ascendance : (détente adiabatique) $\rightarrow$ refroidissement $\rightarrow$ ($T \searrow U \nearrow$) $\rightarrow$ saturation ($T=T_d$) $\rightarrow$ condensation $\rightarrow$ nuages si poursuite du phénomène : $\rightarrow$ précipitations T et $T_d \searrow$.

Ascendance forcée sur les pentes frontales.

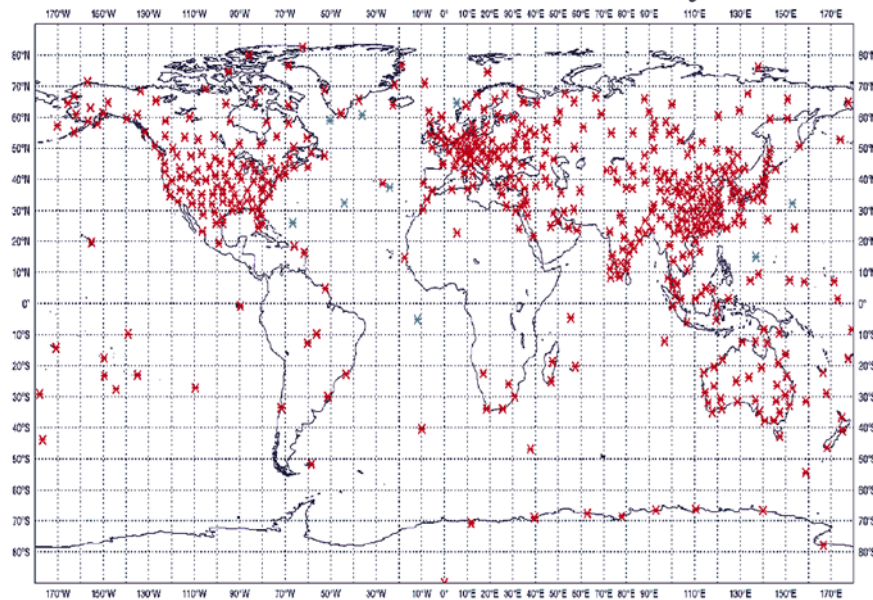
Inversement

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



Subsidence en bordure
et au centre des
cellules
anticycloniques

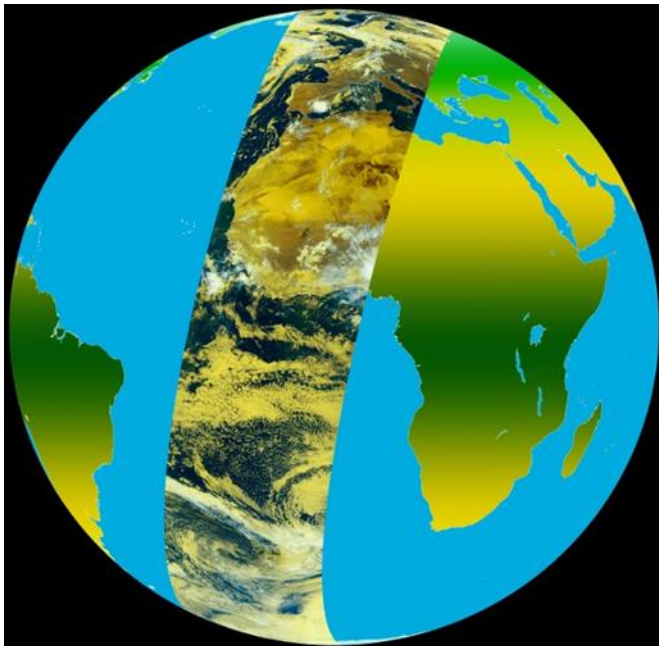
R.S. (+qq bateaux)



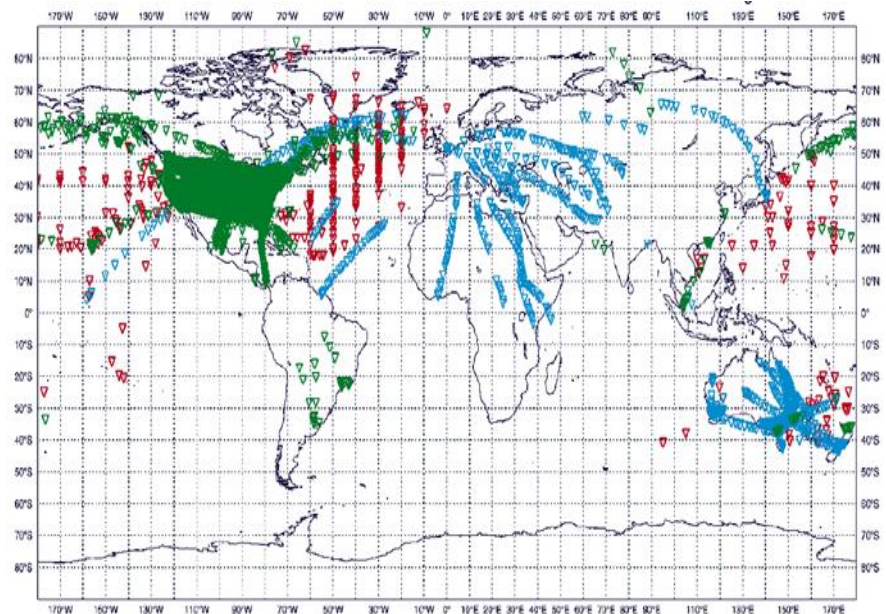
Mesure de la température en altitude



Satellites à défilement ≈ 830 km (MTO + SAR)



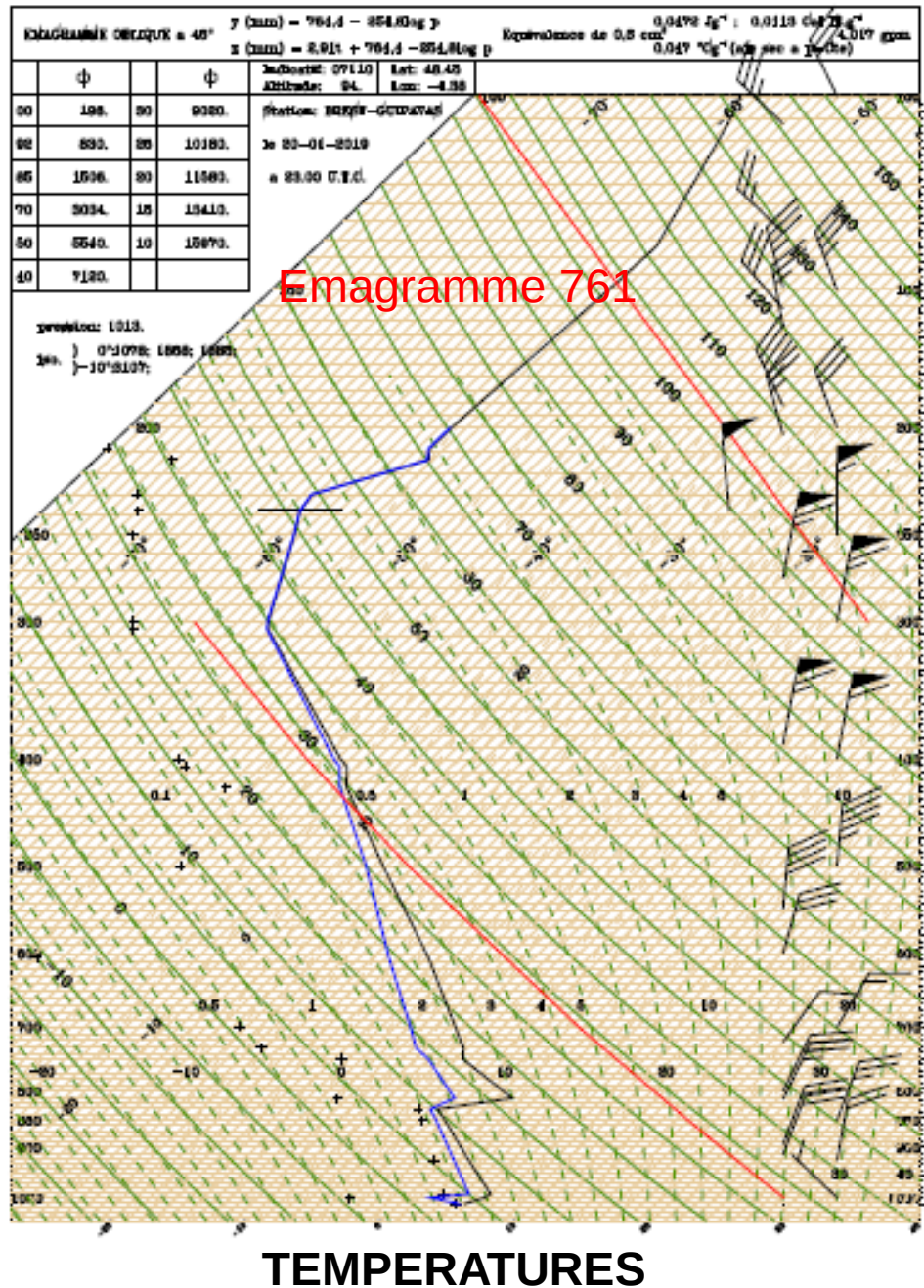
Avions



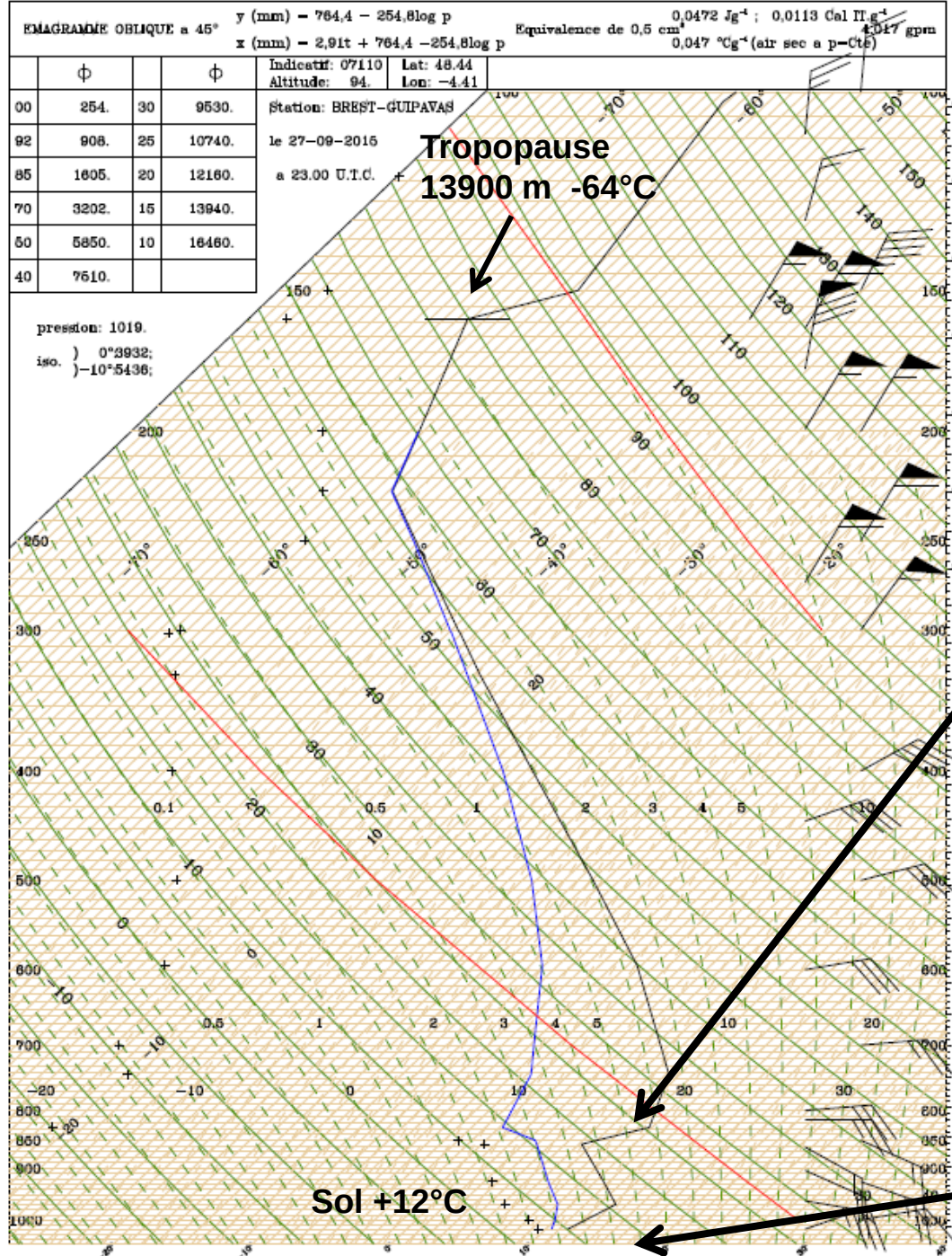
Sondage en altitude :

- 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
-

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



ALTITUDES / PRESSIONS



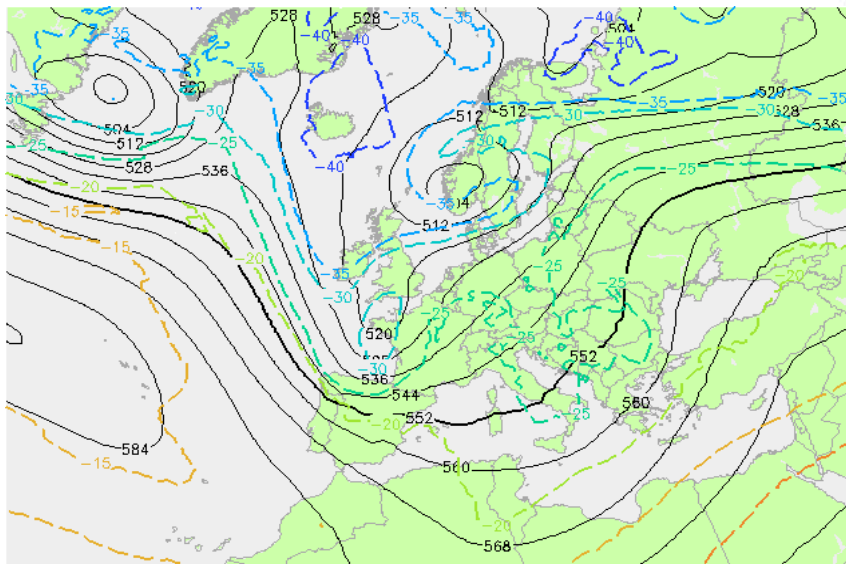
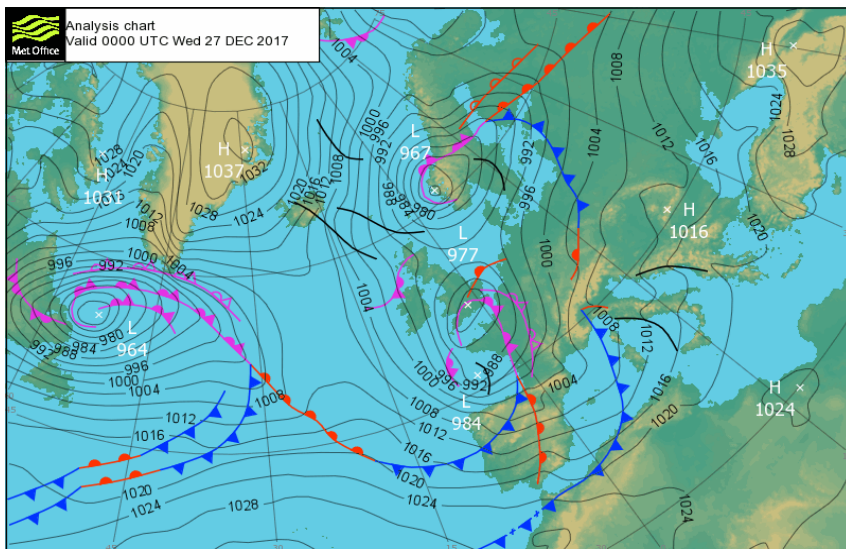
Radiosondage
Brest-Guipavas
20150928 - 00h00 UTC

situation
anticyclonique

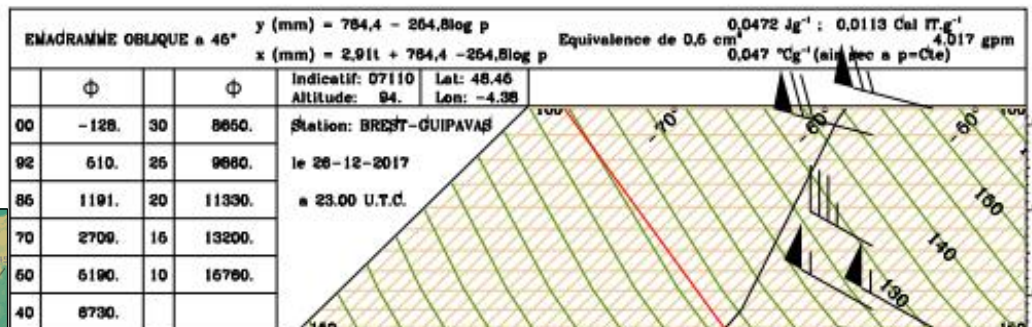
Assèchement de la
masse d'air
et
inversions de
température (situation
anticyclonique avec
subsidence)

AXE TEMPERATURES

https://donneespubliques.meteofrance.fr/?fond=produit&id_produit=97&id_rubrique=33#



Wed 27/12/17 00UTC (Tue 18+06)
©weatheronline.co.uk

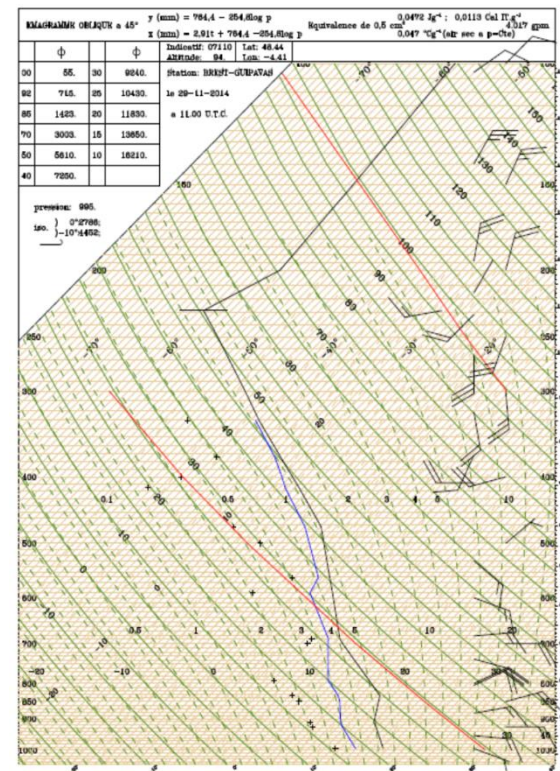
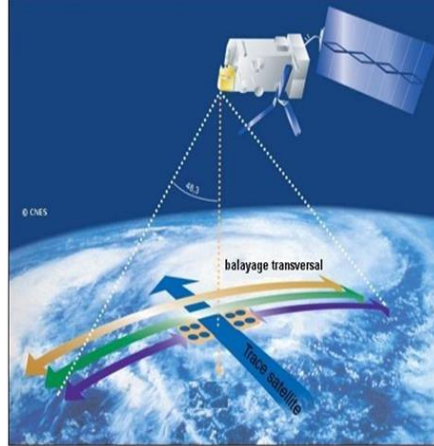


Tropopause 340 hPa, -46,7°C, 7800Mgp

523 hPa, -32,0°C

**320 m 6,5°C
Sol 5,0°C**

Humidité, stabilité et instabilité en altitude et nuages



Deux principaux états de la troposphère :
Stabilité ΔT -4/-5°C/1000m (air saturé)

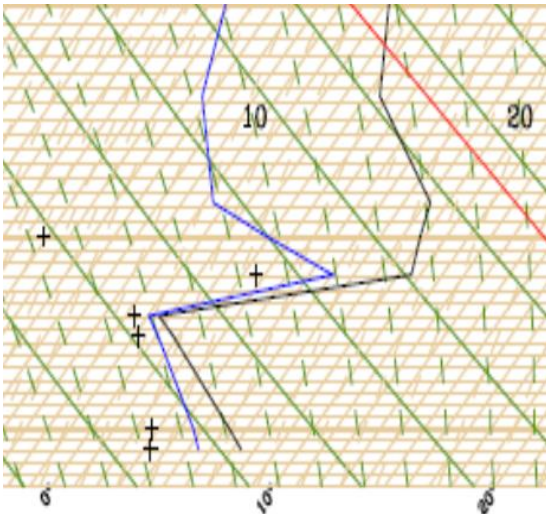
Instabilité ΔT -8/-9°C/1000m



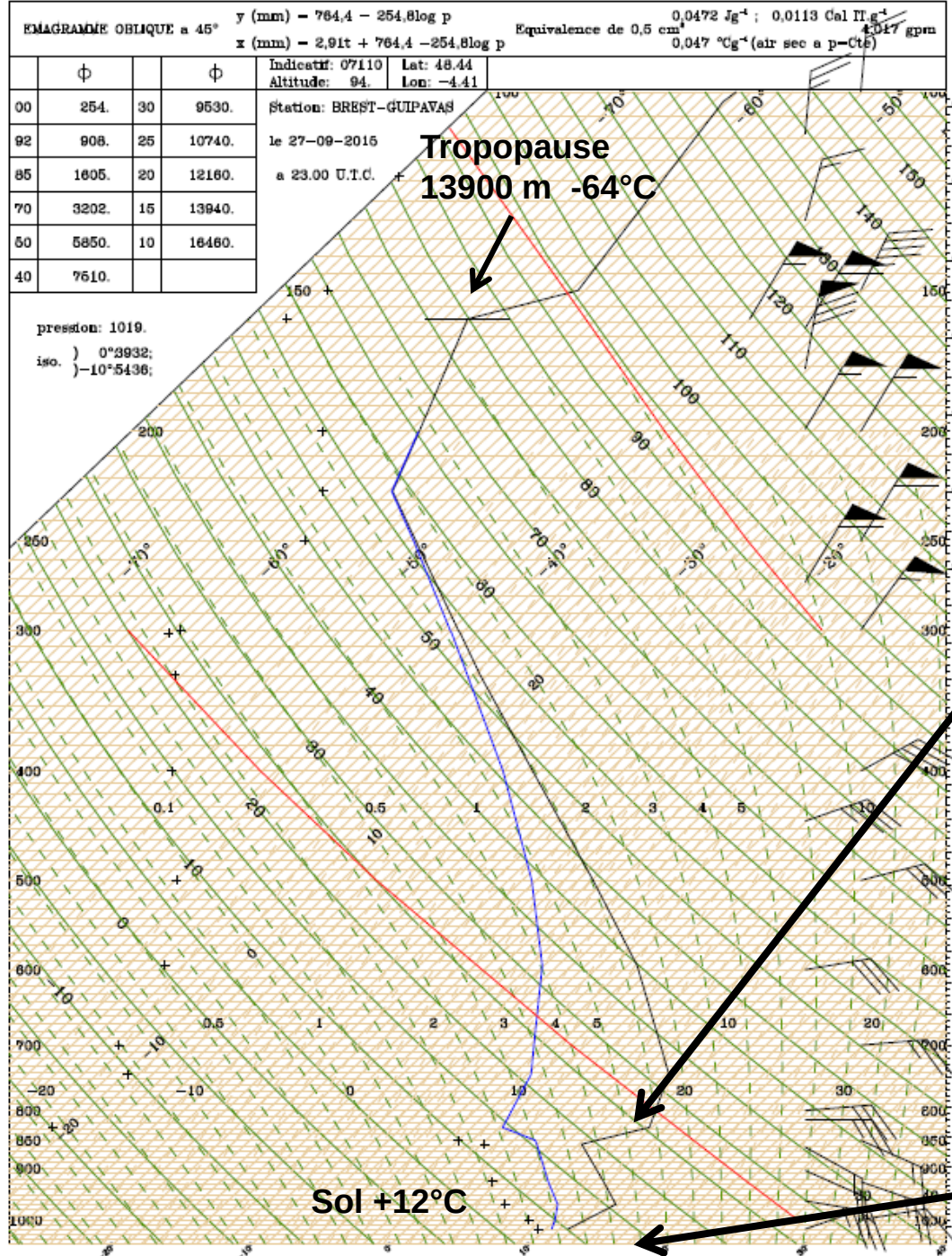
Inversions de température :

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)



