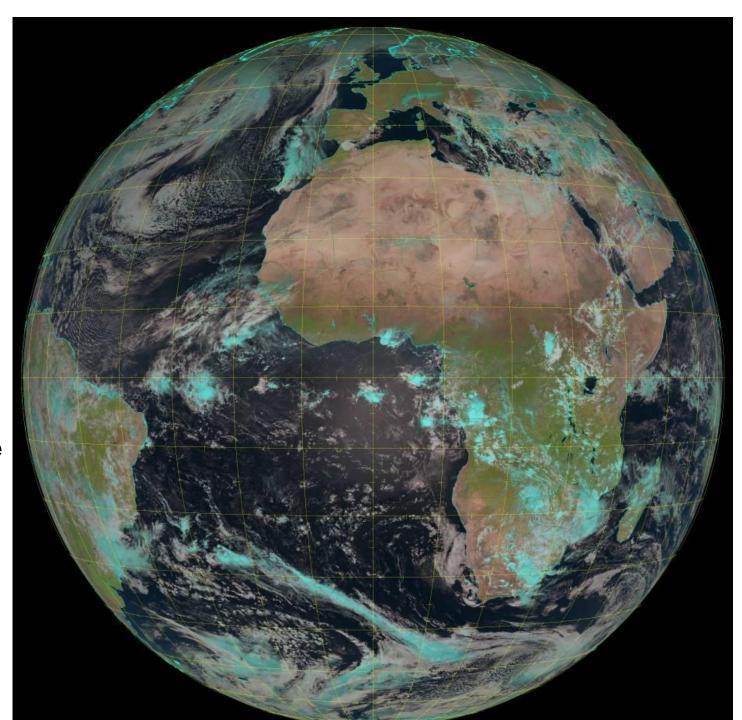
M E Ε Image sat IR 20190215 12h00 UTC Université Dundée G

Module 2
02/2019 JJ Quéré





LA METEOROLOGIE (Module 2)

Bilan radiatif

Masses d'air

La cyclogénèse

- déformation du front polaire;
- naissance d'une dépression et d'une perturbation ;
- pentes frontales;
- catégories de nuages ;
- les nuages associés aux fronts;
- synthèse 3.2.1 le front chaud
 - 3.2.2 le front froid

Les nuages



LA METEOROLOGIE

Bilan radiatif

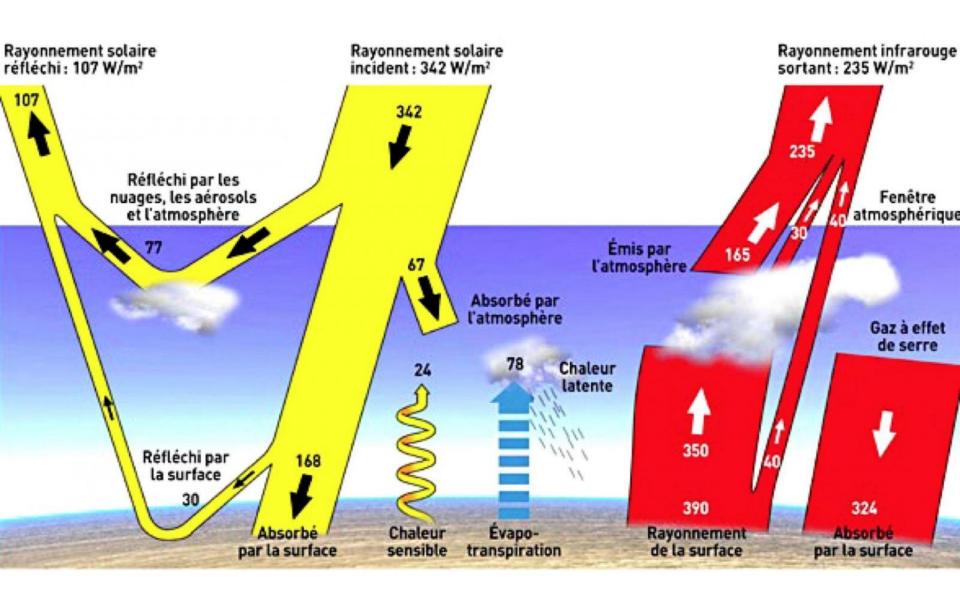
Circulation générale atmosphérique

Masses d'air

BILAN RADIATIF TERRESTRE



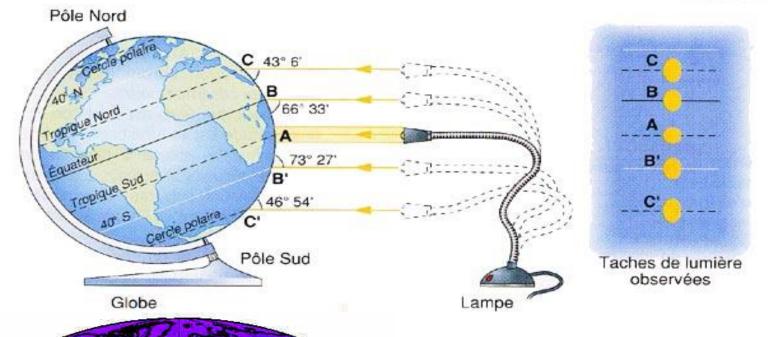
Rayonnement solaire, rayonnement terrestre, effet de serre.



Sans atmosphère : -18°C Sans rejet IR : +29°C - situation actuelle : +15°C

BILAN RADIATIF





Le flux solaire reçu par les couches les plus élevées de l'atmosphère est d'environ 342 W.m² 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.

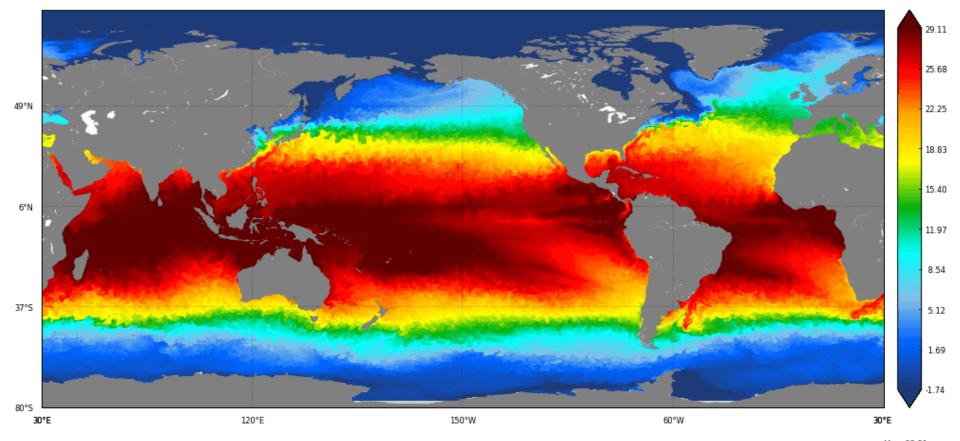
Bilan global nul : Echanges d'énergie par les grands courants océaniques et atmosphériques.



Mercator Océan base 201902 Température en surface période 11/20-02/2019



Daily Global Physical Bulletin 1/12° (PSY4QV3R1) Date: 2019-02-20 (9-day forecast) Global



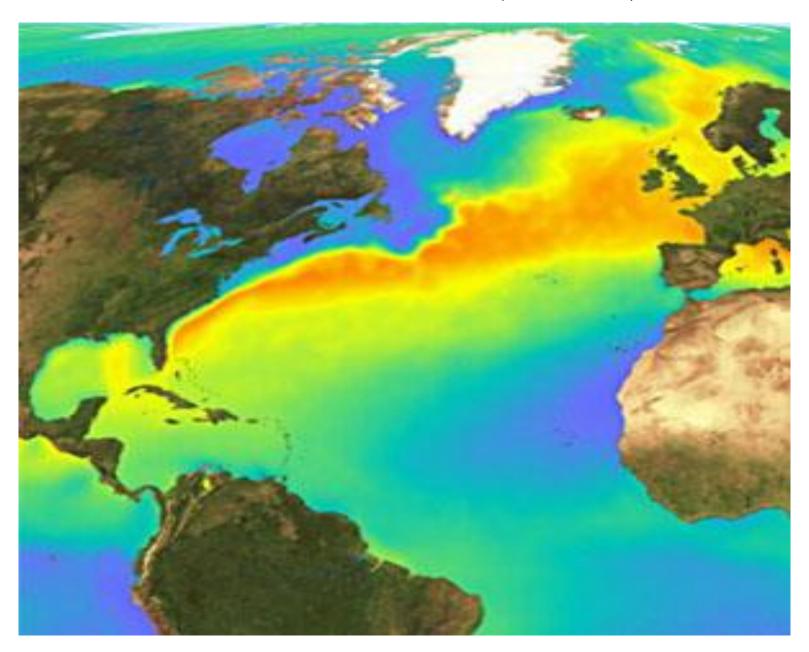
Depth (m) : Time : 2019-02-11

Temperature (degrees_C)

Max: 32.51 Min: -2.47 Average: 14.19

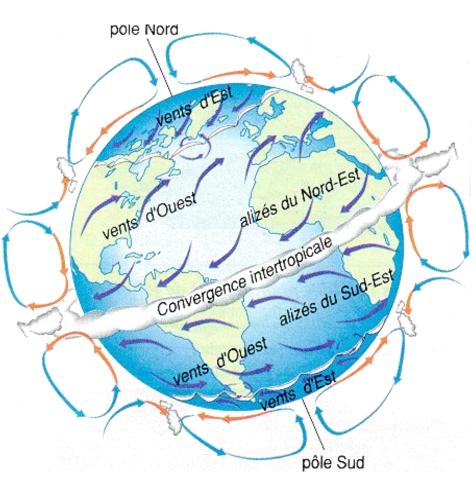
LA CIRCULATION GENERALE OCEANIQUE ET TRANSFERT D'ENERGIE VERS LES HAUTES LATITUDES (ATL NORD)



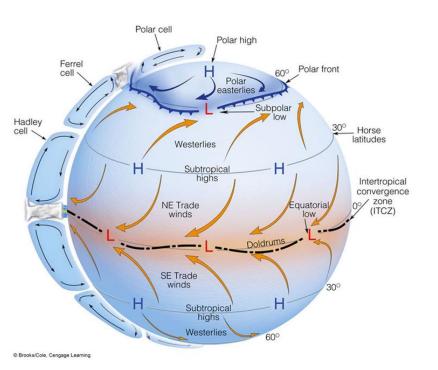


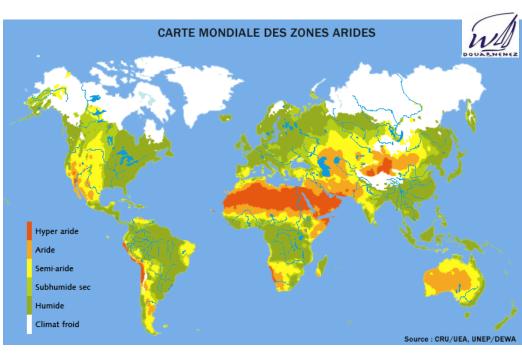
LA CIRCULATION GENERALE ATMOSPHERIQUE





- 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.





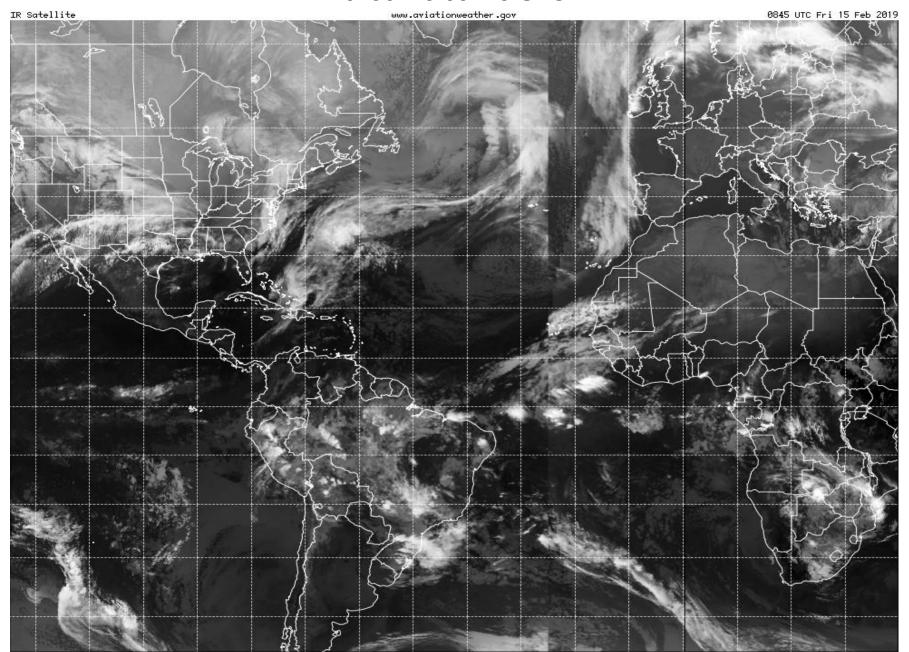
Des basses latitudes aux hautes latitudes :

- 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.

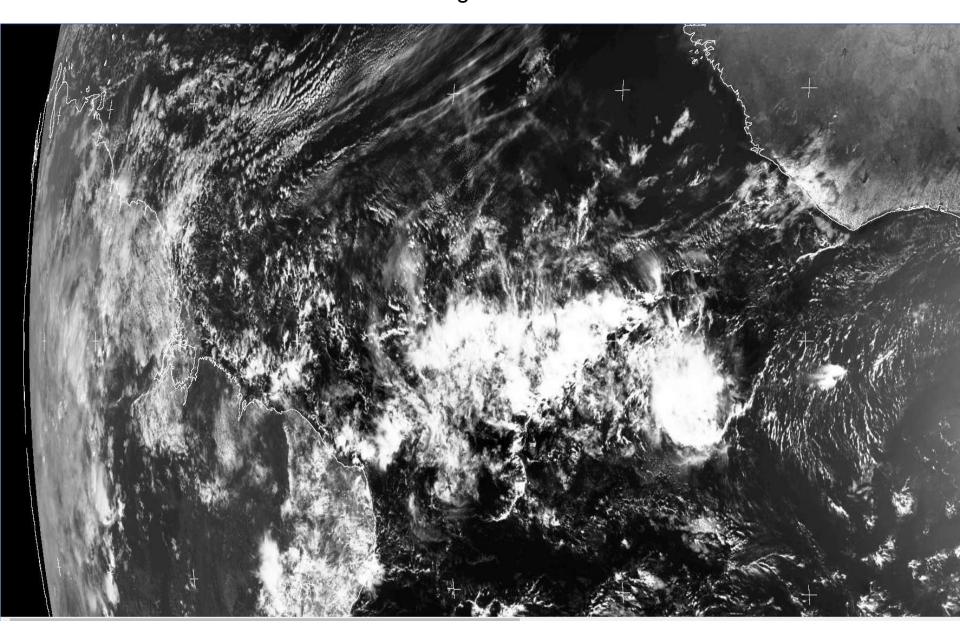
Recherche d'un impossible équilibre thermique.

