

# M E T E O R O L O G I E

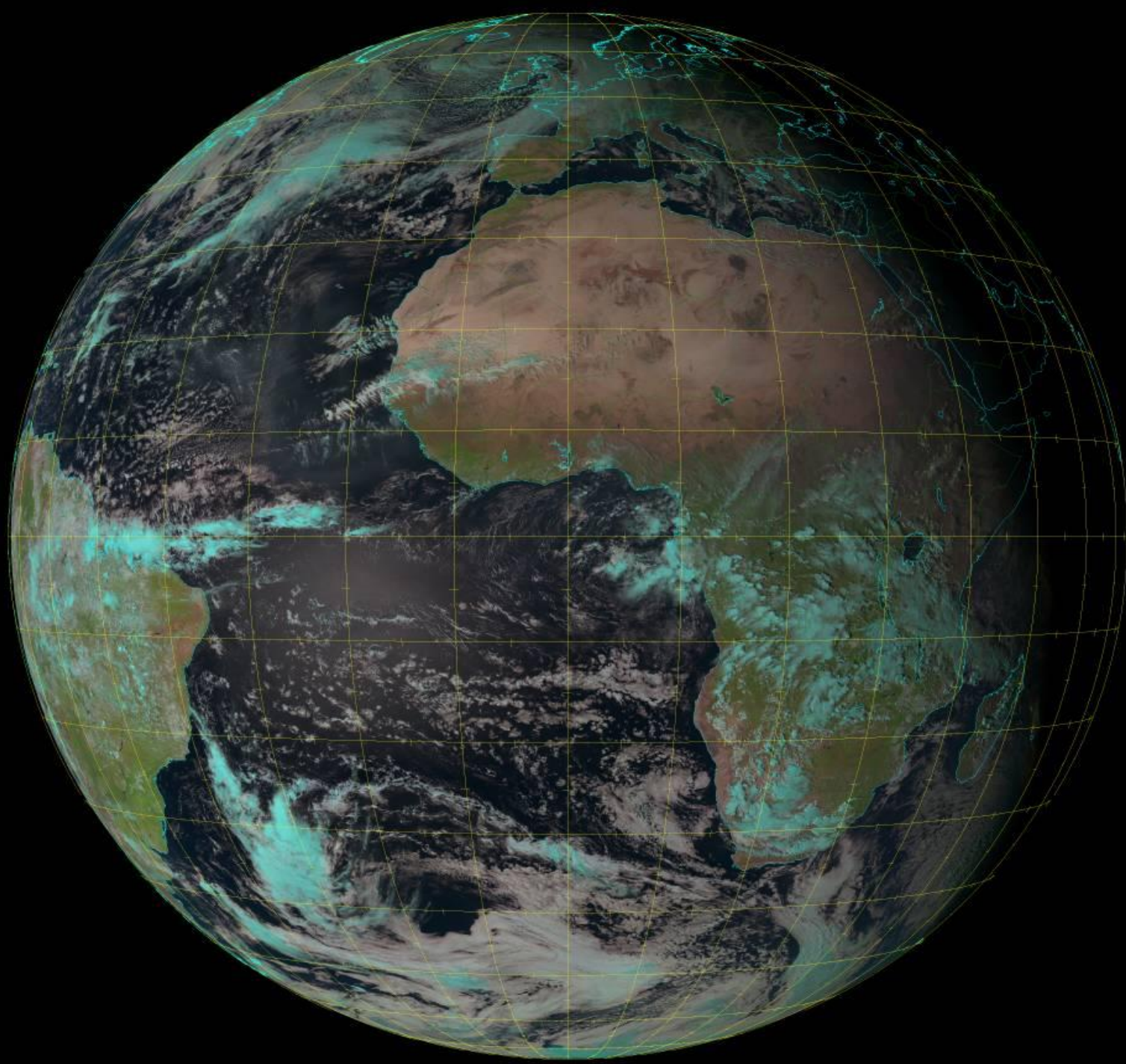
2019

02

08

15H00

UTC



**Module 1**

Fev 2019 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 Notion de masses d'air



# L'ATMOSPHERE

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,  $-56^{\circ}\text{C}$  (1956, tropo 6,4 km).

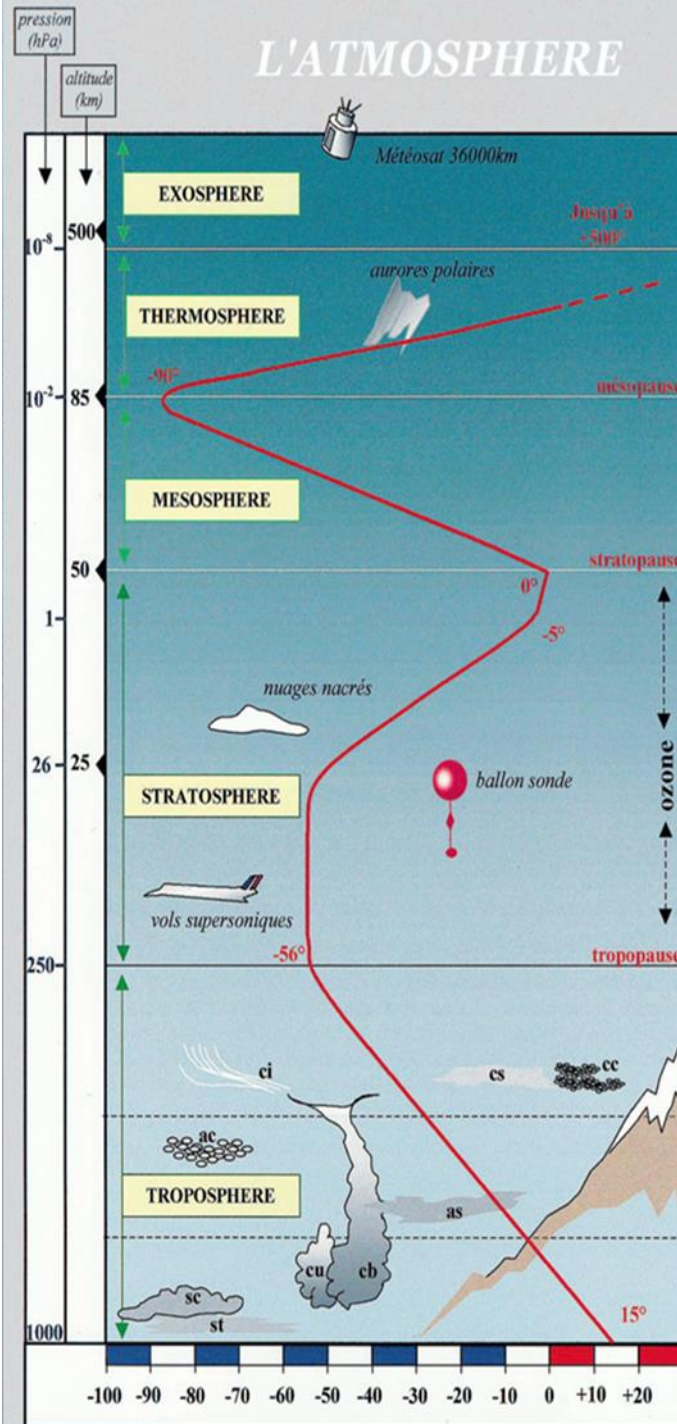
T, U, P décroissent avec l'altitude, 50% de la masse de l'atmosphère dans 5 km ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ).

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 :  $15^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta T$  :  $1^{\circ}\text{C}/100$  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

## au niveau du sol

:Température du thermomètre sec

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)

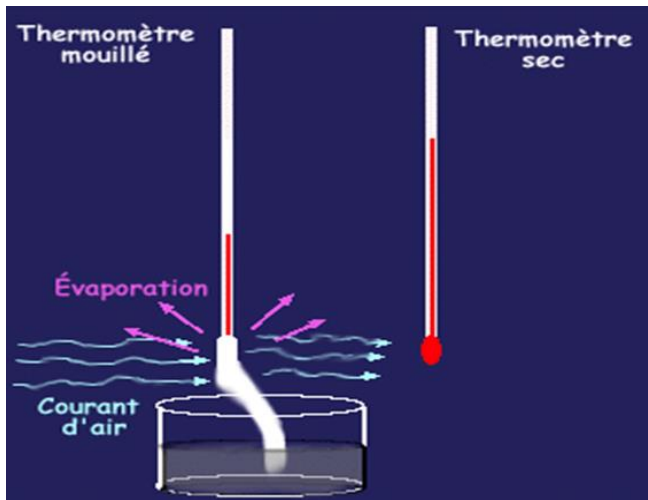
**Air sec : toujours vapeur d'eau.**

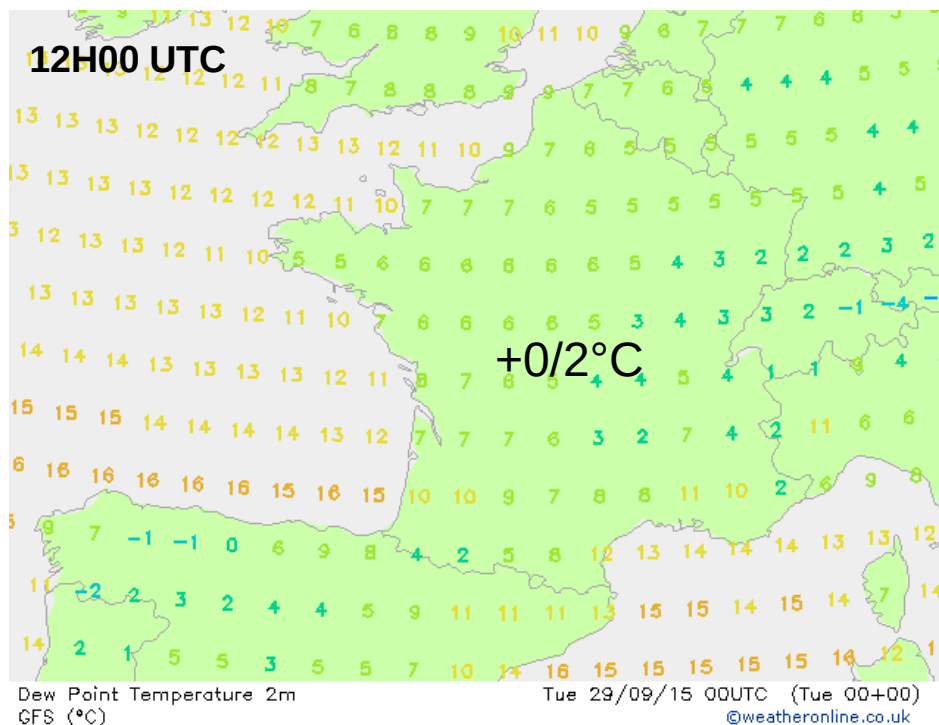
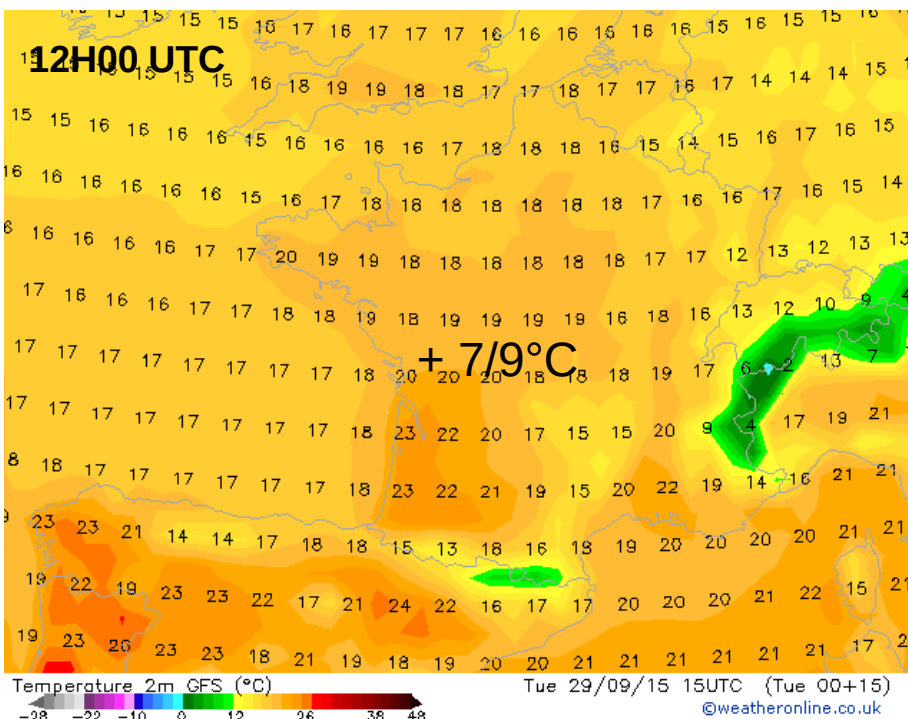
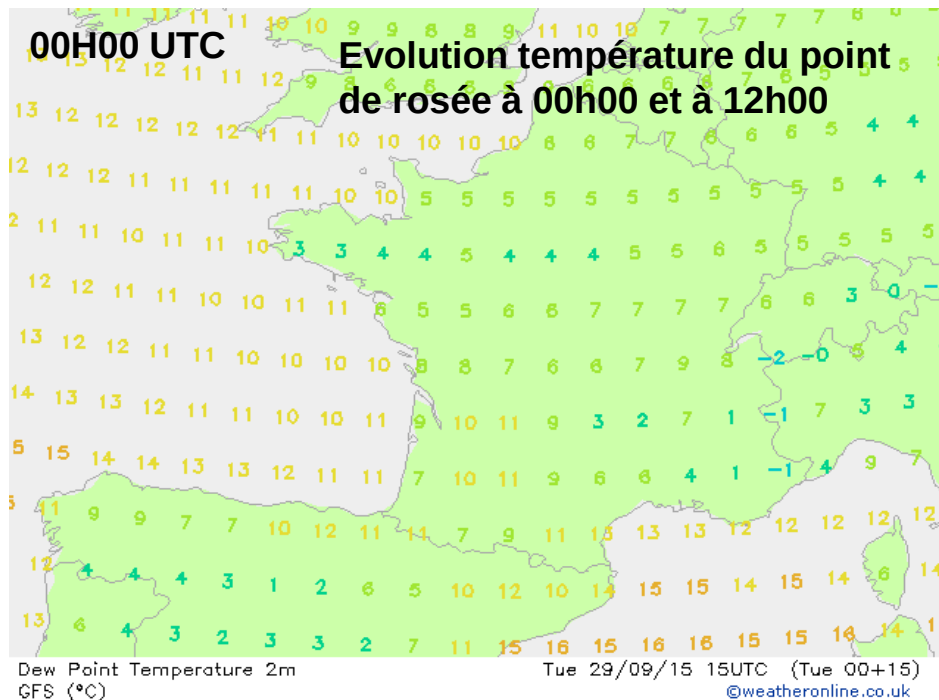
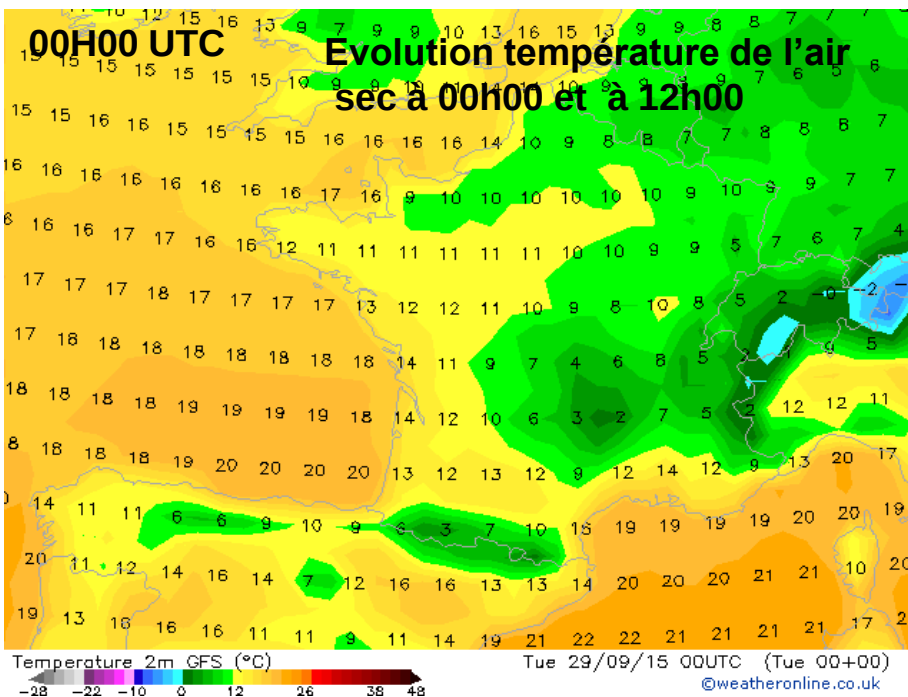
**Température du point de rosée Td** (formule de Tetens):  
température à laquelle il faut refroidir un volume d'air, à pression et humidité constantes, pour qu'il devienne saturé. Caractérise une masse d'air.

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

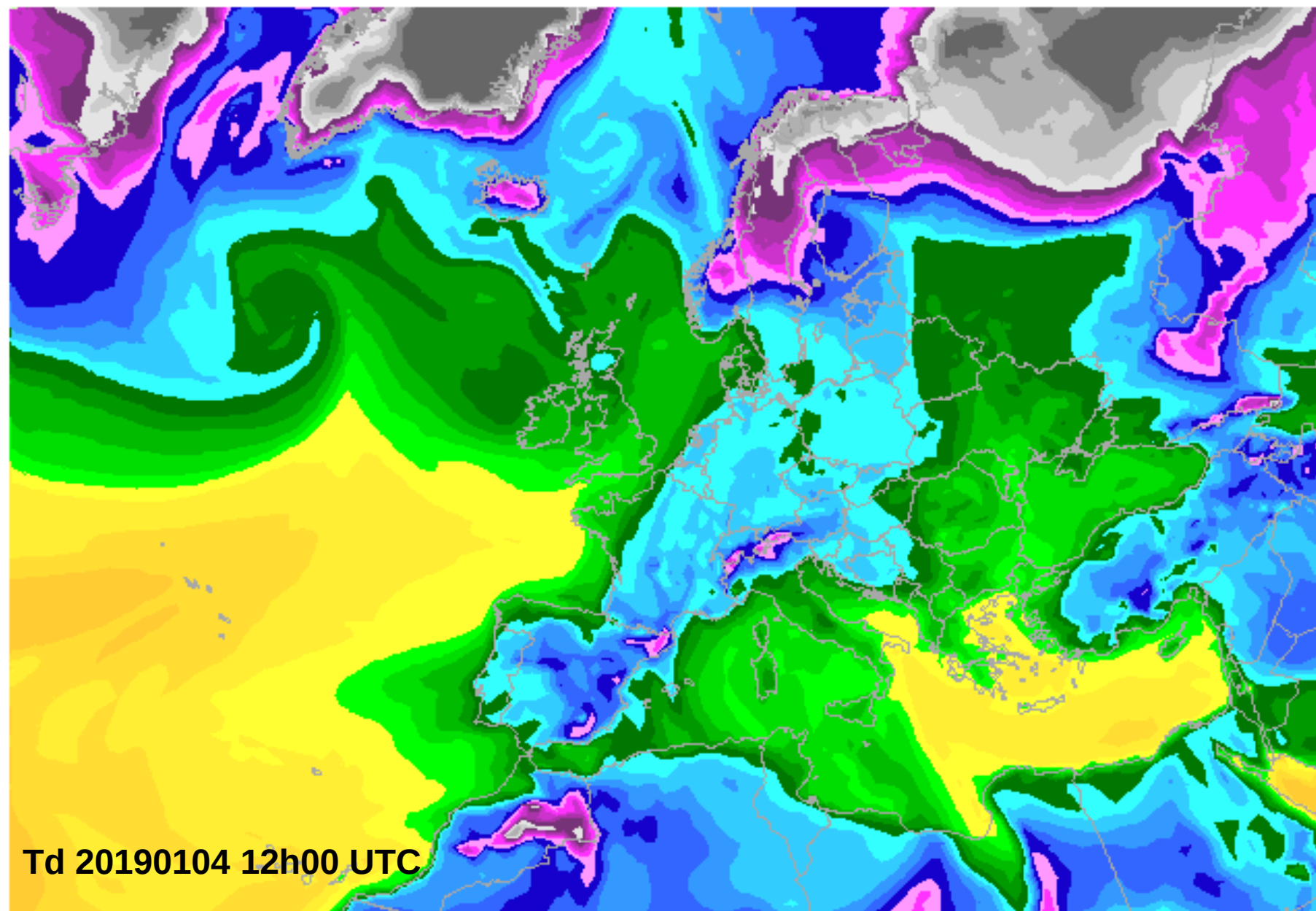
- Evolution de Td :  $T = T_d \leftrightarrow$  saturation, si évolution se poursuit  $\rightarrow$  condensation  $\rightarrow$  précipitations  $\rightarrow T$  et  $T_d \downarrow$
- Arrivée d'air chaud et humide (typiquement flux de SW),  $T_d \uparrow$  . Td et Tmer

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









Dew point [ $^{\circ}\text{C}$ ] GFS



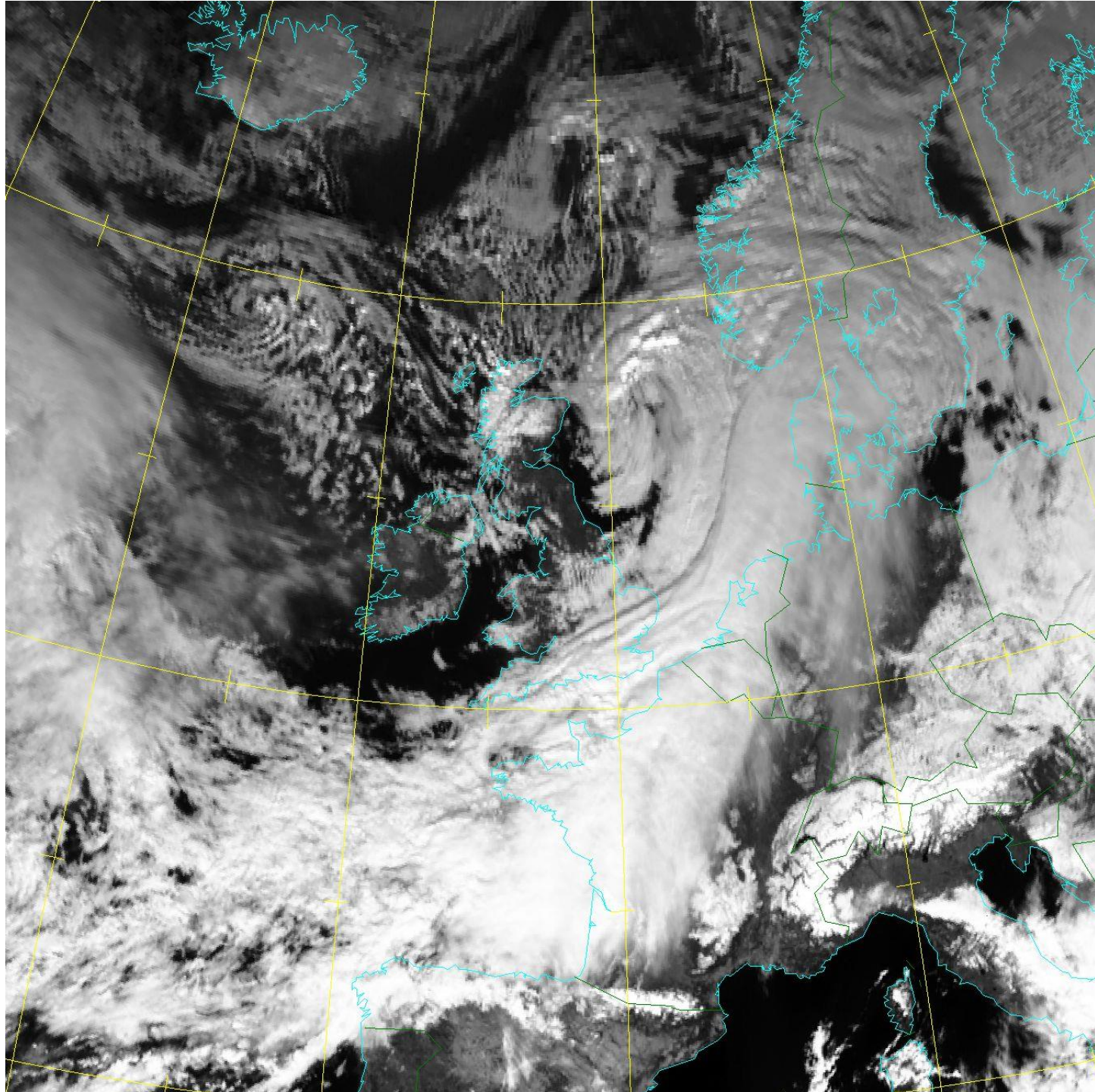
Mo 04-02-2019 12:00 UTC (06+06)

©weatheronline.co.uk

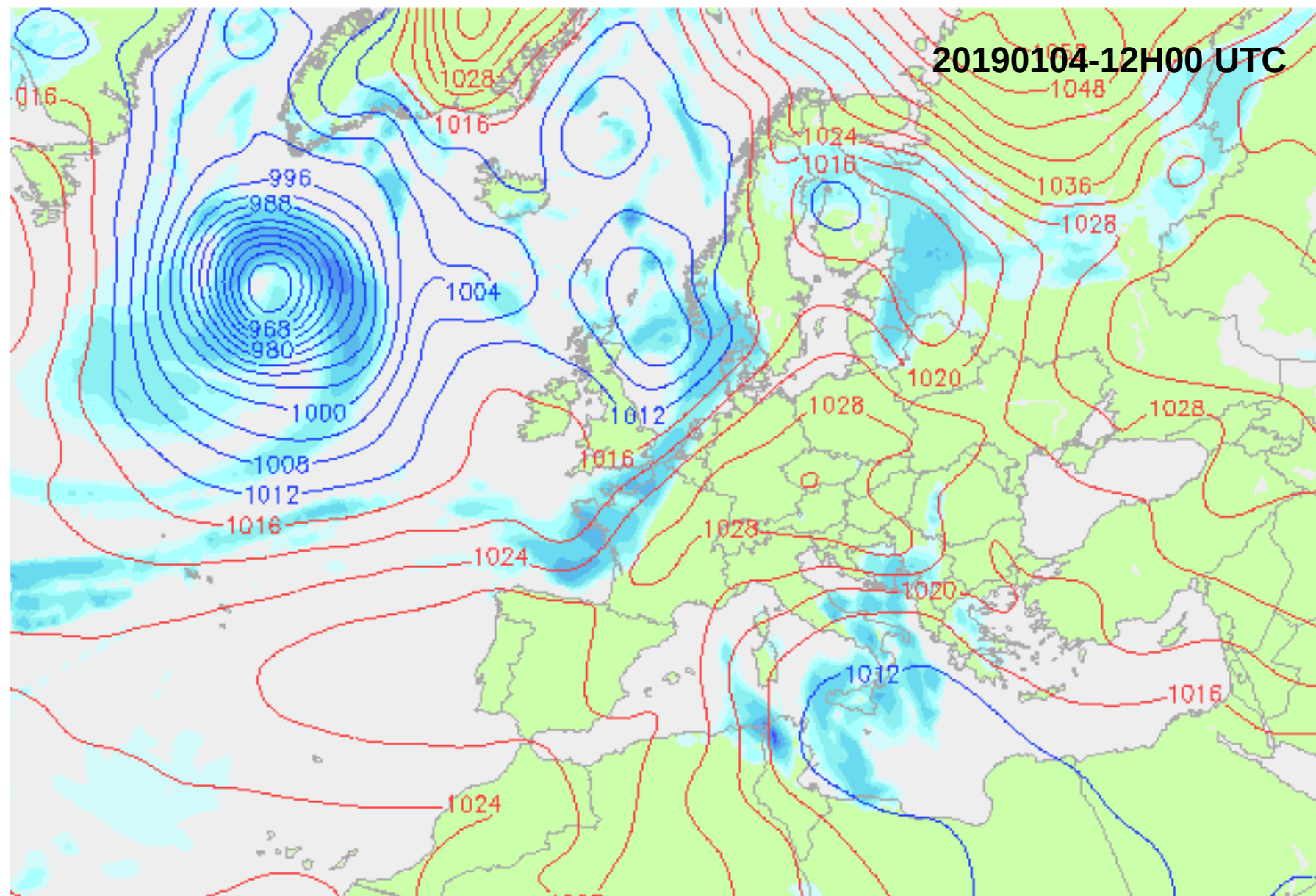
**20190204**

**12H00 UTC**

**Vis**



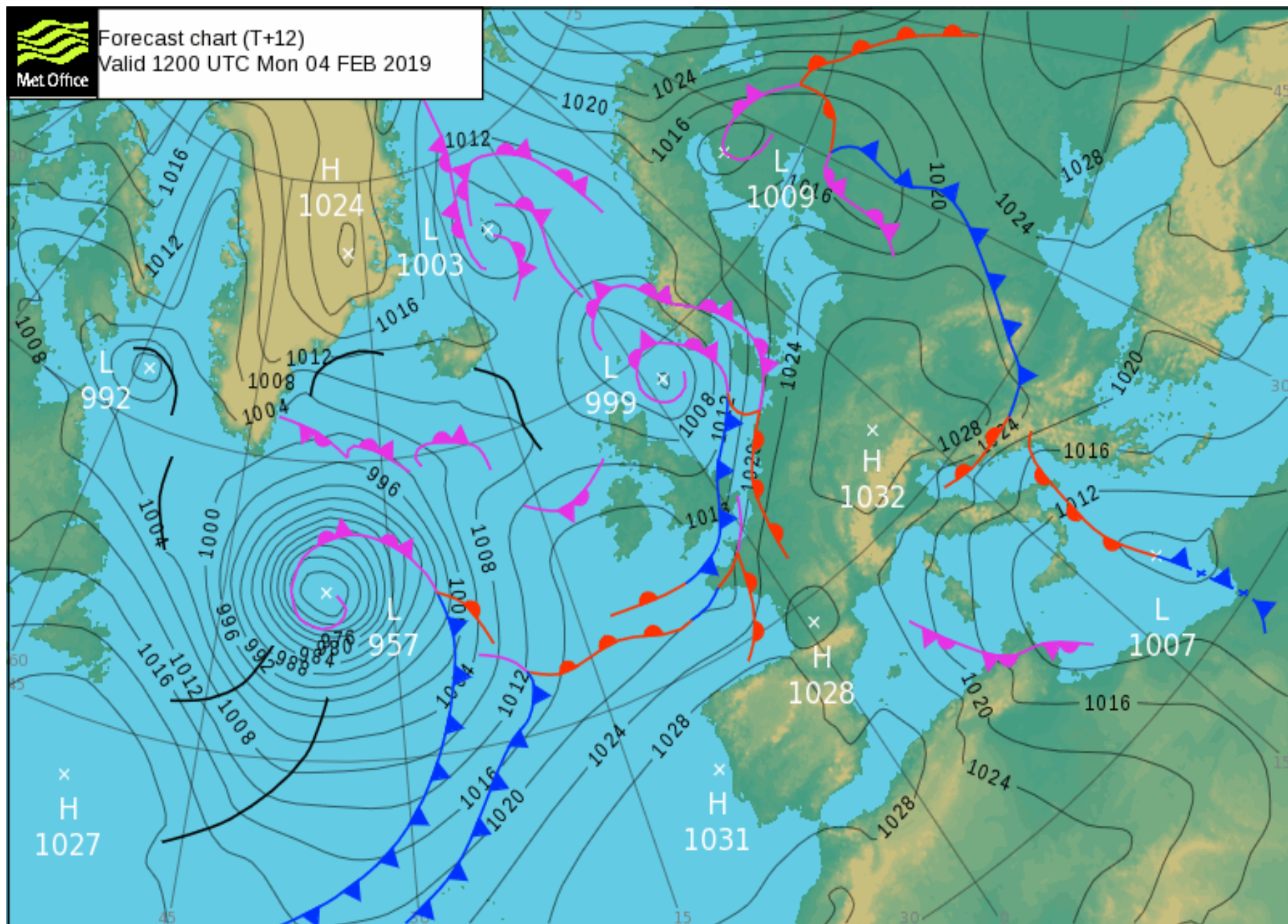


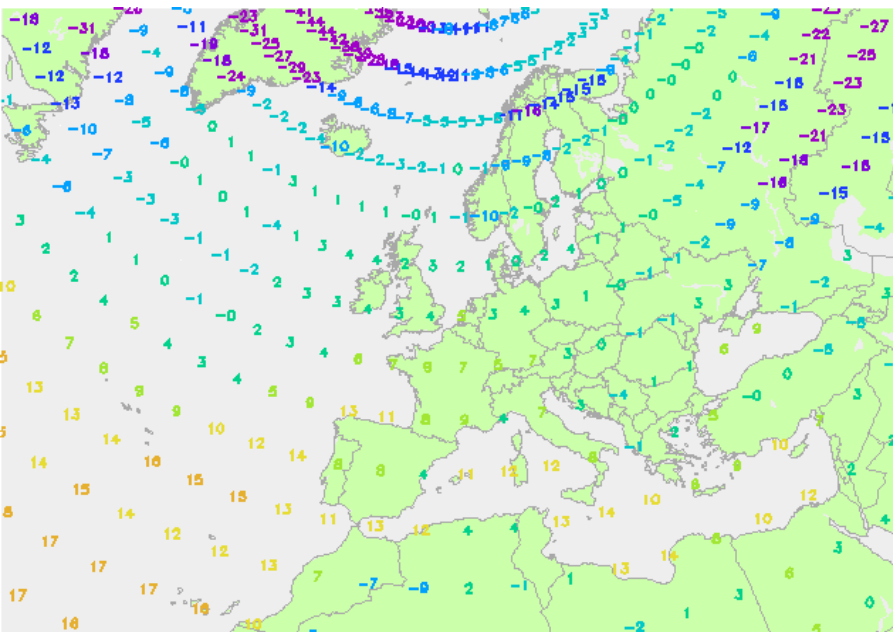






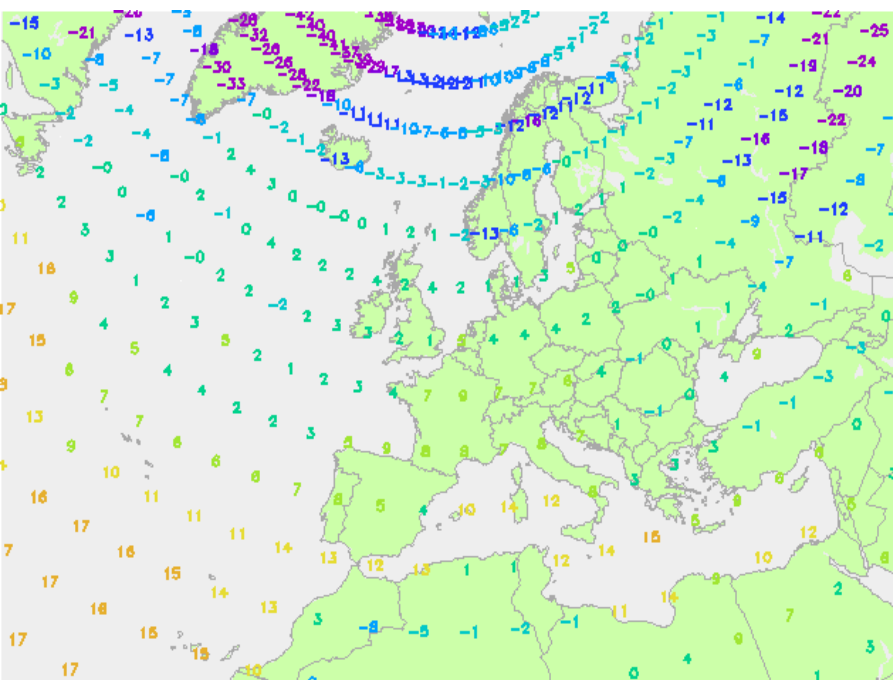
Forecast chart (T+12)  
Valid 1200 UTC Mon 04 FEB 2019