ALTITUDES / PRESSIONS



1

Radiosondage
Brest-Guipavas
20150928 - 00h00 UTC

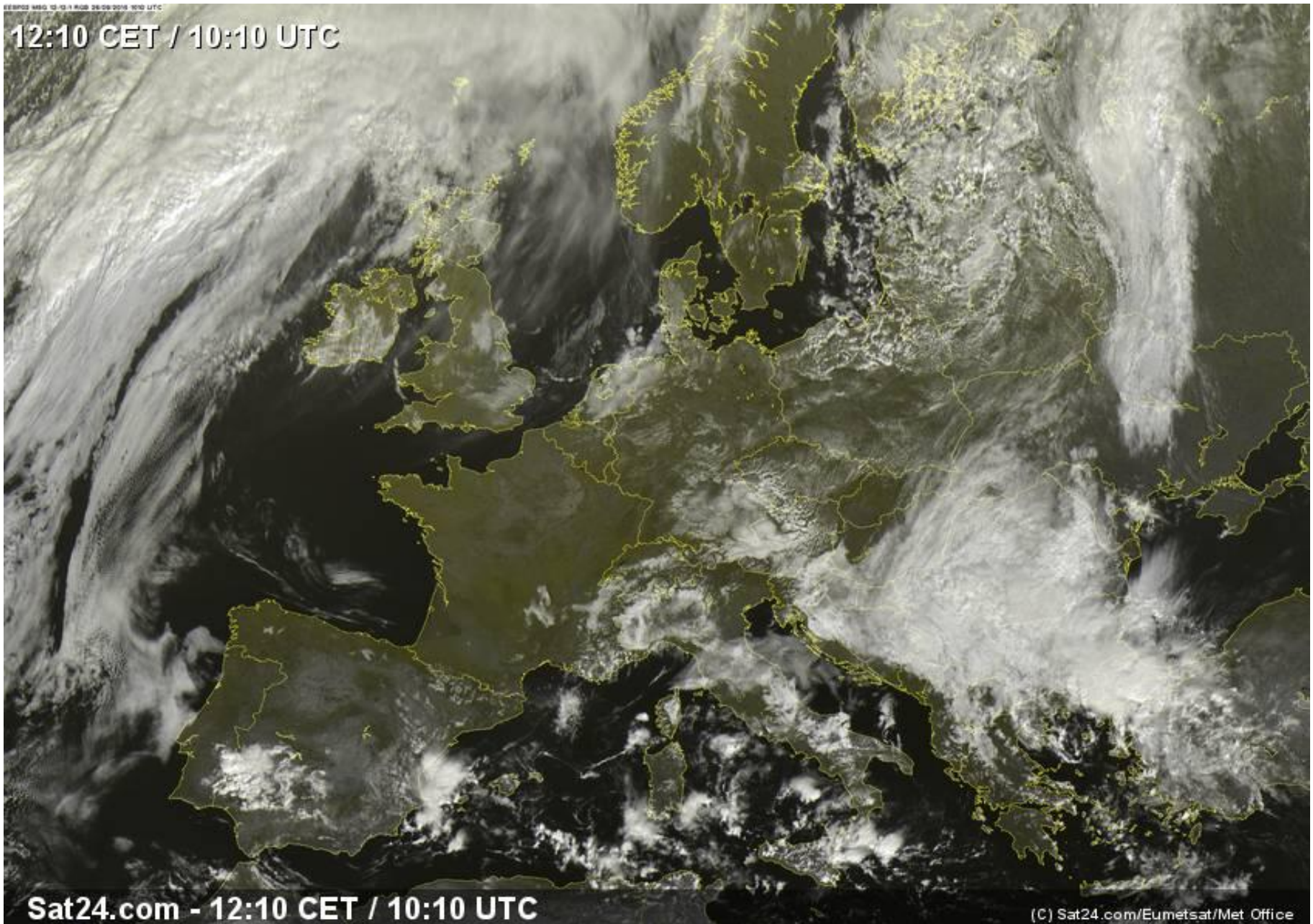
situation
anticyclonique

Assèchement de la
masse d'air
et
inversions de
température

AXE TEMPERATURES

EUMETSAT MSG 12-10-1 RGB 26/09/2015 10:10 UTC

12:10 CET / 10:10 UTC



Sat24.com - 12:10 CET / 10:10 UTC

(C) Sat24.com/Eumetsat/Met Office

3

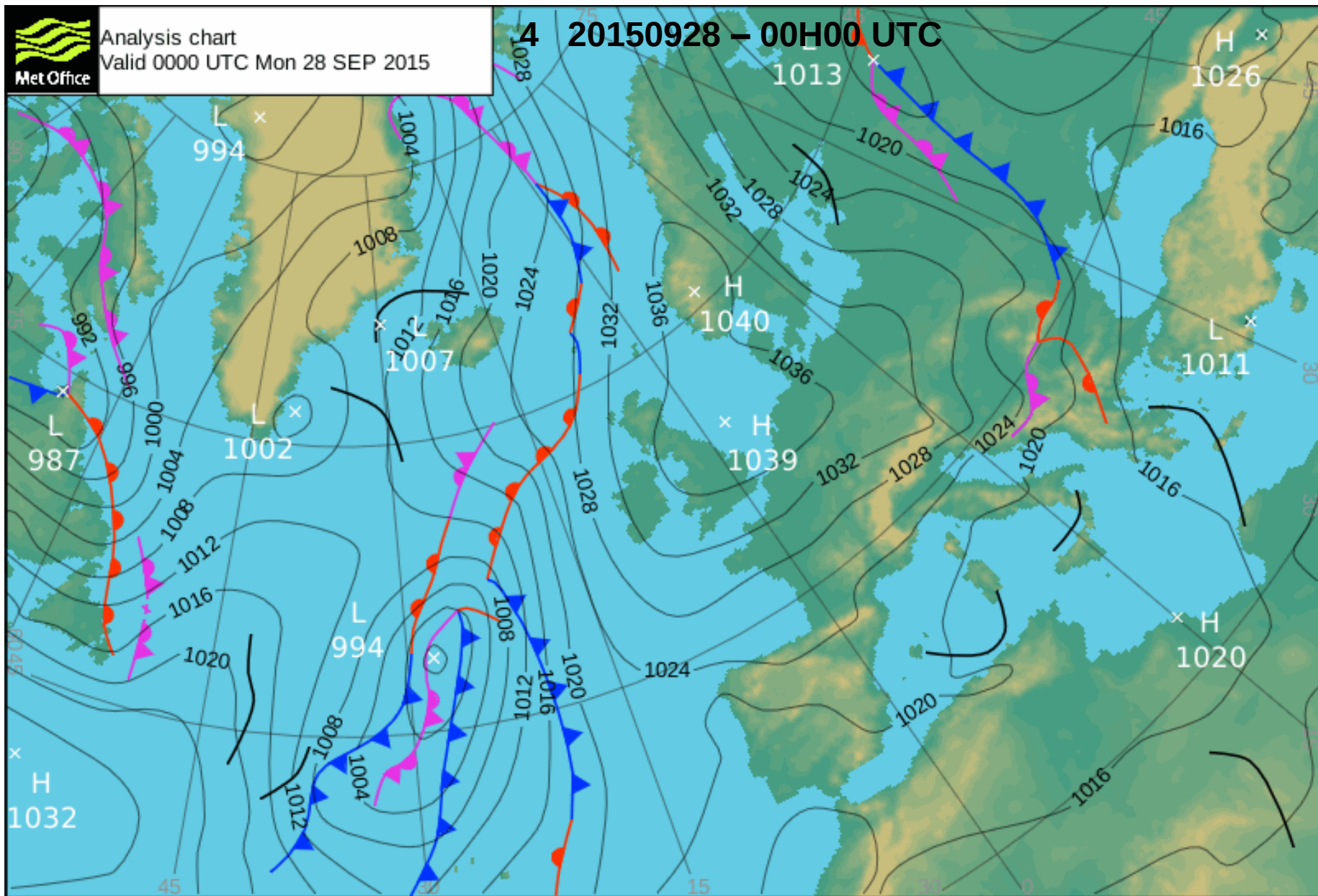
20150928_10h10 UTC





Analysis chart
Valid 0000 UTC Mon 28 SEP 2015

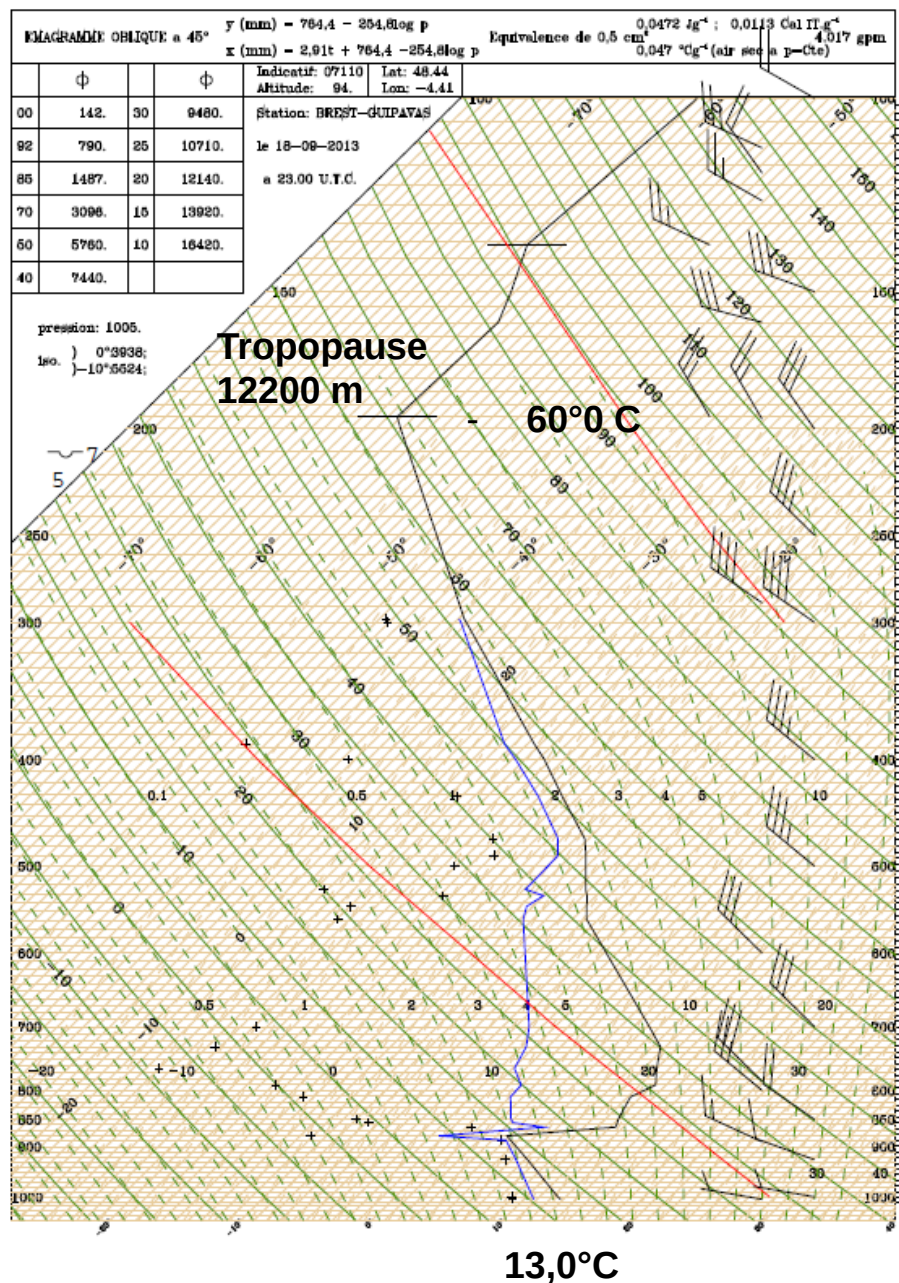
4 20150928 – 00H00 UTC



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

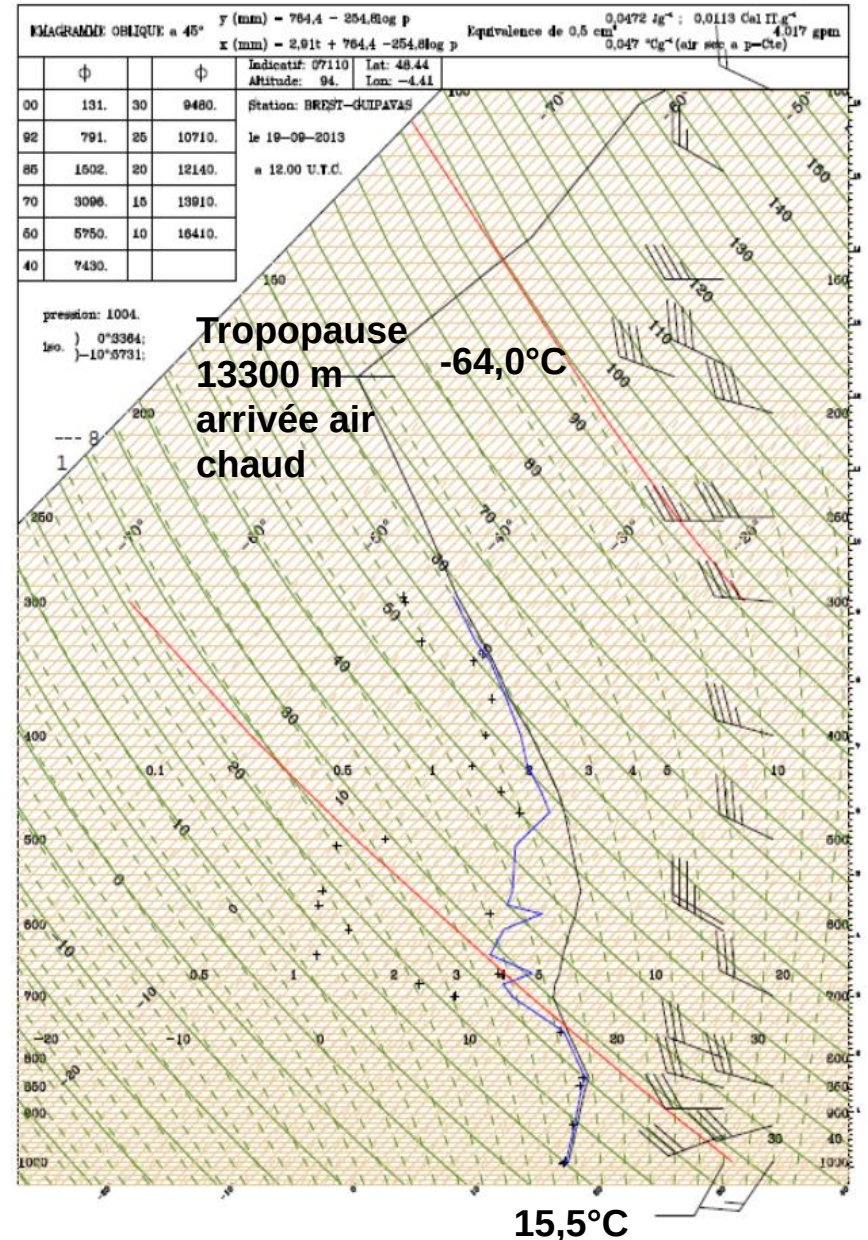
Radiosondage de Brest du 18/09/13 à 00h00 UTC :

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



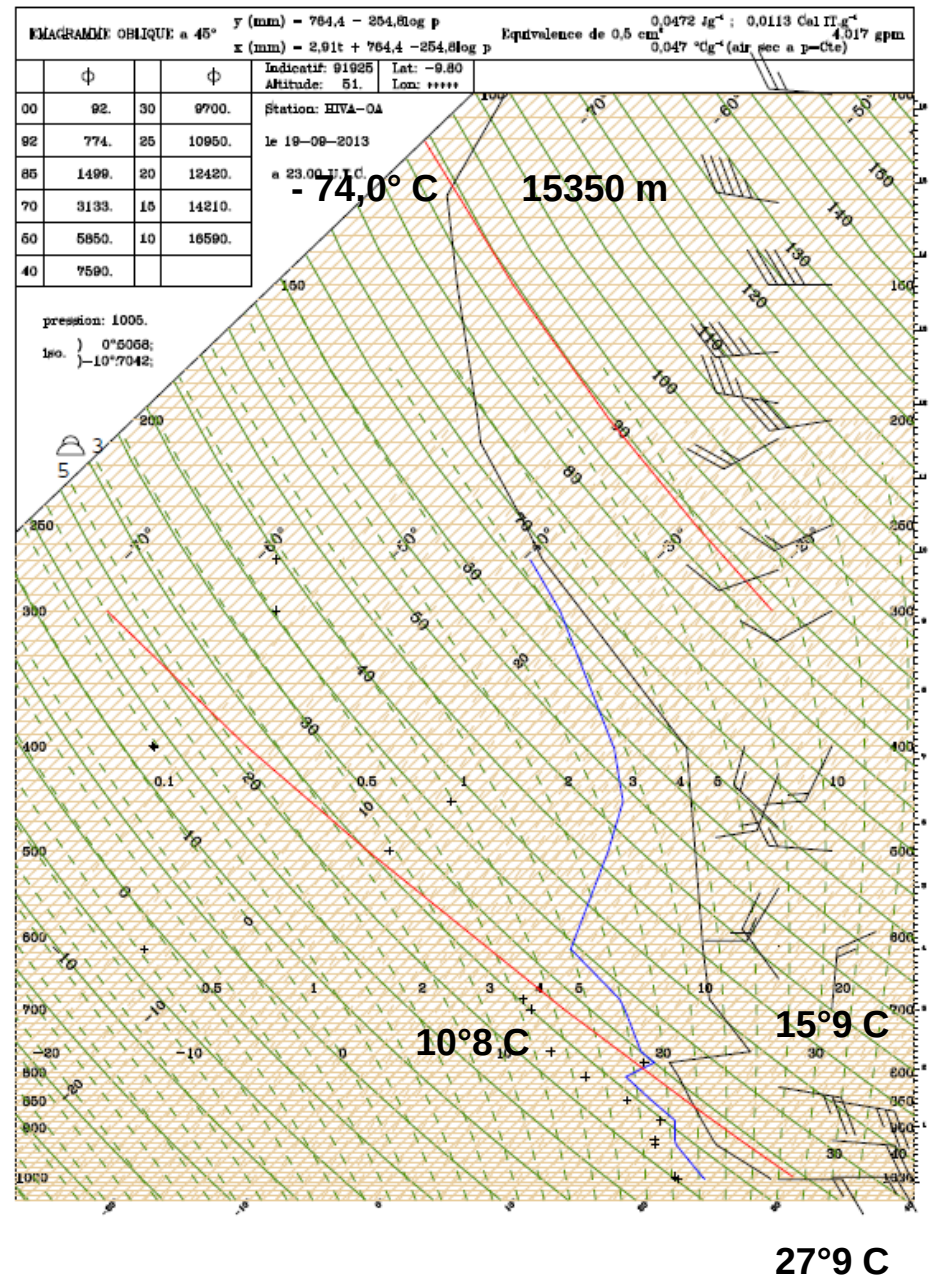
Radiosondage Hiva-Oa



Inversion de température typique de la zone des alizés



Extension verticale peu marquée. Si développements verticaux??

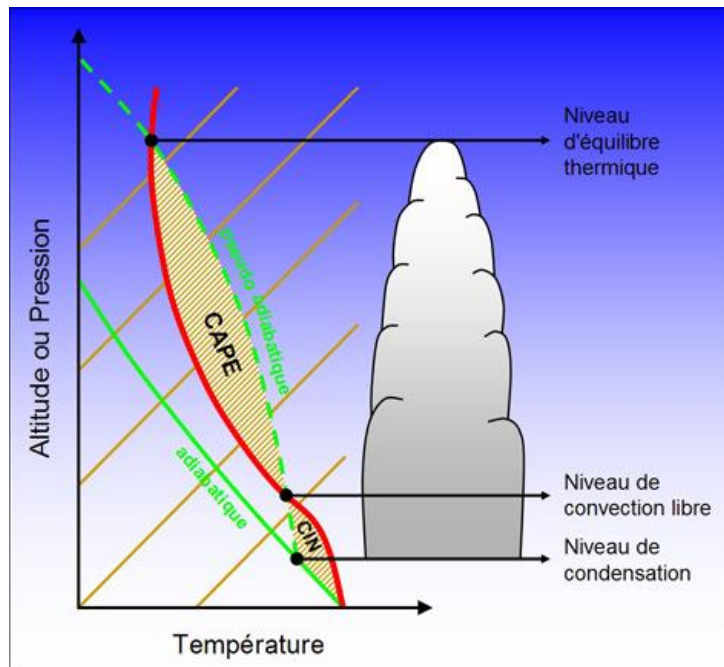


CIN Convective Inhibition J/Kg

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. Lorsque la CIN est grande, la probabilité de déclenchement de la convection est faible (énergie à fournir pour démarrer la convection entre le sol et le niveau de convection libre)

Contrairement à la CAPE, la CIN provoque, une inhibition convective. Plus cette valeur est grande, plus les particules soulevées sont ralenties. Et si le ralentissement stoppe les particules avant qu'elles arrivent au niveau de convection libre, la formation de cellules ne pourra pas se faire. Pour arriver à former des cellules, il faut qu'il y ait un bouillonnement en basse couche et/ou une augmentation de température/d'humidité et/ou un forçage qui puisse percer la couche.

Les cellules de type explosives sont provoquée par une CIN et CAPE très élevées. La convection est stoppée par la CIN mais si les conditions atmosphériques provoquent une force ascensionnelle assez puissante, la couche stable est percée d'un coup, et la cellule convective se forme d'un coup avec une force énorme.



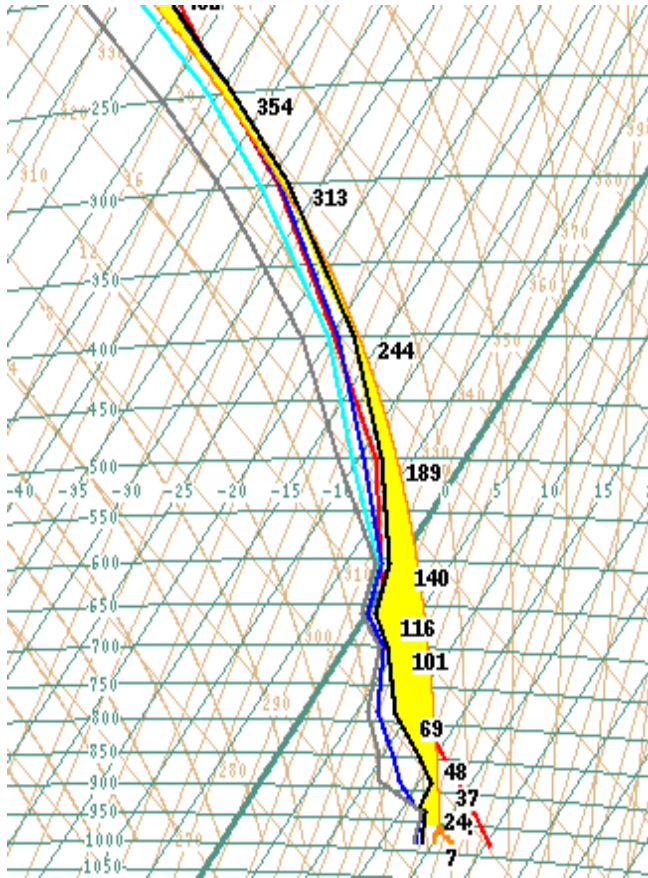
Des orages lourds sont peu probables si le CIN est importante, bien que la présence de CIN n'empêche pas le développement de l'orage tant qu'il n'est pas trop élevé.

UN CIN faible ($< 50 \text{ J/kg}$) indique un « capot » atmosphérique faible qui peut facilement être détruit par un réchauffement de surface.

Un CIN élevé ($> 200 \text{ J/kg}$) empêche un développement d'orage.

EPCD (énergie potentielle de convection disponible)

CAPE (convective available potential energy) en J/Kg d'air



CAPE : souvent donnée en centaines de J/Kg d'air

CAPE : jusque 4000/7000 J/Kg dans les supers cellules convectives aux USA.

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

Par ailleurs, plus le courant ascendant est fort, plus il pourra supporter de gros grêlons, ou une masse importante de précipitations.

Cependant, l'EPCD n'est pas le seul facteur car le **cisaillement du vent avec l'altitude** est également crucial. La CAPE n'est pas une condition suffisante pour l'apparition d'un orage.

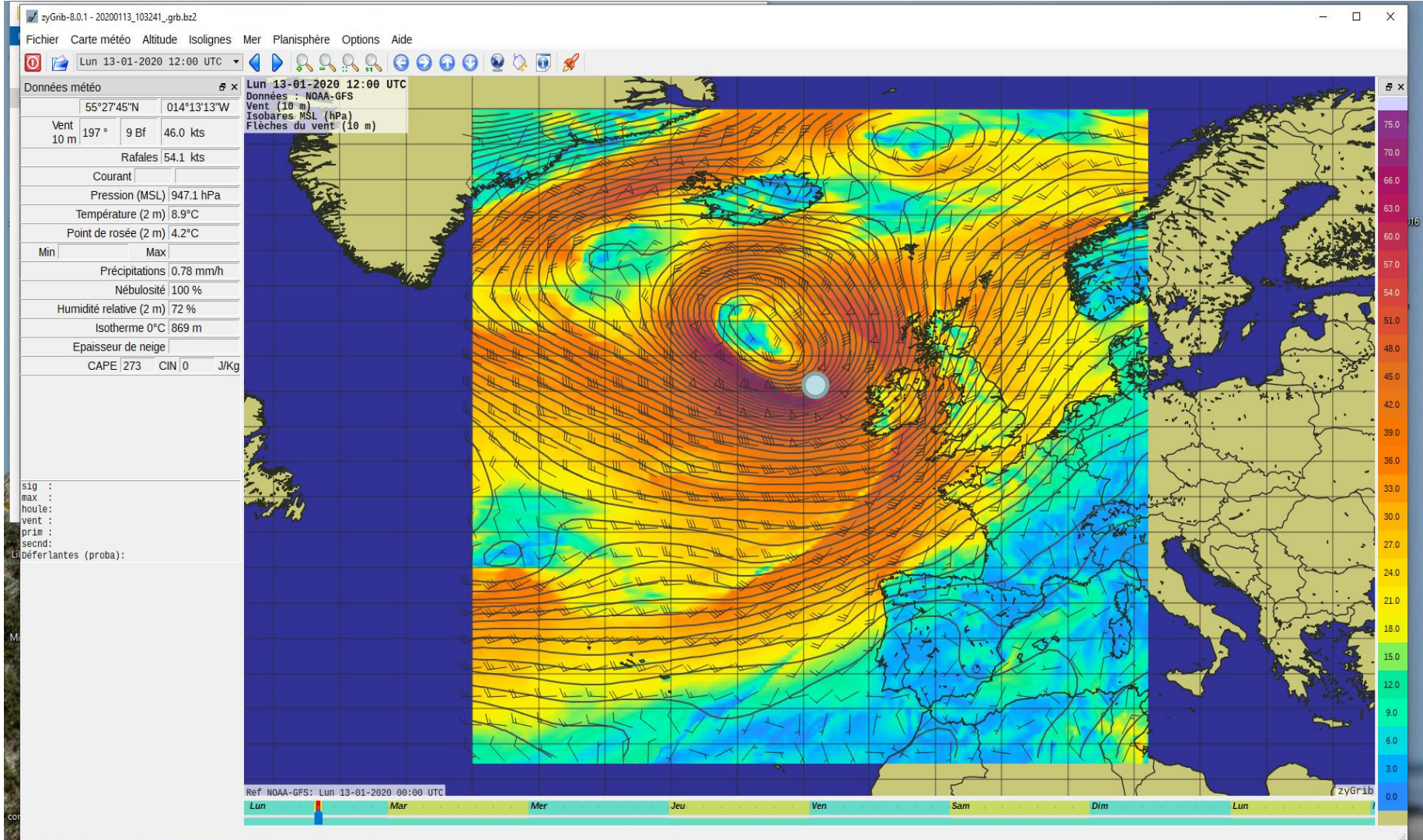
Valeurs typiques de l'EPCD :

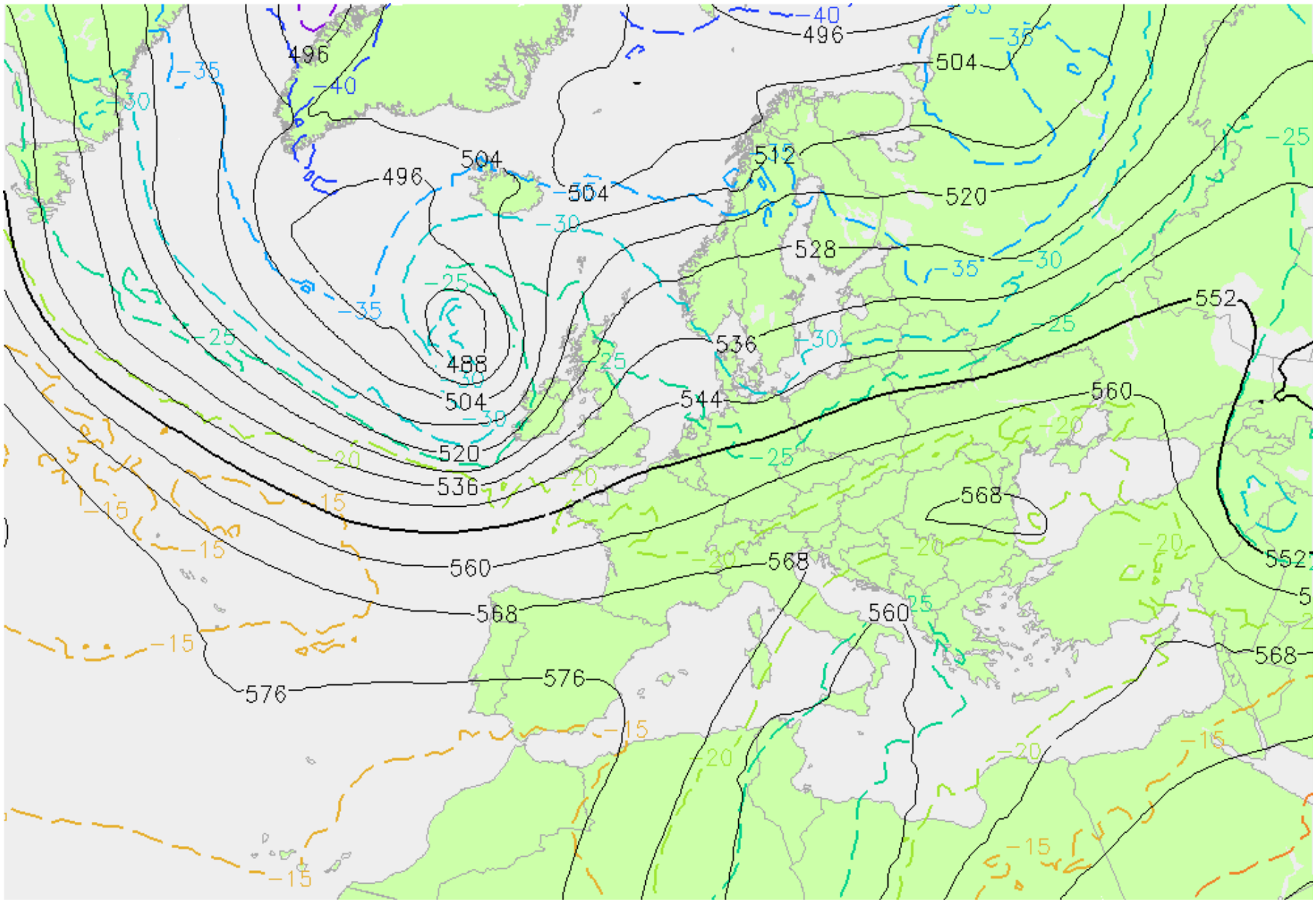
0 à 1 000 J/kg : stable marginalement instable vers 1000J/Kg ;
1000 à 2 500 J/kg : modérément instable donnant des orages qui peuvent être violents vers 2500 j/Kg ;
2500 à 3 500 J/kg : très instable donnant des orages violents ;
3 500 J/kg ou plus : extrêmement instable et très favorable à des orages violents généralisés.

La CAPE est une énergie disponible mais potentielle. Cela veut dire que si la convection est bloquée ou inexistante, les nuages convectifs ne pourront pas se former. Il faut que la convection pousse les particules jusqu'à ce niveau critique.

La destruction en cours de journée d'une forte inversion 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).

CIN et CAPE à l'W de l'Irlande 20200113 prévi 12h00 UTC



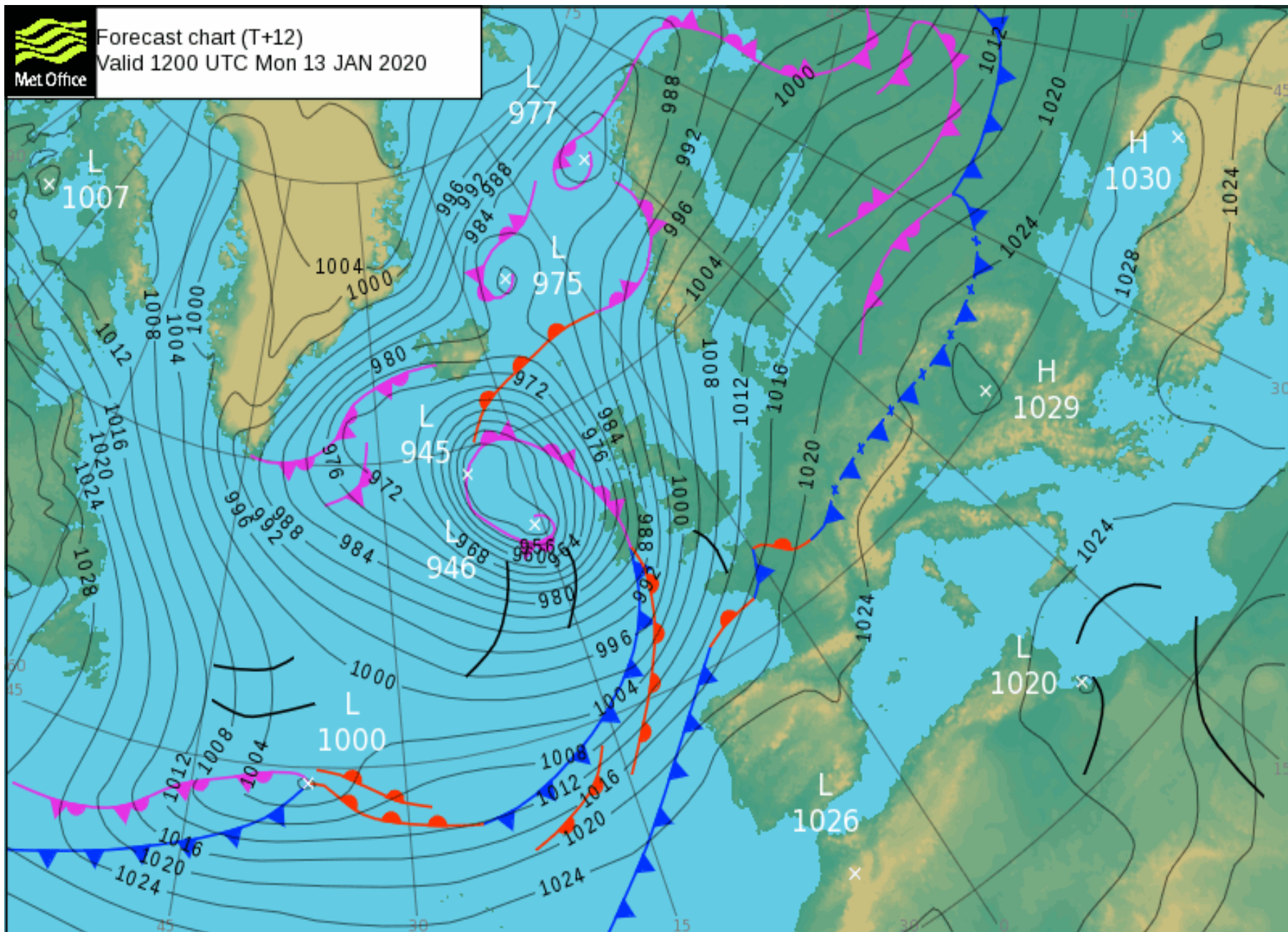


Height/Temp. 500 hPa [gdmp][°C] GFS

Mo 13-01-2020 12:00 UTC (06+06)



Forecast chart (T+12)
Valid 1200 UTC Mon 13 JAN 2020



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) :

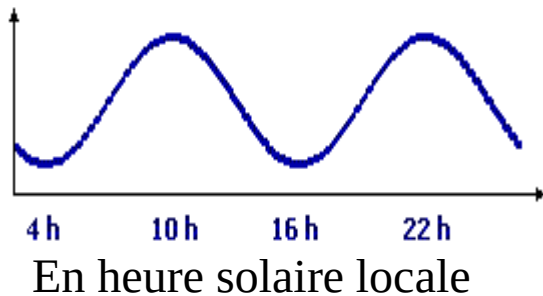
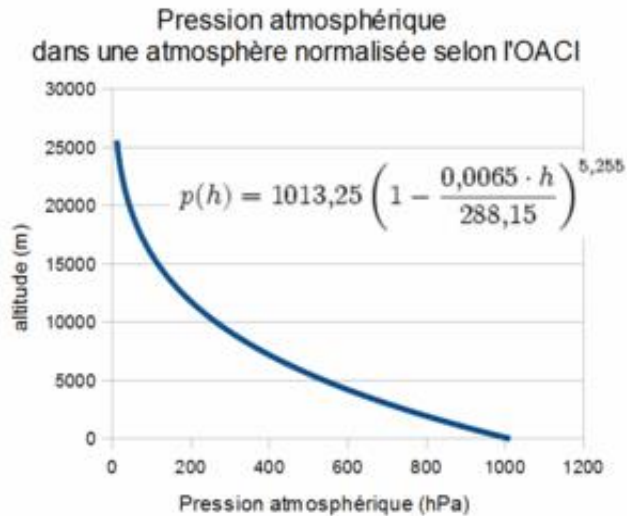
950 hPa → 1050 hPa (881 hPa cyclone Wilma – Antilles en 2005).

