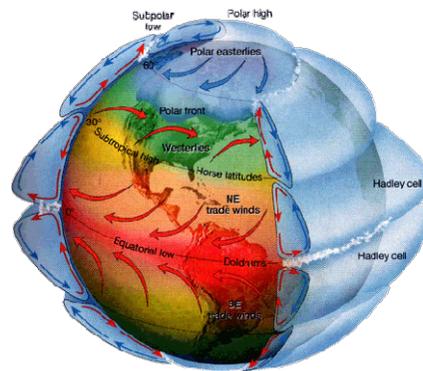
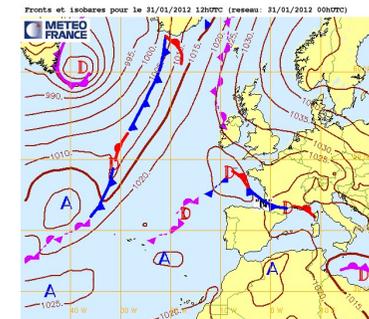
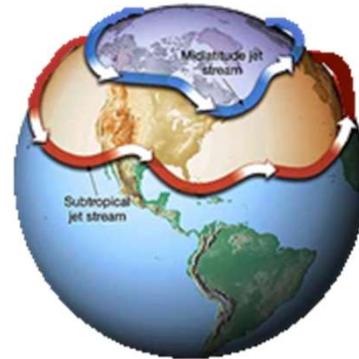
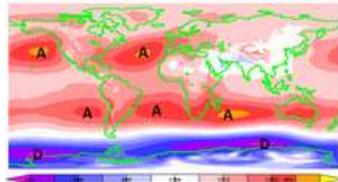
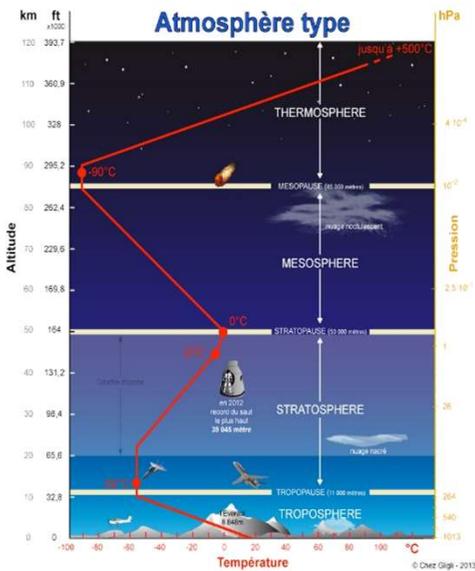
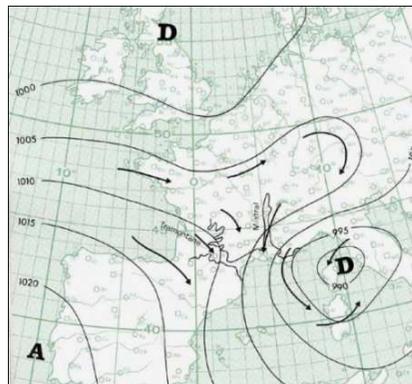
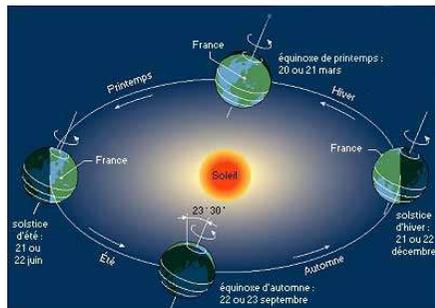
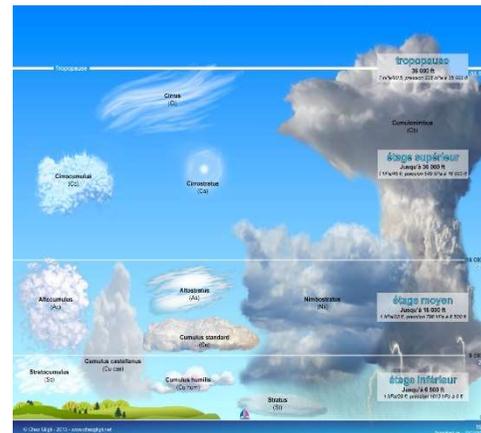




# 1. Météorologie et Aérologie



ATMOSPHERE STANDARD ET NUAGES



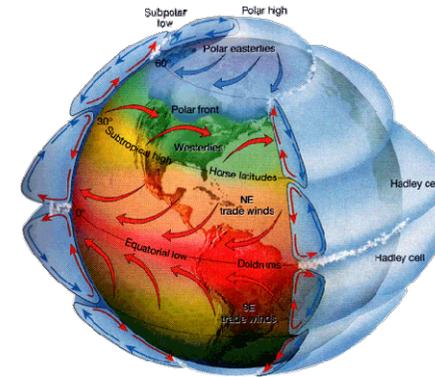
# Programme et plan du cours

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Repérer les phénomènes météorologiques et aérologiques</li> <li>• Utiliser des données météorologiques pour la préparation du vol</li> <li>• Repérer les phénomènes dangereux</li> </ul>	<b>1.1 – L'atmosphère</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Composition</li> <li>- Pression atmosphérique</li> <li>- Températures</li> <li>- Masse volumique</li> <li>- Atmosphère standard</li> <li>- Instruments de mesure</li> <li>- Humidité de l'air et saturation</li> <li>- Phénomènes énergétiques (conduction, convection, rayonnement)</li> <li>- Stabilité et instabilité de l'atmosphère</li> <li>- Circulation générale</li> </ul>			
	<b>1.2 – Les masses d'air et les fronts</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Isobares, anticyclones, dépressions, cols, dorsales, talwegs, marais barométriques</li> <li>- Perturbations et fronts</li> </ul>			
	<b>1.3 – Les nuages</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Formation des nuages</li> <li>- Formation des brouillards et des brumes</li> <li>- Description et classification</li> <li>- Précipitations associées</li> </ul>			
	<b>1.4 – Les vents</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Origine du vent et organisation globale</li> <li>- Carte des vents</li> <li>- Vents locaux</li> </ul>			
	<b>1.5 – Les phénomènes dangereux pour le vol</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Turbulences</li> <li>- Précipitations</li> <li>- Orages</li> <li>- Brumes et brouillards</li> <li>- Givres</li> </ul>			

# Les Niveaux d'échelle météorologique du cours

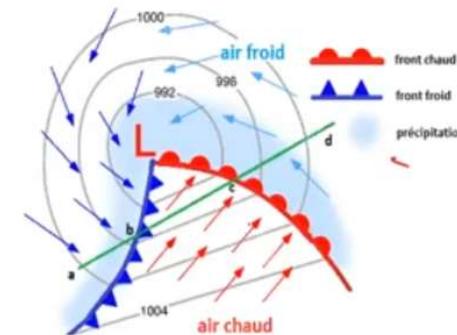
## L'échelle CLIMATOLOGIQUE

Elle permet de caractériser les particularités météorologiques en fonction des régions du globe et des saisons.



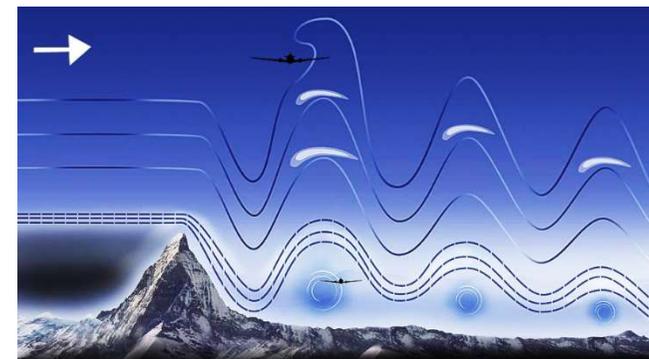
## L'échelle METEOROLOGIQUE

C'est l'échelle de la météorologie courante, utilisée pour suivre les perturbations, décrire les courants d'altitude... C'est l'échelle des prévisions aéronautiques pour un vol.



## L'échelle AEROLOGIQUE

C'est l'échelle de l'étude des phénomènes météorologiques tels que les brises, les ascendances sous les nuages, effet du vent sur le relief, turbulences ....



# Météorologie

- A. L'atmosphère
- B. Les masses d'air et les fronts
- C. Les nuages
- D. Les vents
- E. Les phénomènes dangereux pour les aéronefs
- F. L'information aéronautique

# Météorologie

## A L'atmosphère

1. Définition
2. Composition
3. Différentes couches
4. Pression
5. Température
6. Humidité
7. Masse volumique
8. Atmosphère « standard »

# A - L'atmosphère

## 1 - Définition



L'atmosphère terrestre est **l'enveloppe gazeuse** entourant la Terre. Environ 400 km d'épaisseur totale, mais 99% de la masse d'air en dessous de 30 km d'altitude

# A - L'atmosphère

## 2 - Composition (en volume, % air sec)

azote (N<sub>2</sub>) = 78,1 %  
oxygène (O<sub>2</sub>) = 20,9 %

**99 %**

argon (Ar) = 0,9 %  
dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) = 0,04 %  
méthane (CH<sub>4</sub>) = 0,0002 %  
ozone (O<sub>3</sub>) = 0,0000007 %  
.....

**1 %**

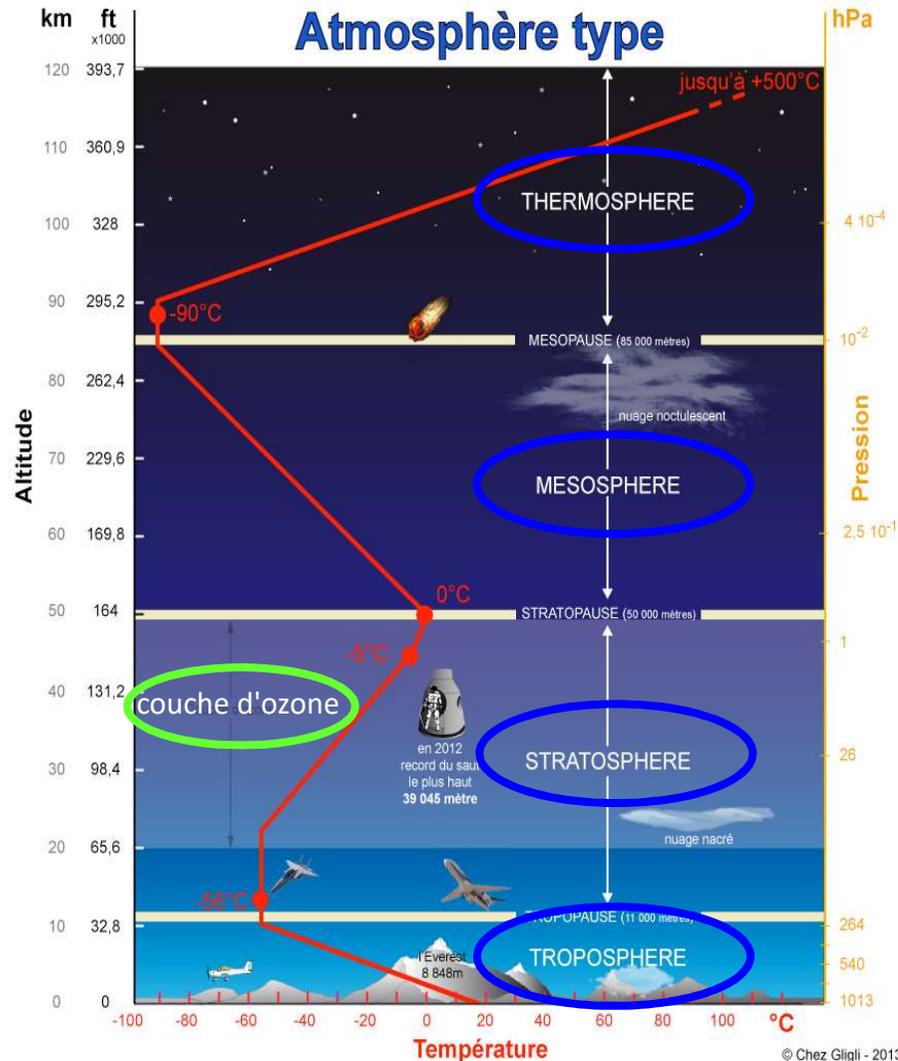
0,1% seulement,  
mais forte  
contribution à  
l'effet de serre !

**vapeur d'eau : 0,5 à 5 %**

dans air humide

# A - L'atmosphère

## 3 - Différentes couches



### La thermosphère

T atteint 500 °C à la limite de l'atmosphère (environ 400km).

### La mésosphère

T décroît jusqu'à la limite de cette couche (environ 80 km).

### La stratosphère

T constante jusqu'à 25 km puis croît (environ 0 °C vers 40 km).  
**contient la couche d'ozone**

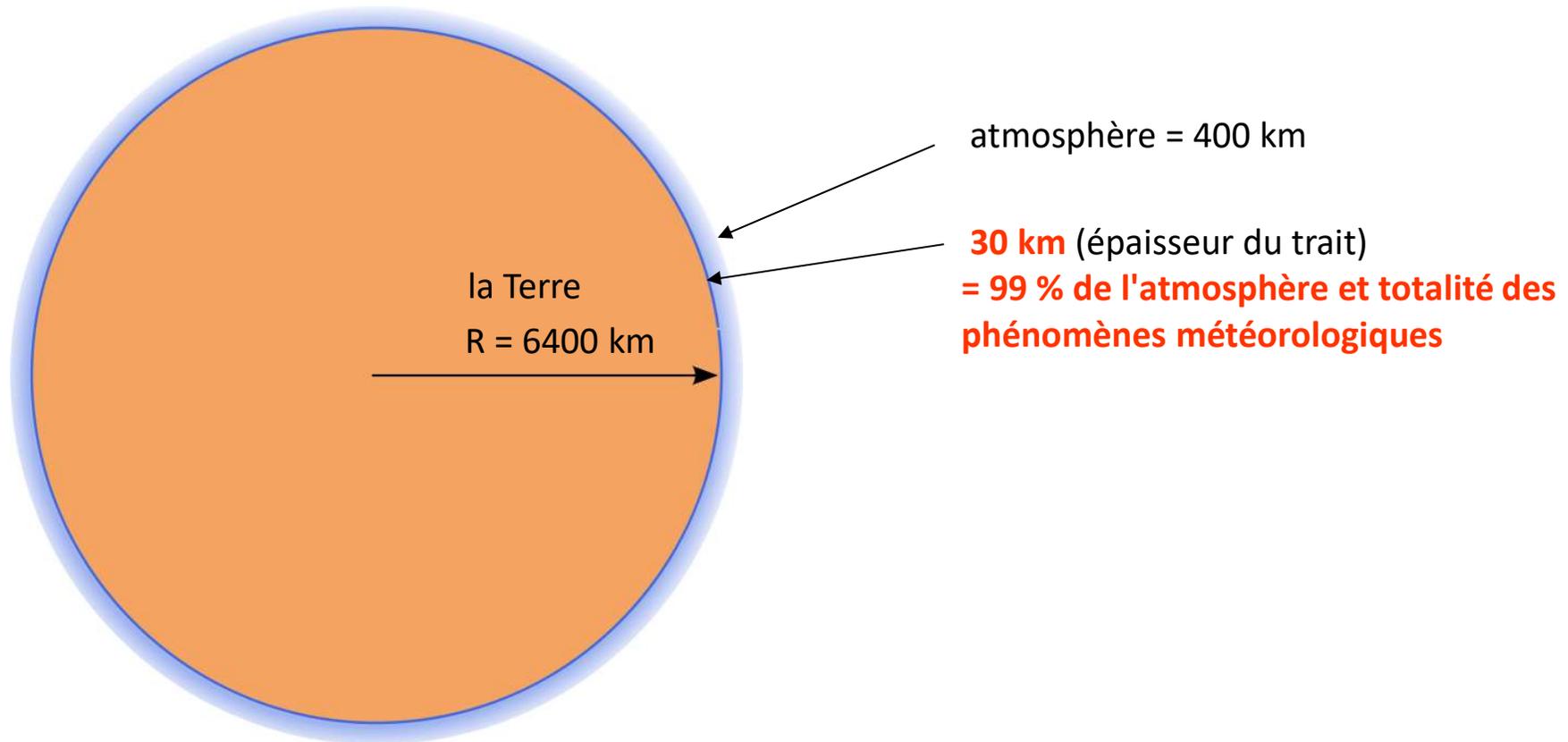
### La troposphère

Epaisseur de 7 à 15km. (11 km sous nos latitudes). T diminue avec l'altitude pour descendre jusqu'à -50 / -60 °C.

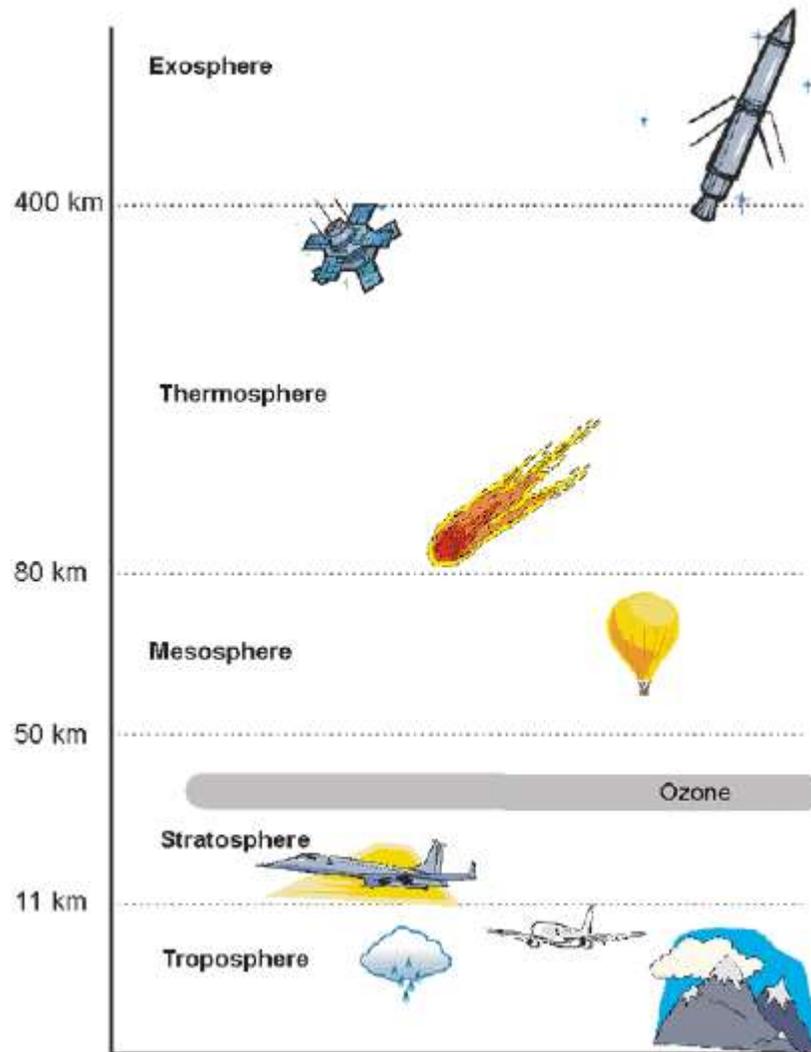
# A - L'atmosphère

## Épaisseur

Par rapport au rayon de la Terre (6400 km), l'atmosphère est une couche très mince ! Mais elle conditionne complètement les possibilités de vie



# Utilisateurs



36 000 km : satellites géo-stationnaires (télécom, météo)

20 000 km : satellites de navigation (**GPS**, Glonass, Galileo, Beidou)



200-400 km : satellites "bas" (par ex. la station spatiale, habitée)

combustion des météorites

ballons météo

avions militaires (et Concorde)  
avions de ligne (liners)

avions légers

# Utilisateurs



36 000 km : satellites géo-stationnaires (télécom, météo)

20 000 km : satellites de navigation (**GPS, Glonass, Galileo, Beiyou**)

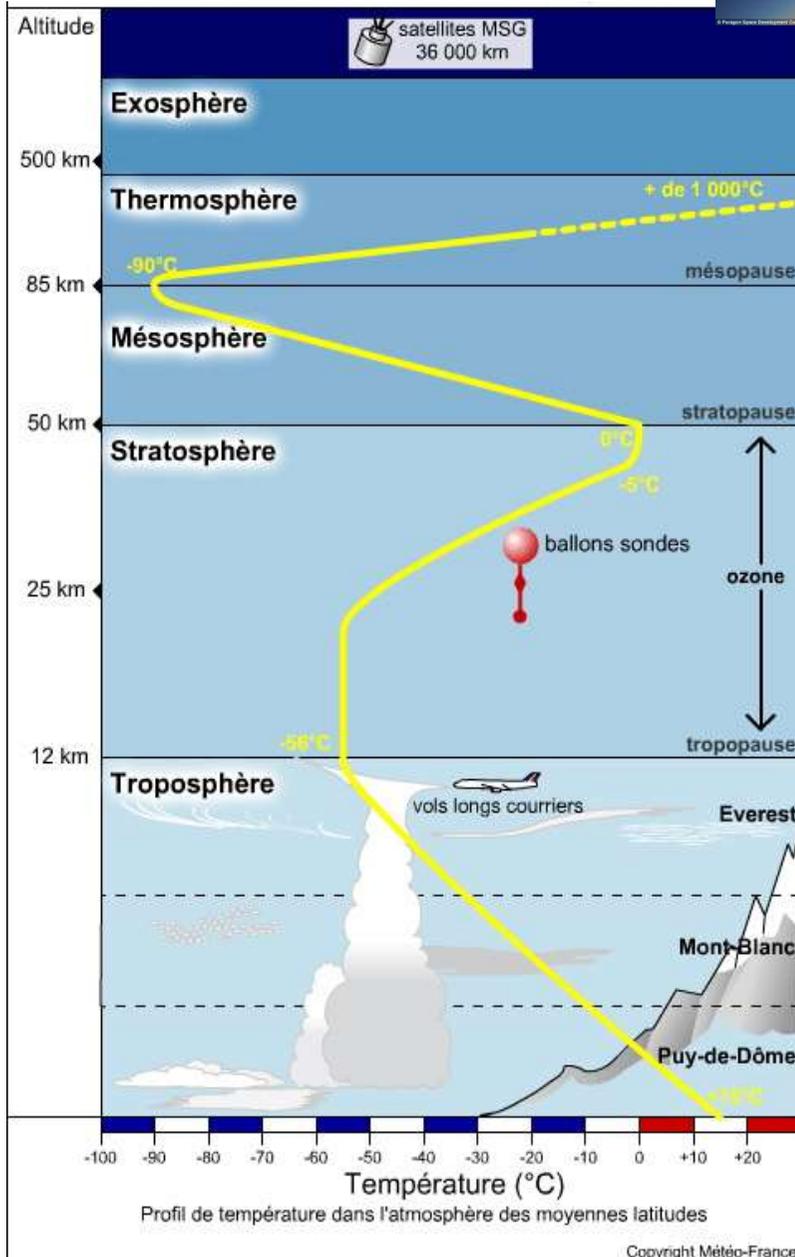


200-400 km : satellites "bas"  
Alan Eustace : saut de 41,4 km  
(par ex. la station spatiale, habitée)

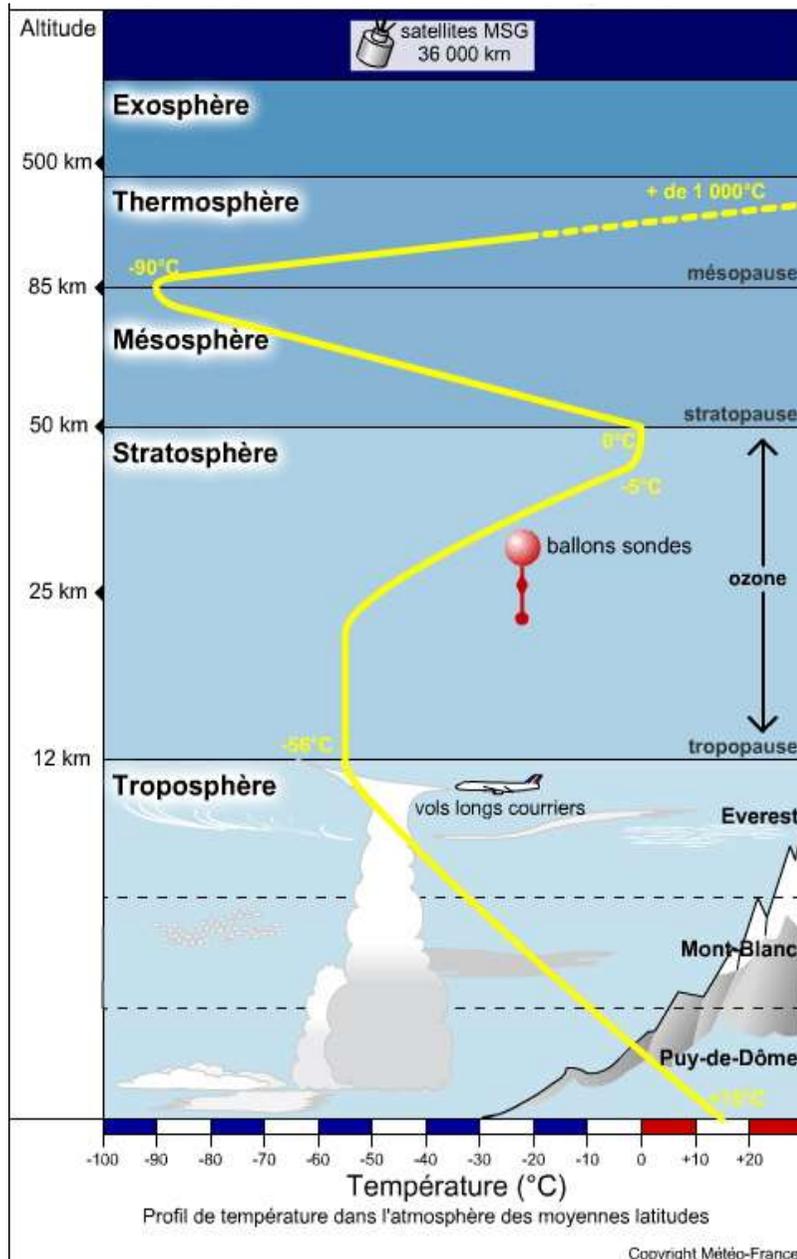
10-20 km avions militaires (et Concorde)

10-12 km : avions de ligne (liners)

1-3 km : avions légers



# Utilisateurs



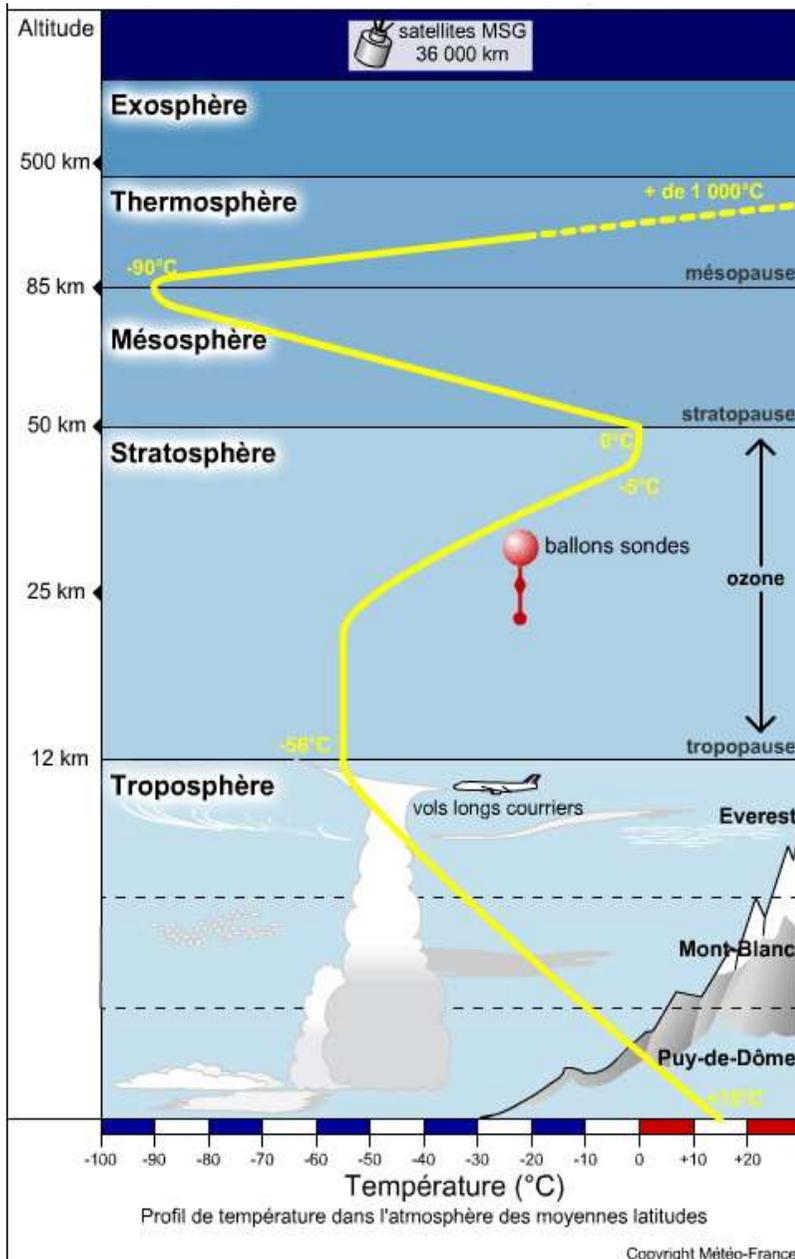
Alan Eustace : saut de 41,4 km

10-20 km avions militaires (et Concorde)

10-12 km : avions de ligne (liners)

1-3 km : avions légers

# Utilisateurs



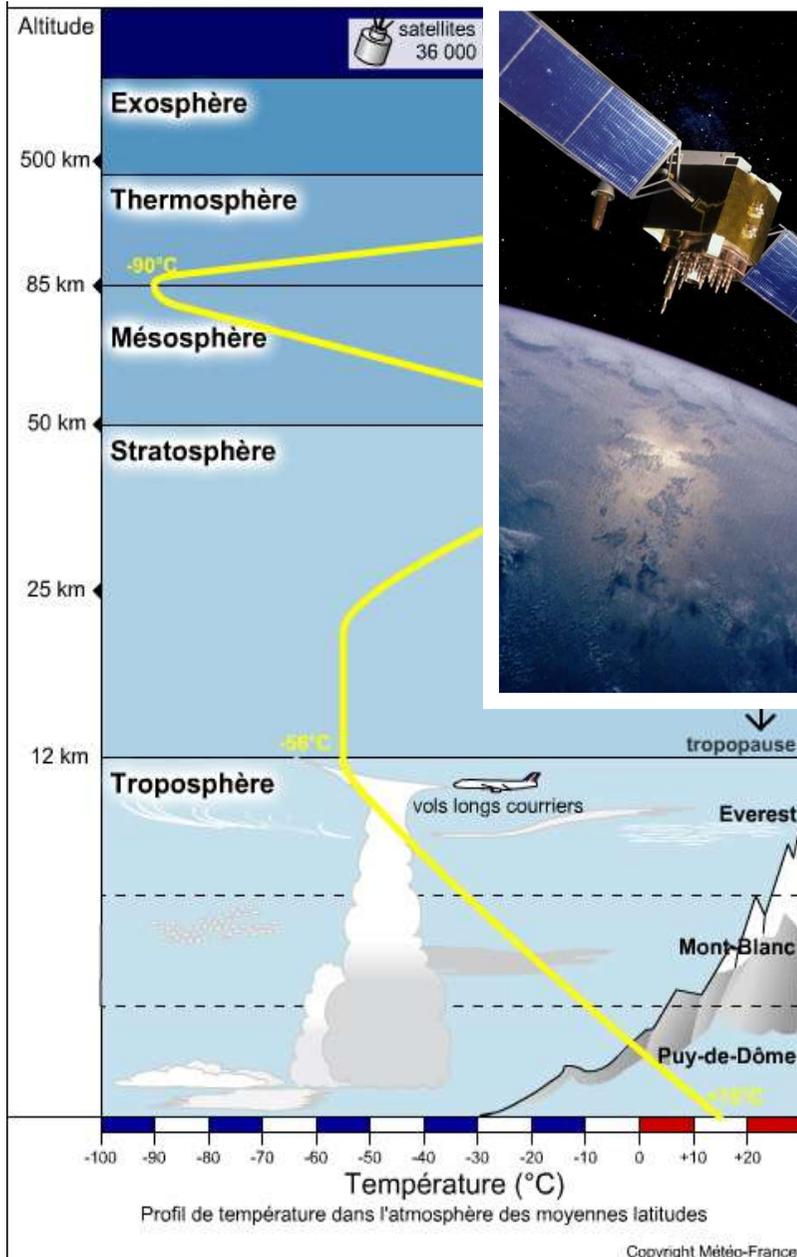
200-400 km : satellites "bas"  
 tourisme spatial : 100 km  
 (par ex. la station spatiale, habitée)

10-20 km avions militaires (et Concorde)

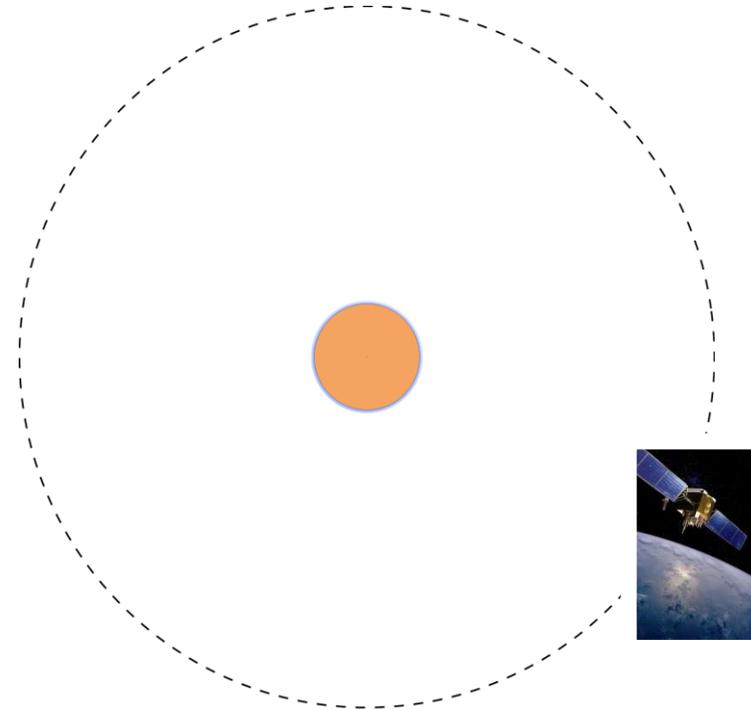
10-12 km : avions de ligne (liners)

1-3 km : avions légers

# Utilisateurs



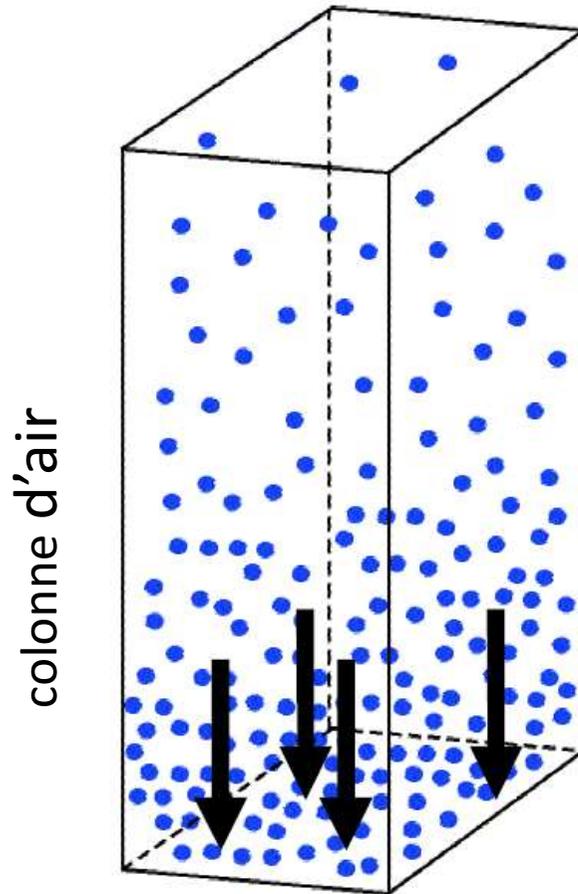
36 000 km : satellites géo-stationnaires (télécom, météo)



à l'échelle : la Terre, l'atmosphère (en bleu) et l'orbite d'un satellite géostationnaire (trait tireté). La lune serait encore 10 fois plus loin.