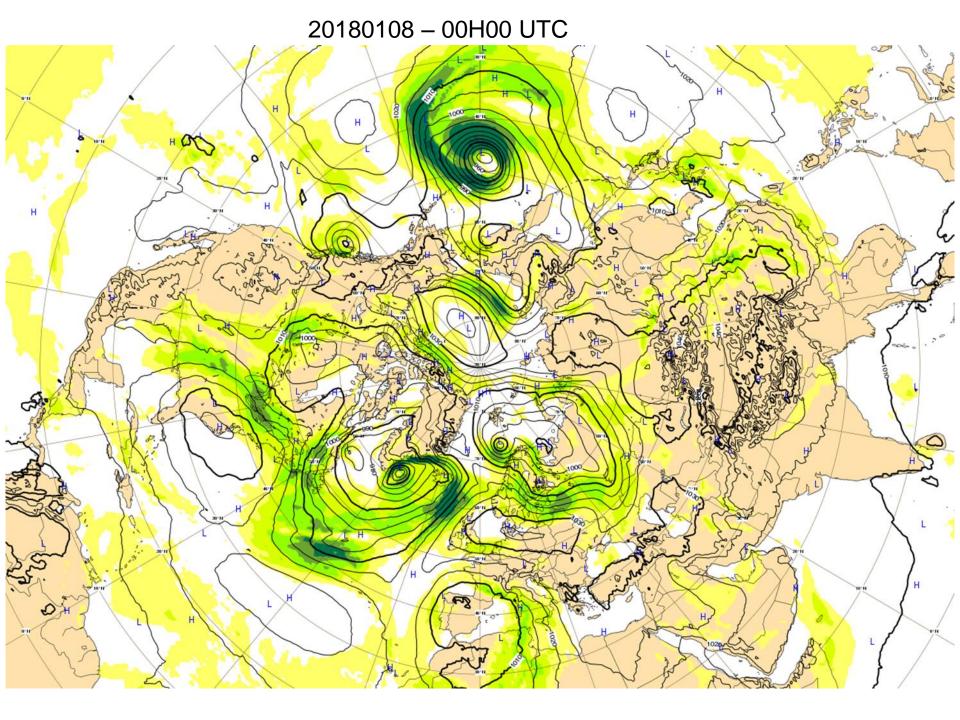
Les courants-jet qui circulent à très hautes altitudes et qui ondulent entre 40° et 60° de latitude transportent des tourbillons à l'origine des perturbations du front polaire (ondes de Rossby).

20190215 08h45 UTC IR

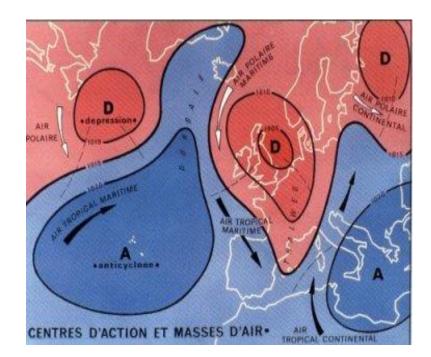


20180303_12h00 UTC Vis ZITC Puissants amas nuageux sur la ZITC





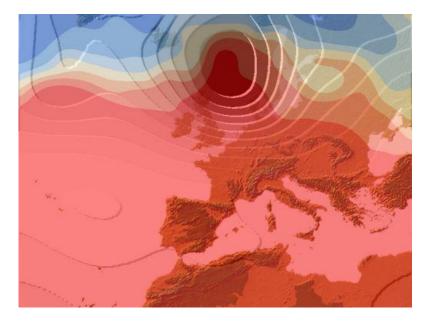
20180108 - 00H00 UTC



LES MASSES D'AIR



- L'atmosphère comporte comme une réunion de régions tridimensionnelles appelées <u>des masses</u> <u>d'air</u>, 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.

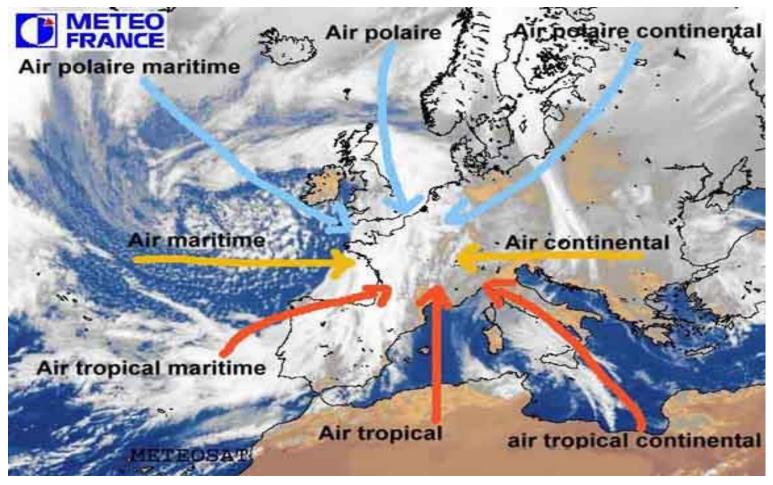


- Elles peuvent avoir 1000 km de large sur quelques milliers de kilomètres de long et quelques kilomètres d'épaisseur (H N) :
- masses d'air arctique : (pôle / 60 N).
- masses d'air polaire (60 N / 40 N).
- masses d'air tropical $(40^{\circ}N / 5^{\circ}N)$
- masses d'air équatorial (5°S / 5°N).

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



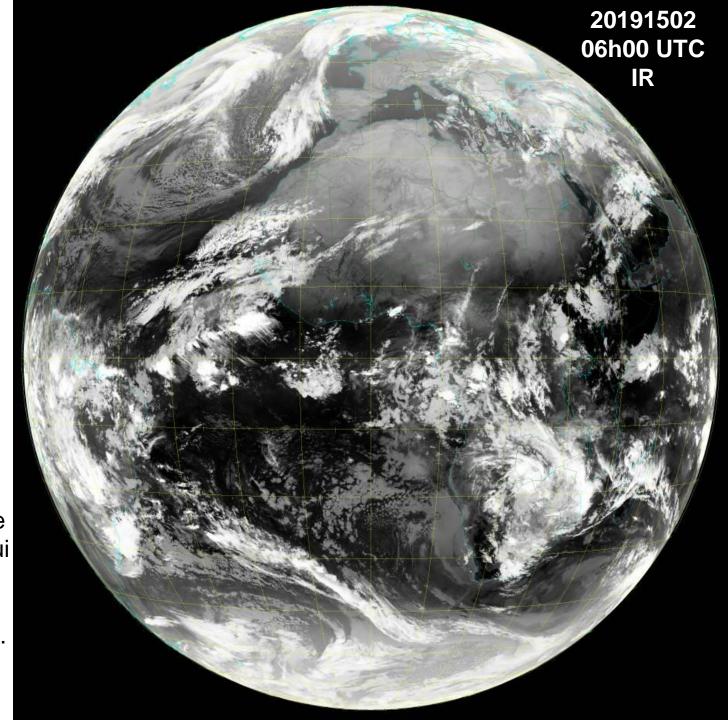


L'origine de la masse d'air dans laquelle on navigue conditionne le temps sensible rencontré.

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)..

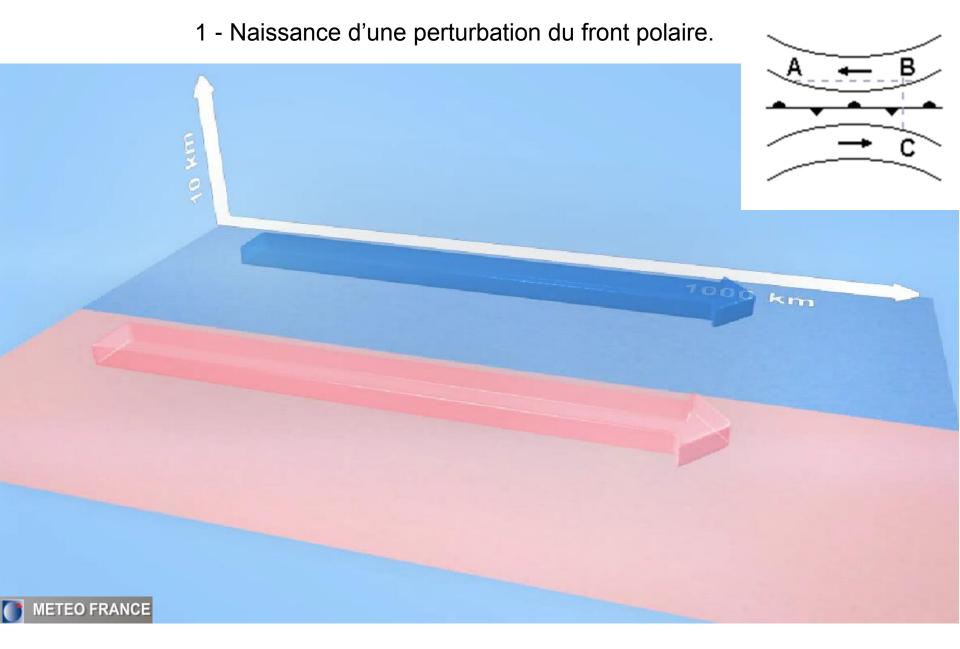
LES MASSES D'AIR

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 dans le module 1 évoluent rapidement et donnent naissance au temps sensible qui conditionne de multiples aspects de notre vie quotidienne.



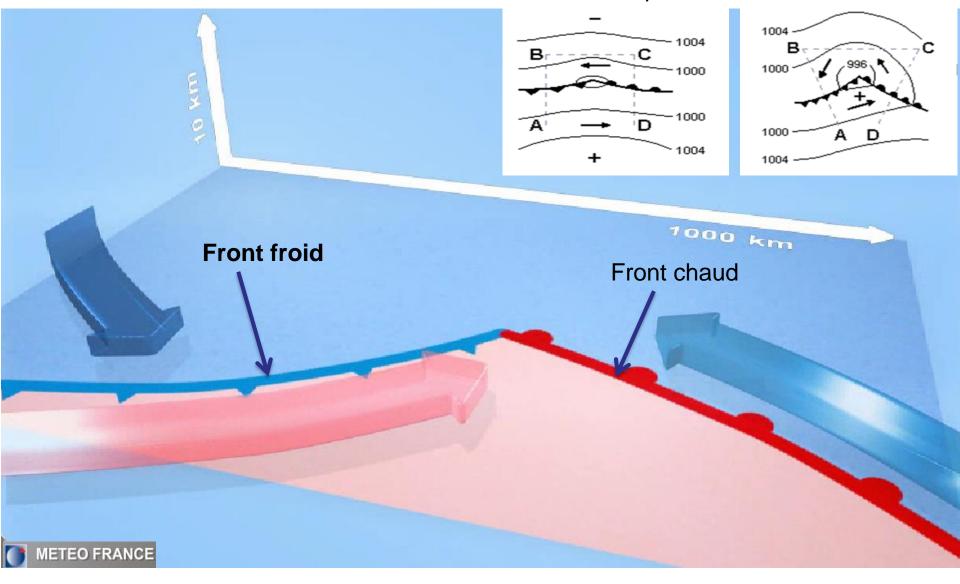
CYCLOGENESE SUR LE FRONT POLAIRE ARCTIQUE

PENTES FRONTALES



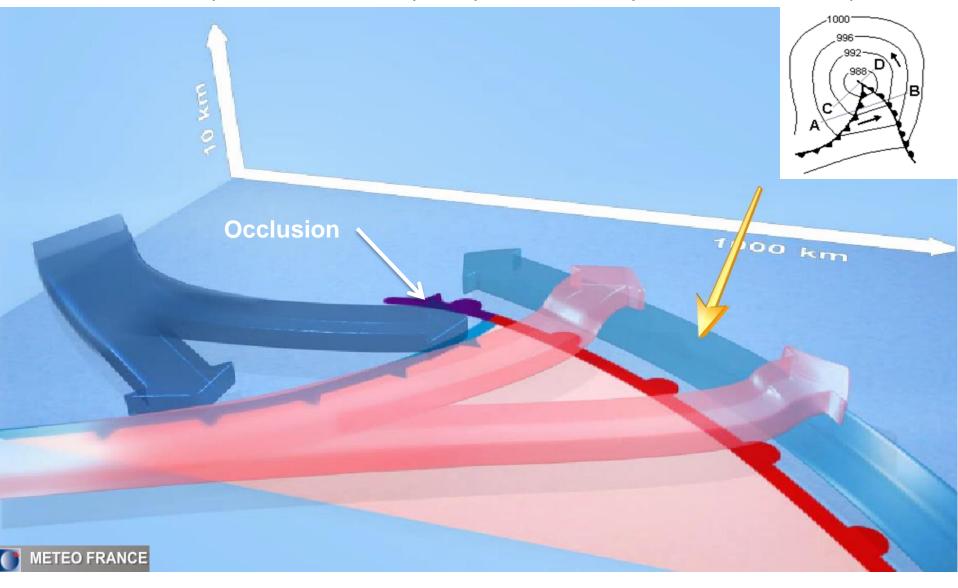
Situation théorique juxtaposition de deux masses d'air de caractéristiques différentes (air froid, air chaud).

2 - Création d'une ondulation sur le front polaire

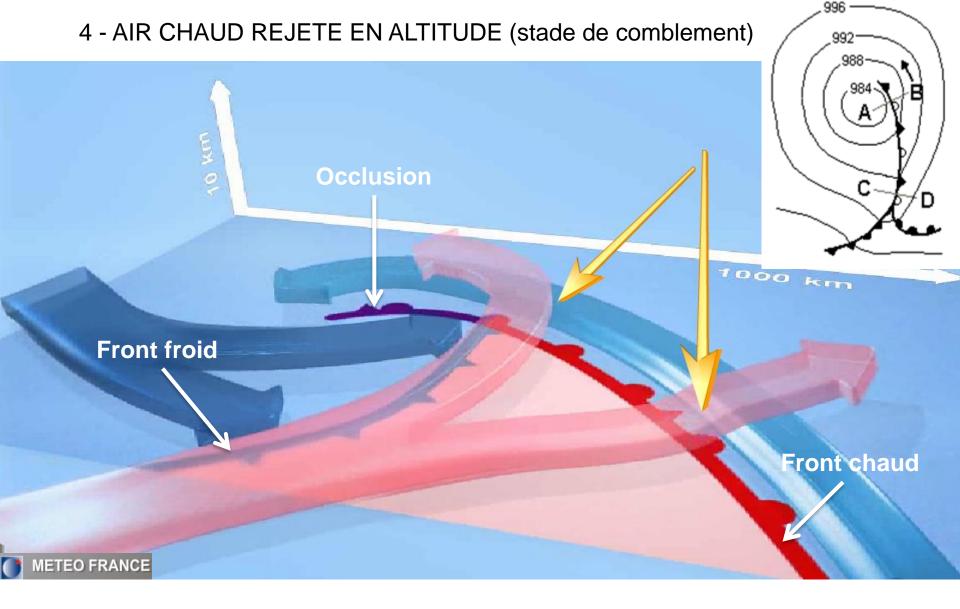


Les masses d'air entrent en mouvement. Au sol l'air froid s'enfonce sous l'air chaud et le rejette en altitude. Création de zones de discontinuité (front chaud et front froid). Déformation du champ de pression. Naissance d'une dépression centrée sur l'ondulation (ascendance : évolution T, Td et U affaissement champ de pression).