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

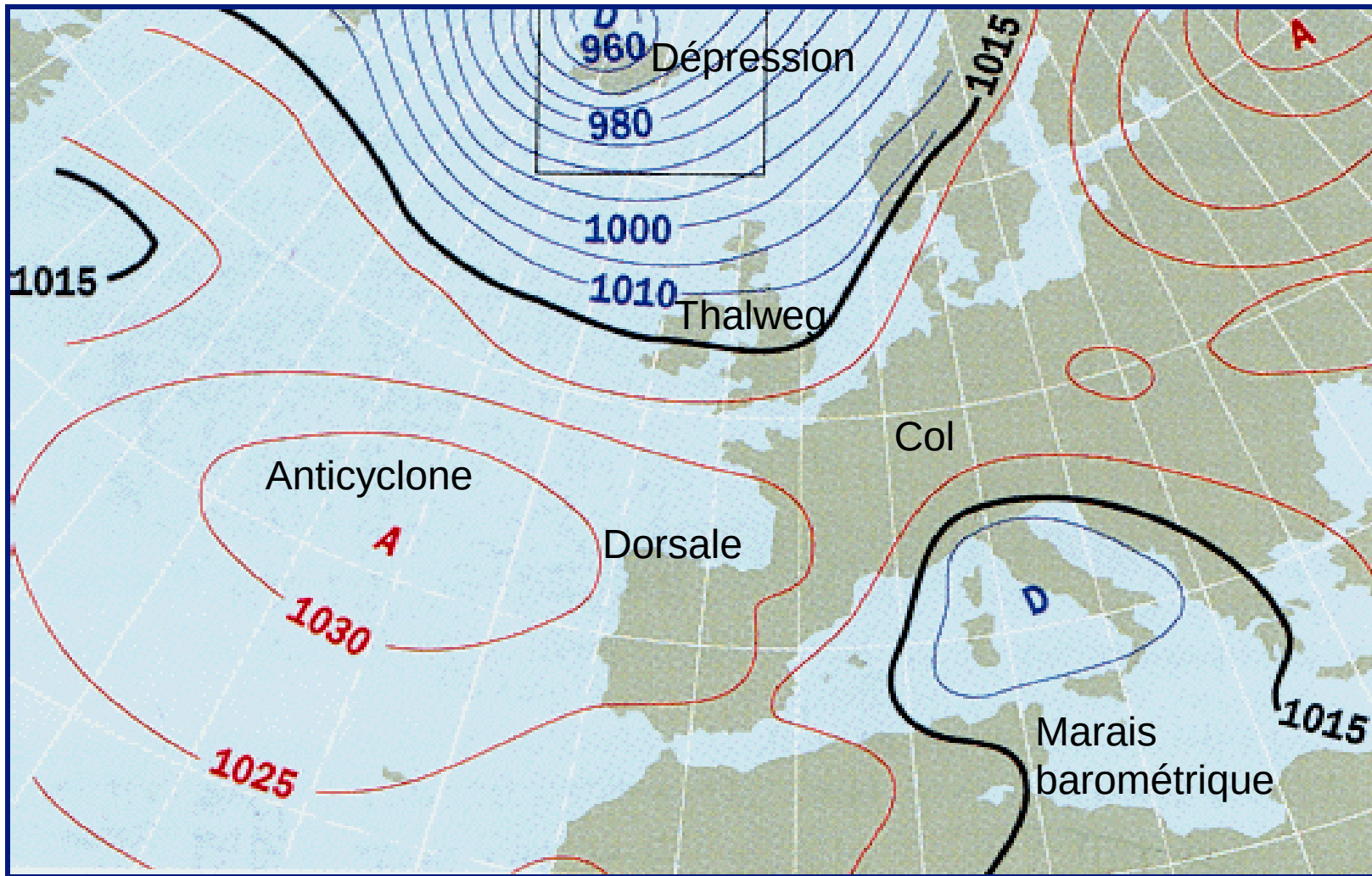
Calage du baromètre : niveau de la mer.

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).



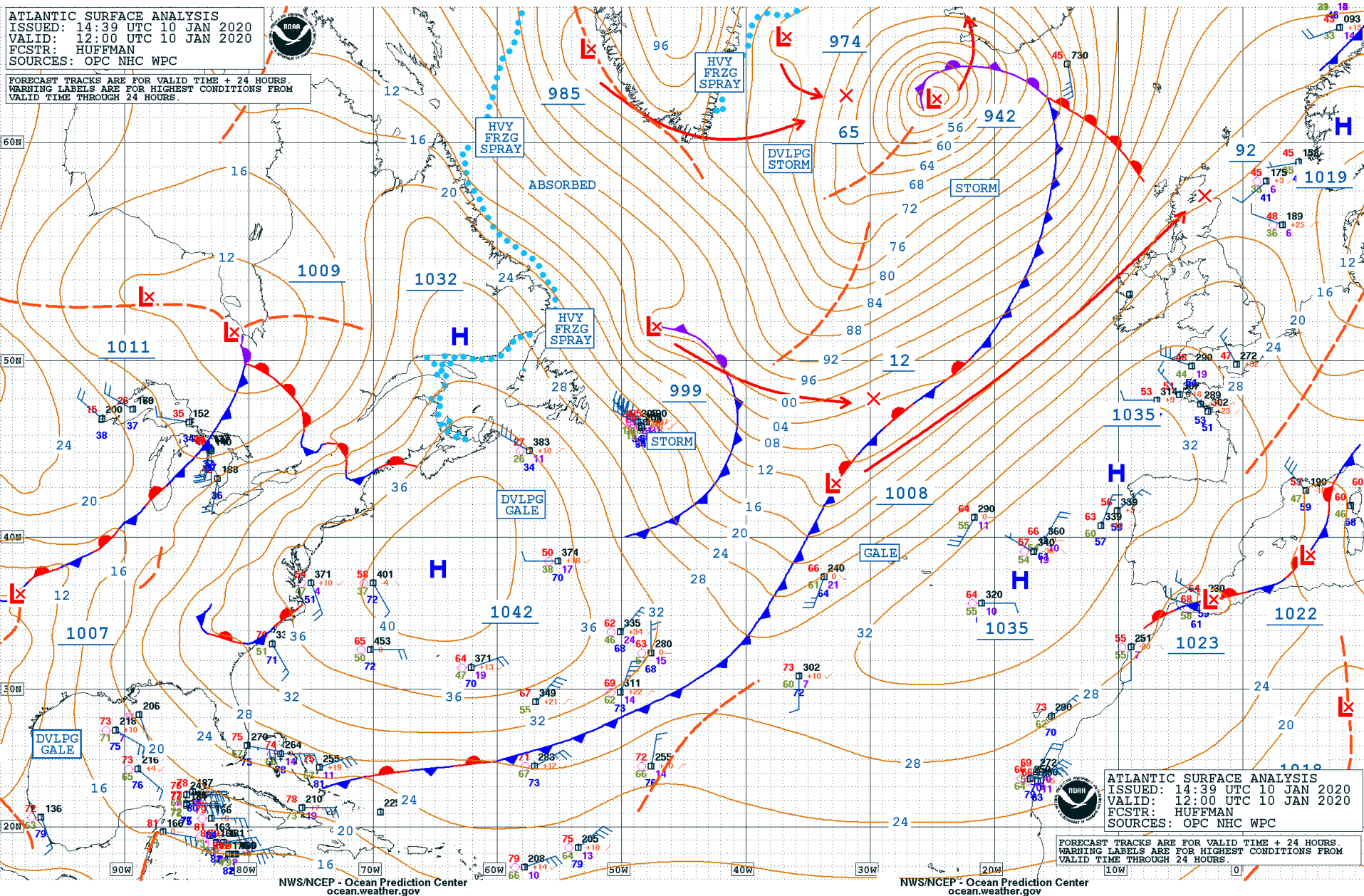
Pression atmosphérique au sol, terminologie



Pression atmosphérique

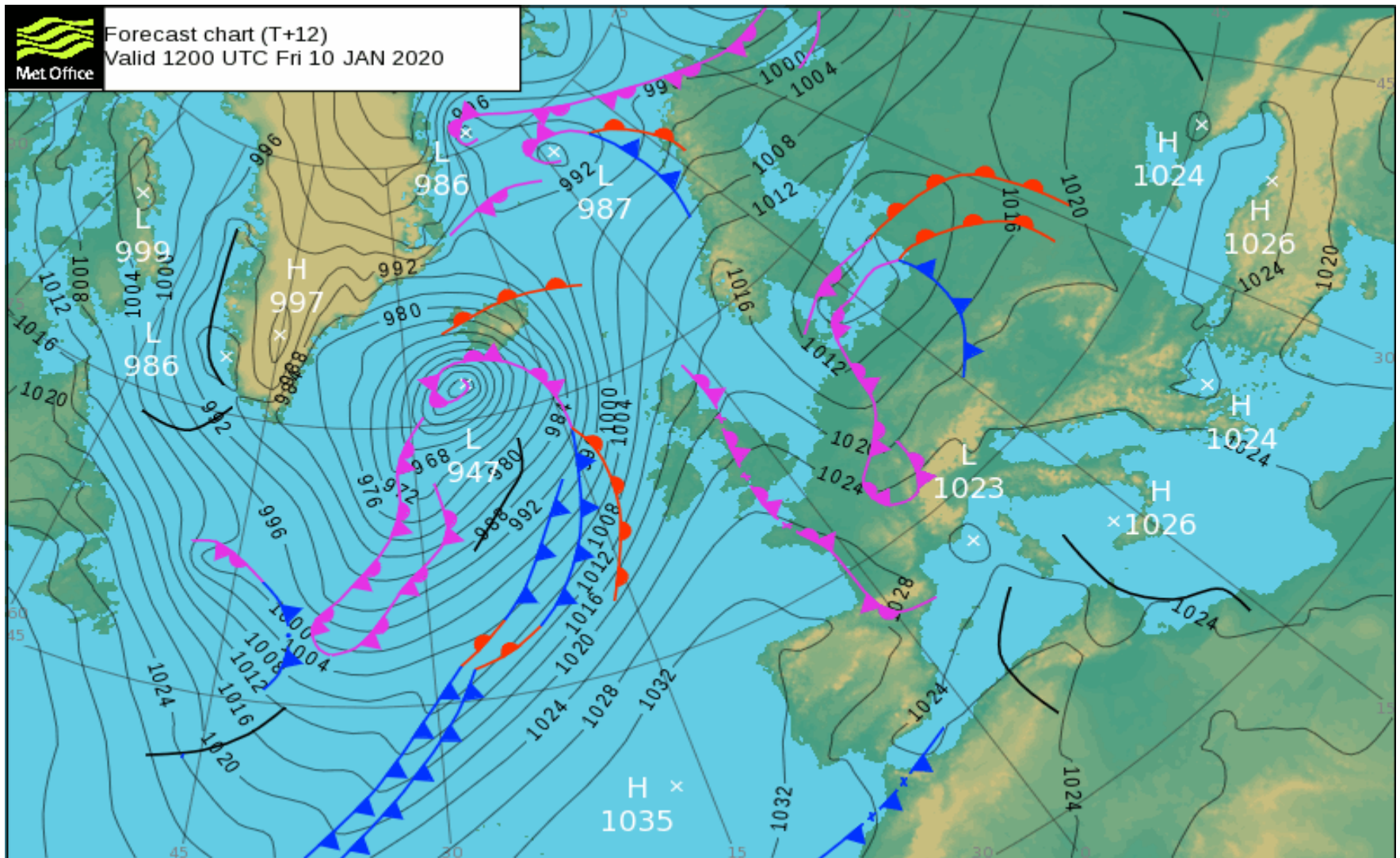
Isobares – zone de haute pression (Anticyclone) – zone de basse pression (Dépression) – dorsale – thalweg – col – marais barométrique

20200110 12h00 UTC analyse en surface



Variation horizontale du champ de pression au sol

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



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

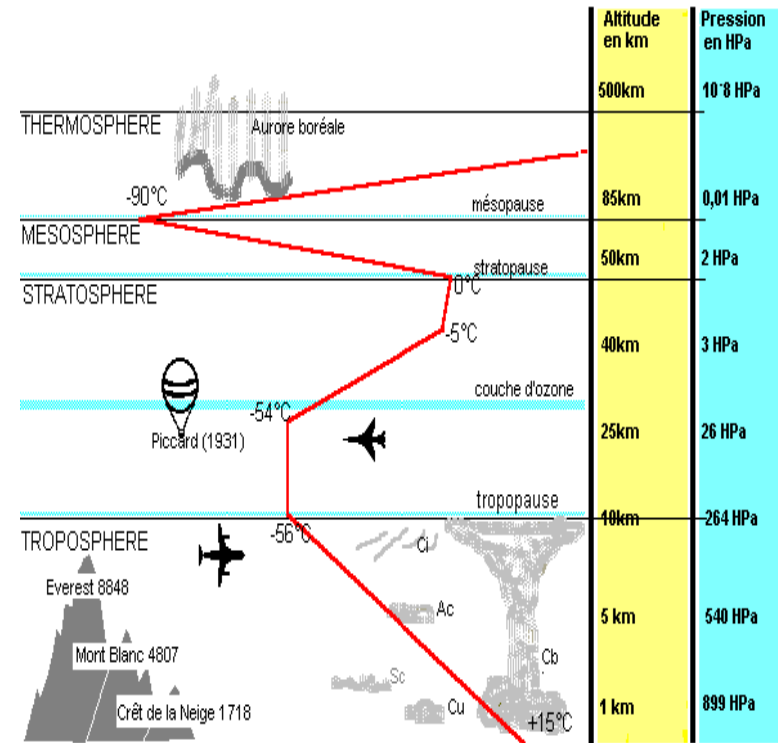
200 hPa → 11500 m (mcp)

150 hPa → 13600 m (mcp)

100 hPa → 16000 m (mcp)

Sol ΔP : 1hPa = 8,50 m

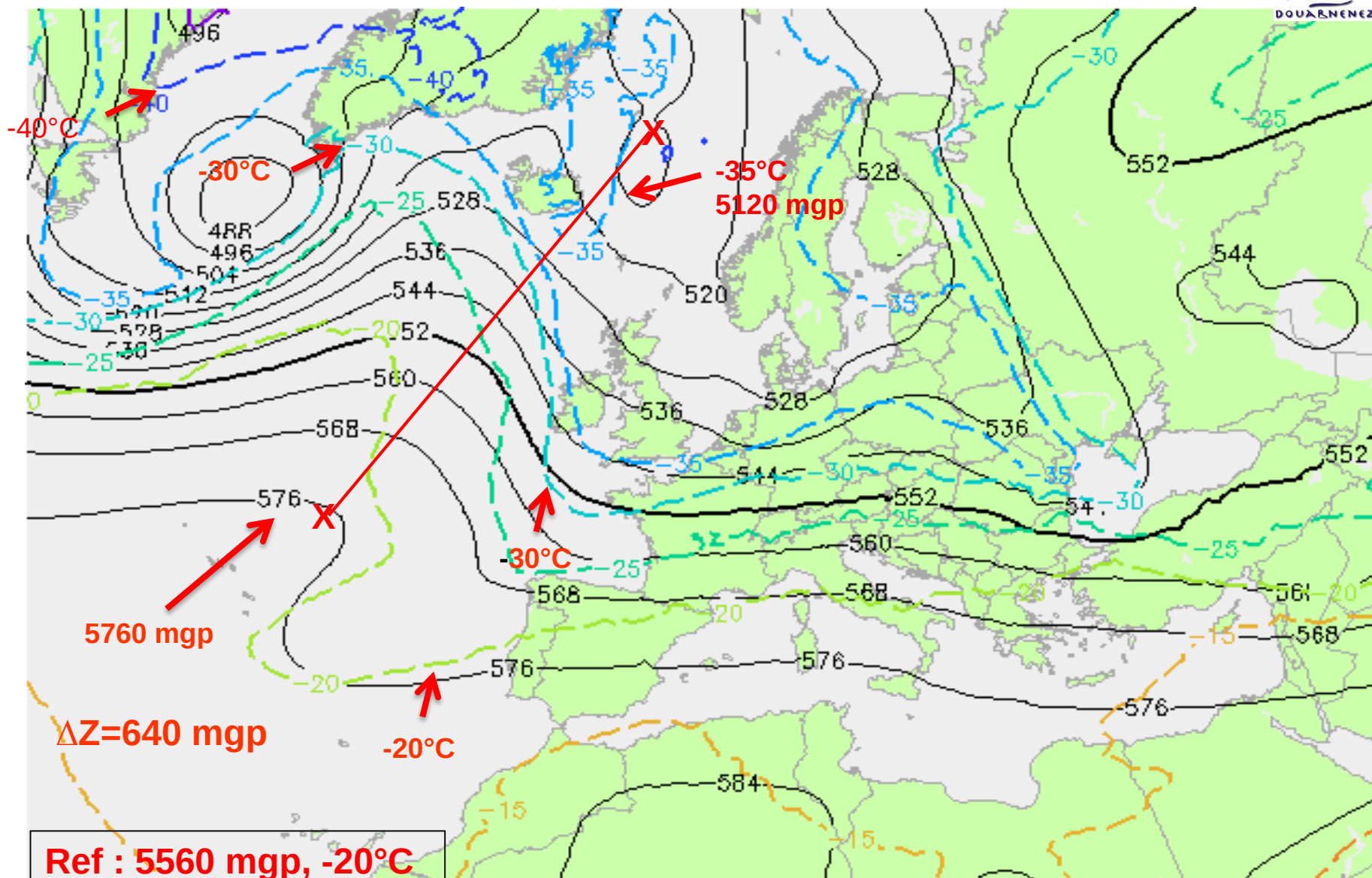
3000 m ΔP : 1hPa = 30 m.

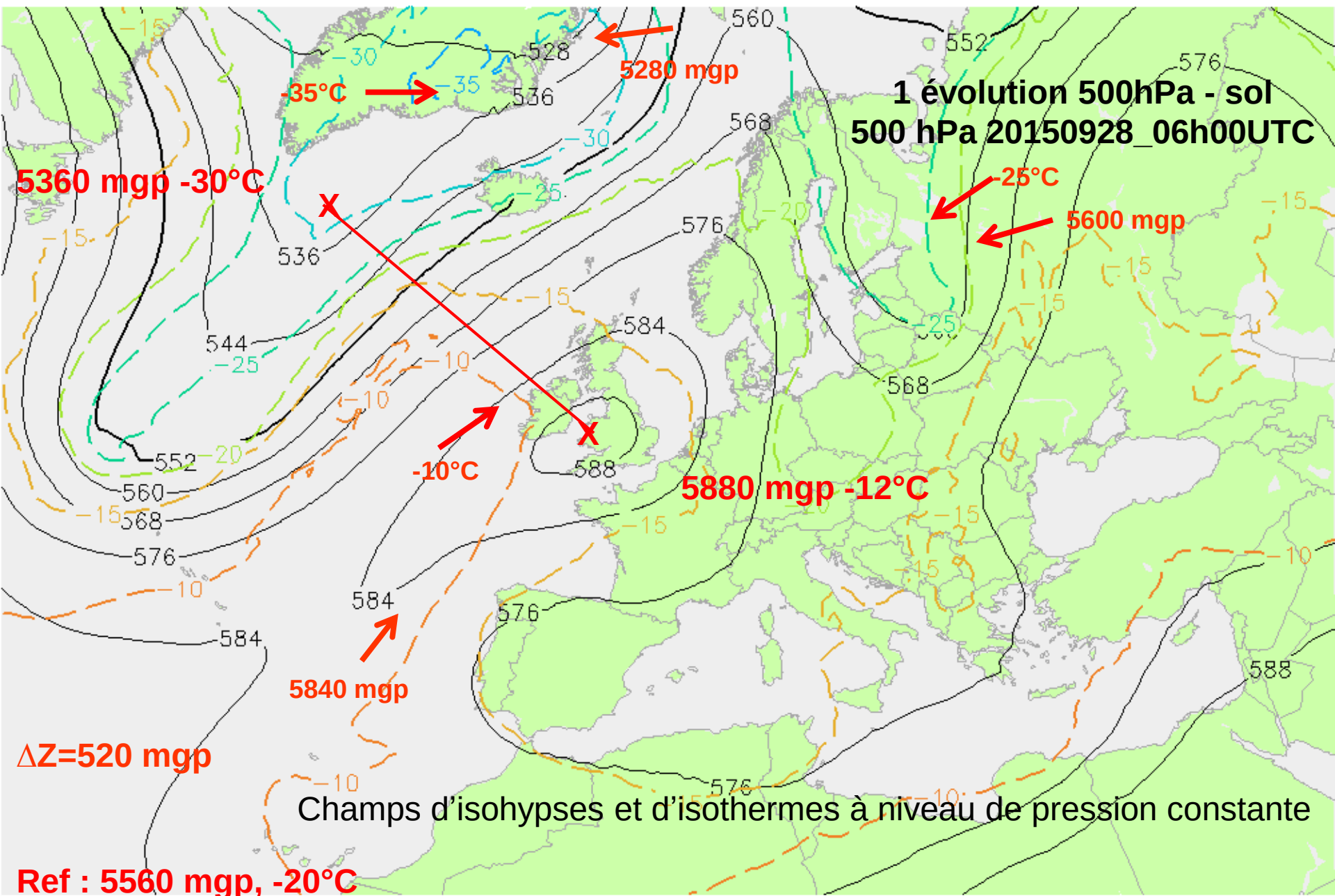


En météorologie, cartes aux niveaux 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa pour analyse et prévision (niveau plus élevés pour courant jet, flux général, aéronautique).

- 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).

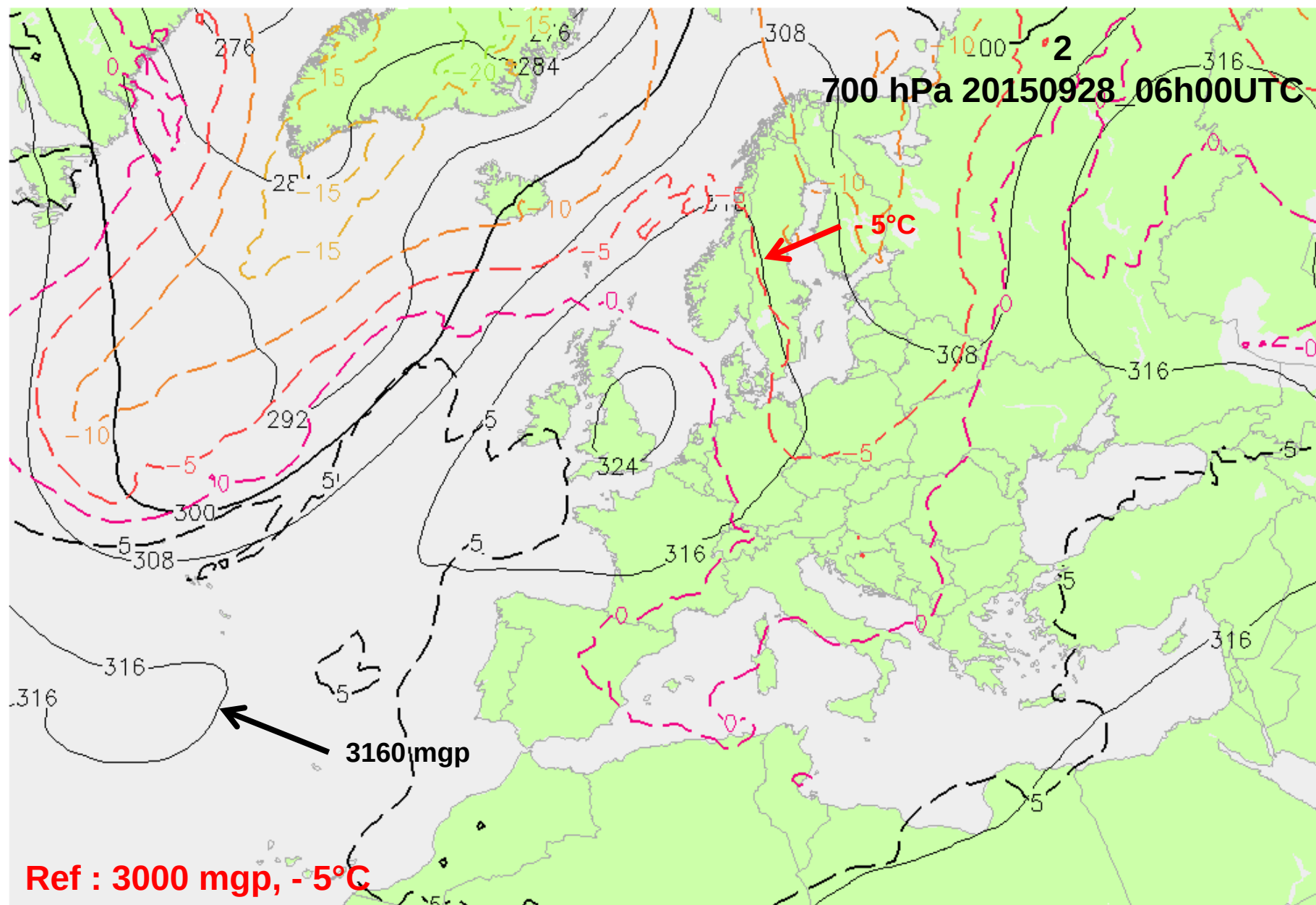
20150304_00h00 UTC 500 hPa mars/septembre : évolutions Z et T
Champs d'isohypses et d'isothermes à niveau de pression constante





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

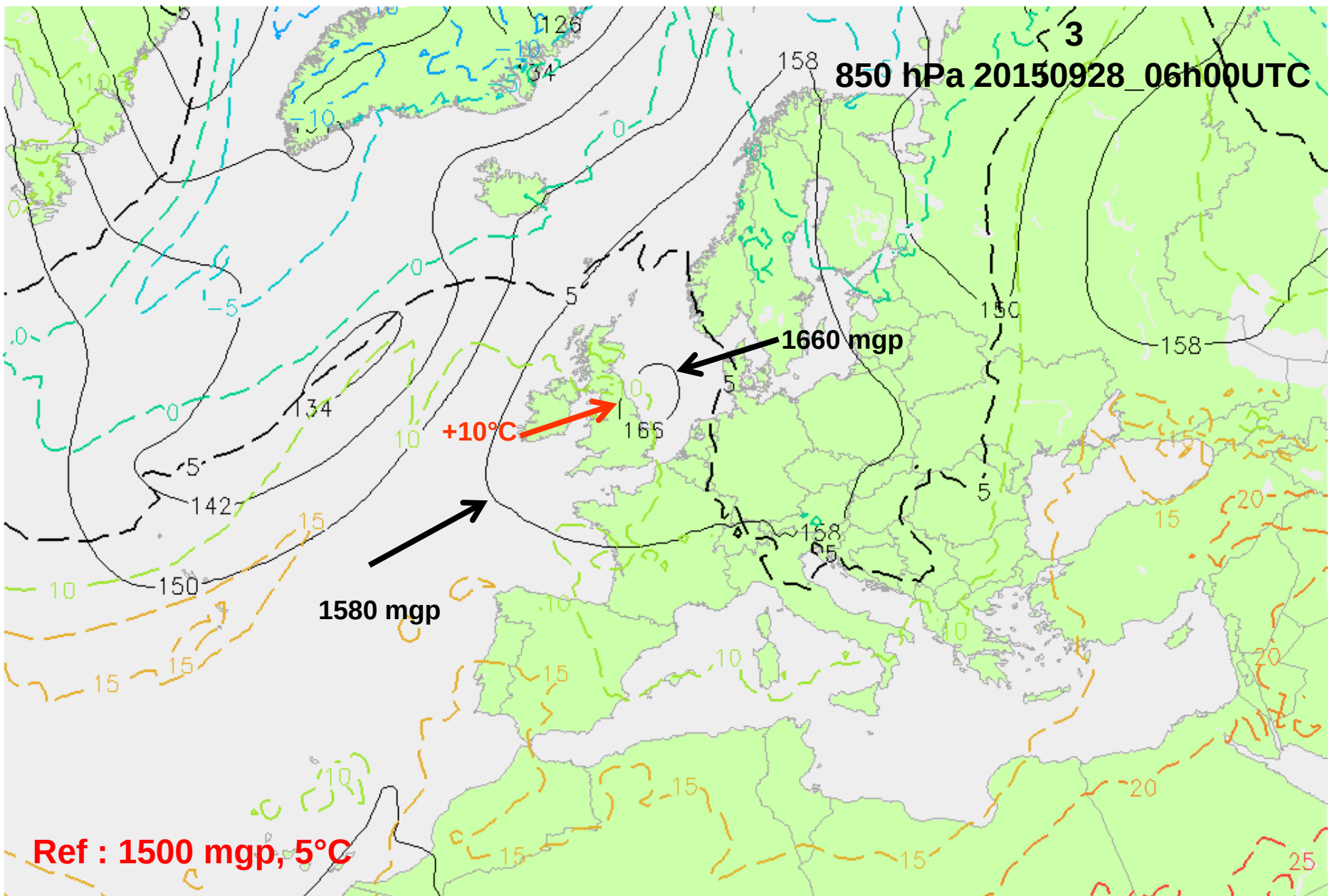
Mon 28/09/15 06UTC (Mon 00+06)



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

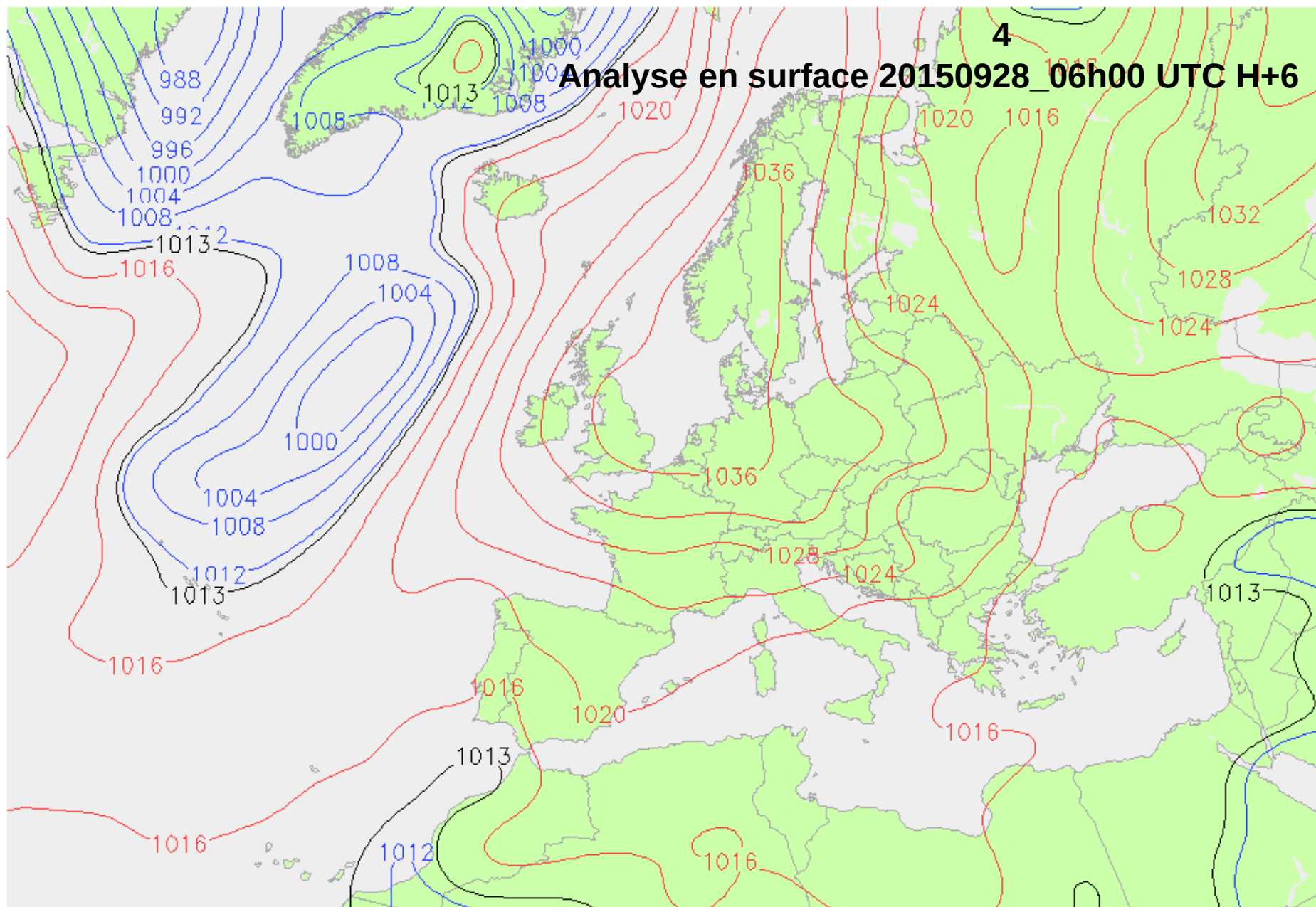
Mon 28/09/15 06UTC (Mon 00+06)