# A - L'atmosphère

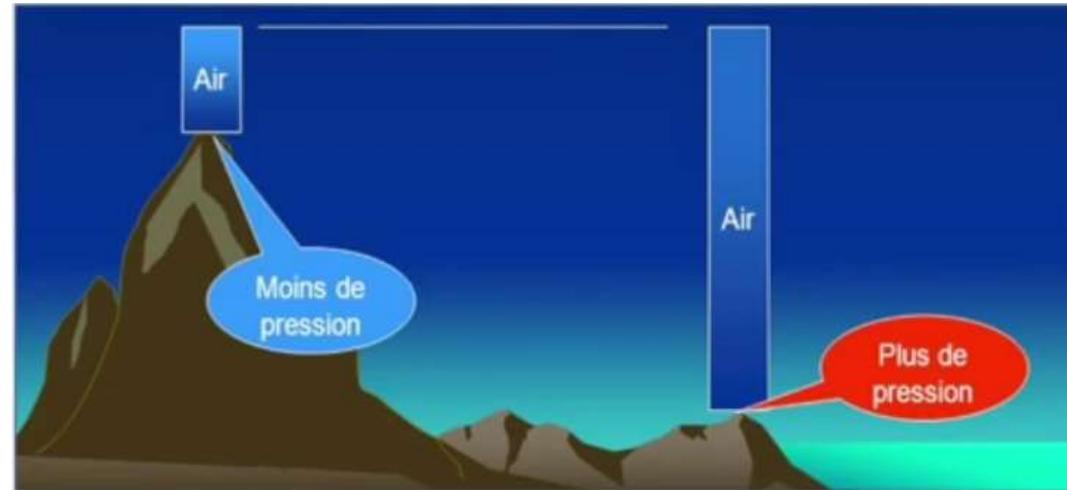
## 4 - La pression atmosphérique



pression  
atmosphérique

*fig. L. Souteyrat*

C'est le **poids** de la colonne d'air surmontant une surface **d'1 m<sup>2</sup>**. Elle varie donc avec **l'altitude**.

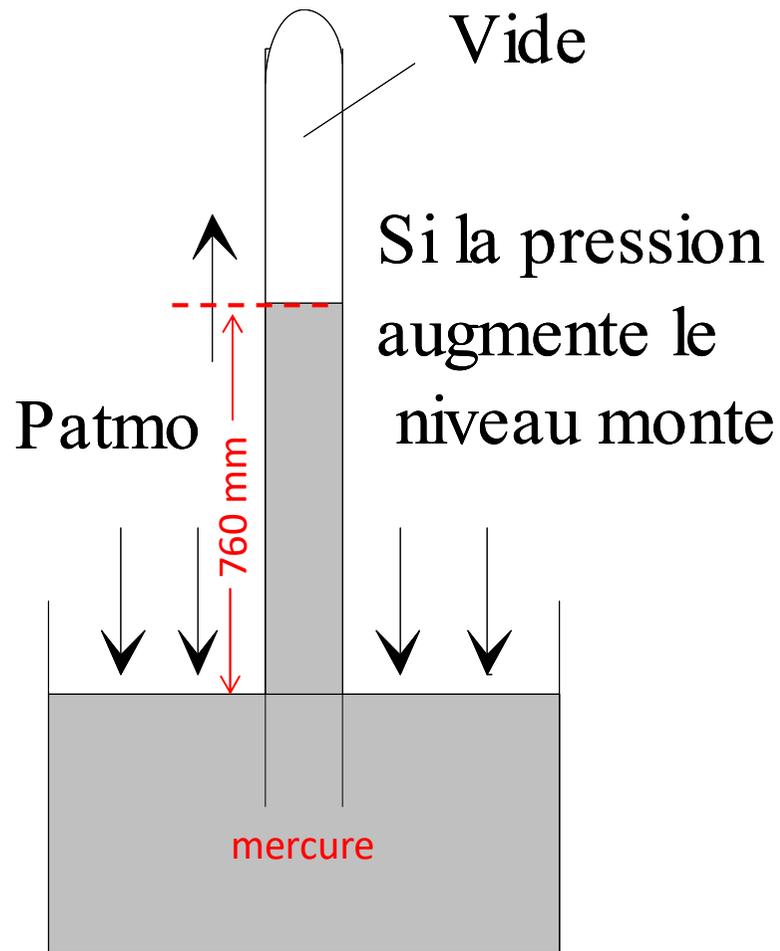


Dans le système international d'unités, la pression se donne en **Pascal**.

En météo, plus pratique d'utiliser **l'hectopascal (1 hPa = 100 Pa)**.

On utilise également **le millibar (1 mbar = 1 hPa)**.

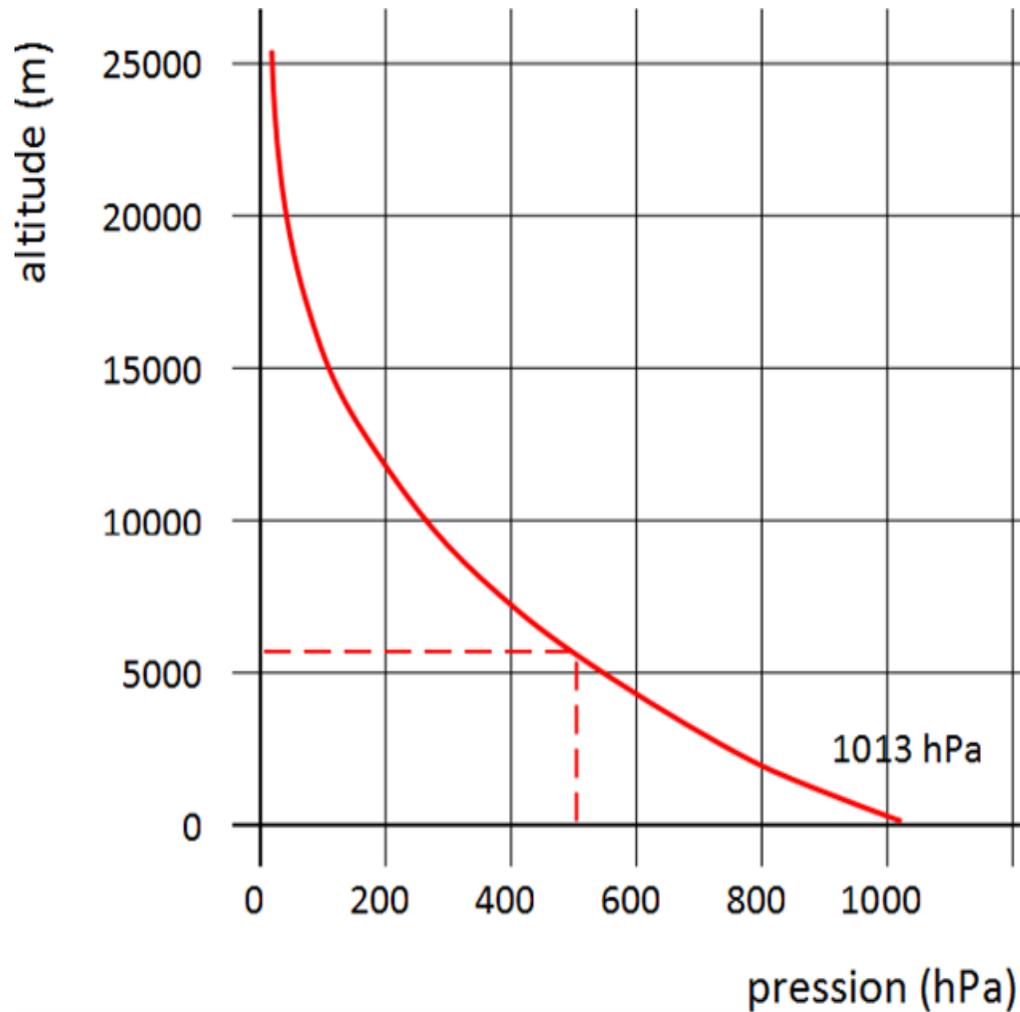
# Mesurer la pression



On utilise un **baromètre** (inventé par Torricelli en 1644)

La valeur moyenne au niveau de la mer est de **1013 hPa** (760 mm de mercure)

# Variation de la pression avec l'altitude



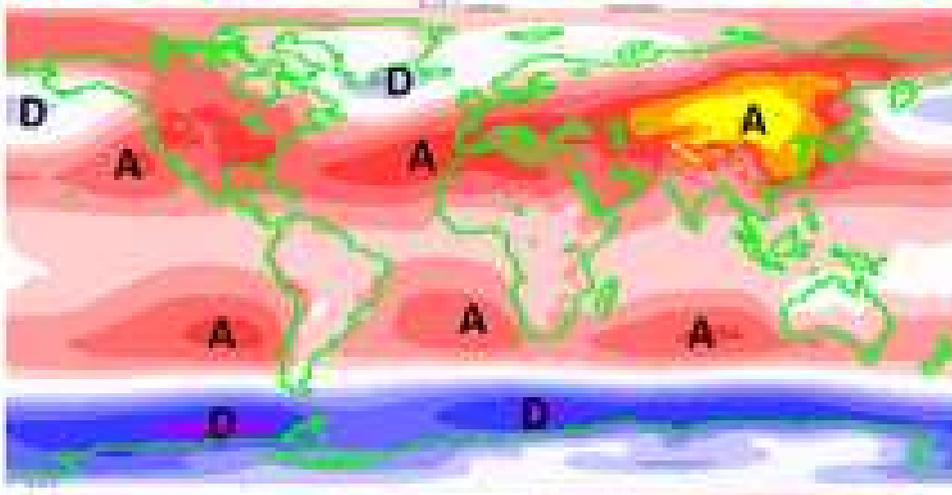
La variation de pression est surtout rapide en basse altitude :

pour que la pression diminue de **1 hPa**, il faut monter de :

- **8,5 m (= 28 ft)** au niveau de la mer et jusqu'à 2 500ft
- 30 m (=100 ft) vers 3 000 m (10 000 ft)

Vers **5500 m**, on n'est plus qu'à la **moitié de la pression** du niveau de la mer (**2 fois moins d'oxygène pour le pilote** et pour le moteur !)

# Variation de la pression au sol

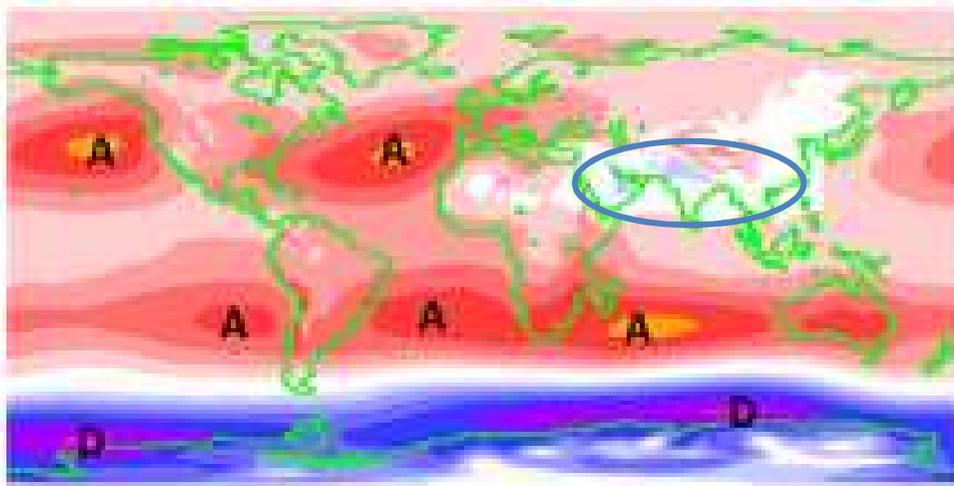


Exemple 1 : une carte à échelle du monde des pressions observées **un jour d'hiver** (en rouge, pression hautes; en bleu pressions basses)

La pression varie **latéralement**, d'une région à l'autre, d'une saison à l'autre, d'un jour à l'autre.

- il y a des régions où la pression est relativement basse (des zones de **dépression**)
- il y a des régions où la pression est relativement haute (des zones d' **anticyclone**)
- la position des anticyclones et des dépressions varie d'une journée à l'autre, d'une saison à l'autre

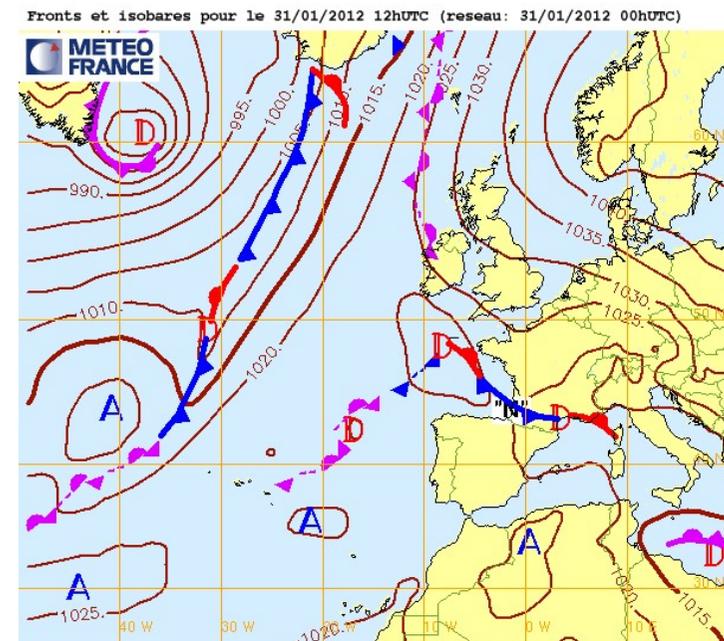
# Variation de la pression au sol



Exemple 2 : une carte des pressions à échelle du monde observées **un jour d'été** (noter les basses pressions en Asie du SE : c'est la mousson)

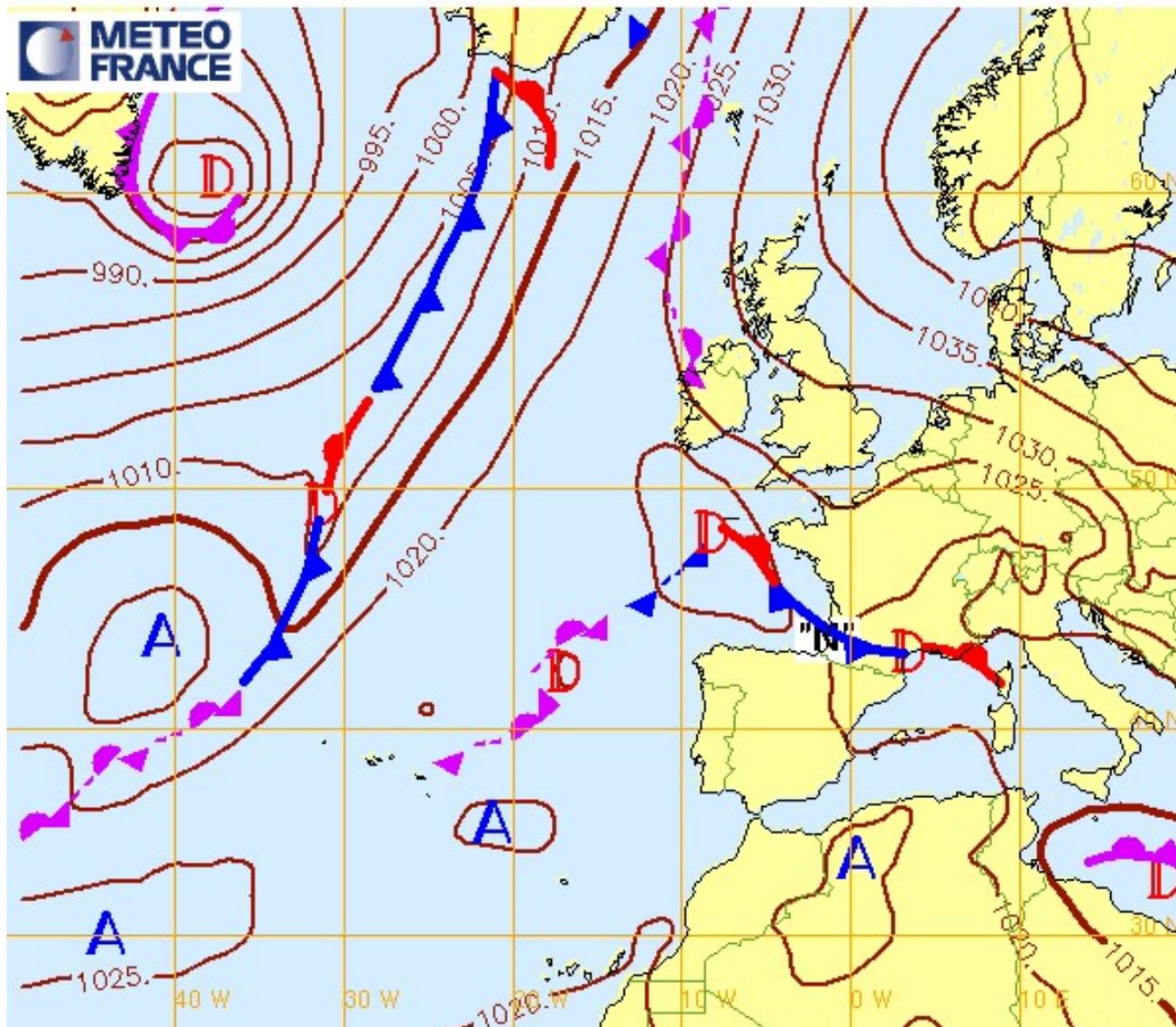
Sur les cartes, on peut dessiner les courbes joignant les points de même pression au niveau de la mer : les **isobares**

Exemple 3 : une carte avec le dessin des **isobares** (Atlantique Nord)



# Carte des courbes d'égale pression

Fronts et isobares pour le 31/01/2012 12hUTC (reseau: 31/01/2012 00hUTC)

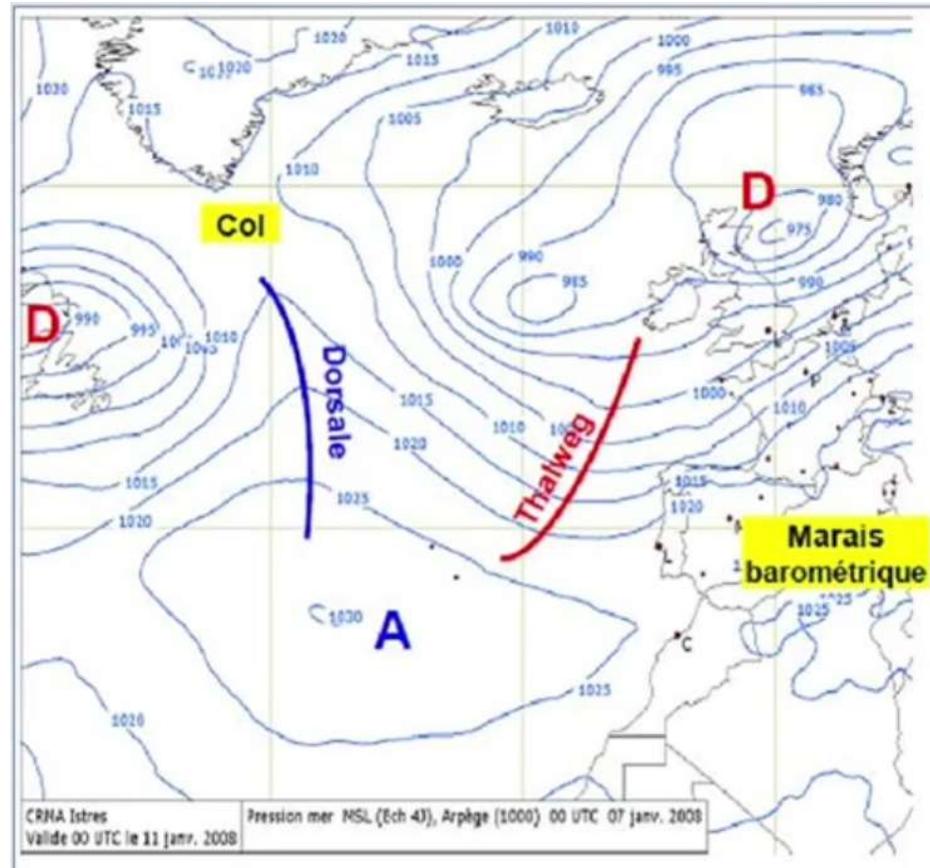


Une carte avec le dessin des **isobares**

En général, on indique:

- les **dépressions** (D)
- les **anticyclones**, ou zones de haute pression (A)
- les limites entre les masses d'air chaudes et froides (**les fronts**)

# Différents champs de pression

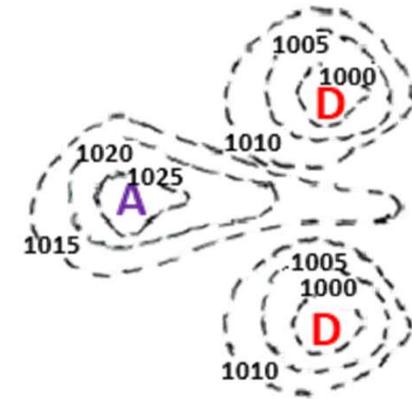


- Anticyclone : zone de hautes pressions (Symbole A ou H),
- Dépression : zone de basses pressions (Symbole D ou L),
- Marais: zone sans variation de pression significative (souvent proche de 1013 hPa)
- Isobares: lignes qui relient les points de pressions égales.
- Dorsale: crête de hautes pressions
- Talweg: vallée de basses pressions

## Dorsale

Zone prolongeant un anticyclone et s'étirant entre 2 dépressions.

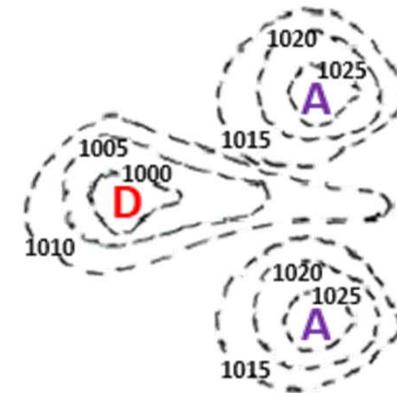
Temps: Au centre de la dorsale, le vent est nul et en bordure le vent est soutenu.



## Talweg

Zone prolongeant une dépression et s'étirant entre 2 anticyclones.

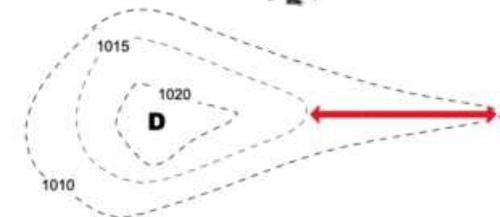
Temps : Mauvais, Vent violent et irrégulier.



## Marais barométrique

Zone de faible pression et où elle varie peu.

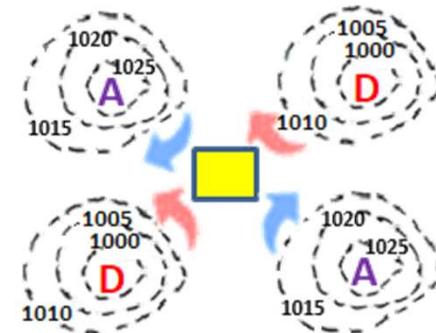
Temps : Zone calme / Chaud (lourd), Orage violent.



## Col barométrique

Zone comprise entre 2 dépressions et 2 anticyclones disposés en croix.

Temps : Zone calme.



# Anticyclone

La pression est supérieure à  $> 1013$  hpa.

La masse d'air est : **Froide / Sèche / Lourde.**

Le vent tourne dans le **sens horaire** de l'anticyclone (Loi de Coriolis). (Hémisphère Nord)

Un anticyclone est synonyme de **beau temps.**

L'air **descend**, on dit qu'il subit une **subsidence.**

En « s'écrasant » il subit une **divergence**, c'est à dire qu'il « s'écrase » sur les côtés.

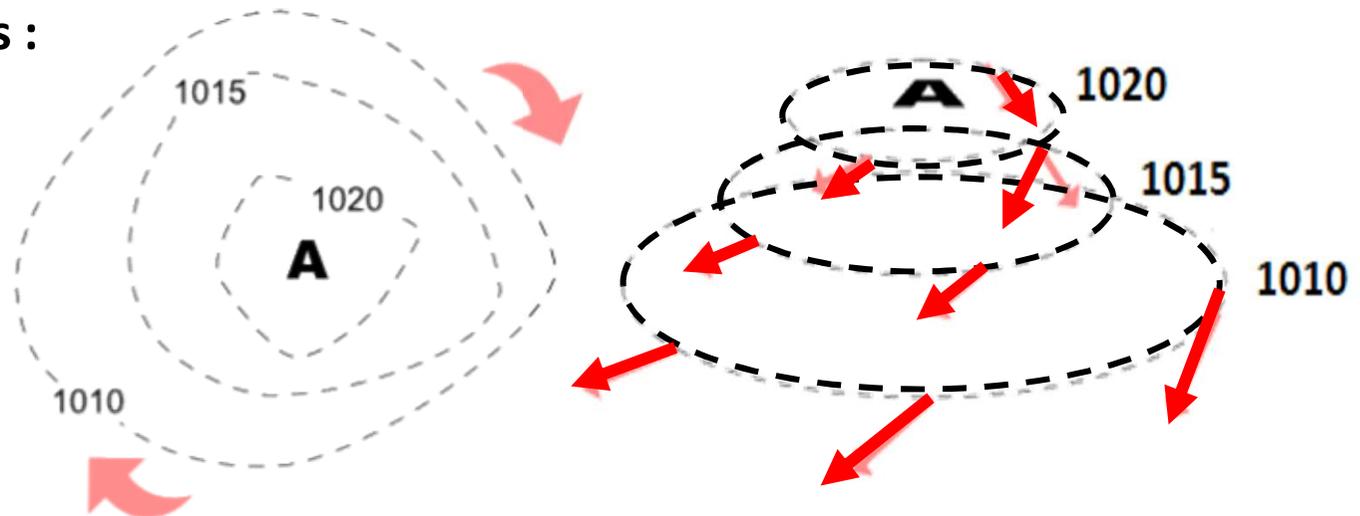
Le déplacement **lent.**

Un anticyclone est symbolisé **H** comme Hight ou **A** comme Anticyclone sur les cartes météo.

Il indique du beau temps avec du vent faible.

**Les anticyclones actifs :**

- Açores
- Sibérie
- St Hélène (Hémisphère Sud)



## Dépression

La pression est inférieure à  $< 1013$  hpa.

La masse d'air : **Chaude/ Humide / Légère.**

Le vent tourne dans le **sens anti-horaire** de la dépression (Coriolis). (Hémisphère Nord)

Une dépression est synonyme de **mauvais temps.**

L'air **monte**, il subit une **ascendance.**

Il monte dans un tunnel et subit une **convergence** (vers le centre).

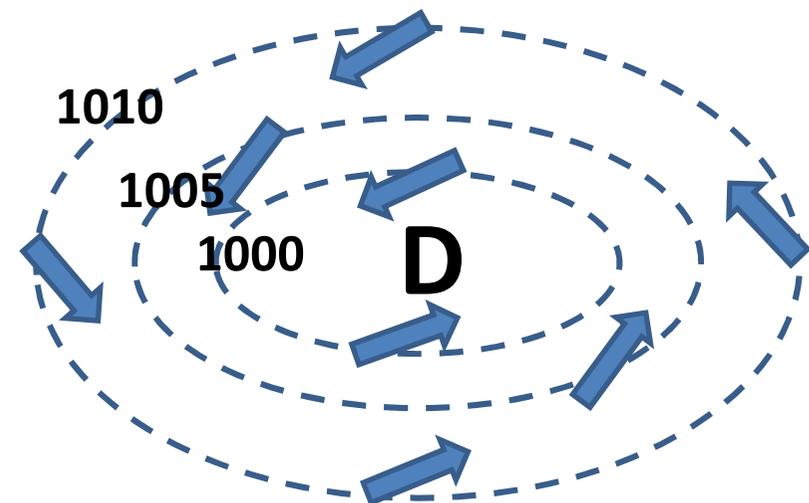
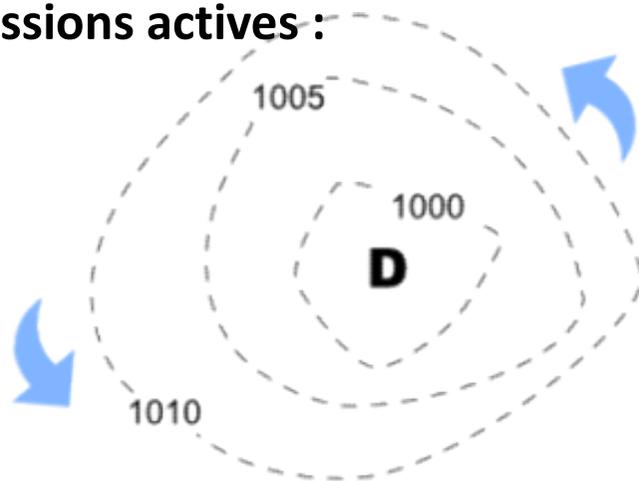
Le déplacement est **rapide.**

Une dépression est symbolisée **L**, comme Low ou **D** comme Dépression sur les cartes météo.

Il indique du mauvais temps, avec du vent fort et des précipitations.