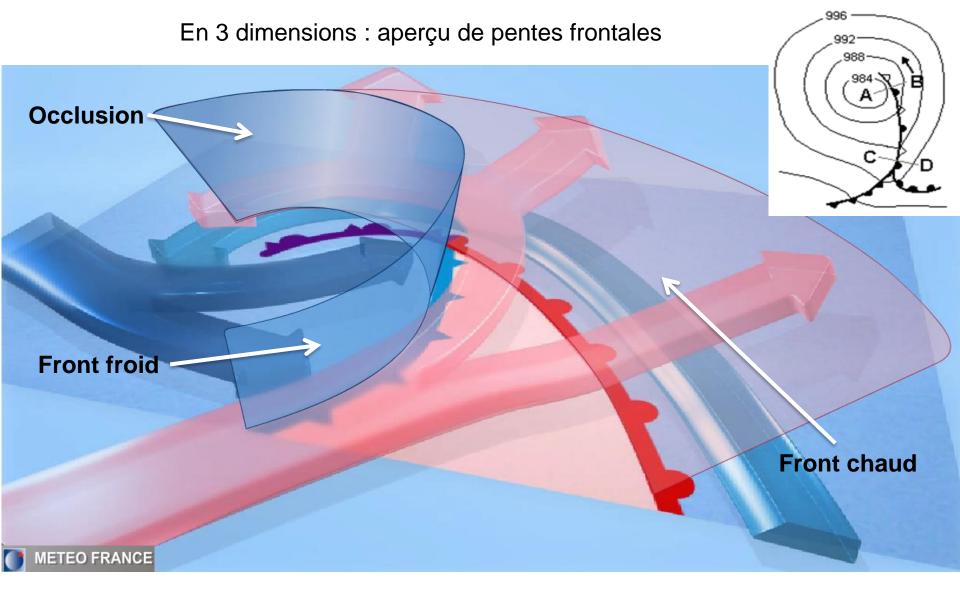
3 - création d'une perturbation atmosphérique et d'une dépression sur le front polaire.



La dynamique s'amplifie, la perturbation se déplace, la dépression se creuse. L'air chaud est de plus en plus rejeté en altitude au dessus de l'air froid sur son avant et sur son arrière. La surface qu'il occupe au sol se réduit progressivement. Le creusement de la dépression se poursuit. Une occlusion commence à se créer.

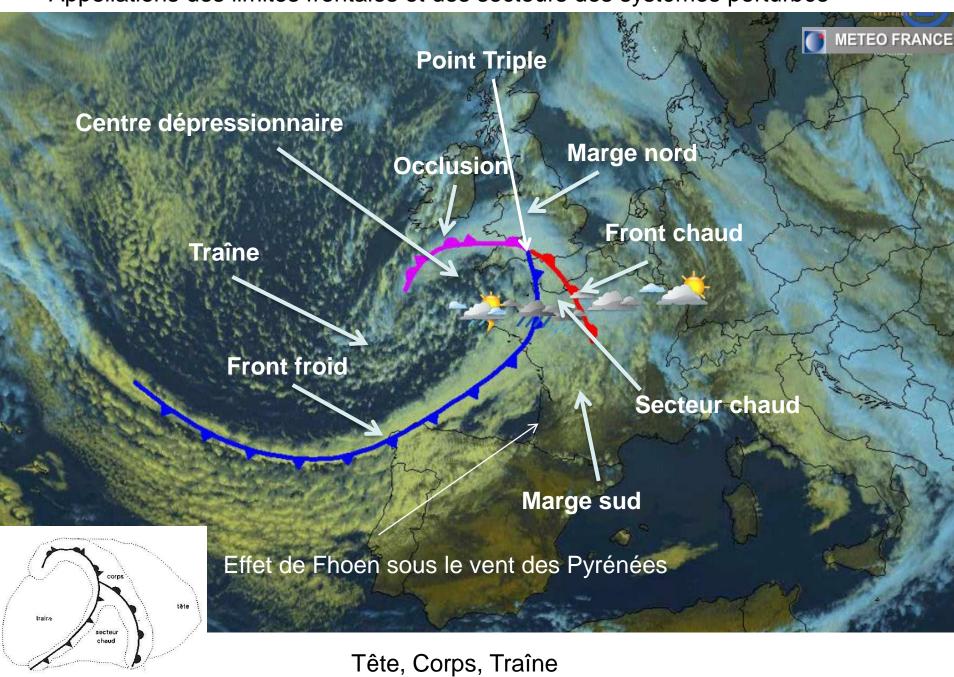


- -L'air froid a rattrapé l'air chaud et l'a rejeté en altitude.
- -Une occlusion s'est formée puis développée, la perturbation après avoir atteint son stade adulte de développement va perdre progressivement de son activité. L'occlusion peut « survivre » encore un certain temps autour du centre dépressionnaire.

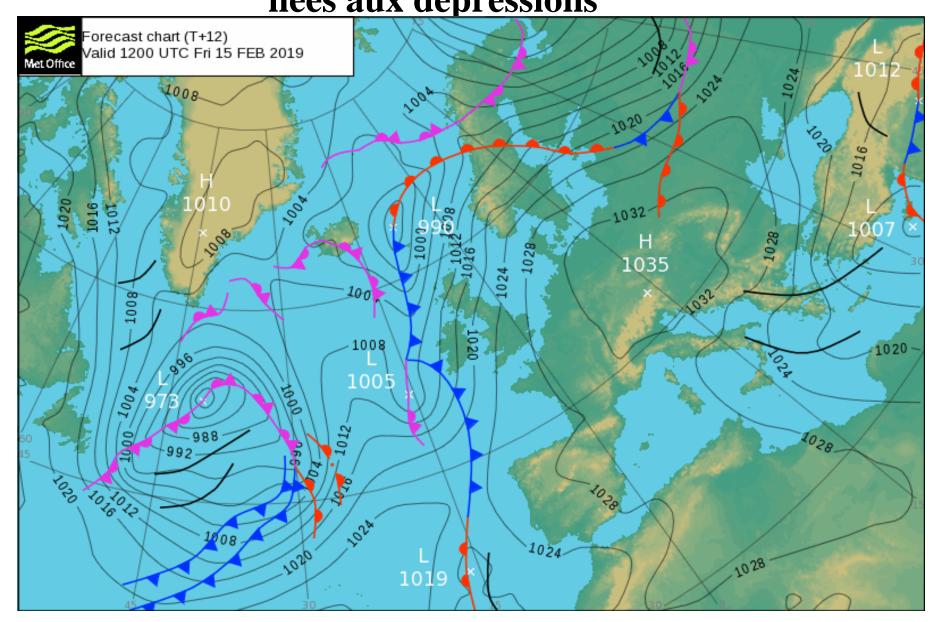


La perturbation a dépassé son stade maximum d'évolution et va s'occlure de plus en plus. Le centre de la dépression se situe sur l'arrière de la perturbation qui poursuit son déplacement généralement plus rapidement que le centre dépressionnaire.

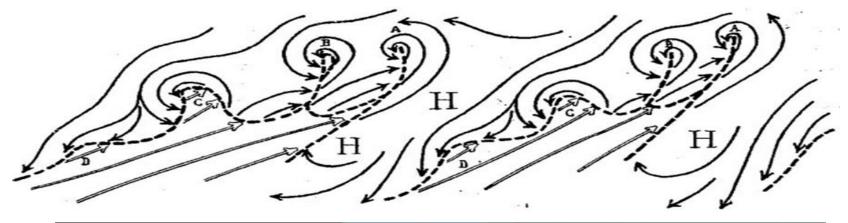
Appellations des limites frontales et des secteurs des systèmes perturbés

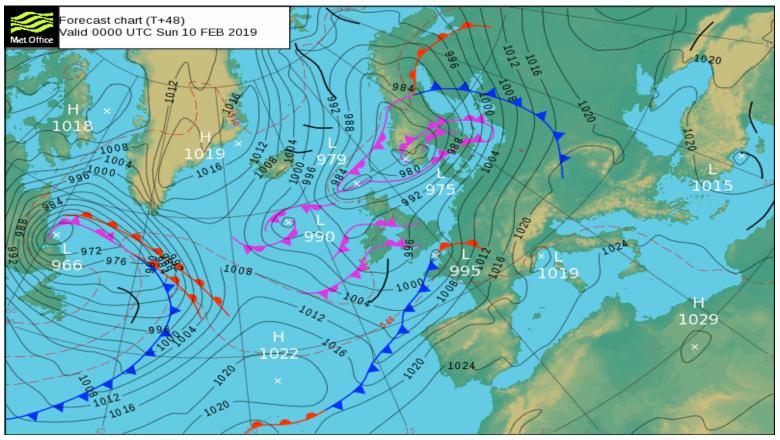


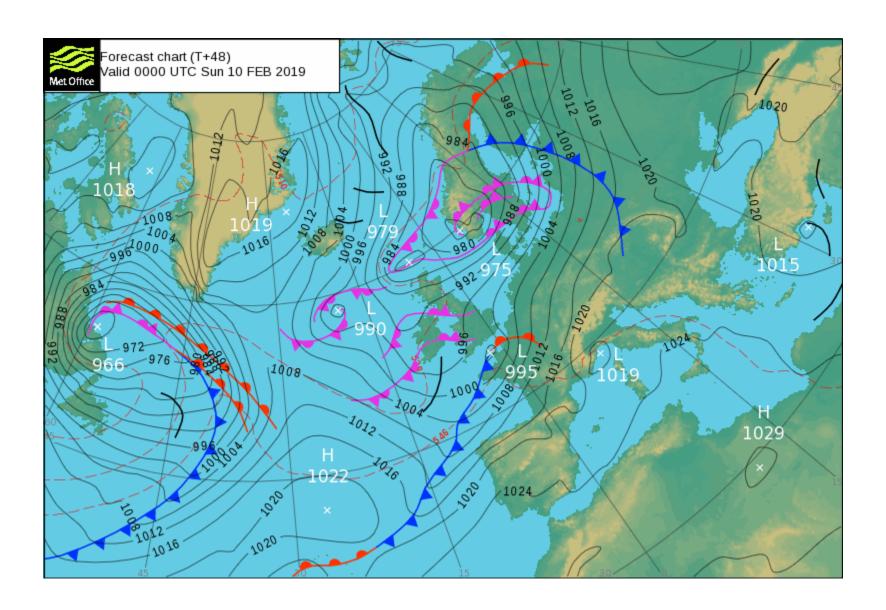
Dénomination des limites frontales et des zones liées aux dépressions



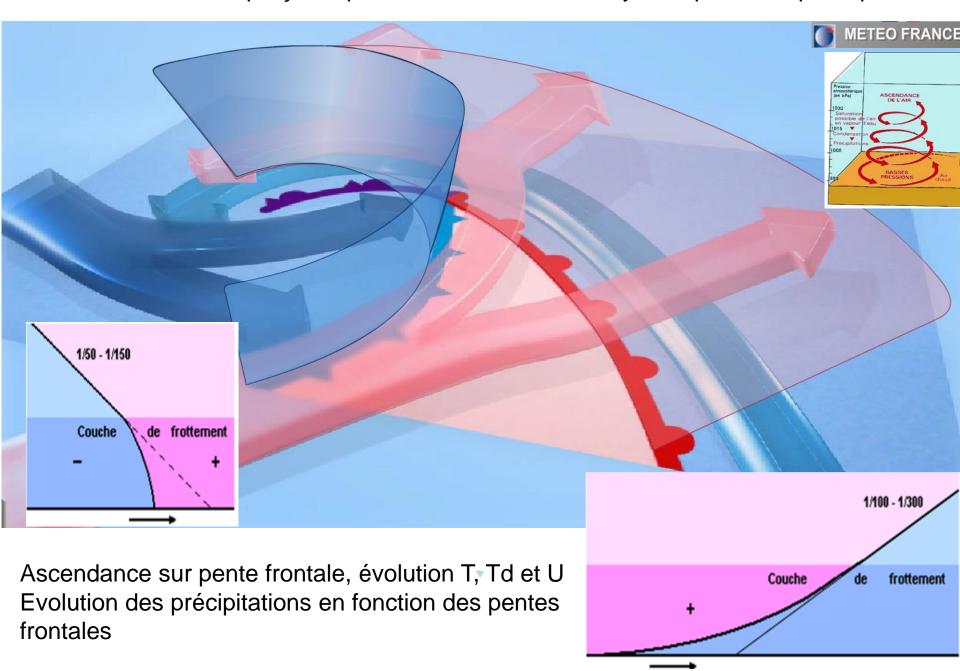
LA CYCLOGENESE : famille de perturbations







En 3 dimensions : aperçu de pentes frontales et de la dynamique atmosphérique













LES NUAGES

La nébulosité s'exprime en octas x/8 :

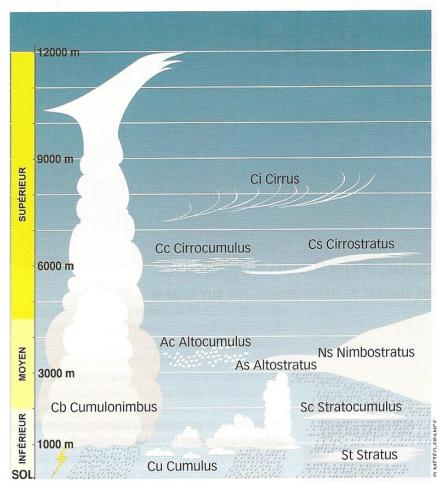
Clair: 0/8, Peu nuageux: 1/8 à 3/8, Nuageux 4/8 à 5/8; très nuageux: 6/8 à 7/8; Couvert: 8/8

<u>Nuages</u>: gouttes d'eau ou cristaux de glace en suspension dans l'atmosphère ou mélange des deux.

<u>Advection</u> (nuages en couches – stratiformes → strat...)

<u>Convection</u> (nuages cumuliformes → cumul).





Le nimbostratus (Ns) et l'altostratus (AS), mais surtout les cumulus (Cu) et les cumulonimbus (Cb) débordent largement des étages précités.

LES NUAGES

(10 genres -14 espèces – 9 variétés)

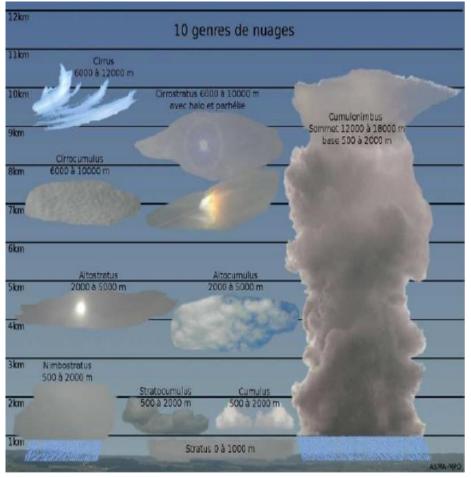
La partie de l'atmosphère dans laquelle se présentent habituellement les nuages a été divisée en trois étages : **supérieur – moyen - inférieur**.