850 hPa 20150928_06h00UTC



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

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

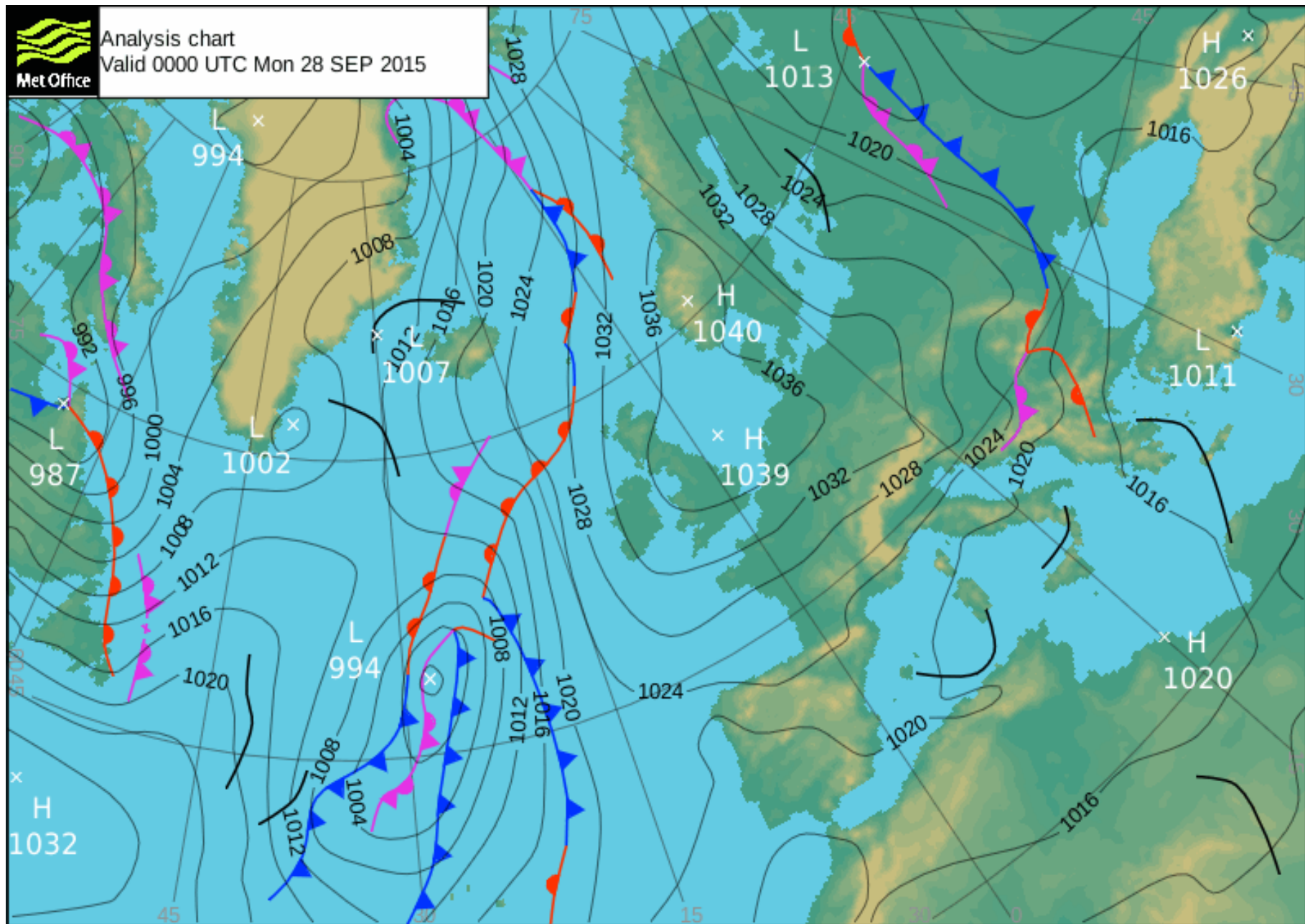


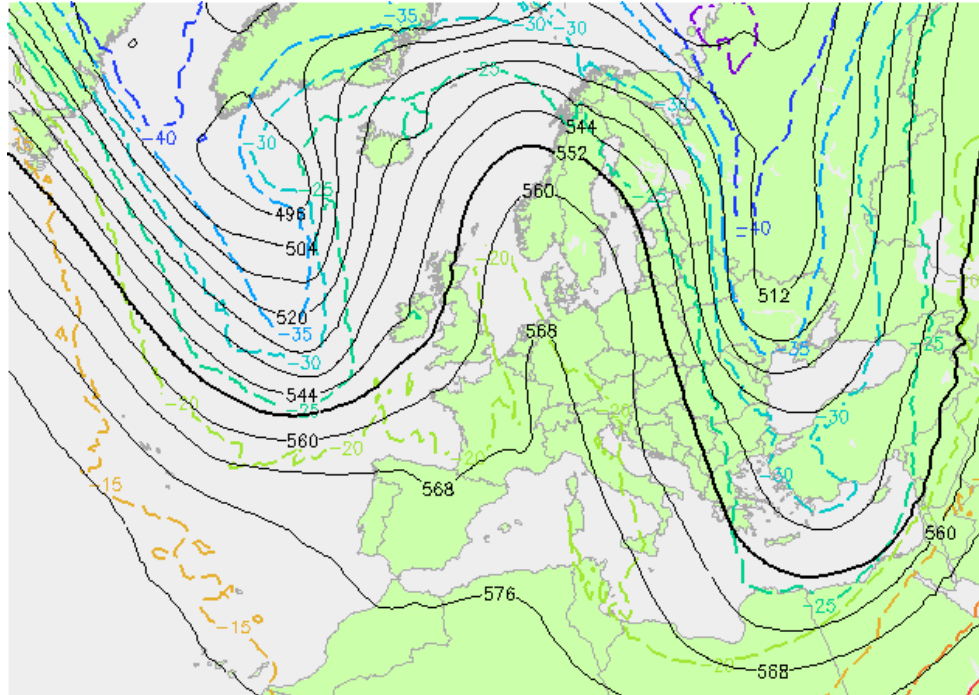
Surface Pressure GFS (hPa)

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

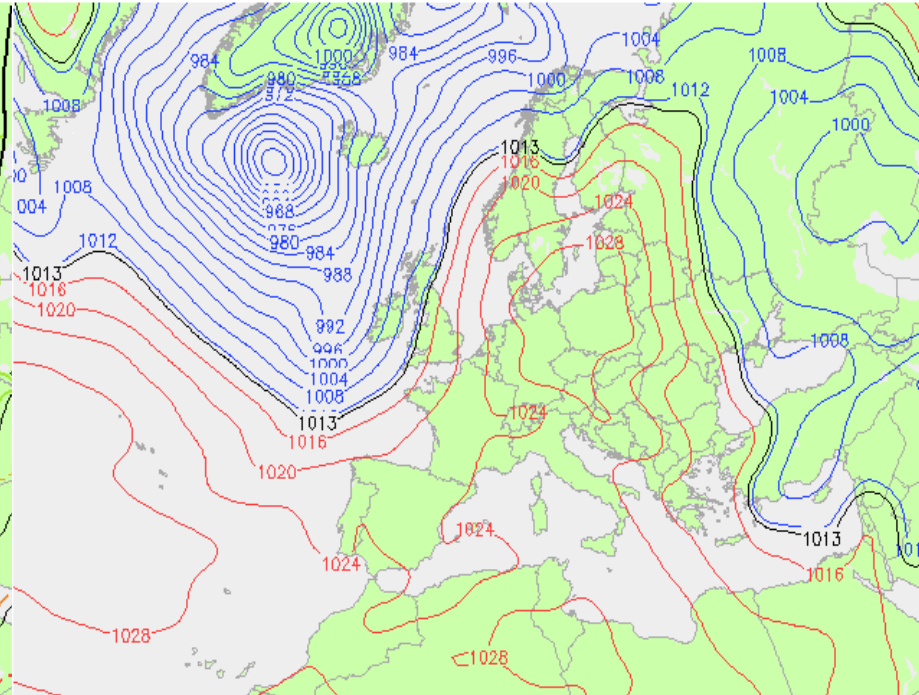


Analysis chart
Valid 0000 UTC Mon 28 SEP 2015





Height/Temp. 500 hPa [gdm][°C] GFS



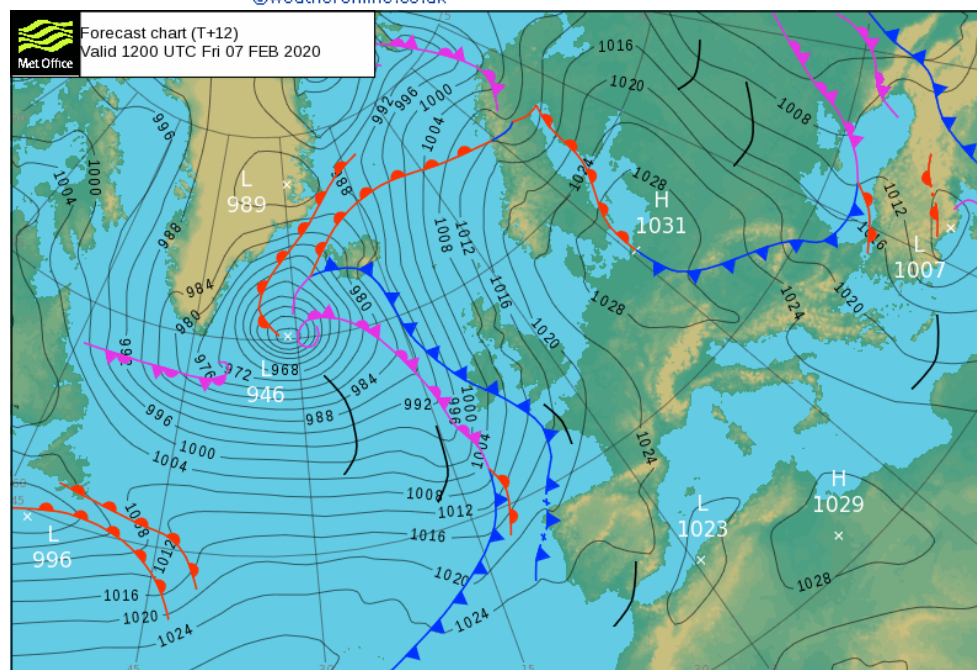
Fr 07-02-2020 12:00 UTC (06+06) Surface pressure [hPa] GFS

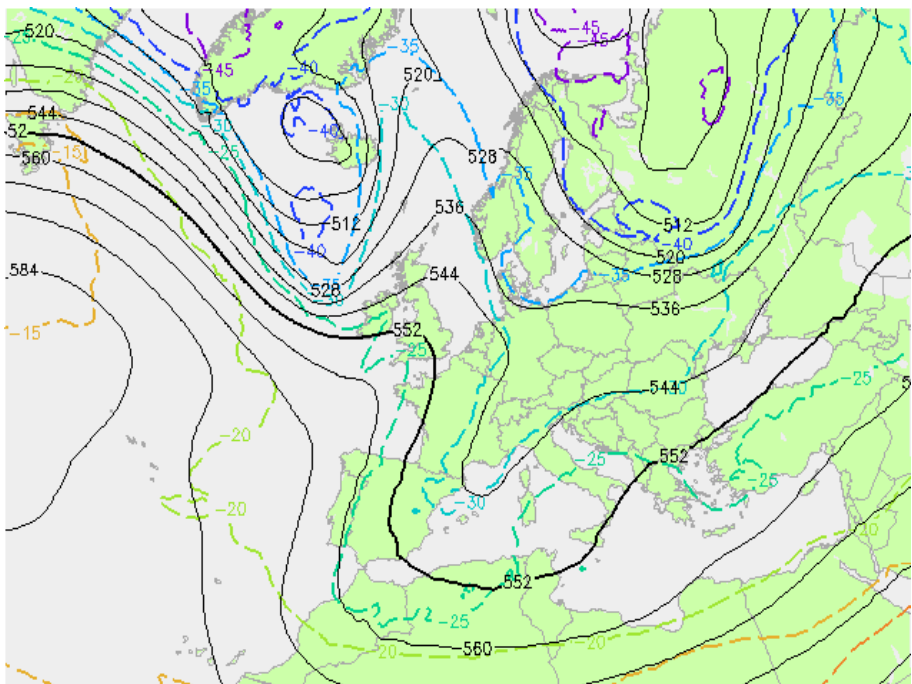
Fr 07-02-2020 12:00 UTC (06+06)

[©weatheronline.co.uk](http://weatheronline.co.uk)

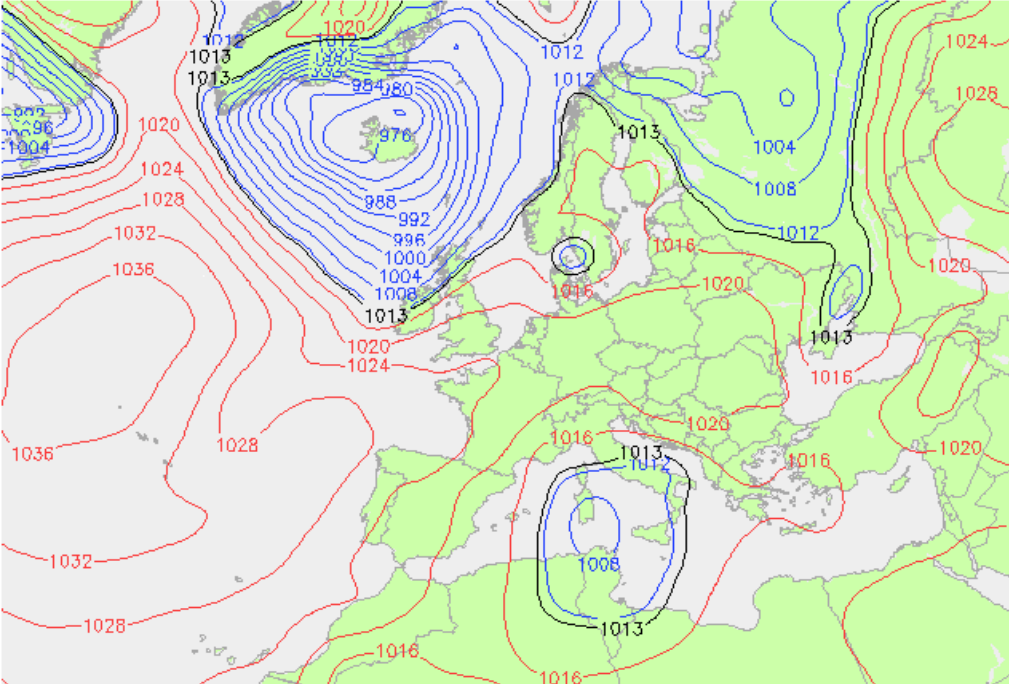
[©weatheronline.co.uk](http://weatheronline.co.uk)

**20200207
12h00 UTC**





Height/Temp. 500 hPa [gdm][°C] GFS



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

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

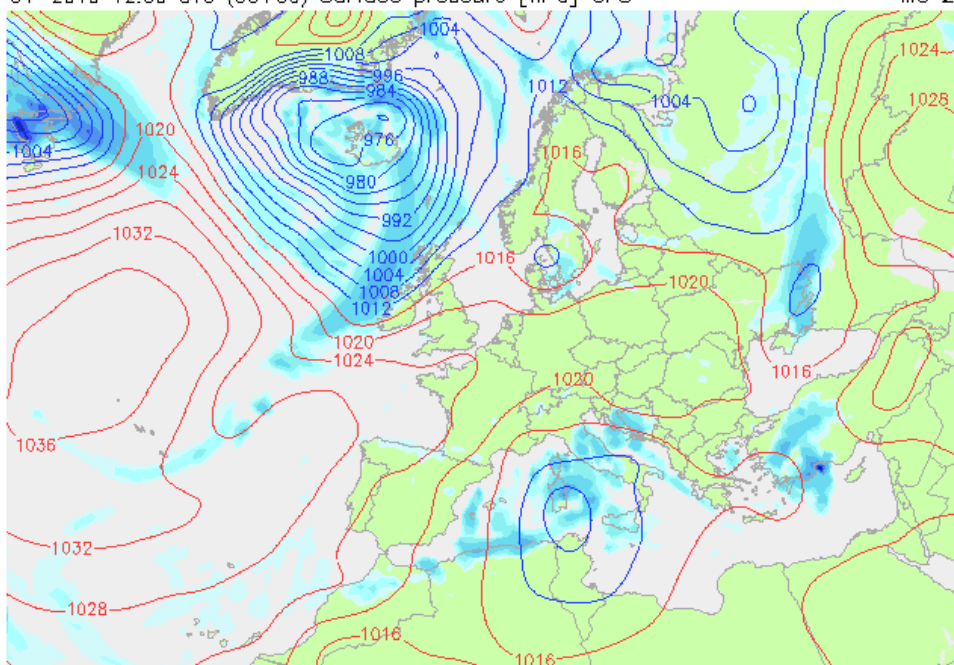
©weatheronline.co.uk

20190121 12h00 UTC

500 hPa

Champ isobarique

Zones frontales



Precipitation [mm] GFS

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

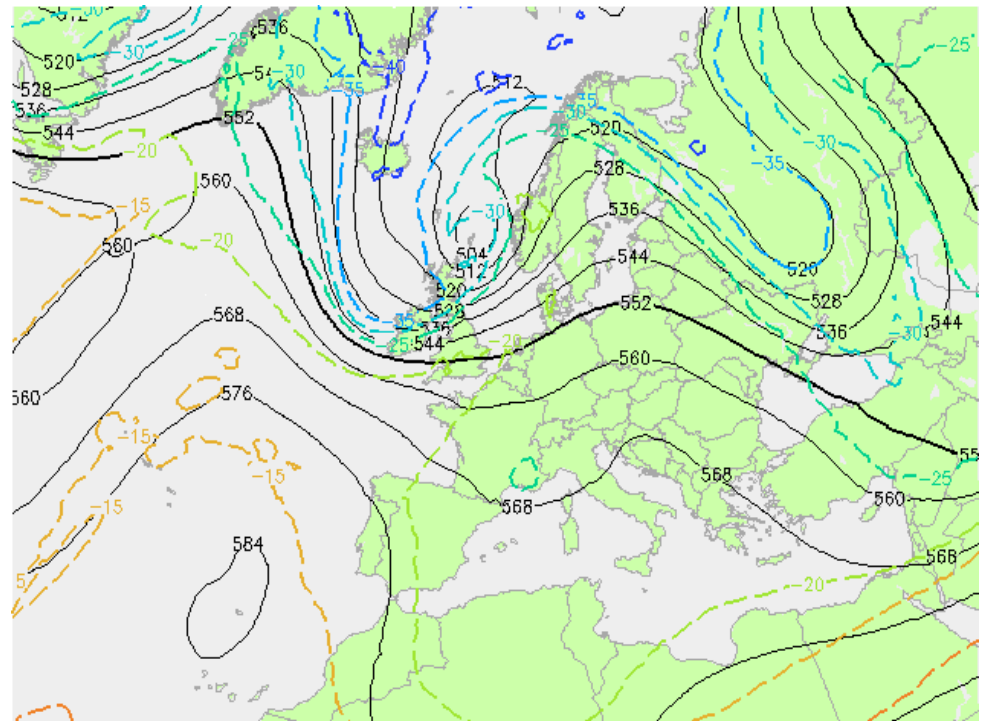
©weatheronline.co.uk



EN RESUME

Analyse d'une carte d'altitude 1

- Un champ d'isohypses généralement espacées de 80 en 80 mgp mais cotées en décamètres : **560 = 5600 mgp (isohypse de référence 552)**. La hauteur du géopotentiel 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.



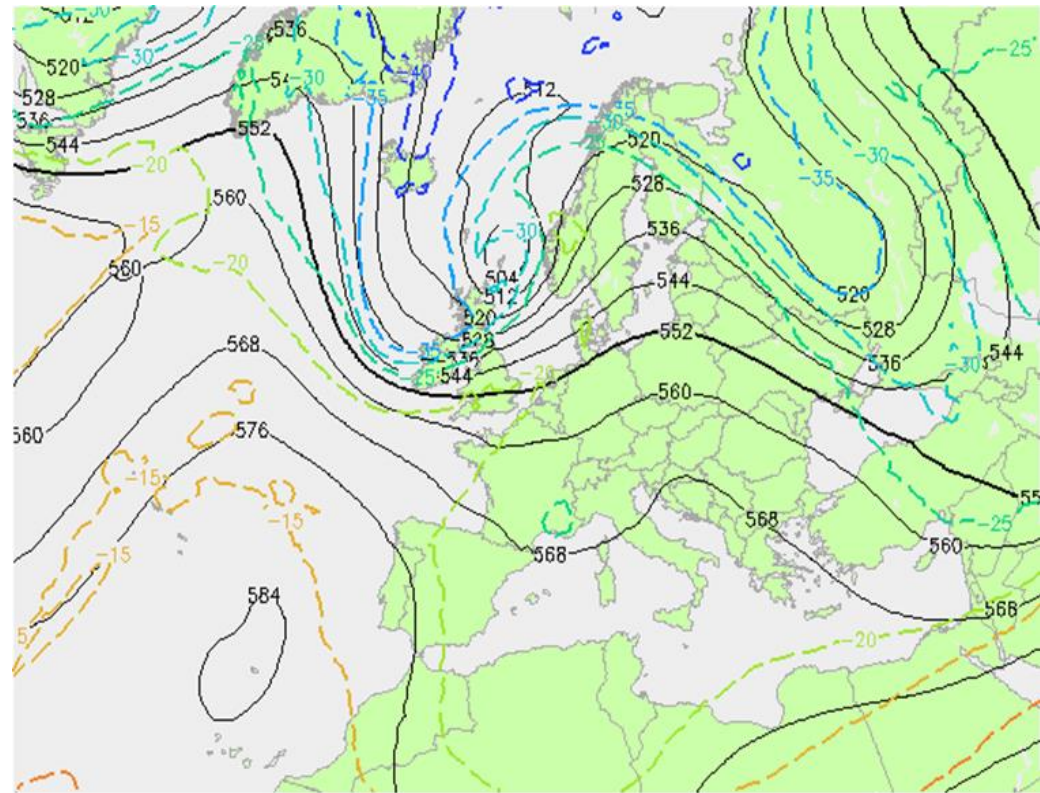
Height (gpdm) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS

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 champ thermique.
- Les zones dans lesquelles le champ d'isothermes coupe le champ d'isohypses avec un angle marqué.



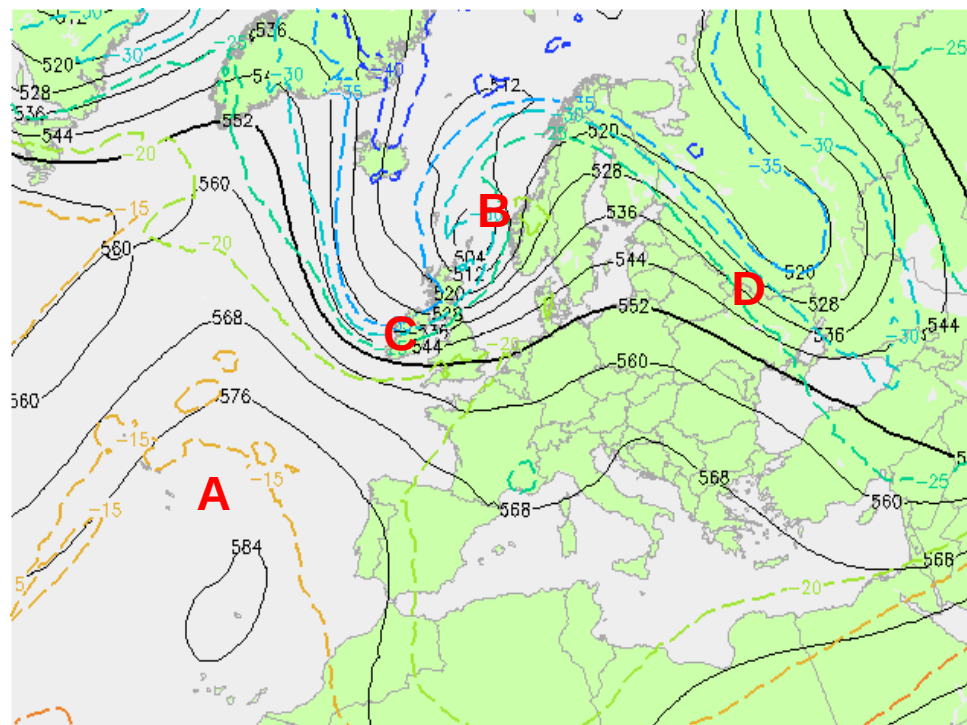
Height (gpm) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS

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

©weatheronline.co.uk

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

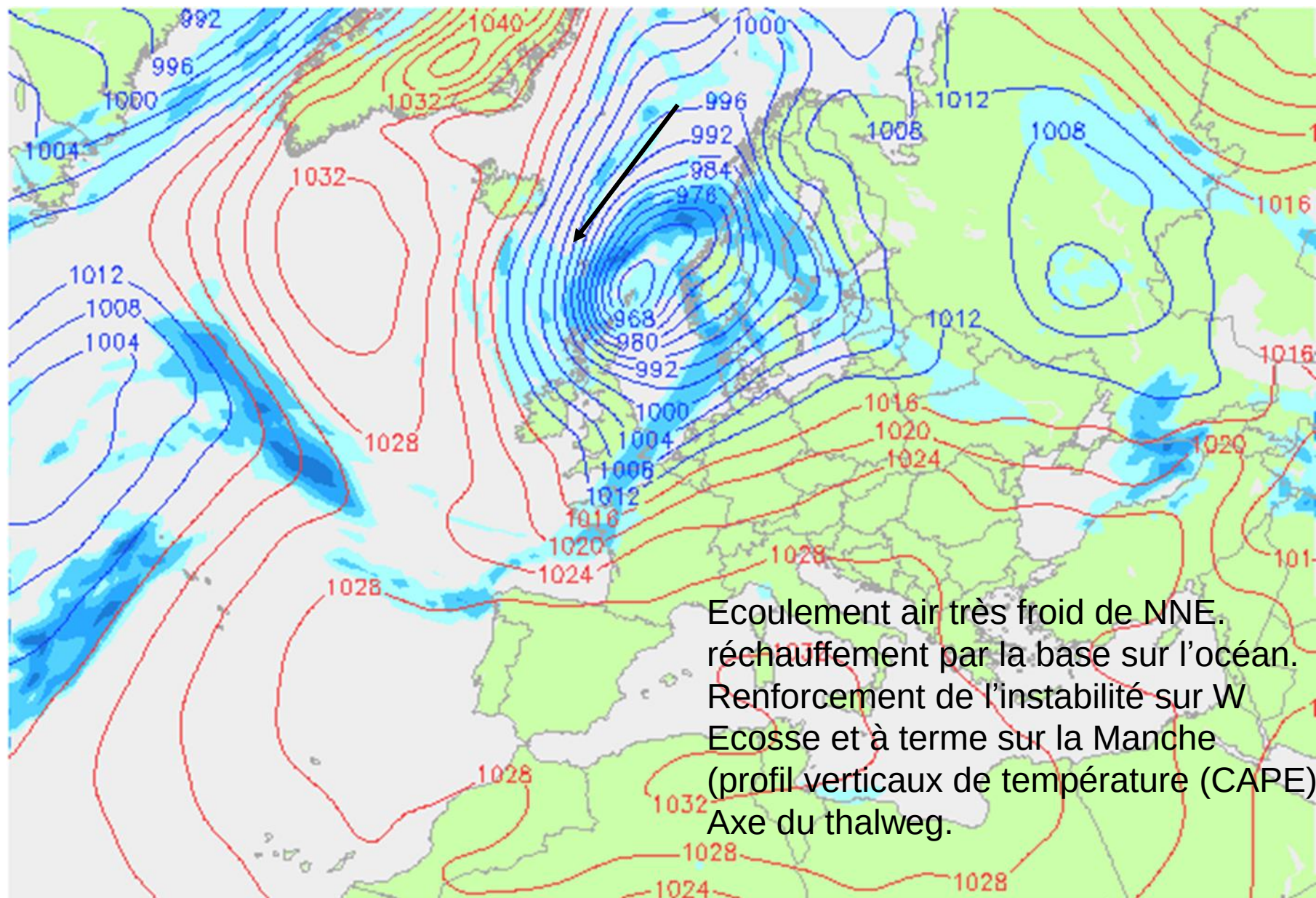
- Les zones de hauts géopotentiels sont associées à de l'air chaud (**A**) et inversement les zones de bas géopotentiels sont associées à de l'air froid (**B**).
- Les zones à fort gradient thermique localisent les zones de conflits de masses d'air, conflit d'autant plus marqué que l'angle sous lequel 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 cote 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