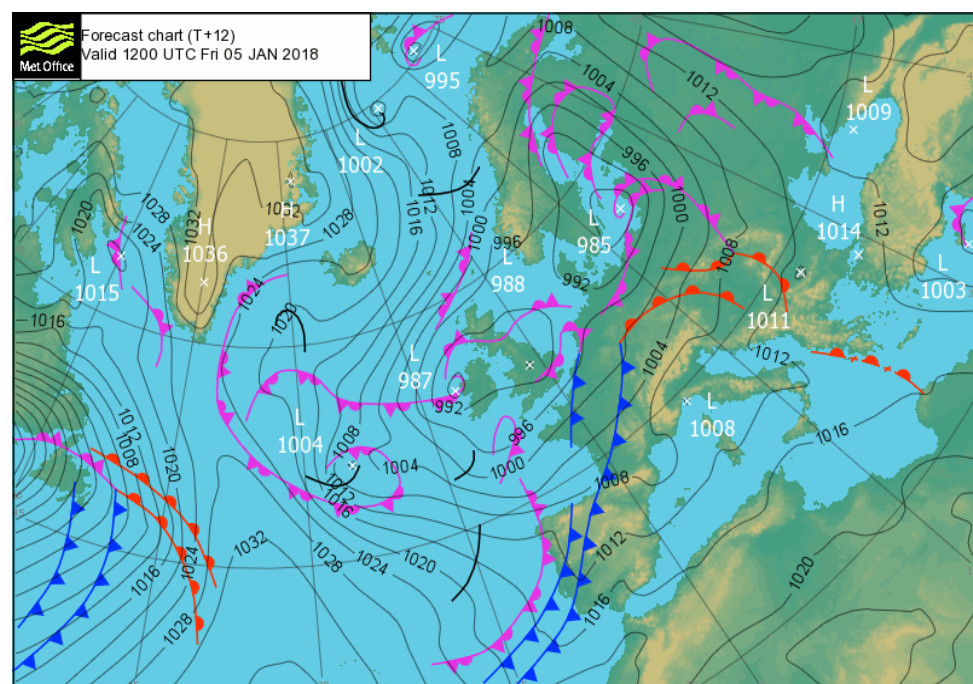
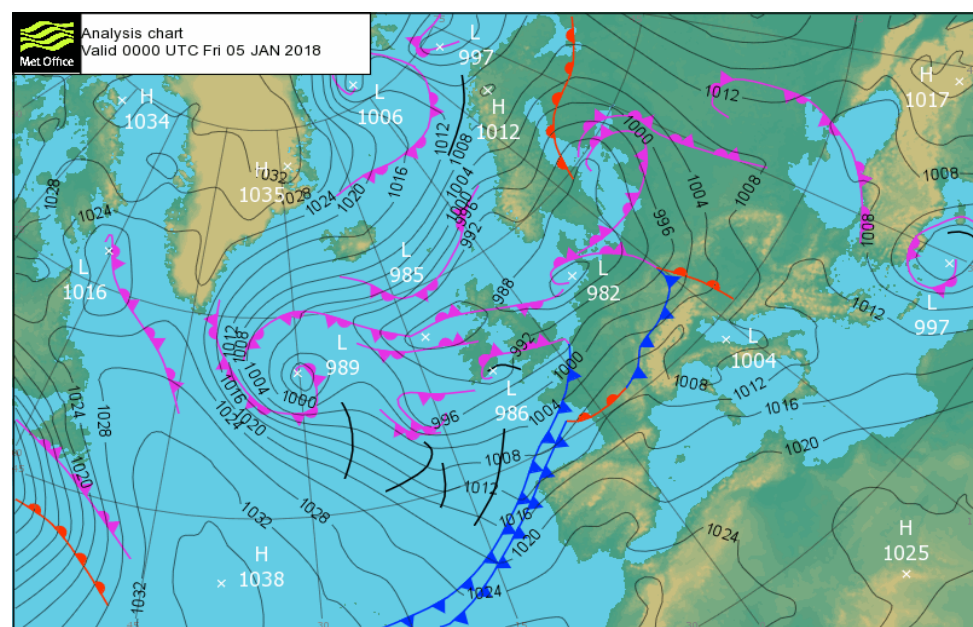
Dew Point Temperature 2m  
GFS (°C)

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



## Saturation des particules d'air au sol : 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) :

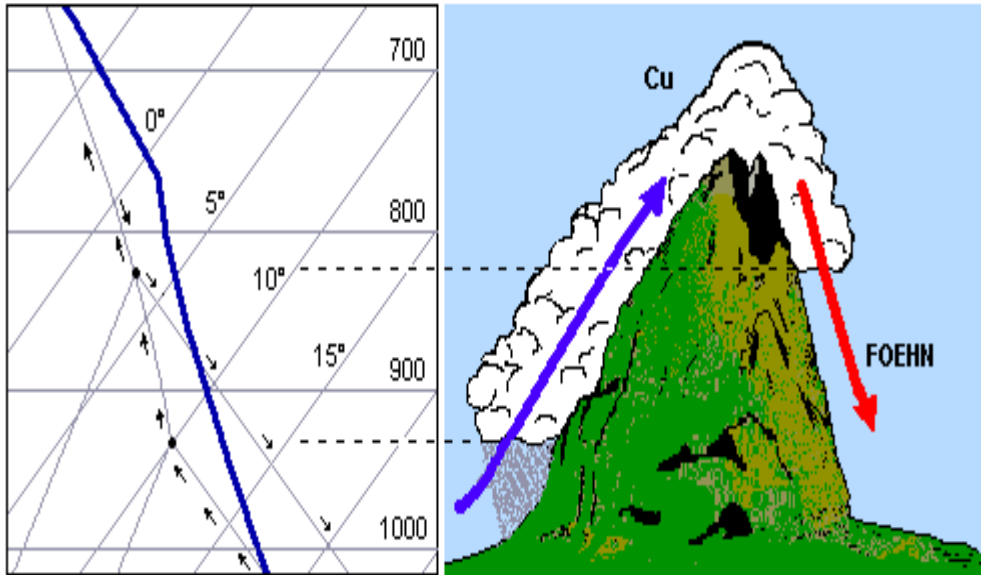
- **brouillard d'advection** (air chaud sur mer froide), brouillard marin.
- **brouillard d'évaporation** (air froid sur mer + chaude), latitudes élevées, étangs et lacs en hiver.
- **brouillard de rayonnement** (près des côtes, ciel clair, air humide, vent faible inf à 7 nds - brise).
- **brouillard de mélange** (rare)

La brume se rencontre souvent par vents faibles (marais barométrique), parfois dans le secteur chaud des perturbations (advection), 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 jours 3/4 J par mois juin/septembre.

# Evolution Température / Humidité face à un obstacle



## Humidité :

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





msg-1 VIS006 Visible  
20081204.1200Z  
NEMOC Rota, Spain  
(kalima)



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





msg-1 VIS006 Visible  
20081204.1200Z  
NEMOC Rota, Spain  
(kalima)



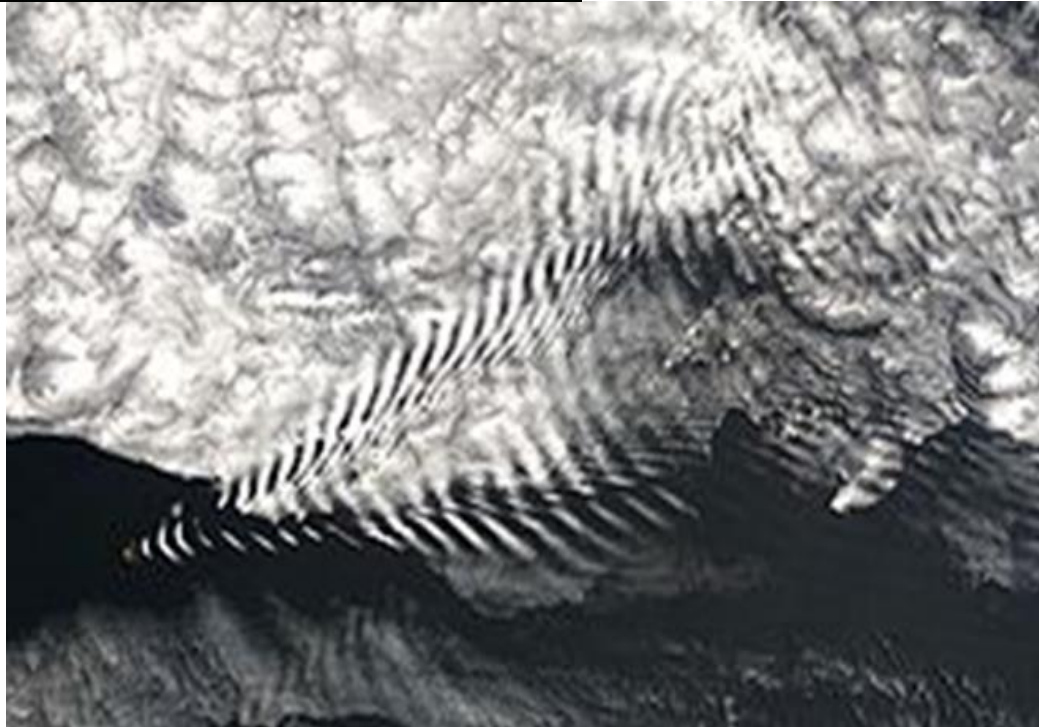
Madère

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**

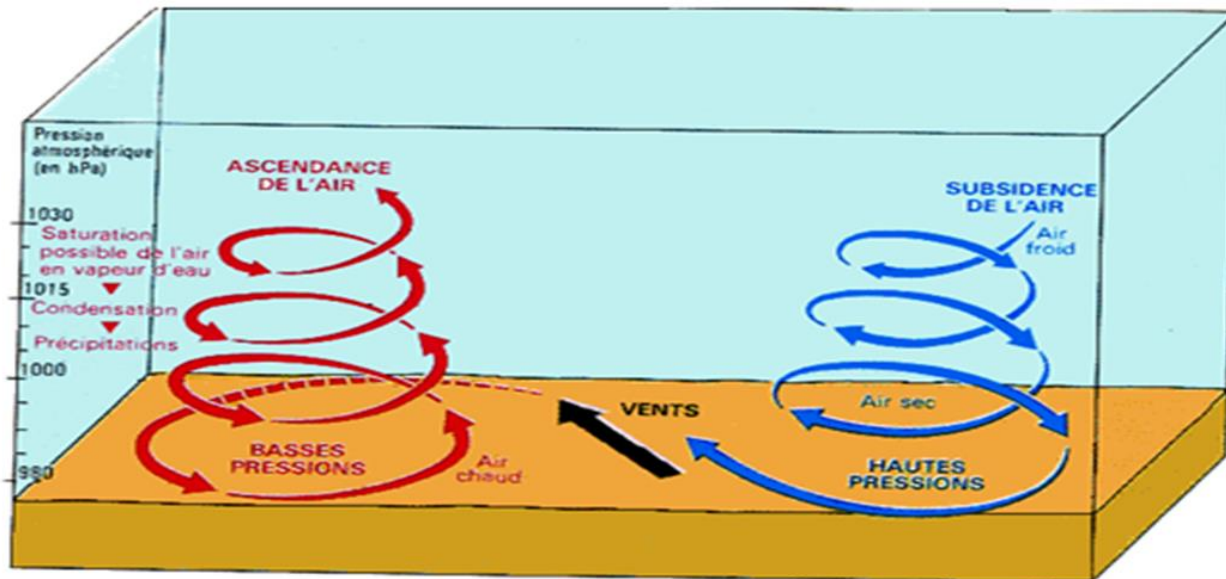
Evolution de la température dans le plan vertical :

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

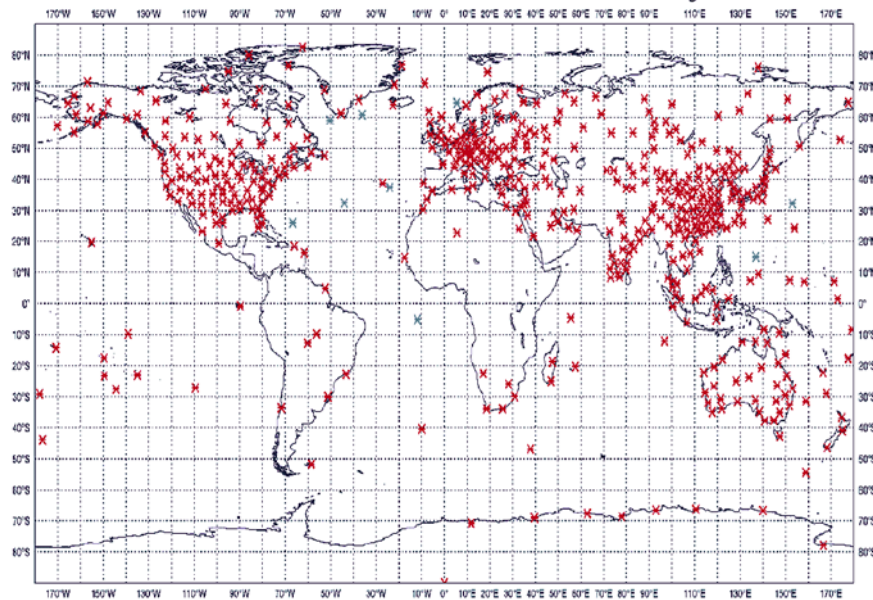
**Ascendance** → détente adiabatique → refroidissement →  $U \nearrow$  ( $T \searrow$ ) → saturation ( $T=T_d$ ) → condensation → nuages →  $T$  et  $T_d \searrow$  → précipitations.

**Inversement**

**Subsidence** → compression adiabatique → réchauffement →  $U \searrow$  ( $T \neq T_d$ ) → désaturation et assèchement → disparition



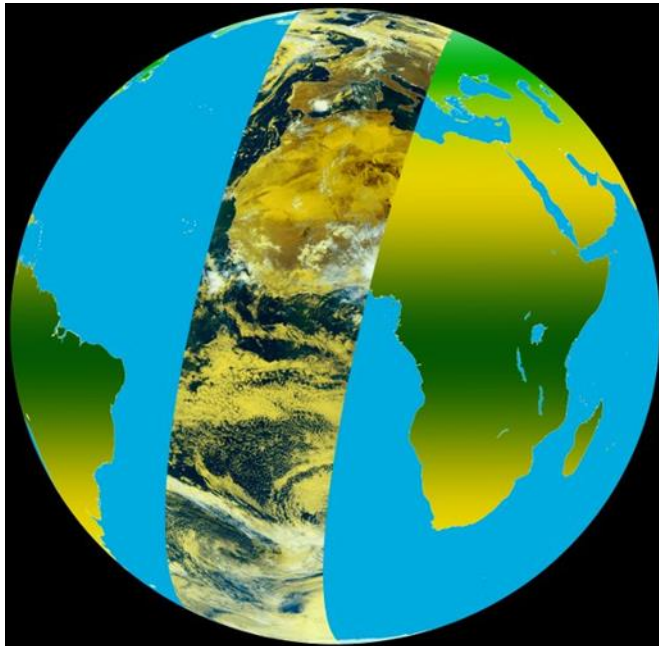
## R.S. (+qq bateaux)



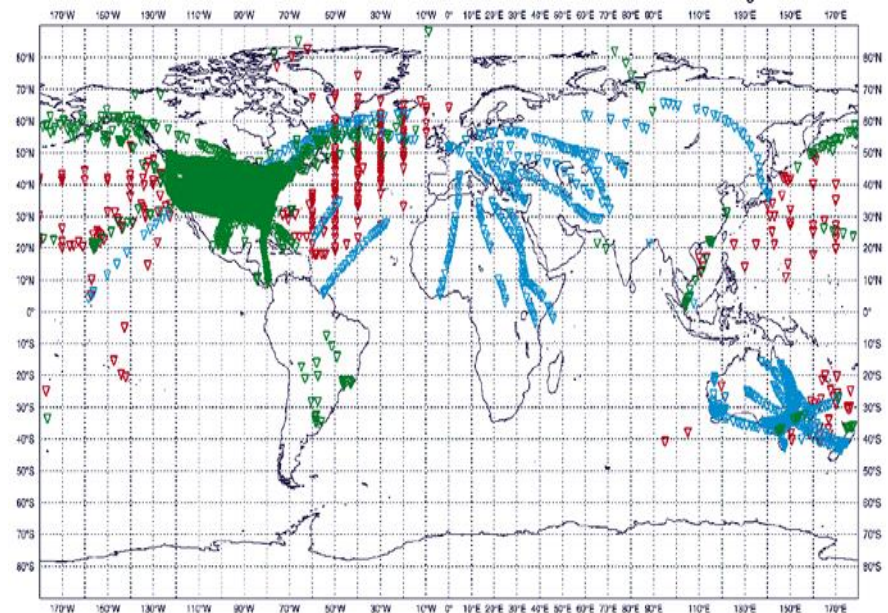
## Mesure de la température en altitude



## Satellites à défilement (MTO + SAR)

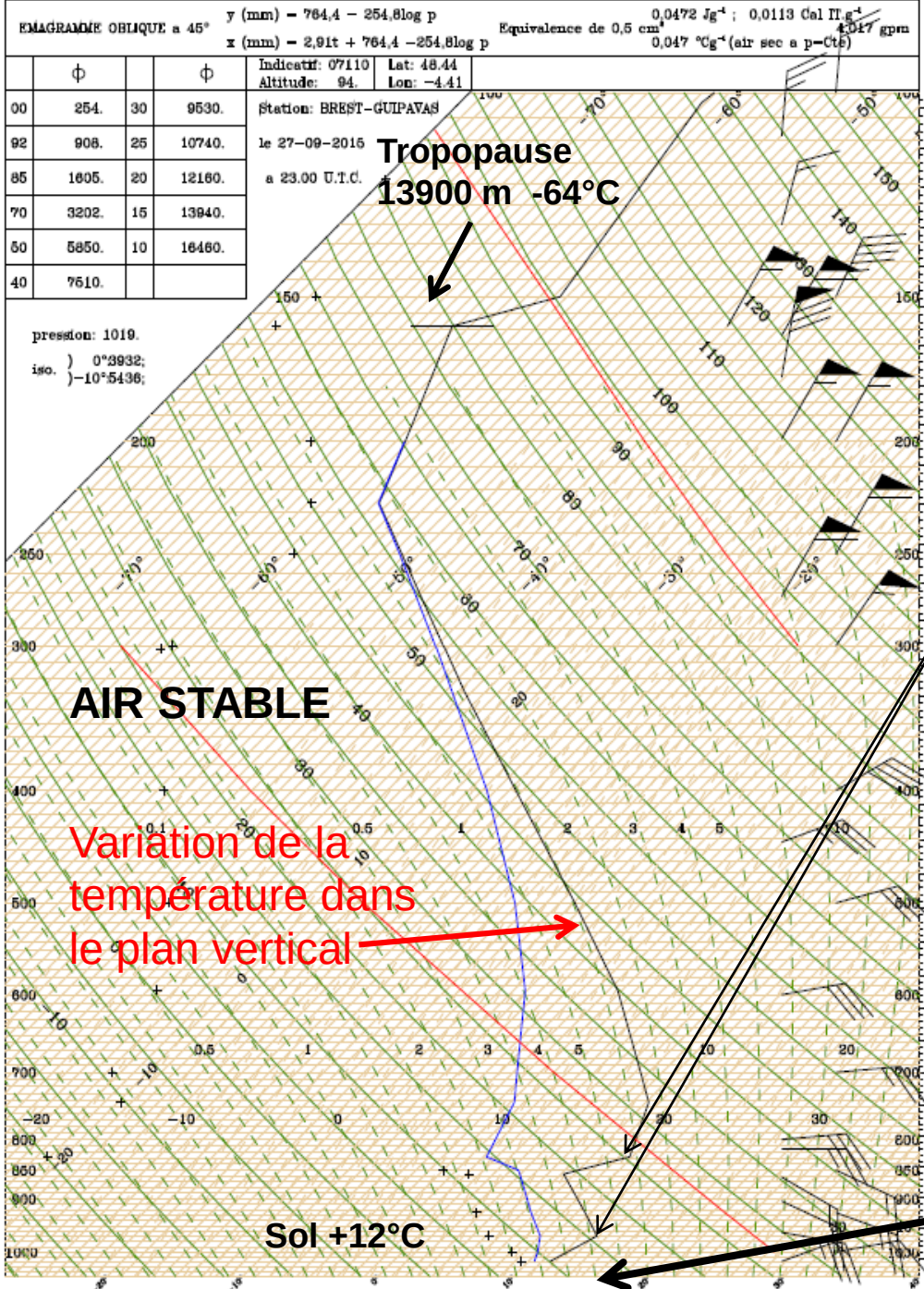


## Avions





ALTITUDES / PRESSIONS



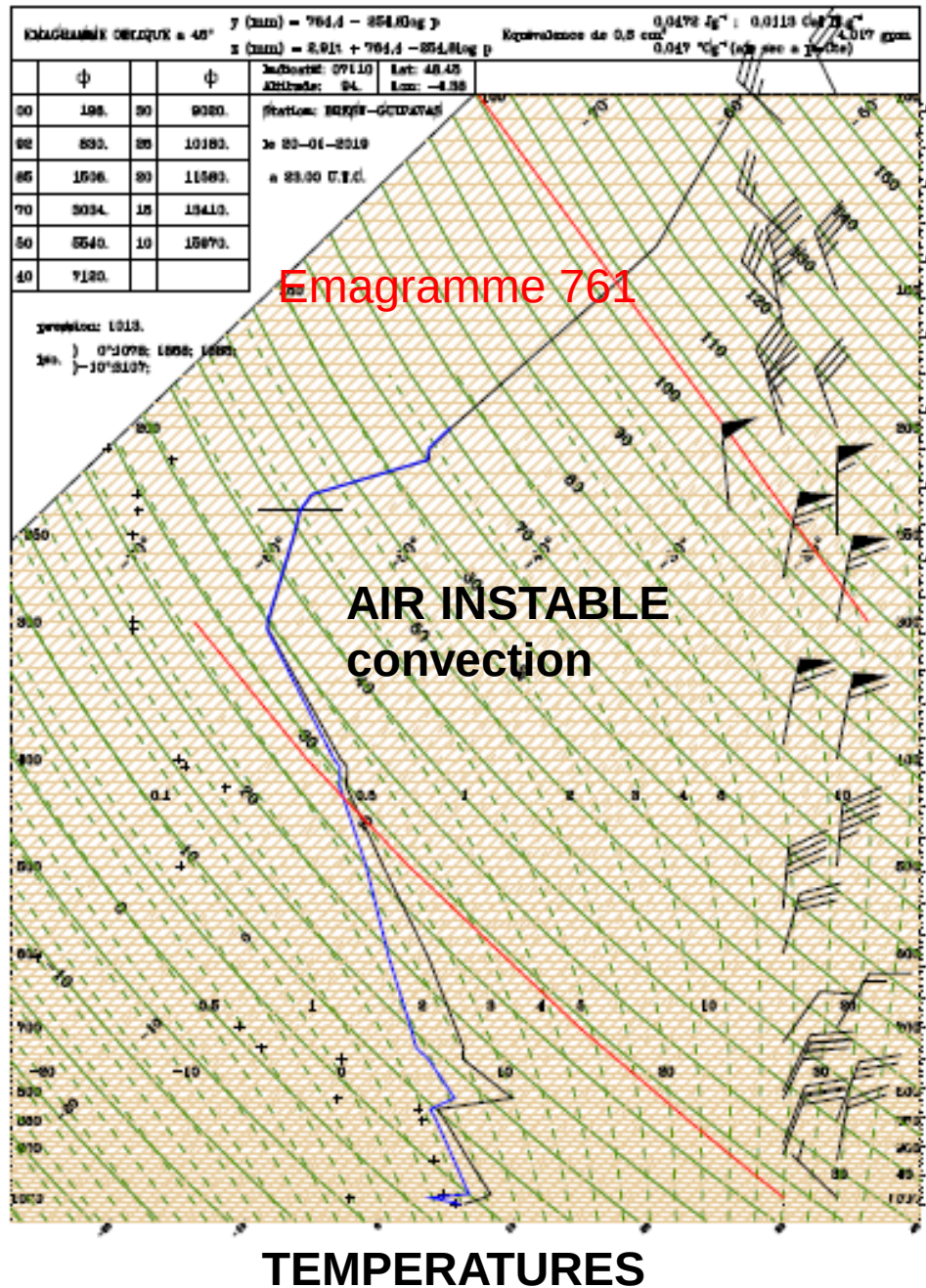
**Radiosondage**  
**Brest-Guipavas**  
**20150928 - 00h00 UTC**

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

**situation**  
**anticyclonique**  
**(subsidence)**

**TEMPERATURES**





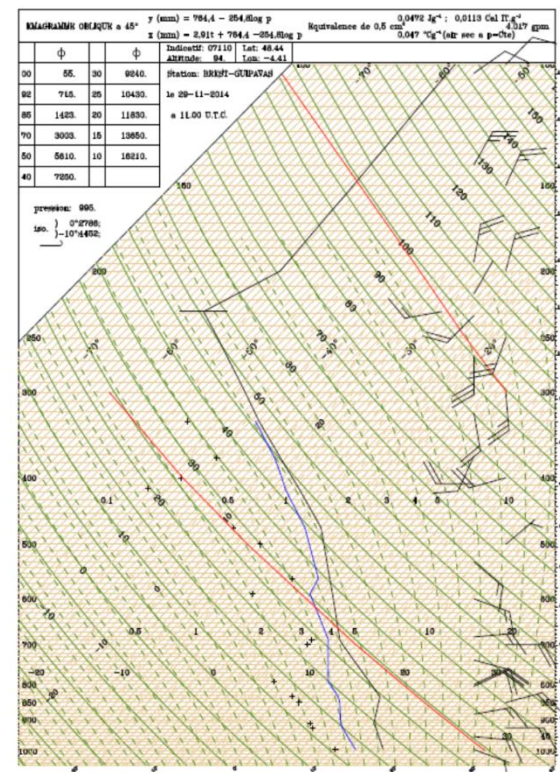
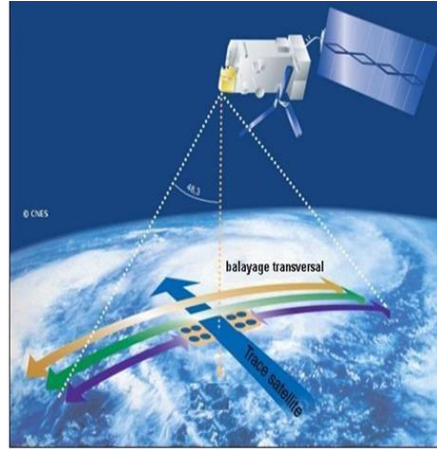
20190121-00H00 UTC

## 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
- CAP
- Trainées de condensation
- Isothermes 0°C et -10°C
- ....