**Les dépressions actives :**

- Islande
- Sahara



## Pression → altitude

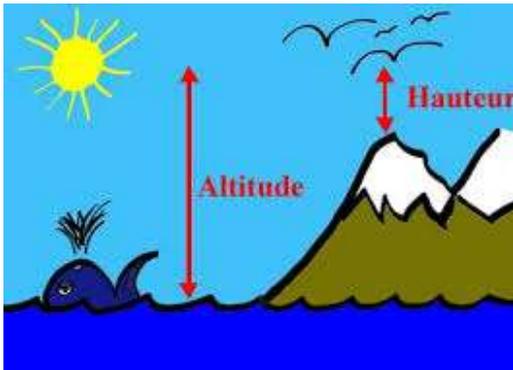
On a vu que:

- au niveau de la mer et jusqu'à 2 500ft la pression diminue de **1 hPa** tous les **28 ft** (8,5m)
- vers 3 000 m (10 000 ft) 1 hPa de variation équivaut à 30 m (=100 ft)



On peut donc utiliser **la valeur de la pression** pour connaître **l'altitude** : c'est le principe de **l'altimètre**

L'altimètre doit être « **calé** »



On peut changer le **calage de l'altimètre** pour lui faire afficher soit :

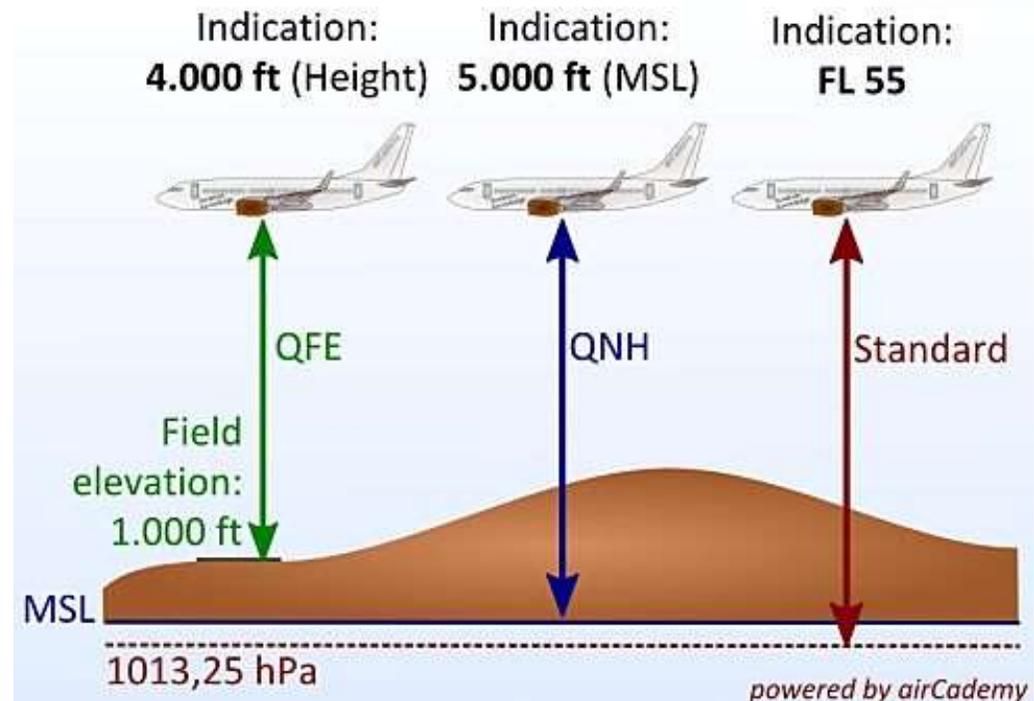
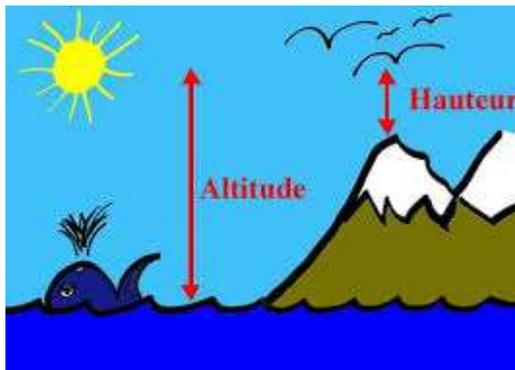
- **l'altitude** = hauteur au dessus de la mer (MSL)
- **la hauteur au dessus du terrain**

# Pression → altitude

On peut utiliser la **valeur de la pression** pour connaître **l'altitude** : c'est le principe de **l'altimètre**



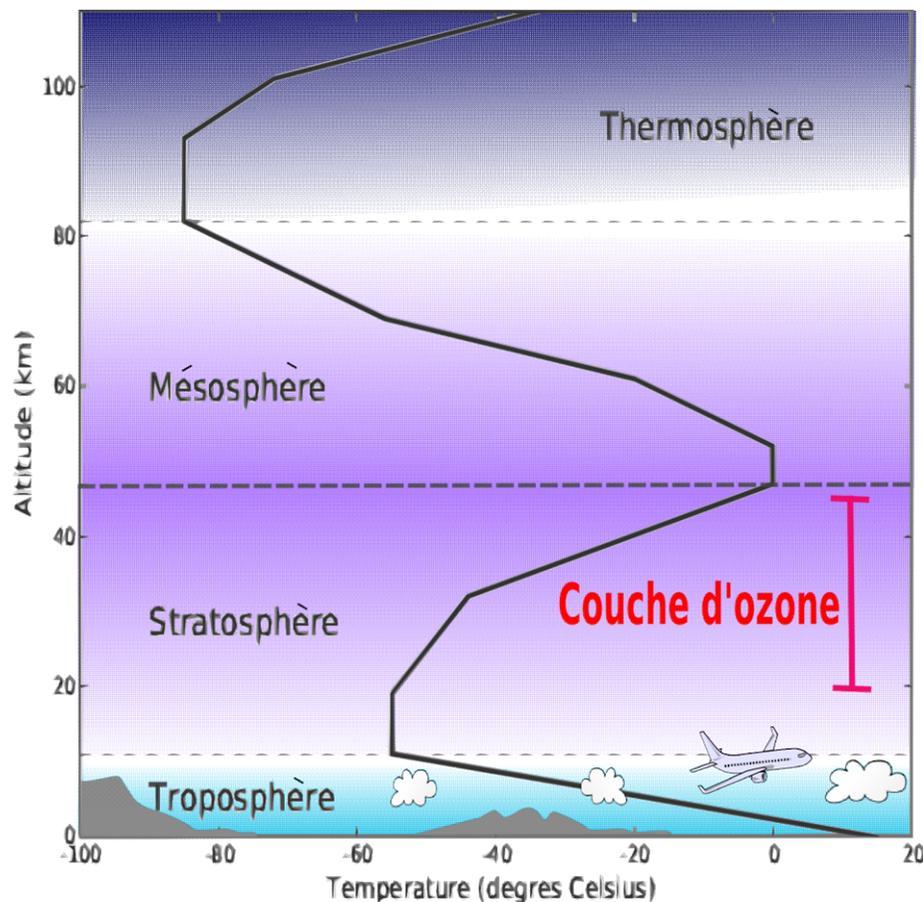
L'altimètre doit être « **calé** »



- On peut changer le **calage de l'altimètre** pour lui faire afficher soit :
- **l'altitude** = hauteur au dessus de la mer (MSL), altimètre réglé au **QNH** (valeur donnée par le contrôle aérien)
  - **la hauteur au dessus du terrain** (altimètre réglé au **QFE** = altitude du terrain)
  - **un niveau de vol** ou **FL** (altimètre calé à **1013,25 hPa**)

# A - L'atmosphère

## 5 - La température



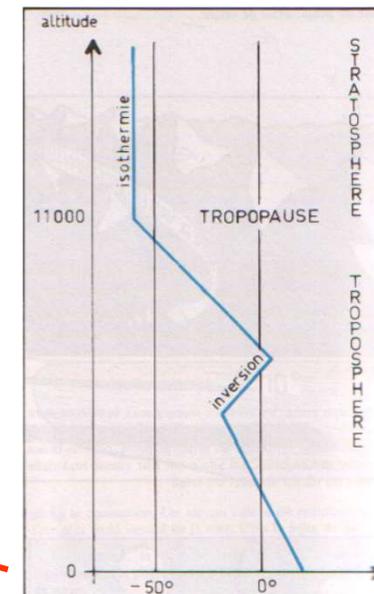
La température évolue avec l'altitude

Pour la **troposphère** (couche où se situent les principaux phénomènes météorologiques), le gradient moyen est de

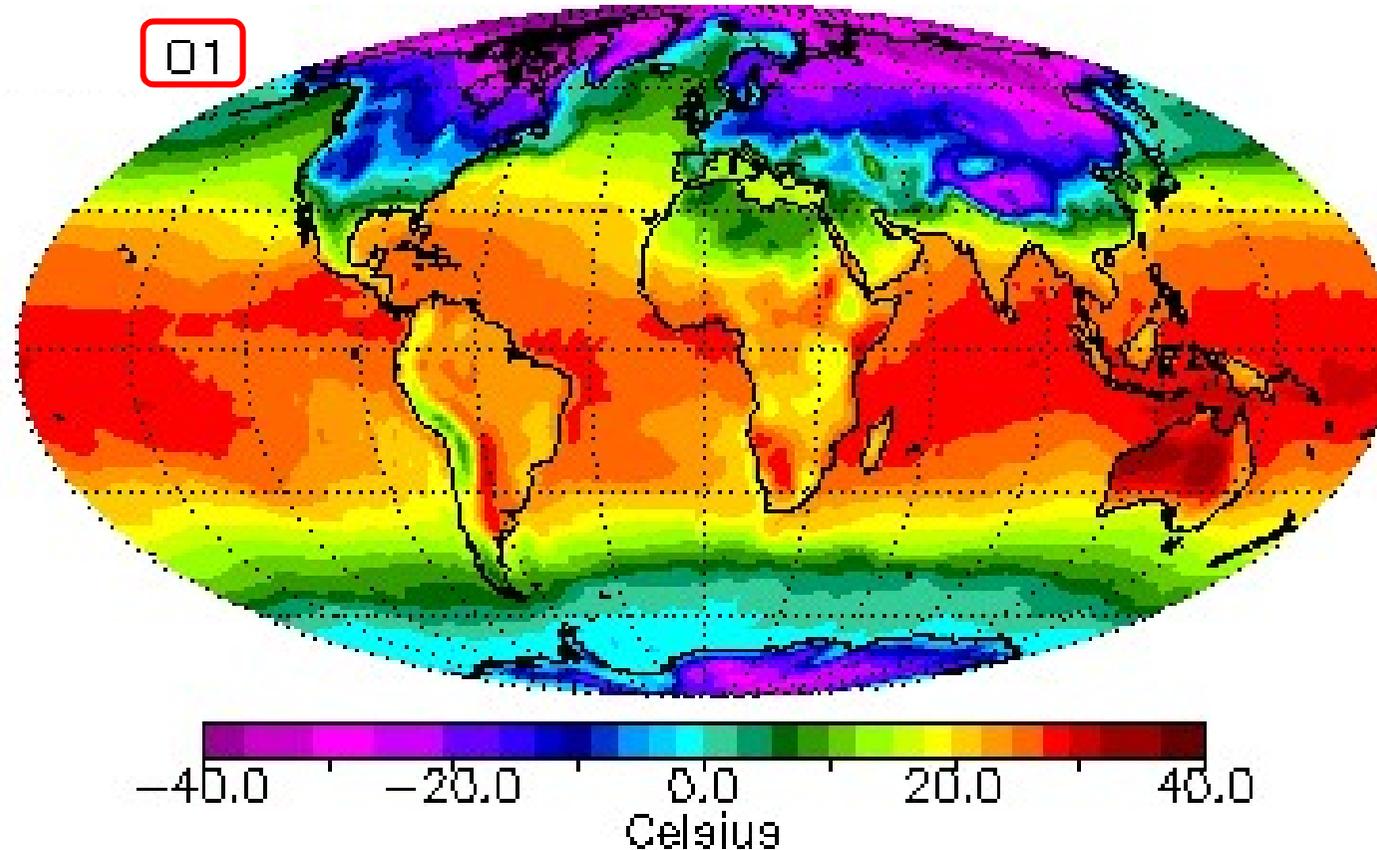
- **6,5°C / 1000m** (environ 2° / 1000 ft)

(on perd 6°5 quand on monte de 1000 m)

C'est valable jusqu'à la tropopause (vers 10 – 12 km d'altitude). Il y a parfois des anomalies (inversion de température)

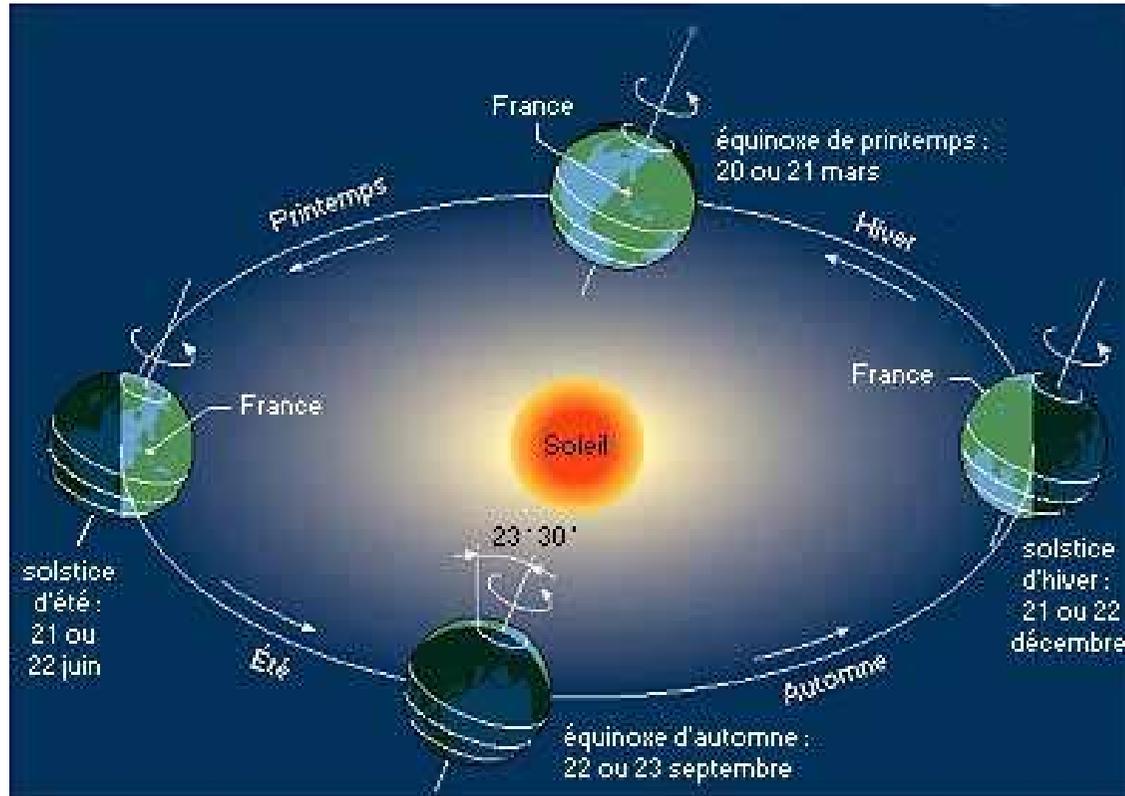


## Variation saisonnière de la température



Sur la Terre, les températures moyennes oscillent en général entre  $-40^{\circ}\text{C}$  et  $+40^{\circ}\text{C}$ , avec de fortes variations d'une région à l'autre et d'une saison à l'autre

## Pourquoi cette variation ?



La Terre fait le **tour du Soleil en 1 an**, en dessinant dans un plan (appelé **plan de l'écliptique**) une **orbite** en forme d'ellipse.

La Terre fait **un tour sur elle-même en 1 jour**, autour d'un **axe incliné** de  $23,5^\circ$  sur l'écliptique (axe passant par les pôles Nord et Sud)

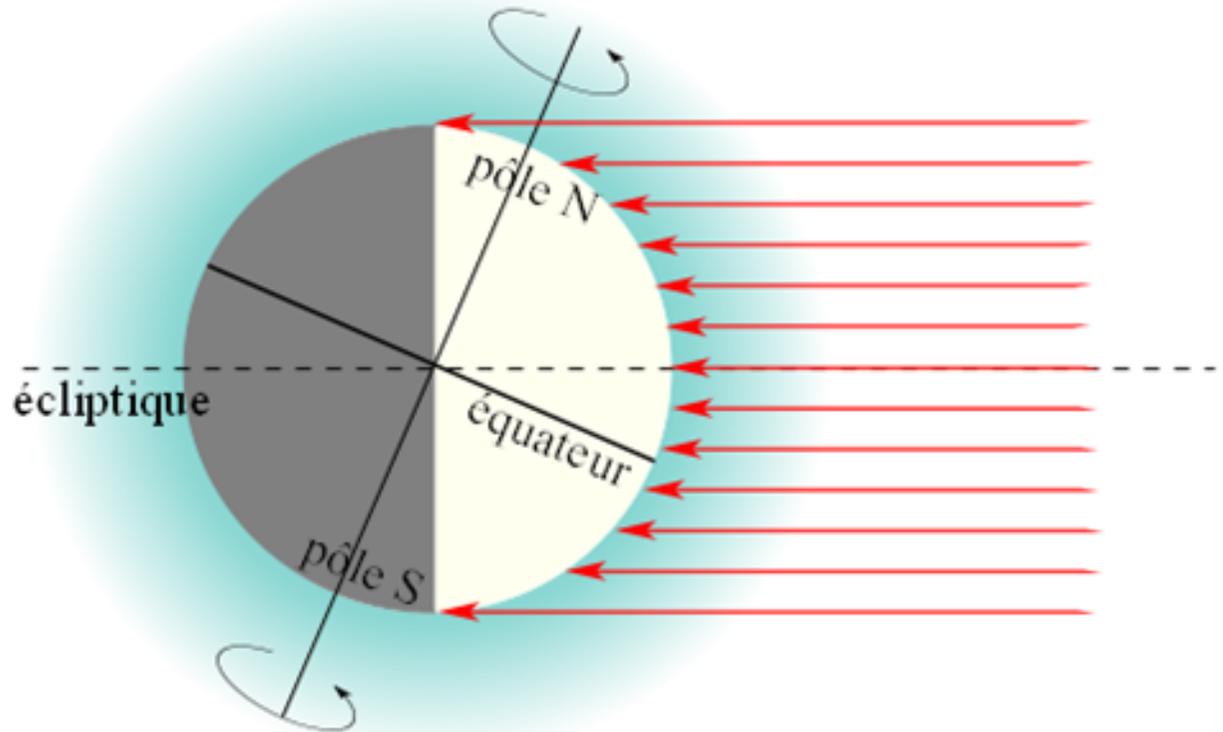
A cause de cette inclinaison de l'axe, **la durée d'ensoleillement et la hauteur du Soleil sur l'horizon changent** en fonction de la position de la Terre sur son orbite, et de l'endroit où on se trouve sur la Terre. Cela influe sur la **température moyenne lors des différentes saisons**

# Variation saisonnière de la température

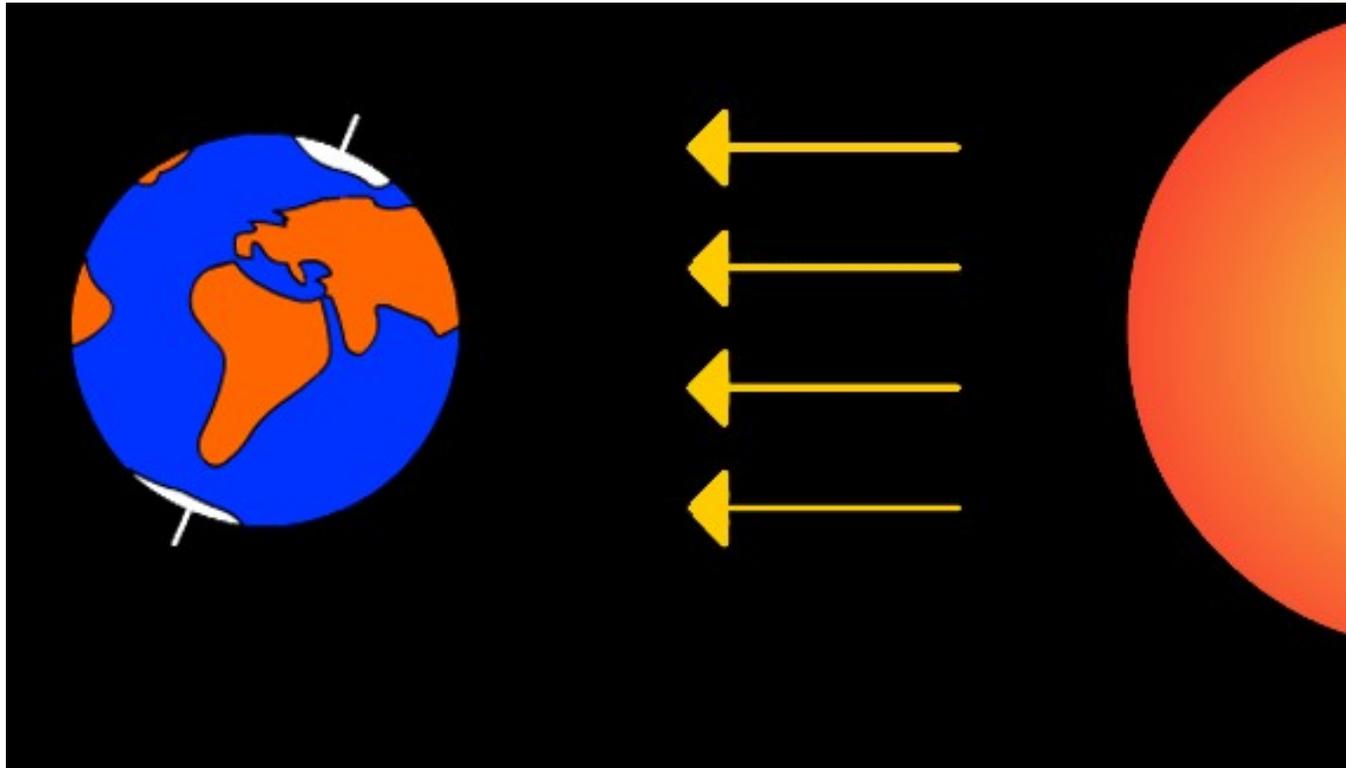
L'épaisseur d'atmosphère à traverser par le **rayonnement solaire** (en rouge), et l'angle sous lequel il arrive, varient selon la **latitude** :

- **près des pôles**, beaucoup d'atmosphère à traverser, incidence très oblique : **peu d'énergie arrive au sol, l'air est froid**

- **près des tropiques et de l'équateur**, moins d'atmosphère à traverser, rayons perpendiculaires au sol : **beaucoup d'énergie arrive au sol, l'air est chaud**

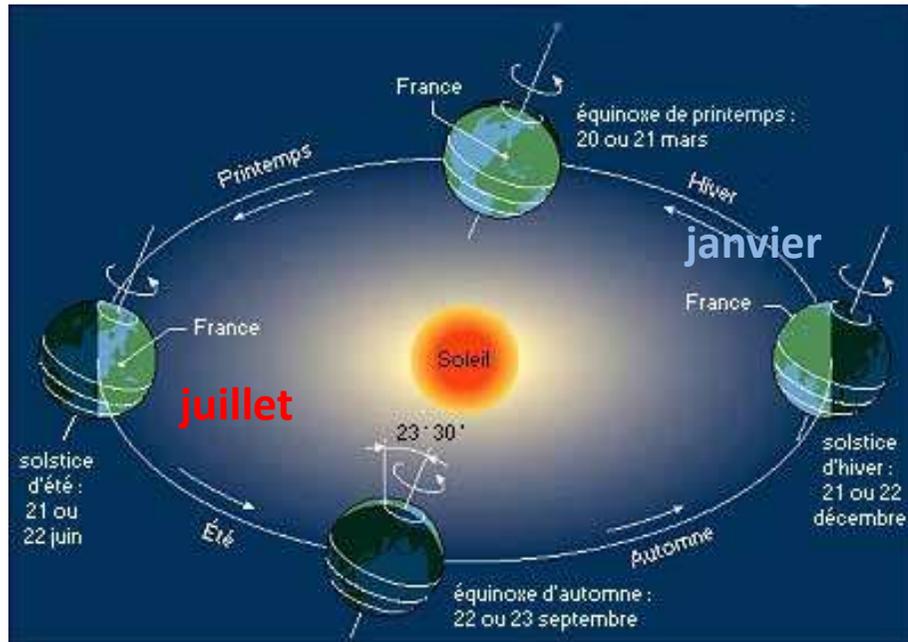


# Variation saisonnière de la température

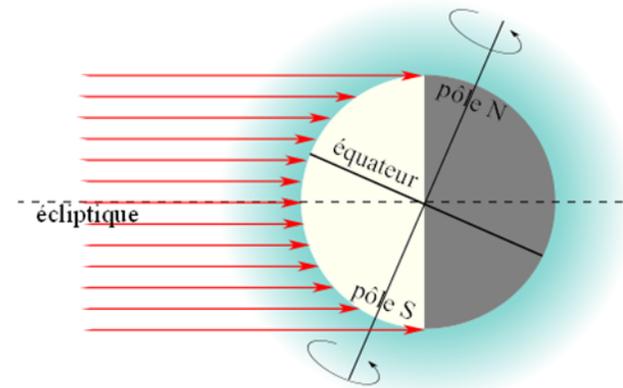


(La main à la pâte)

# Variation saisonnière de la température

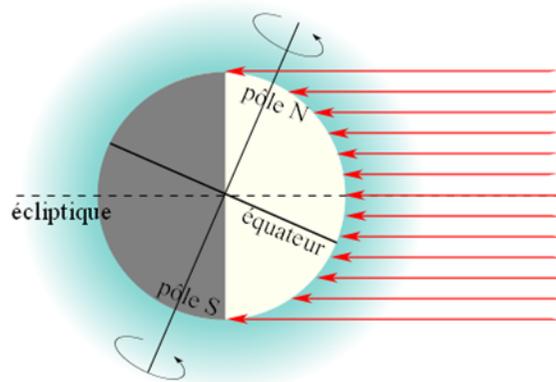


Comme l'axe de la Terre est incliné, **les saisons s'inversent entre hémisphères Nord et Sud**



en Janvier :

- **hiver** dans l'hémisphère **N**
- **été** dans l'hémisphère **S**



en Juillet

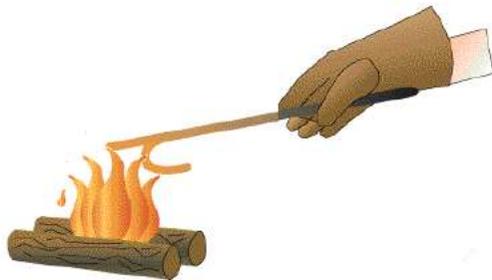
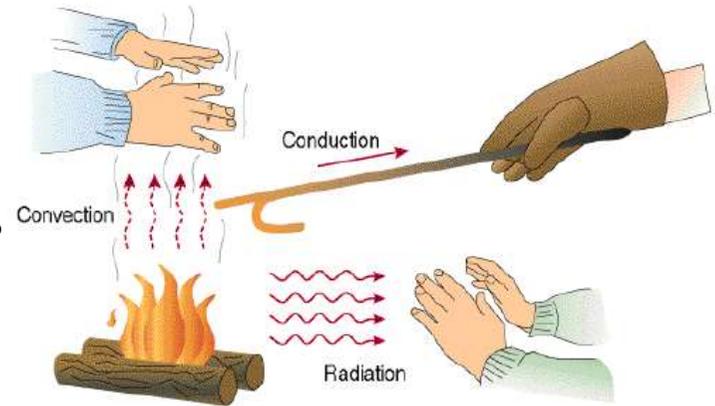
- **été** dans l'hémisphère **N**
- **hiver** dans l'hémisphère **S**

- aux pôles, alternance de 6 mois de nuit (hiver) et de 6 mois de jour (été)
- à l'équateur, 12 h de jour et 12h de nuit pendant toute l'année (pas de saison)

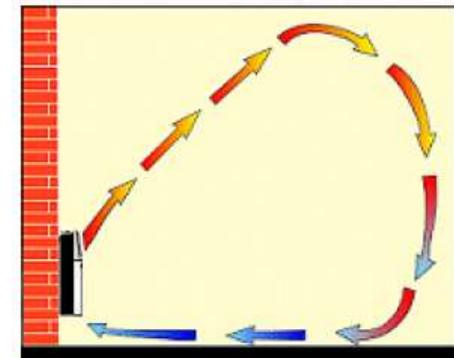
# Variation locale de la température

La chaleur peut s'échanger selon 3 modes.

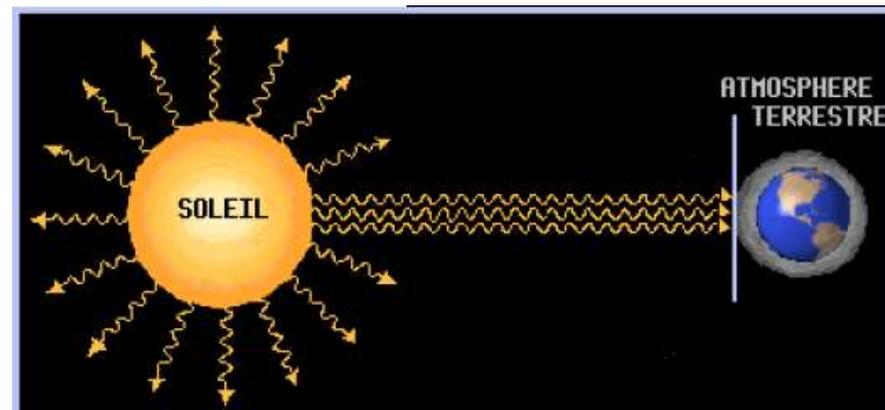
**La conduction:** Mode de transfert par contact et à travers la matière.



**La convection:** Mode de transfert par le brassage de fluide, liquide ou gazeux.

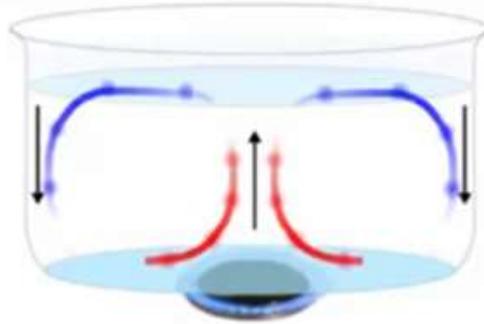


**Le Rayonnement:** Mode sans contact basé sur l'émission d'ondes électromagnétiques, des IR (Infrarouge).



# Variation locale de la température: La Convection

Milieu Liquide



Milieu Gazeux



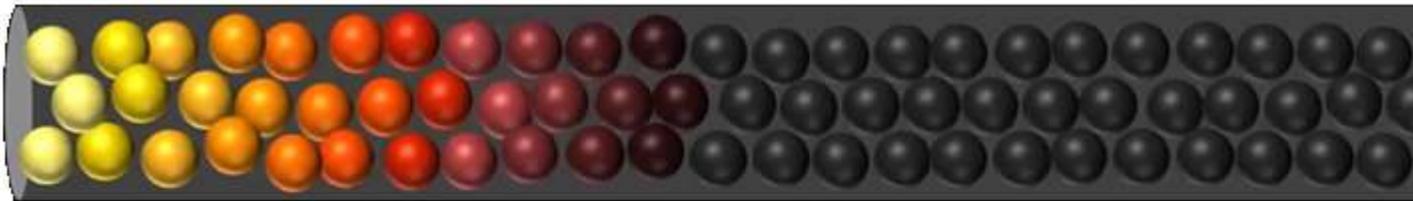
Le transfert thermique par convection nécessite un milieu matériel: Liquide ou gaz

**Il ne peut pas y avoir de convection dans un milieu solide.**

Convection = transfert de chaleur avec déplacement de matière

# Variation locale de la température: **La Conduction**

- Propagation de proche en proche de l'agitation des particules générée par les chocs entre particules très agitées (chauffées par la source chaude) et les particules moins agitées.

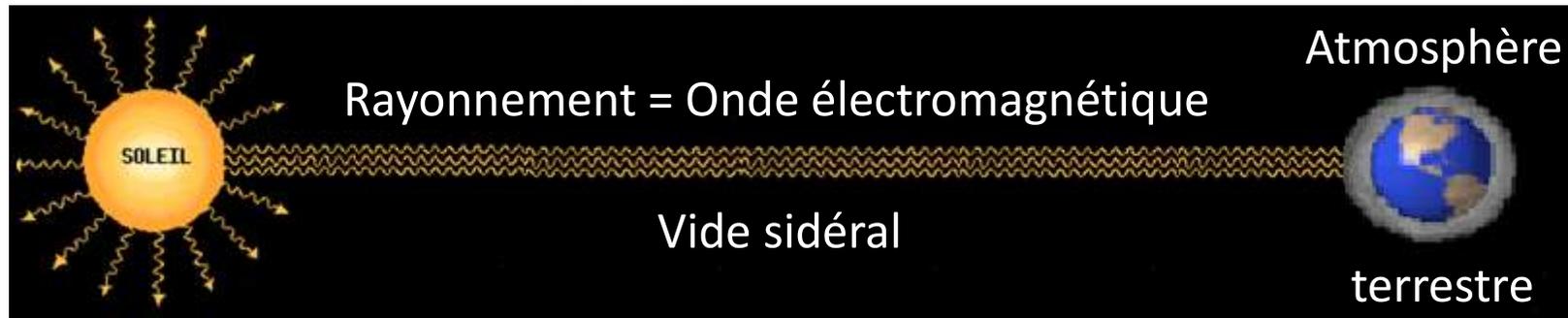


- Le transfert thermique par conduction nécessite un milieu matériel.
- La conduction a lieu principalement dans les solides.
- Conduction = transfert de chaleur sans déplacement de matière

Note: La conduction existe aussi dans les liquides et les gaz mais elle est généralement masquée par la convection.

# Variation locale de la température: Le Rayonnement

Sans matière il ne peut y avoir ni Convection ni Conduction.



Le transfert thermique par rayonnement ne nécessite pas de milieu matériel  
L'énergie est transportée par des ondes électromagnétiques: I.R. (Infra rouge).