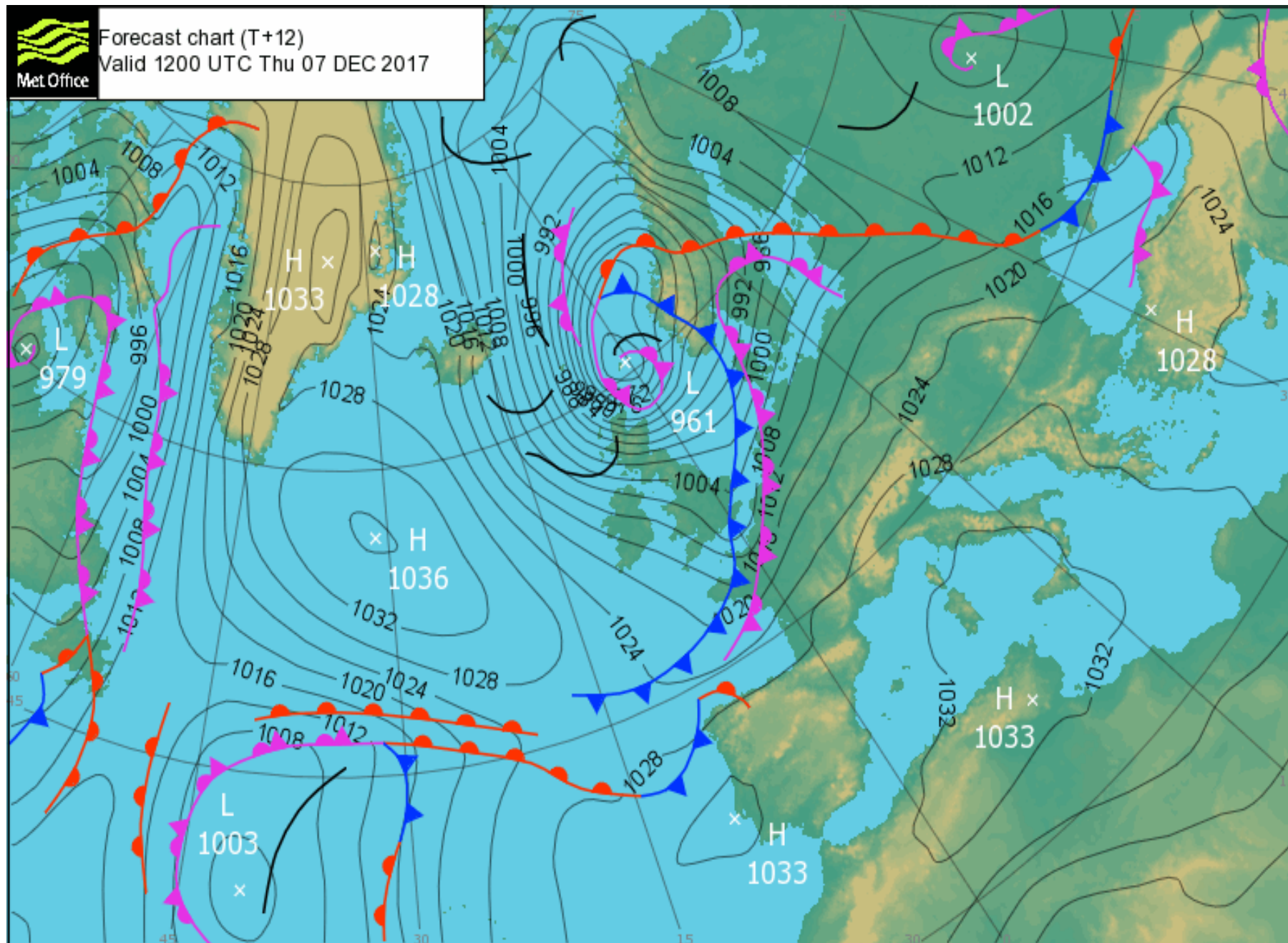


Precipitation GFS (mm)
 0.5 2 5 10 20 30 40 50 100

Thu 07/12/2017 09.17 °C (Thu 06+06)
 ©weatheronline.co.uk



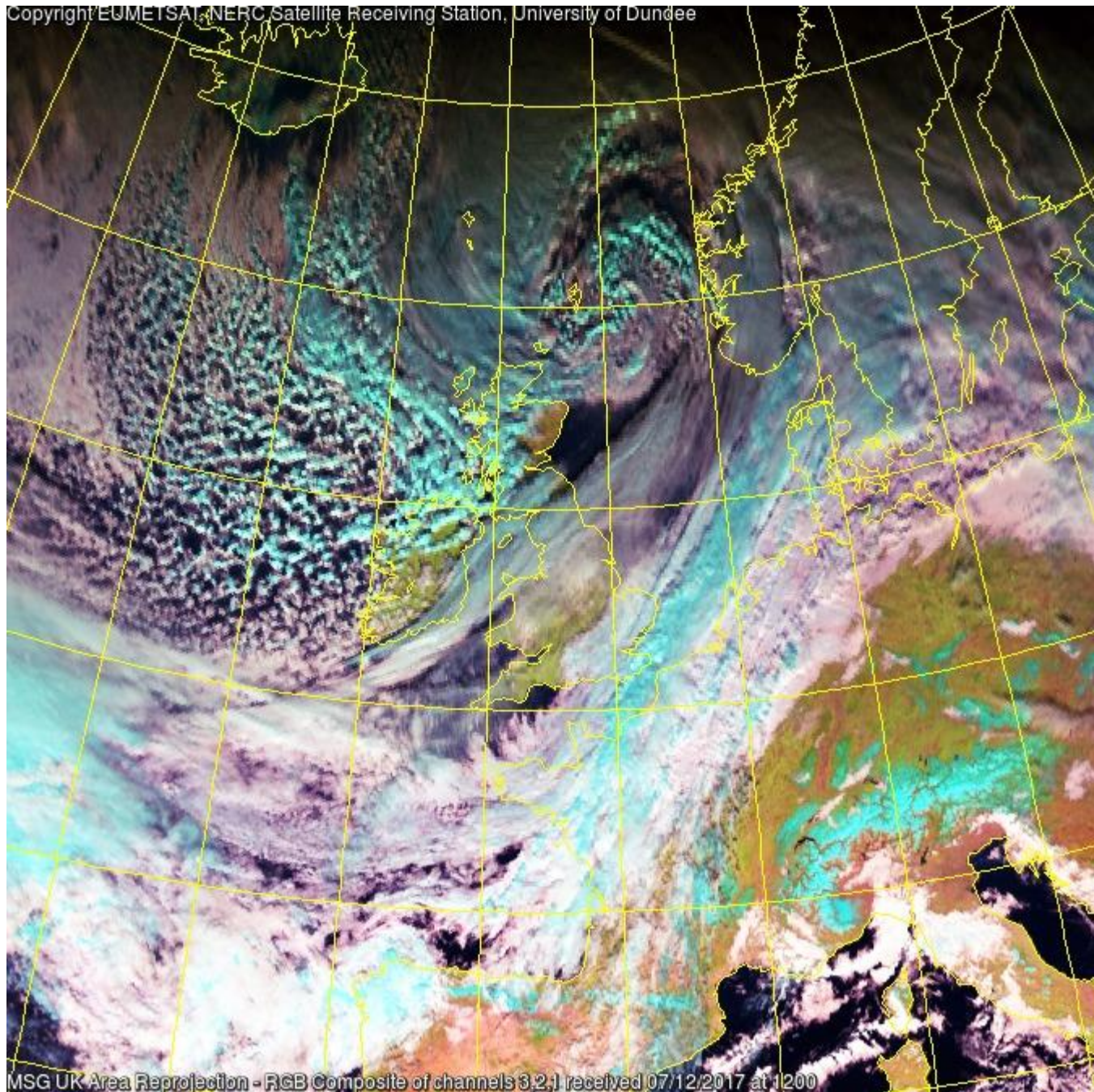
Forecast chart (T+12)
Valid 1200 UTC Thu 07 DEC 2017



EUMETSAT

20171207
12h00 UTC

Université
de Dundée



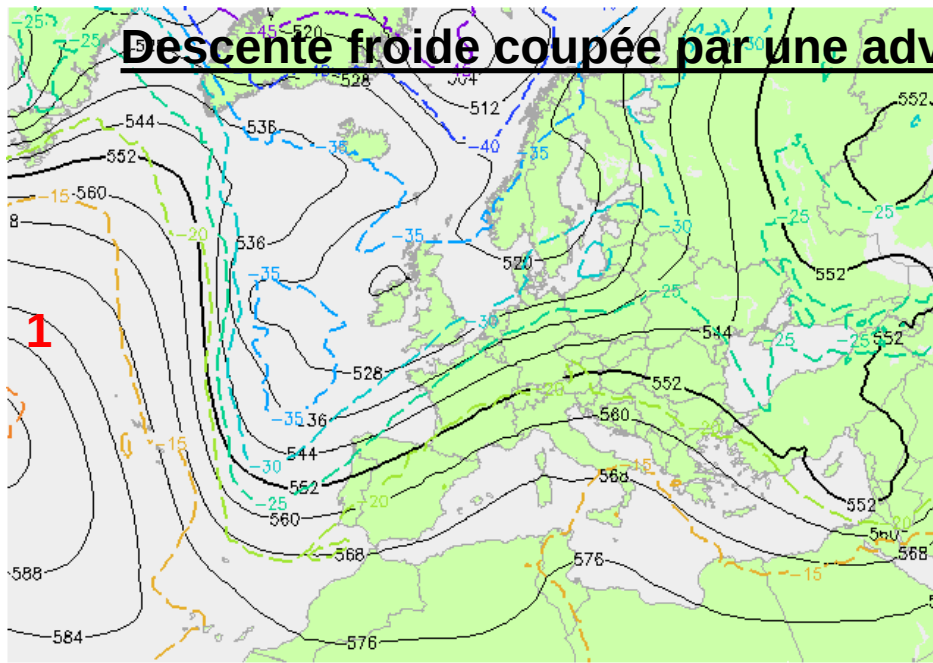
Evolutions des champs en altitude et conséquences au sol : 4

En altitude, réduction ou disparition progressive de l'alimentation en air chaud ou en air froid en altitude. **Au sol**, affaissement d'une dorsale, d'un anticyclone ou comblement d'une dépression, généralement retour vers une circulation d'Ouest plus ou moins perturbée.

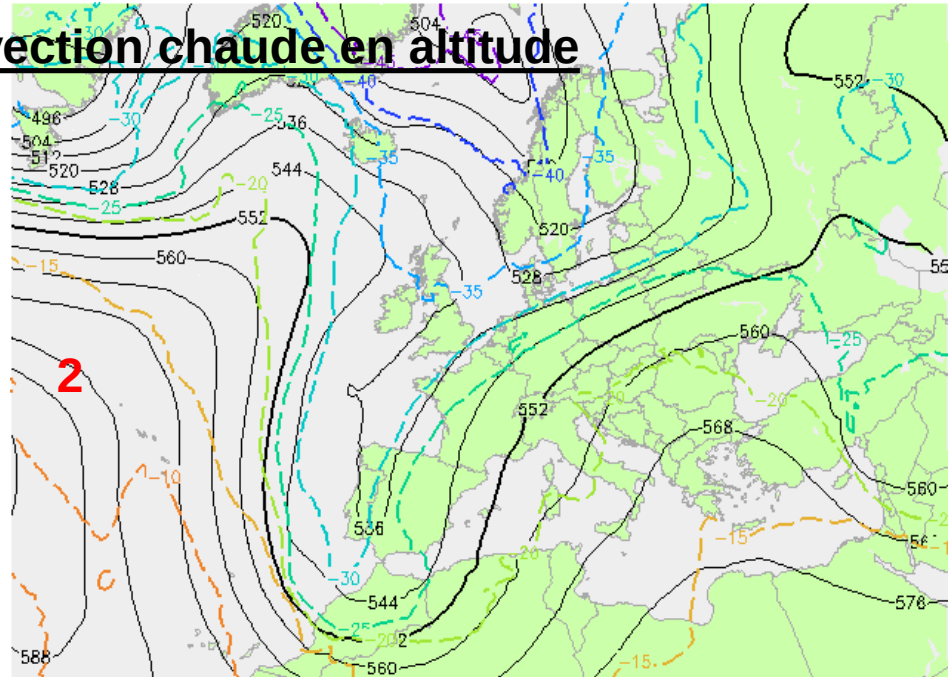
En altitude, coupure d'une puissante advection chaude par une descente froide (formation d'une séclusion en altitude). **Au sol** cellule anticyclonique initiale coupée en deux (généralement une cellule au Nord (à durée de vie limitée) et une cellule plus au sud séparée de celle du Nord par un flux d'Ouest perturbé (ou isolement d'une occlusion si séclusion de faible ampleur).

En altitude, coupure d'une puissante descente froide par une advection chaude : isolement d'une goutte froide au Sud qui ne va se combler que très lentement. **Au sol** généralement minimum plus ou moins marqué sur le centre Atlantique, Les canaries, le golfe de Gascogne, la péninsule ibérique avec risques de creusement sur le bassin méditerranéen occidental donnant du mauvais temps sur littoral (épisode cévenol) voir un **médicane** en automne (situation toujours à surveiller).

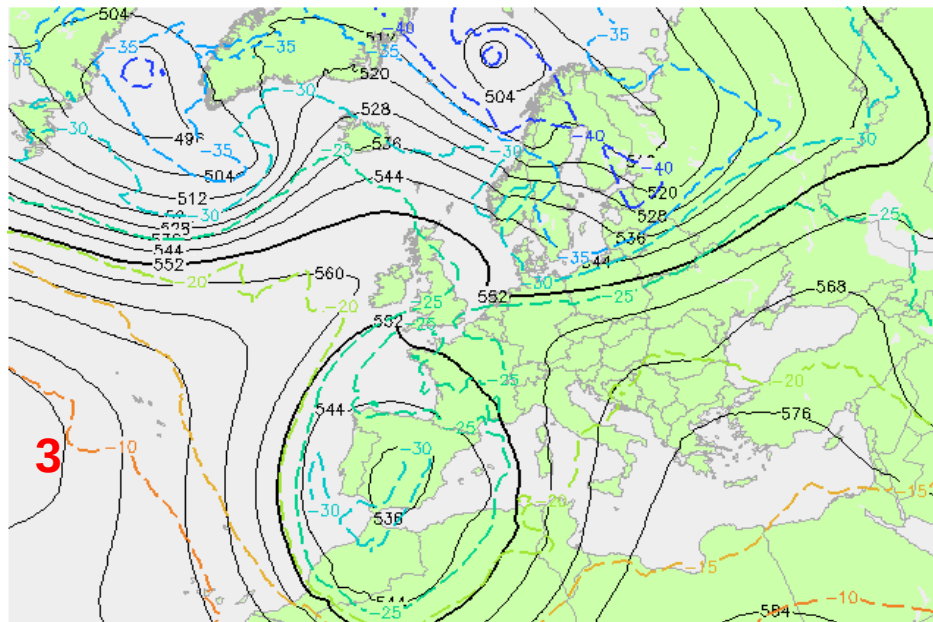
Descente froide coupée par une advection chaude en altitude



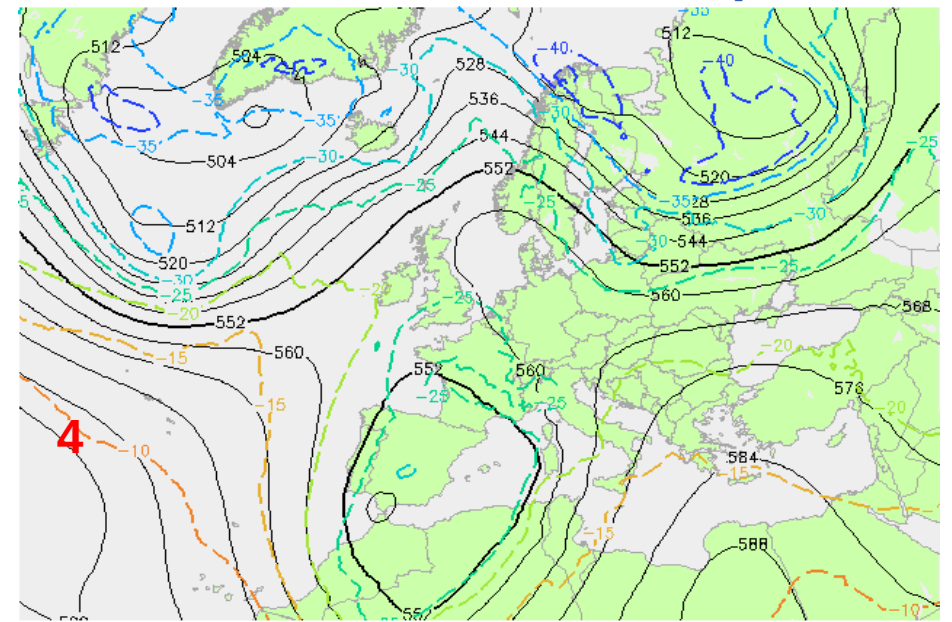
Height (gpdm) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS Fri 05/01/18 12UTC (Fri 06+06)
weatheronline.co.uk



Height (gpdm) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS Sat 06/01/18 12UTC (Sat 06+06)
weatheronline.co.uk

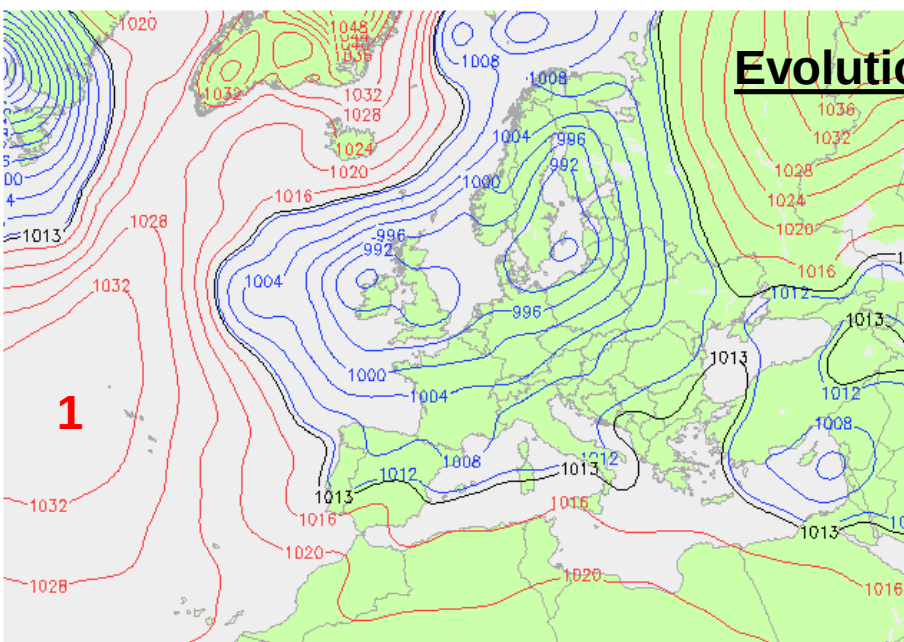


Height (gpdm) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS Sun 07/01/18 12UTC (Sun 06+06)
weatheronline.co.uk



Height (gpdm) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS Mon 08/01/18 12UTC (Mon 06+06)
weatheronline.co.uk

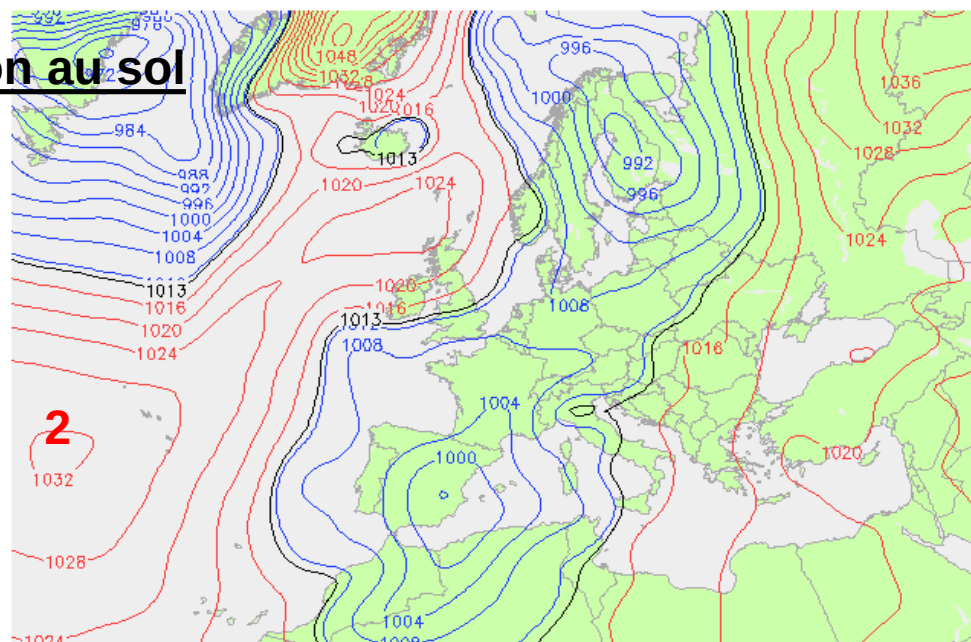
Evolution au sol



Surface Pressure GFS (hPa)

Fri 05/01/18 12UTC (Fri 06+06)

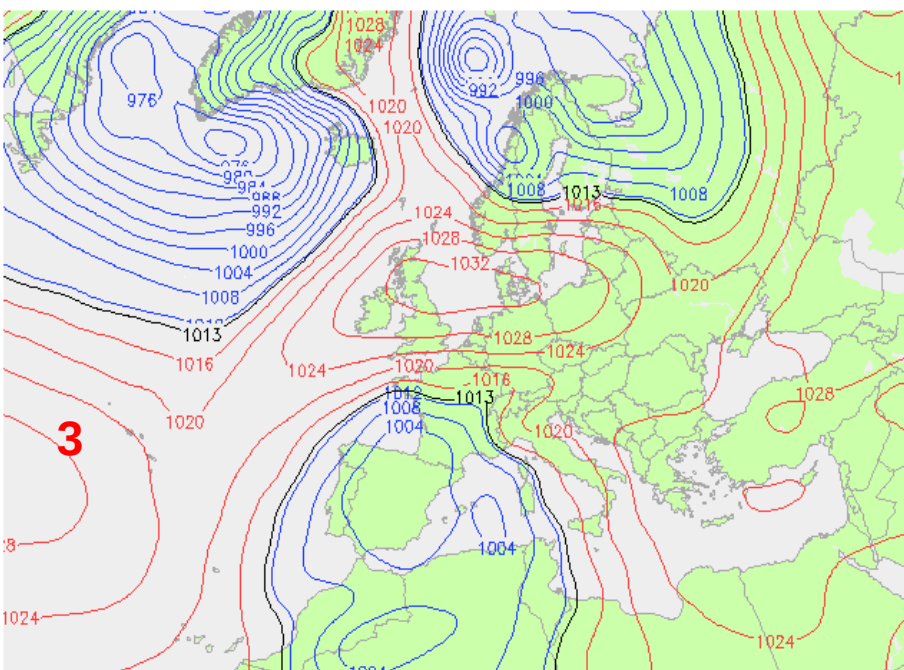
@weatheronline.co.uk



Surface Pressure GFS (hPa)

Sat 06/01/18 12UTC (Sat 06+06)

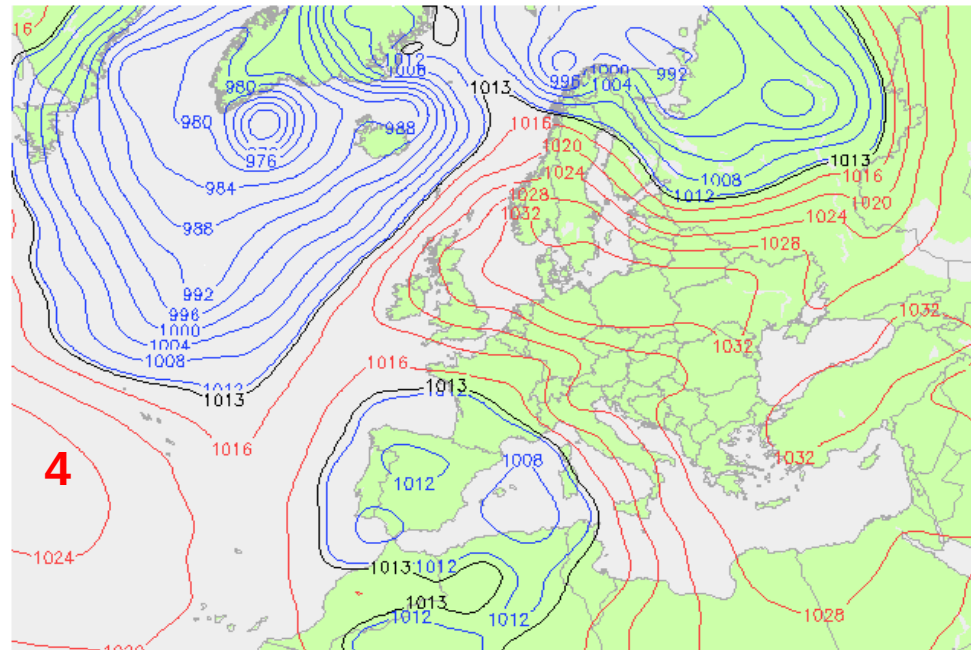
@weatheronline.co.uk



Surface Pressure GFS (hPa)

Sun 07/01/18 12UTC (Sun 06+06)

@weatheronline.co.uk



Surface Pressure GFS (hPa)

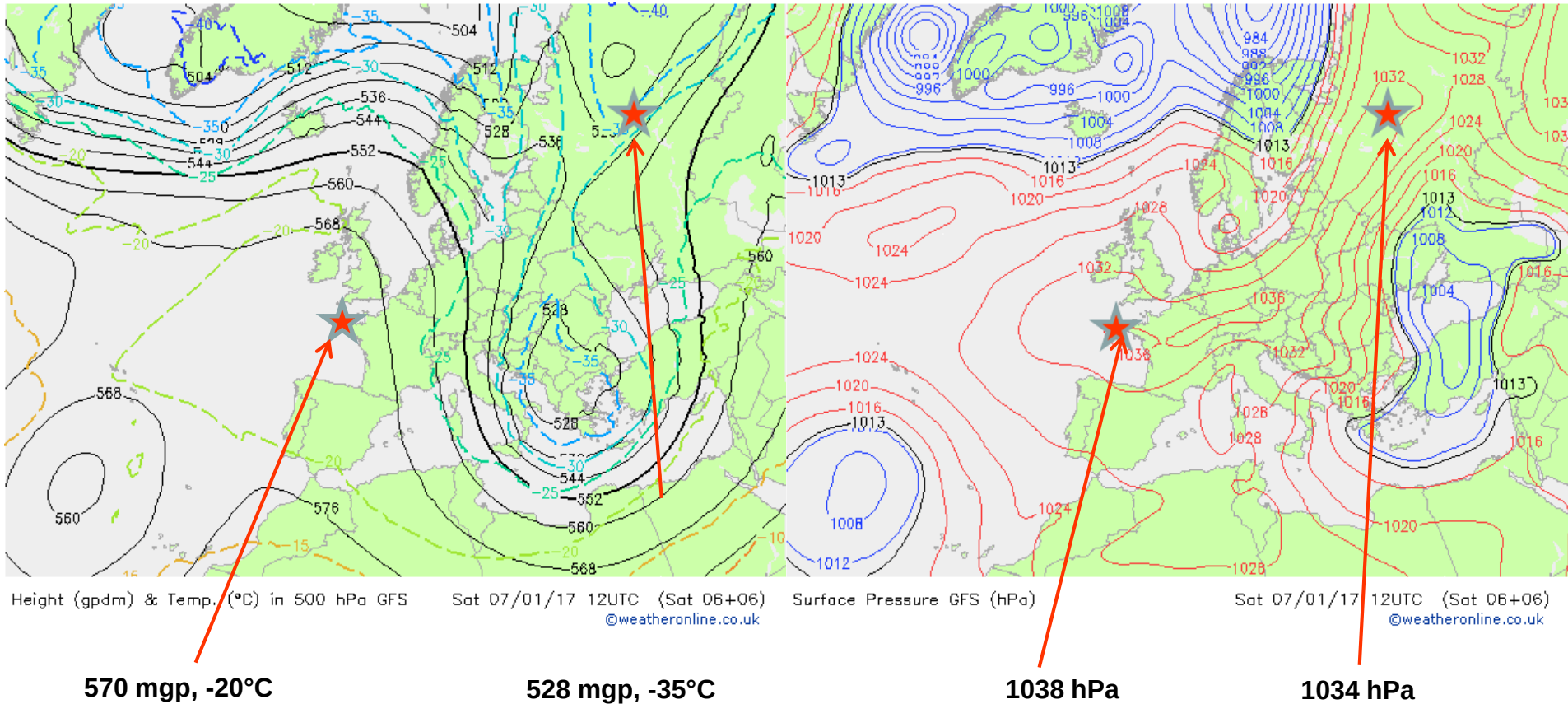
Mon 08/01/18 06UTC (Mon 06+00)

@weatheronline.co.uk

Centres d'action dynamiques et centres d'action thermiques

500 hPa

Sol



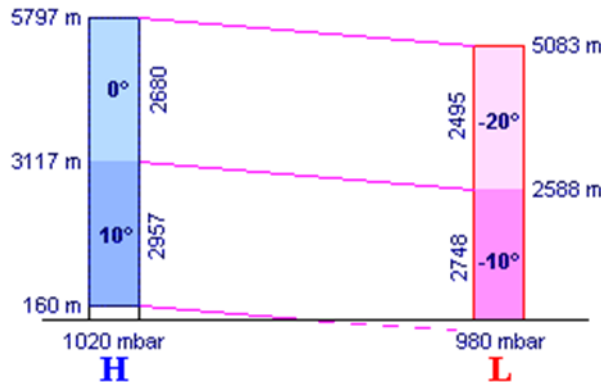
Un anticyclone et une dépression thermiques bien connus ???

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

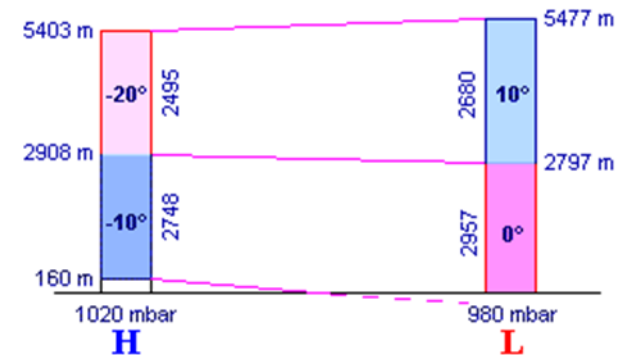
Advection chaude en altitude → hautes valeurs du champ d'isohypses → anticyclone **dynamique** au sol.