# LA TEMPERATURE en altitude



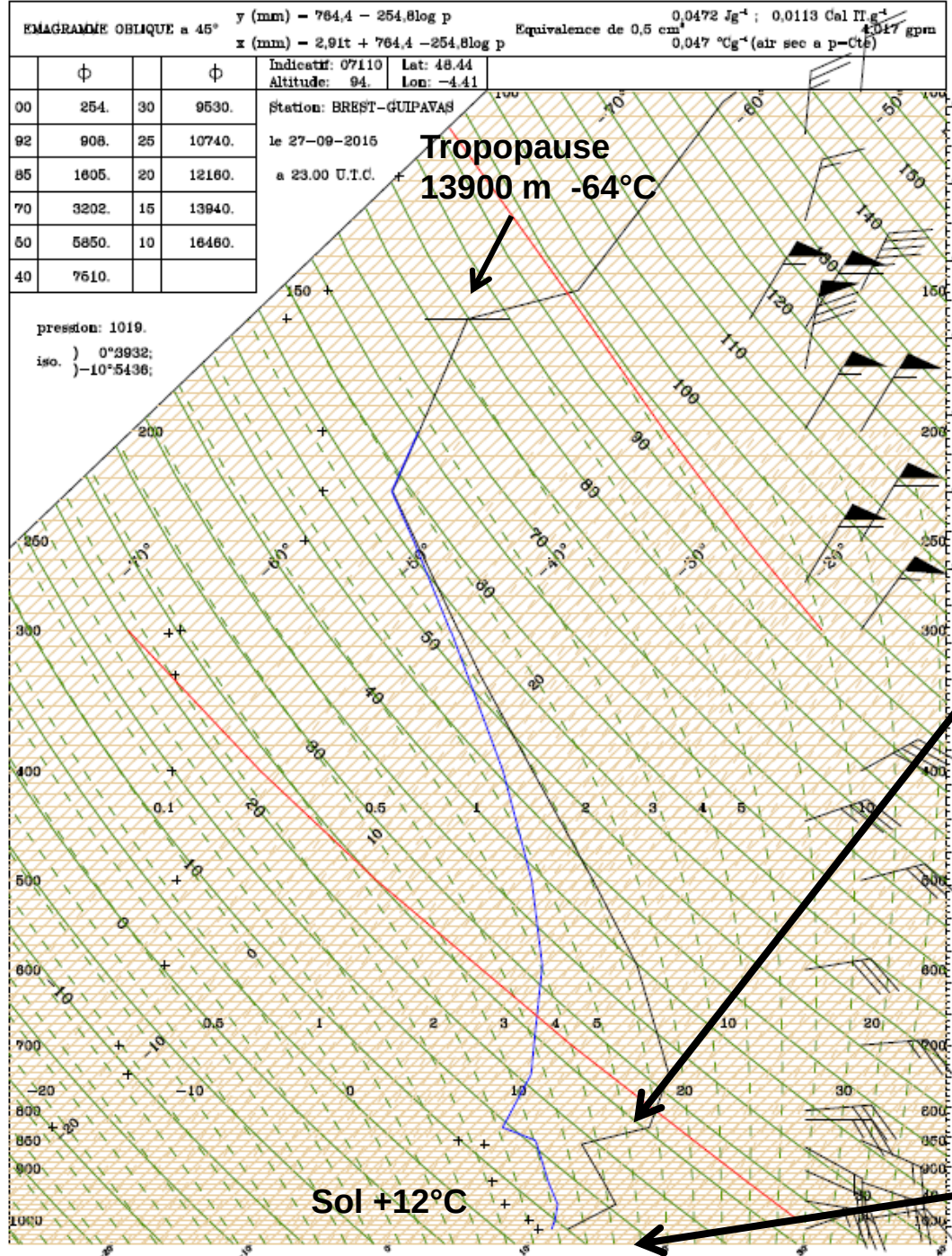
Deux principaux états de la troposphère :  
Stabilité  $\Delta T$  -4/-5°C/1000m (air saturé)

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





ALTITUDES / PRESSIONS



1

**Radiosondage**  
**Brest-Guipavas**  
**20150928 - 00h00 UTC**

**situation**  
**anticyclonique**

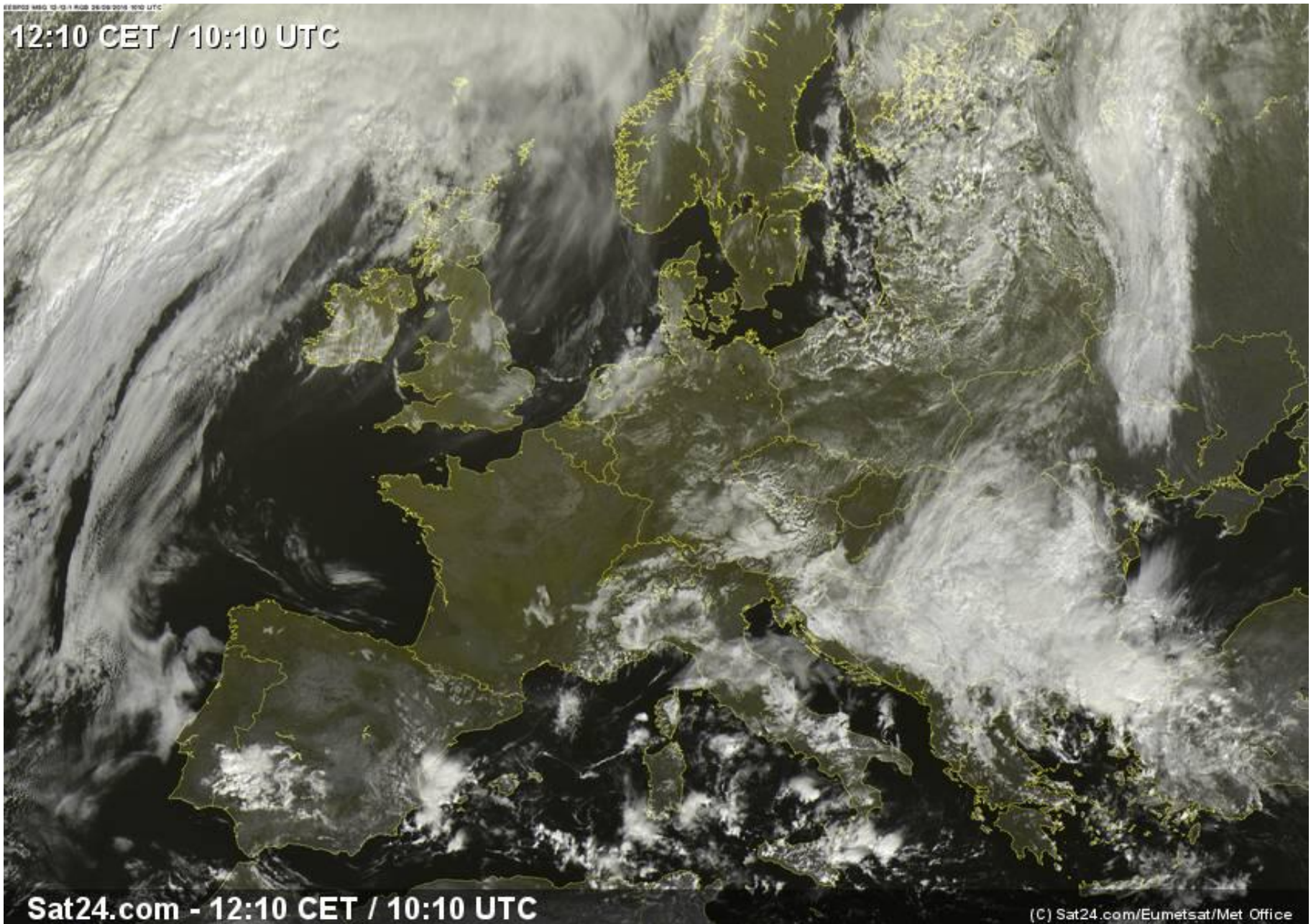
**Assèchement de la**  
**masse d'air**  
**et**  
**inversions de**  
**température**

**AXE TEMPERATURES**



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

12:10 CET / 10:10 UTC



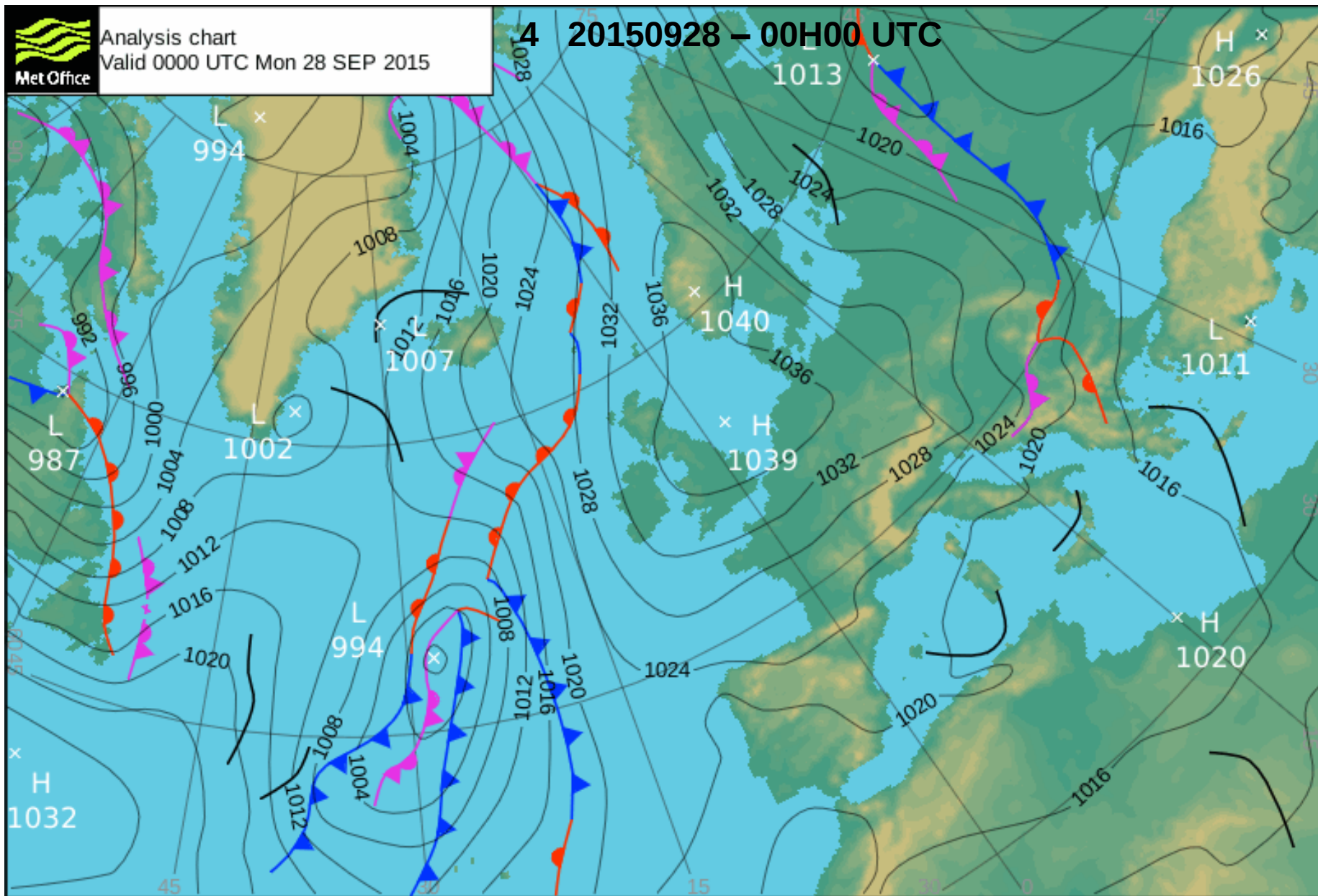






Analysis chart  
Valid 0000 UTC Mon 28 SEP 2015

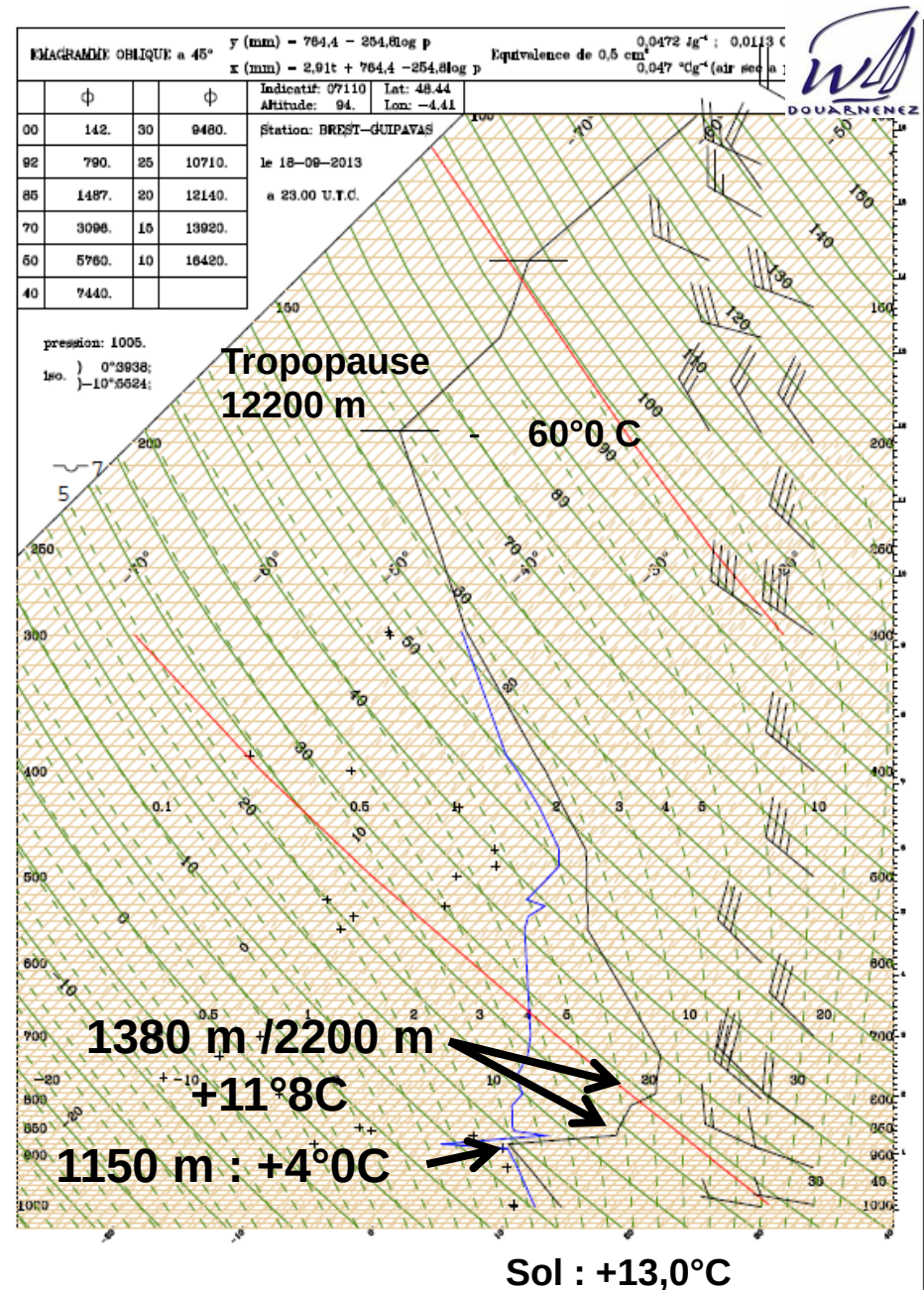
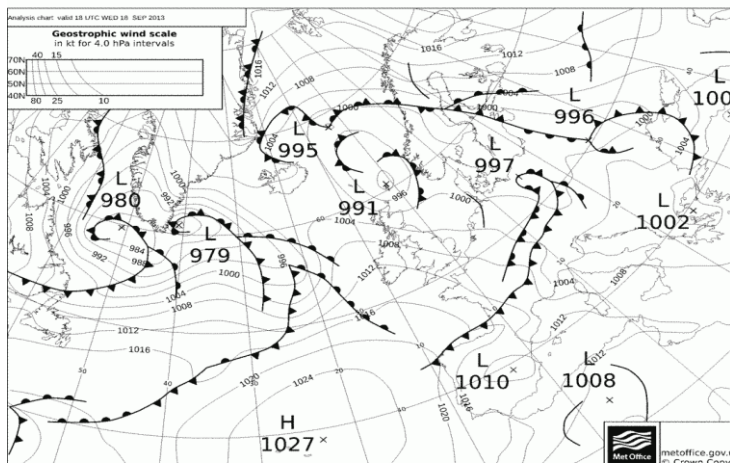
4 20150928 – 00H00 UTC



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

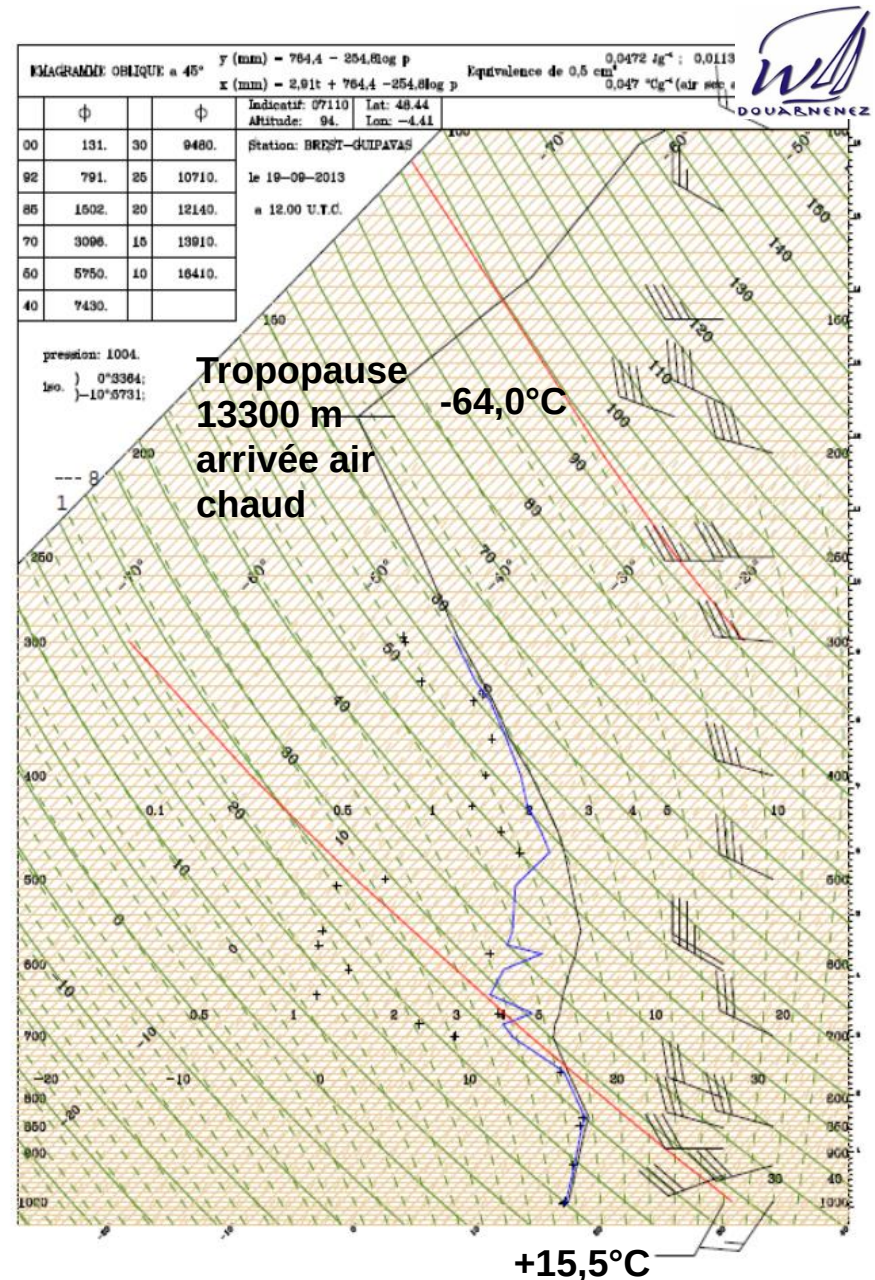
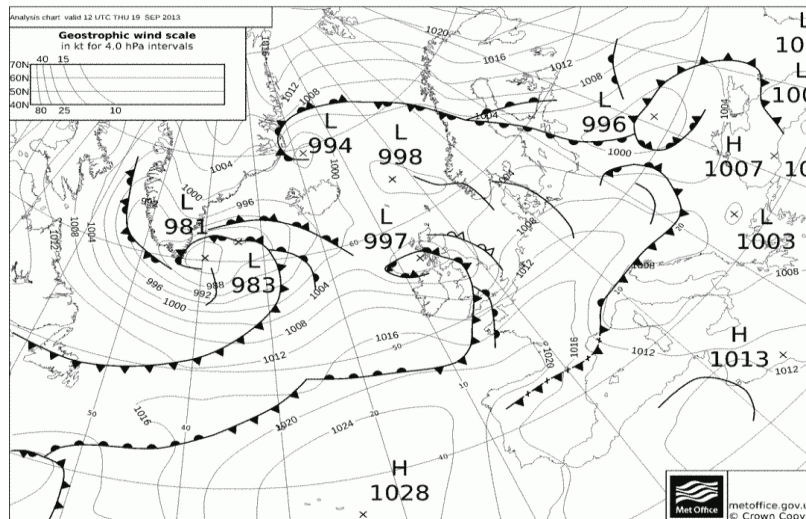
# Radiosondage de Brest du 18/09/13 à 00h00 UTC :

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





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

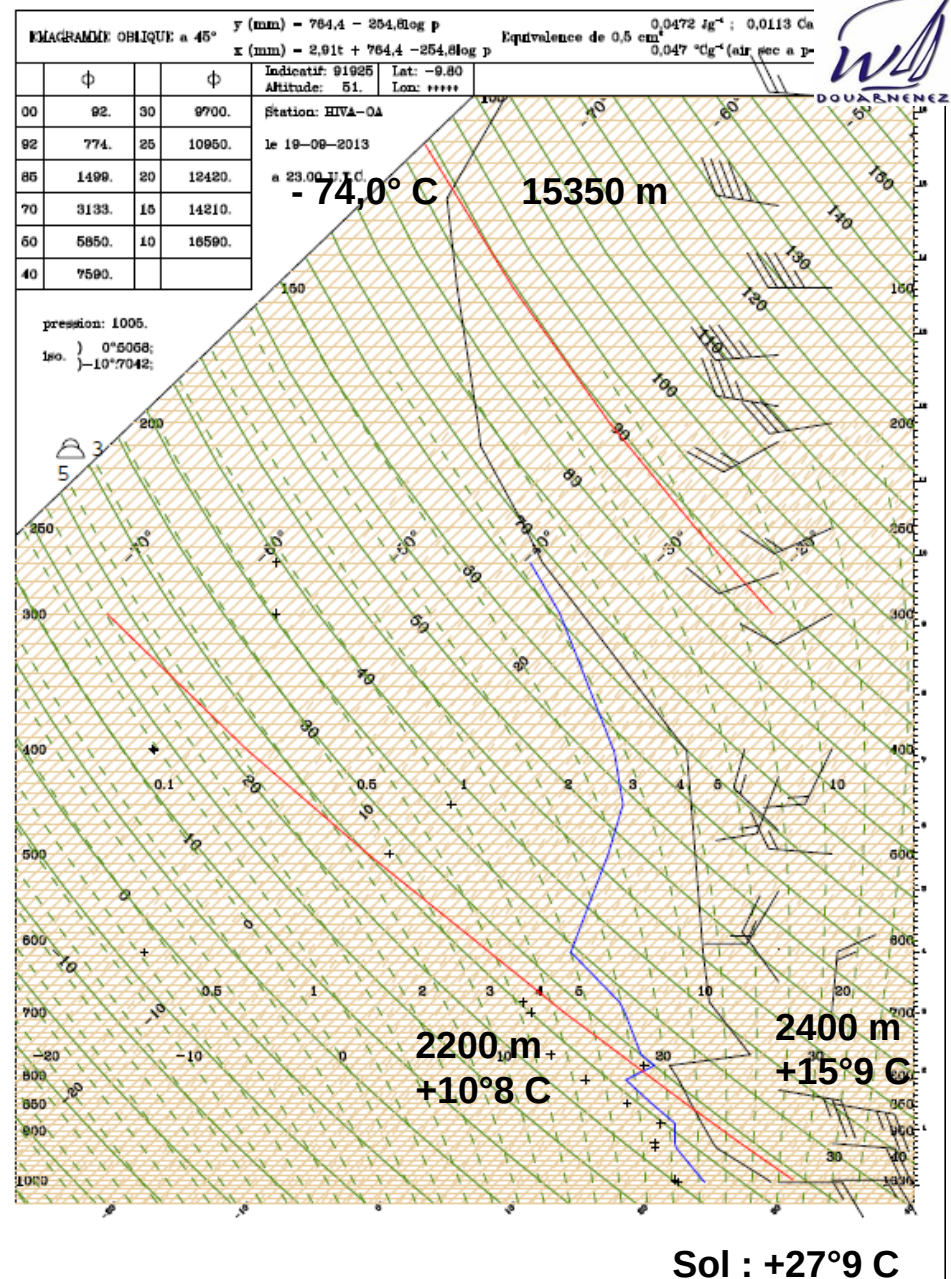




# Radio sondage Hiva-Oa du 19/09/13 à 00h00 TU



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





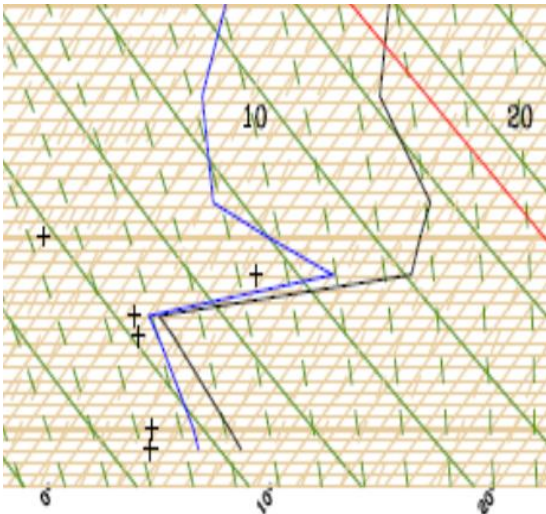
# LA TEMPÉRATURE

## Inversions de température :

**au sol** : rayonnement nocturne : brouillard ou rosée ; -

**en altitude** : surfaces frontales, subsidence en situation 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)



# LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

**Champs en surface et en altitude**

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



# L'ATMOSPHERE (troposphère)



## Pression atmosphérique au sol

Pression atmosphérique ?

Atmosphère standard 1013.25 hPa au sol.

Variation dans le plan horizontal (au sol) :

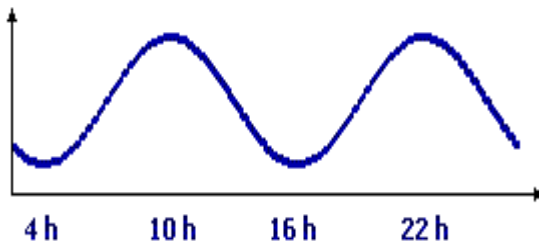
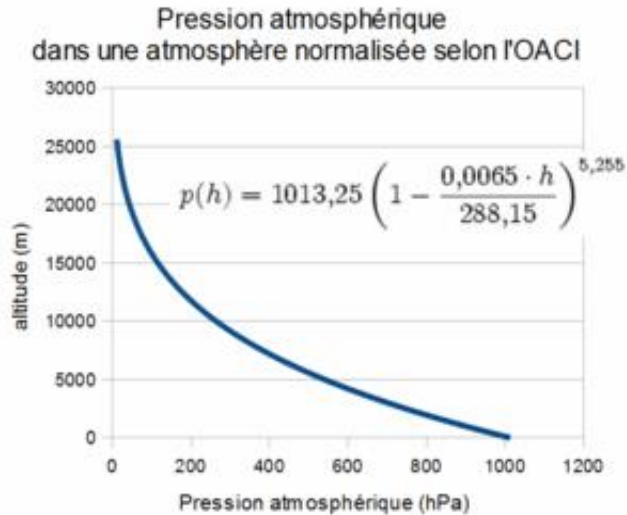
950 hPa → 1050 hPa (881 hPa cyclone Wilma – Antilles - en 2005).

Variation dans le plan verticale : 1 hPa/8,50 m au sol, 1hPa/30 m vers 700 hPa.

Calage du baromètre : niveau de la mer.

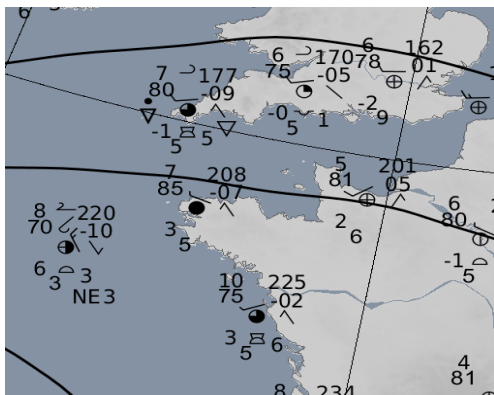
Marée barométrique : variation diurne liée à la marée astronomique (2,5 hPa Antilles, parfois 4 hPa).

Influence de la pression atmosphérique sur la marée : surcote, décote.

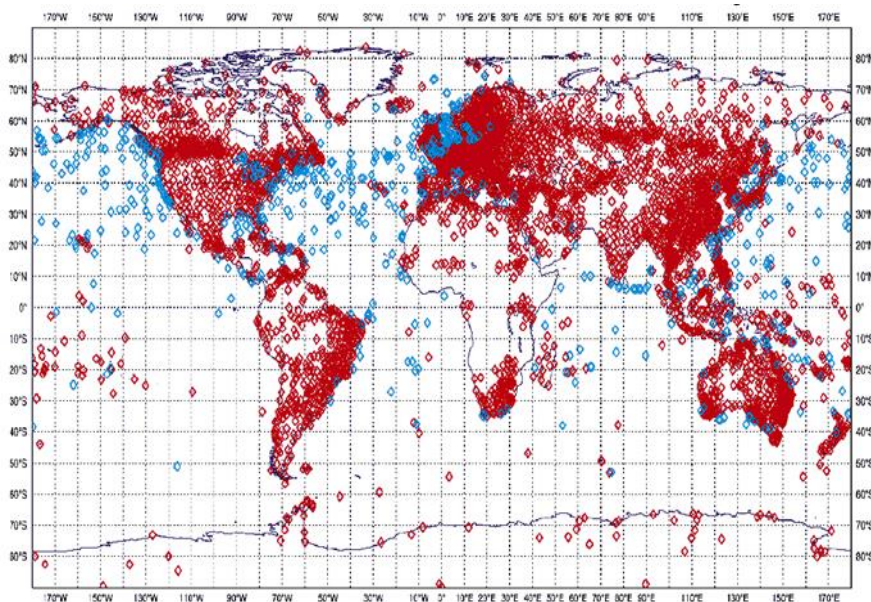


# LES OBSERVATIONS METEOROLOGIQUES AU SOL

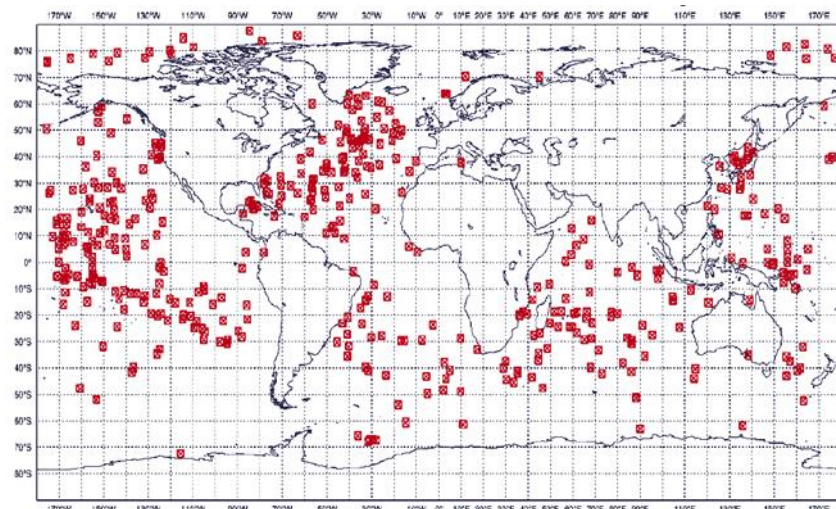
OMM : mise à la disposition de la communauté internationale les données météorologiques relevées dans chaque pays.