Centrale solaire d'Odeillo

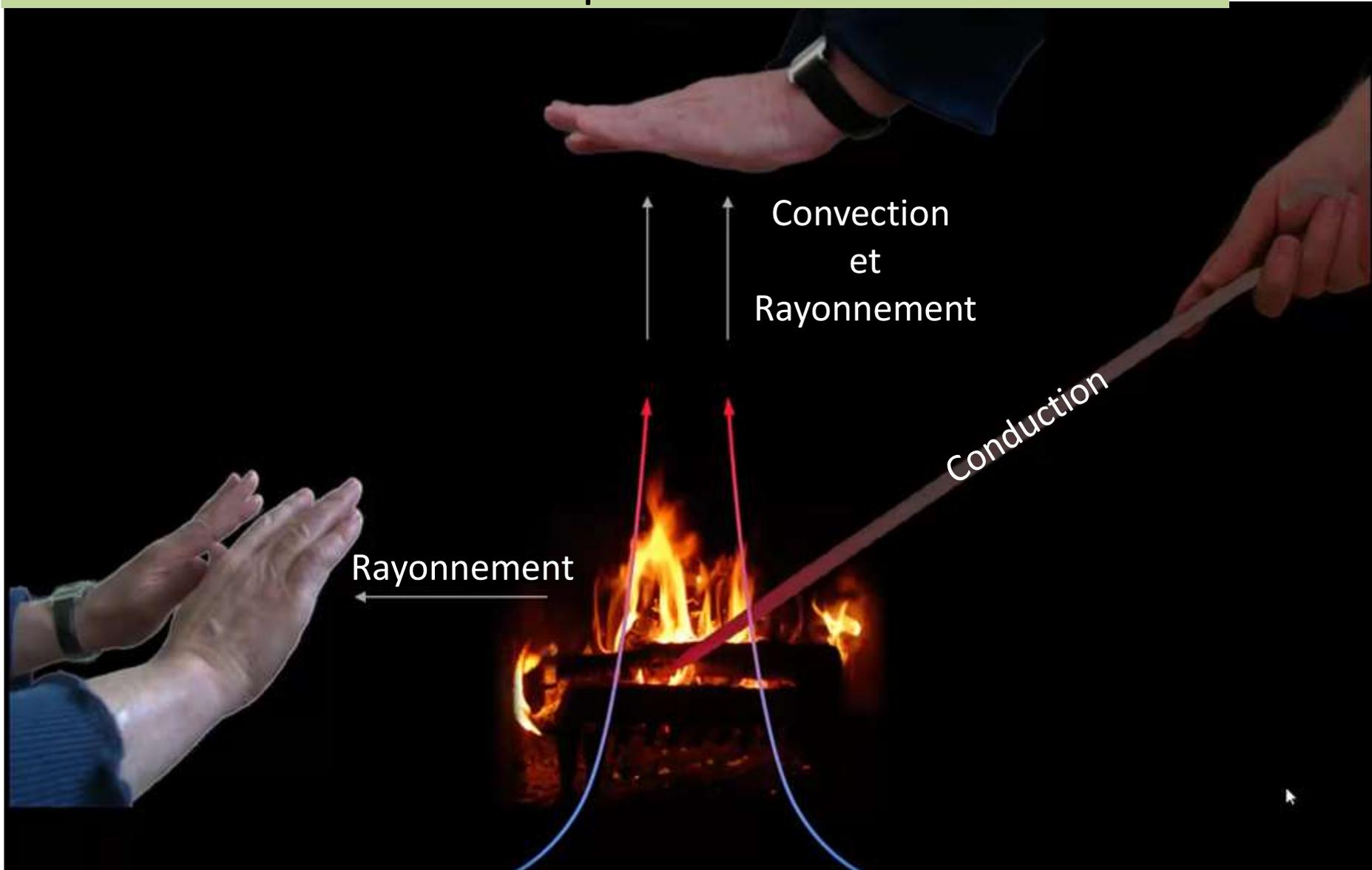


Centrale solaire Noor 1 Ouarzazate



Four solaire miniature

## Variation locale de la température: Résumé



**Milieu gazeux:** Rayonnement et Convection + Conduction

**Milieu solide:** Conduction

**Dans le vide:** Rayonnement.

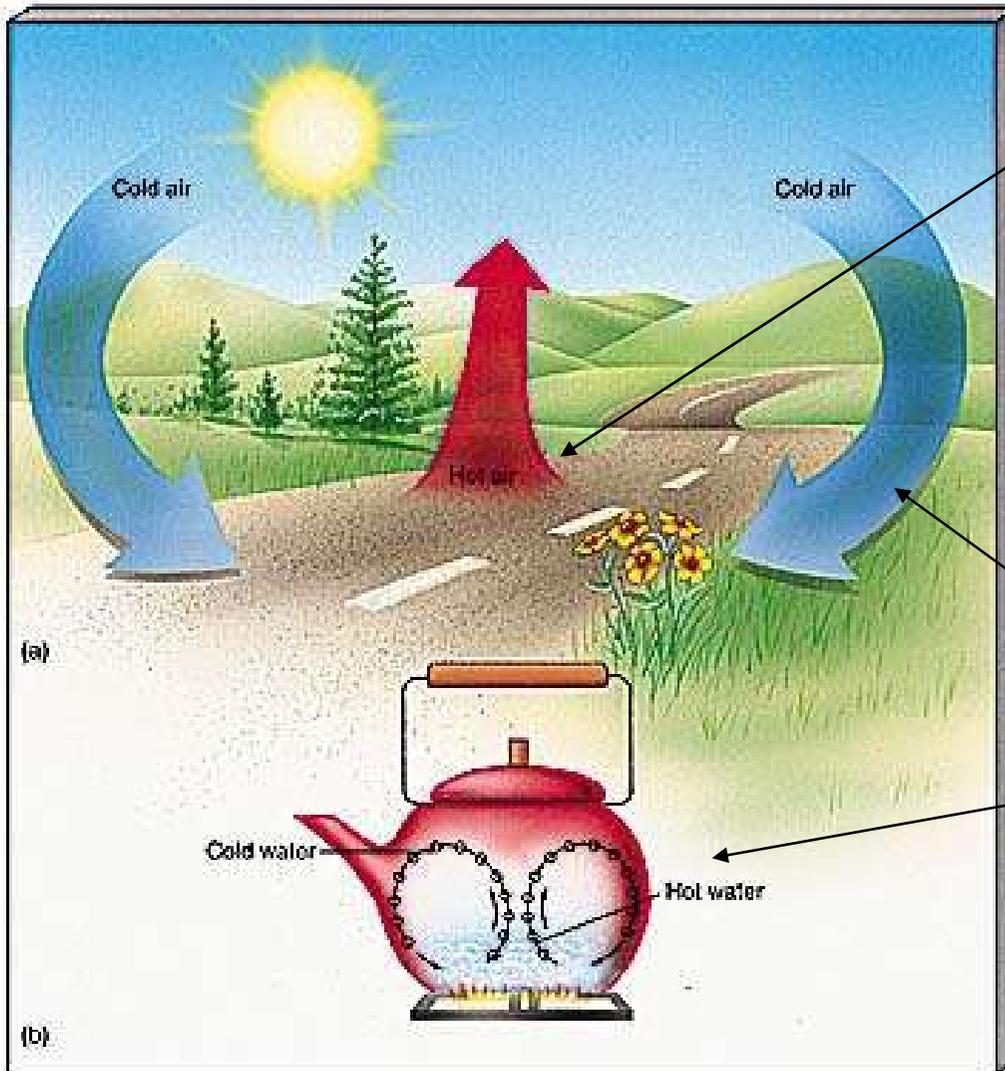
## Variation locale de la température

- Selon la **nature du sol** une même énergie arrivant du soleil par **rayonnement (radiation)** ne produira pas le même échauffement. La température du sol n'est pas uniforme.
- Au contact des **zones chaudes**, l'air se réchauffe par **conduction**. Sa masse volumique **diminue** alors et il s'élève pour laisser la place à de l'air plus froid. En montant, **l'air transporte de la chaleur par convection**.

**conduction, convection** : deux manières de transférer de la chaleur

- Au dessus des zones les plus **chaudes** il y a donc des mouvements **ascendants** de la masse d'air et au dessus des zones les plus **froides** des mouvements **descendants**.
- De plus la formation de **nuages** peut bloquer l'arrivée des rayonnements jusqu'au sol. La **nébulosité de l'atmosphère** (présence de nuage) engendre donc aussi des différences de température locales au sol.

# Conduction, convection

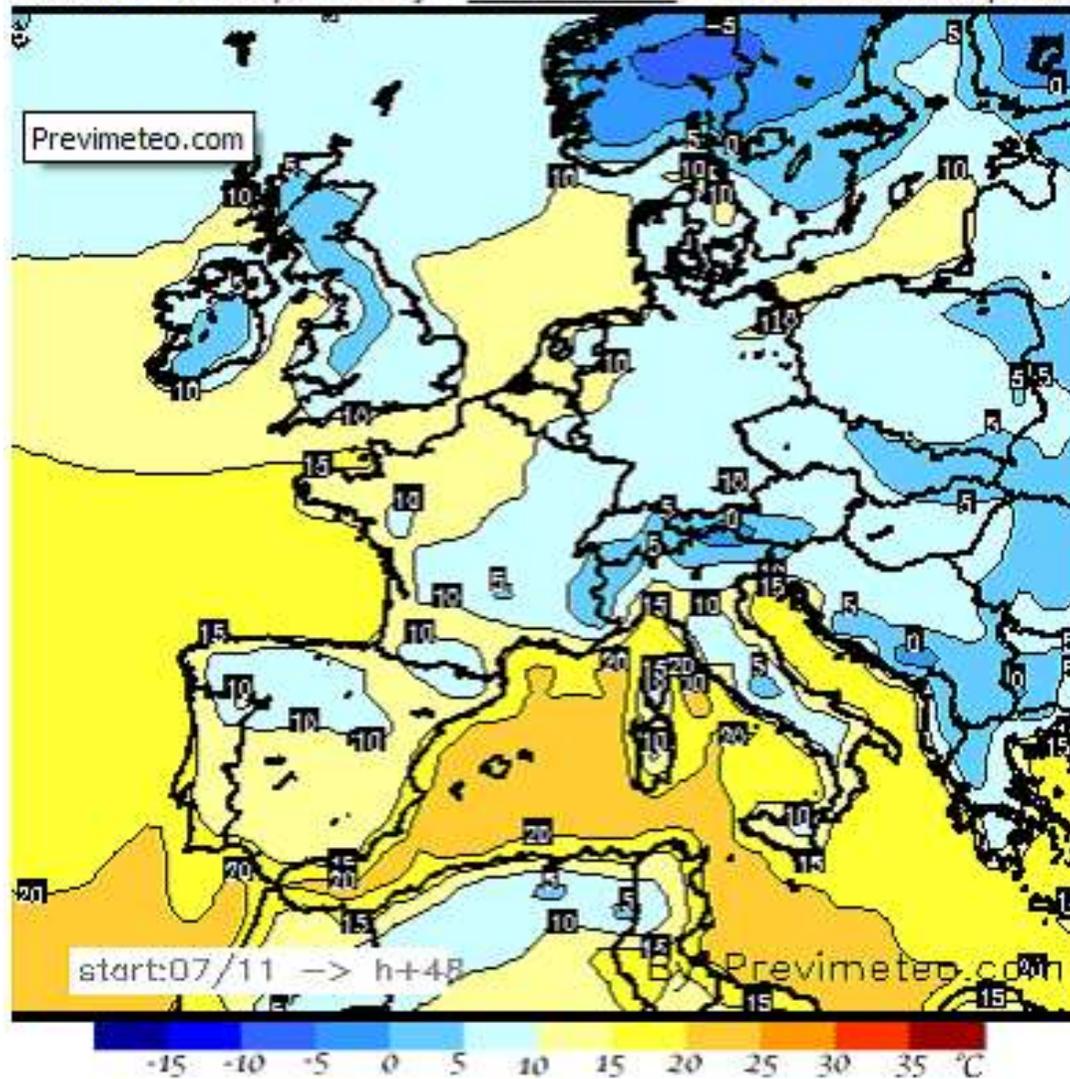


**Conduction** : l'air est réchauffé au contact du sol chaud. La chaleur "s'écoule" du sol dans l'air

**Convection** : les particules d'air (ou d'eau) se déplacent, en transportant avec elles de la chaleur (ou du froid)

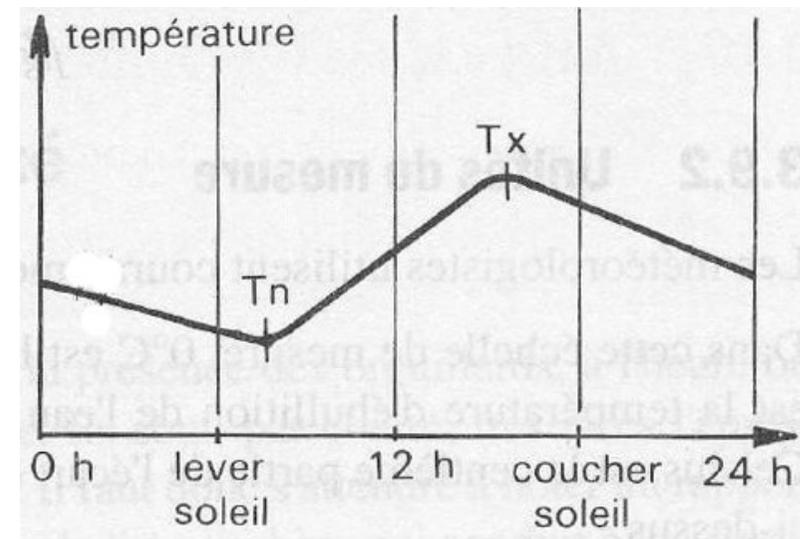
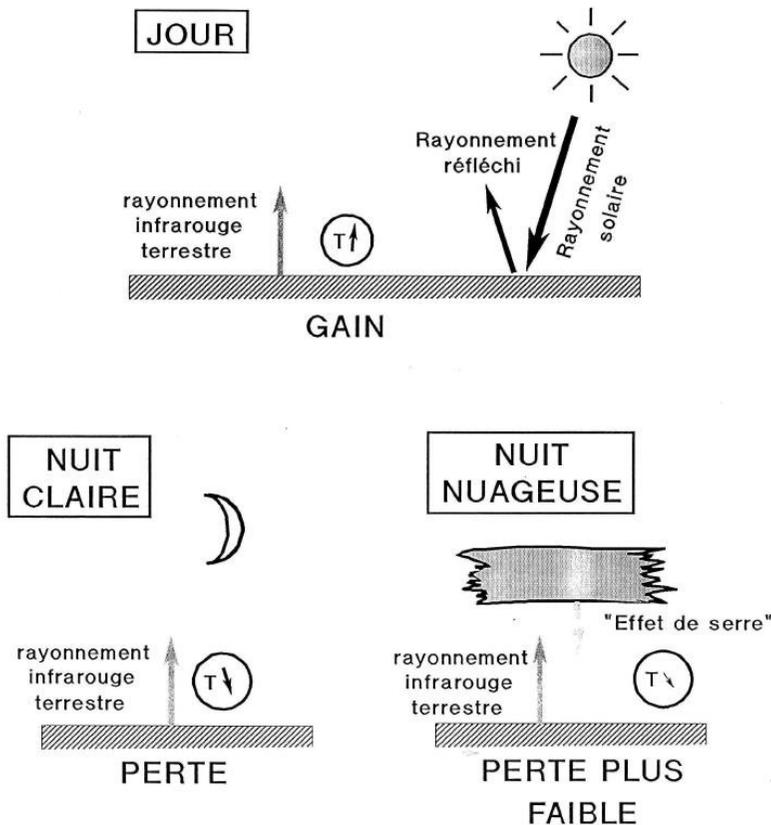
# Variation locale de la température

Prévision météo fournie par © [Previmeteo.com](http://Previmeteo.com) : Cartes de prévisions météo h/h  
Weather forecast provided by © [Previmeteo.com](http://Previmeteo.com) : Forecast weather maps h/h



# Variation journalière de la température

En l'absence de vent, **la température est minimale environ 20 minutes après le lever du soleil** (inertie de l'atmosphère) puis augmente jusqu'en milieu d'après-midi avant de diminuer avec la baisse de l'ensoleillement.

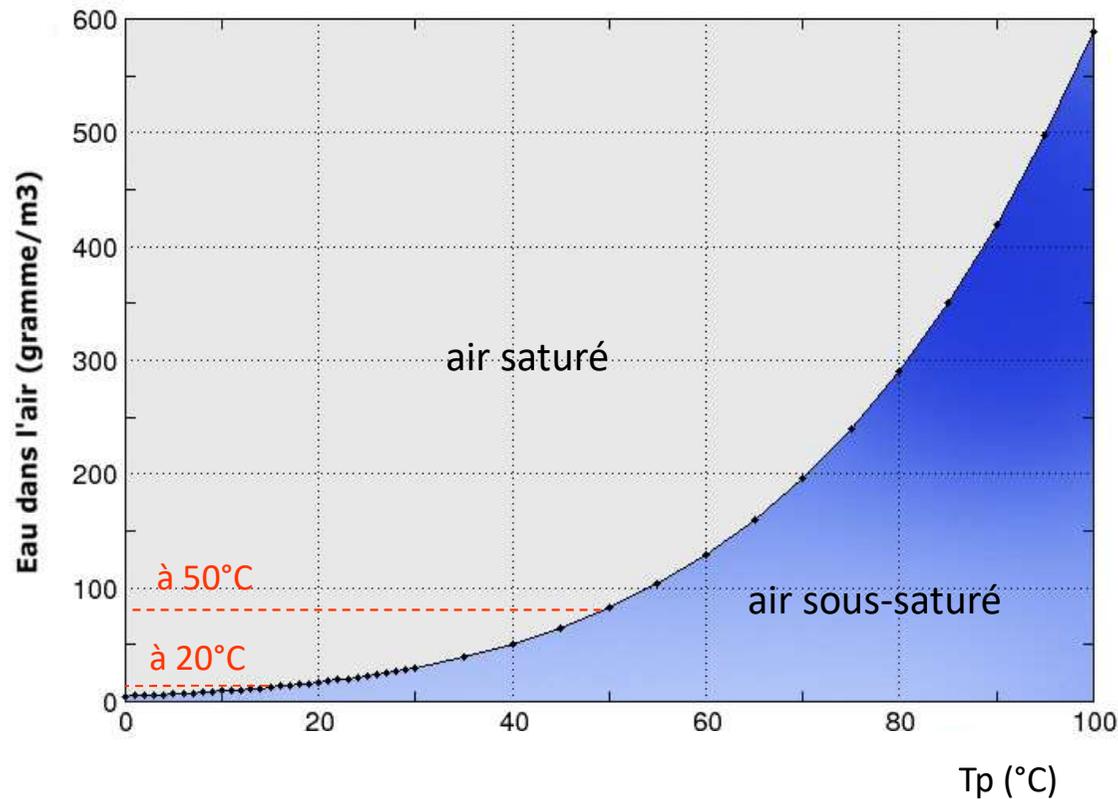


<http://ffa-jeunes.ens-cachan.fr>

# A - L'atmosphère

## 6 – L'humidité de l'air

L'humidité désigne en météorologie la **quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air**.



**Plus la température de l'air est élevée et plus la quantité d'eau qui peut être dissoute est importante.**

exemple, à P = 1013 hPa

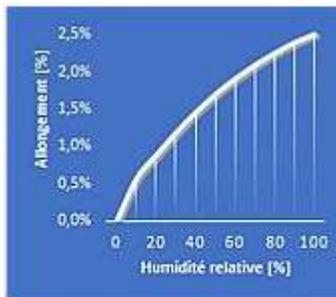
Tp °C	air Kg/m3	eau gr/m3	% eau max
15	1,04	10	<b>0,9</b>
50	1,09	75	<b>6,9</b>

# Humidité relative de l'air

L'**humidité relative** est le **rapport (en %)** entre la masse d'eau dissoute dans l'air et la masse maximale d'eau que l'on peut y dissoudre.



un **hygromètre** à cheveu



Variation de longueur d'un cheveu en fonction de l'humidité relative.

Lorsque l'humidité relative atteint 100 %, on dit qu'il y a **saturation** (air saturé en vapeur d'eau). Dans ce cas il va pouvoir se former **des nuages ou du brouillard**

Mesurer l'humidité relative

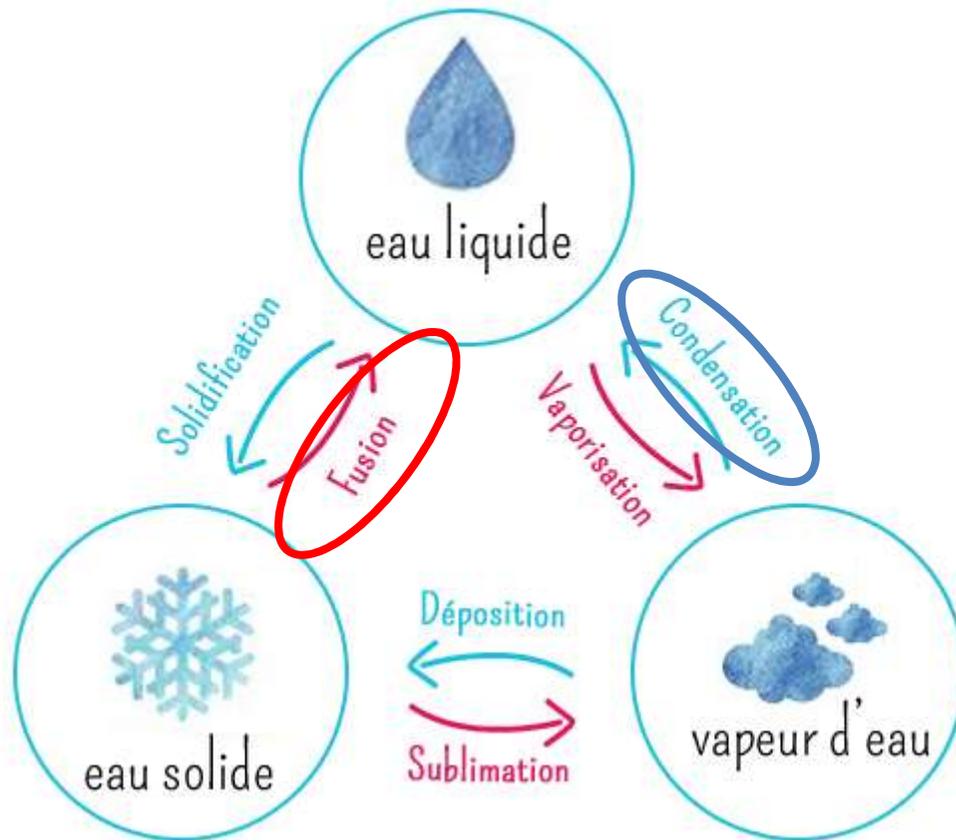
L'**humidité relative**, ou degré hygrométrique se mesure avec un **hygromètre** ou un **psychromètre**



un **psychromètre** (combinaison d'un thermomètre mouillé et d'un thermomètre sec)

# Changements d'état de l'eau

rappel : les différents états de l'eau



En rouge,  
changement qui  
nécessite un **apport  
de chaleur**  
(en particulier la  
fusion de la glace)

En bleu,  
changement qui  
**libère de la chaleur**  
(en particulier la  
condensation de la  
vapeur d'eau)

## Saturation de l'air humide

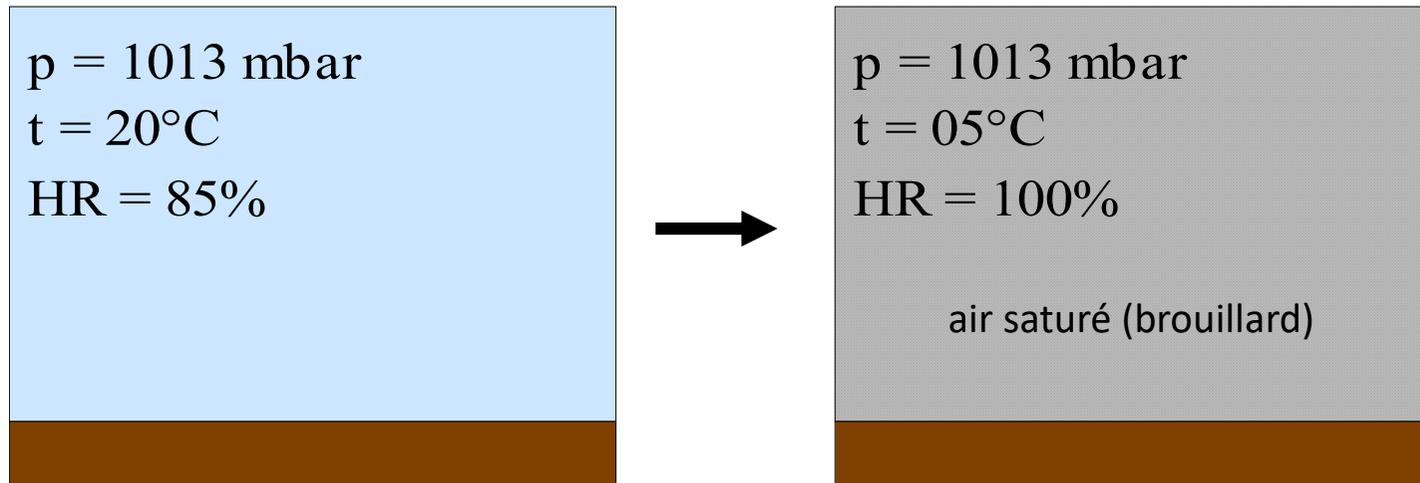
Une masse d'air pourra atteindre la saturation de deux façons différentes :

1. **par une augmentation de la masse de vapeur d'eau dissoute** si elle passe au dessus d'étendues maritimes ou de sols détremvés.
2. **par un abaissement de température qui augmente l'humidité relative jusqu'à 100 %** (à plus faible température la quantité d'eau pouvant être dissoute dans l'air est plus faible)

**On définit deux températures auxquelles on peut atteindre la saturation : température de point de rosée et température de condensation**

## Température à laquelle on peut atteindre la saturation

saturation atteinte par baisse de température (**point de rosée**)

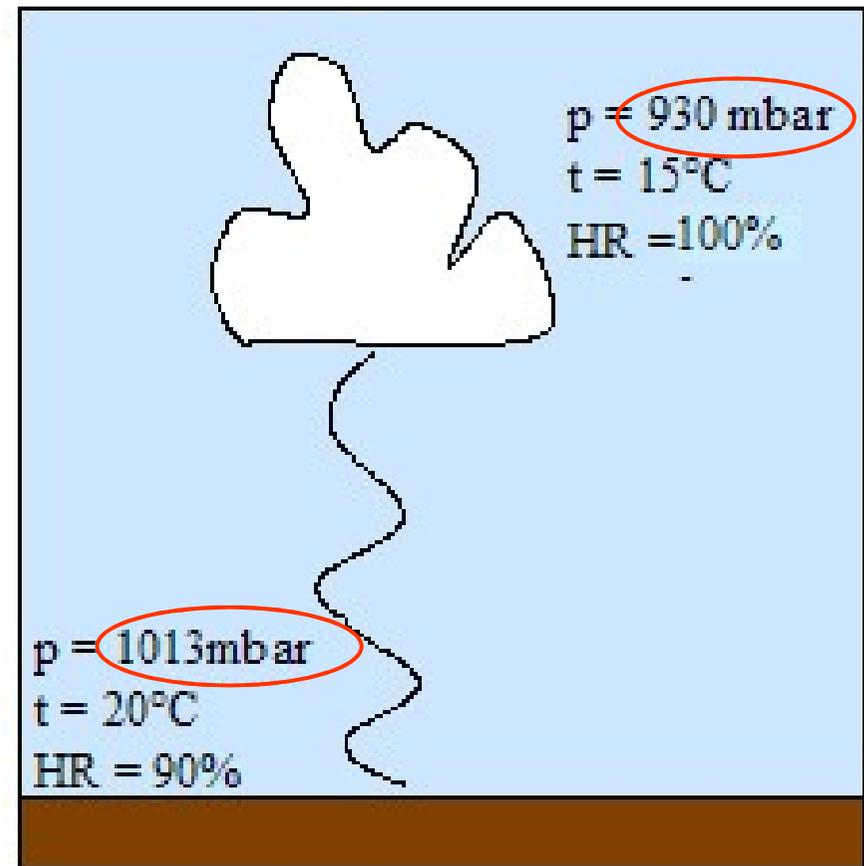


- la température du **point de rosée** (dew point): température à laquelle on atteint la saturation **si la pression reste constante**. Cela peut se produire au cours du **refroidissement nocturne** ou au **petit matin (rosée ou brouillards)**.

# Température à laquelle on peut atteindre la saturation

saturation atteinte par baisse de pression (**point de condensation**)

- Température du **point de condensation** = température à laquelle on atteint la saturation si le refroidissement accompagne une **baisse de la pression** et donc une élévation en altitude



## Saturation de l'air humide

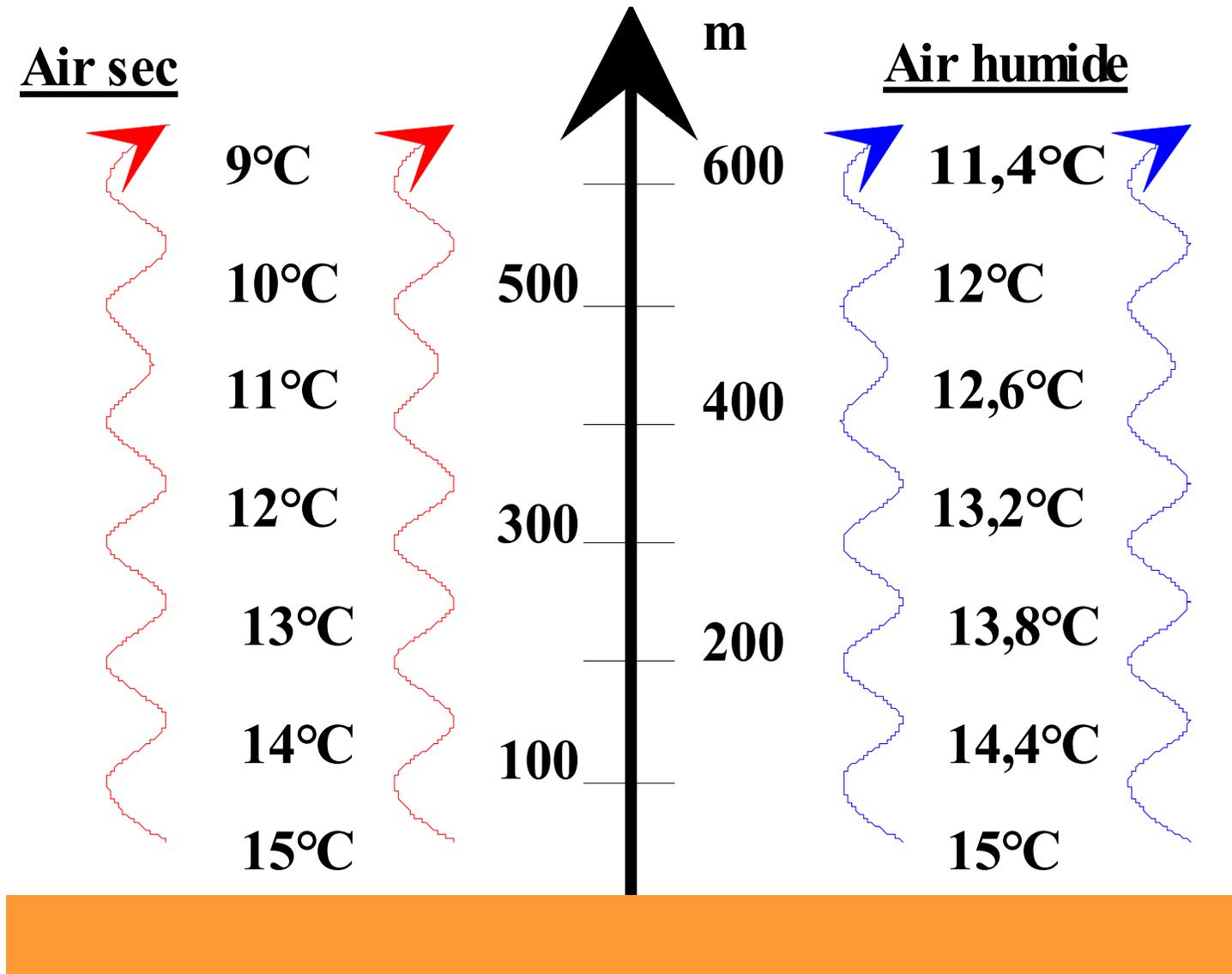
Lors de sa montée l'air subit une **détente adiabatique** (sans échanger de chaleur).

Si l'air n'est **pas saturé**, la température **diminue de 6,5C tous les 1000 m (soit 2°/1 000ft)**.

Si la température atteint le **point de condensation**, des gouttelettes d'eau en suspension apparaissent. **Il se forme un nuage**

Lors de la condensation, l'eau cède de la chaleur à l'air dans lequel elle était dissoute. Le gradient de température change alors et le **gradient en air humide est de 6 °C pour 1000 m**.

# Saturation de l'air humide



# Stabilité de l'air humide

échauffement par contact avec le sol  
chaud = **échauffement par conduction**

Lorsqu'une particule d'air humide **s'échauffe au contact du sol**, sa masse volumique diminue et **elle s'élève**. Elle subit alors une détente adiabatique et se refroidit.

transport de chaleur = **convection**

- Si sa **température devient égale à celle de l'air ambiant**, sa masse volumique également, et elle **stoppe** sa montée
- Si sa température **devient inférieure** à celle de l'air ambiant, sa masse volumique devient supérieure à celle de l'air ambiant et **elle redescend**

atmosphère **stable**

Si sa **température reste supérieure** à celle de l'air ambiant, sa masse volumique reste inférieure à celle de l'air ambiant et elle **continue sa montée**.

atmosphère **instable**

# A - L'atmosphère

## 7-Masse volumique

- **Au niveau de la mer: 1,225 kg/m<sup>3</sup>**
- A 10 000m: 0,413 kg/m<sup>3</sup>.....donc 3 fois plus faible.... Donc 3 fois moins d'oxygène!

# A - L'atmosphère

## 8 – L'atmosphère standard

- L'O.A.C.I. (**Organisation de l'Aviation Civile Internationale**) a défini une atmosphère standard : loi de référence de variation de la pression en fonction de l'altitude
- Elle correspond aux **conditions moyennes** de température et de pression que l'on rencontre dans l'atmosphère.
- C'est cette référence qui **permet d'étalonner les altimètres**, d'assurer la sécurité des aéronefs et d'homologuer des records.