Les nuages d'un certain genre se retrouvent le plus fréquemment dans les étages suivants :

- Etage supérieur (5000/12000M): cirrus (Ci), cirrocumulus (Cc) cirrostratus (Cs); composition?
- **Etage moyen** (2000/5000 m): altocumulus (Ac), altostratus (As), nimbostratus (Ns);
- Etage inférieur (sol/2000 m): stratocumulus (Sc), stratus (St) puis Cumulus et Cumulonimbus (base)

C'est cette distribution qui a donné leur surnom aux familles de nuages : **nuages bas, nuages moyens et nuages élevés.**

LES NUAGES



Le nimbostratus (Ns) et l'altostratus (AS), mais surtout les cumulus (Cu) et les cumulonimbus (Cb) débordent largement des étages précités.

(10 genres -14 espèces – 9 variétés)

La partie de l'atmosphère dans laquelle se présentent habituellement les nuages a été divisée en trois étages : **supérieur – moyen - inférieur**.

Les nuages d'un certain genre se retrouvent le plus fréquemment dans les étages suivants :

- **Etage supérieur** (5000/12000M) : cirrus (Ci), cirrocumulus (Cc) cirrostratus (Cs) ; composition ?
- **Etage moyen** (2000/5000 m): altocumulus (Ac), altostratus (As), nimbostratus (Ns);
- Etage inférieur (sol/2000 m): stratocumulus (Sc), stratus (St) puis Cumulus et Cumulonimbus (base)

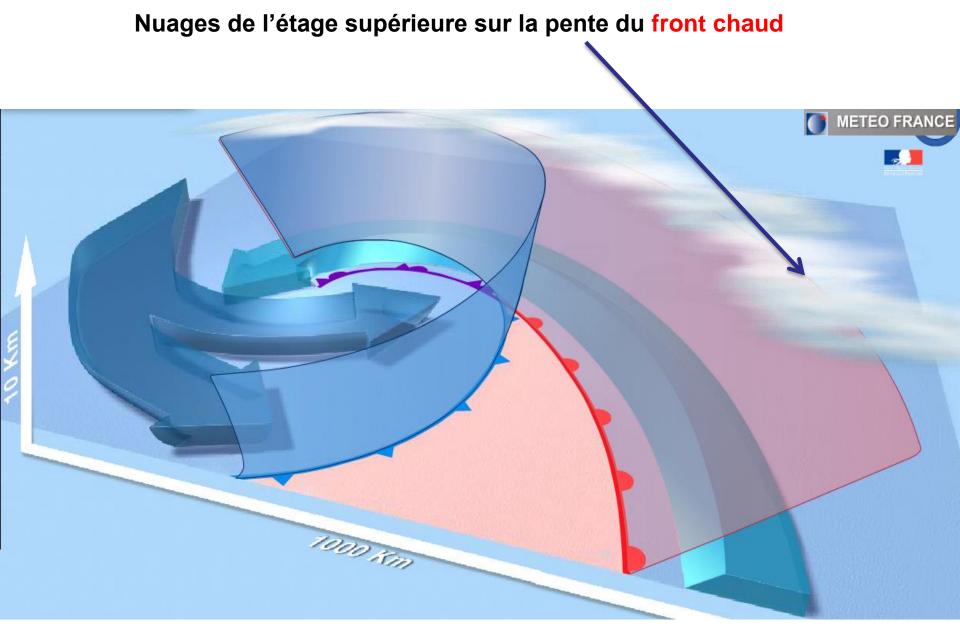
C'est cette distribution qui a donné leur surnom aux familles de nuages : **nuages bas**, **nuages moyens et nuages élevés.**

LES NUAGES



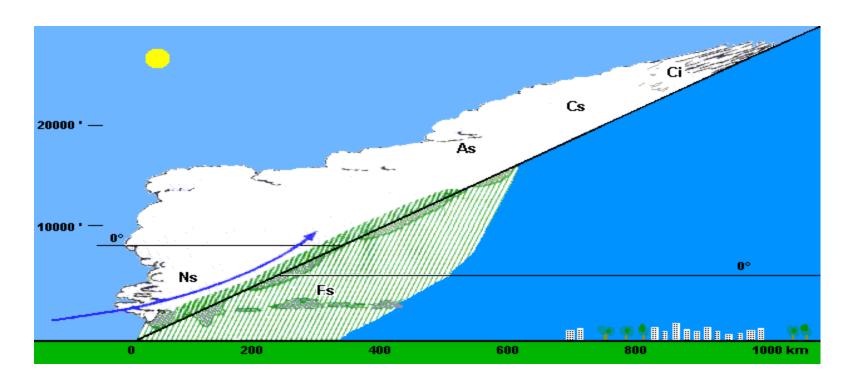
NUAGES ASSOCIES AUX PENTES FRONTALES

LE FRONT CHAUD



Représentation schématique des fronts et de leurs pentes; en réalité surfaces moins « lisses », plus tourmentées.

LE FRONT CHAUD (pente 1/100 à 1/300)



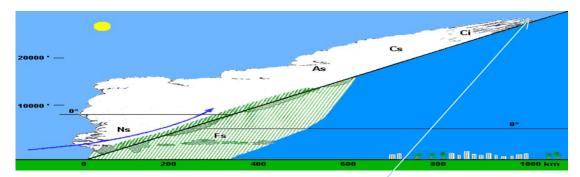
Les Cirrus (incinus) deviennent de plus en plus denses et se mêlent au Cirrostratus. Le ciel se couvre par de l'Altostratus élevé puis par le Nimbostratus accompagnés de pluie. Les Stratus fractus courent sous le Nimbostratus.

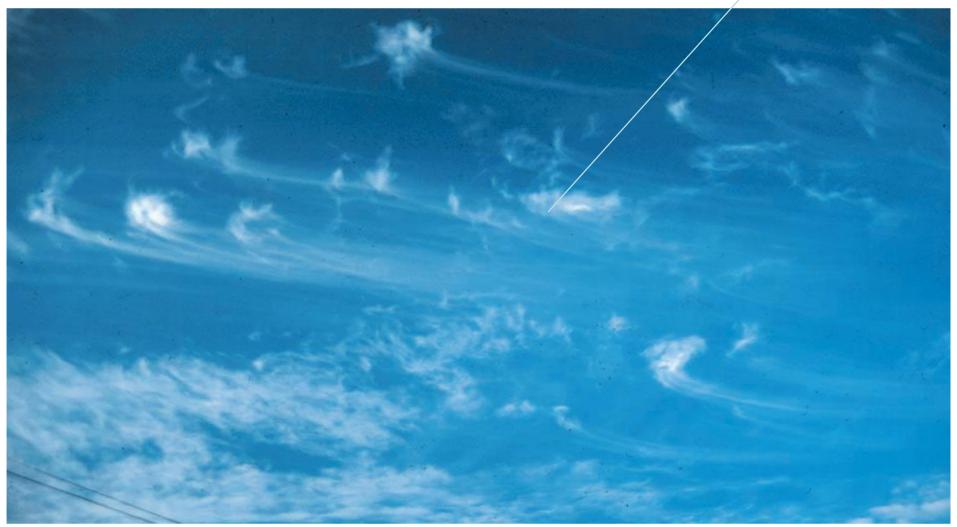
LES NUAGES ASSOCIES AU FRONT CHAUD



-Les Cirrus : nuages élevés, paillettes de glace, (6000/12000 M épaisseur 300m)

CIRRUS





Cirrus uncinus 6000/12000m

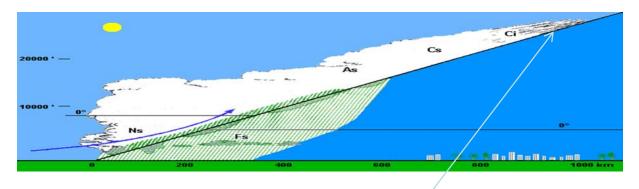






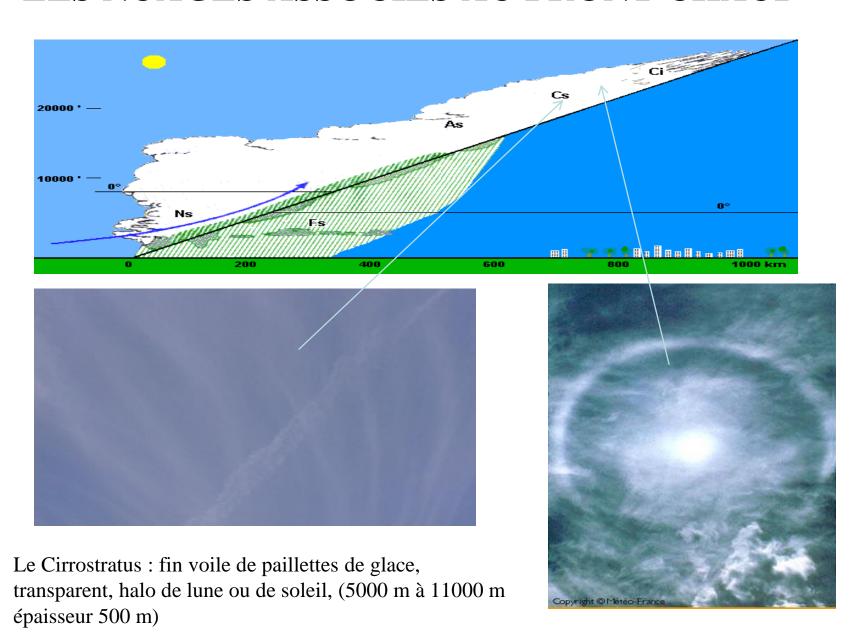


LES NUAGES ASSOCIES AU FRONT CHAUD

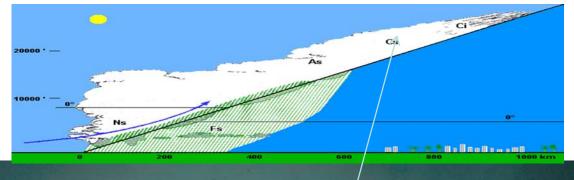




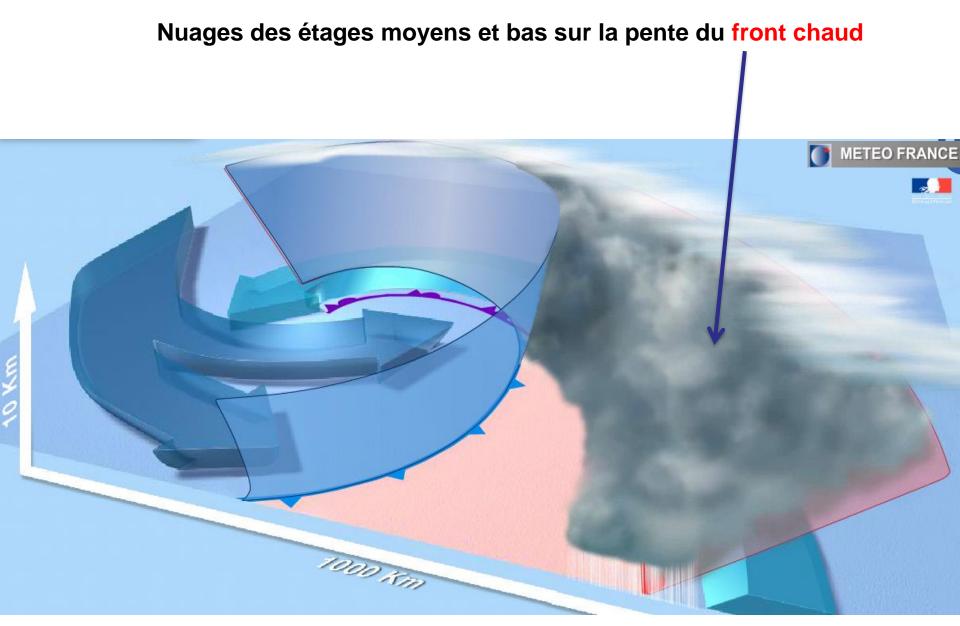
LES NUAGES ASSOCIES AU FRONT CHAUD



CIRROSTRATUS

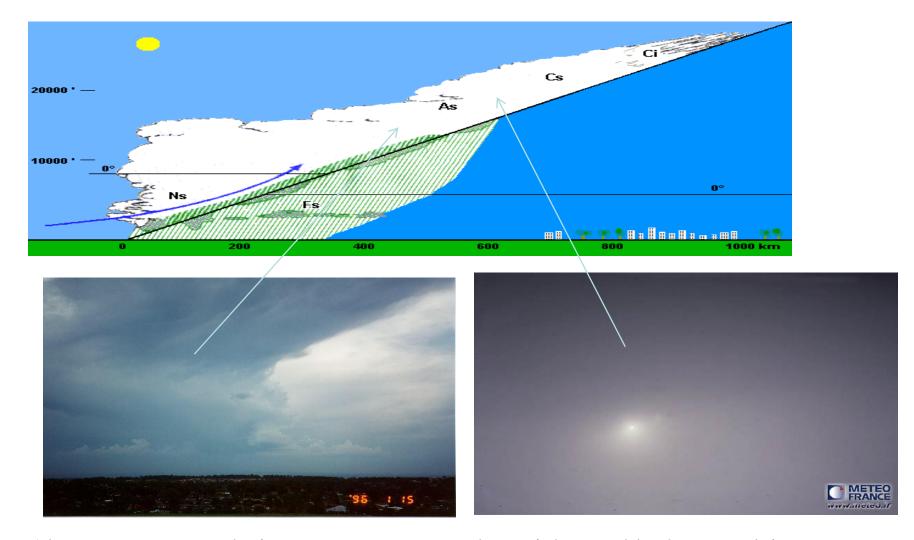






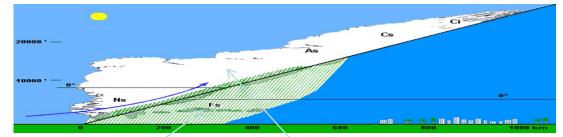
Advection de la masse d'air, ascension forcée, nuages stratiformes