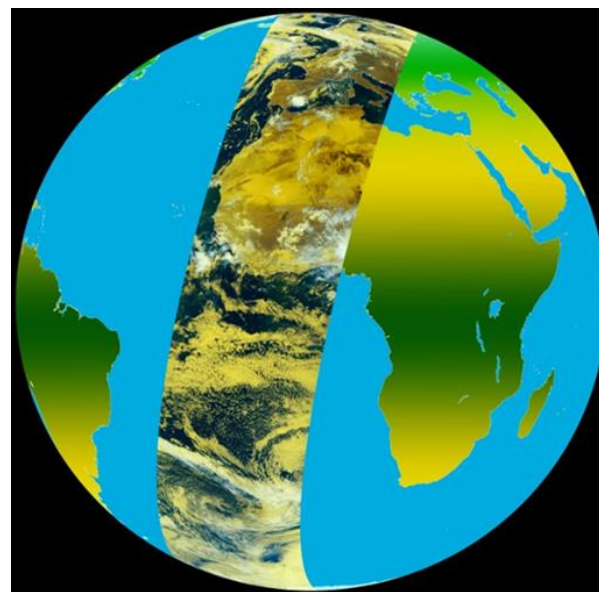
Obs/Ship



Bouées fixes et dérivantes

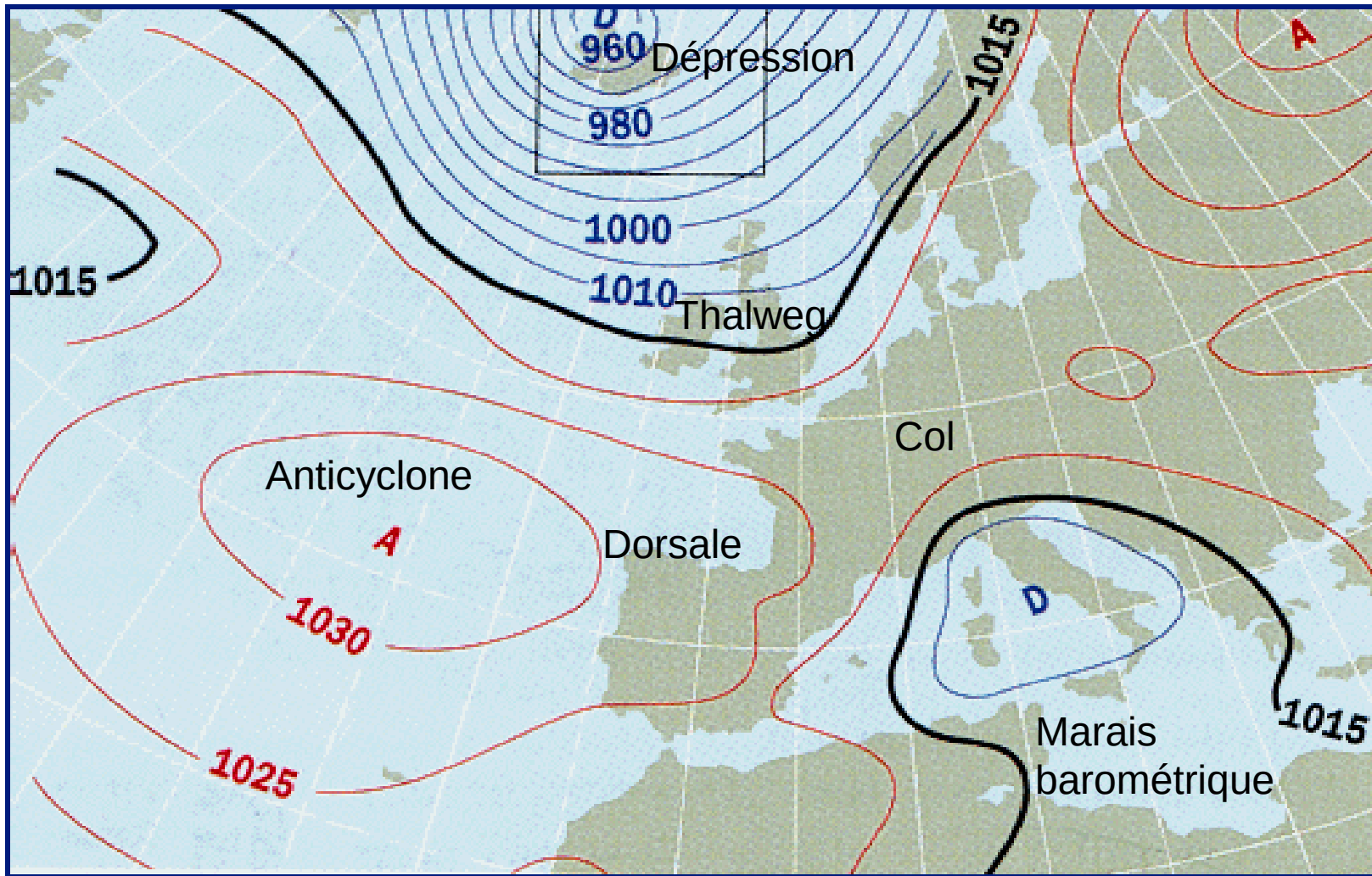


Satellites à défilement (MTO + SAR)





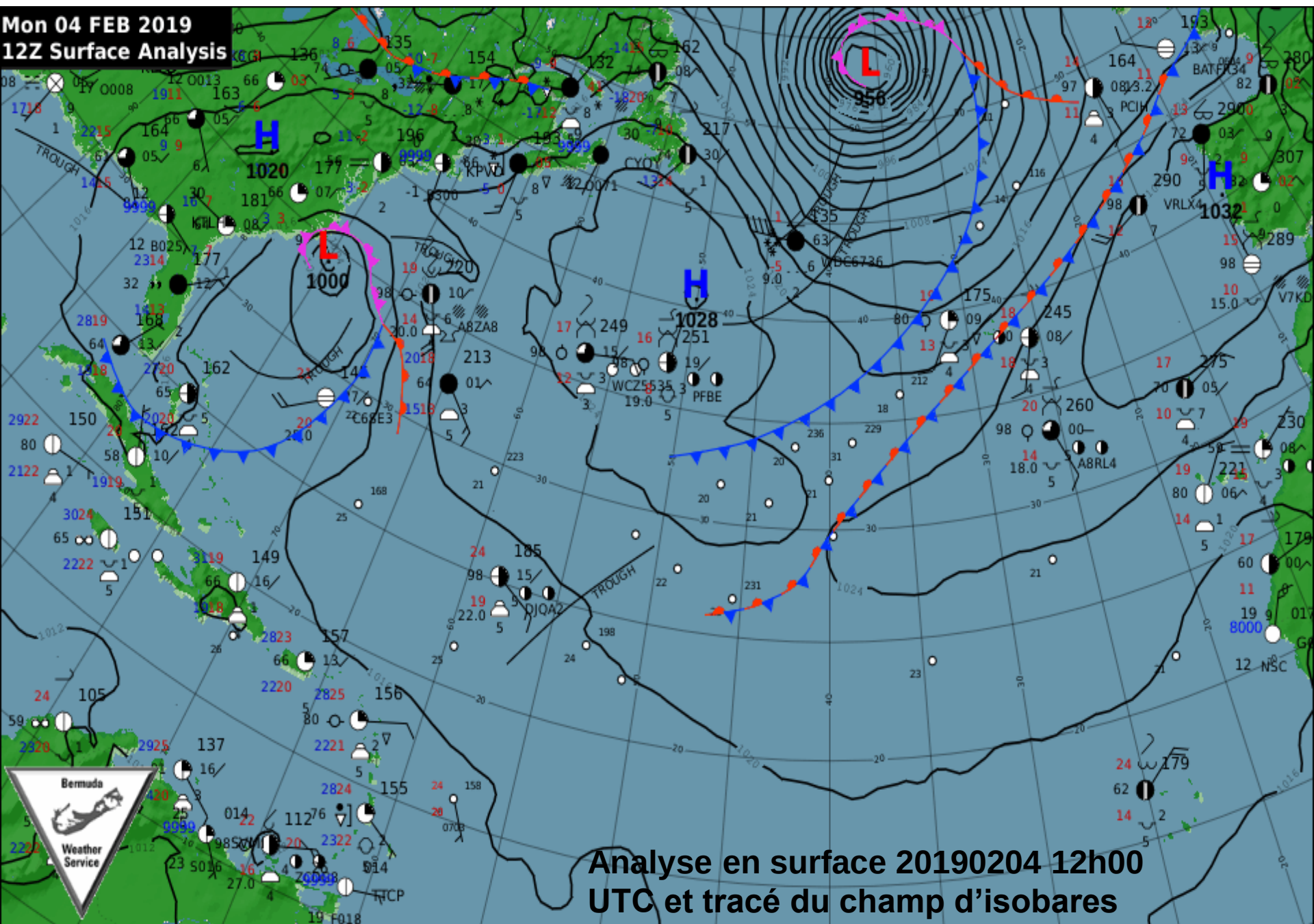
# Pression atmosphérique au sol, terminologie



## Pression atmosphérique

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

Mon 04 FEB 2019  
12Z Surface Analysis

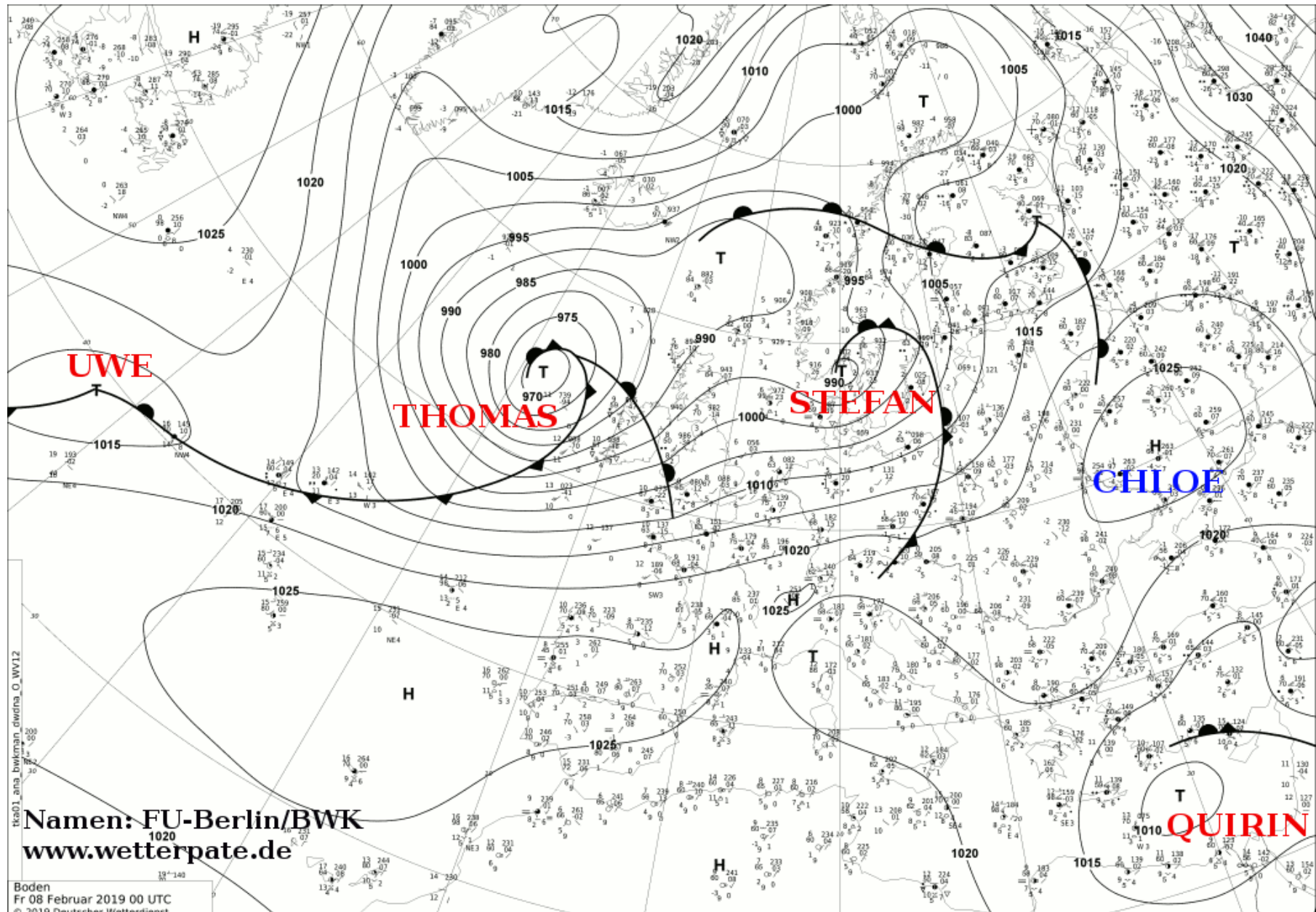


Analyse en surface 20190204 12h00  
UTC et tracé du champ d'isobares



# Pression au sol Analyse 20190208 - 00h00UTC

Tracé des isobares pour analyse et description de la situation au sol, variation de la pression atmosphérique au sol.



# 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

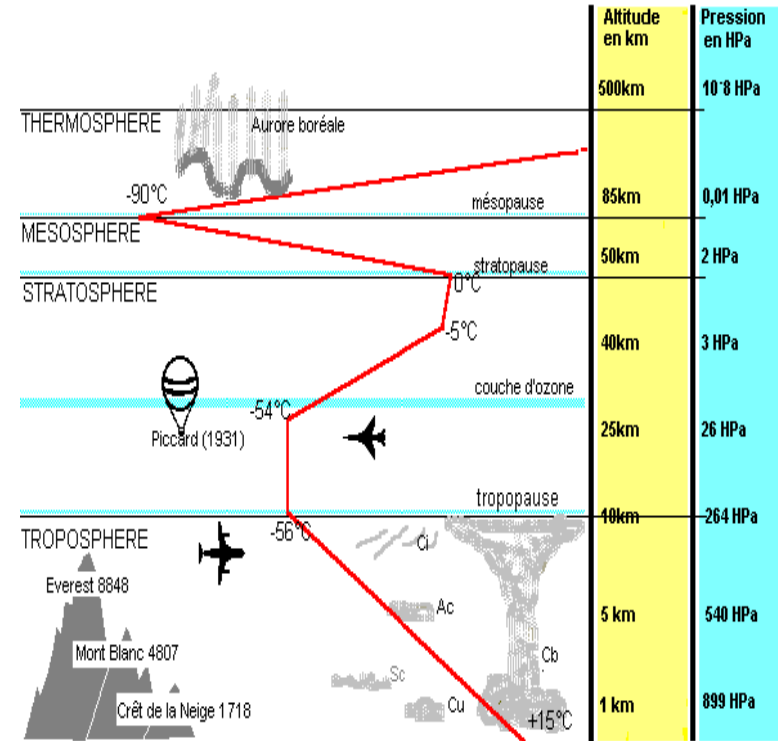
200 hPa → 11500 m (mcp)

150 hPa → 13600 m (mcp)

100 hPa → 16000 m (mcp)

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

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

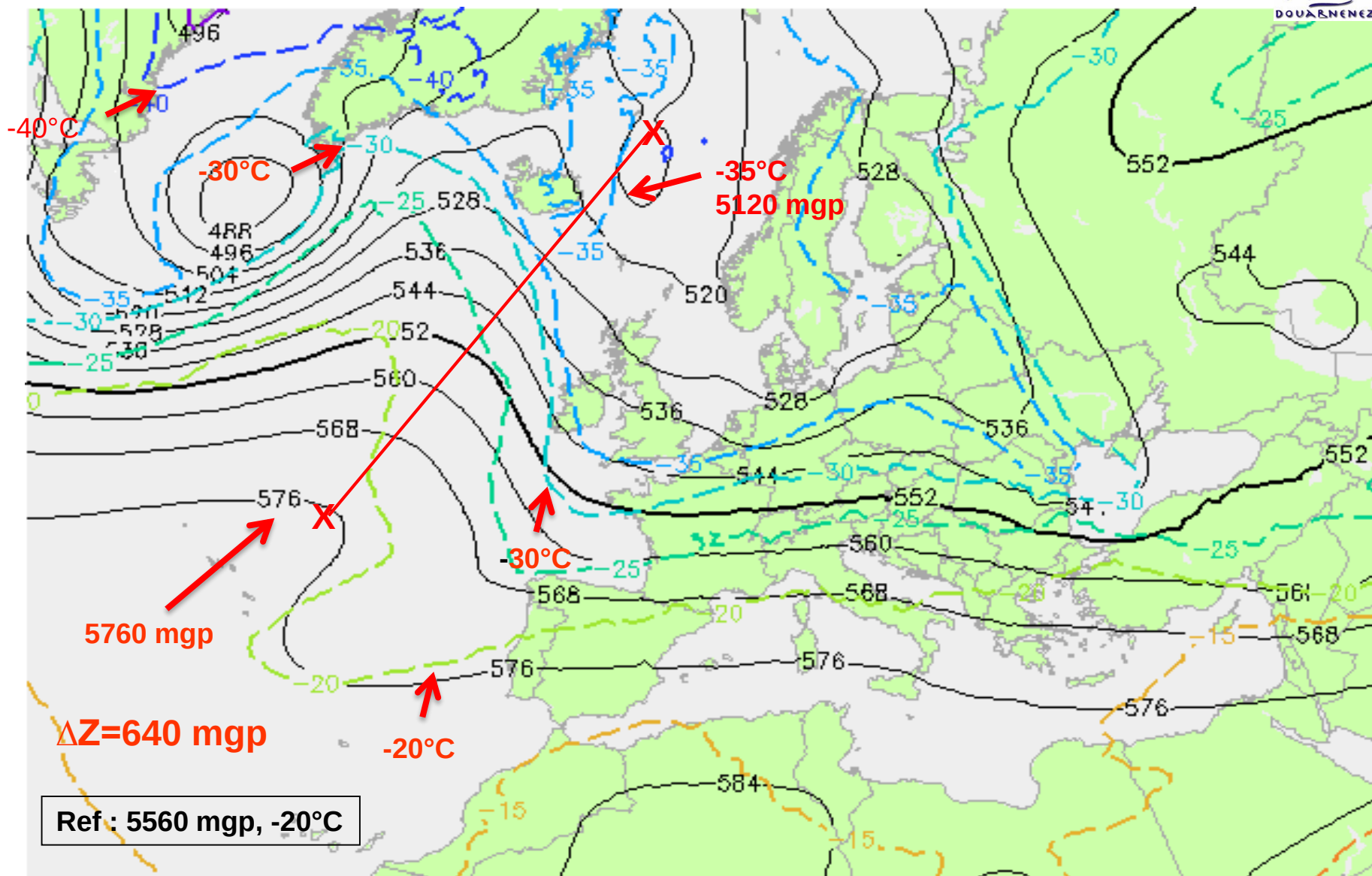


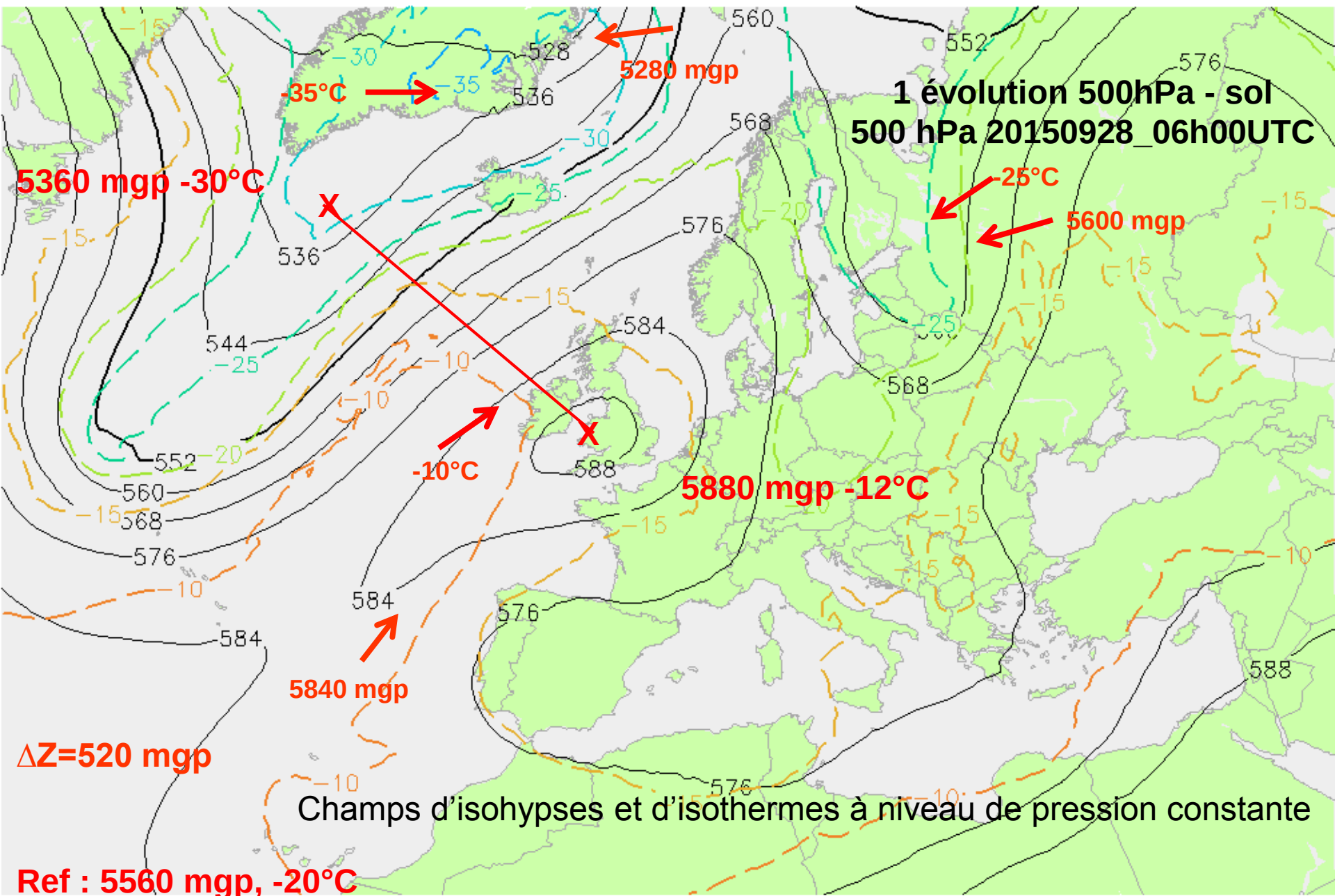
En météorologie, cartes aux niveaux 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa pour analyse et prévision (niveau plus élevés pour courant jet, flux général, aéronautique).

- 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/septembre : évolutions Z et T  
Champs d'isohypses et d'isothermes à niveau de pression constante

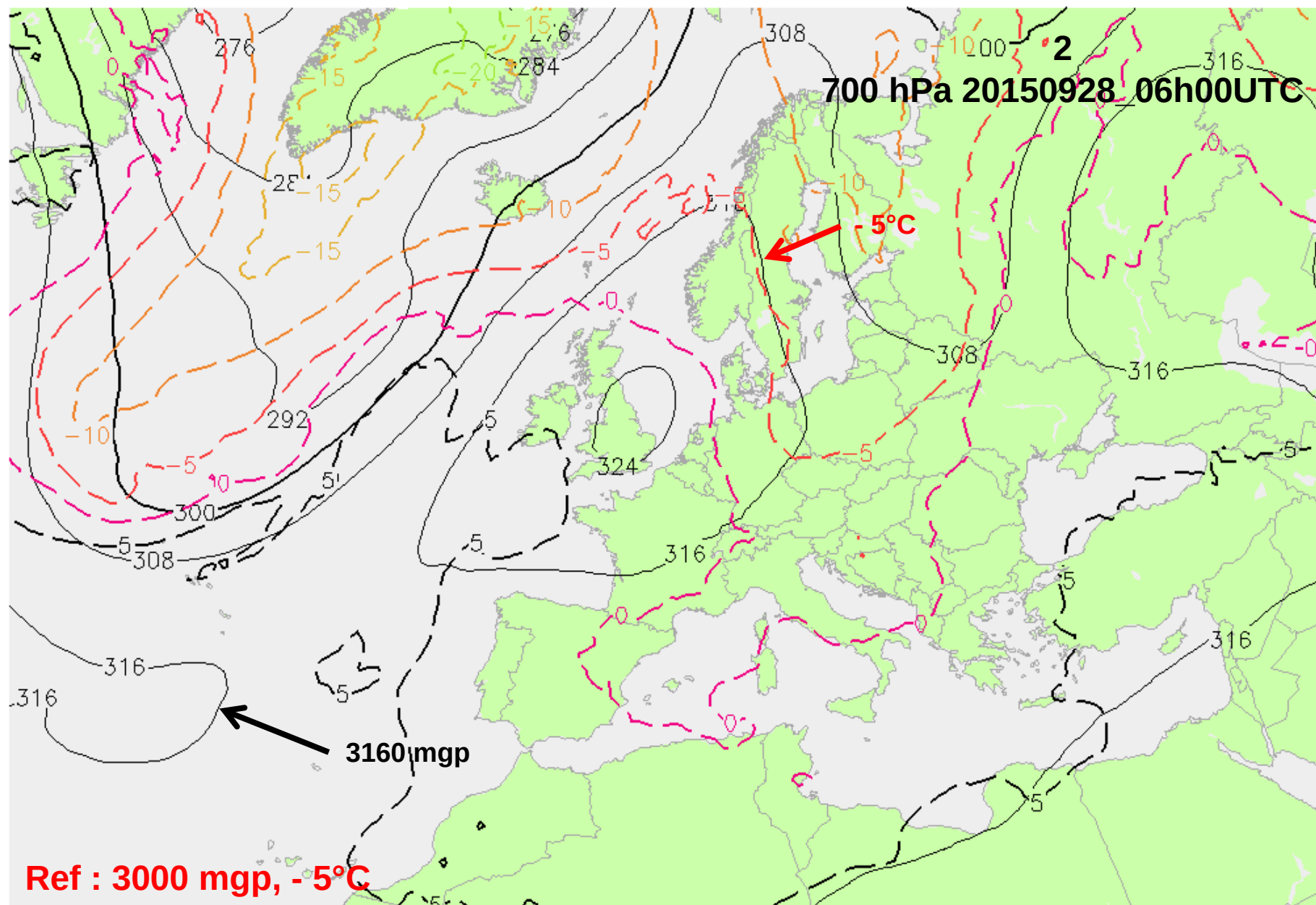




Height (gpdm) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS

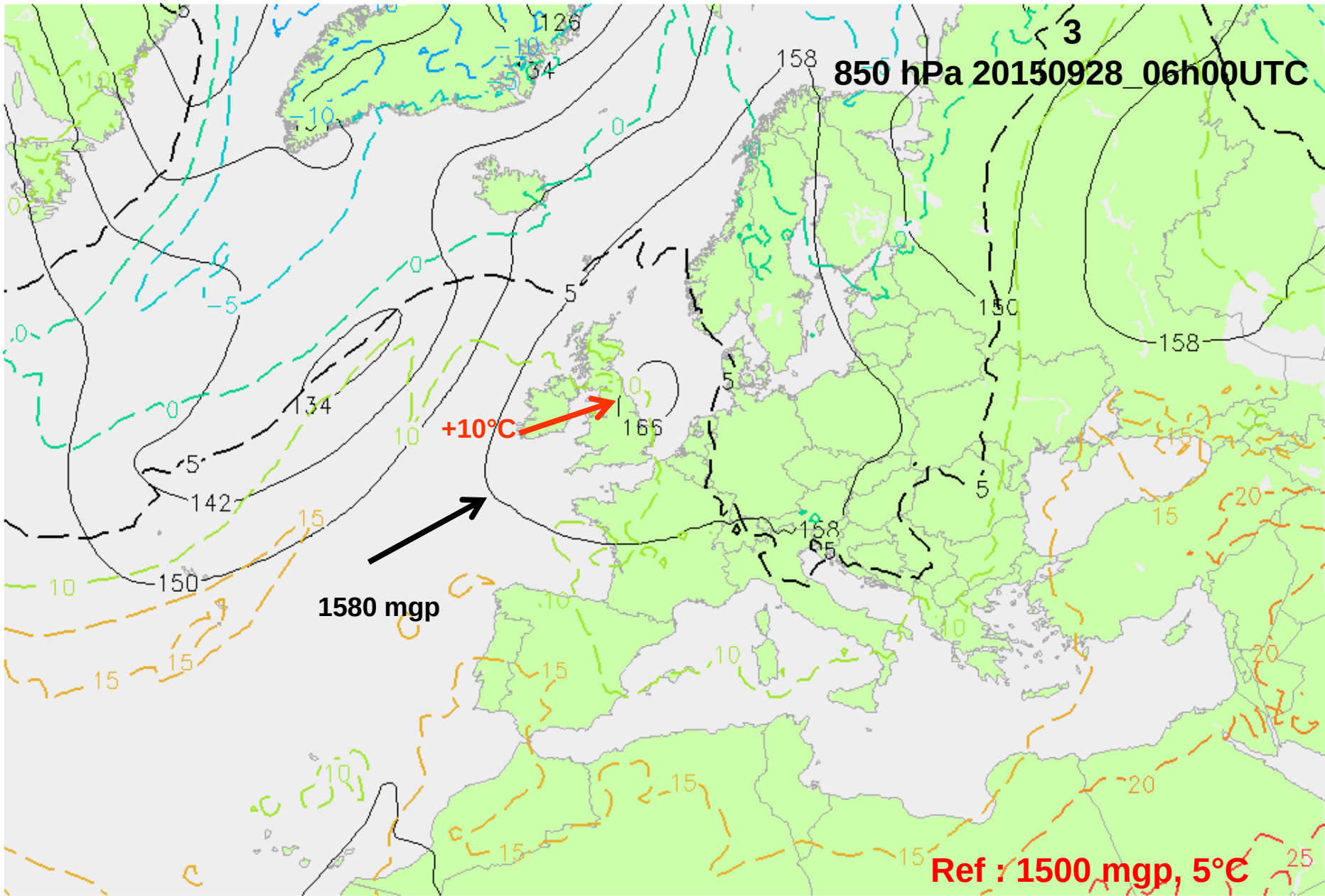
Mon 28/09/15 06UTC (Mon 00+06)



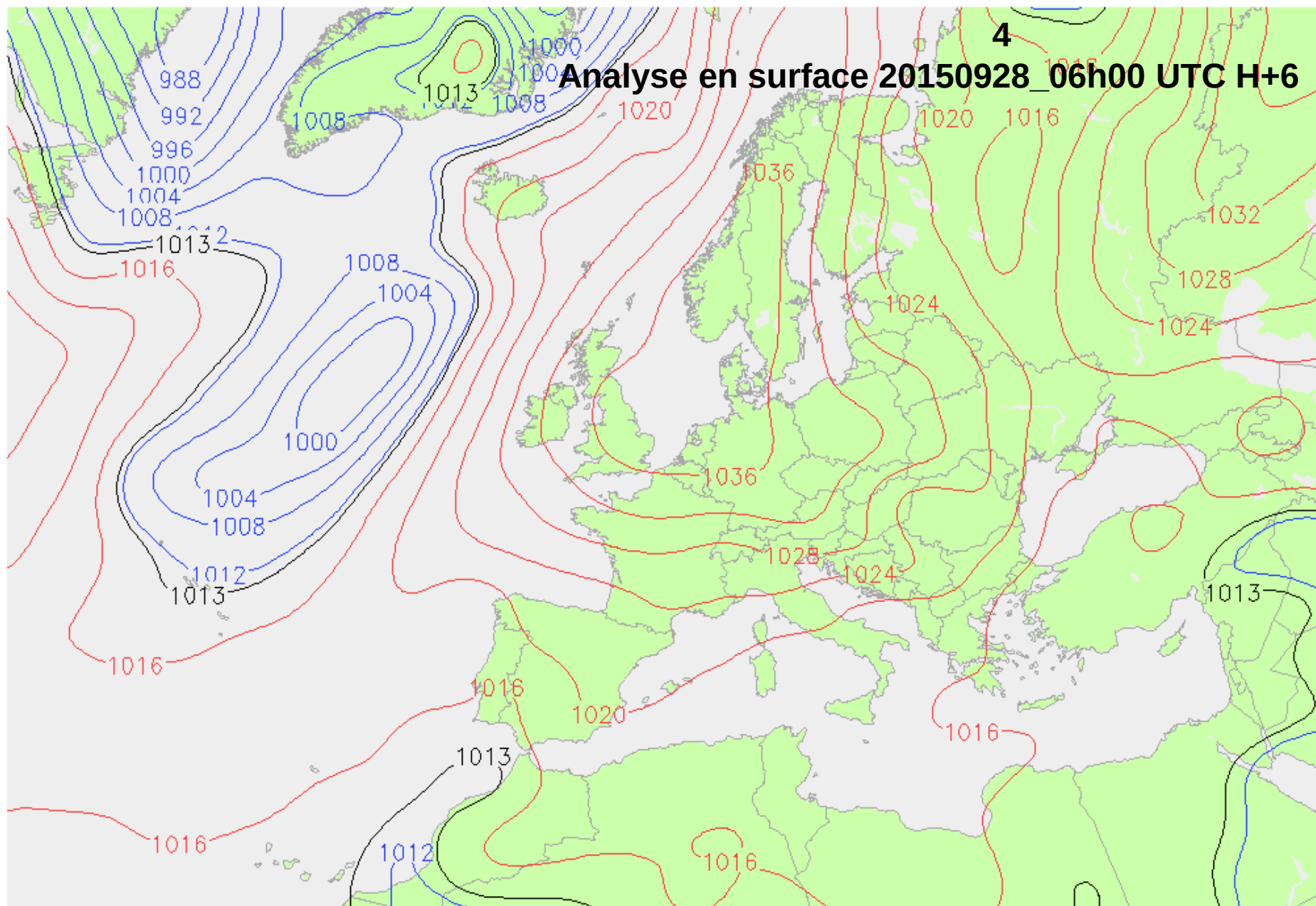


Height (gpdm) & Temp. (°C) in 700 hPa GFS

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

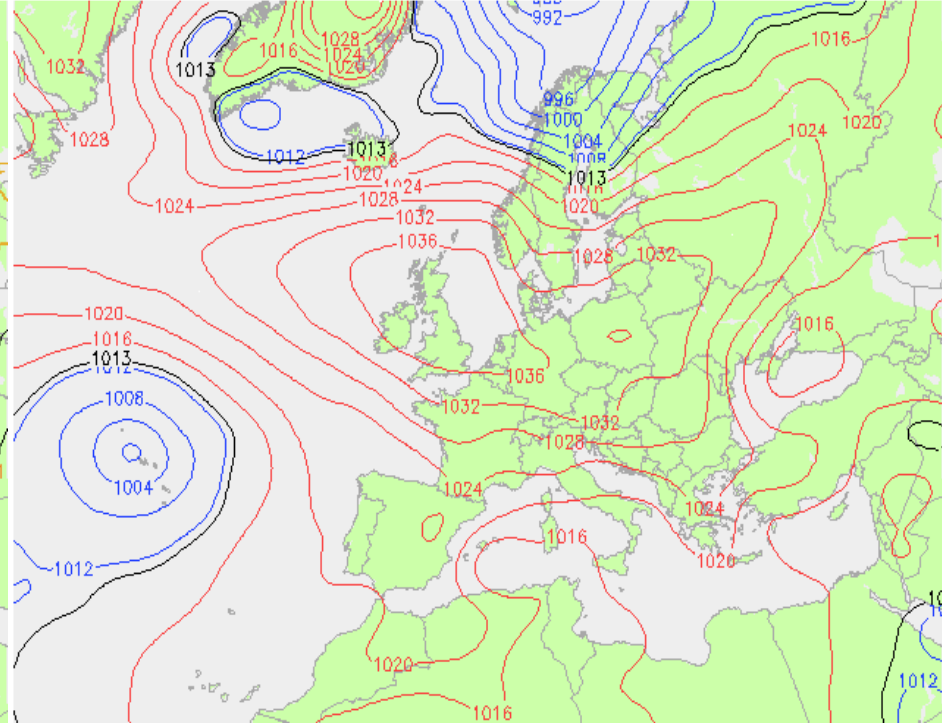
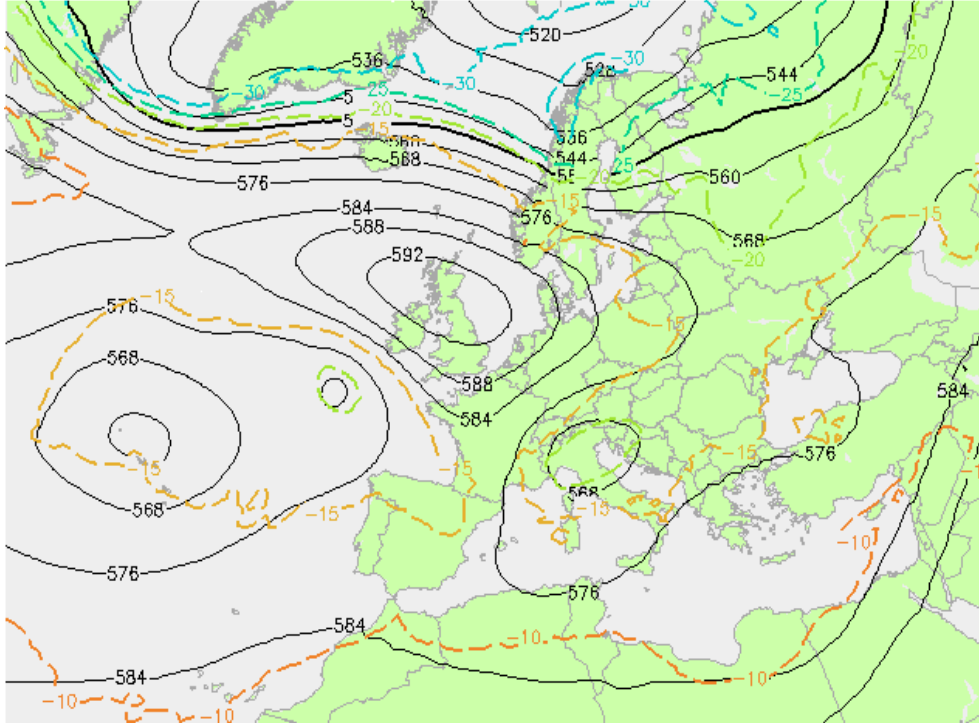