## Caractéristiques de l'atmosphère standard

- au niveau de la mer  **$T = +15^{\circ}\text{C}$  et  $P_{\text{atm}} = 1013,25 \text{ hPa}$**
- gradient vertical température :  **$-6,5^{\circ}\text{C} / 1000 \text{ m}$**  (soit  **$-2^{\circ}/1000'$** ) jusqu'à 11000 m, nul entre 11000 et 20000 m puis  $+10^{\circ}\text{C} / 1000 \text{ m}$  jusqu'à 32000 m
- la **tropopause** se situe à **11 000 m**
- l'air est sec et de composition constante
- accélération de la pesanteur:  **$g = 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$**

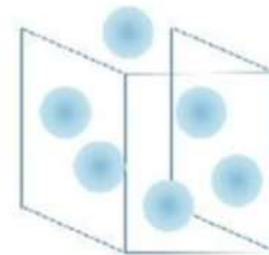
Les conditions standard au niveau de la mer



Pression  
1 013, 25 hPa



Température  
 $+15^{\circ}\text{C}$



Masse volumique  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$

# Météorologie

A. L'atmosphère

B. Les masses d'air et les fronts

C. Les nuages

D. Les vents

E. Les phénomènes dangereux pour les aéronefs

F. L'information aéronautique

# Météorologie

## B Les masses d'air et les fronts

1. Principes de base de la météorologie
2. Phénomènes énergétiques
3. Masse d'air
4. Circulation générale
5. Perturbations et fronts

# B – Masses d'air et fronts

## 1 – Principes de base de la météorologie

a – **L'air chaud et l'air froid ne se mélangent pas** (comme l'eau et l'huile)

b – **L'air chaud est moins dense** (« plus léger ») **que l'air froid**

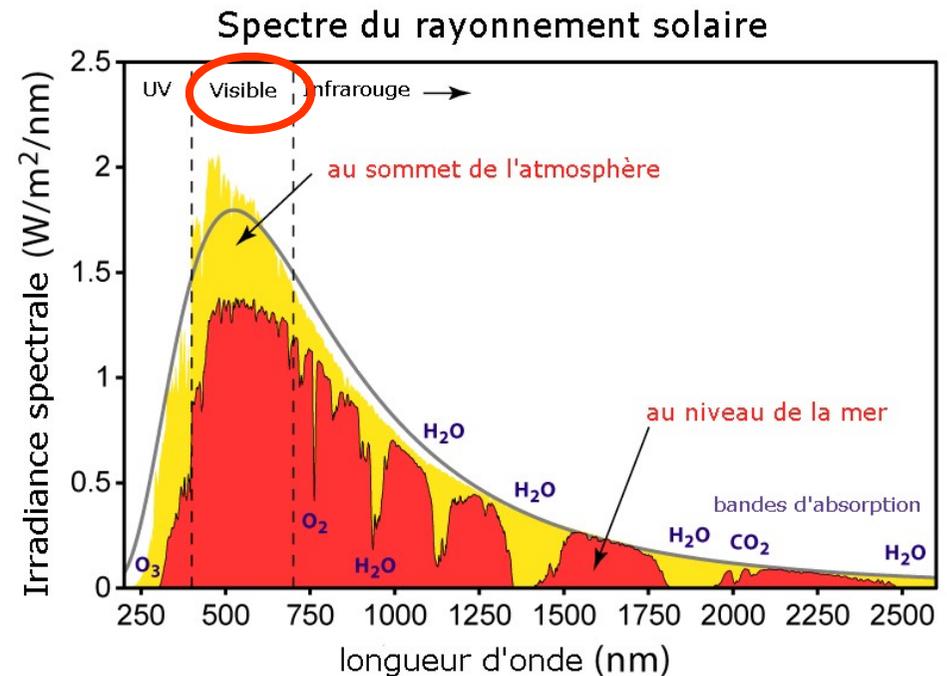
c – **L'air chaud peut mieux absorber l'humidité** que l'air froid

d – **L'air qui s'élève voit sa pression diminuer, et donc il refroidit**, même si il n'échange pas de chaleur avec l'air environnant (détente adiabatique)

# B – Masses d'air et fronts

## 2 - Bilans énergétiques

La Terre **reçoit de l'énergie du Soleil** sous forme de rayonnement. Le maximum du rayonnement solaire se fait **dans le visible** (la lumière du Soleil).

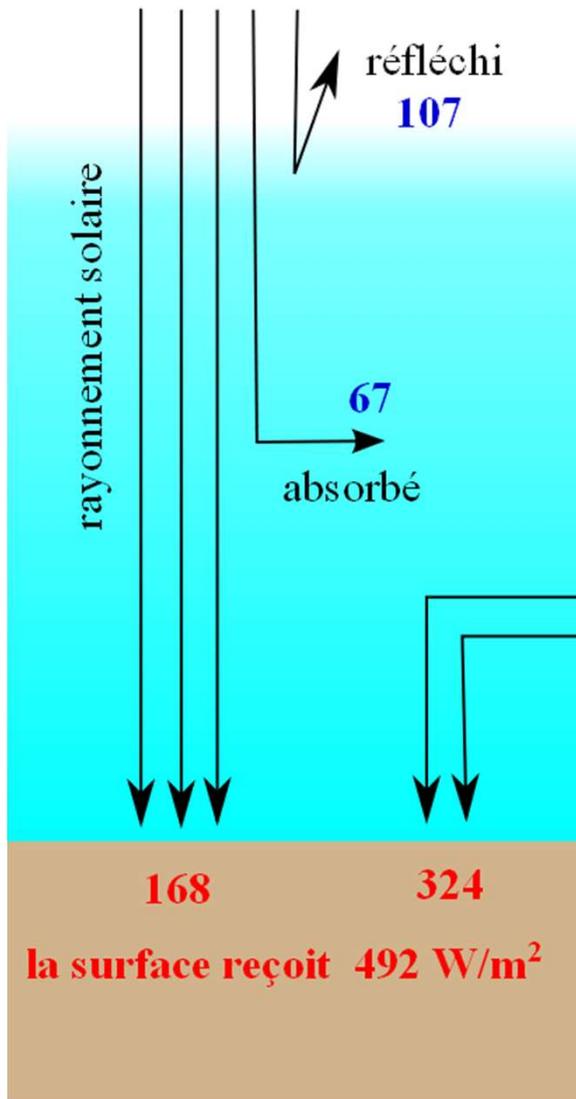


La Terre **renvoie dans l'espace à peu près la même quantité d'énergie**. Sa température moyenne est donc sensiblement constante. **Mais le rayonnement réémis est décalé dans l'infrarouge (la Terre renvoie surtout de la chaleur)**

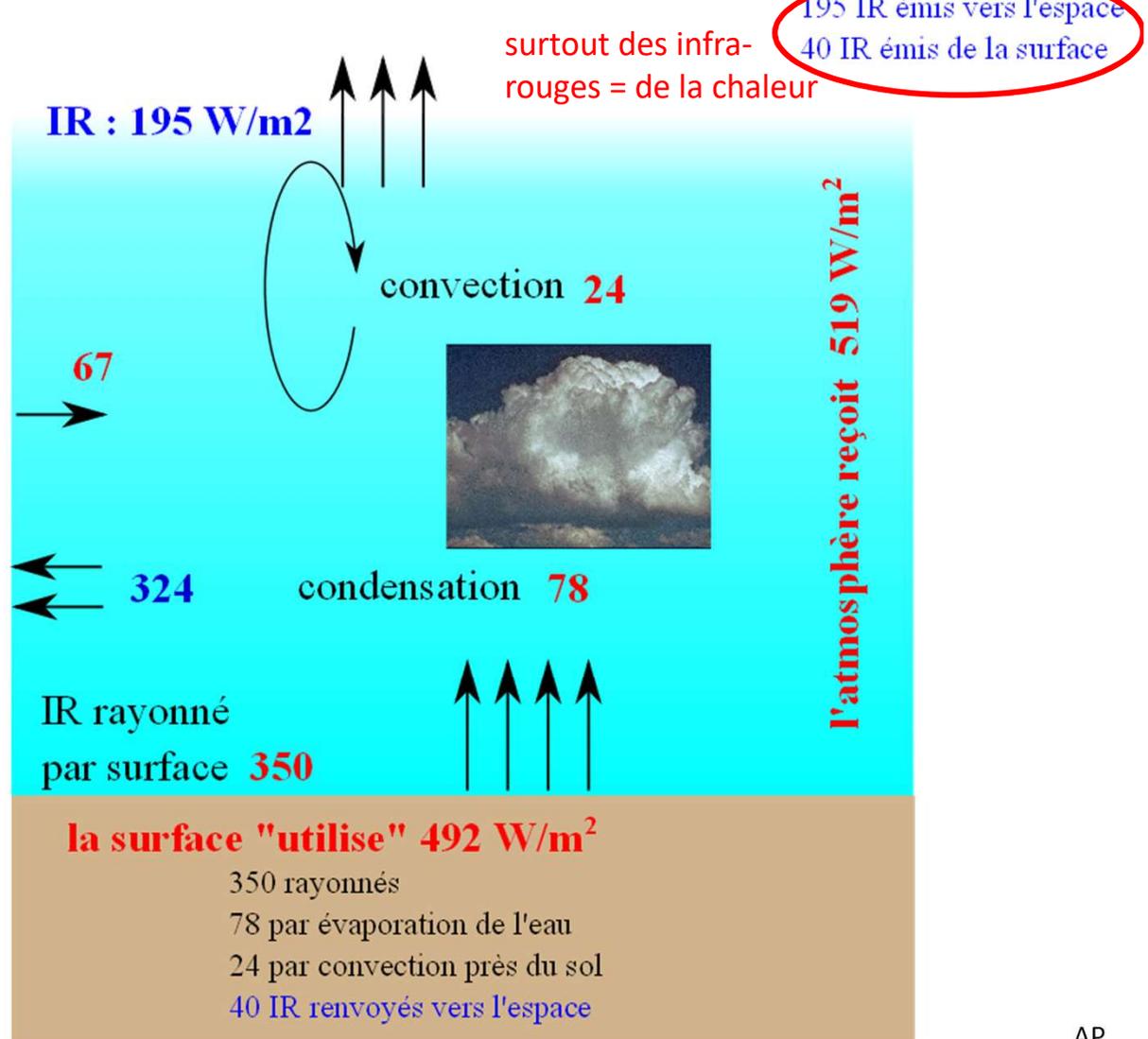
Note - en considérant la quantité de chaleur renvoyée dans l'espace, on calculerait une **température moyenne** d'environ  $-30^{\circ}C$ . En réalité, **grâce à l'effet de serre, la température moyenne à la surface de la Terre est d'env.  $15^{\circ}C$**

# Le bilan énergétique

**le Soleil procure 342 W/m<sup>2</sup>**



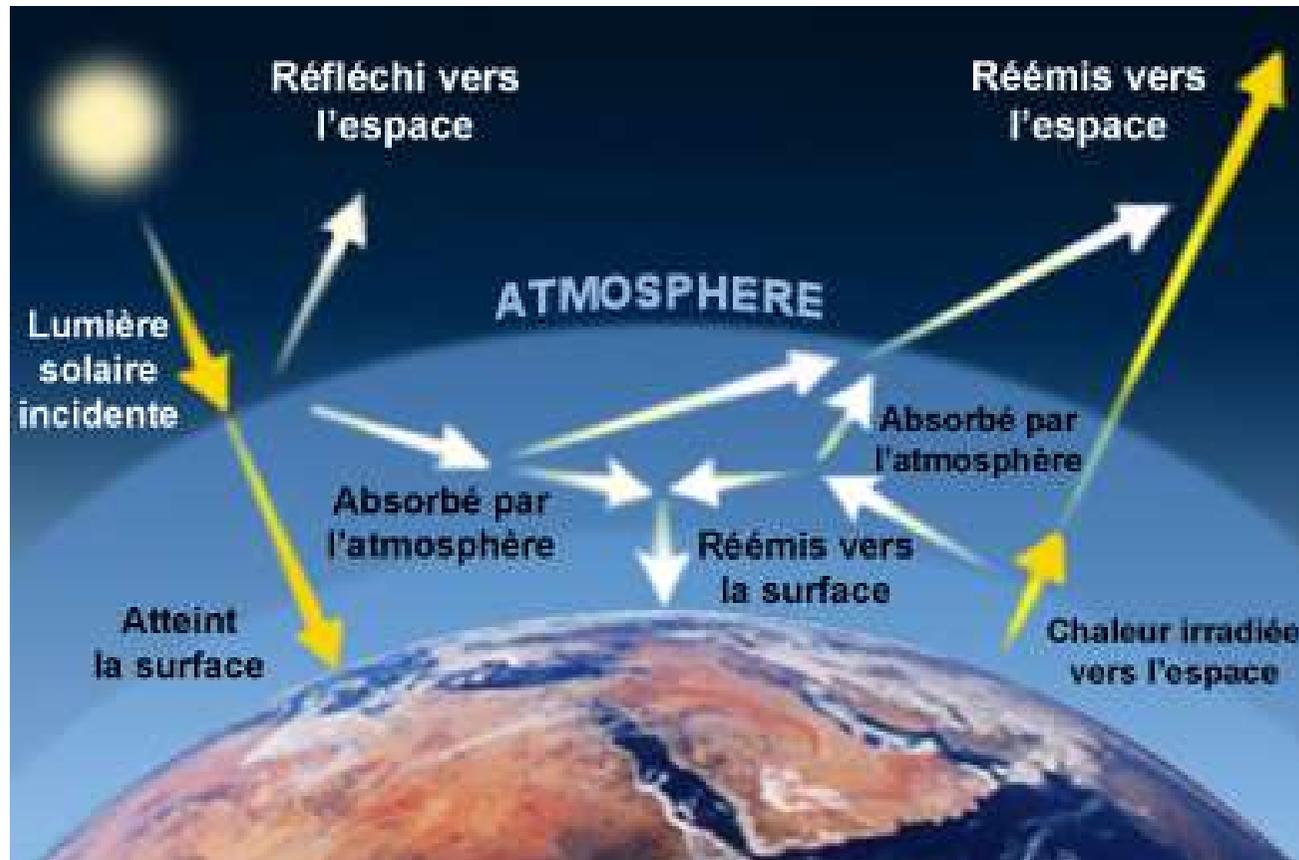
**la Terre redonne à l'espace 342 W/m<sup>2</sup>**



## Le bilan énergétique

Ce qu'il faut retenir : La Terre renvoie dans l'espace à peu près autant d'énergie qu'elle en reçoit du Soleil

**Pour l'atmosphère, la source principale de chaleur n'est pas le soleil, mais le sol !**

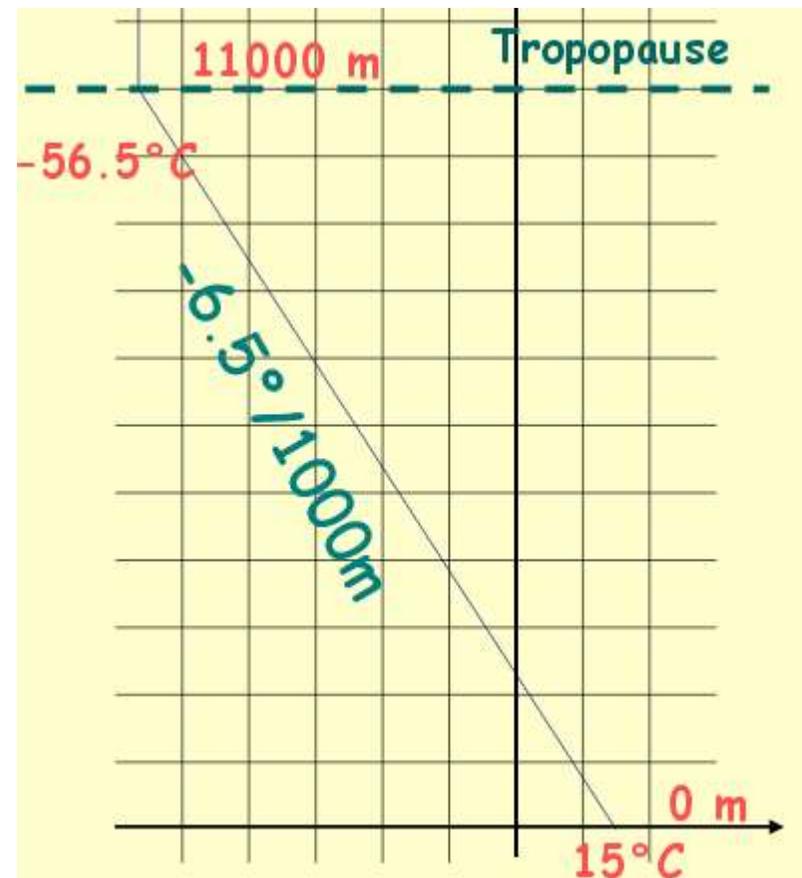


## Le bilan énergétique

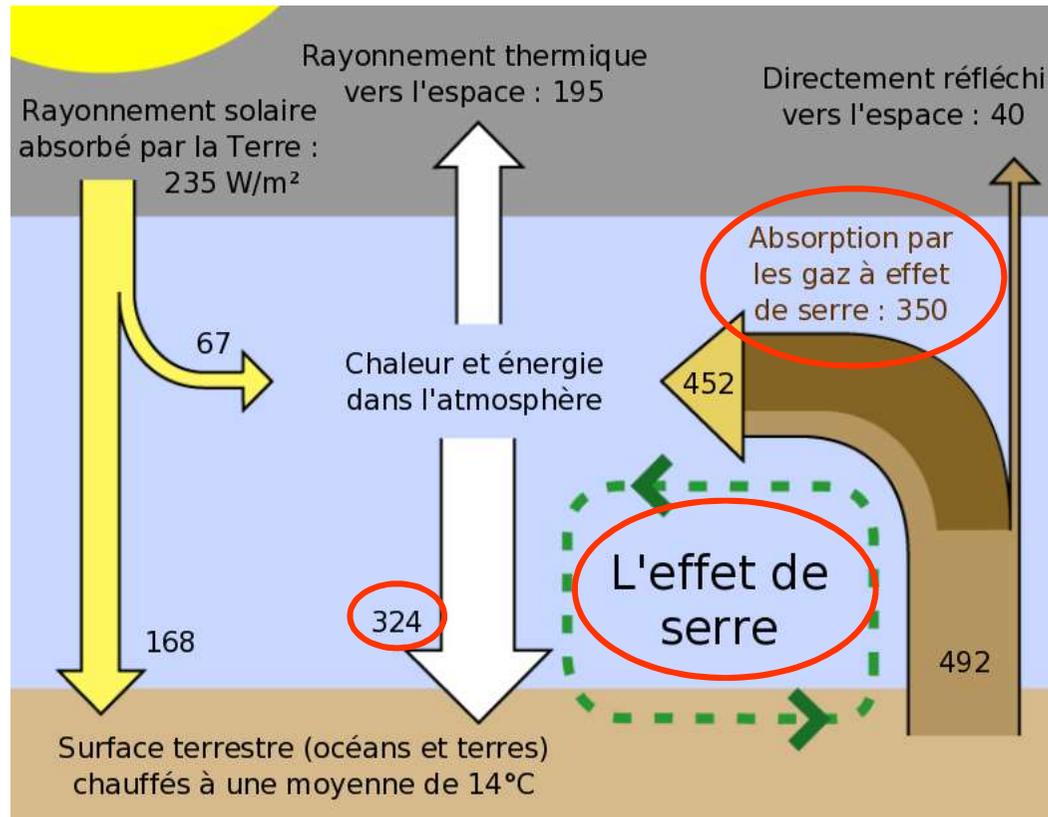
Pour l'atmosphère, la source principale de chaleur n'est pas le soleil, mais le sol

Ceci explique que l'atmosphère soit **plus chaude dans les basses couches qu'en altitude**

Dans la troposphère, la température décroît d'environ  $6,5^{\circ}\text{C}$  par  $1000\text{ m}$  d'altitude



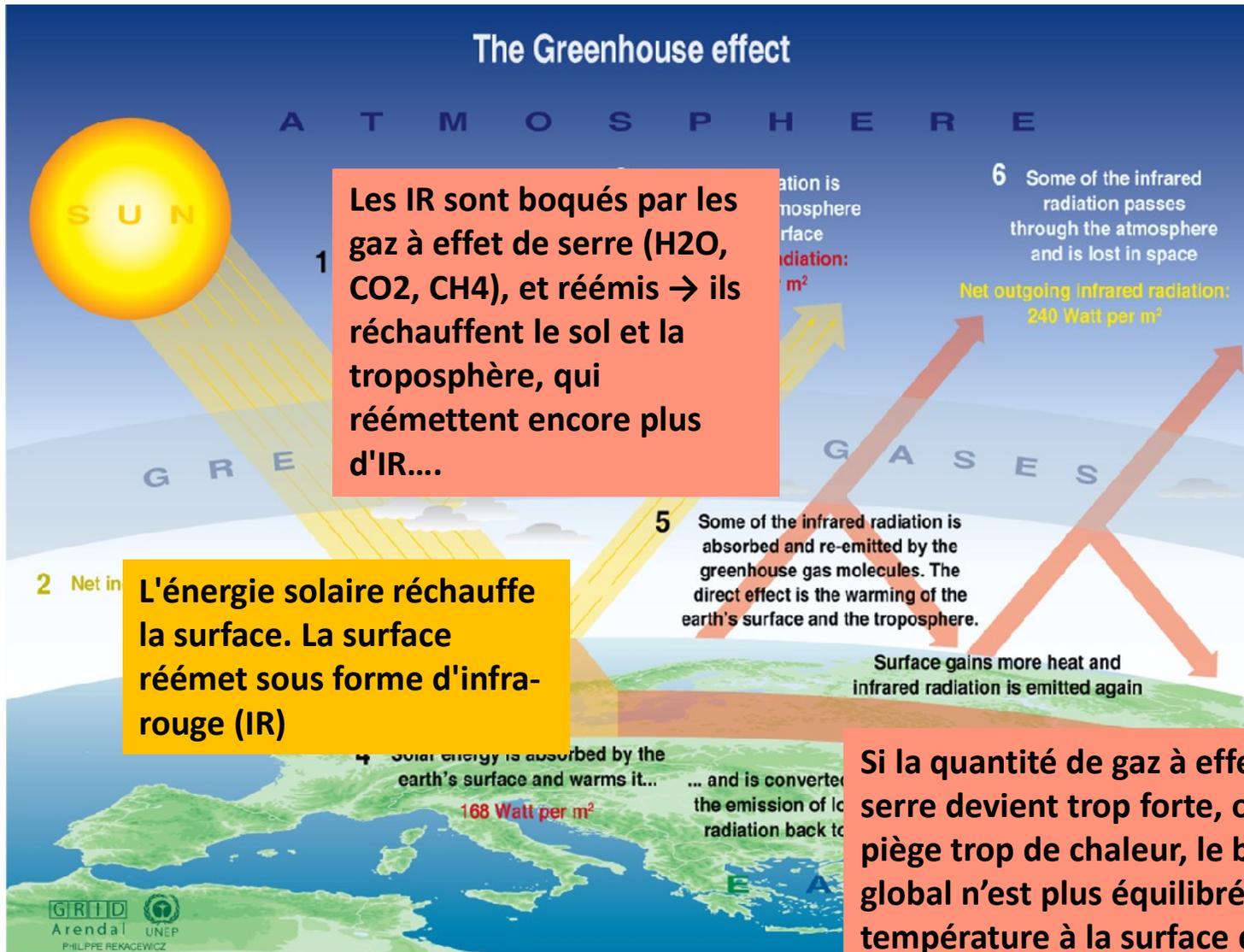
## L'effet de serre ("forçage radiatif")



Le rayonnement infrarouge (la chaleur) réémis par la surface de la Terre est absorbé par certains gaz (H<sub>2</sub>O, **CO<sub>2</sub>**, **CH<sub>4</sub>**), entraînant une augmentation de la température de l'atmosphère.

**Si la quantité de gaz à effet de serre devient trop forte, on piège trop de chaleur, le bilan global n'est plus équilibré, la température à la surface de la Terre augmente !**

# L'effet de serre ("forçage radiatif")



Les IR sont boqués par les gaz à effet de serre (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>), et réémis → ils réchauffent le sol et la troposphère, qui réémettent encore plus d'IR....

L'énergie solaire réchauffe la surface. La surface réémet sous forme d'infrarouge (IR)

Si la quantité de gaz à effet de serre devient trop forte, on piège trop de chaleur, le bilan global n'est plus équilibré, la température à la surface de la Terre augmente !

Sources: Okanagan university college in Canada, Department of geography, University of Oxford, school of geography Washington; Climate change 1995, The science of climate change, contribution of working group 1 to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1996.

## B - Masses d'air et fronts

### 3 - Masse d'air

- Une masse d'air, en météorologie est un volume important (quelques dizaines ou centaines de milliers de km<sup>3</sup>) d'air de la troposphère dont la température et l'humidité sont pratiquement uniformes dans un plan horizontal.

- A l'intérieur d'une masse d'air il existe de grandes surfaces horizontales de température et d'humidité relativement constantes.
- Ces masses d'air se déplacent dans l'atmosphère en glissant les unes sur les autres sans se mélanger.
- Au cours de leur déplacement leurs caractéristiques évoluent en fonction des surfaces au dessus desquelles elles transitent (océans, sols humides, déserts,...).

## Masse d'air

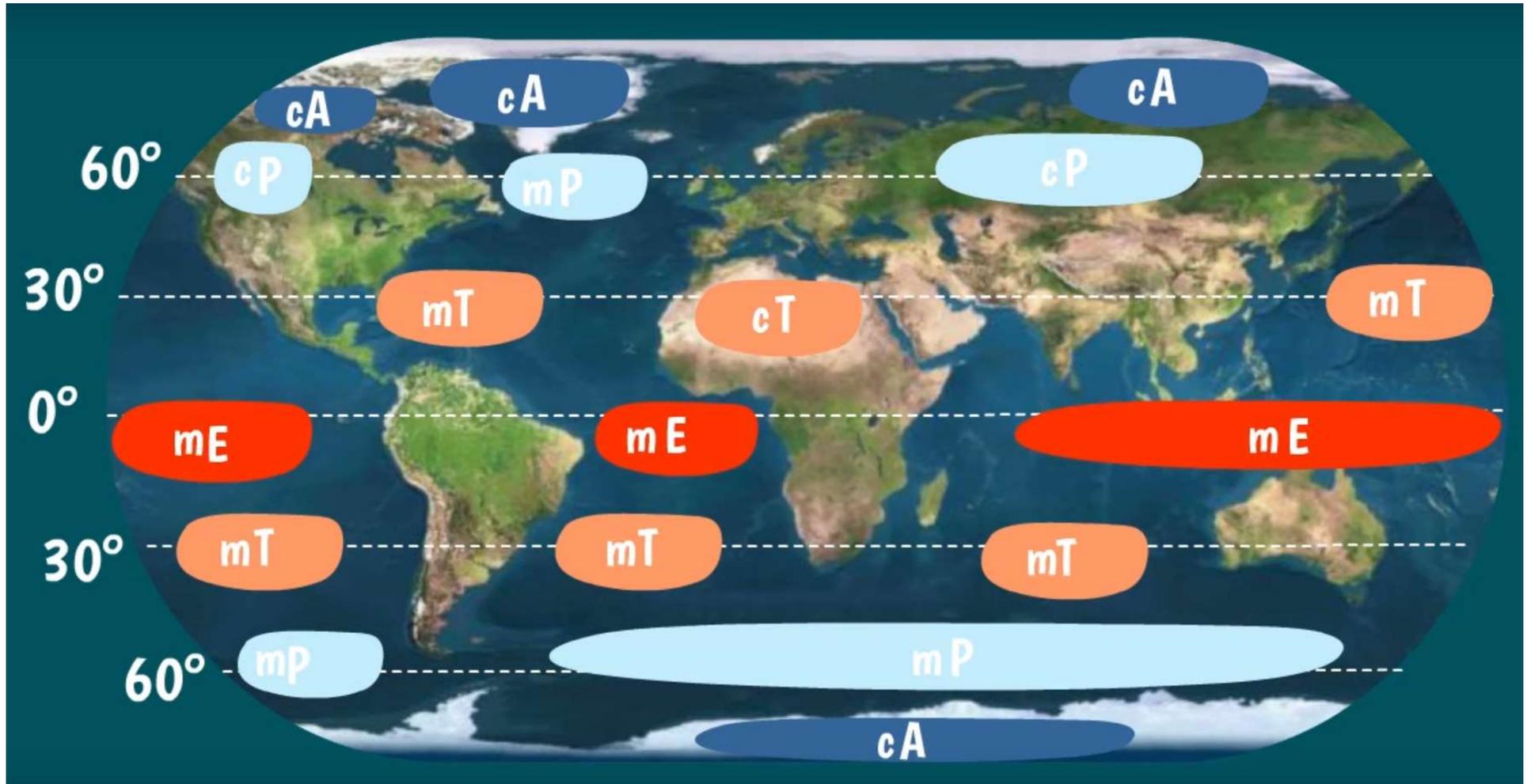
Pour classer les masses d'air on utilise 2 critères.

- leur **humidité** : si elles se forment au dessus des océans elles seront très humides (masses maritimes), alors que si elles se forment au dessus de régions désertiques, elles seront peu humides (masses continentales).
- leur **température** : pour celles qui se forment dans les régions de **haute latitude (près des pôles)**, l'air est **froid**, alors que pour celles qui se forment aux **basses latitudes (près de l'équateur)**, l'air est **chaud**.

On en distingue **trois types**. Les masses d'air:

- Polaires,
- Arctiques
- Tropicales.

# Masse d'air



C = Continentale; M = Maritime A = Arctique; P = Polaire; T = tempérée; E = Equatoriale

Si la masse d'air se forme sur une étendue terrestre elle est Continentale  
Si elle se forme au dessus d'un océan elle est Maritime.

# Masse d'air

Type de masse d'air	Caractéristiques	Saison
continentale Polaire cP	Air sec et stable	<p><b>Eté</b> : elle s'humidifie au contact des sols survolés et devient instable. Des orages peuvent s'y développer.</p> <p><b>Hiver</b> : l'air reste très froid et très sec. La visibilité est excellente et il n'y a pas de précipitations.</p>
continentale Arctique cA	Air très froid et très sec	<p><b>Eté</b> : elles ne se développent pas en été</p> <p><b>Hiver</b> : l'air reste très froid et très sec.</p>
continentale Tropicale cT	Air chaud, sec et instable (mais peu de formations nuageuses)	<p><b>Eté</b> : l'air est chaud et sec. Il n'y a pas de précipitations mais la visibilité n'excède pas 7 à 8 Km.</p> <p><b>Hiver</b> : mêmes caractéristiques.</p>

# Masse d'air

Type de masse d'air	Caractéristiques	Saison
<b>maritime Polaire</b> <b>mP</b>	Air initialement froid se réchauffant et s'humidifiant au cours de sa descente vers le sud. <b>Instable et nuageux</b> apportant une pluie froide.	<b>Été</b> : Le temps est pluvieux, des orages et des averses peuvent s'y développer. Hors précipitations la visibilité est bonne. <b>Hiver</b> : Le temps est froid et des averses de neige y sont fréquentes. Hors précipitations, visibilité bonne.
<b>maritime Arctique</b> <b>mA</b>	Air froid se réchauffant et s'humidifiant beaucoup au cours de son déplacement. <b>Apporte humidité et instabilité.</b>	<b>Été</b> : temps froid, nombreuses averses. Grande instabilité, beaucoup de nuages instables dans la journée. <b>Hiver</b> : temps très froid avec de nombreuses averses de neige. Présence de nombreux nuages bas.
<b>maritime Tropicale</b> <b>mT</b>	<b>Air très chaud et très humide.</b> Il apporte de nombreuses précipitations (orages et averse), <b>du brouillard ou de la brume sèche.</b>	<b>Été</b> : Le temps est chaud et humide : très pluvieux. La visibilité est médiocre. <b>Hiver</b> : Le temps est chaud et humide. Il se forme des brouillards et des nuages bas. La visibilité est médiocre.

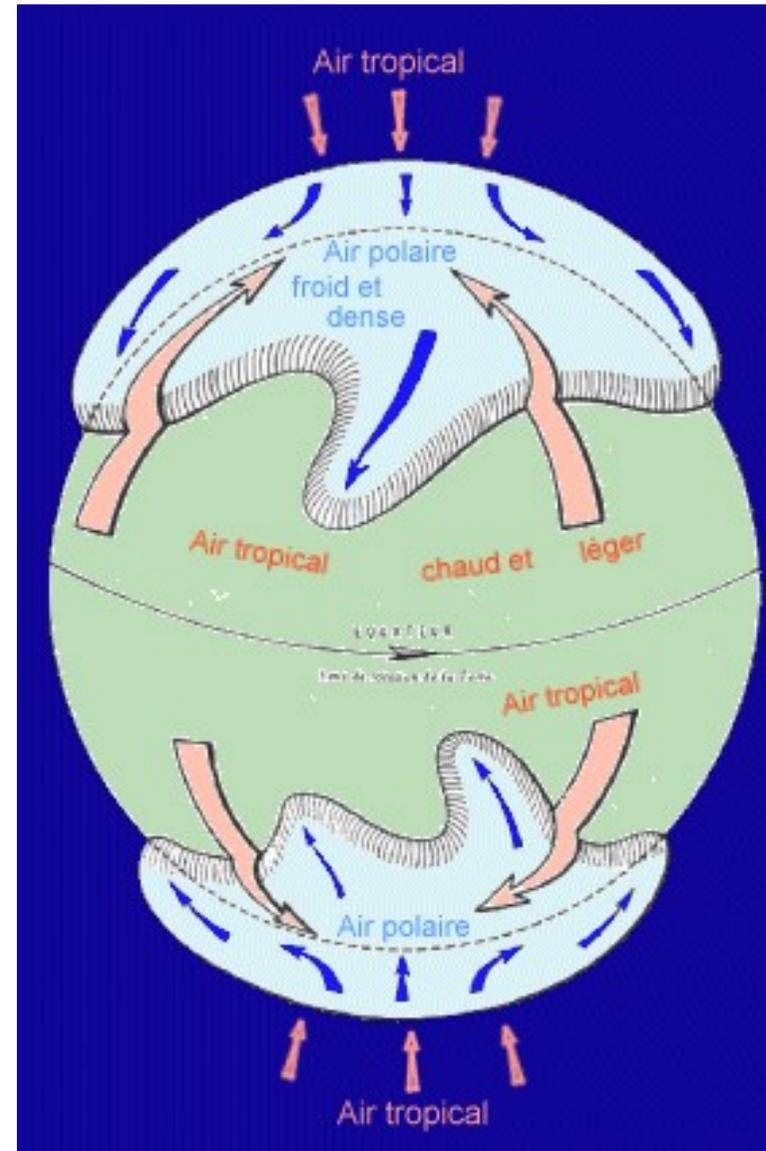
# B - Masses d'air et fronts

## 4 - Circulation générale

En simplifiant, on peut considérer 2 types principaux de masses d'air :

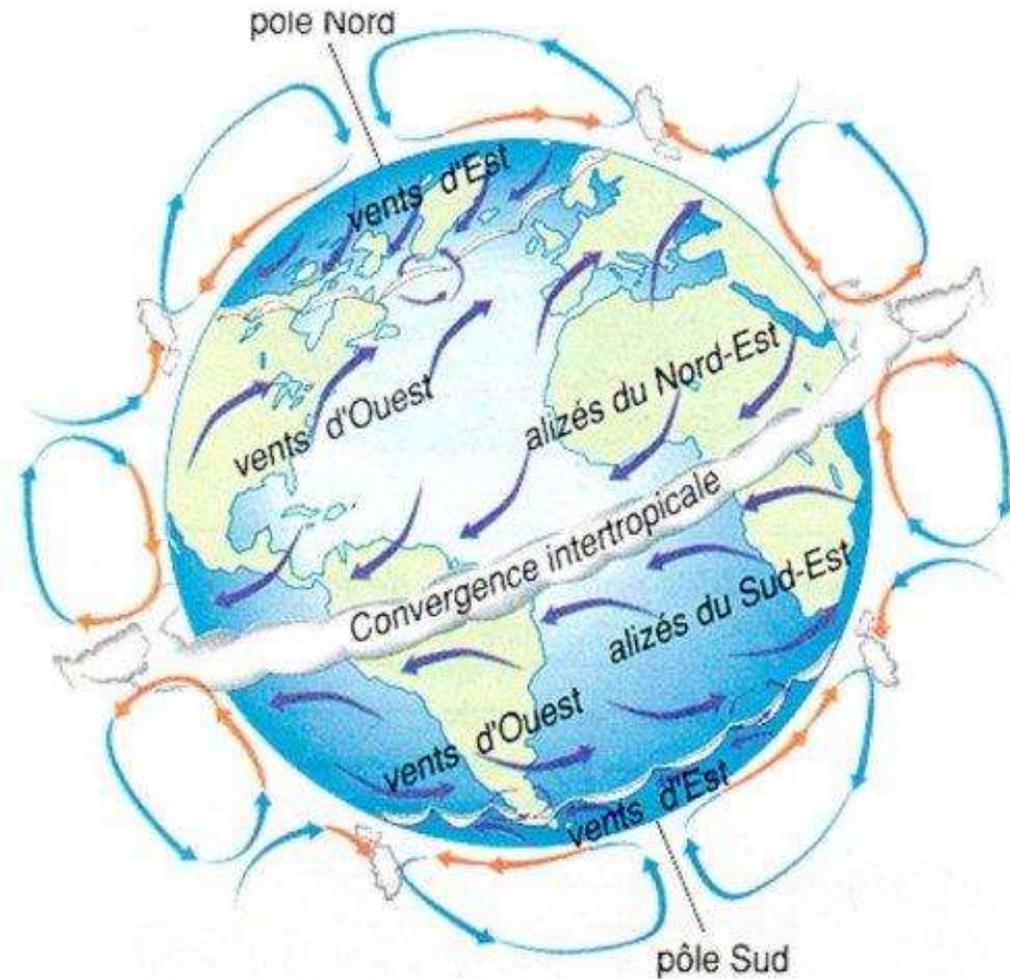
- les **masses d'air polaires** (sec et très dense)
- les **masses d'air tropicales** (humides et peu denses).