LES NUAGES ASSOCIES AU FRONT CHAUD



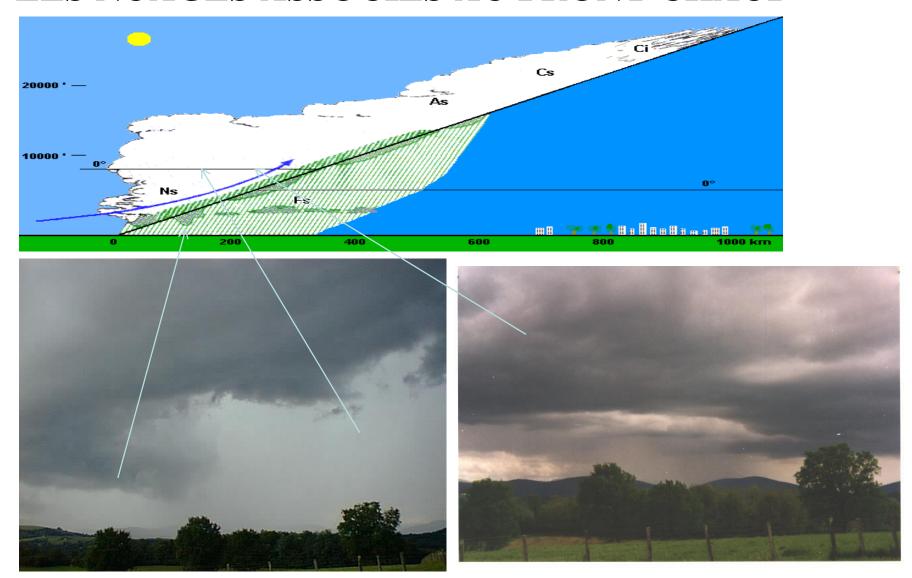
- Altostratus : nuages épais en nappe ou en couches grisâtre ou bleuâtre, peu laisser apercevoir le soleil (verre dépoli), (4500m/1500m épaisseur 2000 m environ)

ALTOSTRATUS et STRATUS



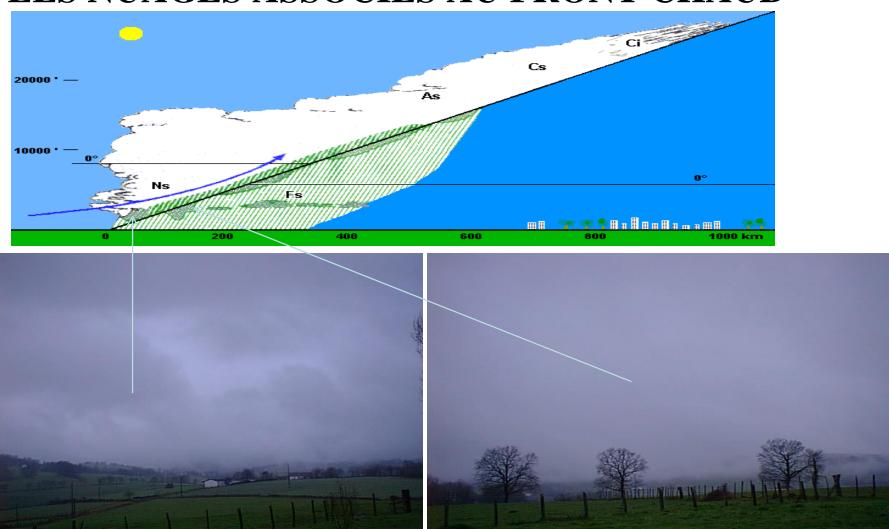


LES NUAGES ASSOCIES AU FRONT CHAUD



- Nimbostratus : nuages très épais, ne laisse pas apercevoir le soleil, pluie et bruine -(base 300/400 m / sommet 5000 m épaisseur 3000 m/4000m).

LES NUAGES ASSOCIES AU FRONT CHAUD

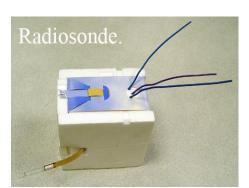


- Stratus : nuages bas, déchiquetés, circulant rapidement sous la base de nuages plus élevés, nuages typiques du mauvais temps – résulte de l'évaporation des précipitations - base parfois au niveau du sol sur relief (base sol/500 m, épaisseur 300/500 m).

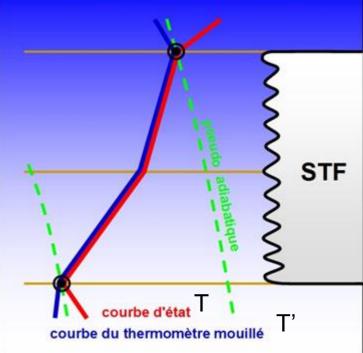


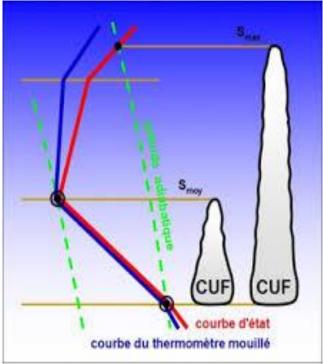






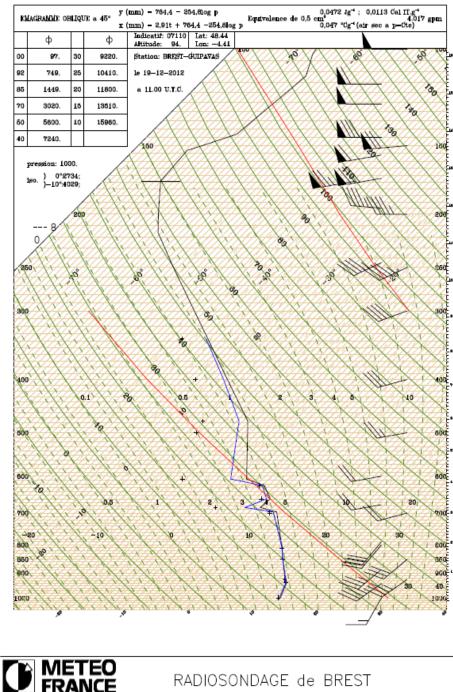






20121219 11h00 UTC Radiosondage dans secteur chaud

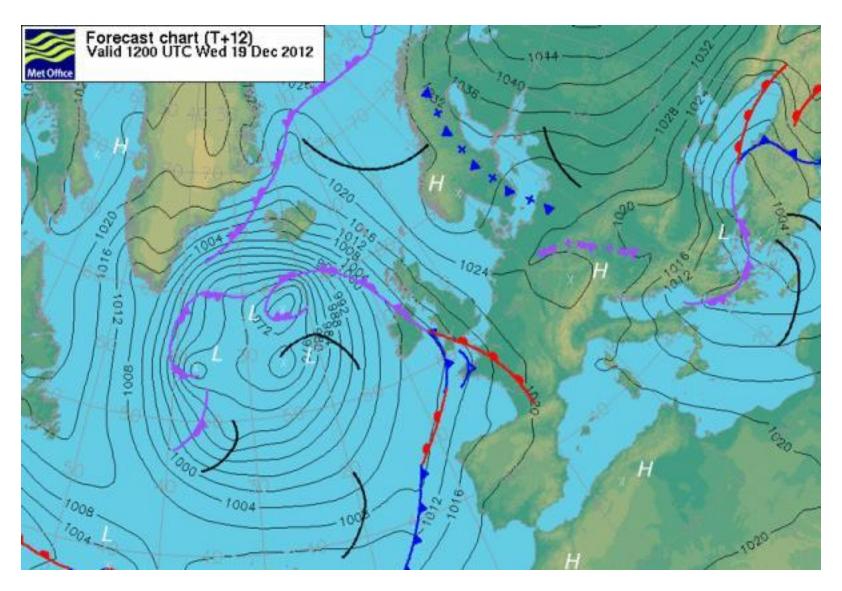
Air saturé mais stable sur grande épaisseur Présence de nuages épais stratiformes et de précipitations quasi certaines.



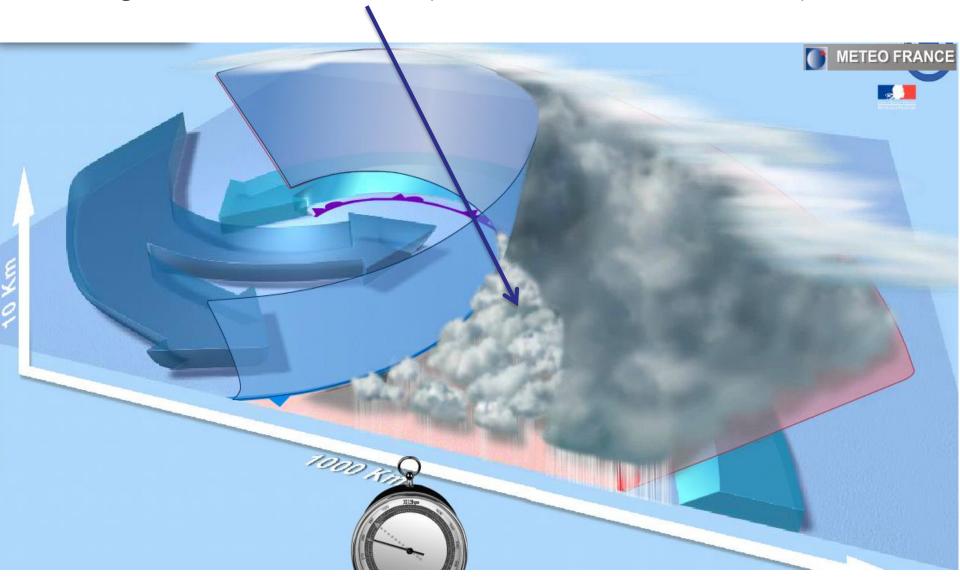


2012/12/19 Secteur chaud, air saturé sur pointe Bretagne, bruine





Nuages dans le secteur chaud (latitude, hiver, été, Méditerranée...)

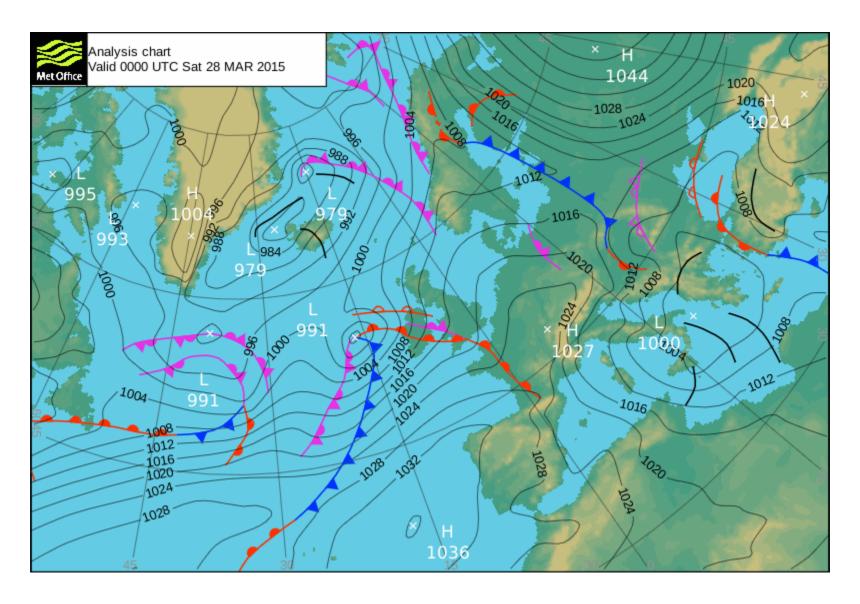


Evolution de la couche nuageuse, des précipitations, de la pression, du vent (dd ff)

La couche nuageuse dans le secteur chaud peut être soit continue, soit fractionnée avec de belles éclaircies en fonction de notre position par rapport au point triple, de la largeur du secteur chaud, de la saison, de la valeur de la pression atmosphérique, de la latitude....

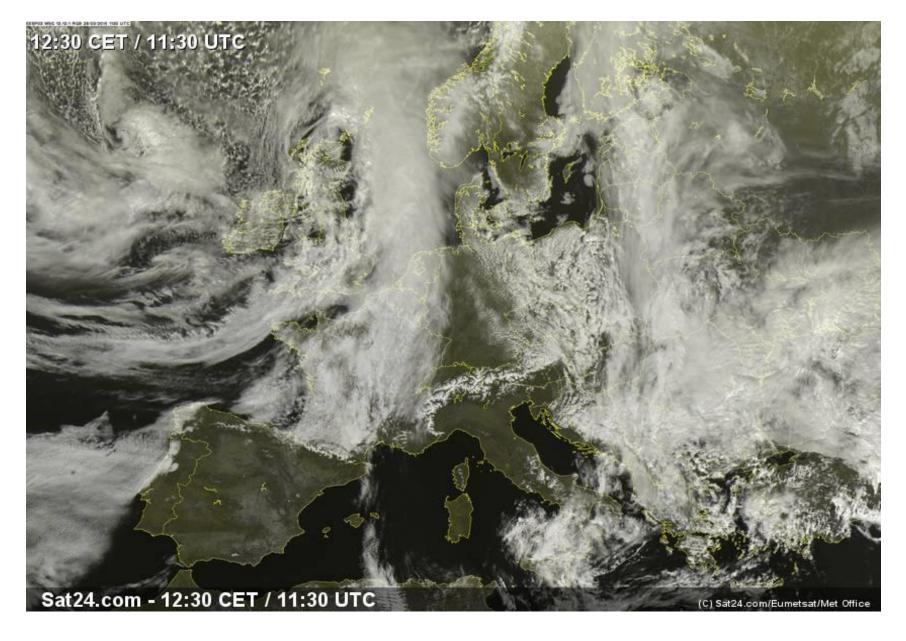


20150328_00h00UTC_Secteur chaud largement ouvert

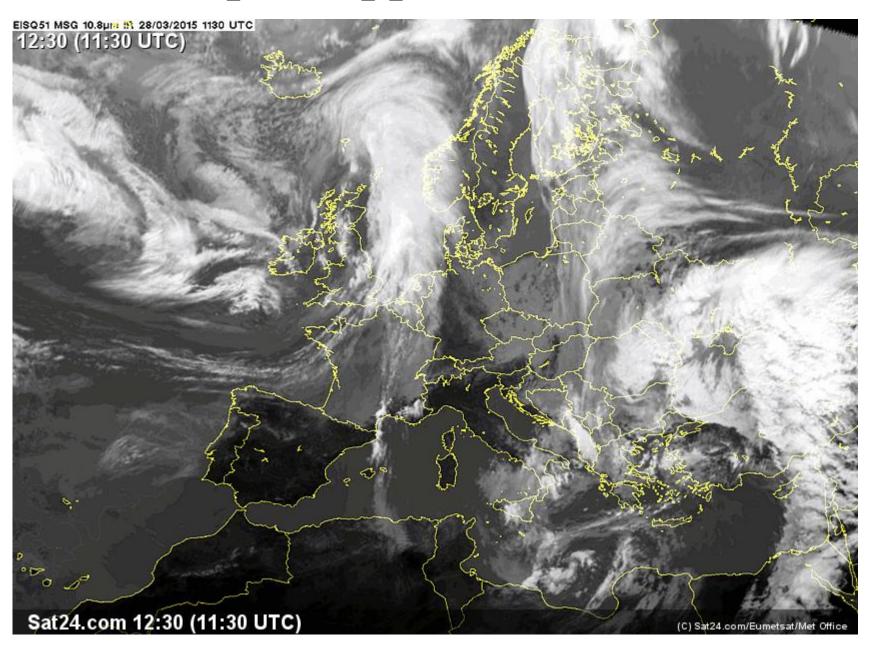


Activité nuageuse et valeur du champ de pression

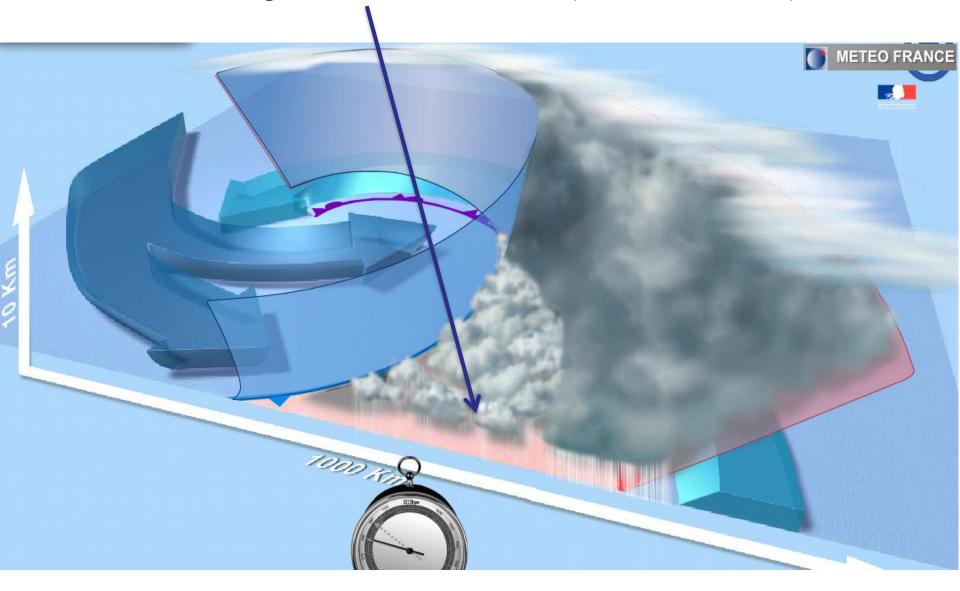
20150328_11h30 UTC_ Vis _éclaircies dans secteur chaud