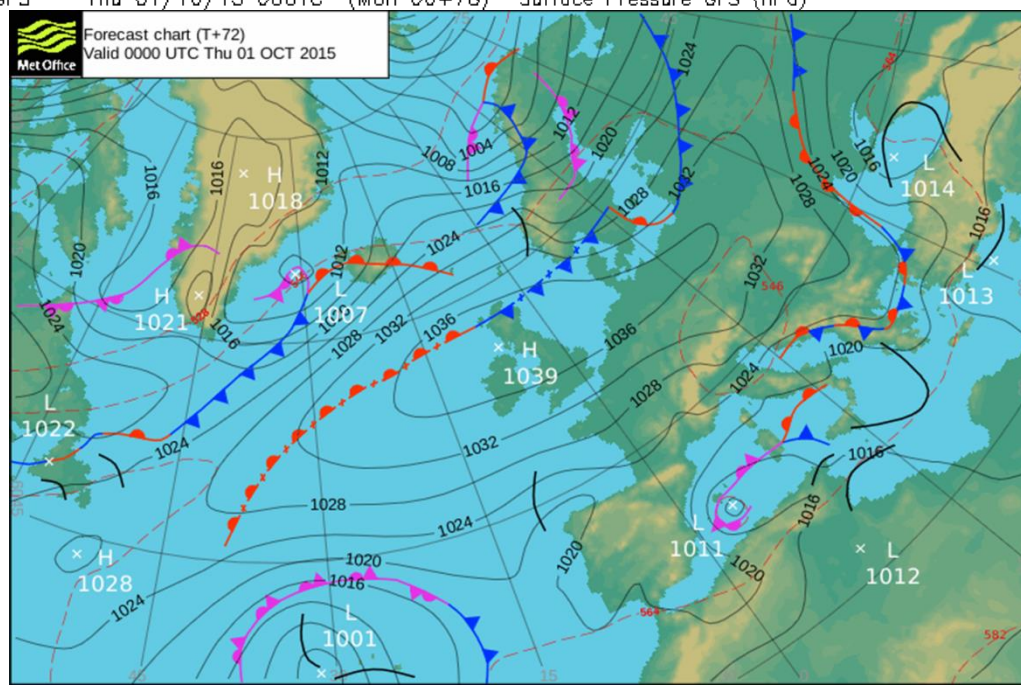
Surface Pressure GFS (hPa)

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



Height (gpdms) & Temp. (°C) in 500 hPa GFS Thu 01/10/15 06UTC (Mon 00+78) Surface Pressure GFS (hPa)

Thu 01/10/15 06UTC (Mon 00+78)  
©weatheronline.co.uk



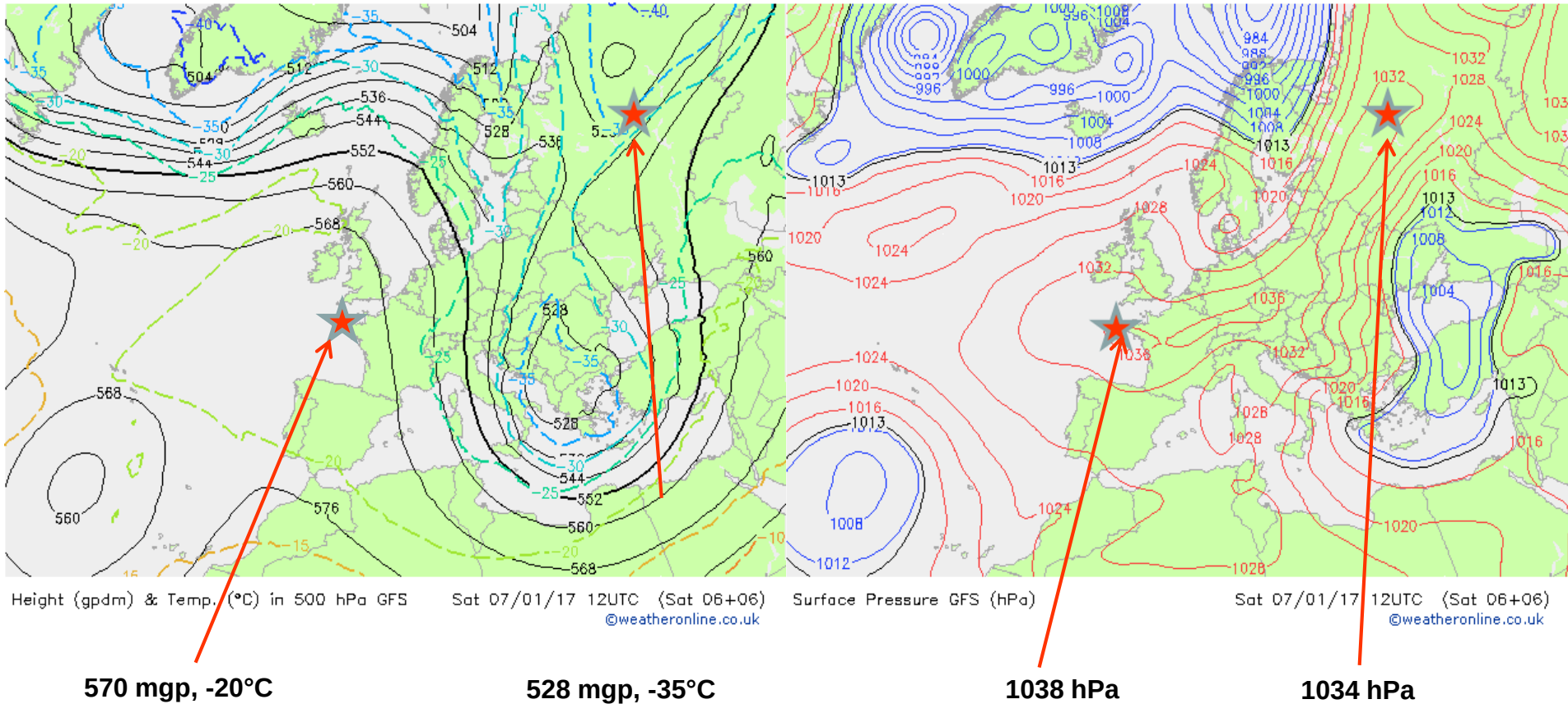
**Correspondance  
500 hPa / P sol**



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

500 hPa

Sol



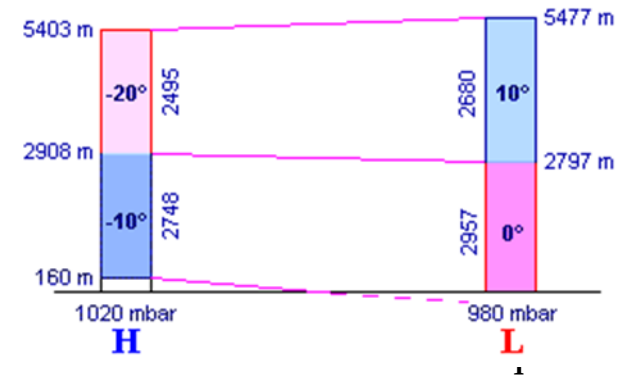
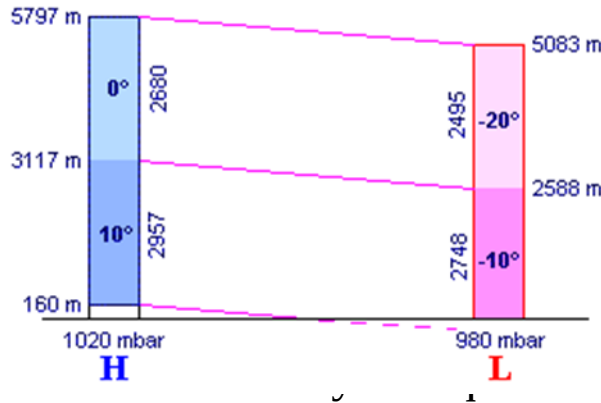
Un anticyclone et une dépression thermiques bien connus ???

# 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.... A plus petite échelle, dépressions thermiques à proximité du littoral sur le pourtour du bassin méditerranéen.



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

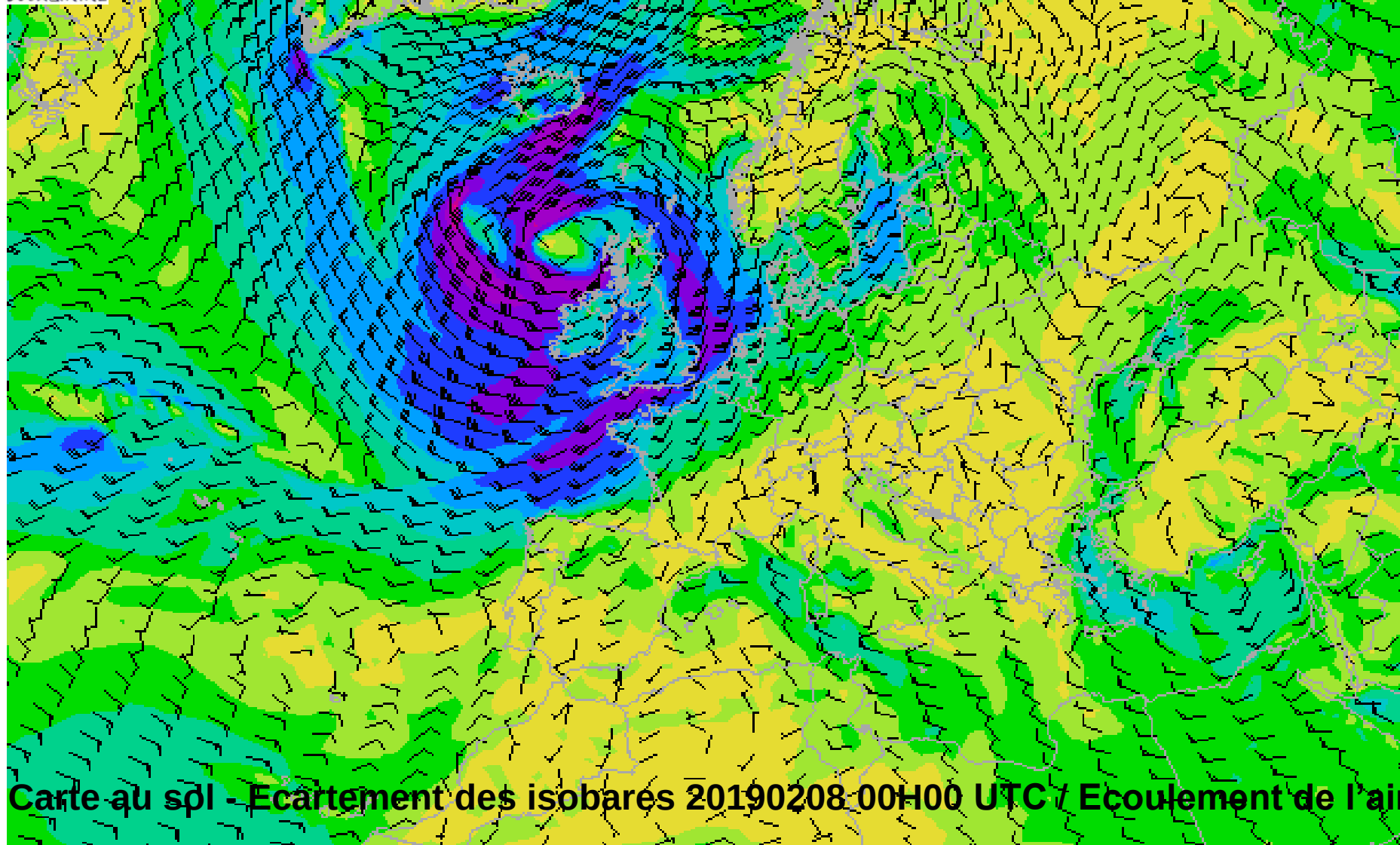


PAUSE

# LE VENT



Champ de vent au sol, direction et force

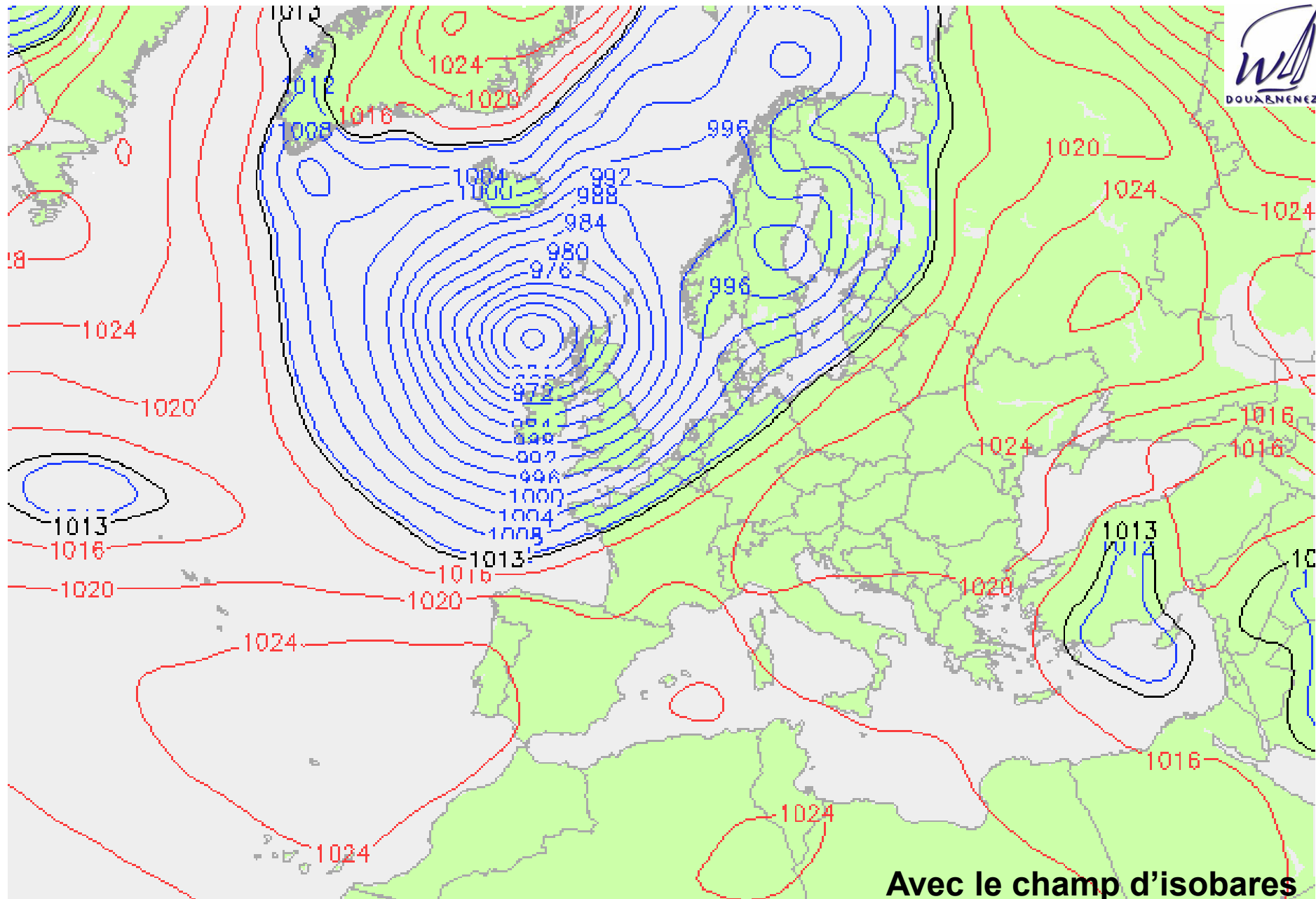


Surface wind [kts] GFS

Fr 08-02-2019 12:00 UTC (06+06)

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

@weatheronline.co.uk



**Avec le champ d'isobares**

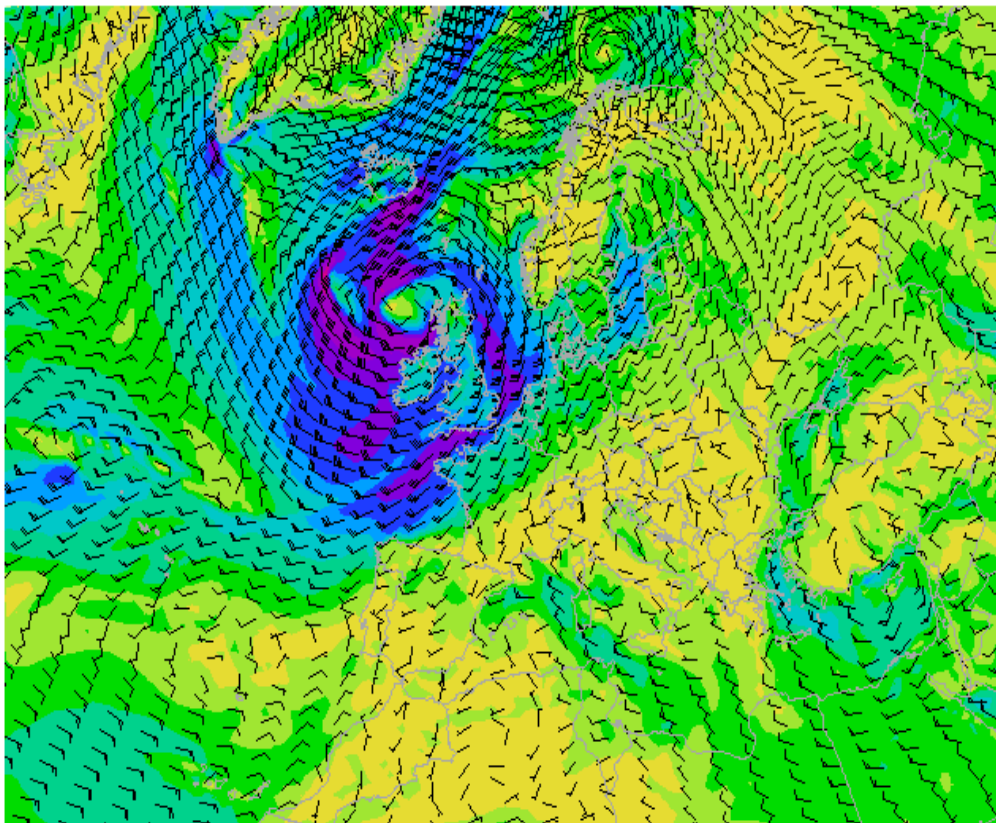
Surface pressure [hPa] GFS

Fr 08-02-2019 12:00 UTC (06+06)

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

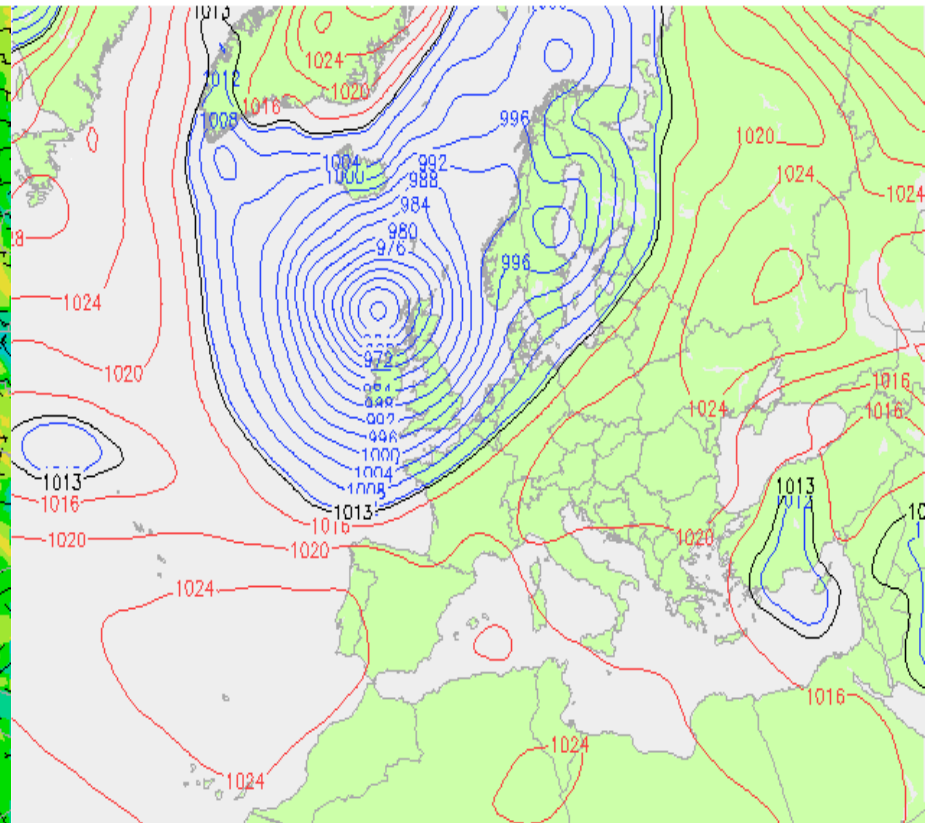


# Le vent : Sens et force du vent 20190208-12H00 UTC



Fr 08-02-2019 12:00 UTC (06+06)

©weatheronline.co.uk



Fr 08-02-2019 12:00 UTC (06+06)

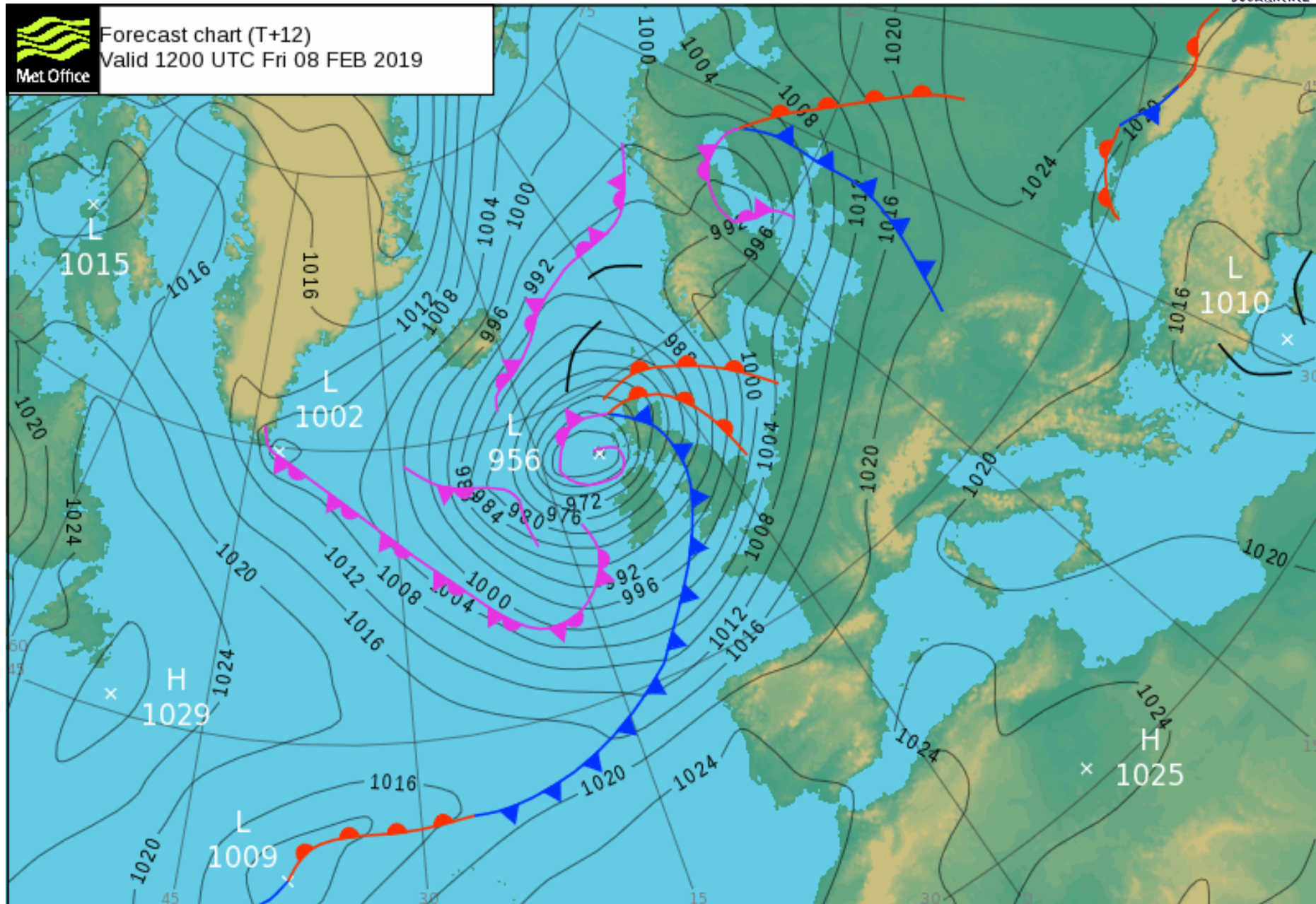
©weatheronline.co.uk

# SENS DU VENT 20190208\_12H00 UTC



Met Office

Forecast chart (T+12)  
Valid 1200 UTC Fri 08 FEB 2019



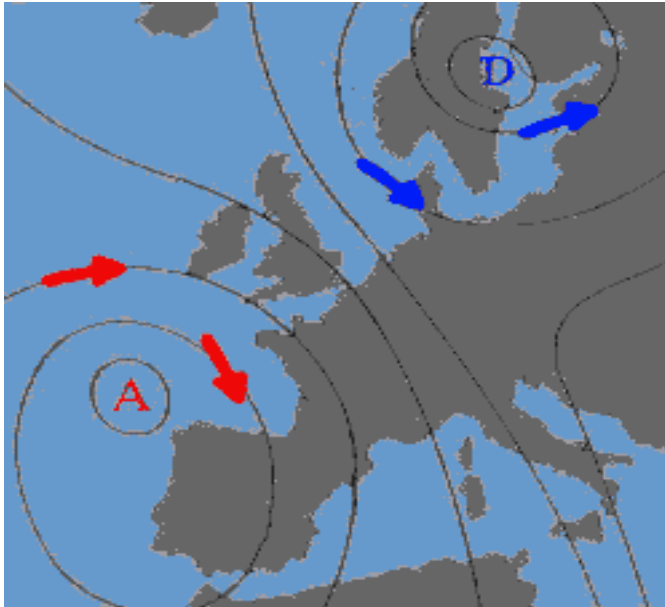


# SENS DU VENT

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

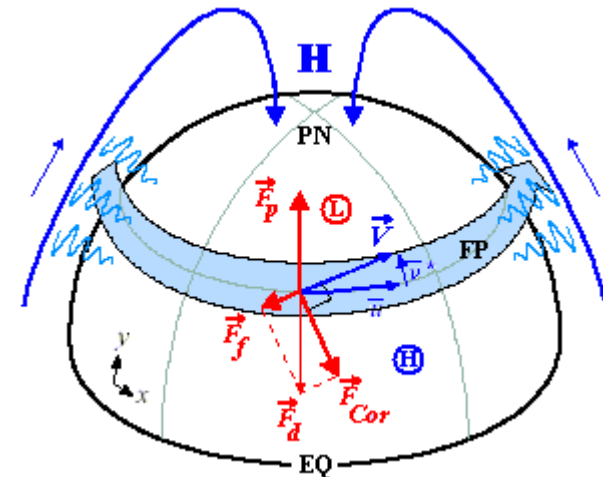
(règle de **Buys Ballots** 1857) .



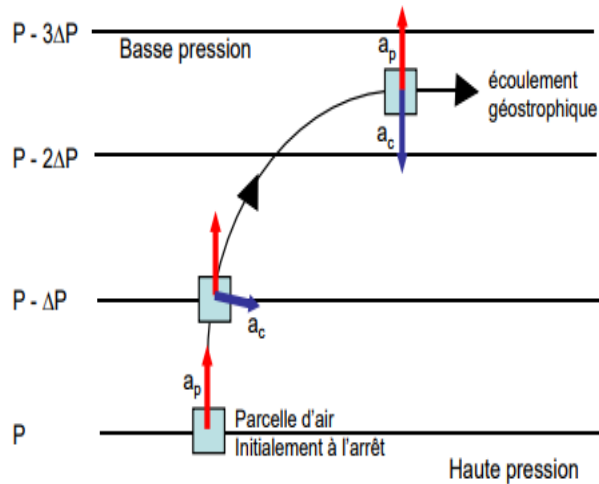
## DIRECTION ET FORCE DU VENT

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.

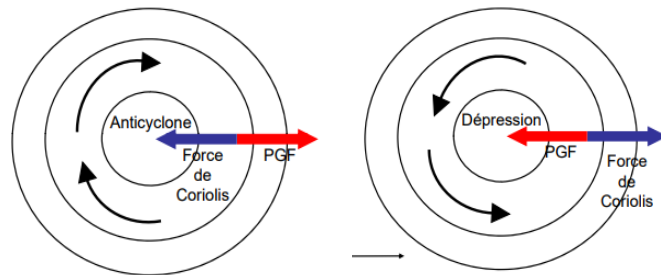


# Vent géostrophique, vent du gradient, vent réel.



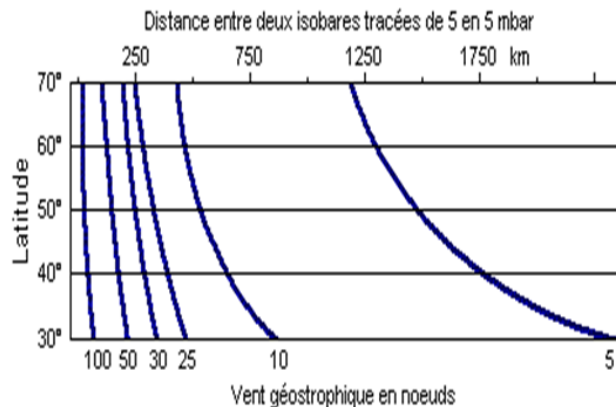
Le gradient horizontal de pression est à l'origine **du vent**. C'est une force dirigée vers les basses pressions qui agit perpendiculairement aux isobares.