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

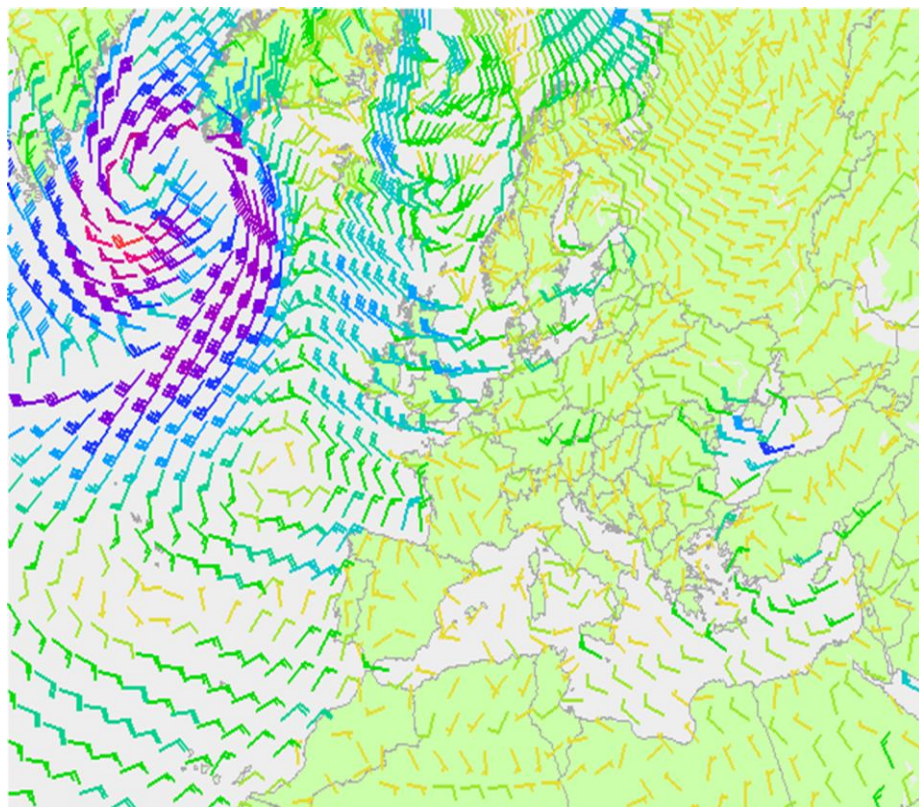
Que ce soit au sol ou en altitude, les isolignes (isobares, isohypses) n'ont pas un écartement constant : → **le gradient horizontal de pression.**



PAUSE

PUIS LE VENT

Le vent : Sens et force du vent 20150304_00H00 UTC

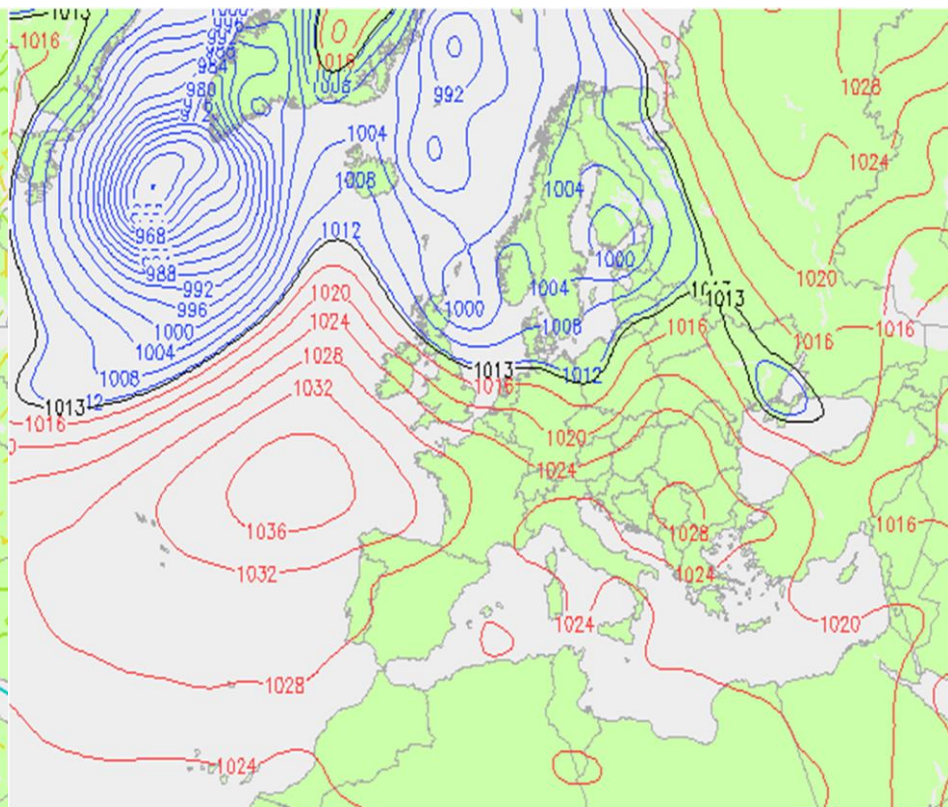


Wind 10m GFS (kts)

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

Wed 04/03/15 00UTC (Wed 00+00)

©weatheronline.co.uk

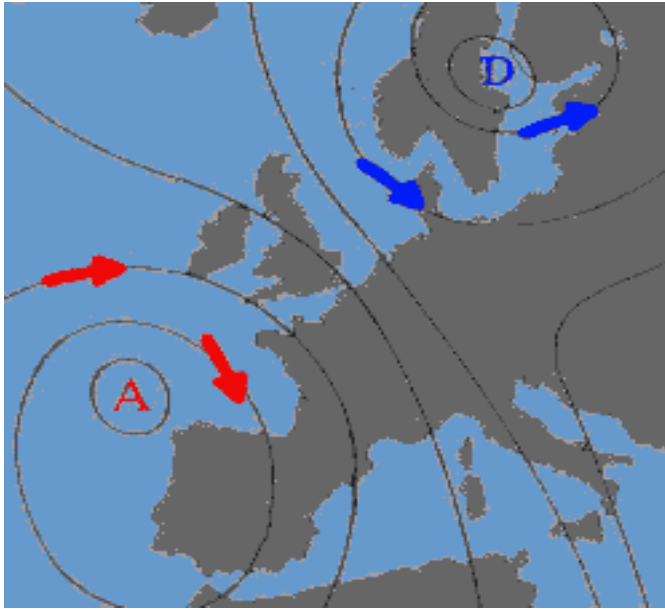


Surface Pressure GFS (hPa)

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.

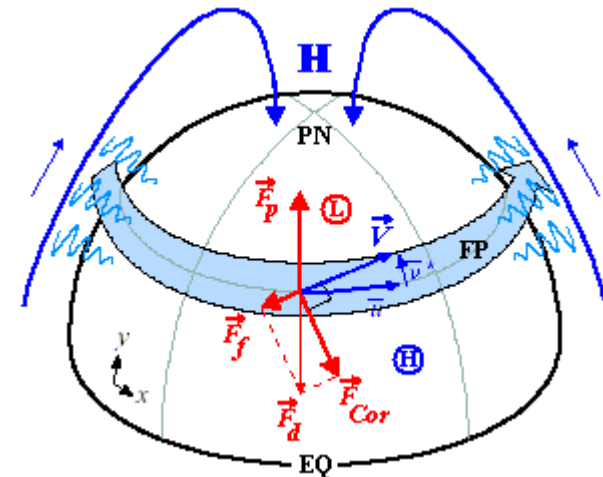
En d'autres termes, le mouvement de l'air s'effectue dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'une zone de hautes pressions et dans le sens inverse autour d'une zone de basses pressions .

(règle de **Buys Ballots** 1857) .

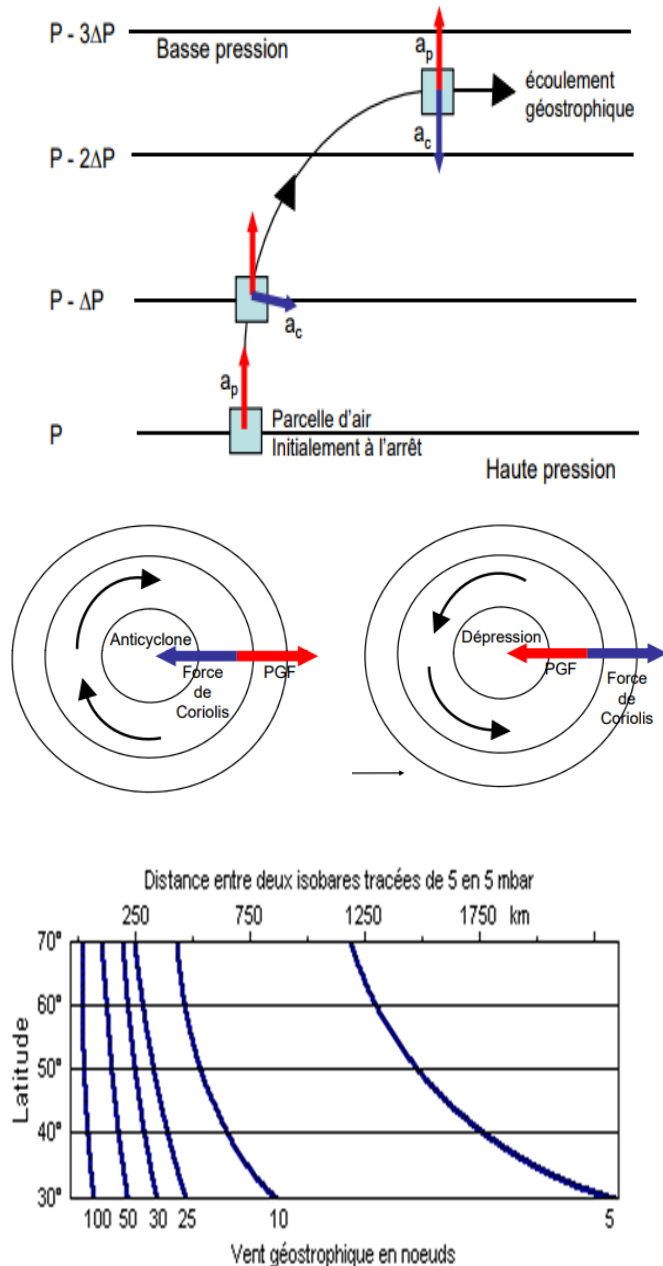
DIRECTION ET FORCE DU VENT

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 $F_d = 2 \Omega V \sin \varphi$, Ω étant la vitesse angulaire de rotation de la Terre et φ 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 $\leq 1500m$, cartes d'altitude).

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

Vent du gradient : équilibre FP , F_{Cor} et $F_{centrifuge}$ (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

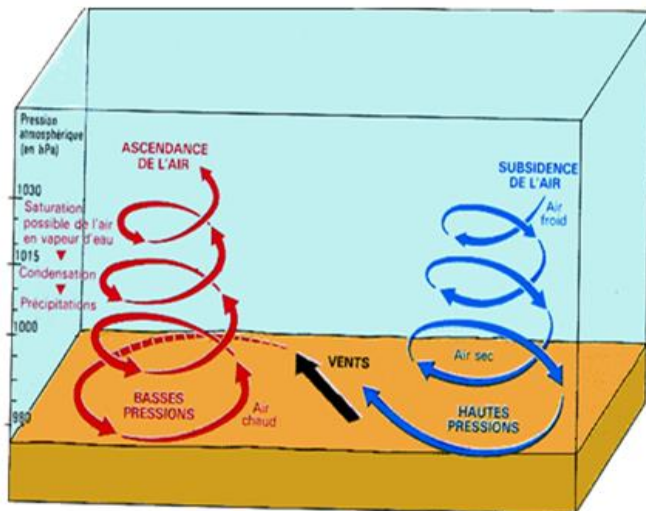
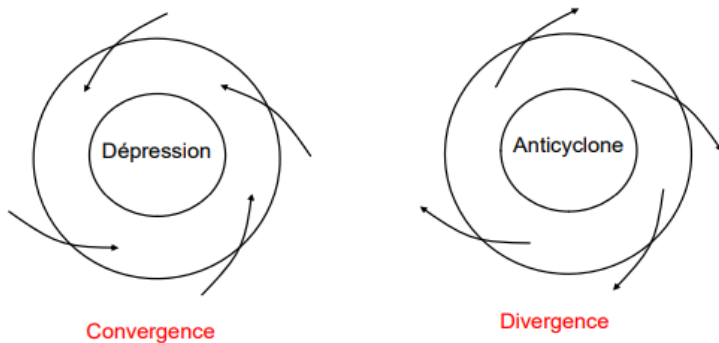
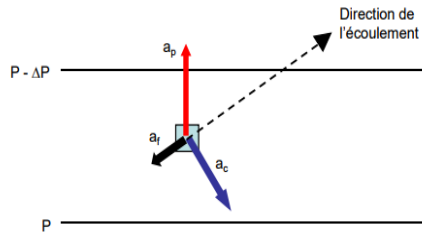
La rugosité de la surface terrestre entraîne une modification importante de la force du vent dans la couche de frottement (c. limite 500/1000 m).

Les forces de frottement :

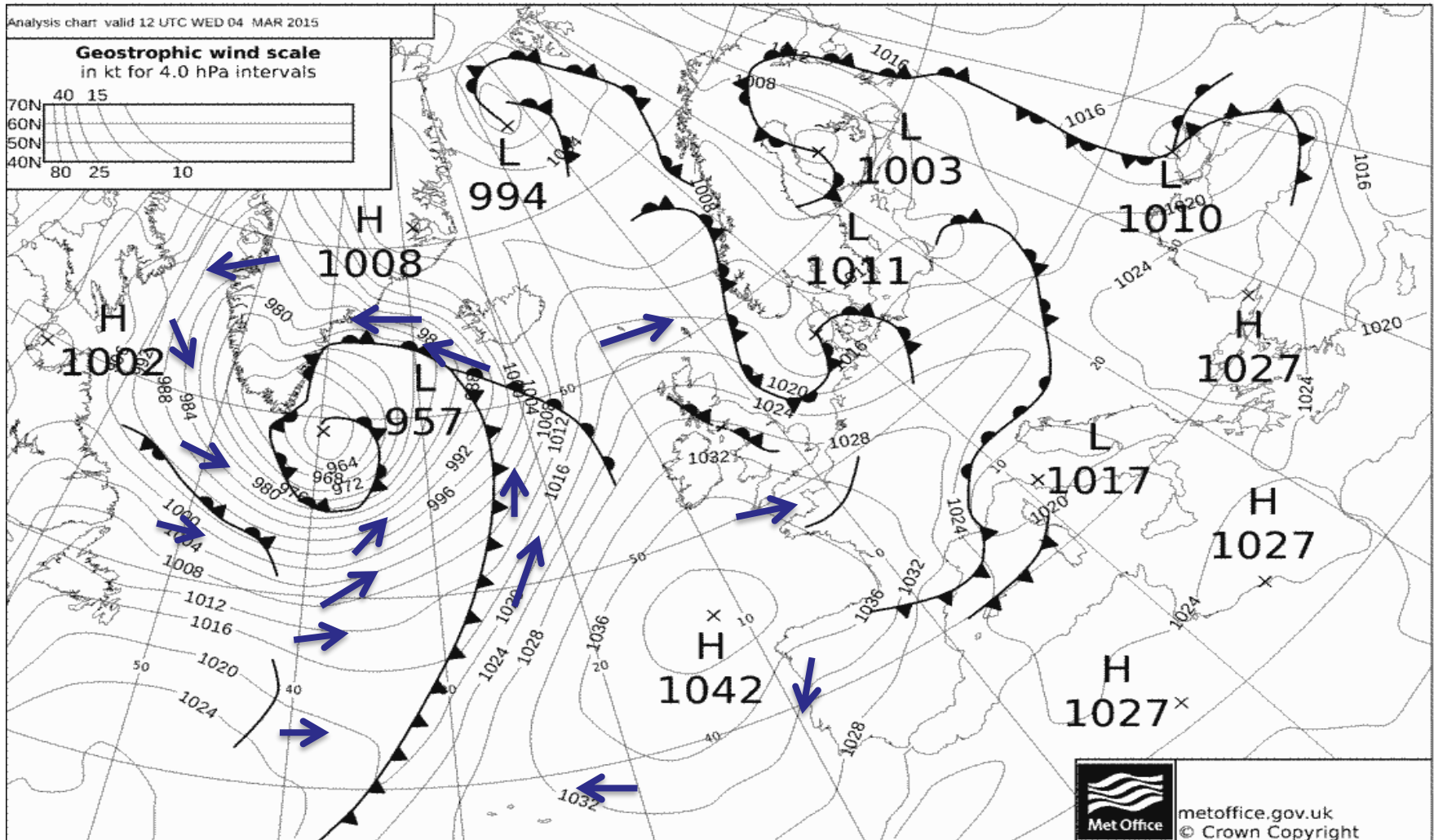
- réduit fortement la force du vent géostrophique (-30/-40%) ;
- modifie la direction du vent (15° sur mer, 30° sur terre, réduction de F_c , **divergence autour A**, **convergence autour D** → vent sort de l'anticyclone et entre dans la dépression) ;
- diminue rapidement avec l'altitude ou le vent réel 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.

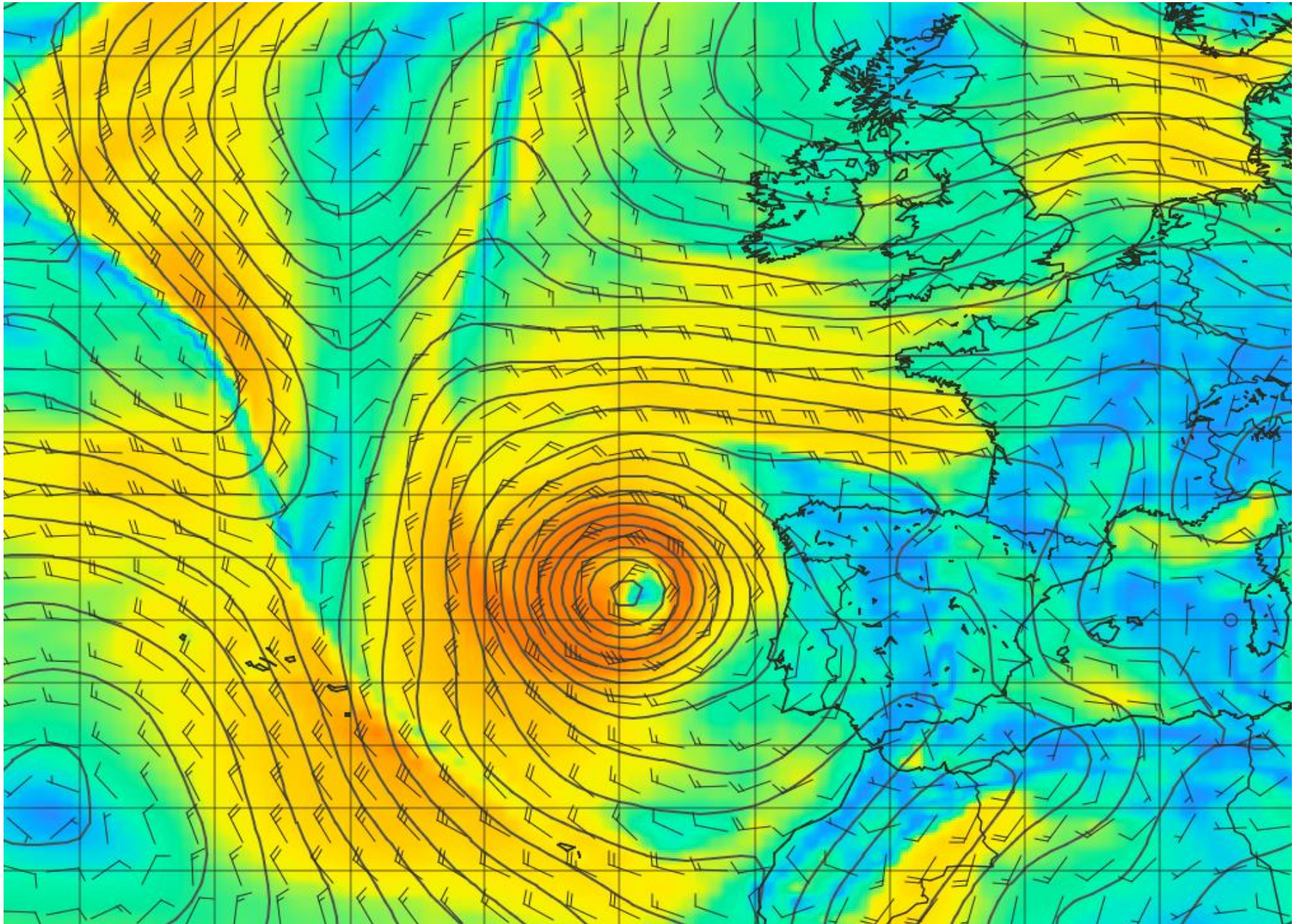
La stabilité ou l'instabilité de l'air (air chaud sur mer froide ou air froid sur mer chaude) $\Delta \pm 3$ nds convection sur courant chaud (contenu thermique dans couche de mélange océanique).



Direction du vent autour des centres d'action, effet des forces de frottement.



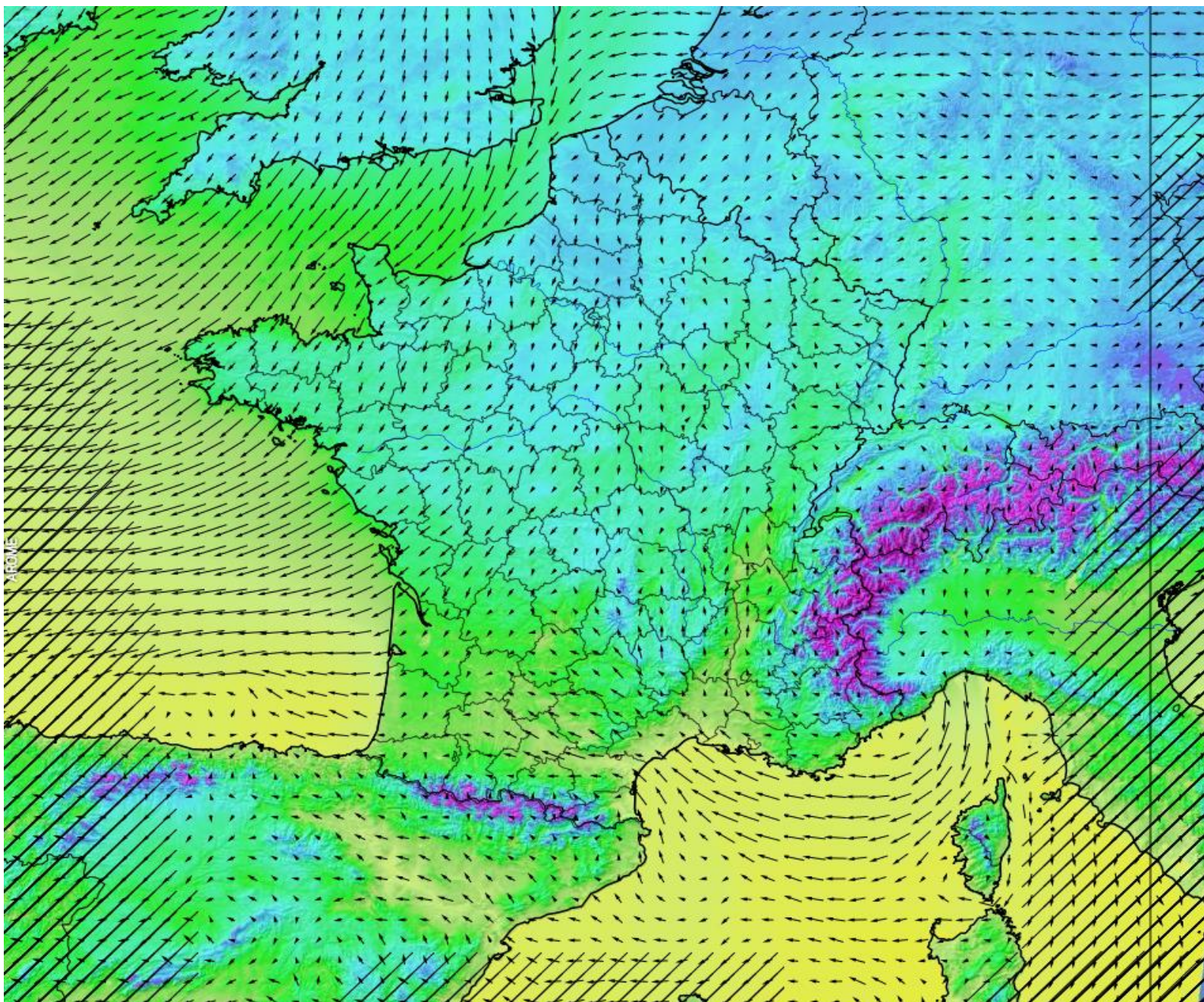
Vents GFS

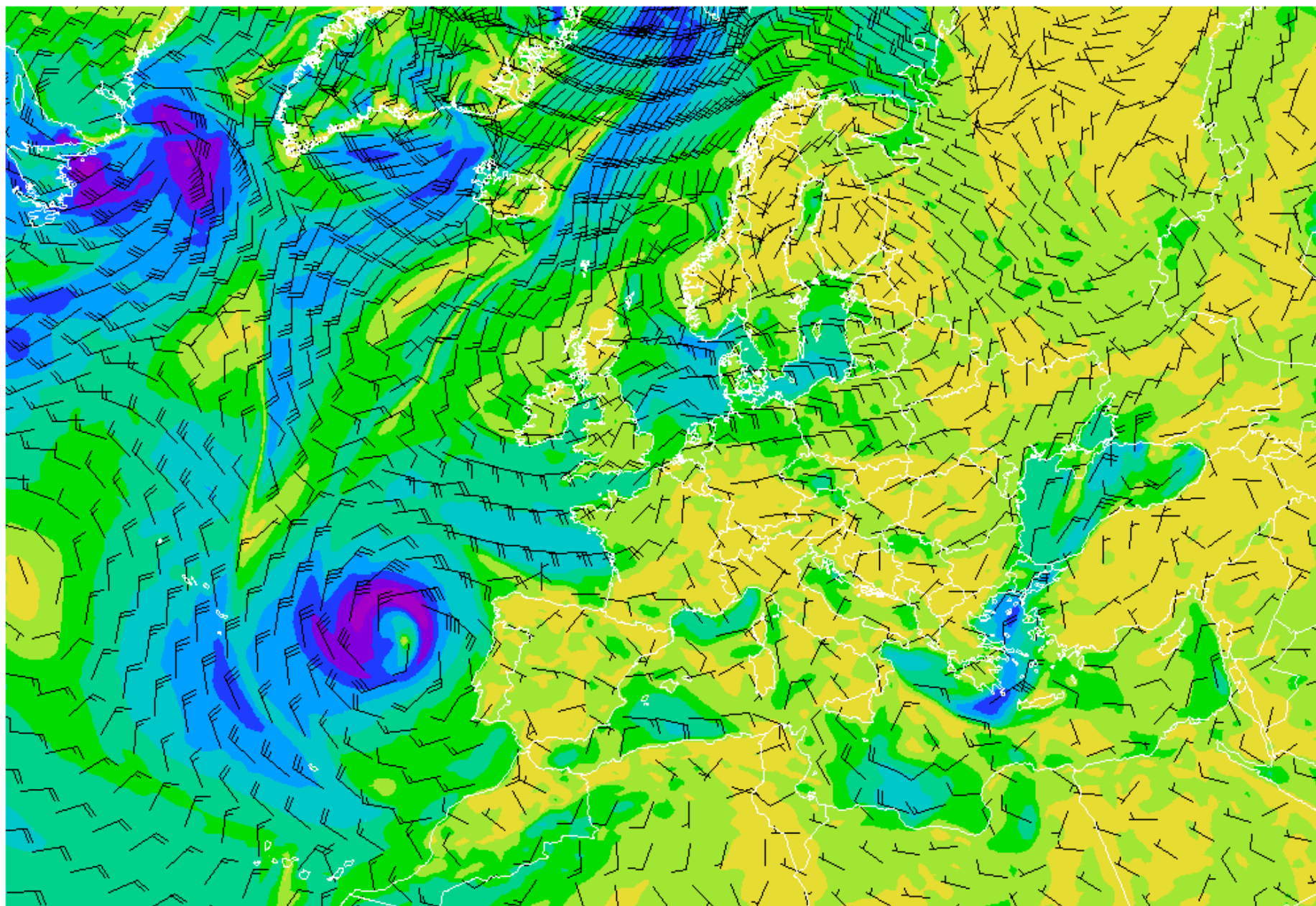


Prévi
AROME
2017
02
10
20h00 loc

HD :1,3 km

Normal
2,5km





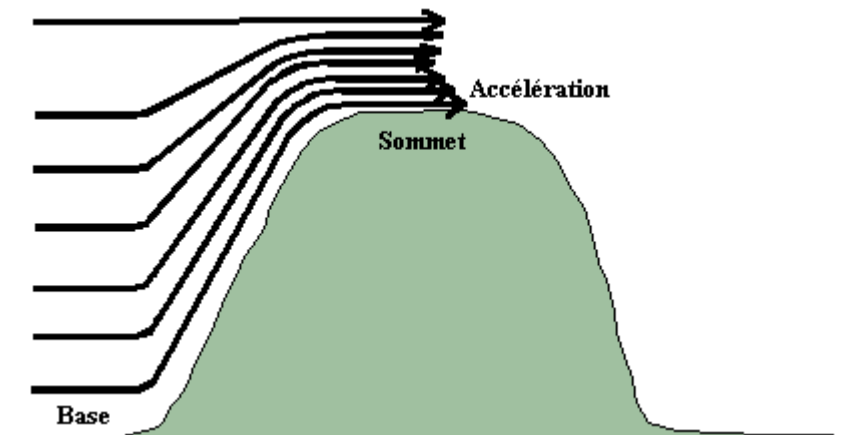
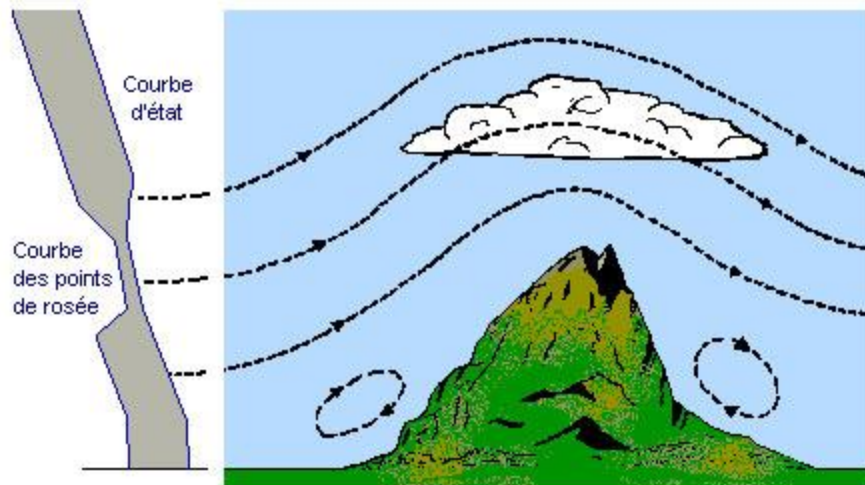
Wind 10m GFS 0.25° (kts)

5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60

Fri 10/02/17 18UTC (Fri 06+12)

©weatheronline.co.uk

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 :

- la nuit : brise de terre ;
- en journée : brise de mer.
- Polygone de brise

Brise de mer :

Epaisseur : environ 150 m (jusque 1000 m observée) ;

Bande côtière : 5/10 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 ;

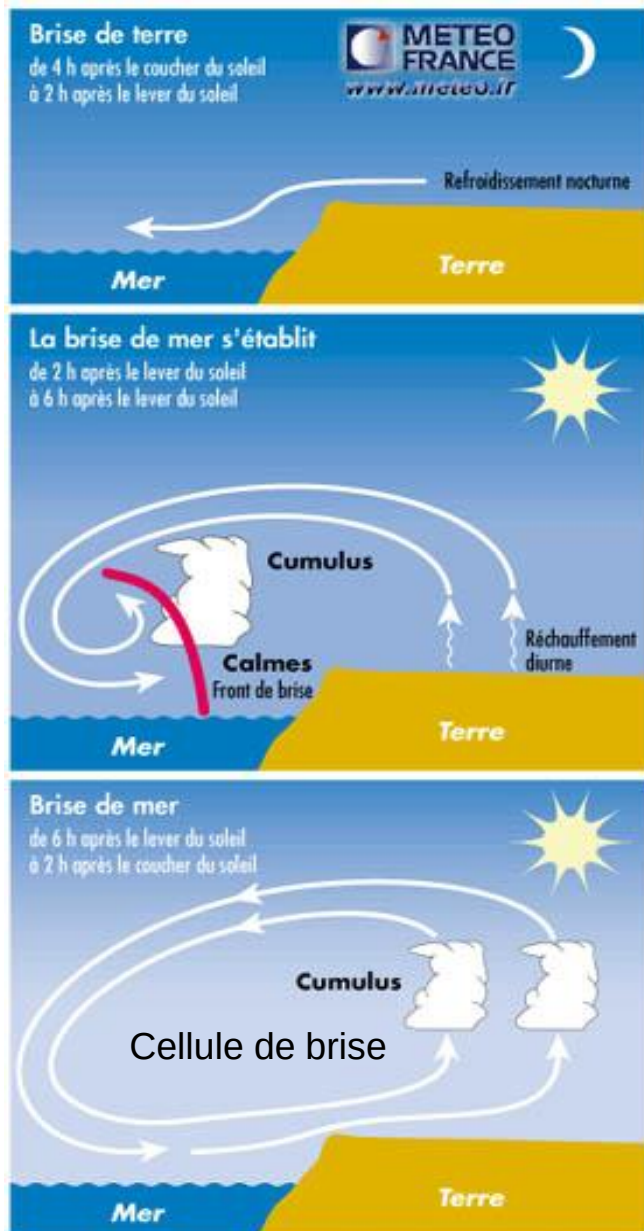
Accélération du vent : 8/10 nds ;

Tend à s'orienter plus à droite en journée.

Un vent de terre $\geq$ à 12 nds semble pouvoir neutraliser la brise.

Action sensible des nuages élevés (cirrus – 300 hPa).

Brise de terre moins marquée (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).