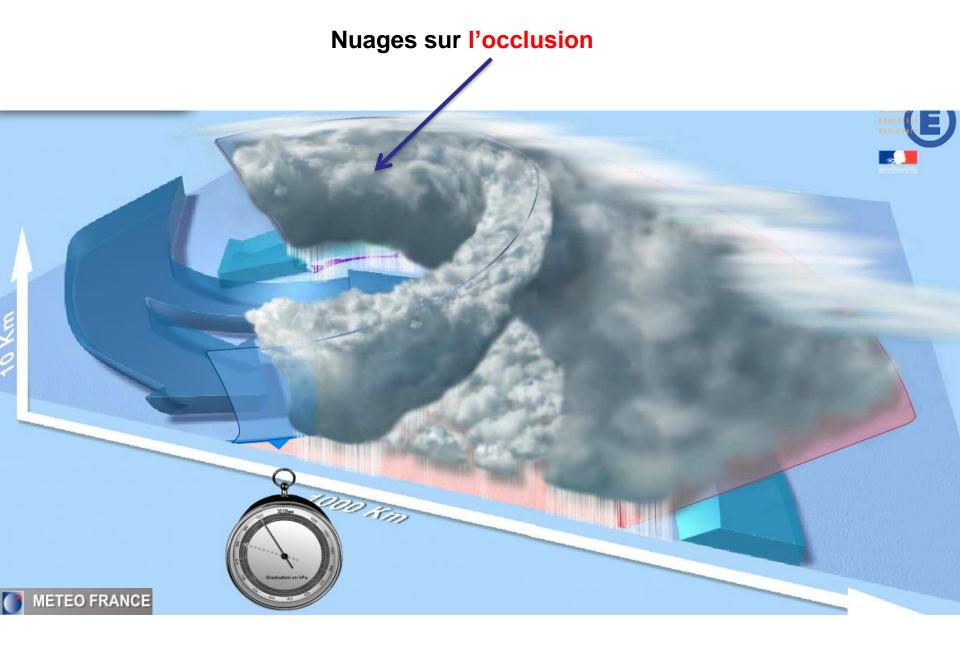
20150328_11h30 UTC_Ir_secteur chaud ouvert



Intensité des nuages dans le secteur chaud (latitude, hiver, été...)



Evolution de la couche nuageuse, des précipitations, de la pression, du vent (dd ff)



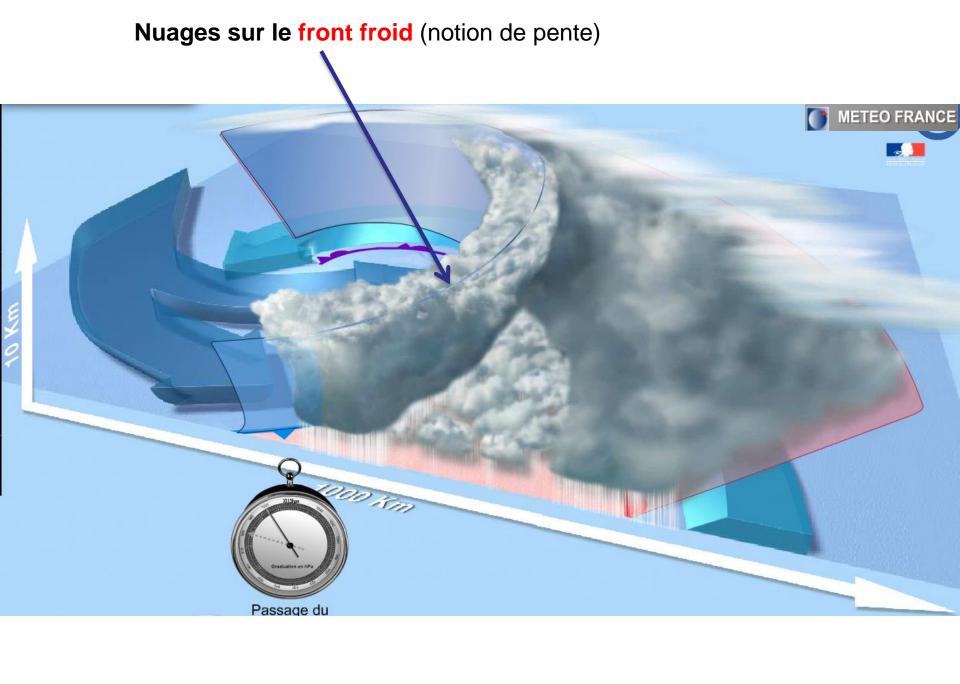
Type de nuages sous une occlusion

Nuages stratiformes en altitude et souvent nuages cumuliformes de type SC dans les basses couches.

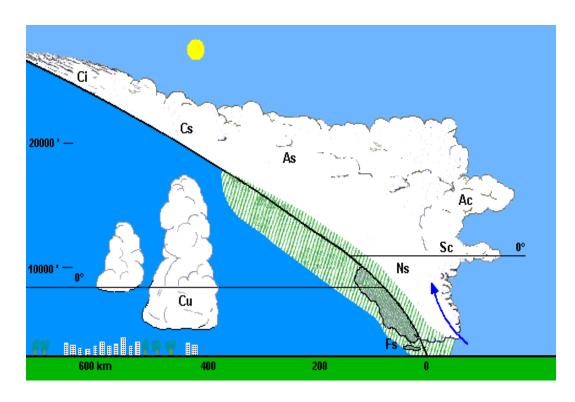
L'occlusion peut stagner plusieurs jours sur une zone, enroulée autour d'un centre dépressionnaire en phase de comblement bien en arrière de la perturbation







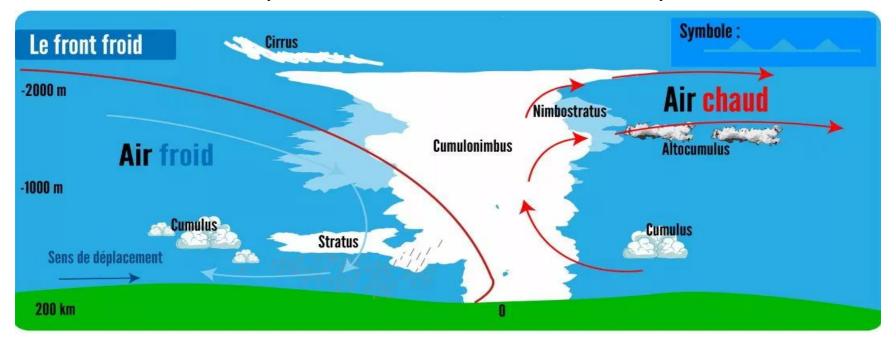
LE FRONT FROID



La trace au sol du front s'accompagne de pluies souvent intenses (pente 1/50) après lesquelles des éclaircies se développent souvent. On assiste également à une modification des vents en direction, force et régularité ainsi que des gains. (tendance baro).

- Dans une perturbation, la limite entre l'air chaud antérieur et l'air froid postérieur s'appelle le front froid.
- -Le front froid est le lieu d'une importante **ascendance** forcée matérialisée par les nuages présents sur la pente frontale.
- -Derrière le front se développent des mouvements convectifs qui seront d'autant plus importants que le contraste thermique entre l'air chaud et l'air froid sera important (FF actif) et donc la pente frontale marquée.
- -Front(s) froid(s) secondaire(s) et lignes de grains.

CAS PARTICULIER : AIR CHAUD ET INSTABLE (fronts froids dans flux de SW l'été)





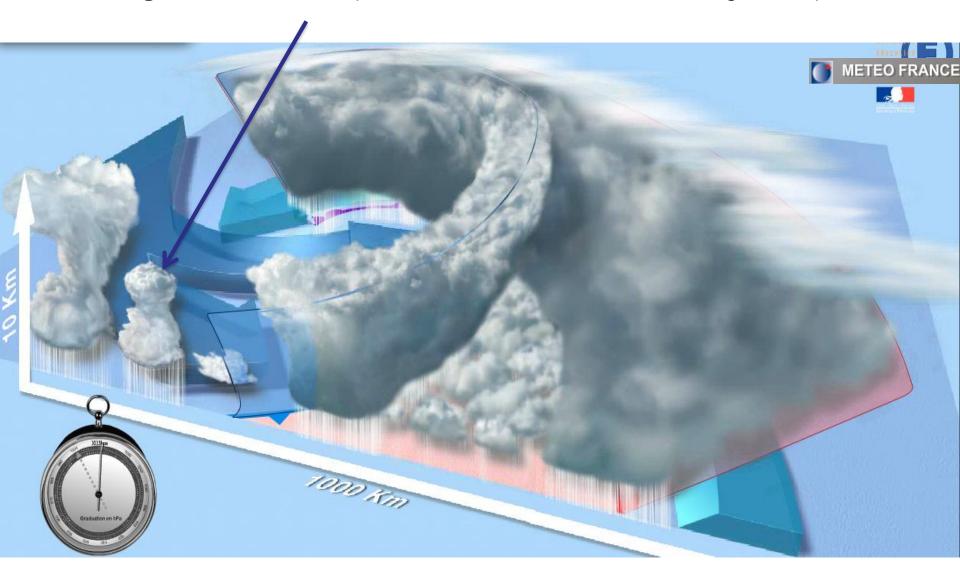
Présence de CB noyés dans la masse des nuages stratiformes sur la pente frontale ou devant le front.

L'air froid rejette violemment en altitude l'air chaud et humide et des foyers orageux naissent dans l'air chaud sur la pente frontale.

Plafond, nature et intensité des précipitations.

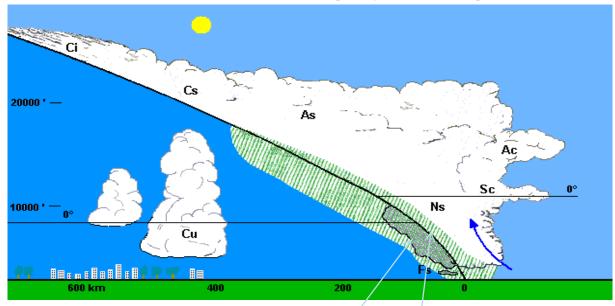
En été, advection chaude remontant du SW, juste avant le front avec tendance orageuse marquée.

Nuages dans la traîne (convection, évolution masse d'air, grains...)



Souvent premier indice du passage du front froid : <u>la hausse de la pression atmosphérique</u>. Idem nature des précipitations.

LE FRONT FROID

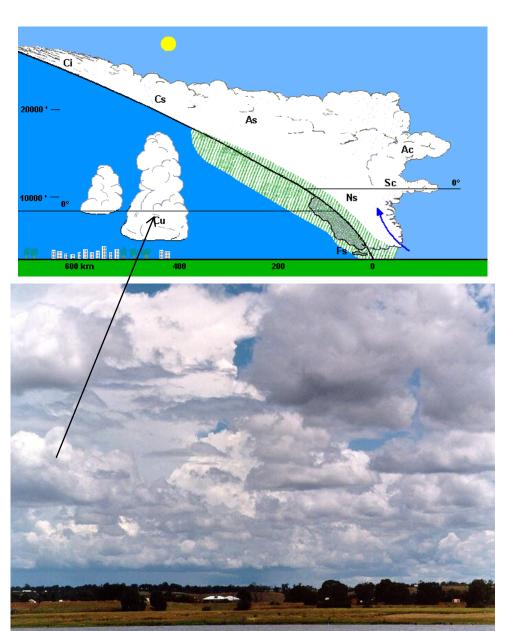


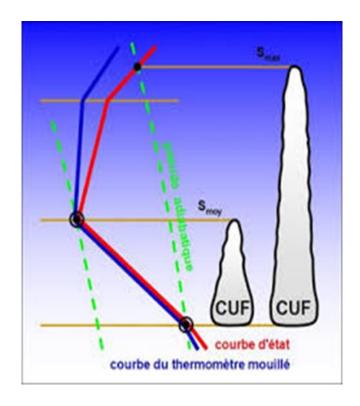
Front froid: trace au sol plus marquée que celle du front chaud (pente plus forte).
Attention aux fronts froids ondulants.

Sous le front froid



LA TRAÎNE et les CUMULUS

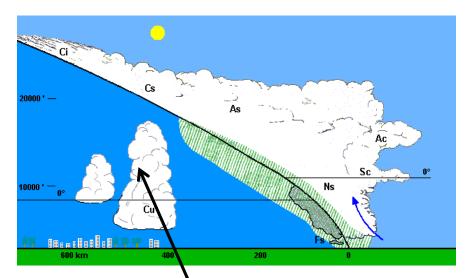




Cumulus: nuages très denses à développement vertical parfois important, aux contours souvent bien délimités, accompagnés d'averses de pluies voire de grêle (adultes).

Rues de nuages (base : 400 m/ 2000 m, épaisseur 200 m à 6000 m).

CUMULONIMBUS (calvus)

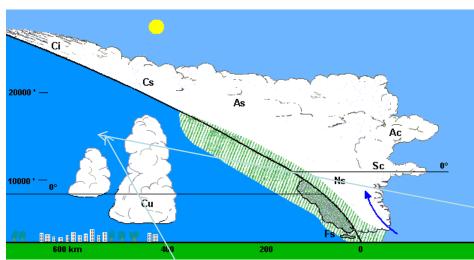






Cumulonimbus: nuages très denses à développement vertical considérable (8000/12000 M - tropopause), aux contours souvent bien délimités accompagnés d'averses de pluies ou de grêle, d'orages, de violentes rafales de vent.