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  $F_d = 2 \Omega V \sin \phi$ ,  $\Omega$  étant la vitesse angulaire de rotation de la Terre et  $\phi$  la latitude du lieu (**cyclones, upwelling, spirale d'Ekman...**).



**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 au dessus 1500m).

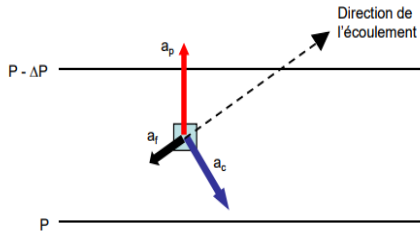
Tangent aux isolignes (isobares - isohypses) (se renforce avec la latitude).



**Vent du gradient** : équilibre entre  $F_P$ ,  $F_{Cor}$  et  $F_{centrifuge}$  (écoulement courbé). Le vent du gradient constitue une bonne approximation du vent réel en atmosphère libre.

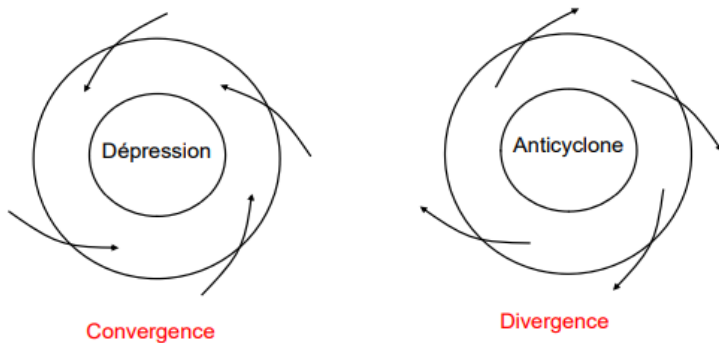


# LE VENT DANS LA COUCHE DE FROTTEMENT



## Vent réel au sol

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)

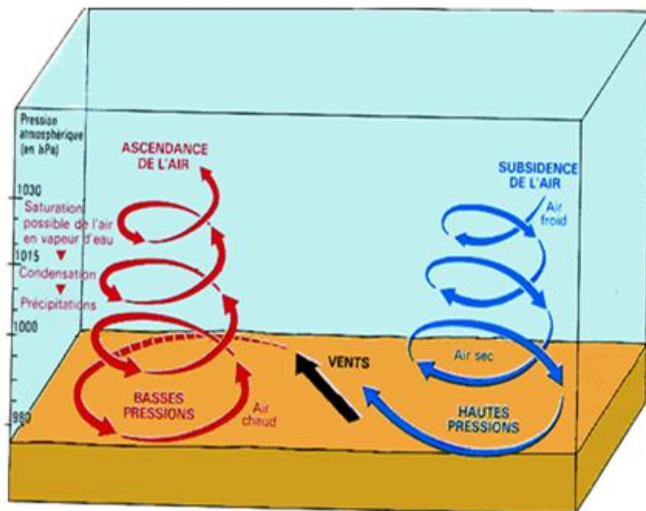


## Les forces de frottement :

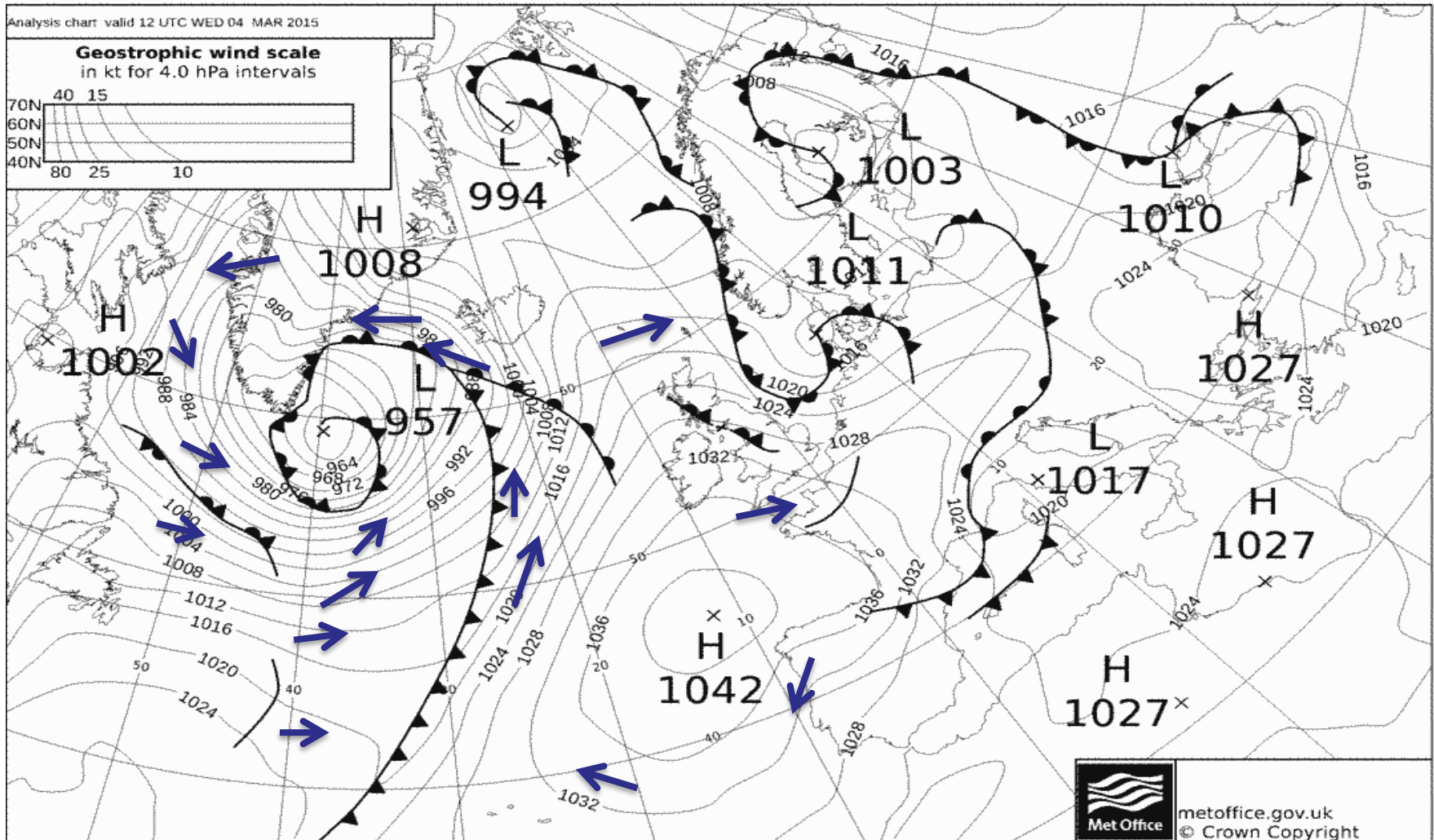
- réduisent fortement la force du vent géostrophique (-30/-40%) ;
- modifient la direction du vent (15° sur mer, 30° sur terre, réduction de  $F_c$ , divergence autour A, convergence autour D → vent sort de l'anticyclone et entre dans la dépression) ;
- diminue rapidement avec l'altitude ou le vent réel se rapproche du vent géostrophique ;
- peuvent modifier l'écoulement de l'air en altitude (nuages d'ondes).

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

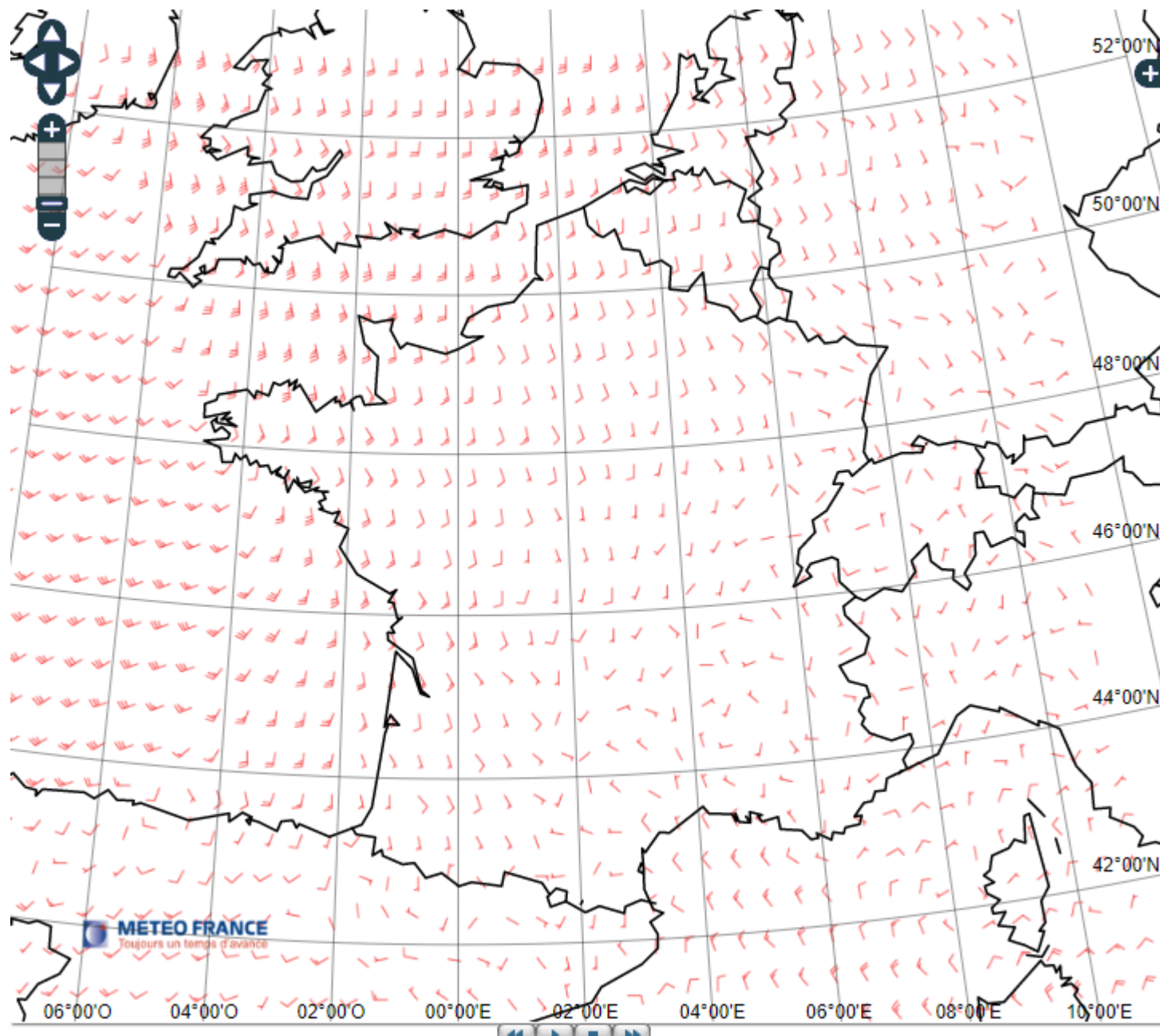
La stabilité ou l'instabilité de l'air (air chaud sur mer froide ou air froid sur mer chaude)  $\Delta \pm 3$  nds convection sur courant chaud (contenu thermique de la couche de mélange océanique).



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



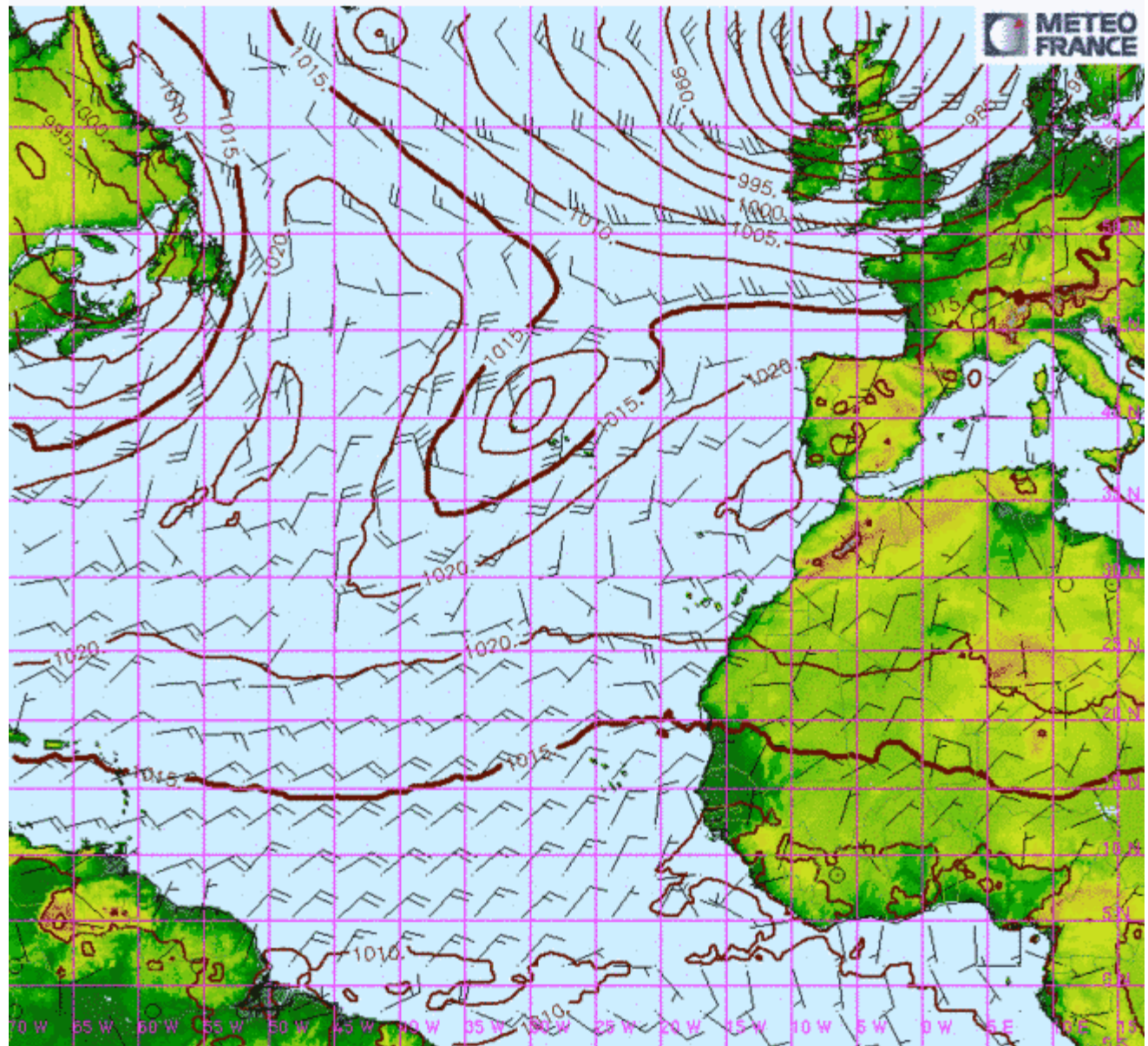
**Météo France**  
**Modèle**  
**Arome**  
**20180214**  
**12h00 UTC**





Vent a 10M et isobares

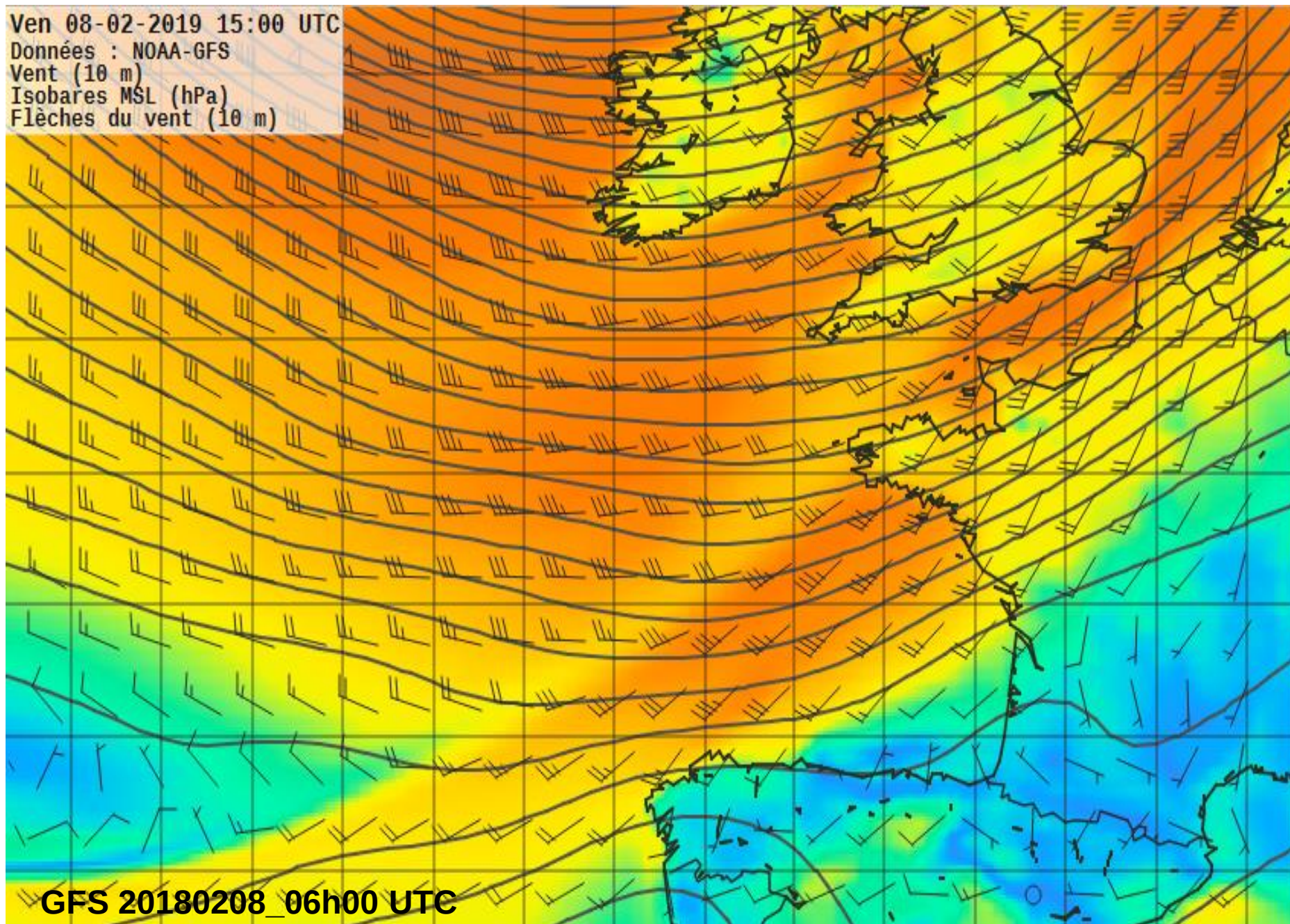
pour le 09/02/19 01Hloc (Echeance/reseau modele:12h)



Météo  
France  
Modèle  
Arpège  
20190209  
00h00 UTC

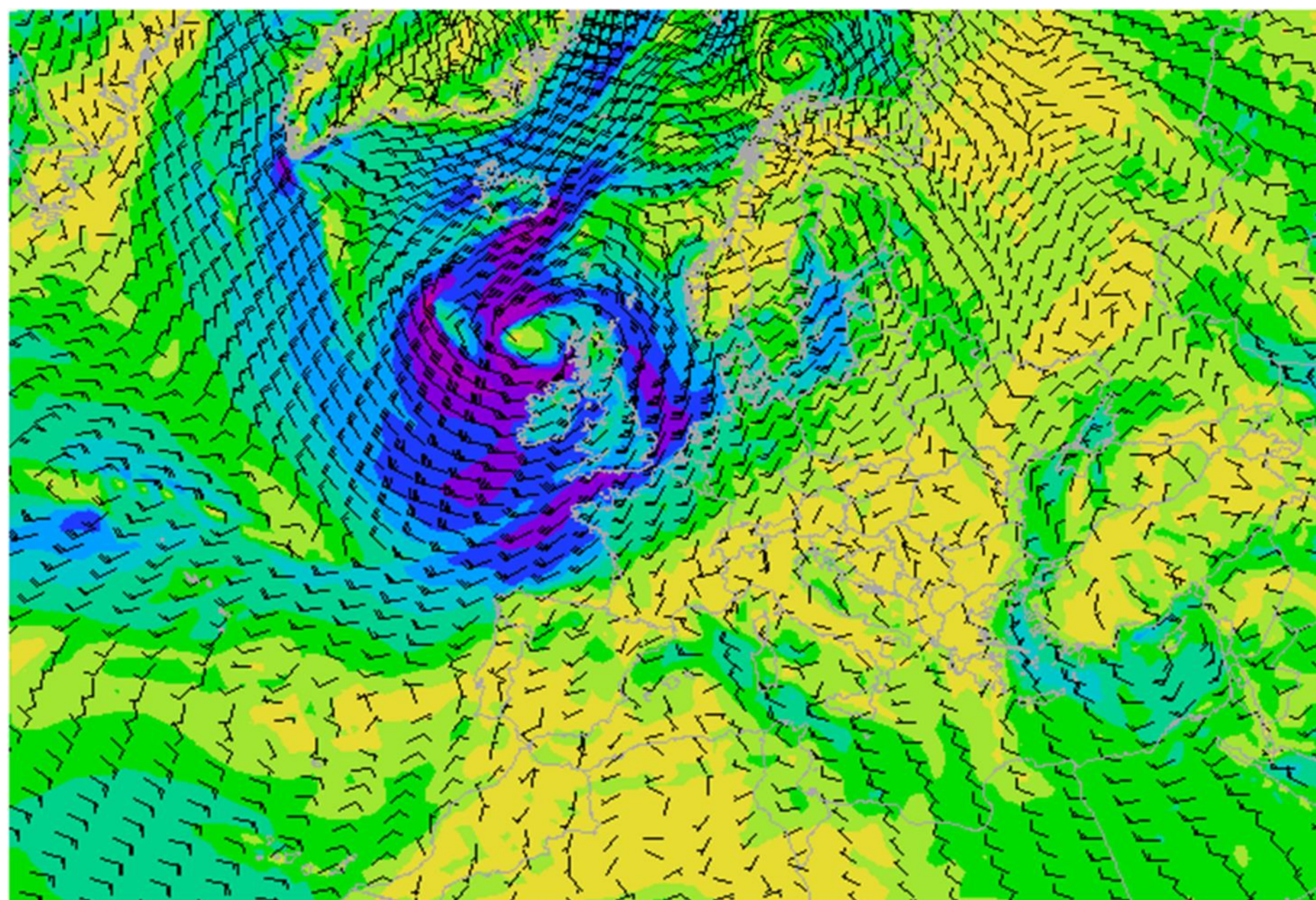


Ven 08-02-2019 15:00 UTC  
Données : NOAA-GFS  
Vent (10 m)  
Isobares MSL (hPa)  
Flèches du vent (10 m)



GFS 20180208\_06h00 UTC





Surface wind [kts] GFS

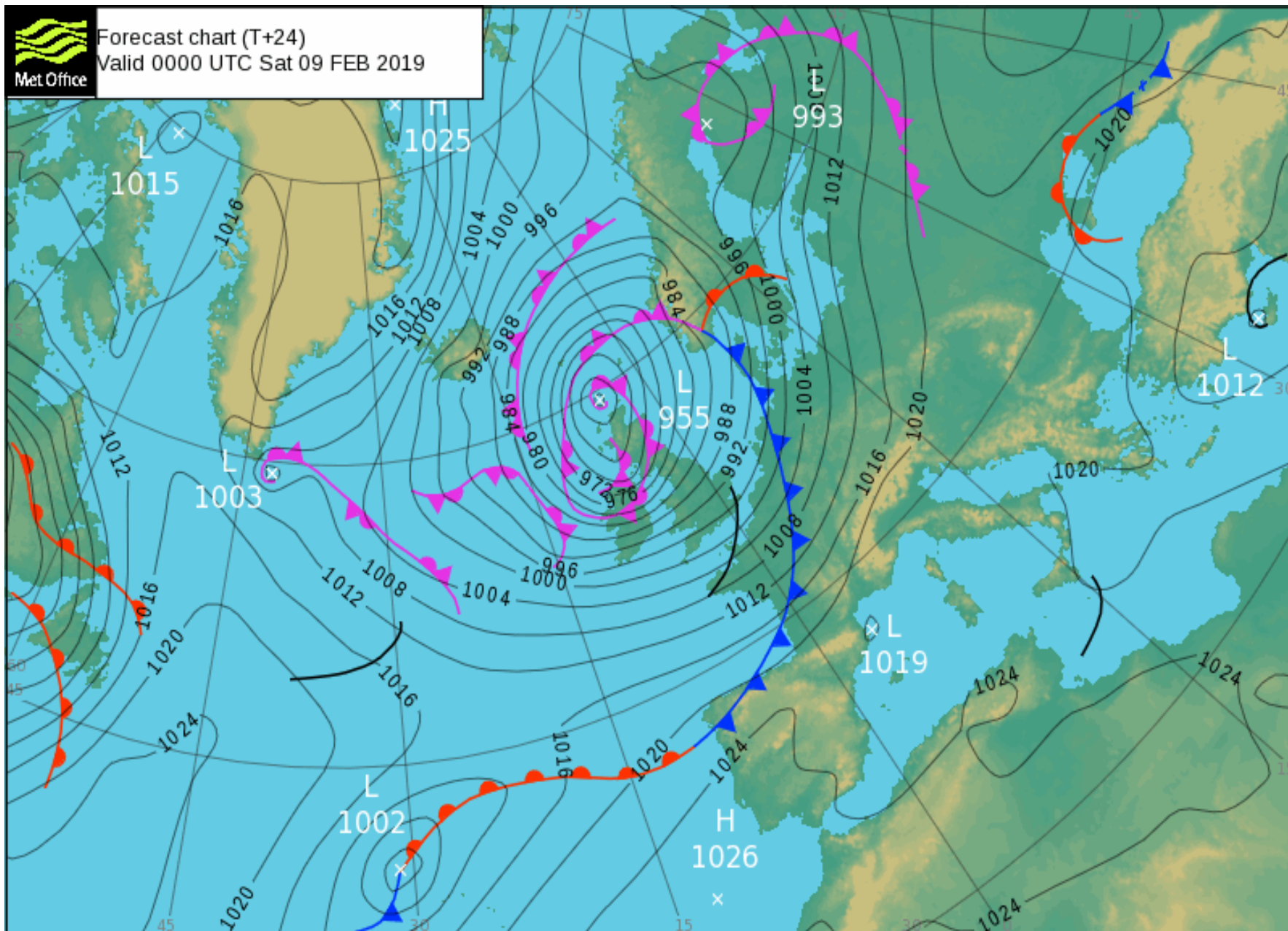
Fr 08-02-2019 12:00 UTC (06+06)

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

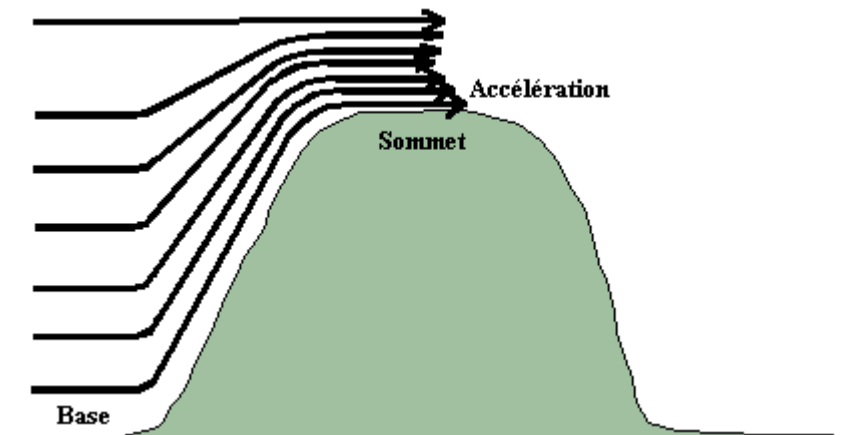
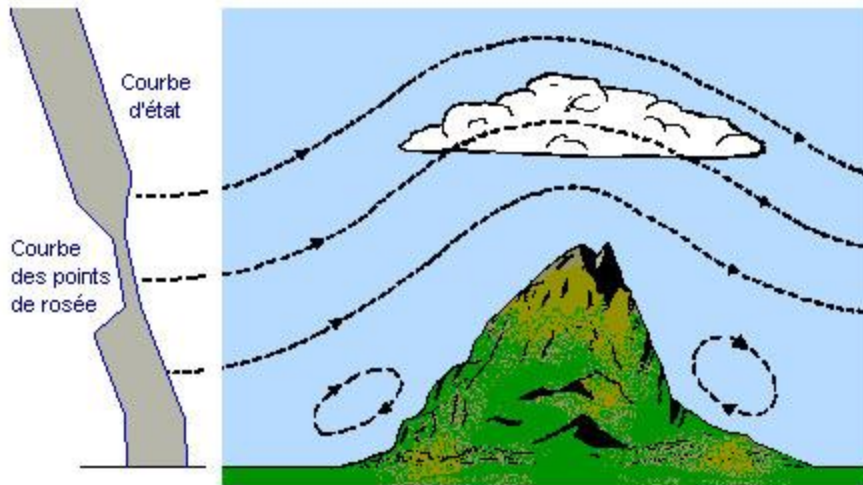
©weatheronline.co.uk



20190208 00H00 UTC H+24



# 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 ;

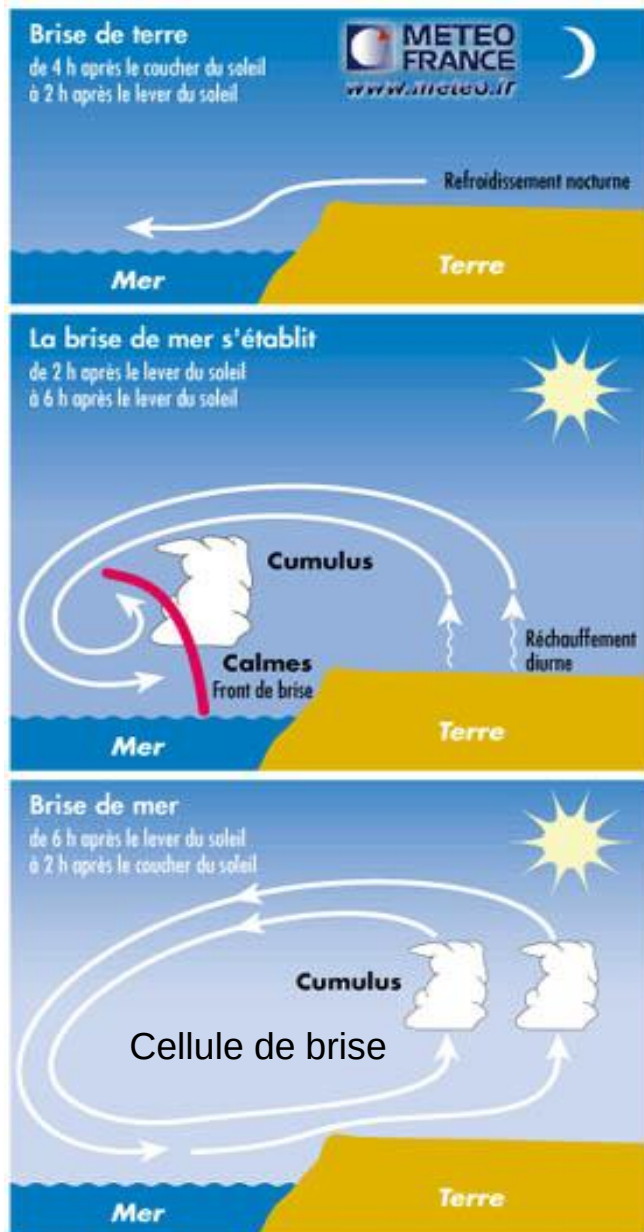
Tend à s'orienter plus à droite en journée.

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

Action sensible des nuages élevés (cirrus).