L'air chaud tropical va avoir tendance à passer au dessus de l'air froid polaire



## Circulation générale

**A échelle de la Terre**, il se forme dans l'atmosphère des **cellules de convection** (l'air chaud remonte, l'air froid descend) (cellules de Hadley)

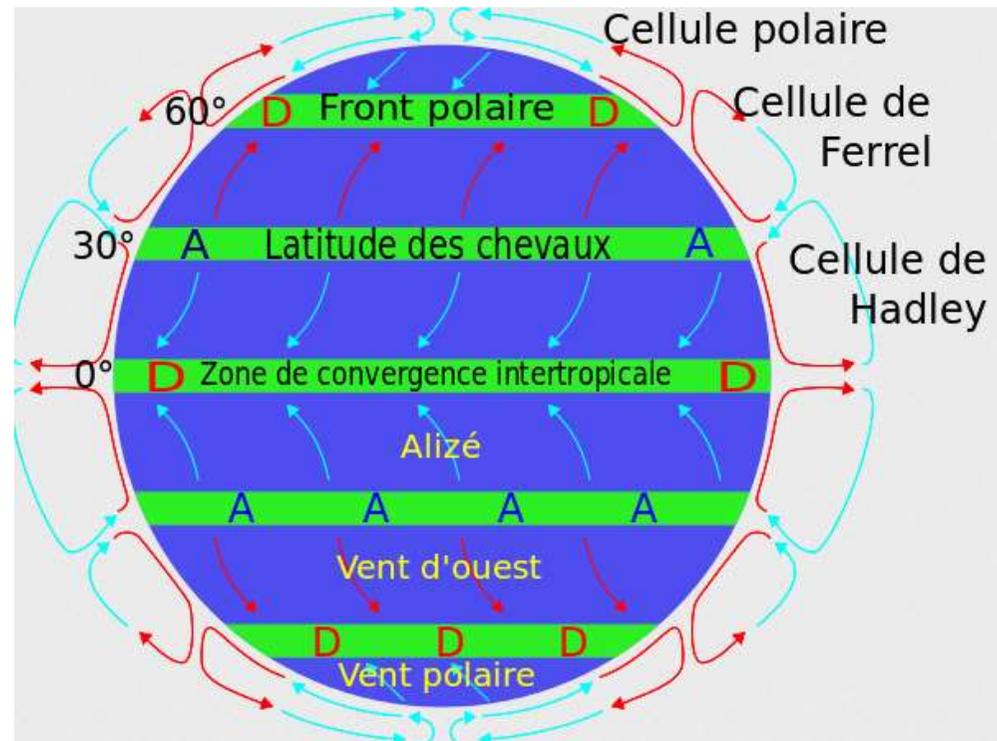


crédit <http://sup.ups-tlse.fr/>

# Circulation générale

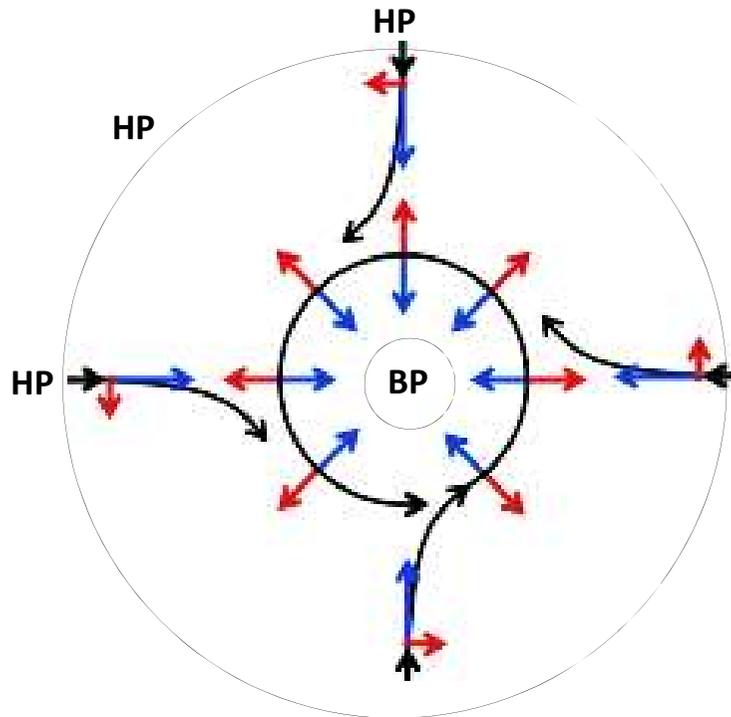
**Combiné à la rotation de la Terre,** cela entraîne un système de **vents assez réguliers** (par exemple les alizés, bien connus des navigateurs !)

Forts entre 0 et 1500m d'altitude  
**Inversion des vents vers 6000 m d'altitude**



*Pourquoi une direction générale des alizés NE-SW (hémisphère N) ?  
Lié à la rotation de la Terre, qui entraîne avec elle l'observateur...*

# Circulation générale

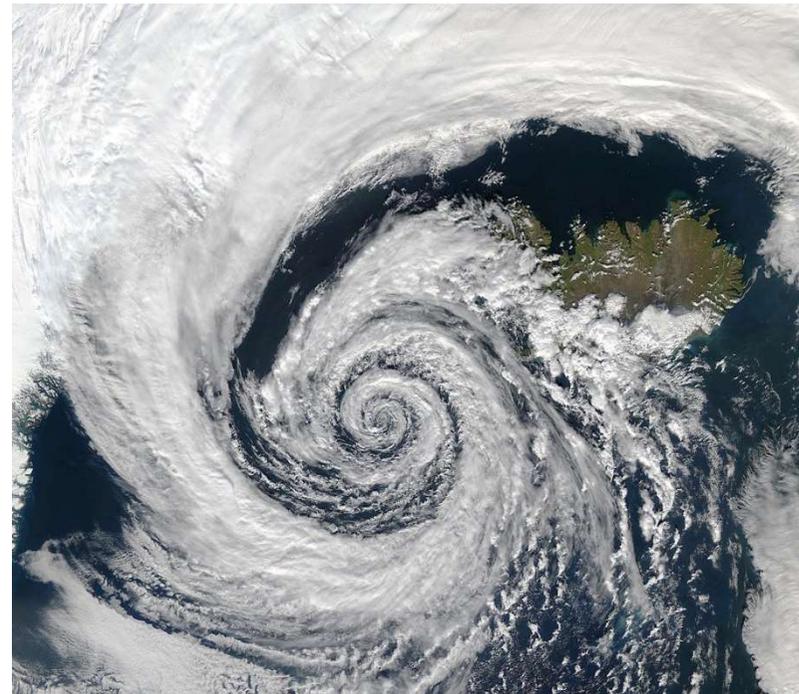


## **Déviat**ion des vents autour d'une dépression

*En bleu* : forces liées à la différence de pression, des hautes pressions vers les basses pressions

*En rouge*, « force » de Coriolis, perpendiculaire à la direction du mouvement

*En noir*: direction du vent, qui devient vite perpendiculaire au gradient de pression, c'est à dire parallèle aux isobares = vent géostrophique

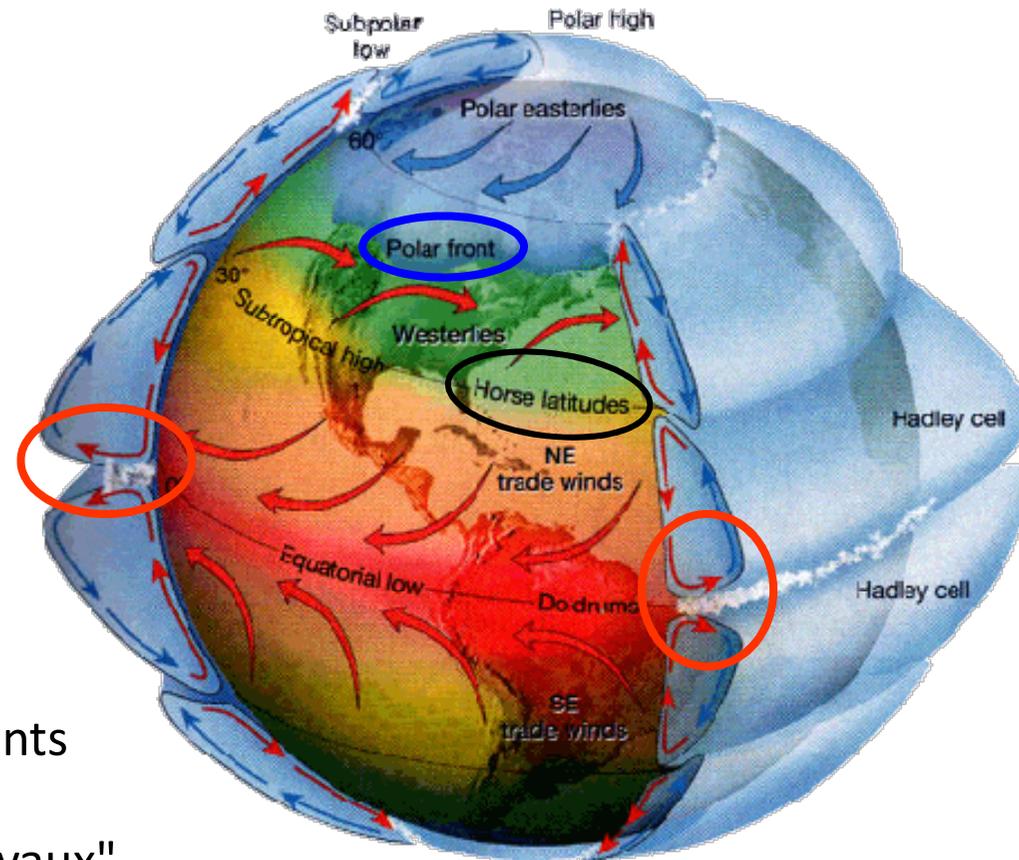


# Circulation générale

Une autre vue de la circulation générale dans l'atmosphère

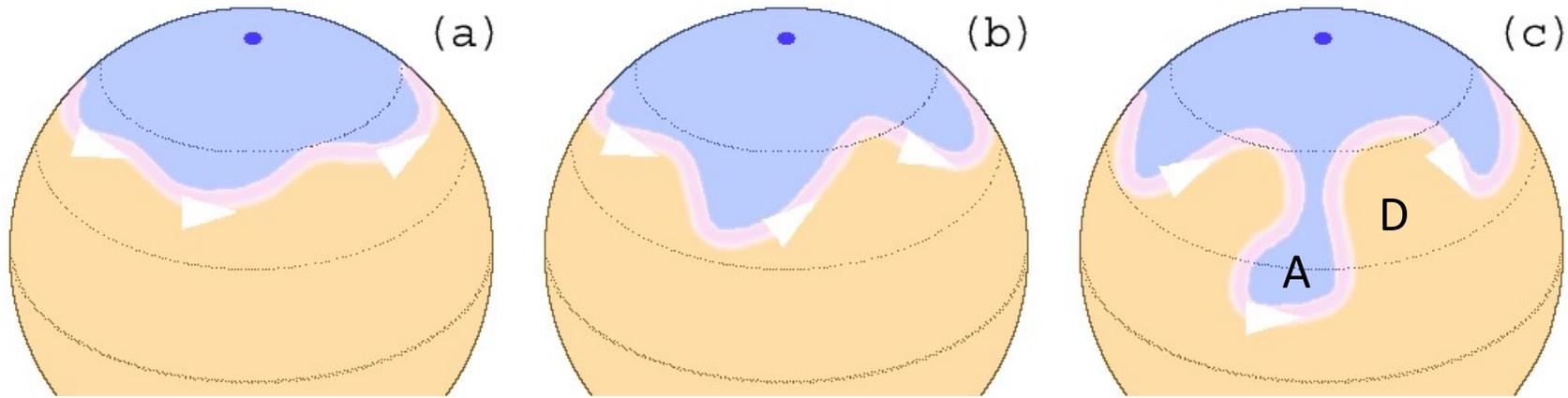
Il existe des zones remarquables :

- le **front polaire**, zone de contact entre l'air froid polaire et l'air chaud tropical
- la **zone de convergence équatoriale**, zone d'orages fréquents
- ou encore les "latitudes des chevaux" (zone de vents faibles, bateaux encalminés)...



## B – Masses d'air et fronts

### 5 - Perturbation et fronts



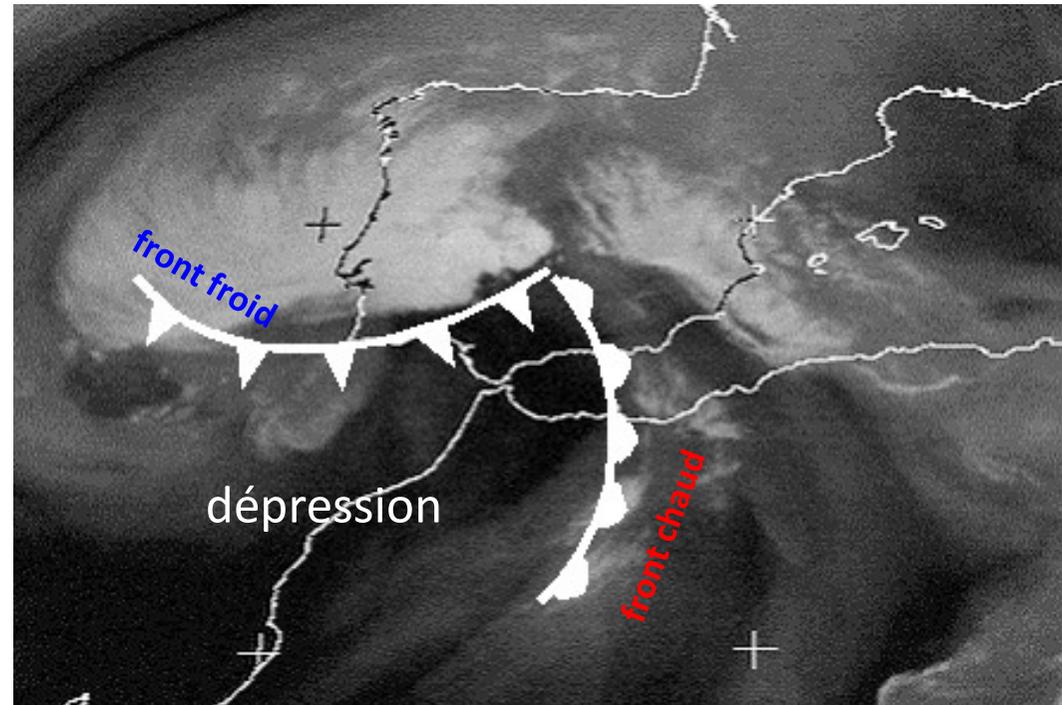
- La zone de contact entre air froid polaire et air chaud tropical se situe aux latitudes moyennes (dans nos régions pour l'hémisphère nord).
- Ces masses d'air sont de nature trop différentes pour se mélanger : elles glissent simplement les unes sur les autres.

- Il y a des frottements entre les masses d'air. Il en résulte des oscillations, qui peuvent provoquer l'avancée d'une masse d'air tropical au sein de l'air polaire et réciproquement
- Il existe alors une **dépression** au sein de l'air tropical entouré d'air polaire.

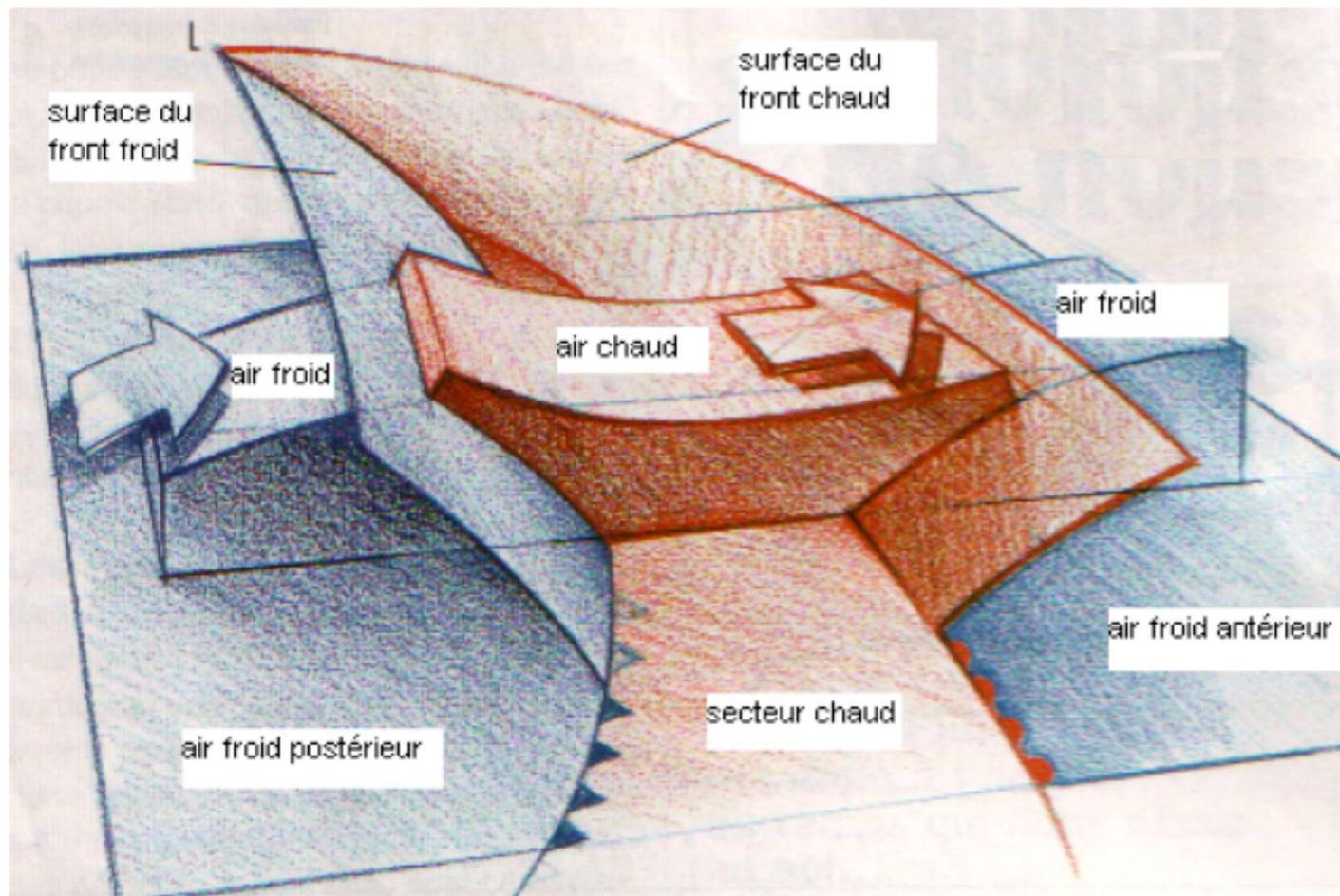
## Formation des fronts

- La masse d'air tropical ainsi introduite dans l'air polaire est délimitée par deux zones de contact entre l'air tropical et l'air polaire.
- Ces zones sont appelées des **fronts**.

- Celui en avant de la perturbation est appelé **front chaud** et celui en arrière est appelé **front froid**.
- Il arrive que les deux fronts se rejoignent. On dit alors qu'il y a une **occlusion**.
- La zone derrière le front froid est appelée **traîne** de la perturbation.

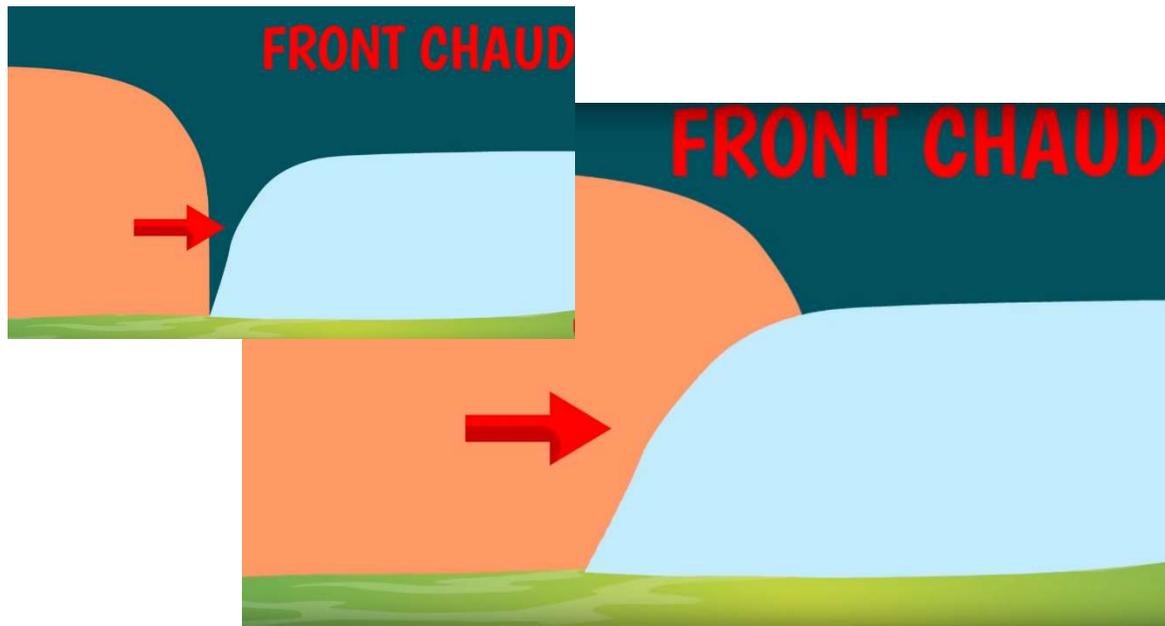


# Formation des fronts



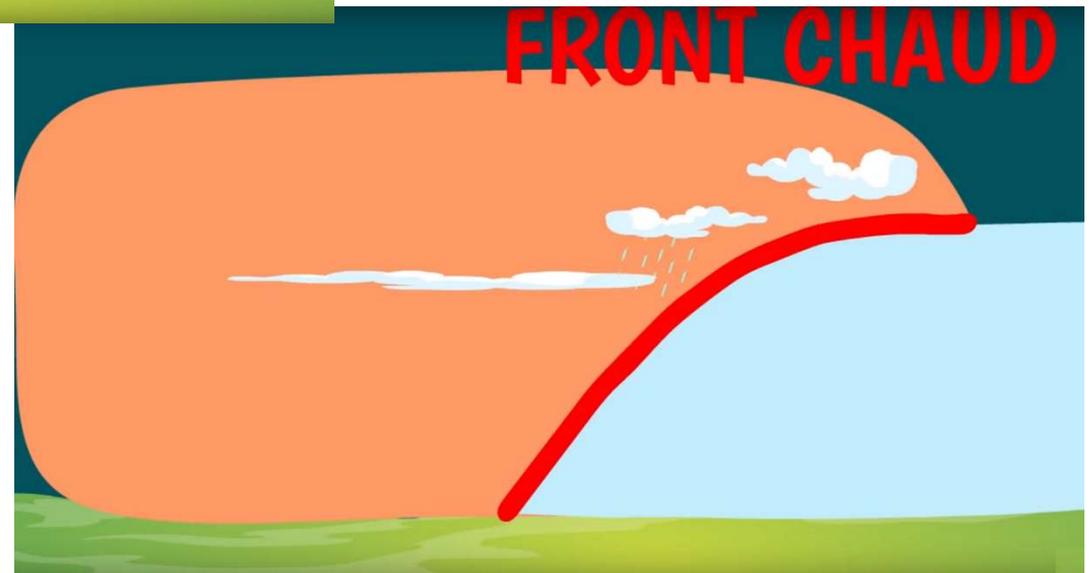
**Etat des fronts avant la formation de l'occlusion**

## Les fronts chauds



Dans un premier temps le front chaud va d'abord passé au dessus du front froid plus dense et avoir plus de peine à déplacer l'air froid au sol.

Ainsi le front chaud avance assez lentement au environ de 18km/h avec une pente assez douce. Dans un deuxième temps l'air chaud parviendra à remplacer l'air froid au sol.



## Les fronts chauds



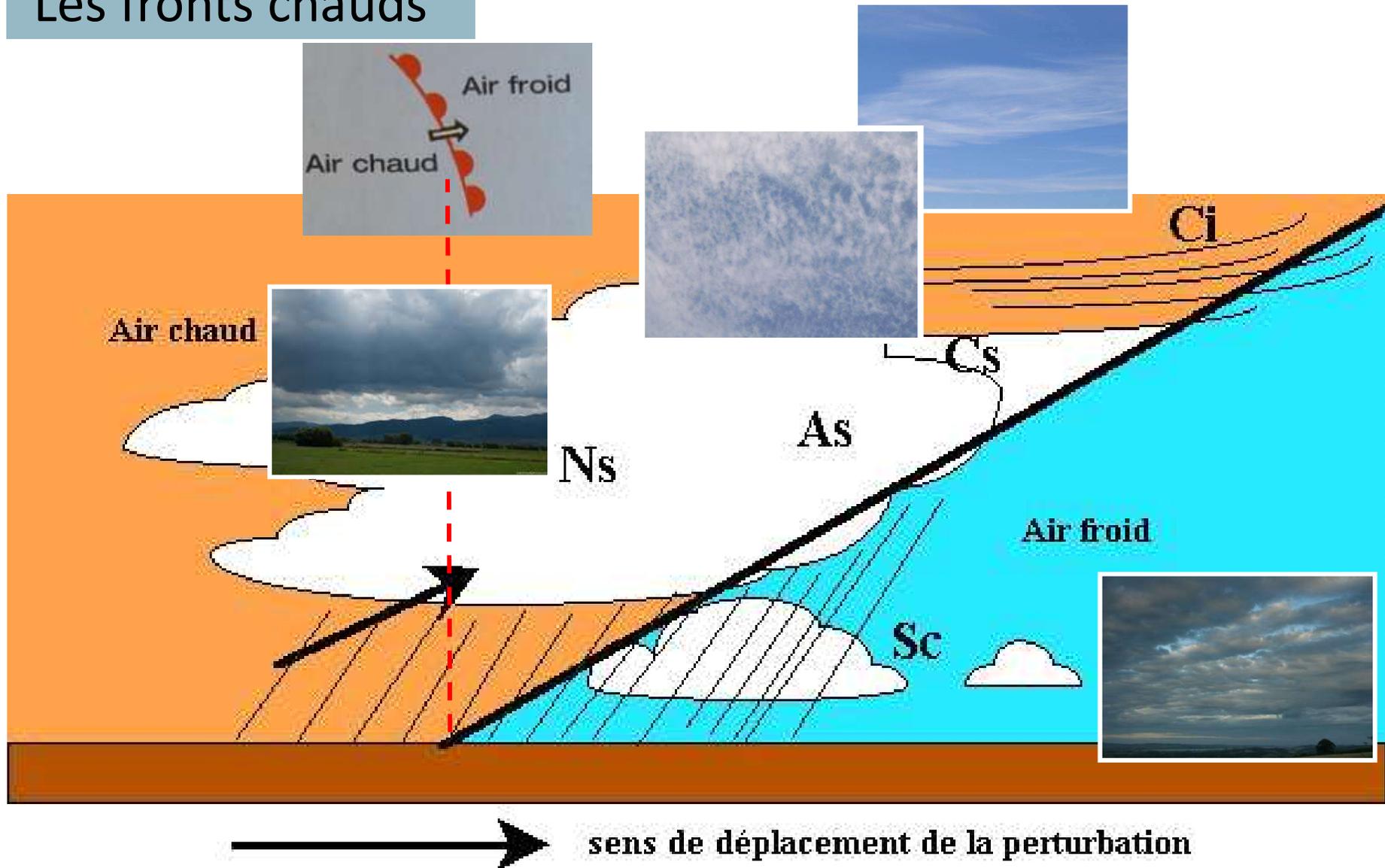
- **Le front chaud est la surface de séparation entre une masse d'air froid et une masse d'air chaud le repoussant.**
- Il y a donc un front chaud à l'arrivée d'une perturbation.
- Le front est incliné vers le haut dans le sens de déplacement de la perturbation. Le haut du front peut se trouver à plusieurs centaines de kilomètres en avant de sa trace au sol.

## Les fronts chauds

- L'arrivée du front chaud est signalée par l'apparition en altitude d'un voile de **cirrus** précédant le corps de la **perturbation de plusieurs heures**.
- Ensuite, apparaissent des **cirrostratus (Cs)** puis des **altocumulus (Ac)**
- Le ciel se bouche et la convection est stoppée.
- Les **altostratus (As)** et les **nimbostratus (Ns)** encombrant alors le ciel amenant les **précipitations** si le front est actif.
- Des **stratocumulus (Sc)** peuvent compléter les nuages du corps par le bas.



# Les fronts chauds

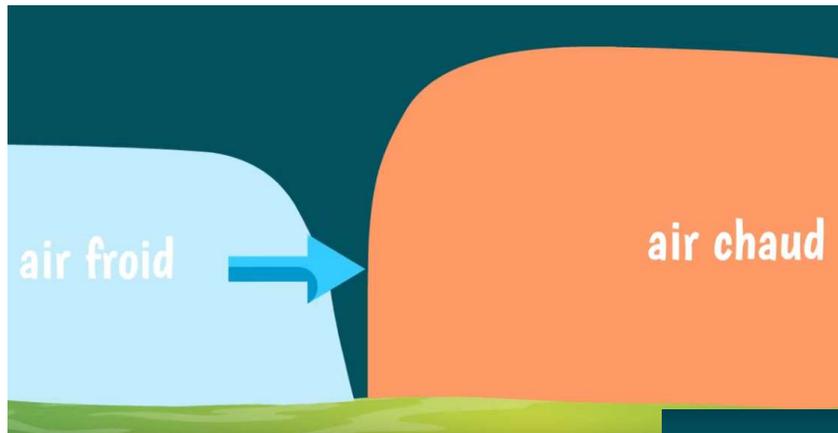


Ns: Nimbostratus  
As: Altostratus  
Sc: Stratocumulus

Cs: Cirrostratus  
Ci: Cirrus

Coupe schématique d'un front chaud.

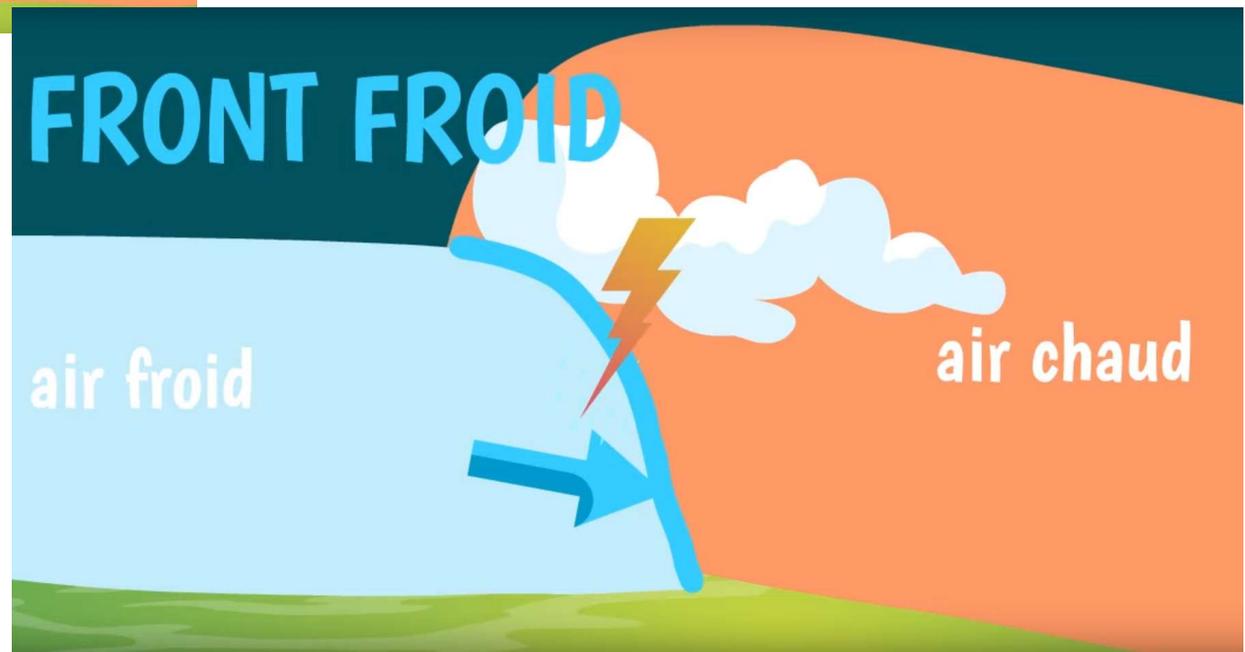
## Les fronts froids



La masse d'air froid est plus dense que l'air chaud.