CUMULONIMBUS (capillatus)





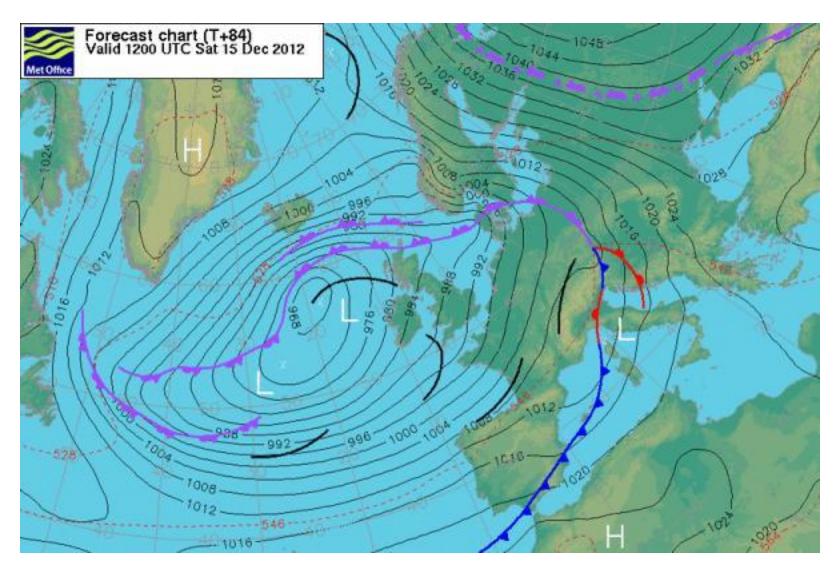
Base : 300 m, épaisseur de 5000 m à 18000 m selon latitude (**tropopause**). Souvent stratus dessous.



Développement maximum du cumulonimbus accompagné d'averses de pluies ou de grêle, d'orages, de violentes rafales de vent pouvant doubler le vent moyen avec des sautes de direction importantes, de trombes marines.

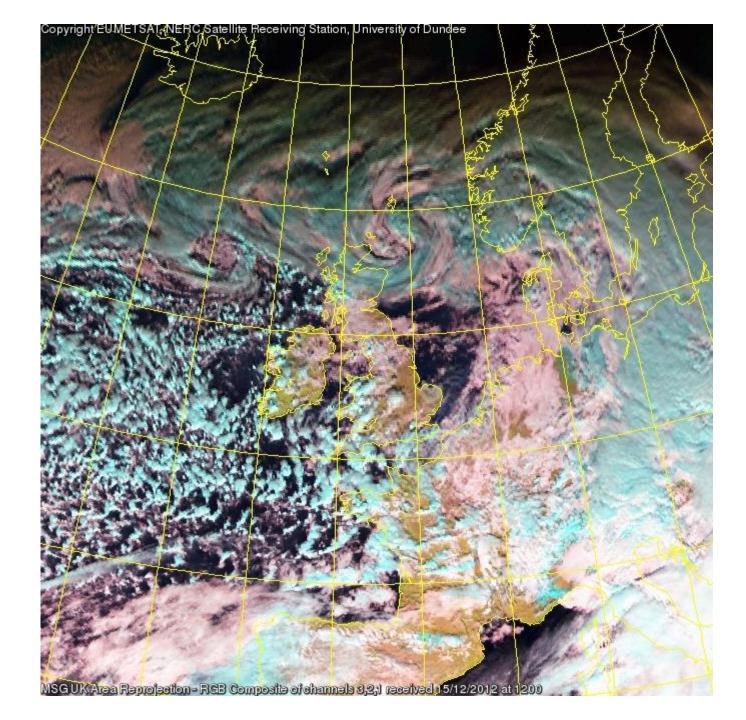
Air polaire maritime propice formation Cb.

Traine active de WSW – grains violents – grand frais à coup de vent en cours.



Flux d'WSW mais d'origine polaire maritime donc instable. Toujours penser à rechercher l'origine de la masse d'air.

20121215-12h00UTC Dundée

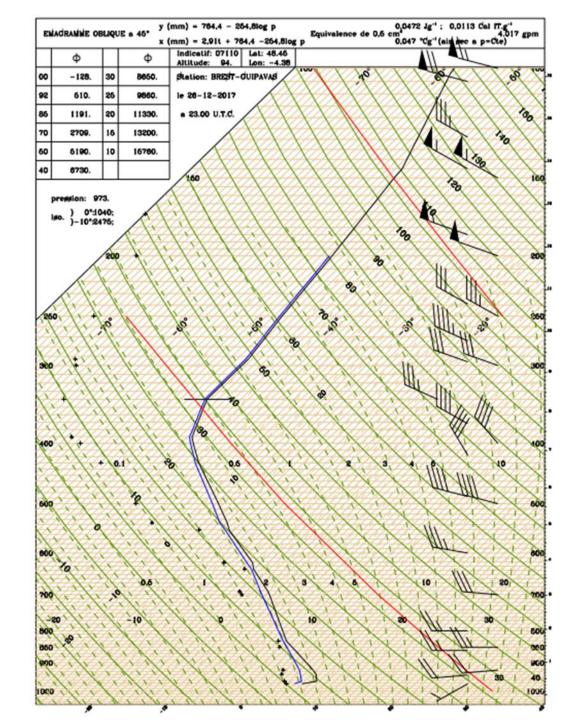


20121215-16h33 UTC Cumulonimbus

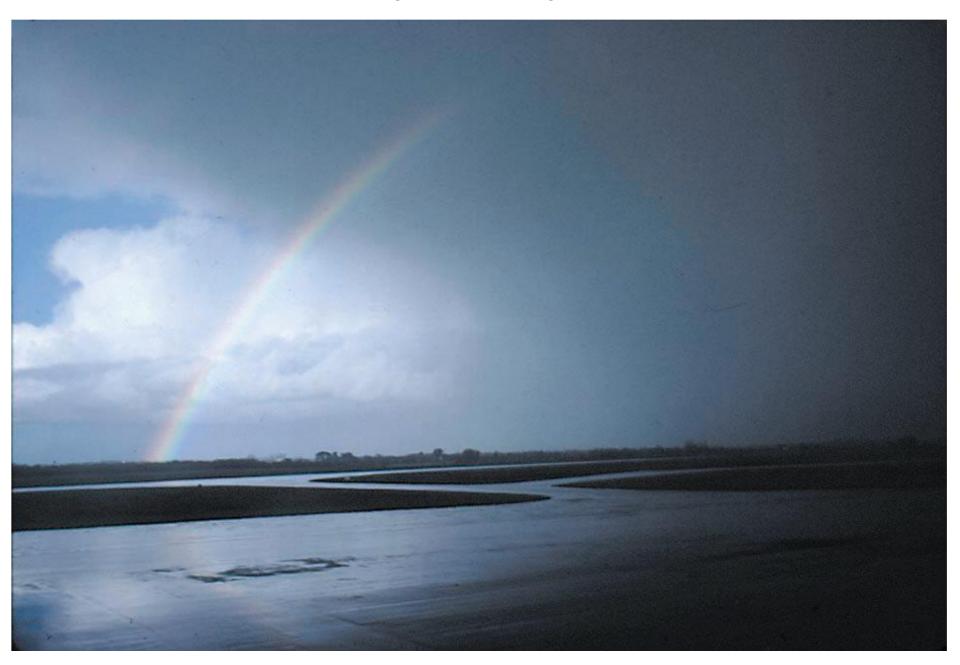




Radiosondage type d'un ciel de traîne active avec nuages convectifs puissants se développant jusque la tropopause CB.



Traine active : nuages instables, grains, arc en ciel



Cumulonimbus soleil couchant en fin de traîne enclume en voie de disparition

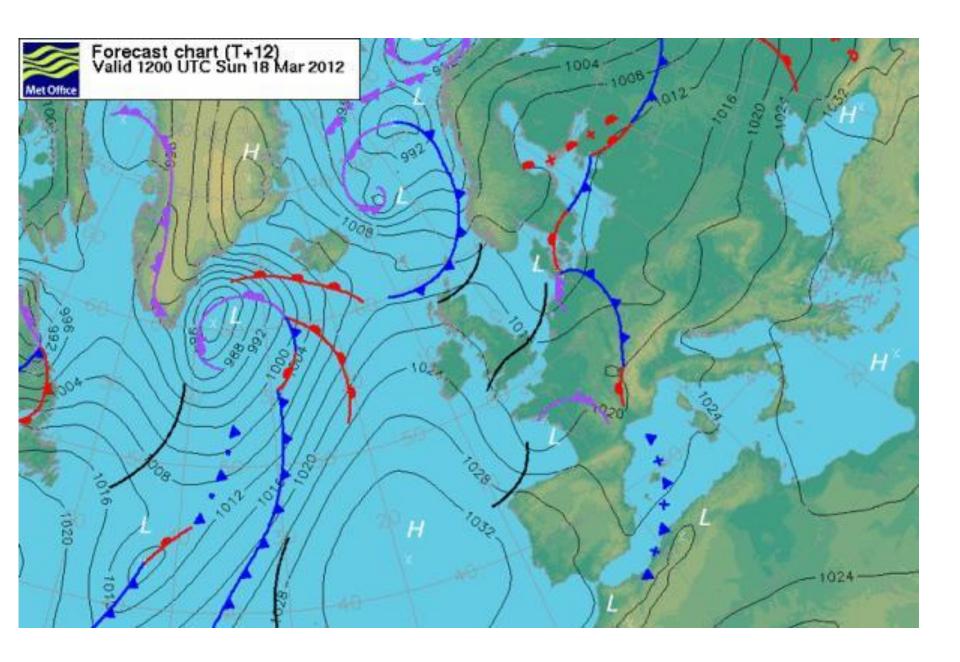


MAMMA SOUS CUMULONIMBUS



MAMMA SOUS CUMULONIMBUS

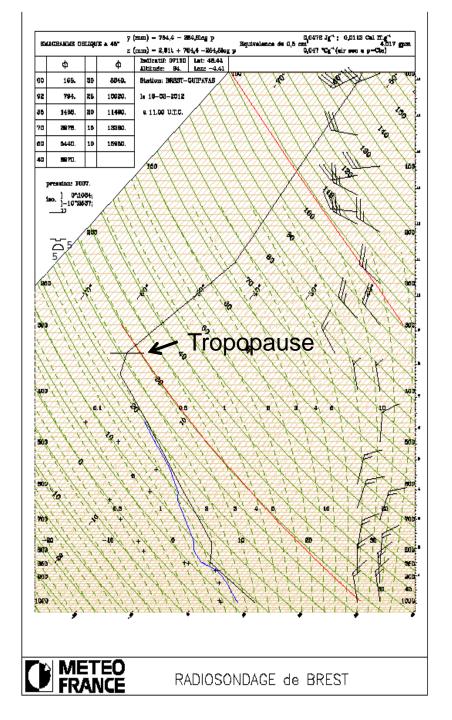


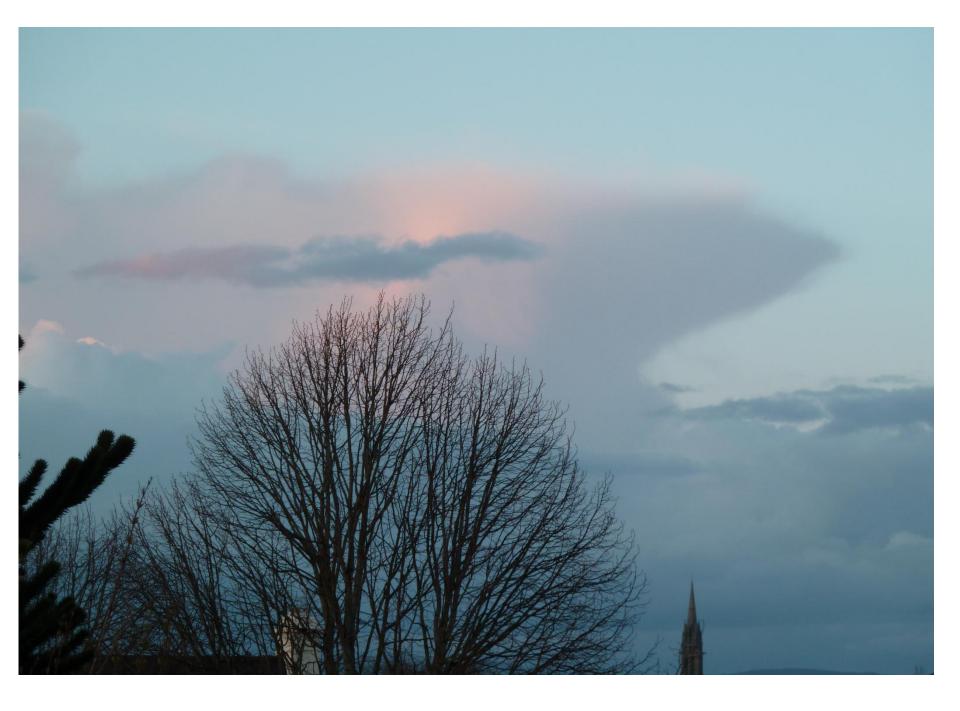


Radiosondage (Brest) instable dans dans la traîne (carte ci-dessus et images ci-dessous).

Les particules d'air qui s'élèvent depuis le sol peuvent monter jusque la **tropopause** et former des nuages puissants, **les cumulonimbus**.

La partie supérieure fibreuse du nuage va s'étaler sous la tropopause et former l'enclume du cumulonimbus visible de très loin en mer lorsque le nuage n'est pas noyé dans une masse nuageuse plus compacte.







Virga sous base de cumulus



Tornade CUMULONIMBUS (USA)



CUMULONIMBUS / TORNADE



TROMBE MARINE





TORNADE et TROMBE



Trombe:

- Convergence locale des vents à la surface de la mer.
- Bouillonnement et bruit au niveau du buisson.
- Quand tuba et buisson se rejoigne, trombe adulte.
- vents 70/80 nds en mer, jusque
 150 à 200 nds pour les tornades terrestres,
- Vitesse de déplacement 7/15nds en mer, plus rapide sur terre.
- Diamètre de 10 à 40 mètres sur mer.
- Durée de vie de quelques minutes à une demi-heure.
- Principalement au printemps et en automne.

TROMBE MARINE





Trombe marine au stade adulte. S'écarter le plus tôt possible du buisson et des vents forts qui l'accompagnent.