Brise de terre moins marquée (stabilité) mais favorise parfois l'apparition de brouillard côtier.

Incidence parfois sensible de la brise sur vent synoptique (attention vents d'Est pointe de Bretagne la nuit, vents NW le jour – dépressions thermiques près du littoral sur bassin méditerranéen).



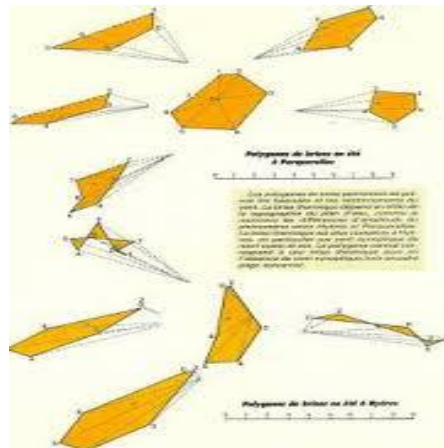
## Polygones de brise

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 :

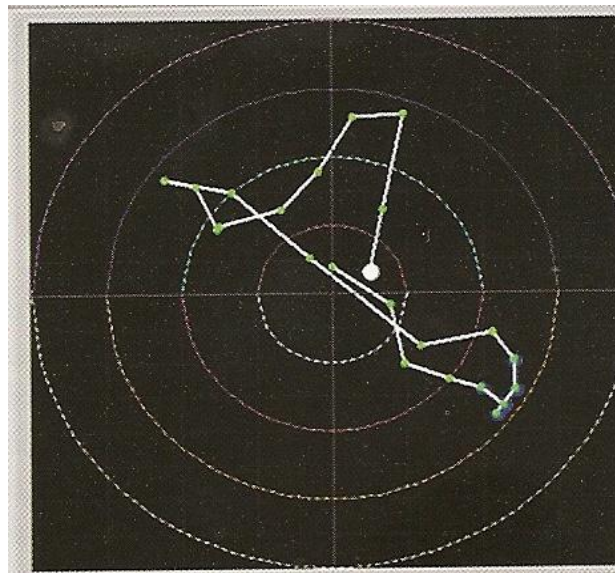
21 bouées en place depuis juin 2005, 6 bateaux et 6 sites à terre, 1 profileur de vent entre 200 et 3000 m à terre : 1 paquet de données toutes les 15 secondes en temps réel jusque 5 minutes avant le départ.

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

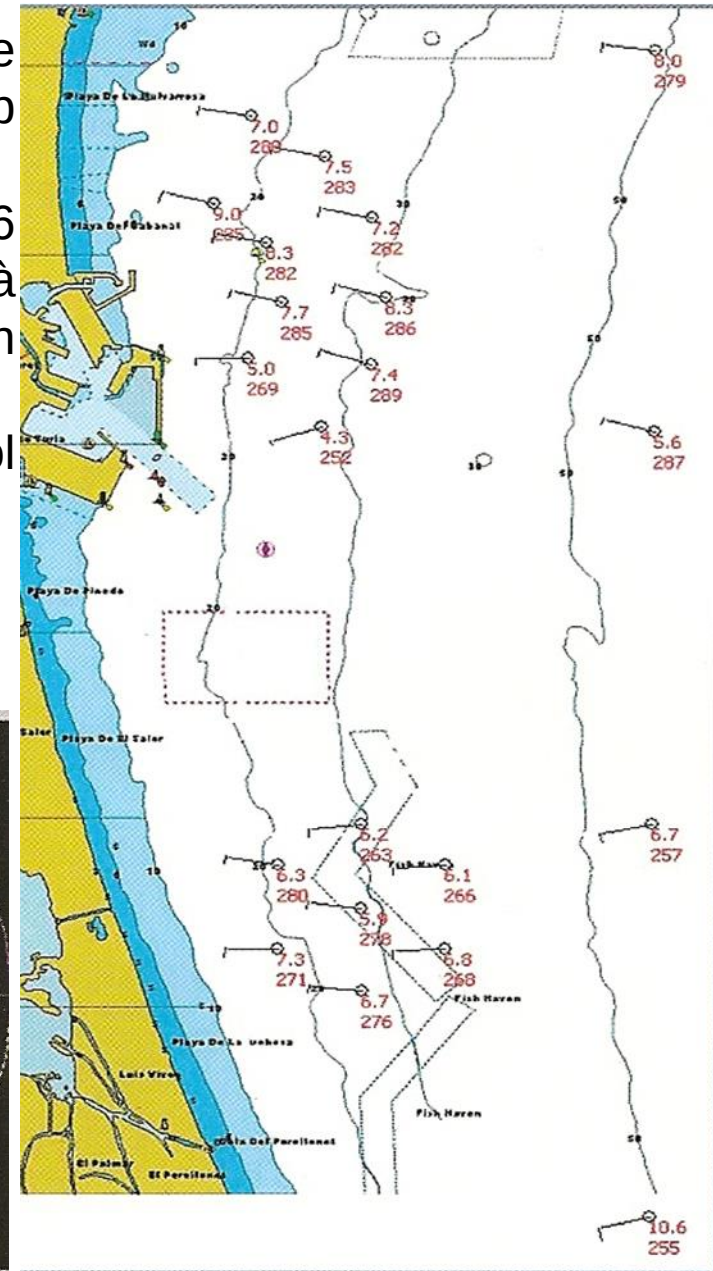
Autres exemples de polygones de brise



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** –  $DD + 30^\circ$ .

**Etat de la mer** : mer du vent + houle.



- 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 :  $C \text{ (nds)} = 3T \text{ (S)}$  :

- P 5s  $\rightarrow$  V 15 nds  $\rightarrow$  L 39 m

- P 8s  $\rightarrow$  V 24 nds  $\rightarrow$  L 99 m

- P 12s  $\rightarrow$  V 36 nds  $\rightarrow$  L 222 m.

- Si fond  $\leq \frac{1}{2}$  longueur d'onde, la houle “sent le fond”

- Propagation: vitesse de propagation des ondes courtes (houle) proportionnelle à leur longueur d'onde.

- Seule l'énergie se propage.



## 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).

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

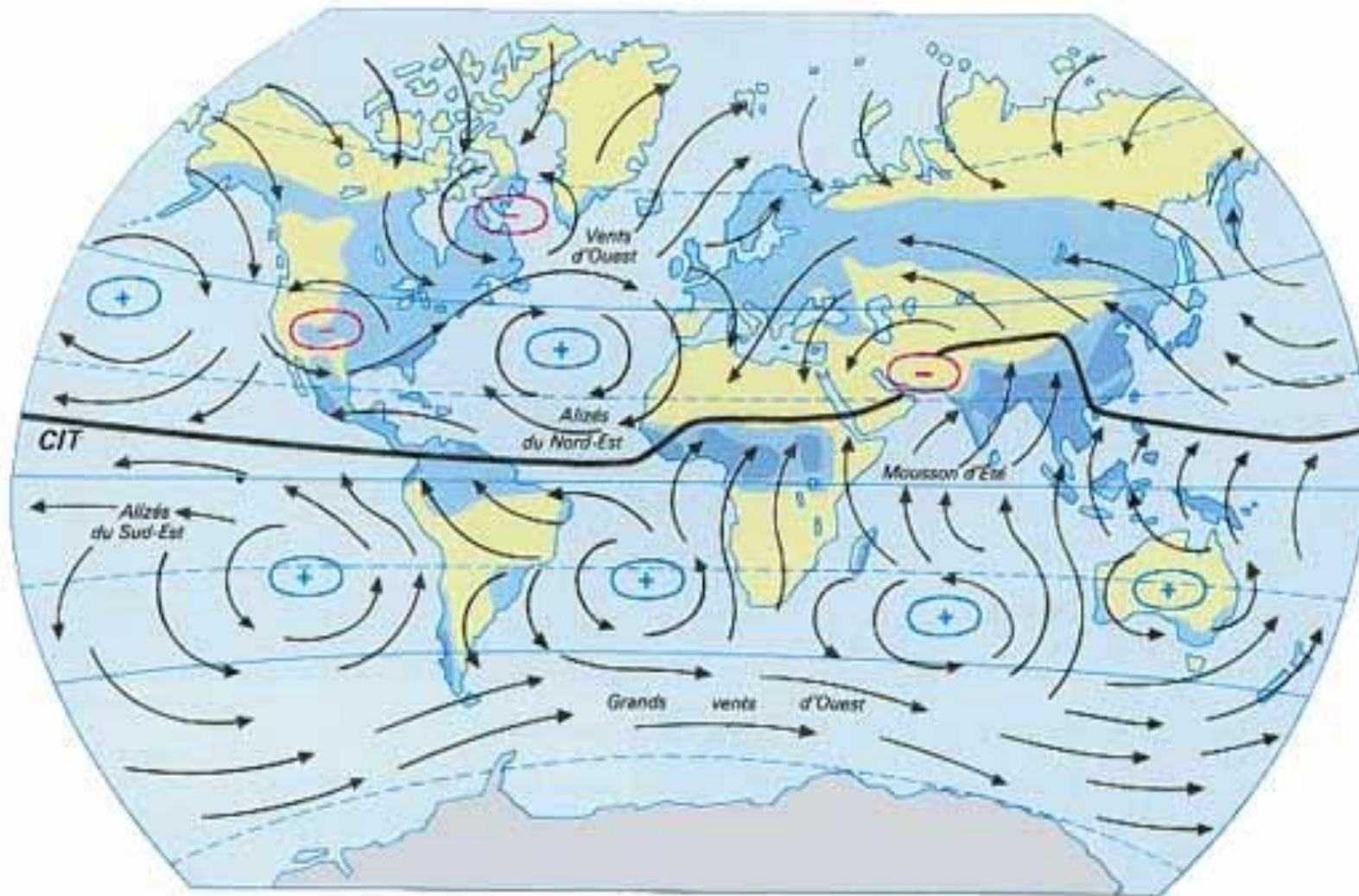


Les houles de plus grande longueur d'onde (les plus puissantes) se propagent plus loin que les houles de faibles longueurs d'ondes.

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

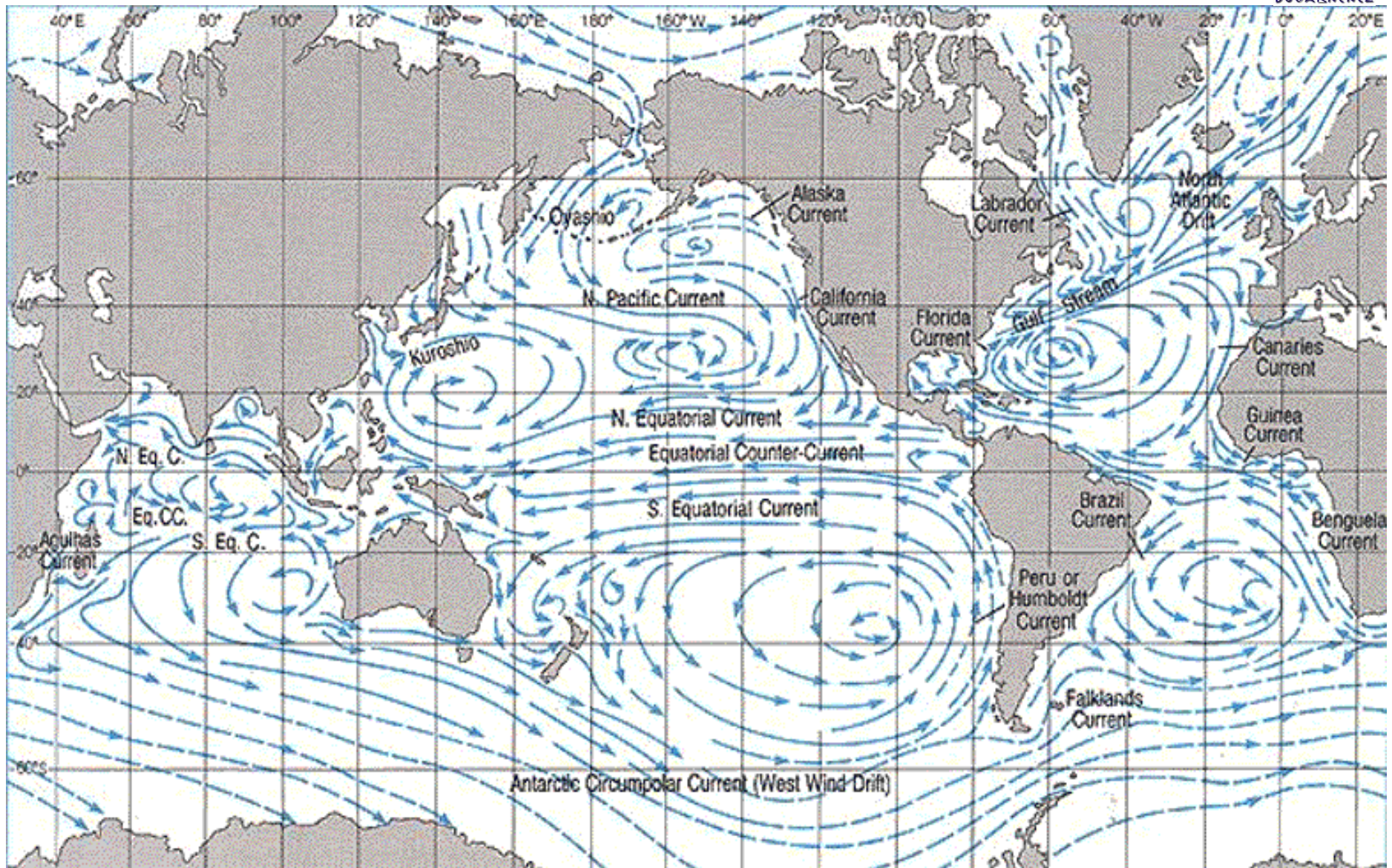
- Marée de tempête
- Mer hachée : courant avec ou contre le vent
- Vagues scélérates
- Courants de dérive

# LA CIRCULATION GENERALE ATMOSPHERIQUE EN SURFACE (été boréal)





# Les grands courants océaniques : courants de dérive



# ETAT DE LA MER



| Force | Termes descriptifs | Hauteur moyenne<br>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)



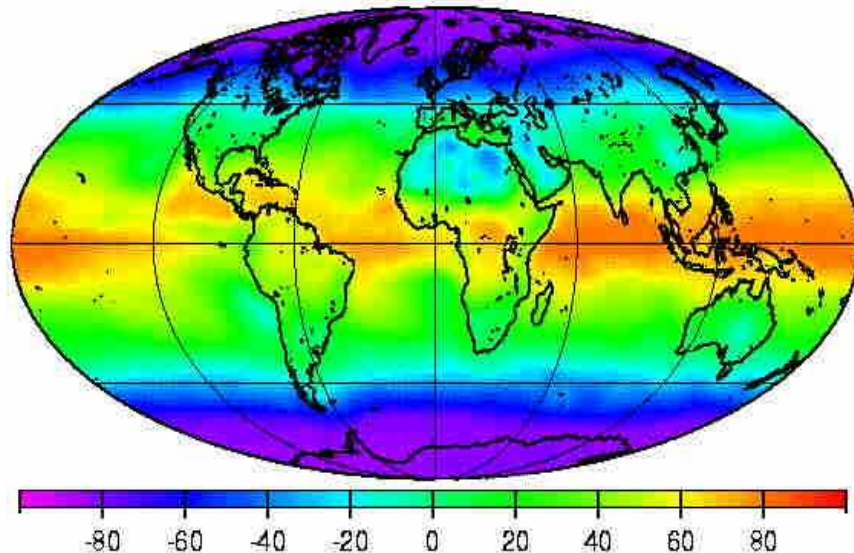
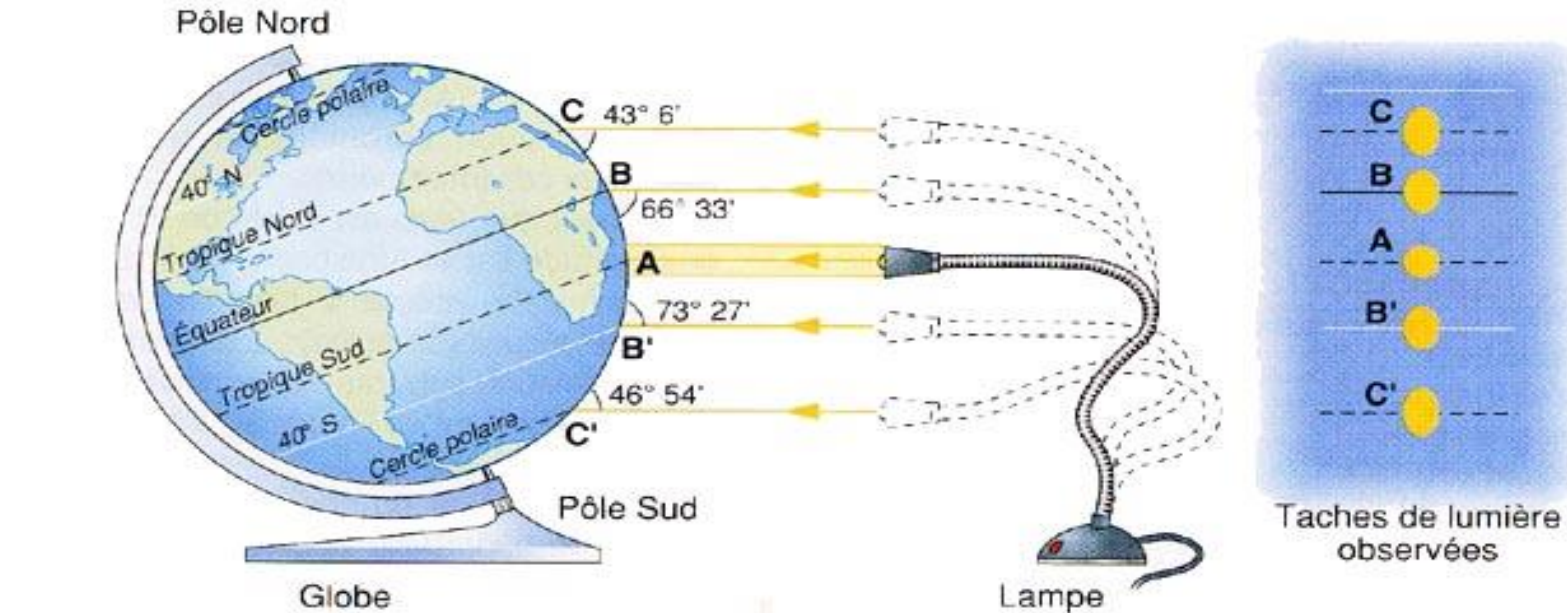
## 2 – Frontologie

2.1 le bilan radiatif.

2.2 la circulation générale atmosphérique.

2.3 les masses d'air.

# BILAN RADIATIF



Le flux solaire reçu par les couches les plus élevées de l'atmosphère est d'environ  $342 \text{ W.m}^2$  en moyenne annuelle (30% atteint le sol, 70% absorbé, réfléchi,...).

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

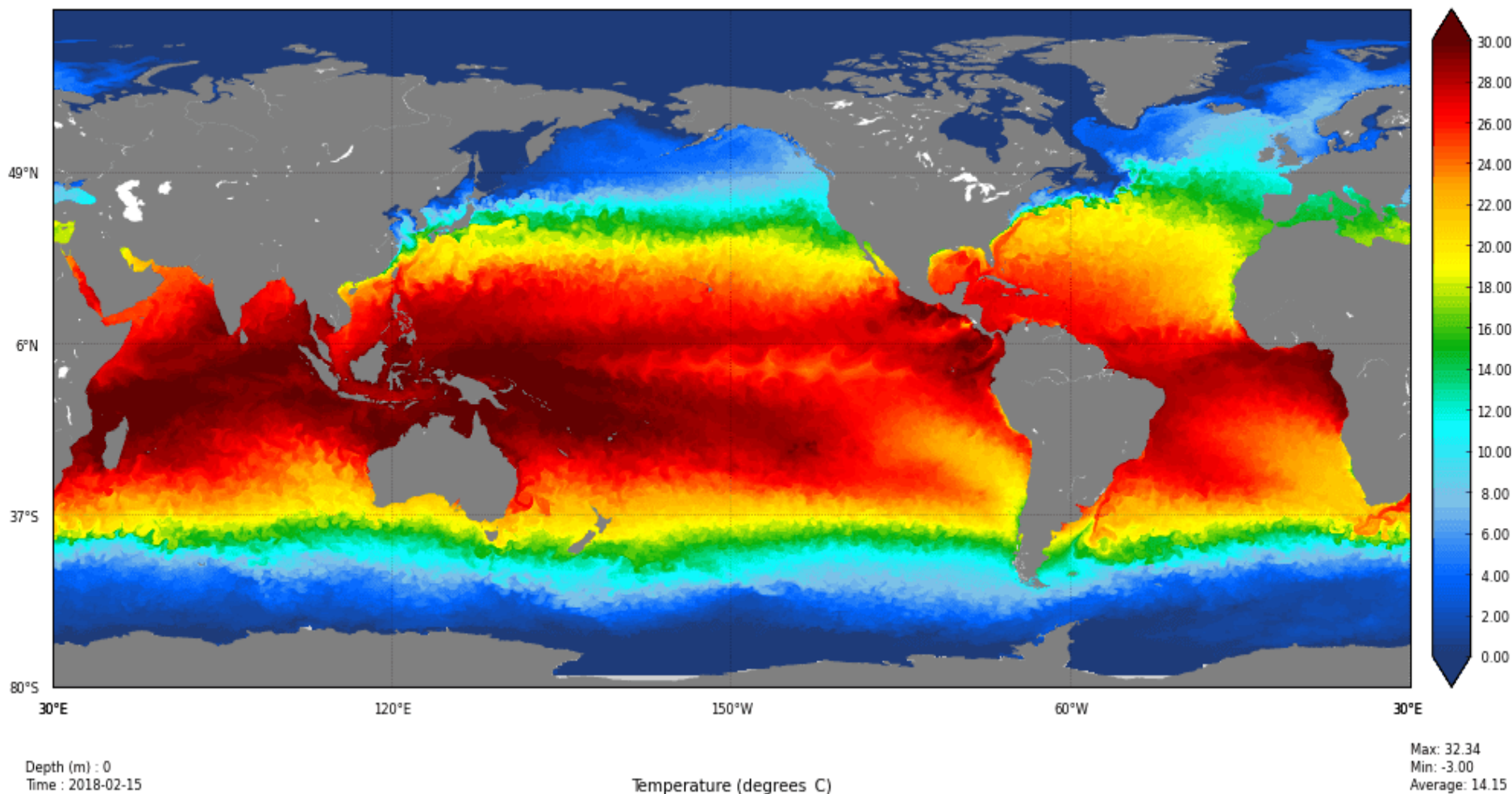
Bilan global nul : Echanges d'énergie par les grands courants océaniques et atmosphériques.



# Les grands courants océaniques principaux vecteurs de la stabilité du climat



Daily Global Physical Bulletin 1/12° (PSY4QV3R1)  
Date: 2018-02-24 (9-day forecast)  
Global



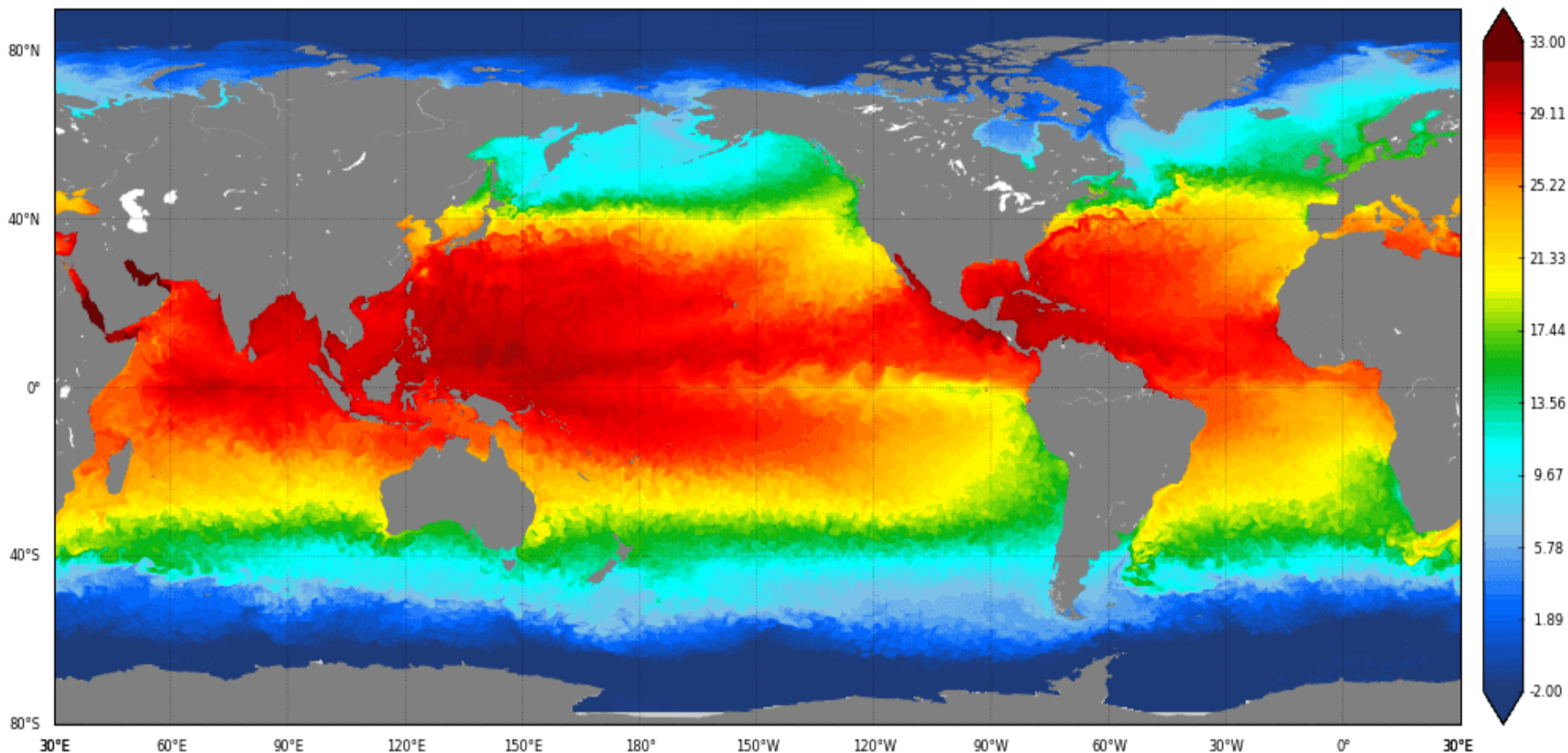
# Mercator Océan base 20170915



Daily Global Physical Bulletin 1/12° (PSY4QV3R1)

Date: 2017-09-15 ( analysis )

Global



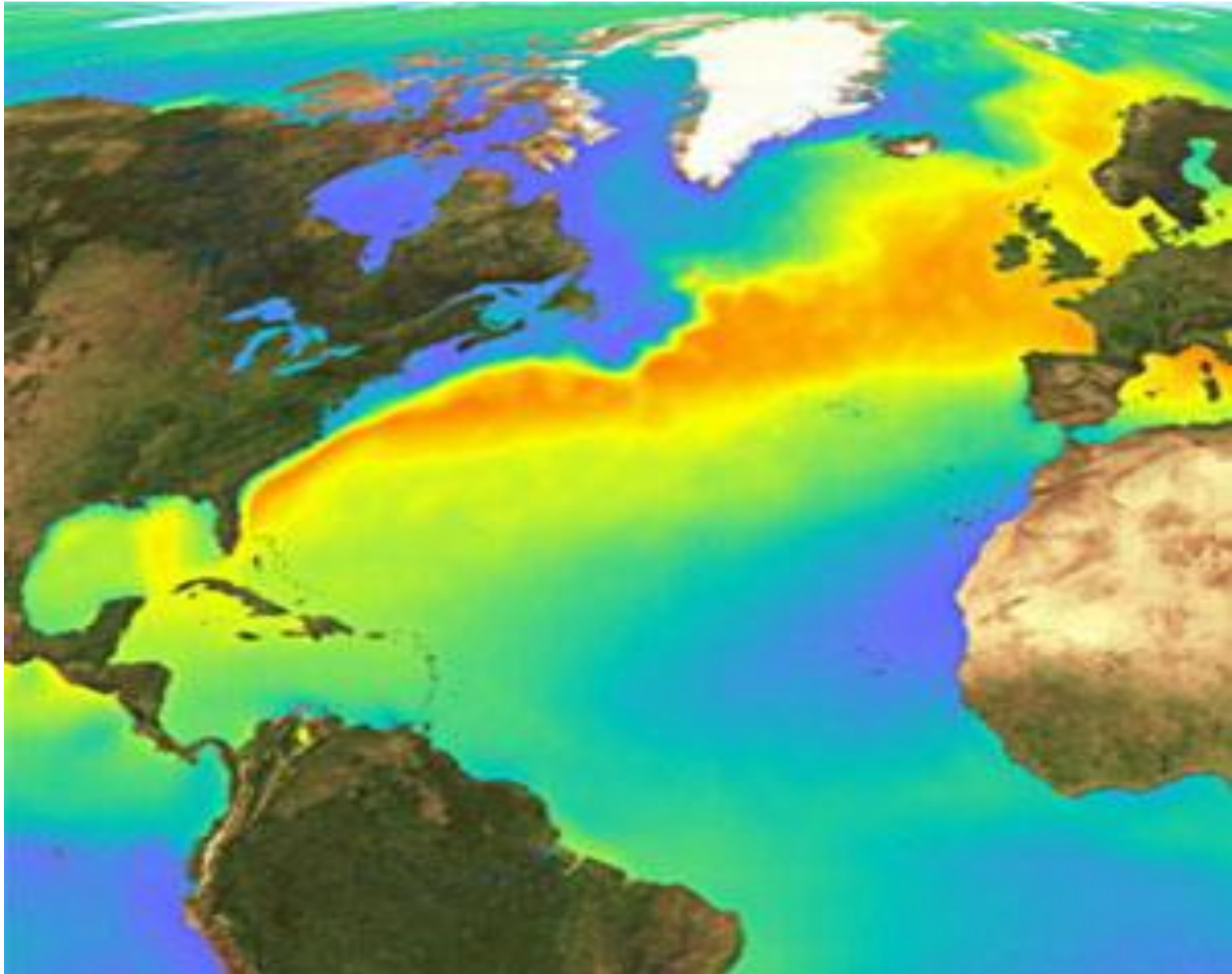
Depth (m): 0  
Run Date: 2017-09-16

Temperature (Degrees Celsius)

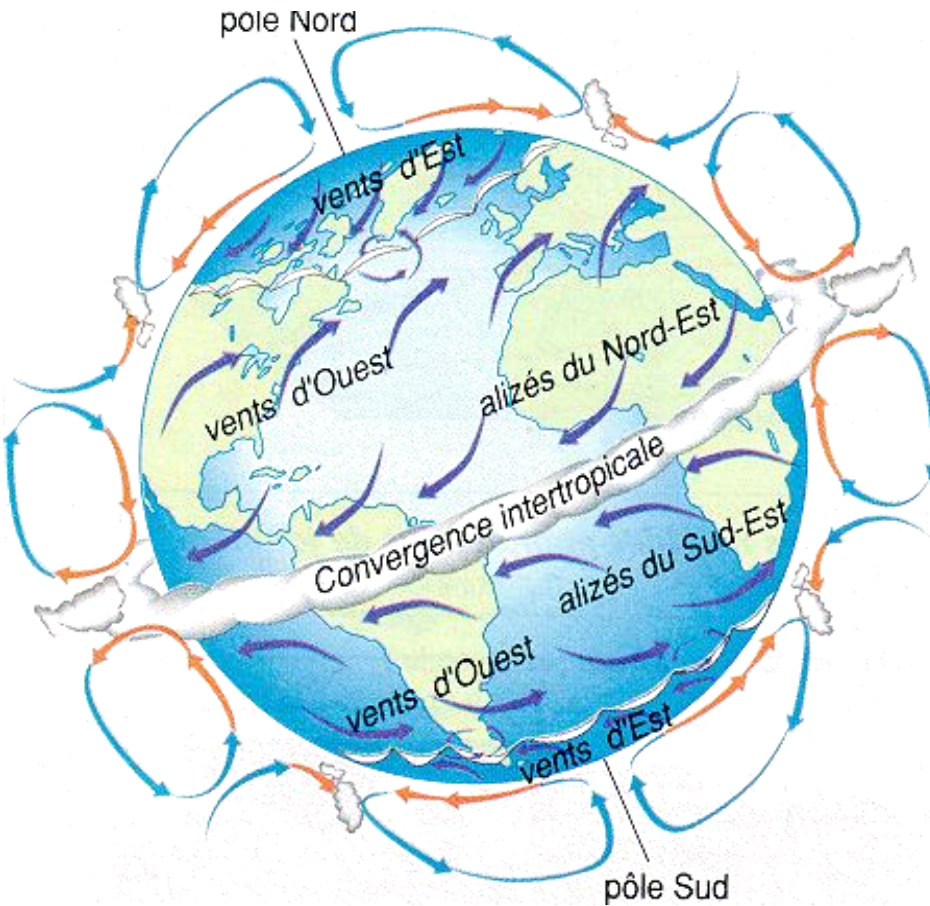
Max: 34.97  
Min: -2.21  
Average: 14.19