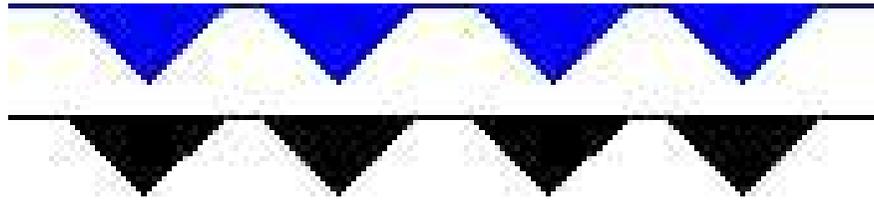
En avançant, la masse d'air froid se glisse sous la masse d'air chaud la forçant en altitude.

Vitesse de déplacement de la masse d'air froid environ 25 km/h.



En montant la masse d'air chaud se refroidie et la vapeur d'eau qu'elle contient forme des nuages puis des précipitations.

## Les fronts froids

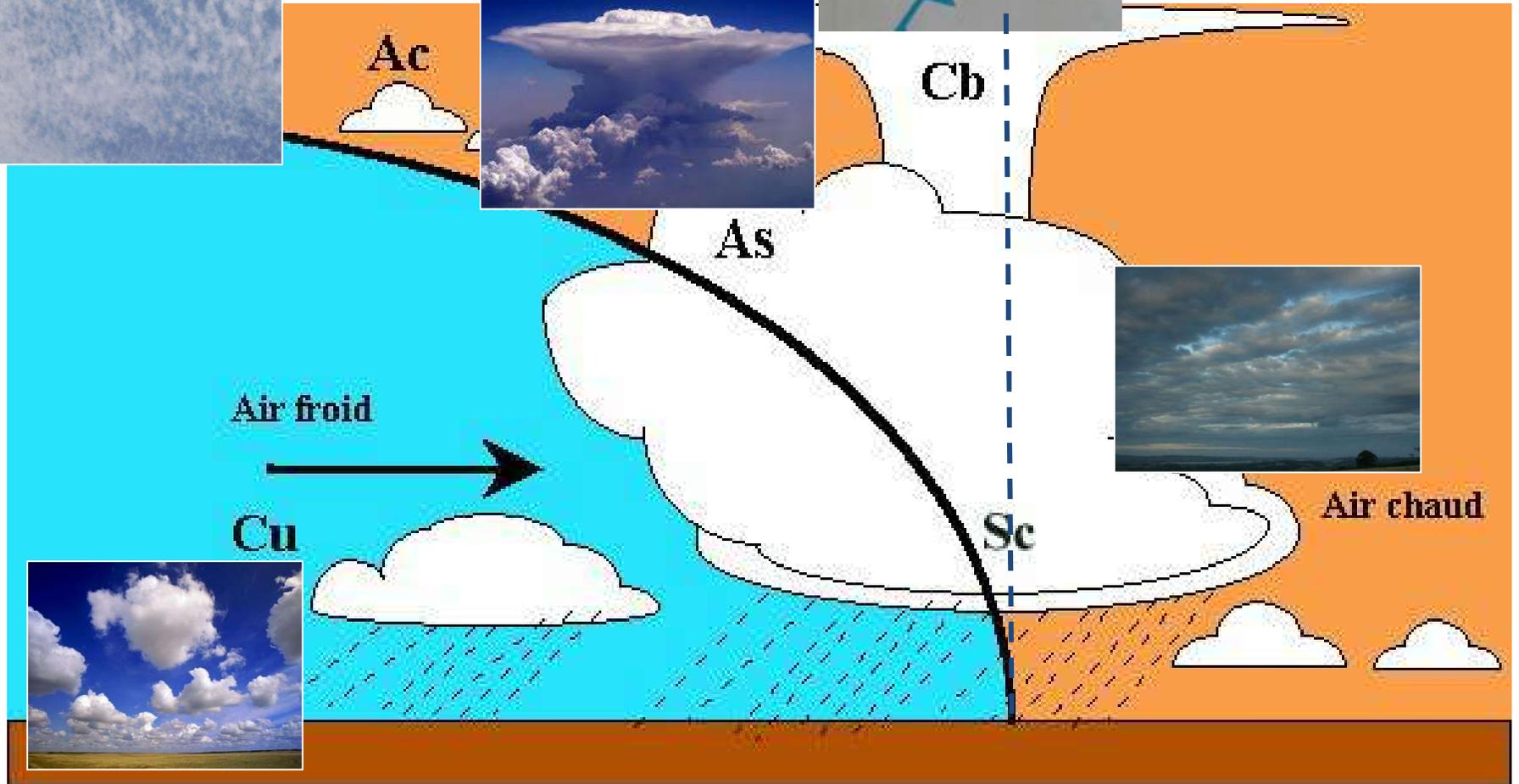
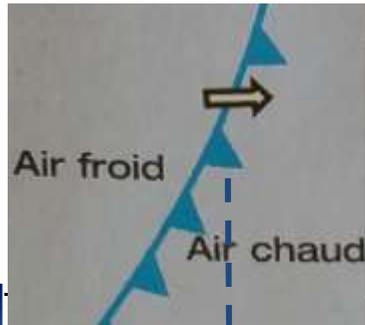


- **Le front froid est la surface de séparation entre une masse d'air chaud et une masse d'air froid le repoussant.**
- Il y a un front froid à la fin d'une perturbation.
- Le front est incliné vers l'arrière dans le sens de déplacement de la perturbation.
- Le front froid avance rapidement et son étalement horizontal est donc assez limité mais il est souvent très actif.

## Les fronts froids

- L'arrivée du front froid est marquée par une reprise de la convection.
- Lorsque le front avance, on voit se développer des **altocumulus, altostratus et des cumulus congestus ou des cumulonimbus** si le front est très actif.
- Des **précipitations** apparaissent avec **parfois des orages**. Des **stratocumulus et des stratus** complètent les nuages dans l'étage inférieur.
- Lorsque la trace au sol est passée, nous sommes dans la **traîne** de la perturbation.

# Les fronts froids



**ciel de traîne**



**sens de déplacement de la perturbation**

Cu: Cumulus

Ac: Altopcumulus

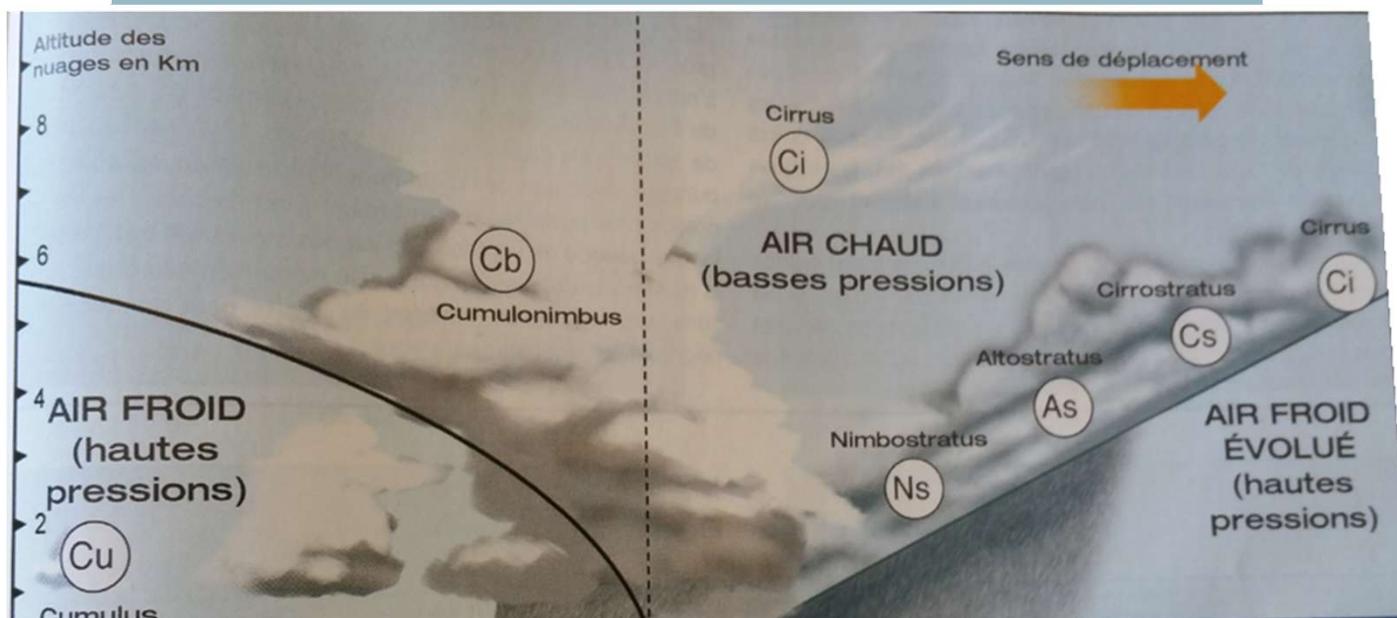
Coupe schématique d'un front froid.

Cb: Cumulonimbus

As: Altostratus

Sc: Stratocumulus

# Passage d'une perturbation d'Ouest



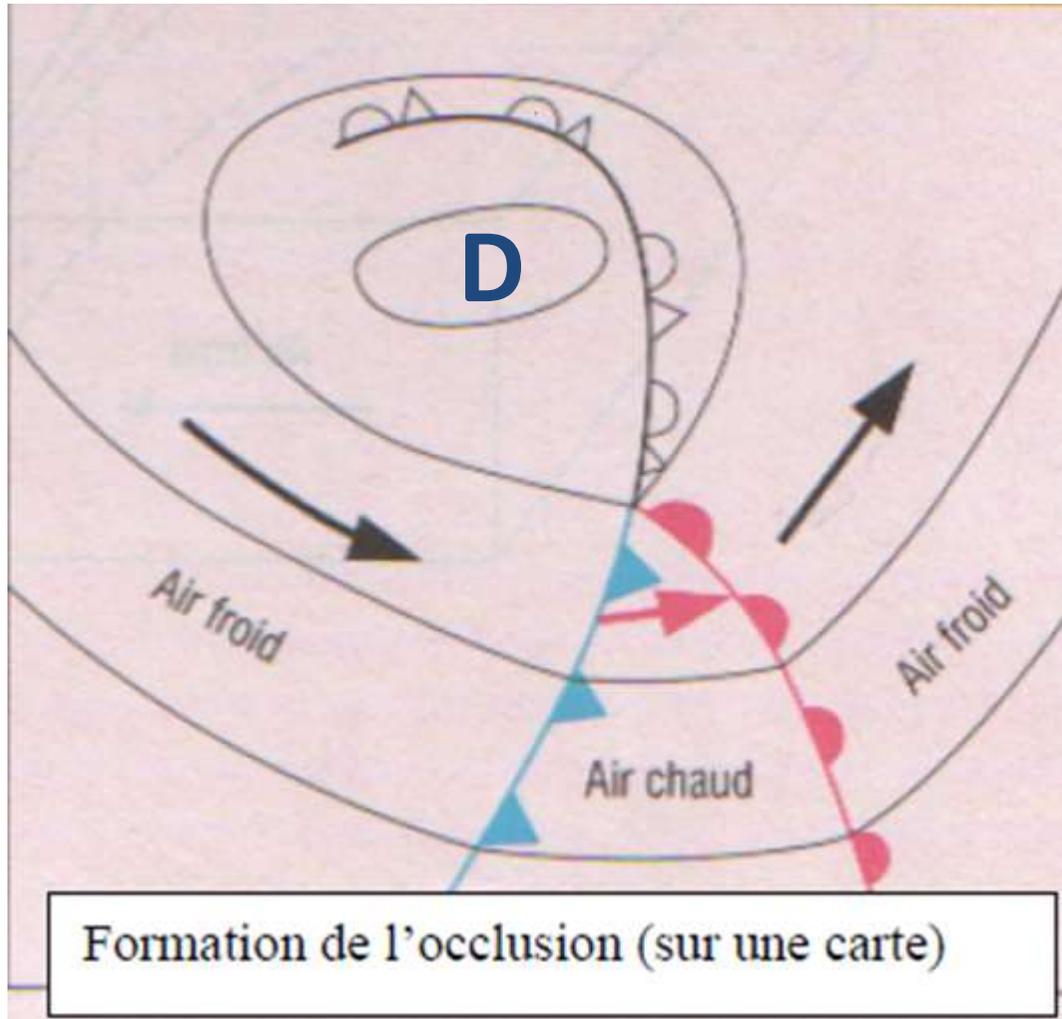
	FRONT CHAUD			FRONT FROID	
	Avant	Pendant	Après	Pendant	Après
<b>Vent</b>	Se stabilise au S ou SO en forçissant	Tourne au SO et forçit encore parfois	Légers changements de direction, fort	Tourne à l'O ou NO en rafales	Tourne au N et faiblit
<b>Pression</b>	Chute rapidement	Reste stationnaire	Peu encore baisser	Augmente brusquement	Montée lente
<b>Température</b>	Peut augmenter lentement	Augmente lentement	Reste stationnaire	Baisse rapidement	Peut baisser
<b>Visibilité</b> (hors nuages)	Mauvaise	Assez bonne	Faible	Assez bonne	Augmente
<b>Nébulosité</b>	Ci, Cs, As, Ns	As, Ns	St, Sc	St, Cu, Sc, Cb	Cu
<b>Précipitations</b>	Pluie continue	Bruine intermittente	Bruine intermittente	Averses et orages	Averses, grains

## L'occlusion



- **L'occlusion est une zone où le front froid rejoint le front chaud.**
- Elle marque le début de la désagrégation de la perturbation car la dépression se comble alors.
- Le temps est perturbé à plus longue échéance qu'avec un front.

# L'occlusion

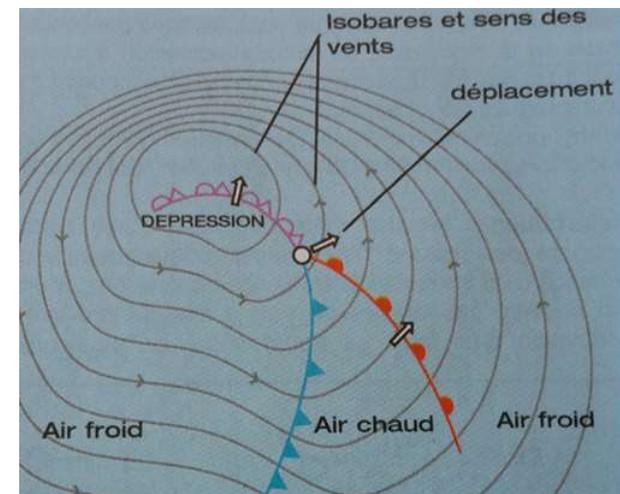


L'air chaud est totalement rejeté en altitude mais il est encore nuageux et souvent pluvieux. La « Vallée » d'air chaud est appelée

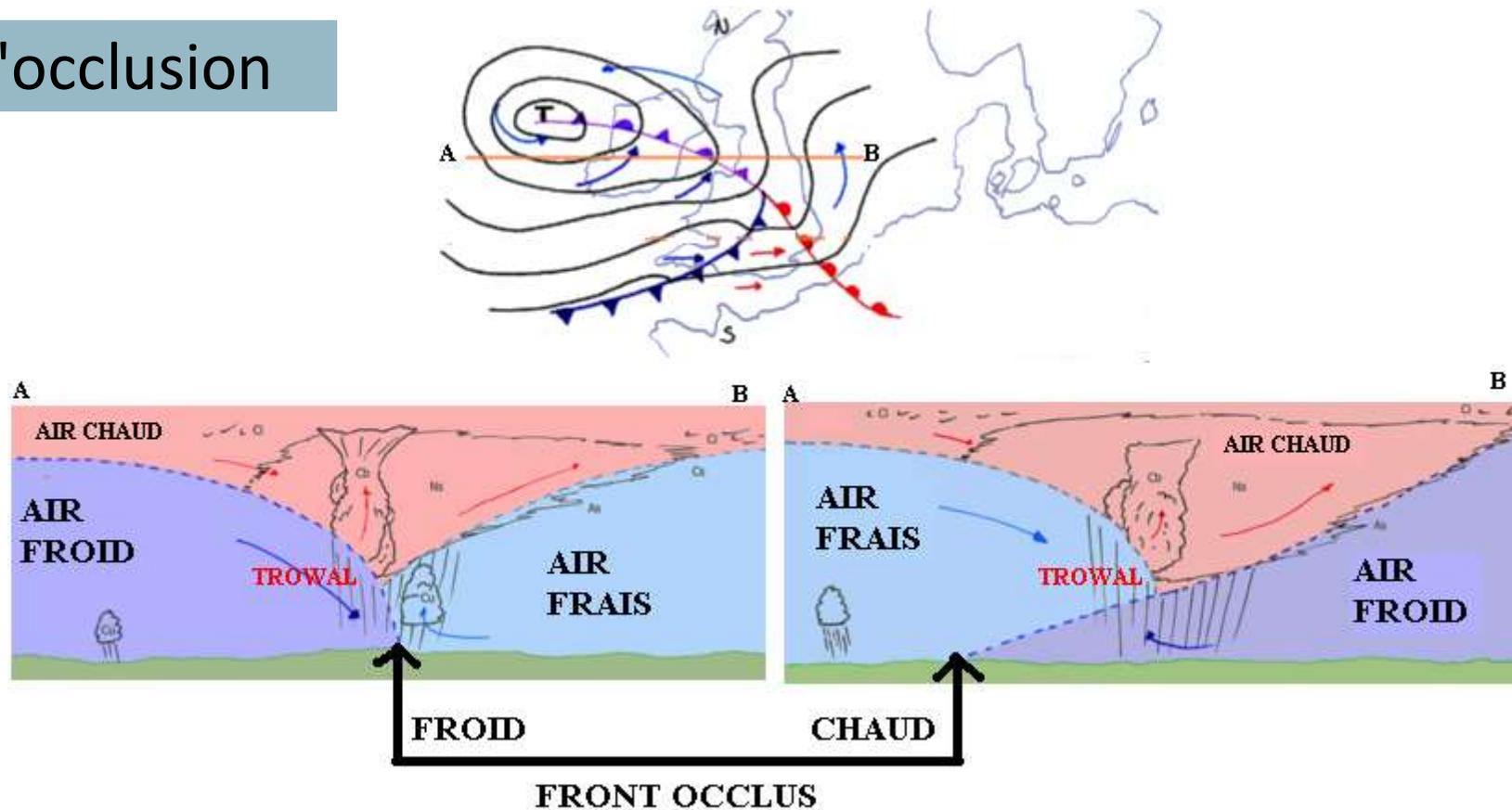
**OCCLUSION.**



L'occlusion s'enroule souvent autour du centre dépressionnaire (D) en formant un Vortex (Spirale).



# L'occlusion



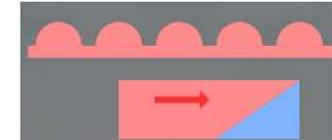
**Occlusion froide** : lorsque la partie frontale de l'air froid est plus froide que la partie en recul. La base du creux d'air chaud en altitude est derrière l'occlusion en surface.

**Occlusion chaude** : situation est inverse, le front froid monte le long de la surface frontale chaude. La base du creux d'air chaud en altitude précède le front de surface.

# Résumé des différents fronts

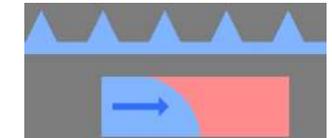
## Front Chaud:

- L'air est chaud et humide, léger: Il monte
- Plus il monte, plus il se refroidit et l'humidité se condense et se transforme en nuages. A saturation il pleut.
- L'air chaud en se déplaçant « plaque » l'air froid en place et passe au dessus.
- La situation est **stable**: Déplacement latéral / nuages de type **stratiforme**



## Front froid:

- L'air est sec, lourd: Il descend
- L'air froid en se déplaçant « rade » et pousse l'air chaud en place.
- La situation est **instable**: Déplacement horizontal / nuages de type **cumuliforme**



## Front stationnaire:

- Limite entre deux masses d'air qui sont quasiment immobiles.



## Front occlus:

- Lorsque le front froid rattrape le front chaud il y a occlusion.
- L'occlusion s'enroule souvent autour du centre dépressionnaire (D)
- L'air est pincé entre les deux fronts et soulevé en altitude
- La perturbation meurt progressivement



# Météorologie

- A. L'atmosphère
- B. Les masses d'air et les fronts
- C. Les nuages
- D. Les vents
- E. Les phénomènes dangereux pour les aéronefs
- F. L'information aéronautique

# Météorologie

## C Les nuages

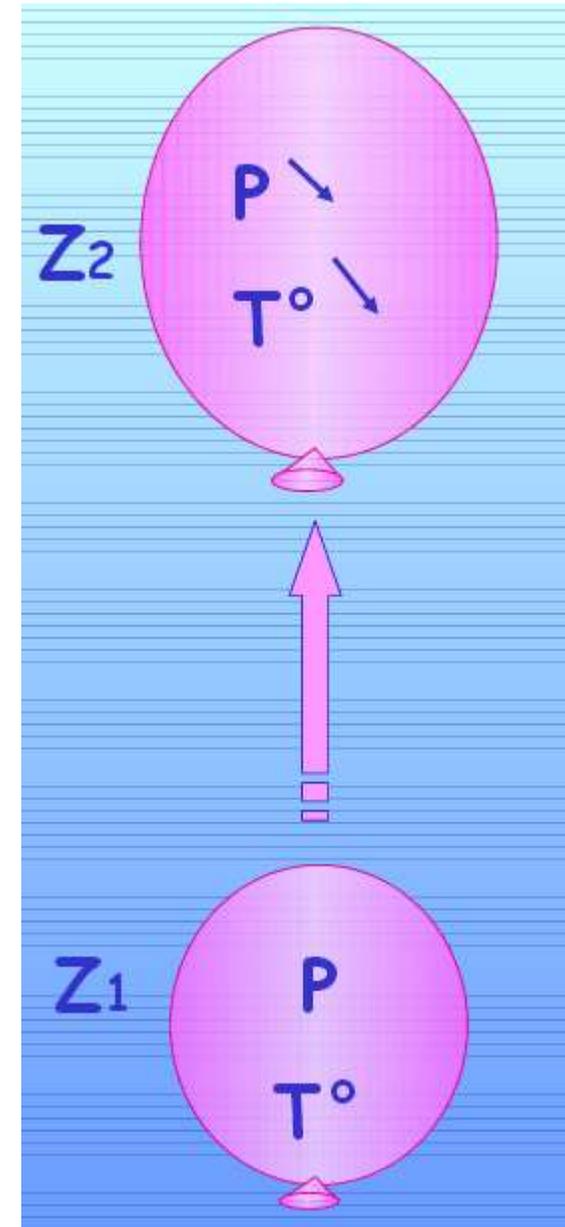
1. Retour sur la stabilité de l'air
2. Formation des nuages
3. Formation des brouillards et des brumes
4. Description et classification
5. Précipitations associées

# C – Les nuages

## 1 - Retour sur la stabilité de l'air

Evolution d'une « bulle » d'air **chaud et sec**

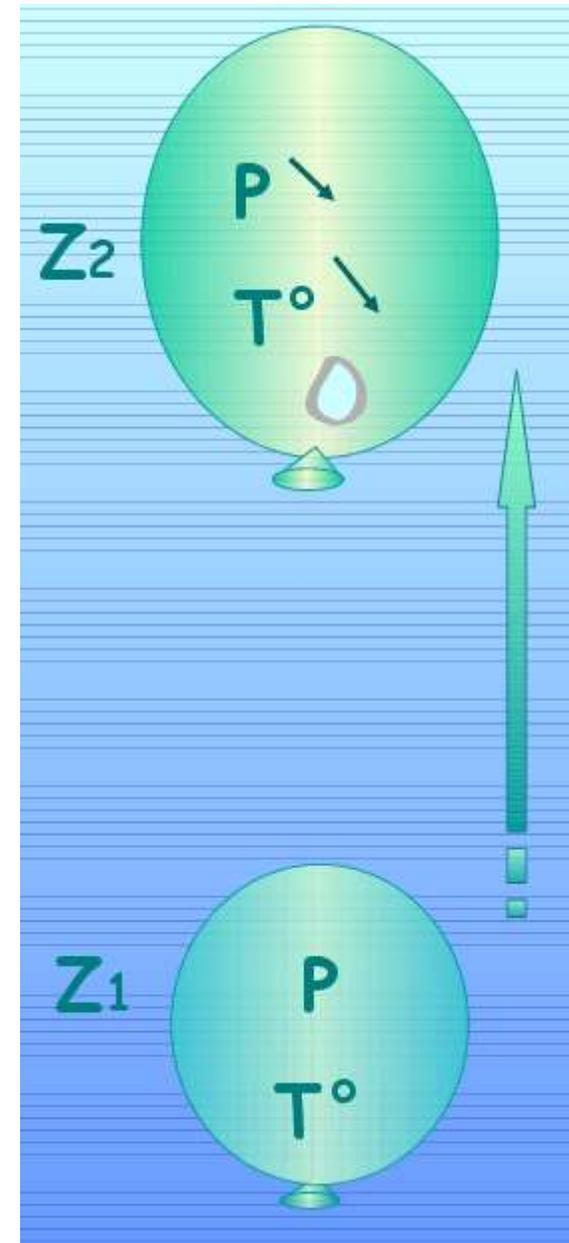
- La densité de l'air diminue avec la température : la bulle d'air chaude, moins dense, va avoir **tendance à monter**
- En montant, la bulle va rencontrer des pressions plus faibles : elle va avoir **tendance à se dilater**
- En se dilatant, la bulle va avoir **tendance à se refroidir** : env.  $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  ( $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ), soit **plus que la variation en atmosphère standard** ( $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )



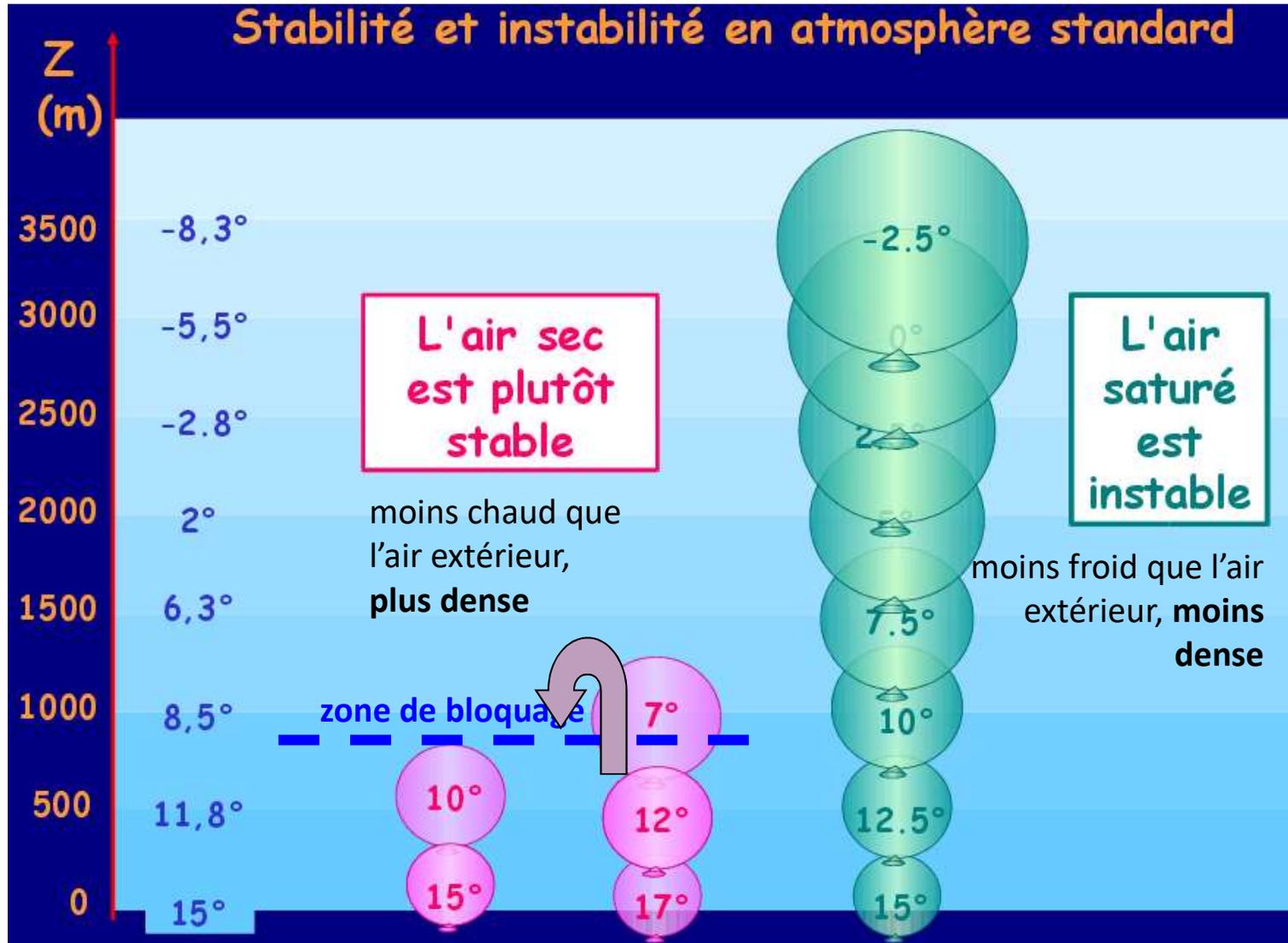
## Stabilité de l'air

Si l'air est **saturé en humidité**

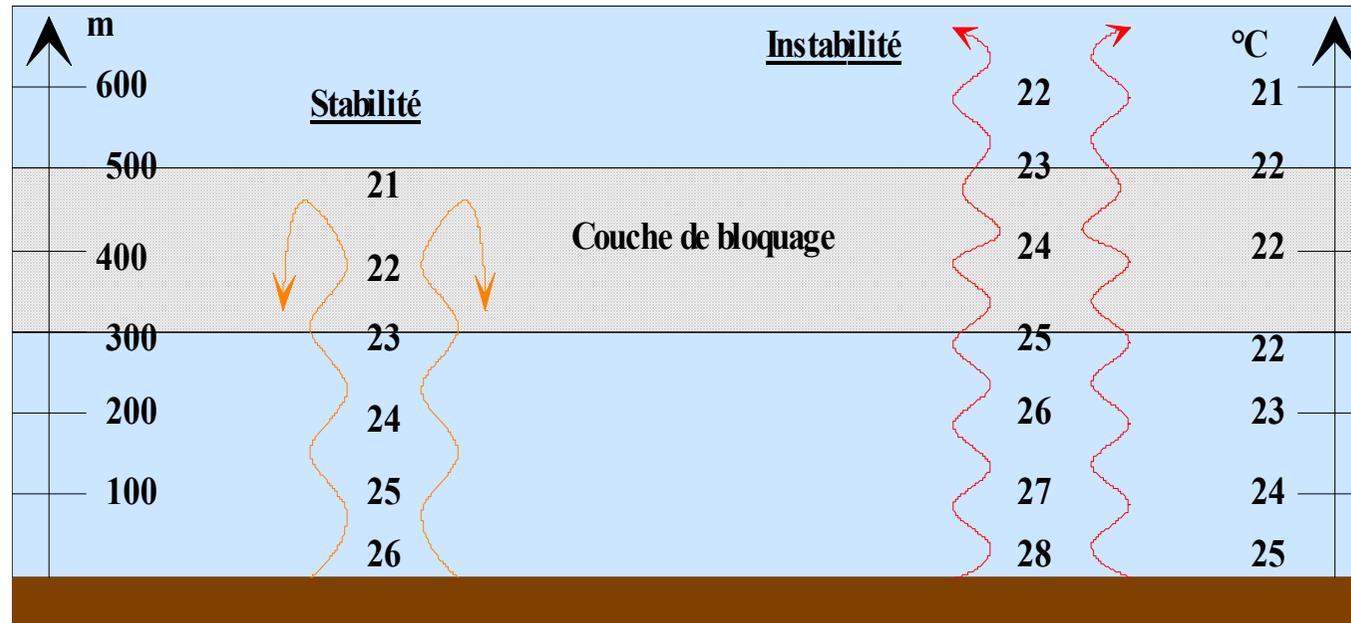
- Comme pour l'air sec, la bulle va avoir **tendance à se refroidir** en se dilatant (environ  $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )
- Si elle se refroidit, **une certaine quantité de vapeur d'eau va se condenser**
- La **condensation libère de la chaleur** et fait gagner **environ  $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$**
- Au total, la bulle va se refroidir seulement d'environ  $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$  ( $5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ), soit **moins que la variation en atmosphère standard** ( $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )



# Stabilité de l'air



# Stabilité de l'air



- Certaines couches d'atmosphère sont favorables à la stabilité :
  - **les couches isothermes** : ce sont des couches d'air dans lesquelles la température reste constante lorsque l'on monte. On est en présence d'une **isothermie**.
  - **Les couches d'inversion** : ce sont des couches d'air dans lesquelles la température augmente lorsque l'on monte. On est en présence d'une **inversion de température**.