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

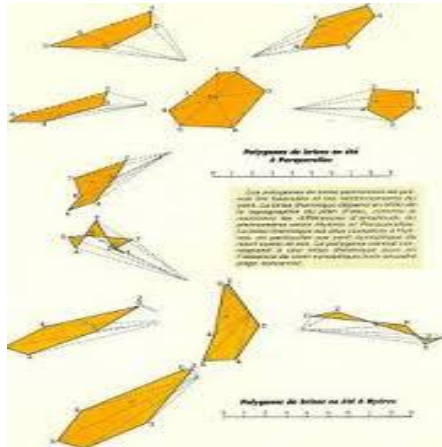
Polygones de brise

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 :

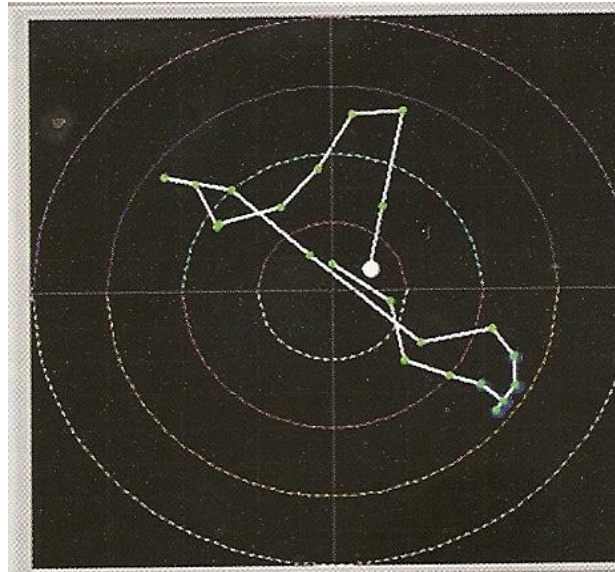
21 bouées en place depuis juin 2005, 6 bateaux et 6 sites à terre, 1 profileur de vent entre 200 et 3000 m à terre : 1 paquet de données toutes les 15 secondes en temps réel jusqu'à 5 minutes avant le départ.

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

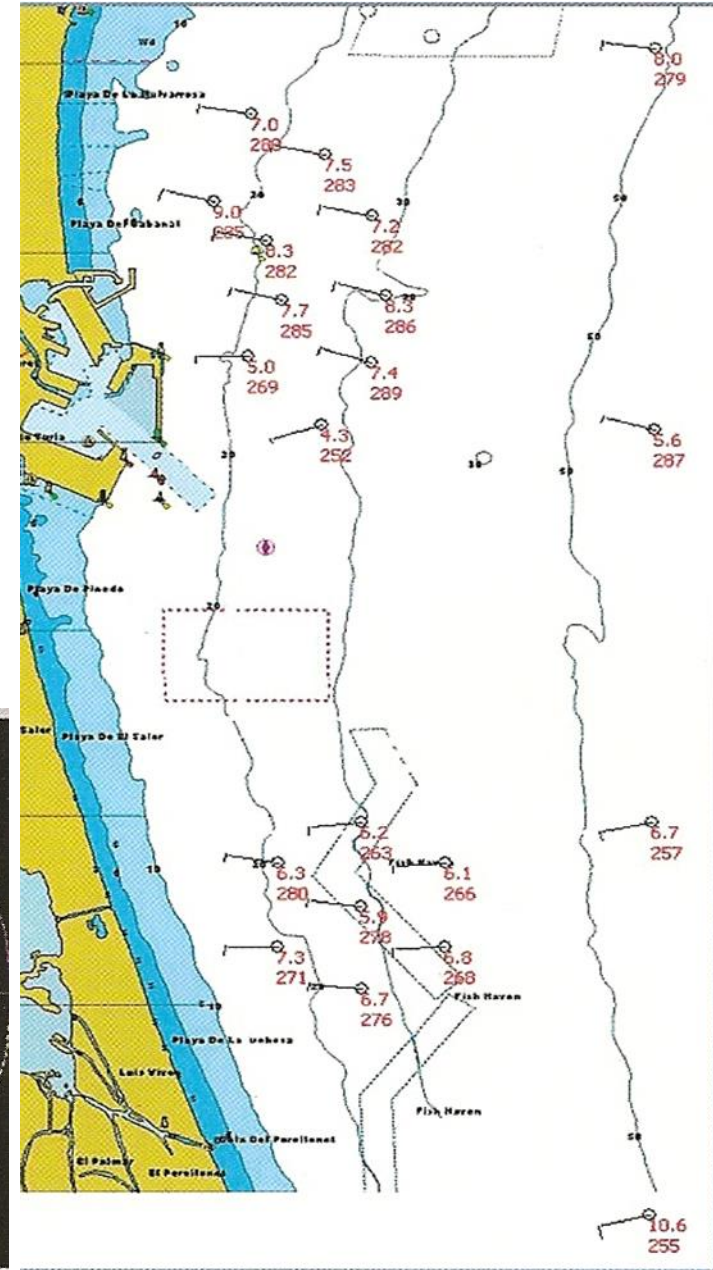
Autres exemples
de polygones de
brise



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 $\rightarrow$ C 15 nds $\rightarrow$ L 40 m
- P 8s $\rightarrow$ C 24 nds $\rightarrow$ L 100 m
- P 12s $\rightarrow$ C 36 nds $\rightarrow$ L 220 m.
- P 15s $\rightarrow$ C 45 nds $\rightarrow$ L 350 m
- Si fond $\leq \frac{1}{2}$ longueur d'onde, la houle “sent le fond”
: P↓ - L↓ - Cambrure ↑ $\rightarrow$ déferlement.





Déferlement plongeant



ACTION DU VENT SUR LA MER

Mouvement orbital des particules d'eau sensible $\frac{1}{2}$ longueur d'onde.

Réfraction agit sur la cambrure. Déferlement, transfert d'énergie et de matière : danger.

A la côte, déferlement glissant, plongeant, frontal en fonction de la pente de la plage.

Déferlement : eau libre valeur limite cambrure (H/L) : 0.14 ($1/7$) → déferlement (moutons)

Les houles de plus grande longueur d'onde (les plus puissantes) se propagent plus loin que les houles de faibles longueurs d'ondes.

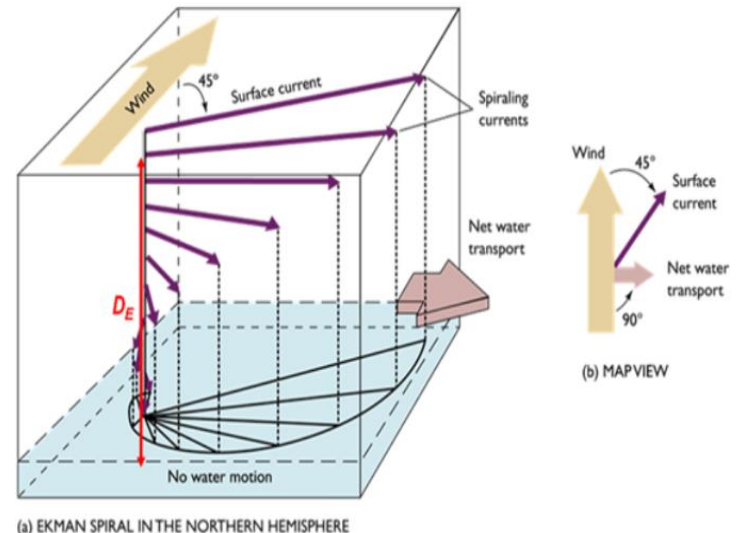
Etat de la mer → hauteur significative des vagues : hauteur moyenne du tiers des vagues les plus hautes observées.

Etat de la mer : mer du vent + houle : $H1/3$

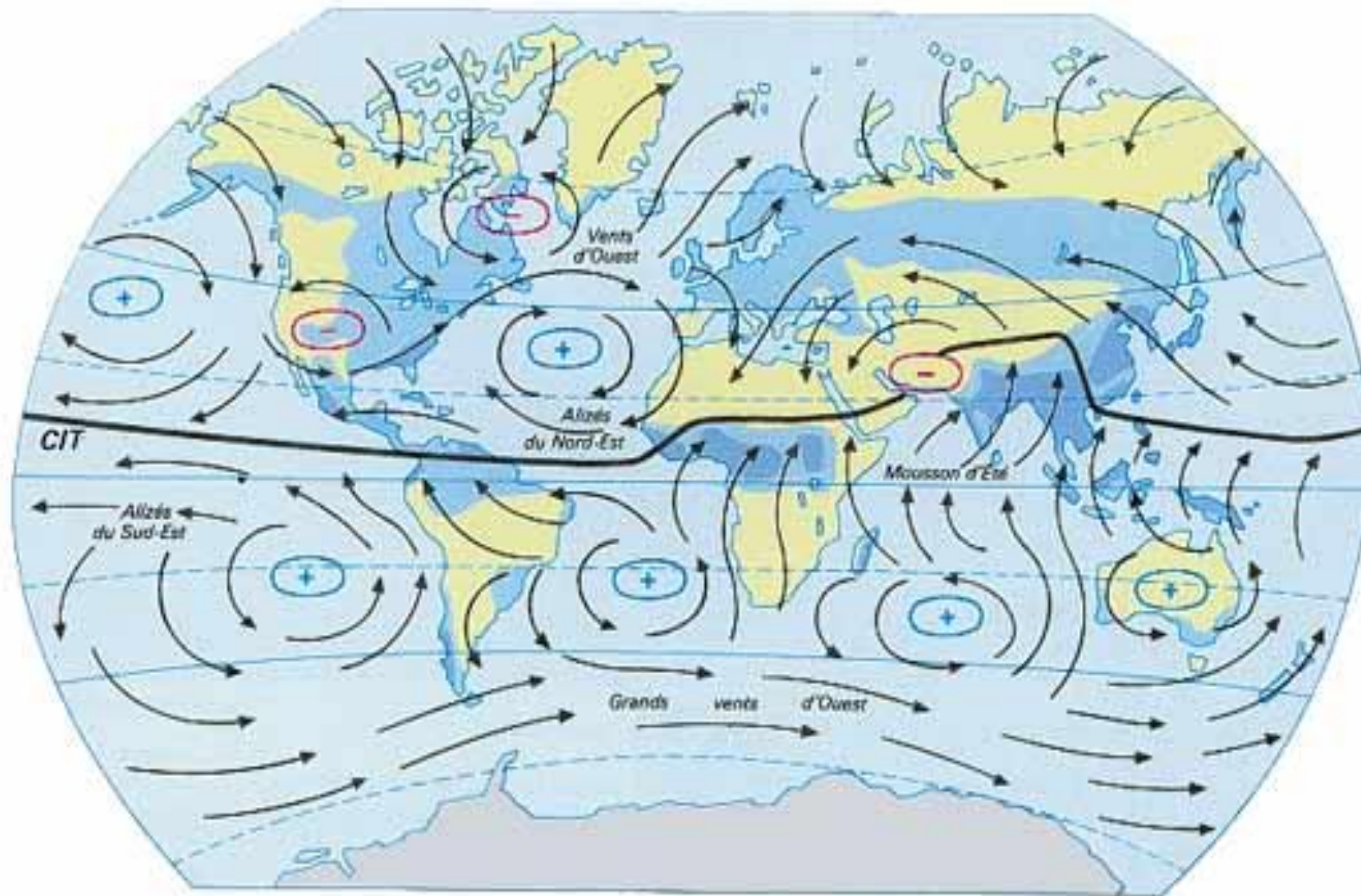
- Marée de tempête, submersion.
- Mer hachée : courant avec ou contre le vent.
- Vagues scélérates.
- Courants de dérive.

Autres actions du vent sur la mer :

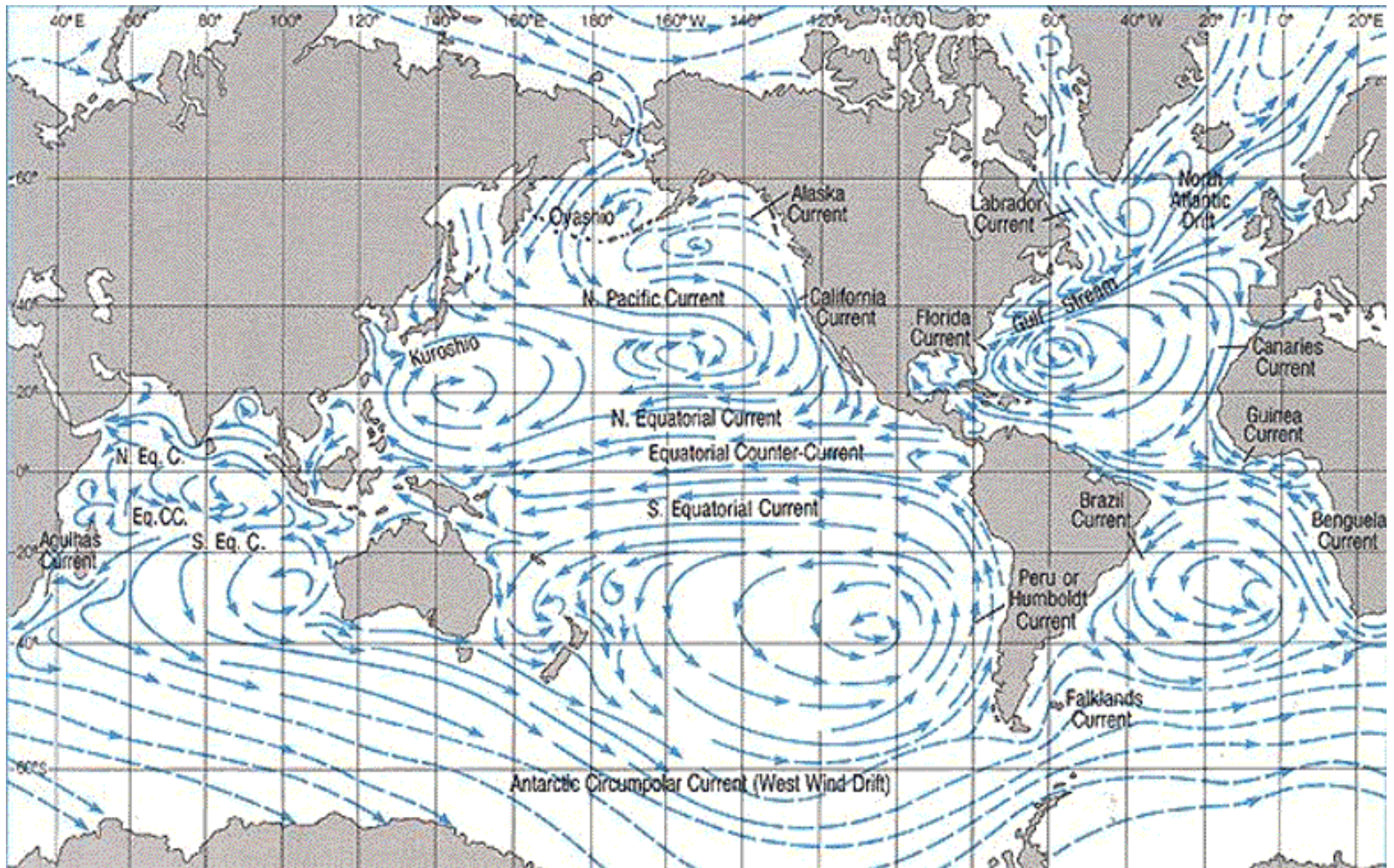
- Upwelling côtier, (visibilité, stabilité basses couches atmosphérique, danger pour la navigation concentration bateaux de pêche,...), upwelling équatorial (T mer plus basse et contre-courant).
- Sous la surface, spirale d'Ekman (sensible jusque 50/60 m mais parfois jusque 150m ff,) contribue à « évacuer » 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.
- Mer hachée : courant avec ou contre le vent.
- Vagues scélérates.
- Courants de dérive (dérives équatoriales, nord Atlantique, courant des Aiguilles, Benguala, Humbolt,.....).



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)

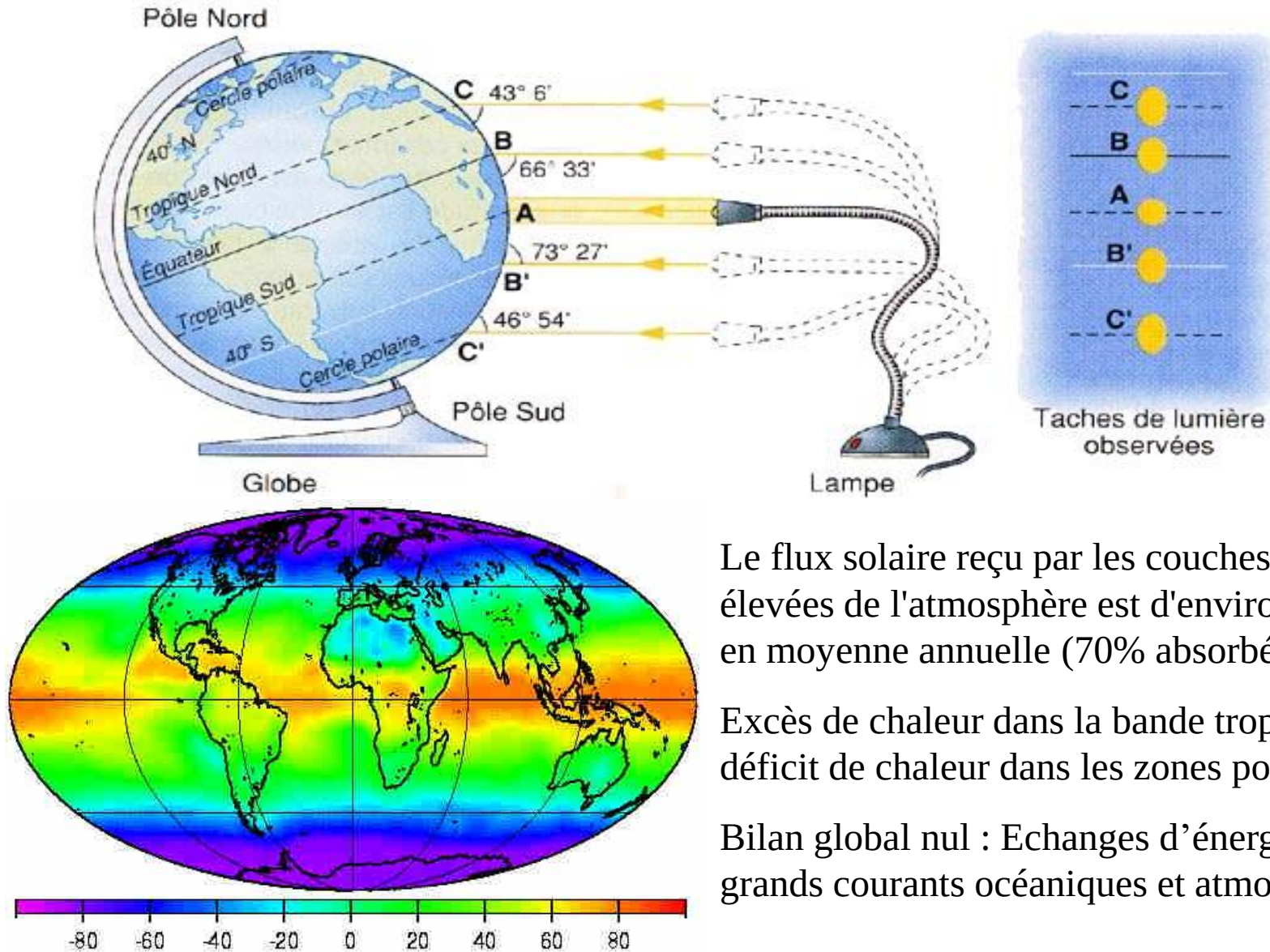
2 – Frontologie

2.1 le bilan radiatif.

2.2 Transfert d'énergie entre basses et hautes latitudes.

2.3 les masses d'air.

BILAN RADIATIF



Le flux solaire reçu par les couches les plus élevées de l'atmosphère est d'environ 342 W.m^2 en moyenne annuelle (70% absorbé).

Excès de chaleur dans la bande tropicale et déficit de chaleur dans les zones polaires.

Bilan global nul : Echanges d'énergie par les grands courants océaniques et atmosphériques.

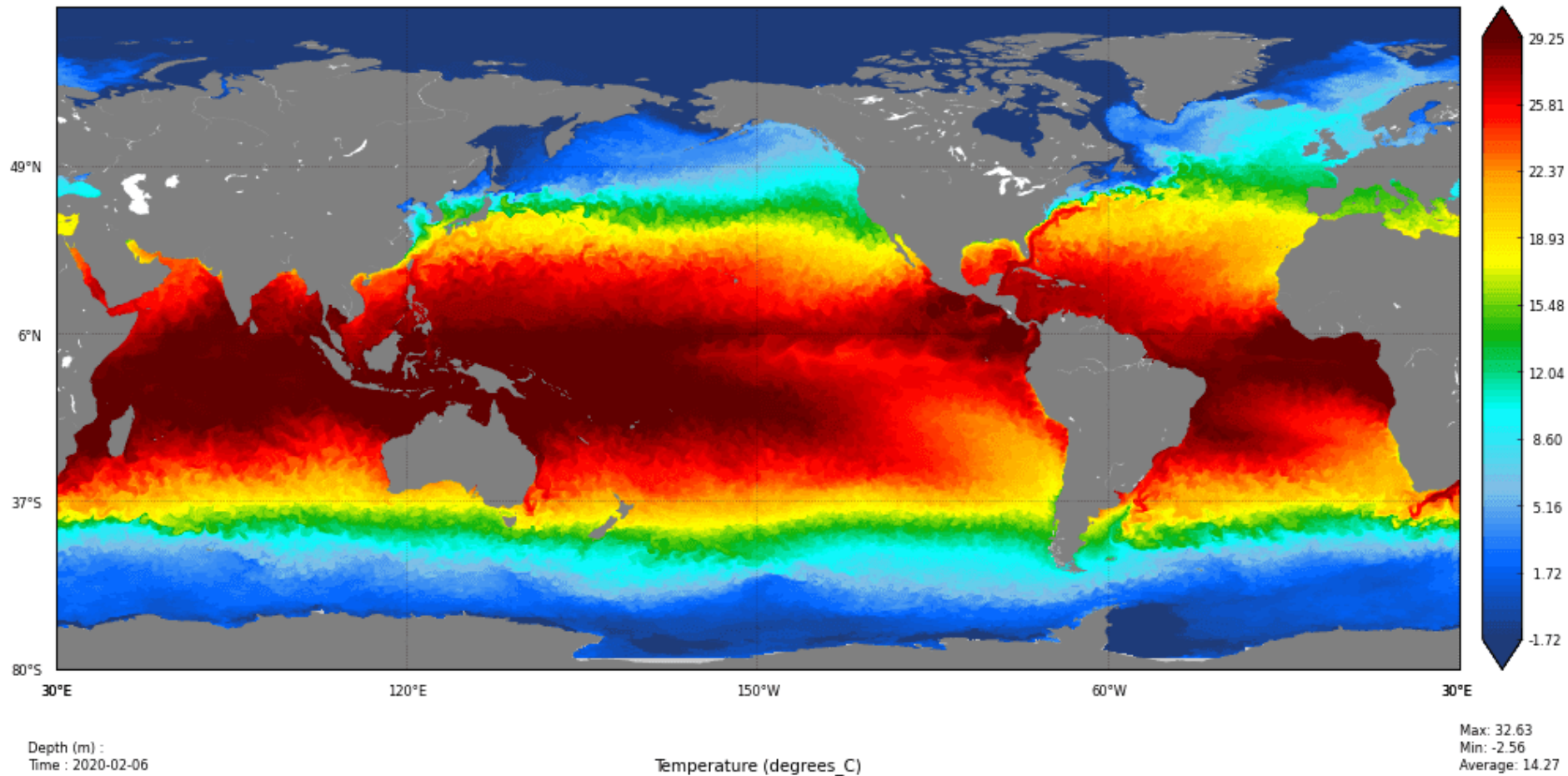
Mercator Océan : Température de la mer en surface 20200206



Daily Global Physical Bulletin 1/12° (PSY4QV3R1)

Date: 2020-02-06 (today forecast)

Global

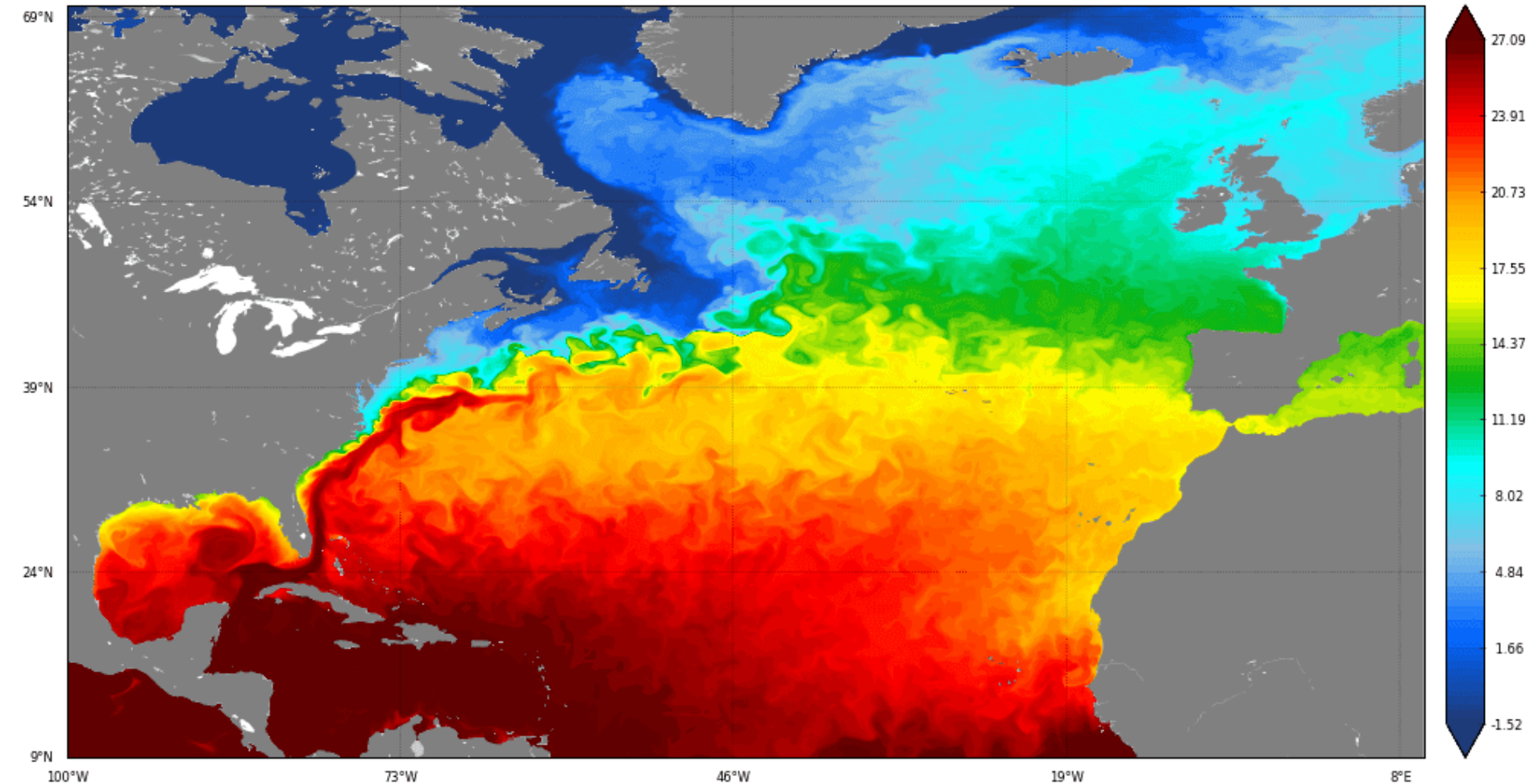


Mercator Océan

Température de la mer en surface Océan Atlantique nord - 20200206



Daily Global Physical Bulletin 1/12° (PSY4QV3R1)
Date: 2020-02-06 (today forecast)
North atlantic

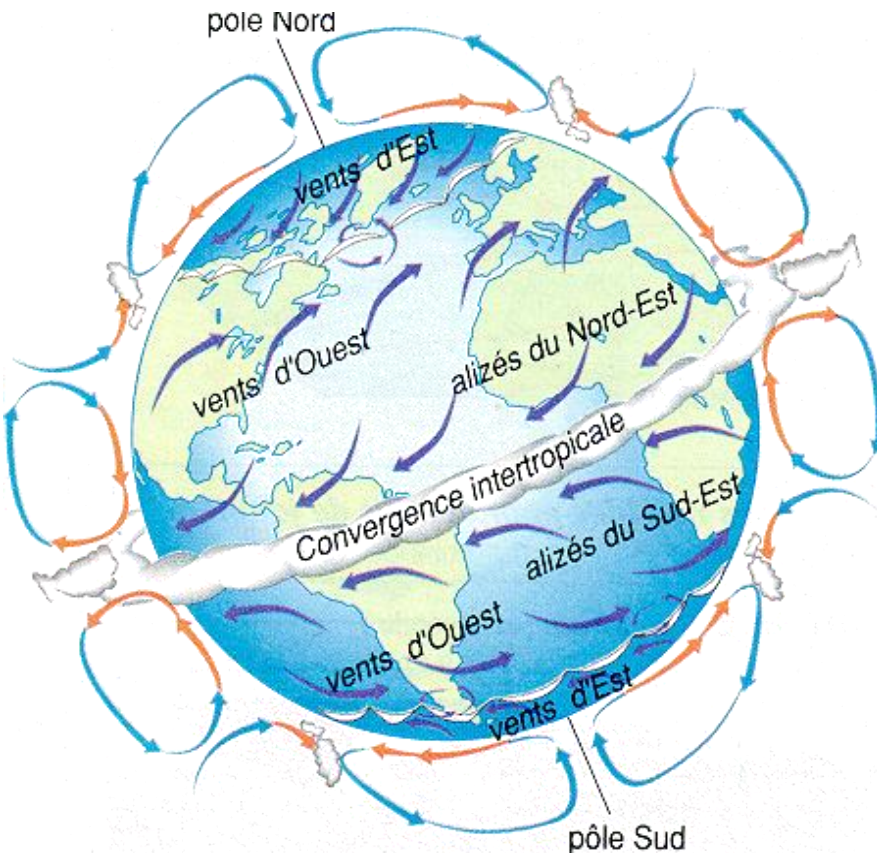


Depth (m) :
Time : 2020-02-06

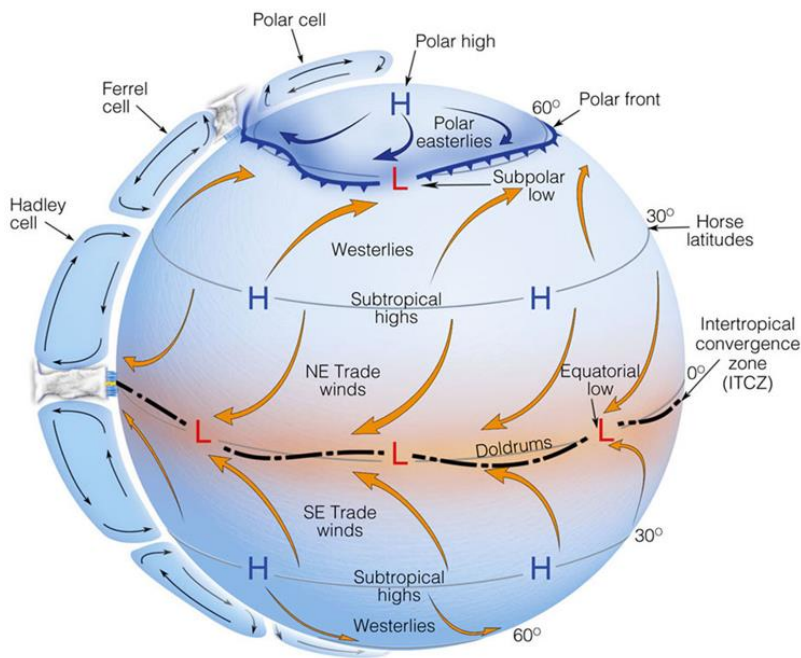
Temperature (degrees_C)

Max: 31.75
Min: -2.56
Average: 15.10

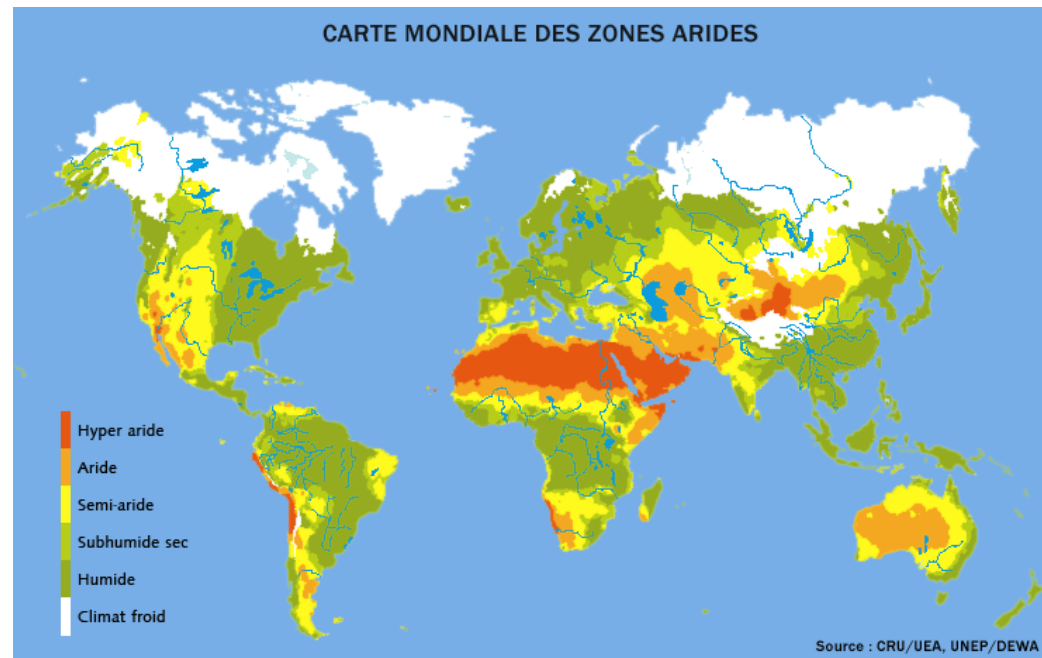
LA CIRCULATION GENERALE ATMOSPHERIQUE



- Circulations zonale (moy 20 nds vent géostrophique) et méridienne (moy 2 nds).
- Transfert d'énormes quantité d'énergie (vapeur d'eau) entre zones à bilan radiatif positif et négatif par 6 cellules convectives (**cellules de Halley** ($Eq/30^\circ$), **cellules semi-ouvertes de Ferrel** ($30^\circ/60^\circ$), **cellules polaires** générant de vastes zones de courants ascendants ou descendants et assurant un transfert d'énormes quantité d'énergie des basses altitudes vers les hautes altitudes et des basses latitudes vers les hautes latitudes.
- Zone intertropicale de convergence ZITC (transport inter hémisphère ZITC et moussons) ;
- Alizés de secteur Est zones tropicales ;
- Circulation générale d'Ouest zones tempérées ;
- Fronts polaires arctiques et antarctiques ;
- Vents d'Est en zones polaires.