# LA CIRCULATION GENERALE OCEANIQUE ET TRANSFERT D'ENERGIE VERS LES HAUTES LATITUDES (ATL NORD)

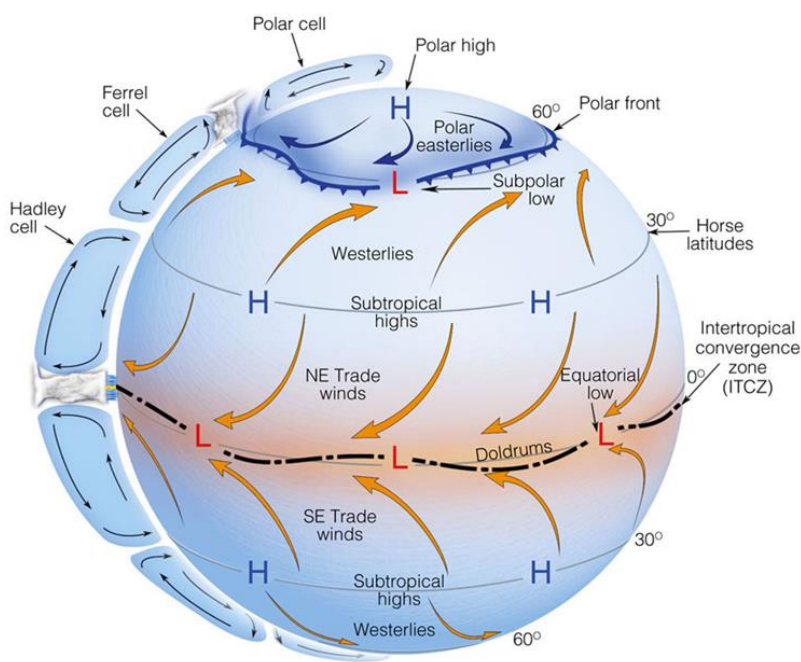


# LA CIRCULATION GENERALE ATMOSPHERIQUE

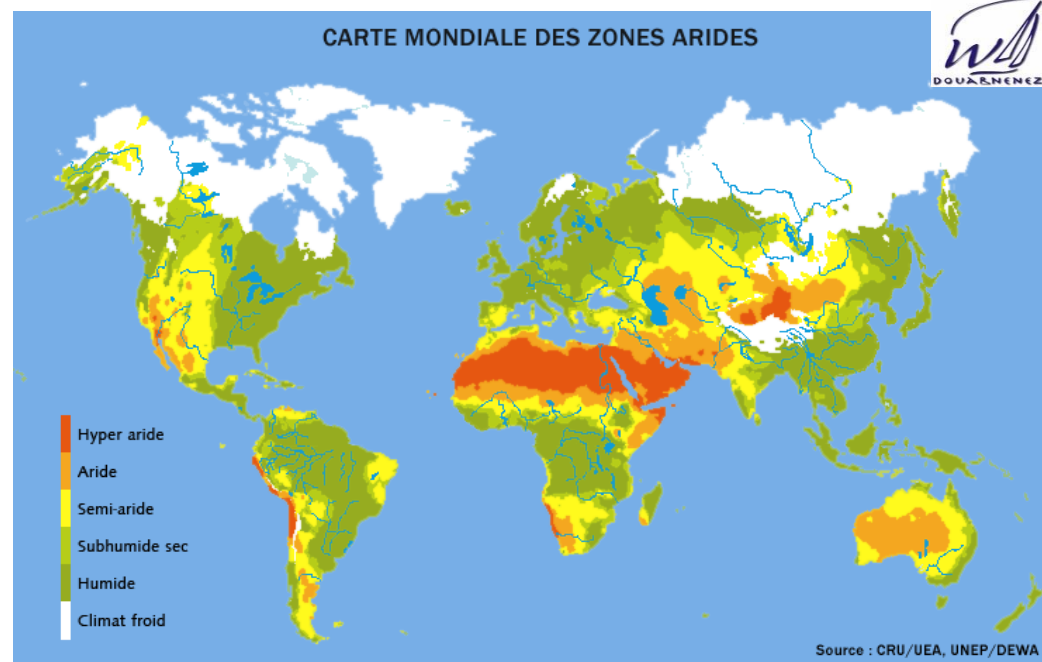


- Circulations zonale et méridienne.
- Transfert d'énormes quantité d'énergie (vapeur d'eau) entre zones à bilan radiatif positif et négatif par 6 cellules convectives fermées (Halley (Eq/30°), Ferrel (30°/60°), cellules polaires générant de vastes zones de courants ascendants ou descendants et assurant 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 ;
- Alizés de secteur Est ;
- Circulation générale d'Ouest ;
- Front polaire ;
- 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.

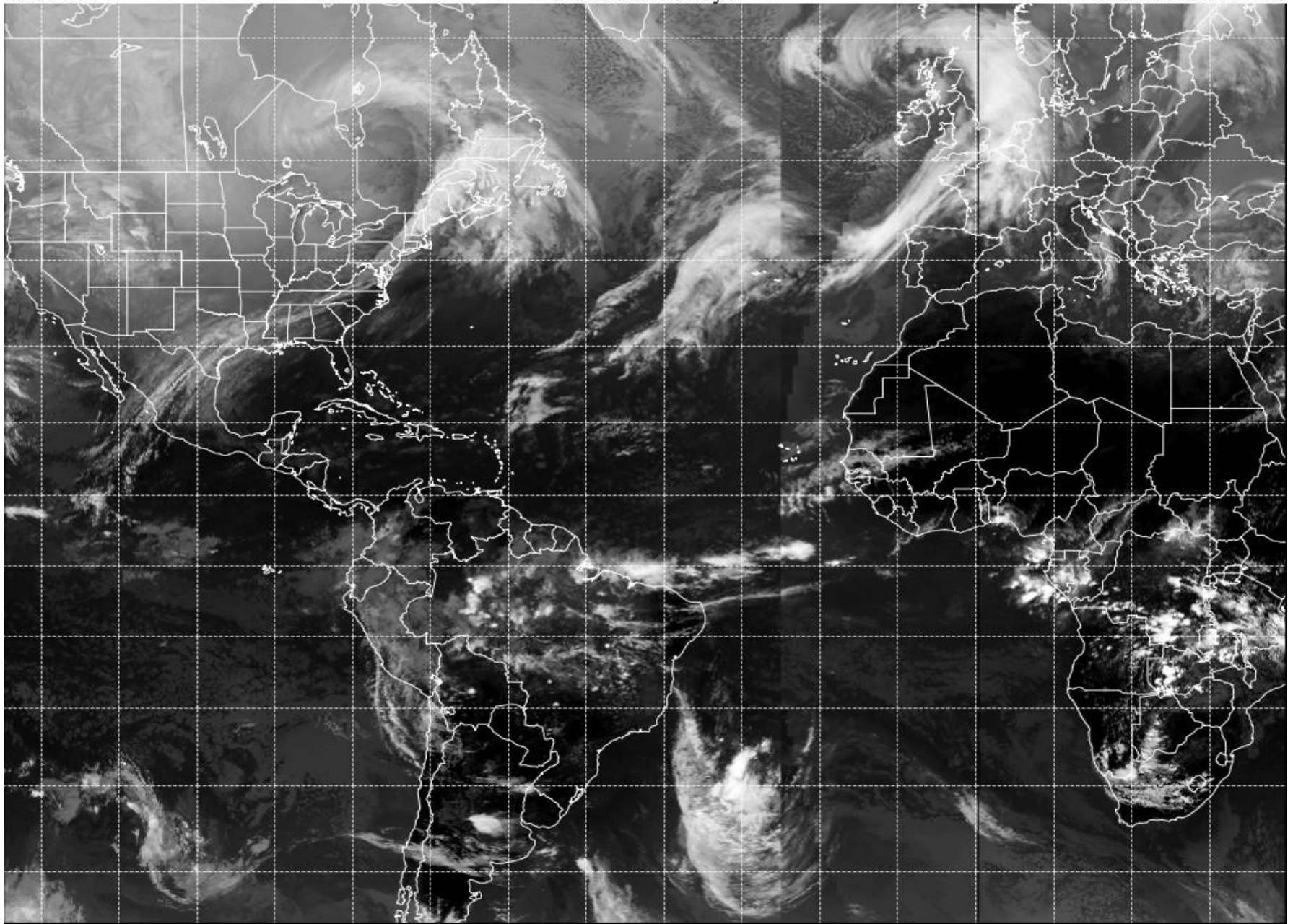
Les courants-jet qui circulent à très hautes altitudes et qui ondulent entre 40° et 60° de latitude transportent des tourbillons à l'origine des perturbations du front polaire (ondes de Rossby).

20180208 14h45 UTC IR

IR Satellite

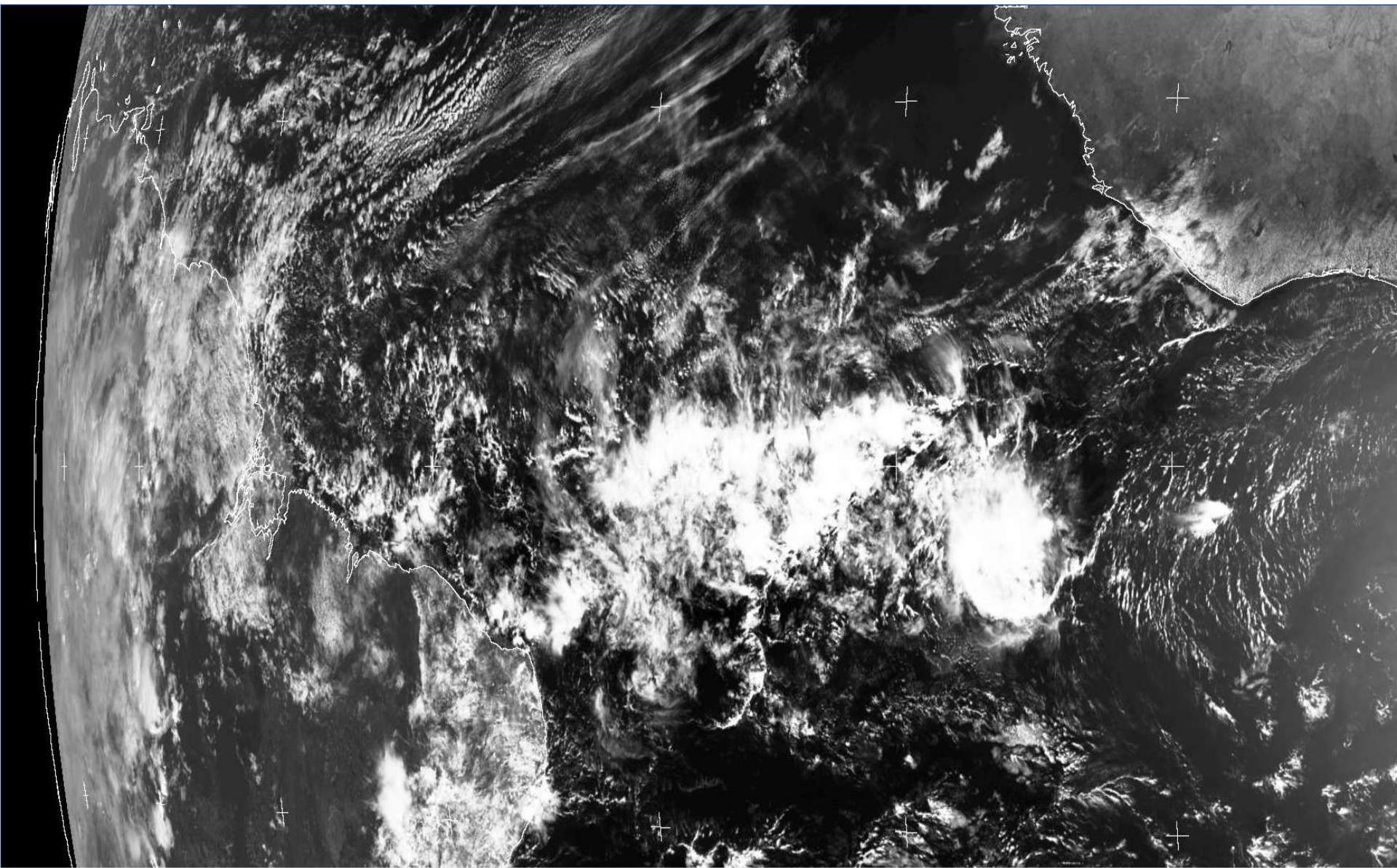
[www.aviationweather.gov](http://www.aviationweather.gov)

1445 UTC Fri 08 Feb 2019



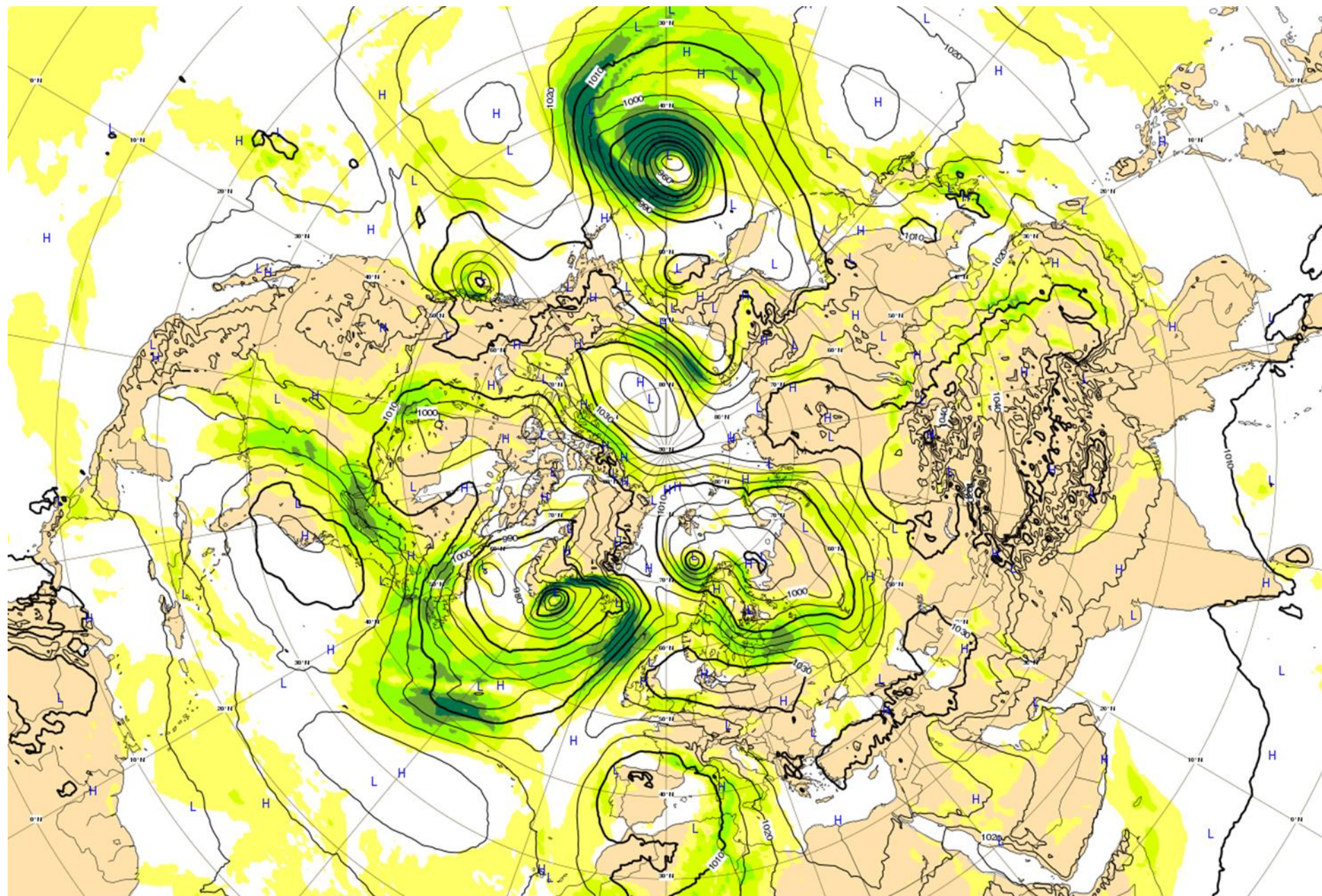


20180303\_12h00 UTC Vis ZITC  
Puissants amas nuageux sur la ZITC



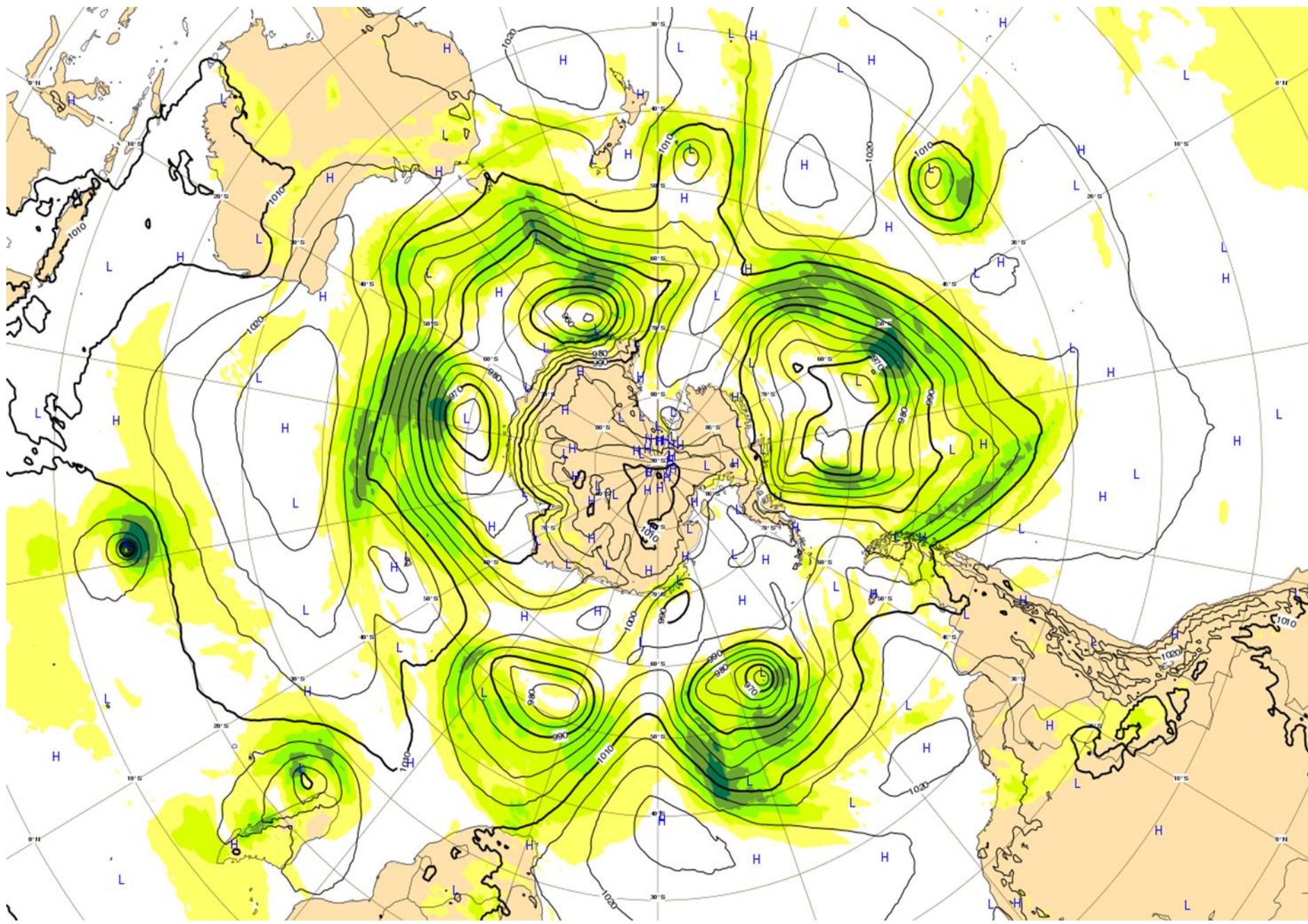


20180108 – 00H00 UTC





20180108 – 00H00 UTC



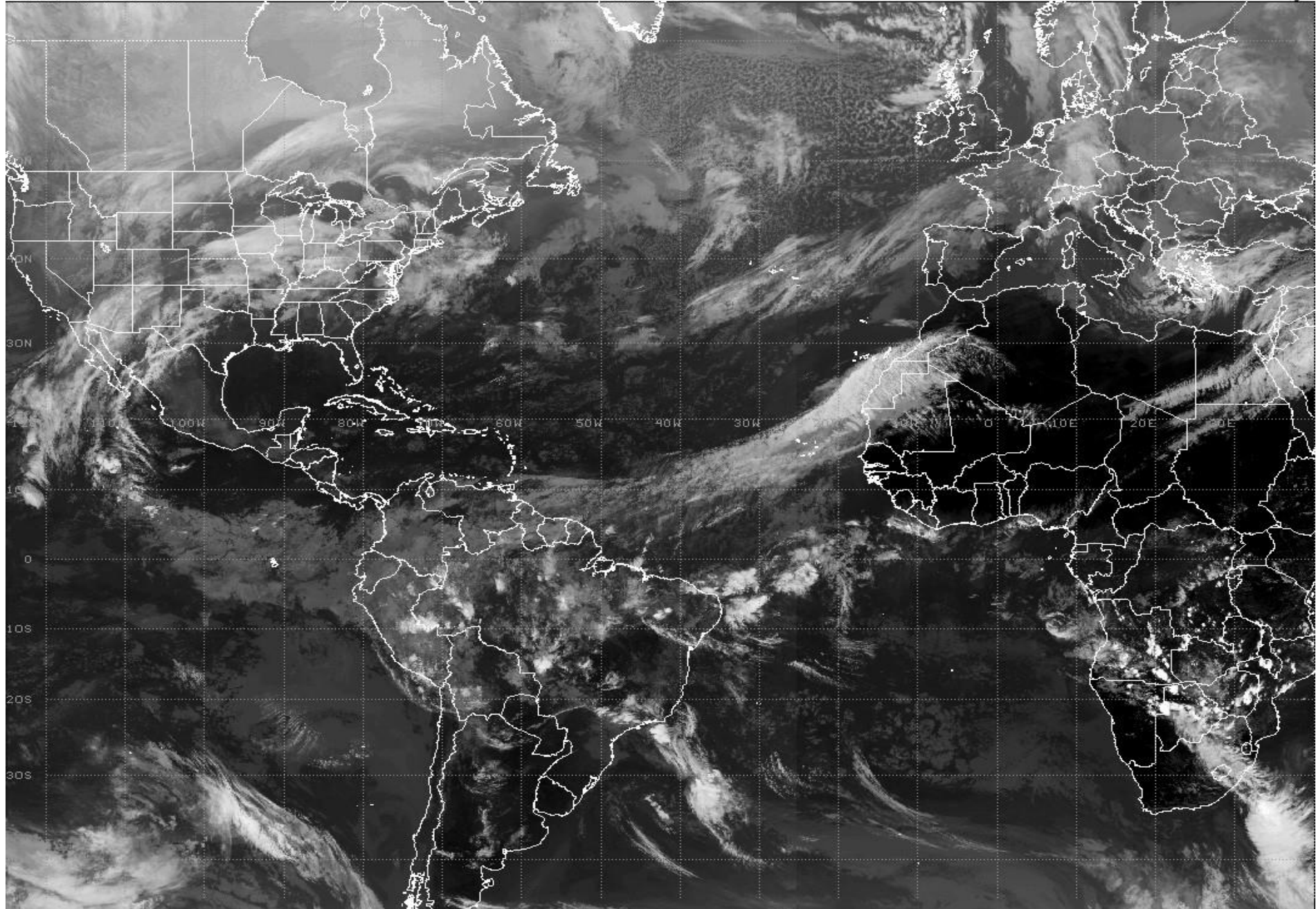


# ZONE INTERTROPICALE DE CONVERGENCE – POT AU NOIR 20180215-12h15 UTC

1215 UTC Thu 15 Feb 2018

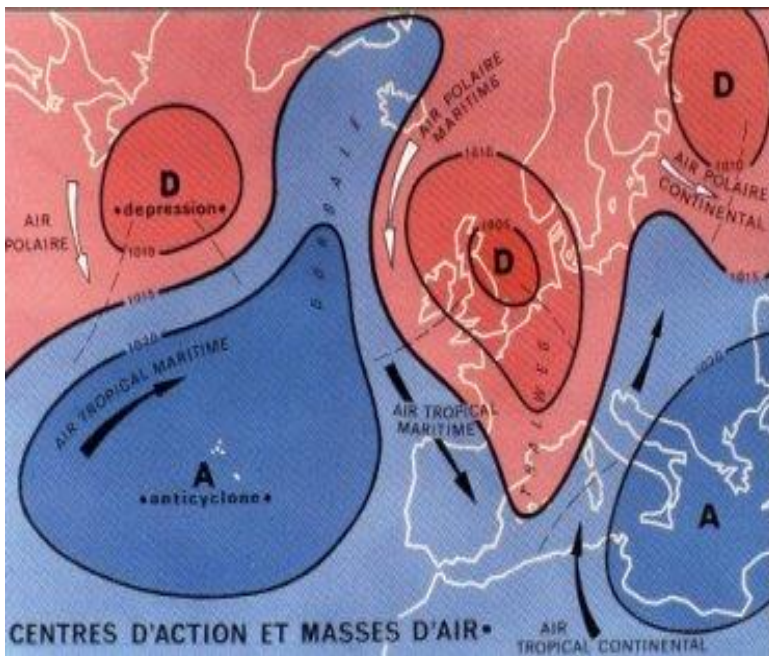
IR Satellite

[www.aviationweather.gov](http://www.aviationweather.gov)



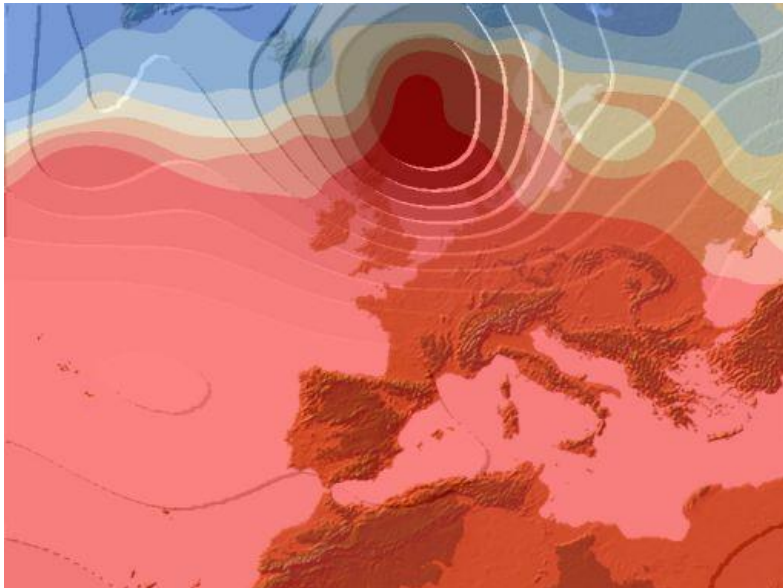


# LES MASSES D'AIR



- L'atmosphère comporte comme une réunion 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.

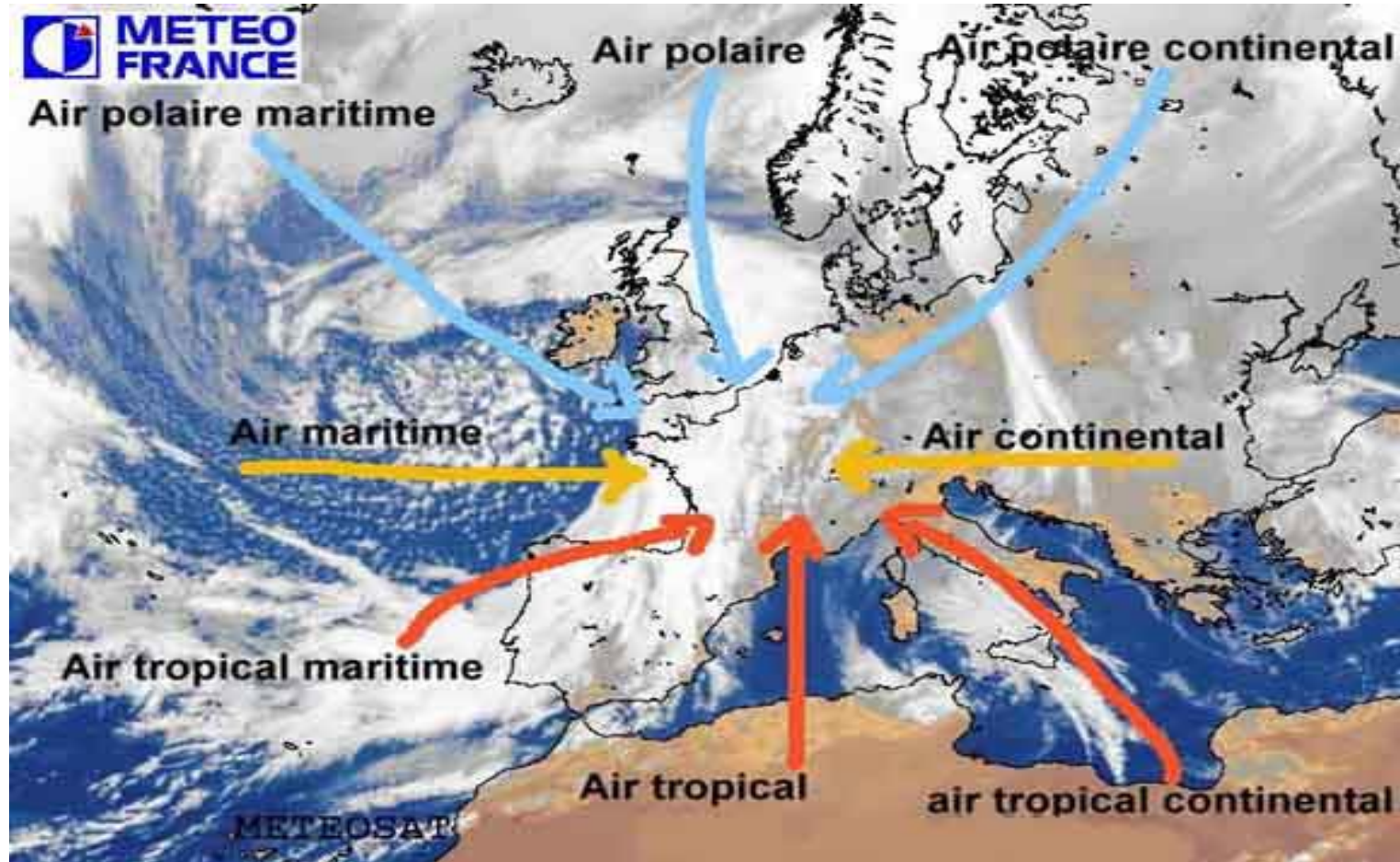


- Elles peuvent avoir 1000 km de large sur quelques milliers de kilomètres de long et quelques kilomètres d'épaisseur (H N) :

- **masses d'air arctique** : (pôle / 60 N).
- **masses d'air polaire** (60 N / 40 N).
- **masses d'air tropical** (40°N / 5°N)
- **masses d'air équatorial** (5°S / 5°N).

Suivant le chemin parcouru les masses d'air peuvent encore se diviser en masses d'air **continental ou maritime** ce qui va impacter leurs caractéristiques initiales.

# LES MASSES D'AIR



L'origine de la masse d'air dans laquelle on navigue conditionne le temps sensible rencontré.

Toujours se demander quelle est l'origine de la masse d'air dans laquelle on se trouve et essayer d'imaginer l'évolution que cette masse d'air a pu subir (profil vertical de température évoqué au début) au cours de son déplacement (ex : flux de SW)..



# LES MASSES D'AIR

Les limites entre ces masses d'air de caractéristiques thermodynamiques différentes sont le siège de conflits, parfois violents, 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.