Evolution de la cellule convective





Au



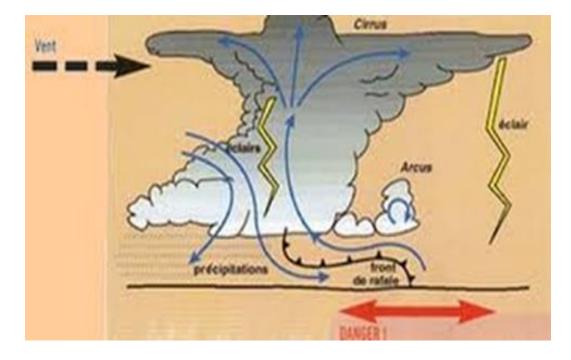






Front de rafales

devant le cumulonimbus, expulsion de l'air froid et création d'un nuage de type arcus (rouleau)





Arcus sur l'avant de CB



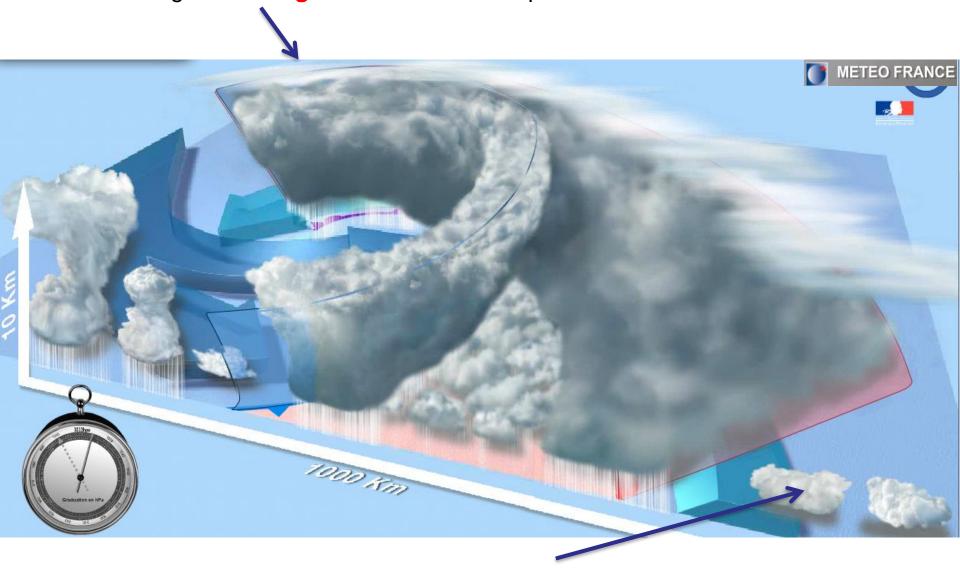


Cumulonimbus en fin de vie et tête de cumulonimbus séparés du nuage

(Cirrus spissatus cumulonimbogénitus)

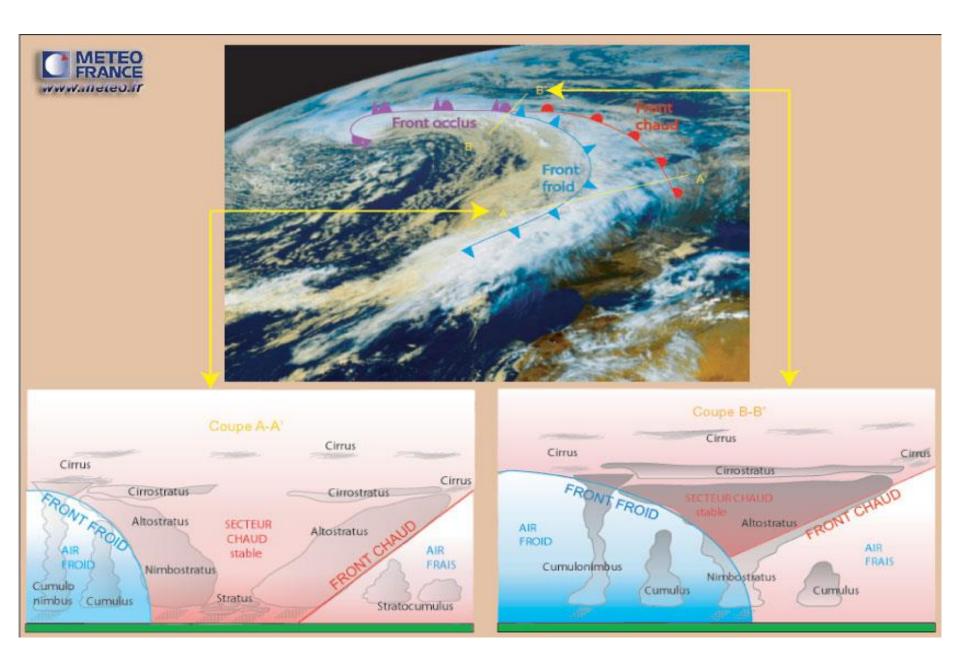


Des nuages en marges sud et nord de la perturbation



Alternance de nuages et d'éclaircies en marges nord et sud de la perturbation (plutôt stratiforme au nord idem occlusion, mélange stratiforme cumuliforme au sud

LES NUAGES FRONTAUX



EVOLUTION DES PARAMETRES METEO

Coupe A-A' Cirrus Cirrus Cirrus Cirrostratus FRONT FROID Cirrostratus Bien suivre Altostratus SECTEUR Altostratus CHAUD AIR stable FRAIS EROID Nimbostratus Cumulo Stratus nimbus Cumulus Stratocumulus

l'évolution de tous les paramètres

Temps	Averses, grains, orages	Pluies ou/et bruines continues ou alternatives	Se couvrant plus ou moins lentement avec pluies
Nuages	Cumuliformes	Stratiformes	Stratiformes envahissants
Vent	WNW à NW à NNW	SSW à SW parfois W	SE s'orientant S puis SSW
Pression	Hausse	Baisse ou stationnaire	Baisse régulière
Visibilité	Très bonne hors grains	Médiocre, mauvaise	Bonne se réduisant



LES AUTRES TYPES DE NUAGES



Cumulus humilis (cumulus de beau temps) : nuages denses à développement vertical limité par une inversion de température (anticyclone)





Stratocumulus: nuages en nappes ou en couches (fréquent en mer - anticyclone maritime) couvrant parfois la totalité du ciel (8/8) (base : 600 m / 2500 m, épaisseur 600 m).

LES AUTRES TYPES DE NUAGES



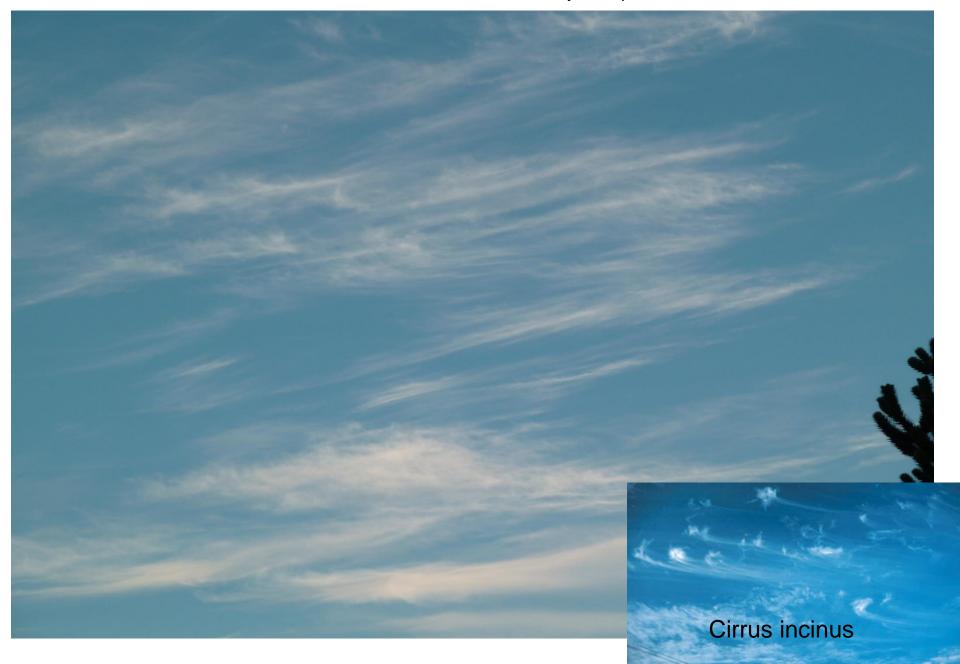
Cirrocumulus : nuages élevés, banc, nappe ou couche petits éléments en forme de granules, de rides... soudés ou pas (6000 M)





Altocumulus : nuages en nappes ou en couches couvrant parfois la totalité du ciel (8/8) (AC +SC)

20120908 - 06h13 TU Conditions anticycloniques - Cirrus



20120908-06h12TU – Cirrus et trainées de condensation



Cirrus radiatus



Cirrocumulus



Base 7000 m / 10000 m, épaisseur 500 m.

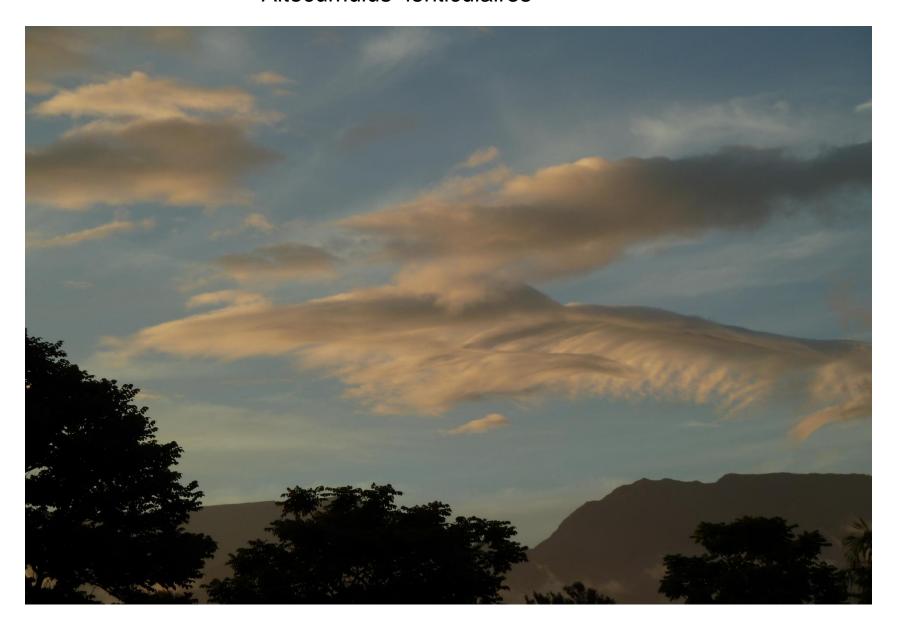
Stratus et Altocumulus lenticulaires sur Pico (Açores)



Altocumulus lenticulaires



Altocumulus lenticulaires



ALTOCUMULUS



Base: 2000 m / 6000 m, épaisseur 1500 m

Altocumulus en nappe



Base : 2000 m / 6000 m, épaisseur 1500 m

Altocumulus



Stratocumulus



(base: 800 m / 1500 m, épaisseur 600 m).

ALTOCUMULUS FLOCUS (pré-orageux)



Altocumulus, Cumulus pré-orageux



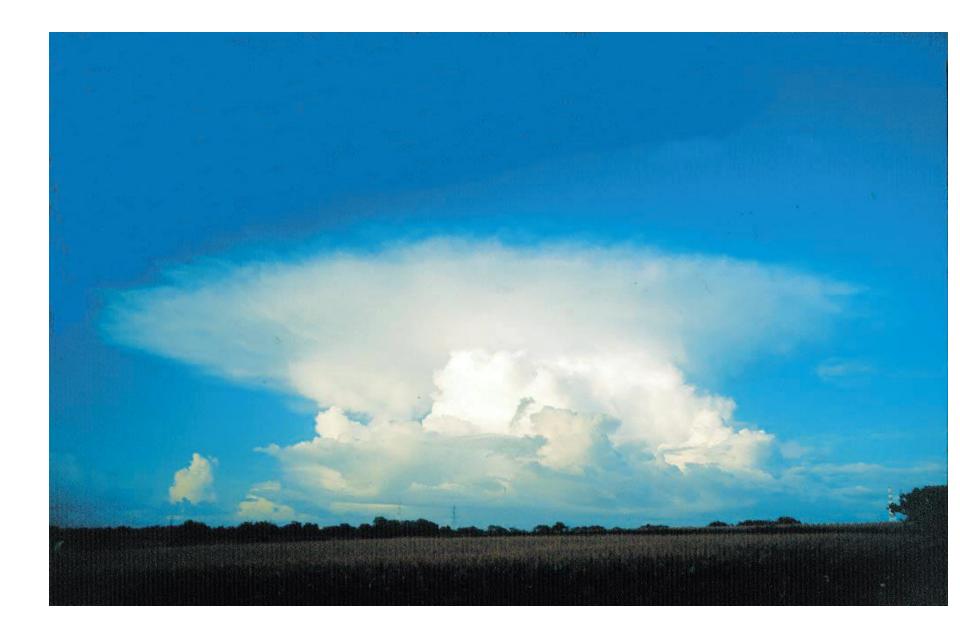
Protubérances (Mamma) sous cumulonimbus



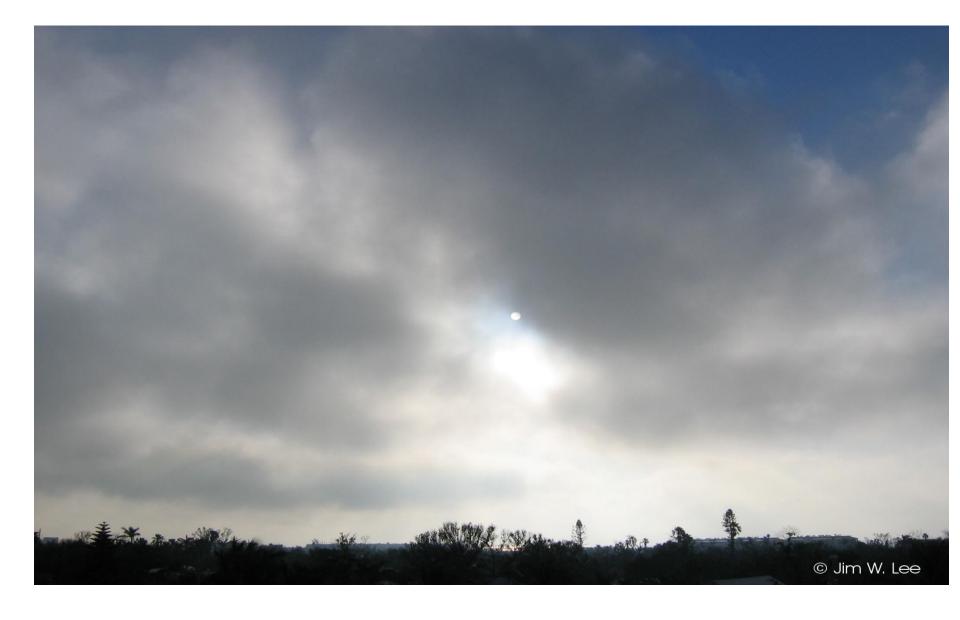
Cumulonimbus (calvus) temps orageux n'a pas encore atteint le stade maximum de son développement (enclume pas encore formée mais en cours).



Cumulonimbus (capillatus) avec son enclume qui s'étale sous la tropopause



STRATUS fractus en conditions anticycloniques, humidité sous inversion de température.



Au cours des 7 prochains jours : observation des nuages chaque jour vers 13h00 locales, association des types de nuages aux modes de formation et localisation des nuages dans la masse d'air.

La semaine prochaine, les satellites météorologiques, les modèles numériques de prévision météorologique, les bulletins et les sites météorologiques.