© Brooks/Cole, Cengage Learning



Un équateur météorologique siège d'intenses échanges thermiques entre les couches basses et élevées de la troposphère.

Le flux descendant des cellules de Hadley et de Ferrel (subsidence) aux latitudes des zones continentales arides de la planète (Sahara, Arabie, Mexique, Atacama, Kalahari, Australie, Gobi...).

Un front polaire siège de conflits permanents entre des masses d'air d'origines différentes. Recherche d'un impossible équilibre thermique.

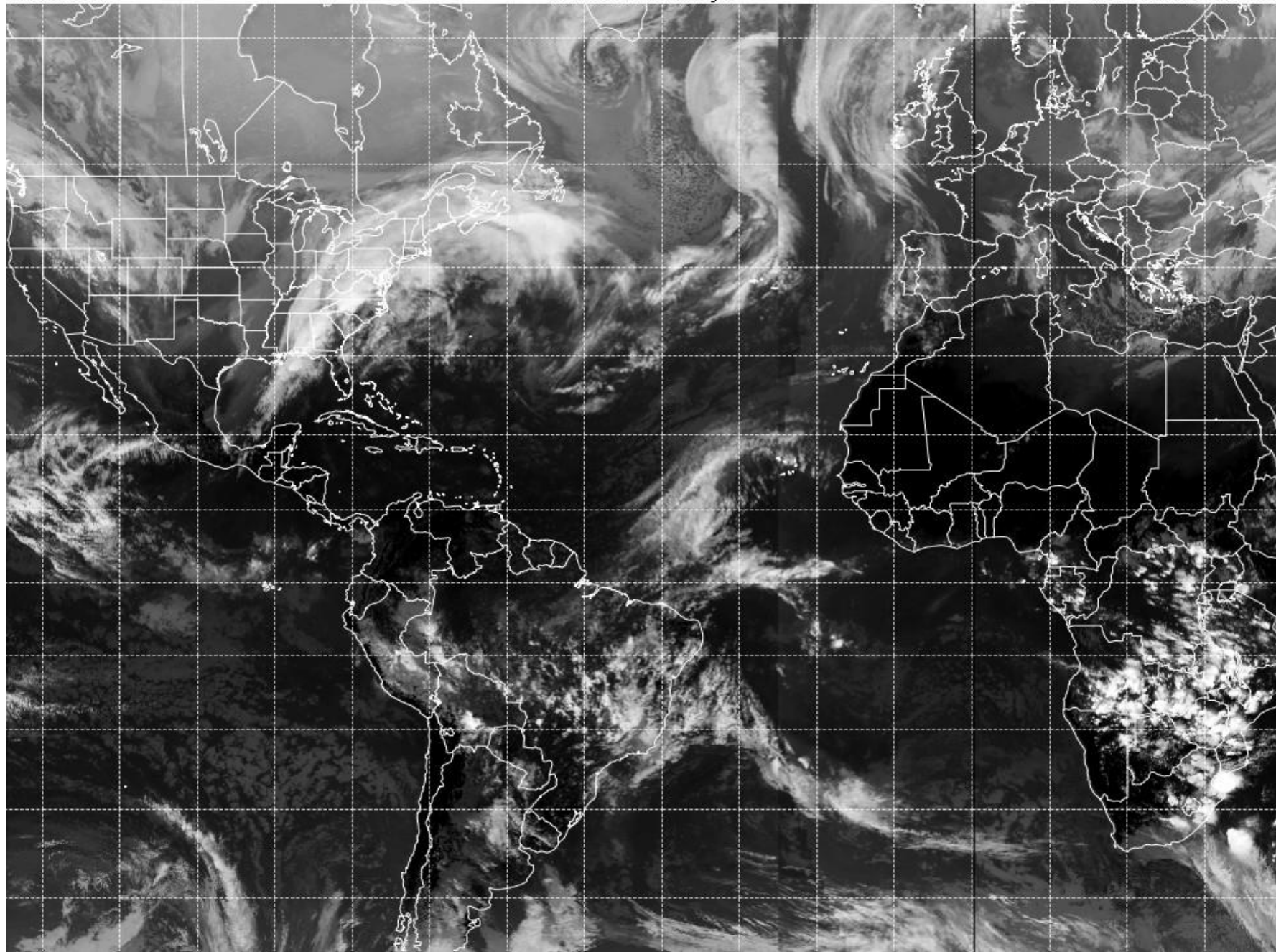
Les courants-jet qui circulent à très hautes altitudes et qui ondulent entre 40° et 60° de latitude transportent des tourbillons à l'origine des perturbations du front polaire (**ondes de Rossby**).

20200206 16h40 UTC Ir – ZITC - Océan Atlantique

IR Satellite

www.aviationweather.gov

1640 UTC Thu 06 Feb 2020

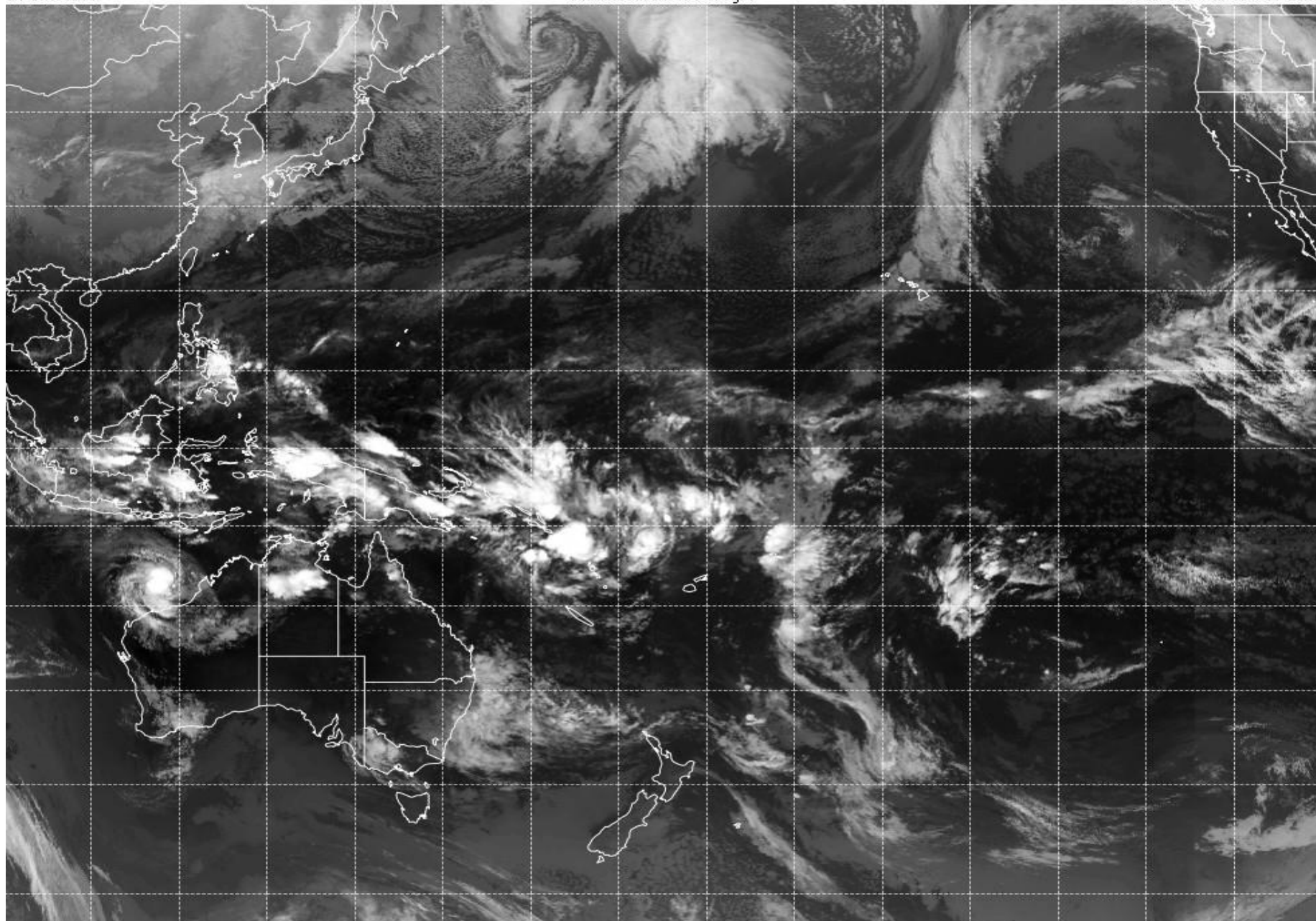


20200206 16h40 UTC Ir – ZITC Océan Pacifique

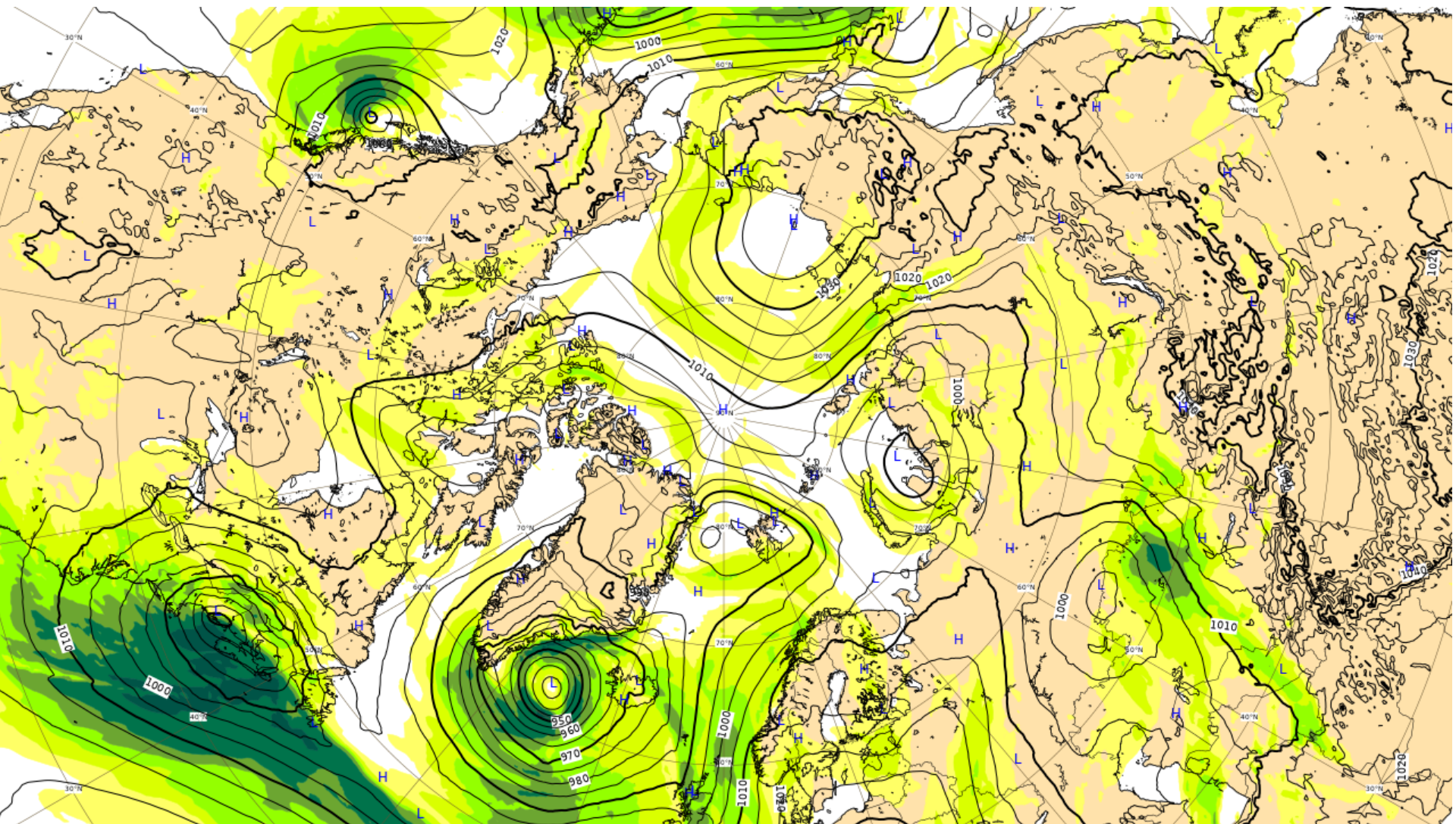
IR Satellite

www.aviationweather.gov

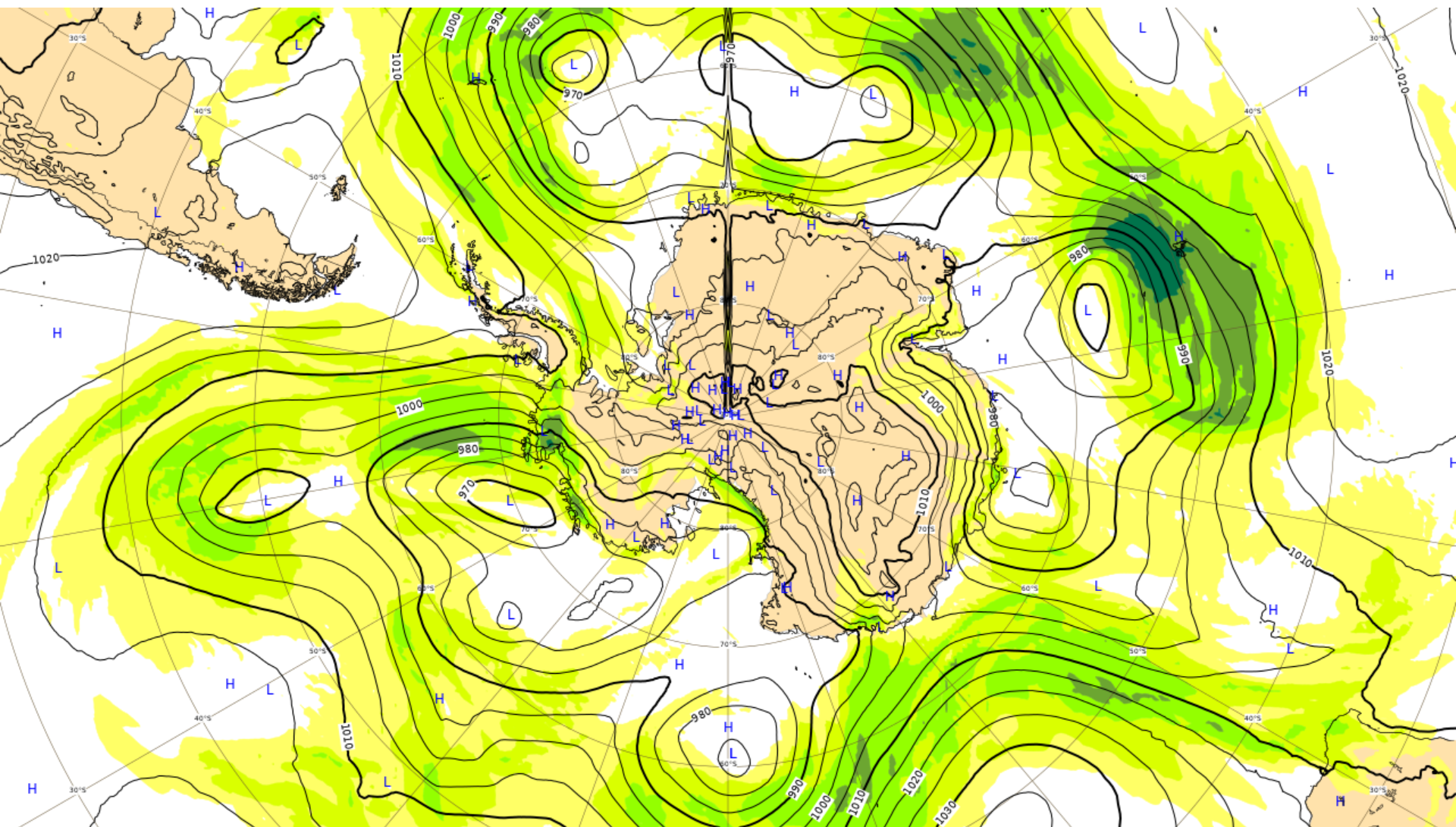
1640 UTC Thu 06 Feb 2020



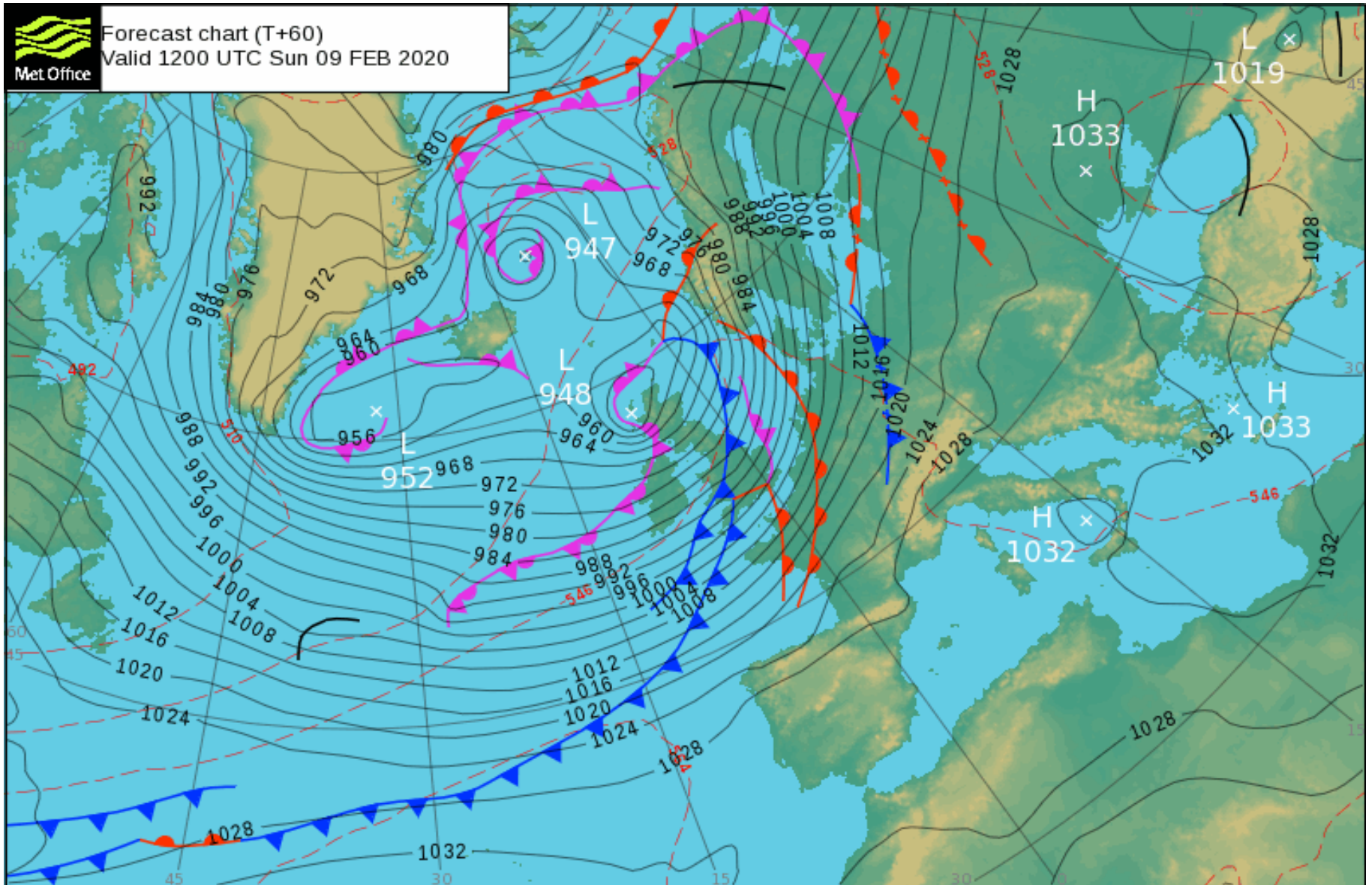
CEPMMT 20200208 – 00h00 UTC H+24



CEPMMT 20200208 00h00 UTC H+48

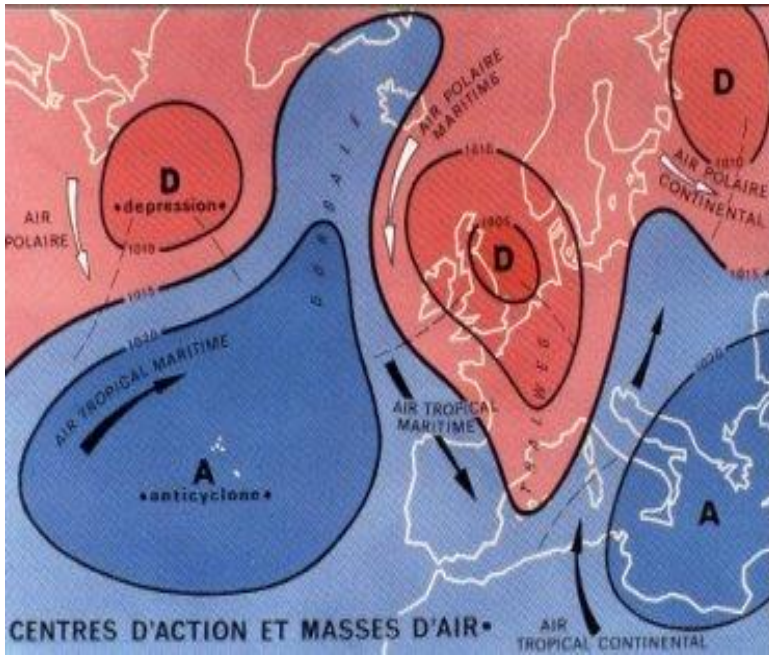


20200209 12h00 UTC h+60



De chaque coté des fronts, **des masses d'air** de caractéristiques thermodynamiques différentes.

LES MASSES D'AIR



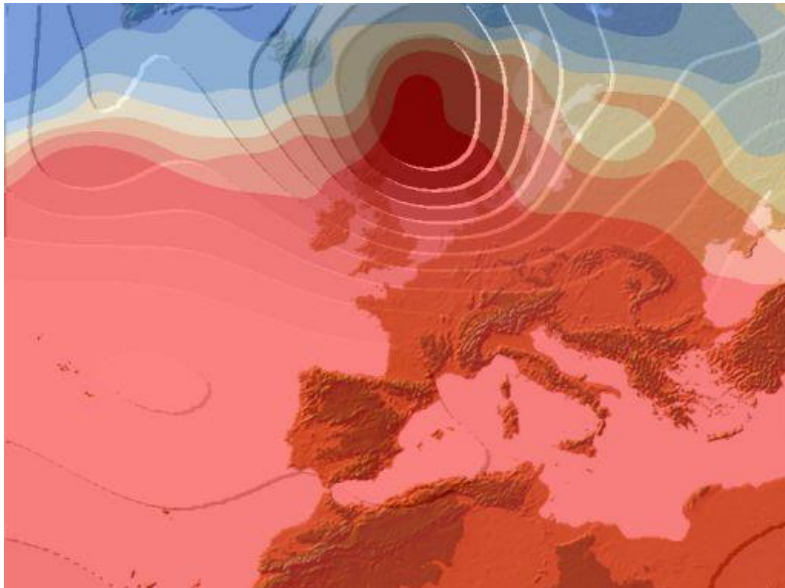
-L'atmosphère comporte comme une juxtaposition de régions tridimensionnelles appelées **des masses d'air**, qui sont séparées les unes des autres par des zones de transition parfois brutales.

-Une masse d'air est ainsi une portion d'atmosphère, mobile et déformable, au sein de laquelle les valeurs prises par les paramètres servant à décrire l'état et l'évolution de l'air restent à peu près constantes. La rupture sensible de cette relative continuité traduit alors le passage d'une masse d'air donnée à une masse d'air contiguë.

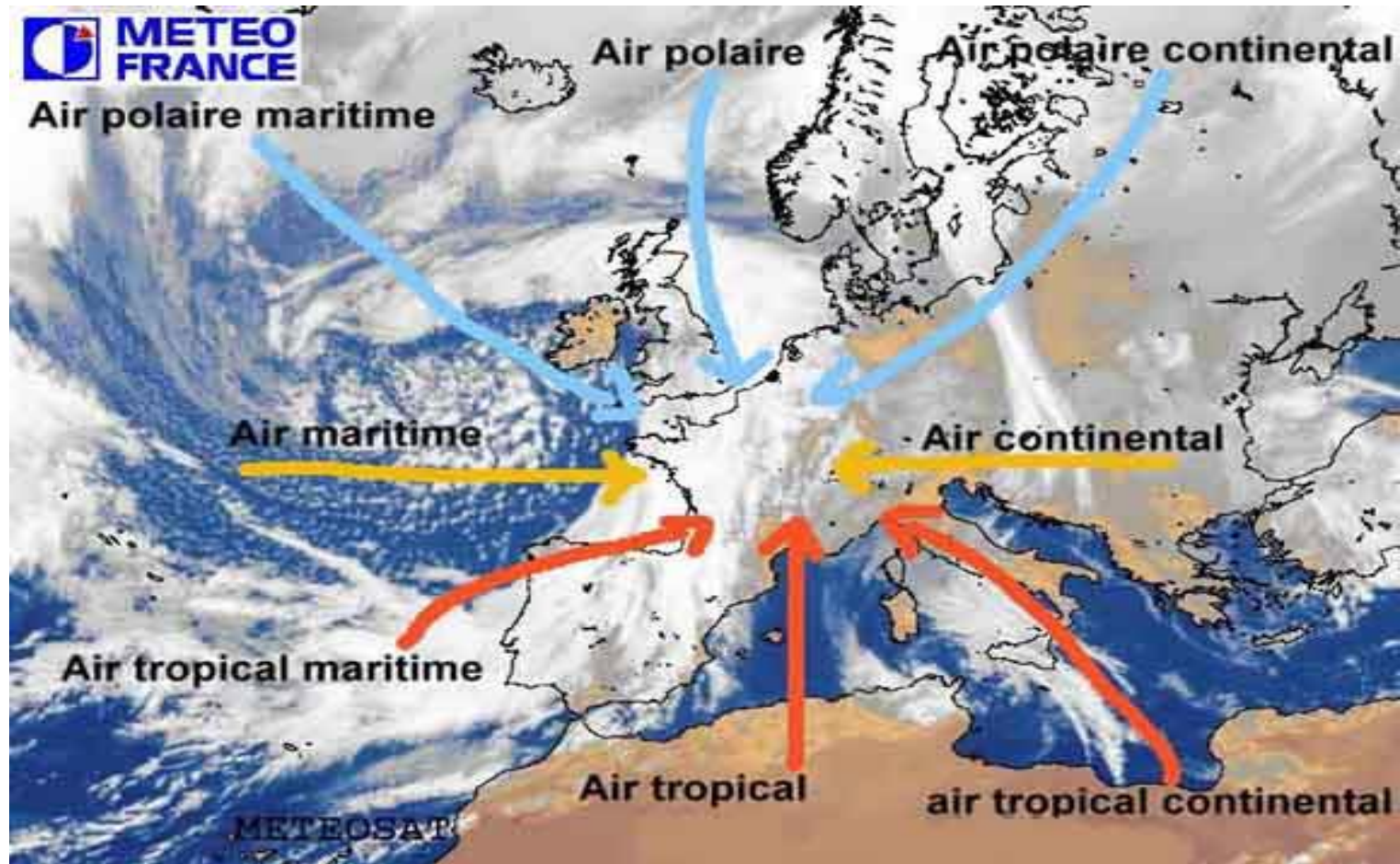
-Elles peuvent avoir 1000 km de large sur quelques milliers de kilomètres de long et quelques kilomètres d'épaisseur :

- **masses d'air équatorial.**
- **masses d'air tropical .**
- **masses d'air polaire .**
- **masses d'air arctique (ou antarctique).**

Suivant le chemin parcouru les masses d'air peuvent encore se diviser en masses d'air **continental ou maritime.**



LES MASSES D'AIR



Les limites entre ces masses d'air de caractéristiques thermodynamiques différentes sont le siège de conflits, parfois puissants, à l'origine des fronts météorologiques sur lesquels les paramètres évoqués ce jour évoluent rapidement et donnent naissance au temps sensible qui conditionne de multiples aspects de notre vie quotidienne. Ce sera l'objet de notre prochaine rencontre.