# C - Les nuages

## 2 - Formation des nuages

- Un nuage c'est un ensemble visible de minuscules particules d'**eau liquide** et/ou de **cristaux de glace** en suspension dans l'atmosphère.
- Les nuages se forment par **condensation** d'une partie de la **vapeur d'eau** contenue au cours de son ascension.
- La condensation peut se faire sous forme de **petites gouttelettes d'eau** ou de **petits cristaux de glace**. La présence d'impuretés servant de noyaux de condensation facilite la formation des nuages.
- Son aspect est fonction de la nature, de la taille et de la répartition des particules qui le composent, ainsi que de la lumière qui l'éclaire.

# Les nuages

Il existe deux grands types de nuages.

## Cumuliforme



Forme isolée, aspect « choux fleur »  
Terminaison: cumulus

Gouttelettes moins nombreuses  
mais de diamètre important de 40  
microns en moyenne et 5g d'eau/m<sup>3</sup>

## Stratiforme



Forme soudée, étalée en couches  
superposées (strates)  
Terminaison: Stratus

Gouttelettes nombreuses mais de petit  
diamètre < à 10 microns et 0,5g  
d'eau/m<sup>3</sup>.



cumulus congestus *nuages bas*

strato-cumulus stratiforme *nuages bas*



strato-cumulus lenticulaire *nuages bas*

strato-cumulus stratiforme *nuages moyens*



cumulo-nimbus capillatus *nuages bas*

*nuages bas* stratus nebulosus





altocumulus stratiforme

*nuages moyens*

*nuages hauts*



cirrus uncinus (*crocheté*)



*nuages hauts*

cirrus spissatus



virga tombant d'un altocumulus flocus

nuage orographique



fumulus, au dessus centrale nucléaire

## C - Les nuages

### 3 - Formation des brouillards et des brumes

Le **brouillard** est une suspension de fines gouttelettes d'eau réduisant la visibilité à moins d'1 Km.

La **brume**, moins intense, laisse une visibilité réduite à moins de 5km, mais supérieure à 1 Km.

**Les conditions favorables à la formation de brouillard sont :**

- pression élevée
- température en rapide diminution le soir
- forte humidité
- pas ou peu de vent

# Formation des brouillards

## Le brouillard de radiation

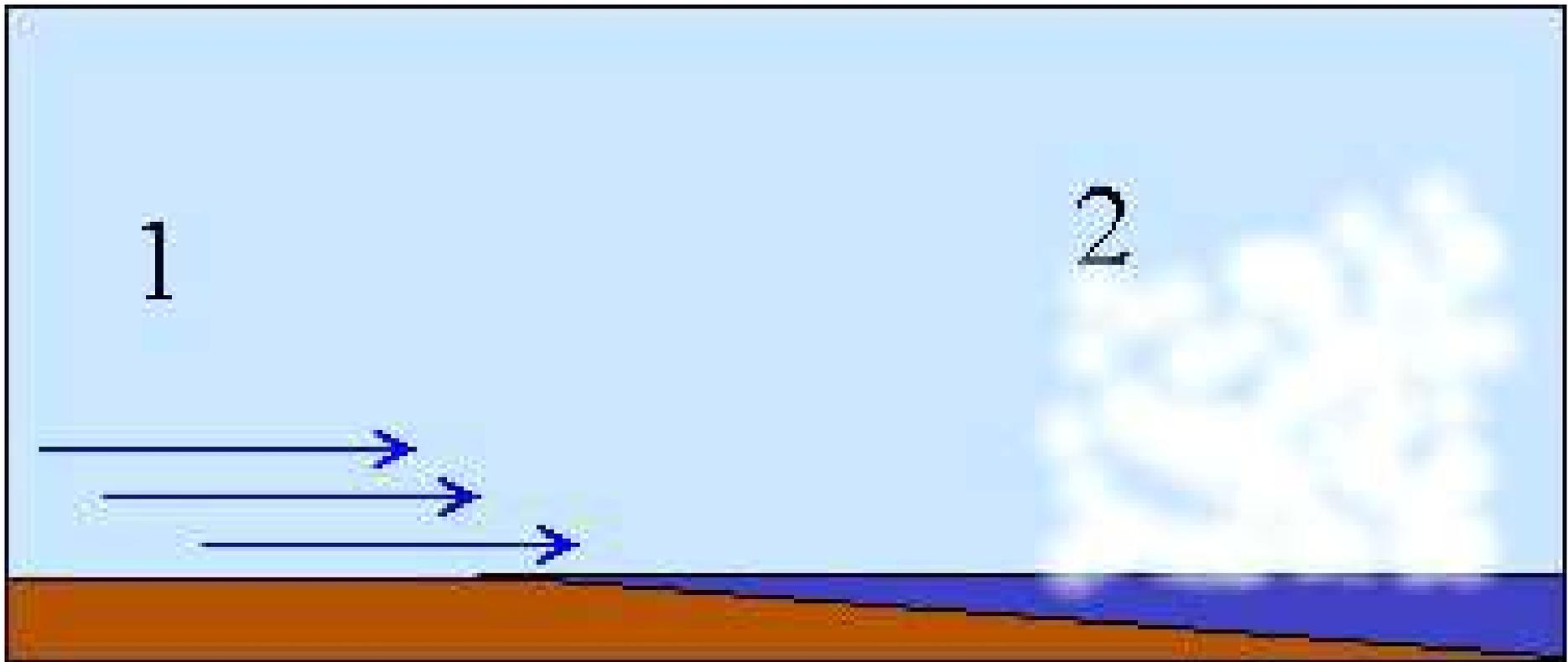
- apparaît la nuit lorsque l'air est très humide, qu'il n'y a pas de vent et que la température chute rapidement.
- En se dissipant, il peut donner naissance à des stratus.



# Formation des brouillards

## Le brouillard d'évaporation

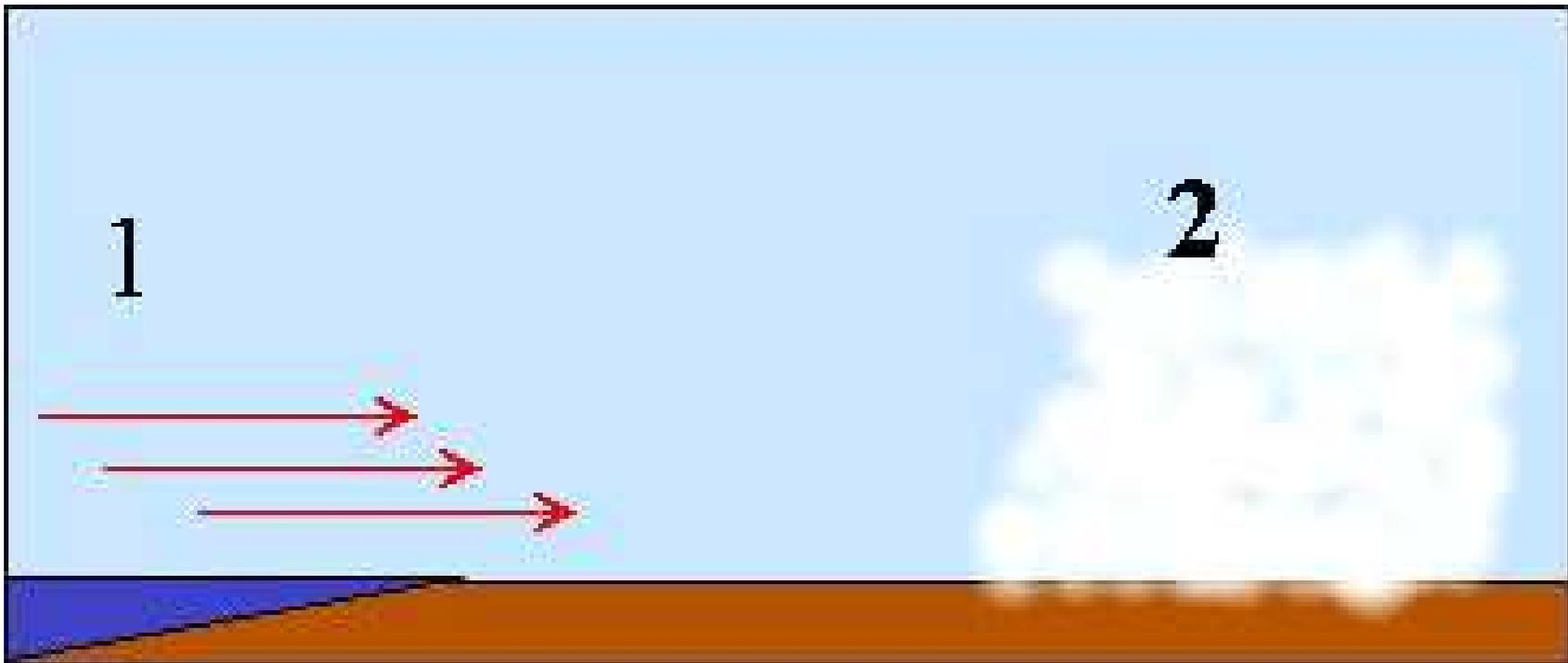
- se forme sur les grandes étendues d'eau avec un vent faible mais froid soufflant depuis la terre vers la mer.



## Formation des brouillards

### **Le brouillard d'advection ou de transport**

- se forme lorsqu'une masse d'air chaud et humide est poussée par un vent faible sur un sol plus froid.
- Ce type de brouillard apparaît suite à des entrées maritimes en hiver ou au printemps.



## Formation des brumes

- La **brume** peut se former en pleine journée s'il fait très chaud et très humide. De l'eau se condense en faible quantité sur de grandes étendues et donne une impression de voile.
- La **visibilité est alors réduite**, parfois de façon importante. Bien qu'il fasse beau depuis le sol, les conditions en vol ne sont pas très favorables en basse altitude.
- Il existe une **brume sèche**, avec des poussières en suspension.



Brume

Brouillard

- Brume et pollution au dessus de Grenoble, et couche de stratocumulus



- Brume de chaleur, côte du Sénégal



## C - Les nuages

### 4 - Description et classification. Répartition verticale

- Nous nous limiterons aux principes de base qui divisent les nuages en 10 genres se répartissant selon leur aspect général et leur altitude.
- **La troposphère est divisée en trois étages :**
  - **inférieur** : du sol à 2000 m
  - **moyen** : de 2000 à 6000 m
  - **supérieur** : au dessus de 6000 m

## Description et classification

L'aspect des nuages dépend de **trois critères** essentiellement :

- **l'éclairage du soleil**
- la **stabilité de l'atmosphère** (développement vertical plus ou moins important)
- la **nature de ses constituants** (gouttelettes d'eau ou cristaux de glace) et leur densité.

Cela dépend du type de la masse d'air dans laquelle ils se forment et de l'altitude à laquelle ils se forment.

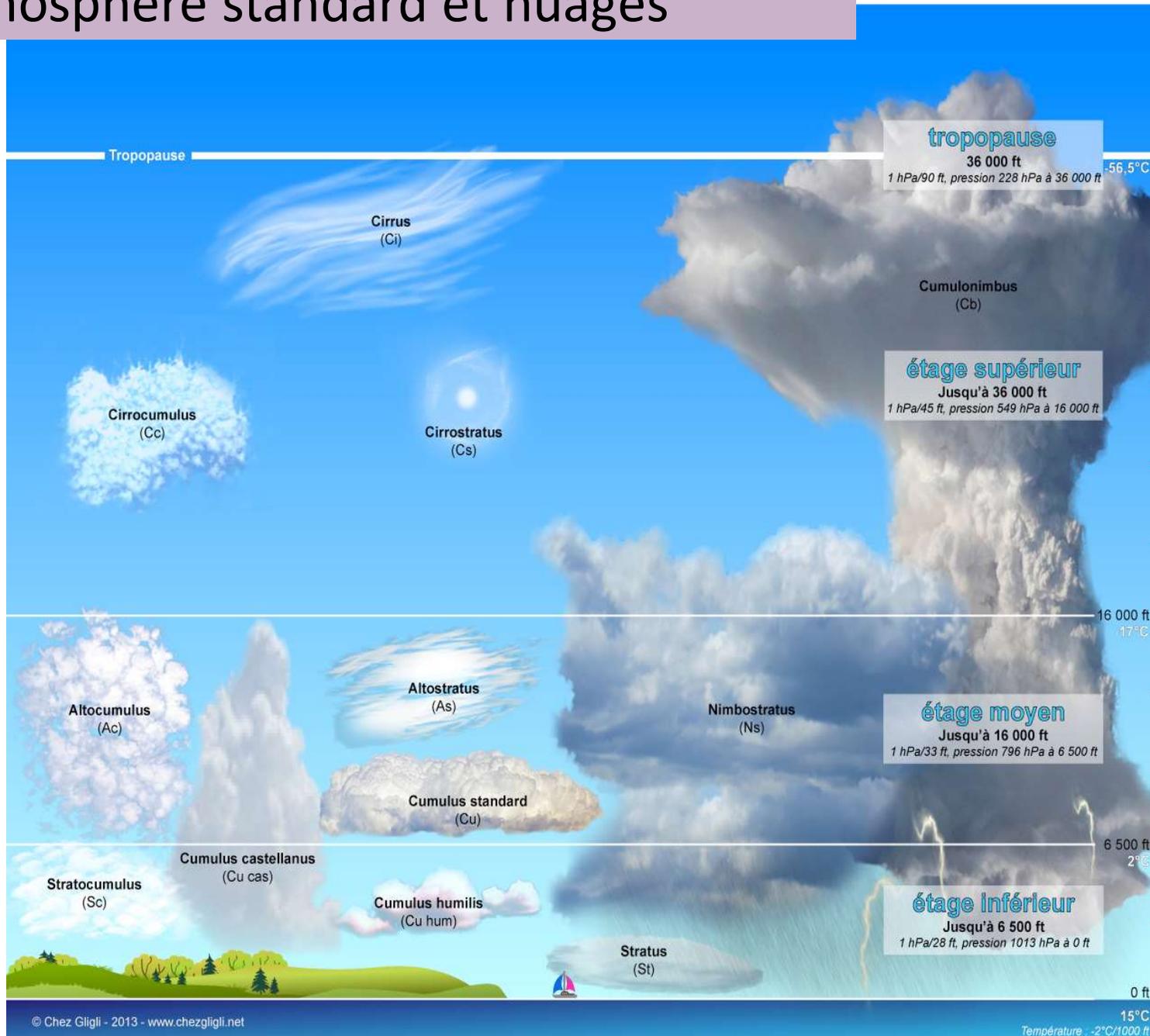
## Description et classification. Répartition verticale

- ✓ Les nuages de **l'étage supérieur** sont constitués de **cristaux de glace**.
- ✓ Les nuages de **l'étage moyen** sont en général constitués de **gouttelettes d'eau**. Toutefois on peut y trouver **des cristaux de glace** si la température est très basse.
- ✓ Les nuages de **l'étage inférieur** sont constitués de **gouttelettes d'eau**.

## Description et classification

<b>Nuages hauts</b> <b>(base &gt; 6000 m)</b>	<b>0. Cirrus (Ci)</b> <b>1. Cirrocumulus (Cc)</b> <b>2. Cirrostratus (Cs)</b>	<b>9</b> <b>6</b> <b>4</b>
<b>Nuages moyens</b> <b>(6000 m &gt; base &gt; 2000 m)</b>	<b>3. Altocumulus (Ac)</b> <b>4. Altostratus (As)</b> <b>5. Nimbo-Stratus (Ns)</b>	<b>7</b> <b>2</b> <b>0</b>
<b>Nuages bas</b> <b>(base &lt; 2000 m)</b>	<b>6. Strato-cumulus (Sc)</b> <b>7. Stratus (St)</b> <b>8. Cumulus (Cu)</b> <b>9. Cumulo-nimbus (Cb)</b>	<b>11</b> <b>5</b> <b>5</b> <b>2</b>

# Atmosphère standard et nuages



## Description et classification

L'importance de la couverture nuageuse s'évalue en **octas** (1 octa veut dire 1/8<sup>ème</sup> du ciel masqué par les nuages).

- pour une couverture de **1 à 4 octas** on qualifie la couverture de **scattered** (épars en anglais) (SCT)
- pour une couverture de **5 à 7 octas** le ciel est dit **broken** (présence de “trous” de ciel bleu) (BKN)
- pour une couverture de **8 octas**, le ciel est qualifié de **overcast** (couvert) (OVC).

## Description des nuages

### Cumulus (humilis) (étage bas C<sub>L</sub>1)

- Nuage blanc, pommelé, à base plate et aux contours bien délimités
- Gouttelettes d'eau
- Pas de précipitation



## Description des nuages

### **Cumulus:** (congestus) (étage bas C<sub>L2</sub>)

- Cumulus à grand développement vertical (base sombre)
- Constitués d'eau et éventuellement de glace
- Pluie ou neige en averse



## Description des nuages

### Cumulonimbus (étage bas, Cb)

- Nuage dense à très grand développement vertical, base large et très sombre
- Constitués d'eau et de glace
- Averses de pluie ou de neige et orages



Ce nuage géant et menaçant, large de 5 à 15 km, peut s'élever jusqu'à 15 km d'altitude. Un cumulonimbus de 1 km de large sur 10 km de hauteur contient 1 million de litres d'eau. À son sommet, le cumulonimbus se heurte à la stratosphère et s'étale largement. Les mouvements verticaux de l'air dans le cumulonimbus sont très violents : avec des vents pouvant dépasser 130 km/h. Chaque seconde, un gros cumulonimbus peut aspirer 700 000 tonnes d'air et absorber ainsi 8 800 tonnes de vapeur d'eau. Ce nuage peut renvoyer à la surface terrestre 4 000 tonnes d'eau, sous forme d'eau liquide, de neige ou de grêle.

# Description des nuages

## Nimbostratus (étage moyen)

- Couche grise et sombre de grande étendue et grande épaisseur.
- Constitué d'eau, de glace ou de neige
- Pluie ou neige continue



# Description des nuages

## Stratus (étage bas)

- Couche grise, dense et très basse (brouillard possible)
- Gouttelettes d'eau (parfois glace)
- Bruine possible



# Description des nuages

## Stratocumulus (étage bas)

- Banc, nappe ou couche composée d'éléments soudés ou non
- Constitués de gouttelettes d'eau
- Pluie ou neige faible



# Description des nuages

## Altostratus (étage moyen)

- Nappe ou couche grisâtre, couvrant partiellement ou totalement le ciel
- Constitués d'eau de glace ou de neige
- Pluie ou neige possible



## Description des nuages

### **Alto cumulus** (stratiformis C<sub>M</sub>5) (étage moyen)

- Banc, nappe ou couche de nuages blanc ou gris moutonneux
- Constitués de gouttelettes d'eau (parfois glace)
- Pas de précipitation

**Alto cumulus** lenticulaire, au dessus de l'Annapurna Sud (7219 m)



# Description des nuages

## Cirrus (étage haut)

- Nuages élevés en forme de filaments
- Cristaux de glace
- Pas de précipitations



# Description des nuages

## Cirrostratus (étage haut)

- Voile élevé transparent et blanchâtre
- Cristaux de glace (phénomène de halo)
- Pas de précipitations



# Description des nuages

## Cirrocumulus (étage haut)

- Nuages élevés, en banc, nappe ou couche mince d'aspect moutonné
- Cristaux de glace
- Pas de précipitations



- Quelques nuages vus d'avion léger - On-top sur la Méditerranée



- Quelques nuages vus d'avion léger - orage dans le sud marocain



- Quelques nuages vus d'avion léger - orage dans le sud marocain





- Quelques nuages vus d'avion léger - temps OVC, sud Espagne



- OVC, sud Espagne - Le plafond s'abaisse...



## C - Les nuages

### 5 - Précipitations associées aux nuages

- Tous les nuages ne donnent pas de **pluie**. Seuls quelques uns en produisent (les stratus, les nimbostratus, les cumulus et les cumulonimbus essentiellement).
- Lorsque des courants ascendants apportent de la vapeur d'eau au cœur de ces nuages déjà saturés, les gouttelettes d'eau ou les cristaux de glace se soudent pour donner naissance à de la **grêle** ou de la **neige** trop gros pour être maintenue dans le nuage par les courants ascendants.

## Précipitations associées aux nuages

- **Pendant qu'il produit de la pluie ou de la neige le nuage ne se vide pas (sauf les cumulonimbus).** C'est l'apport continu de vapeur par des courants ascendants alimentant le nuage qui engendre les précipitations.
- Selon les nuages et les périodes de l'année, les précipitations peuvent être de différentes natures :
  - bruine (**stratus**)
  - pluie ou neige continue (**nimbostratus**)
  - averses de pluie ou de neige (**gros cumulus et cumulonimbus**)

# Météorologie

- L'atmosphère
- Les masses d'air et les fronts
- Les nuages
- Les vents
- Les phénomènes dangereux pour les aéronefs
- L'information aéronautique

# Météorologie

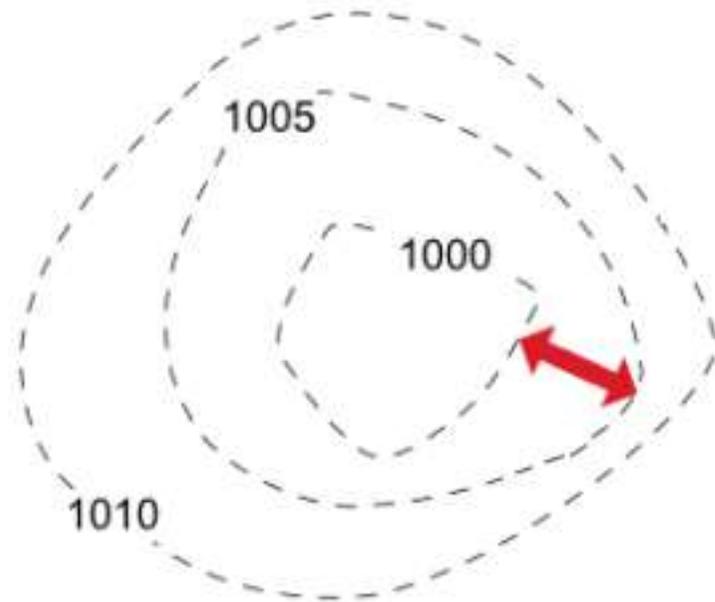
## D Les vents

1. Origine du vent et organisation globale
2. Les grands systèmes de vent
3. Vents locaux
4. Information aéronautique sur le vent

# D – Les vents

## 1 – Origine du vent et organisation globale

- Le vent est un déplacement d'air horizontal dû à des différences de pression entre les points de la surface de la terre.
- Le vent résulte de l'action de trois types de forces sur l'air en mouvement.



L'écart entre deux lignes s'appelle:  
**Gradient de pression**

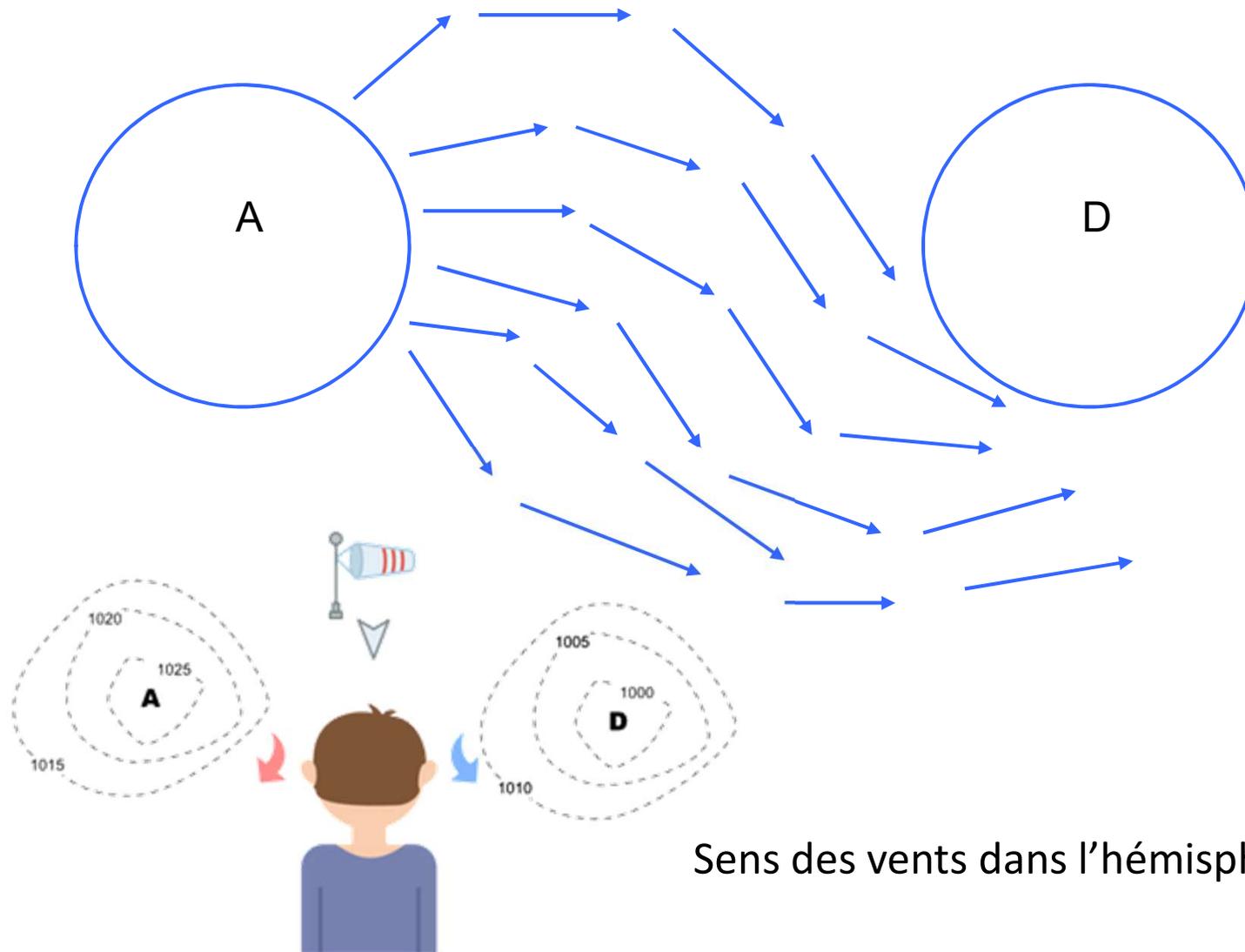
## Origine du vent

- **La force de gradient de pression**
  - Elle est due à la différence de pression entre les points de la surface de la terre.
  - Elle entraîne l'air des hautes pressions vers les basses pressions.
  - Plus les différences de pression sont importantes et plus cette force est importante.
- En pratique lorsque l'on observe les isobares d'une carte météo, plus elles sont rapprochées et plus le vent est fort.

- Les différences de pressions finissent par ramener le vent vers la dépression

# Origine du vent

Les différences de pressions finissent par ramener le vent vers la dépression :

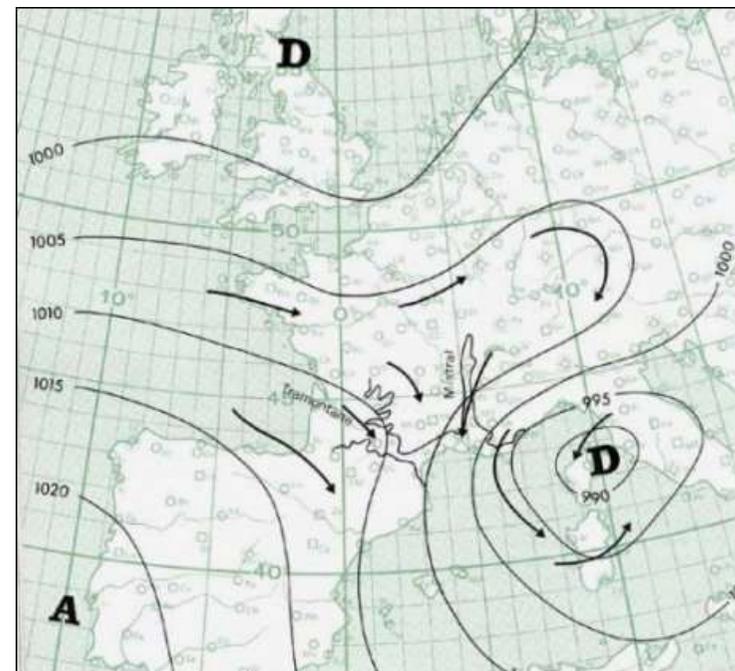
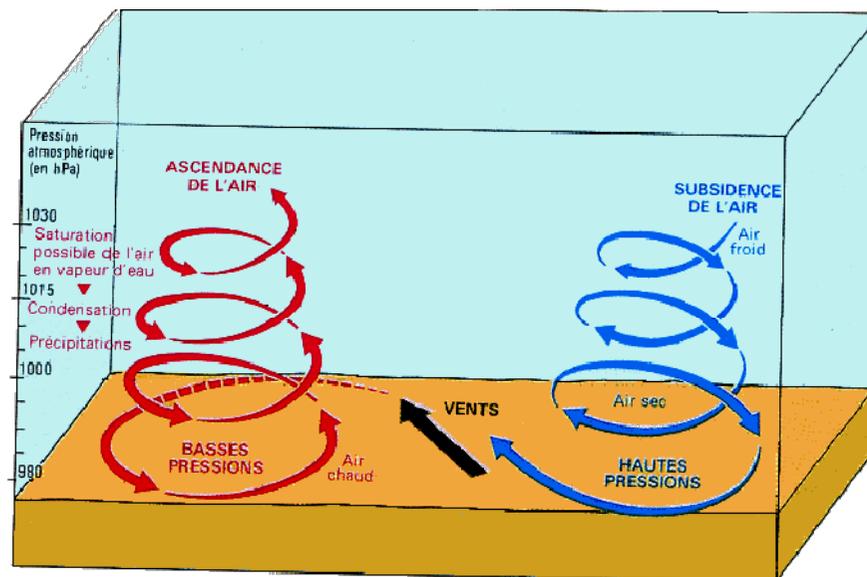


loi de Buys-Ballot

# Origine du vent

Dans l'hémisphère Nord :

- Le vent tourne autour des **anticyclone dans le sens** des aiguilles d'une montre
- Le vent tourne autour des **dépressions dans le sens inverse** des aiguilles d'une montre



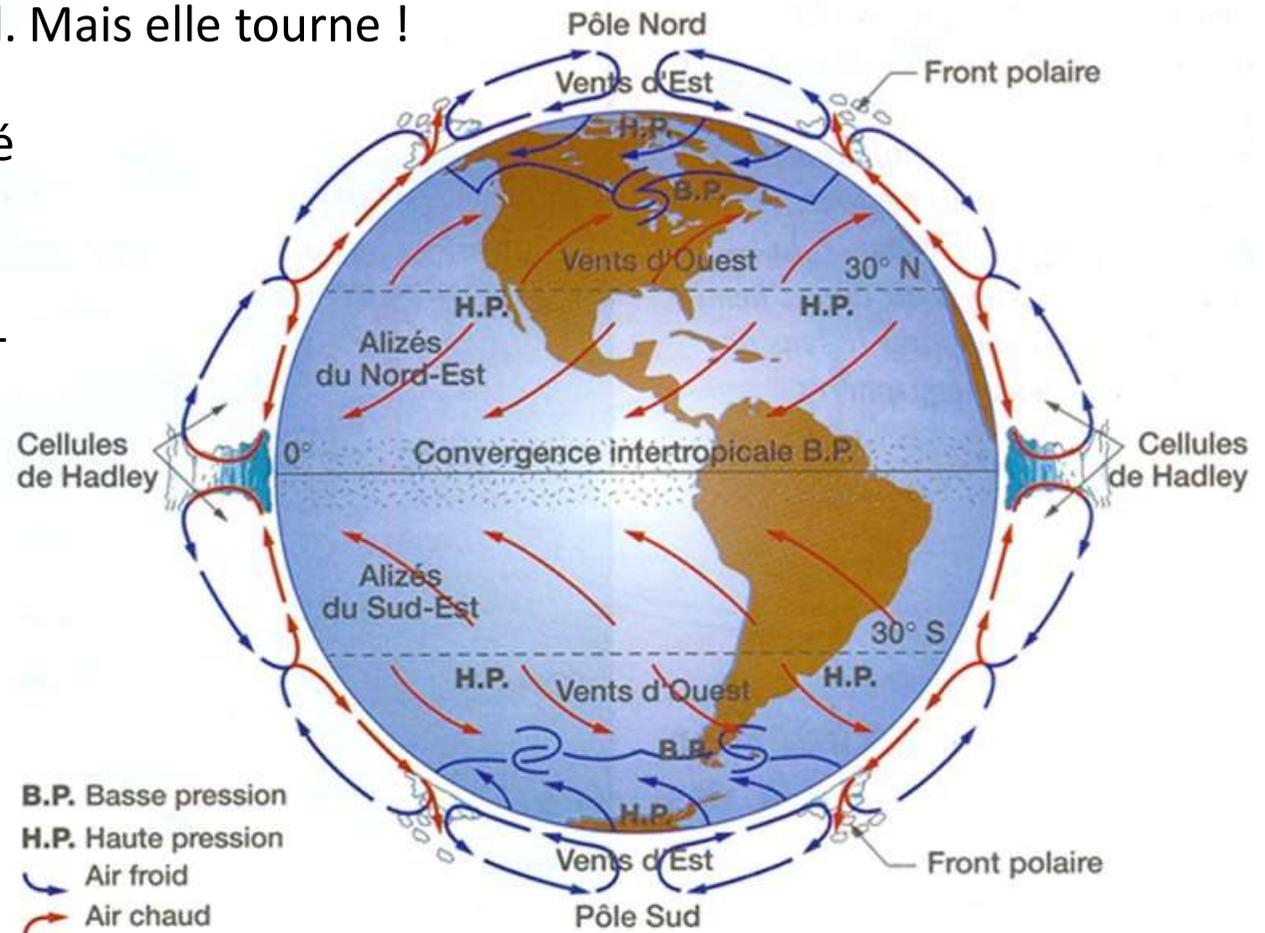
# D – Les vents

## 2 Les grands systèmes de vent

Si la Terre ne tournait pas, tous les vents seraient orientés Nord-Sud. Mais elle tourne !

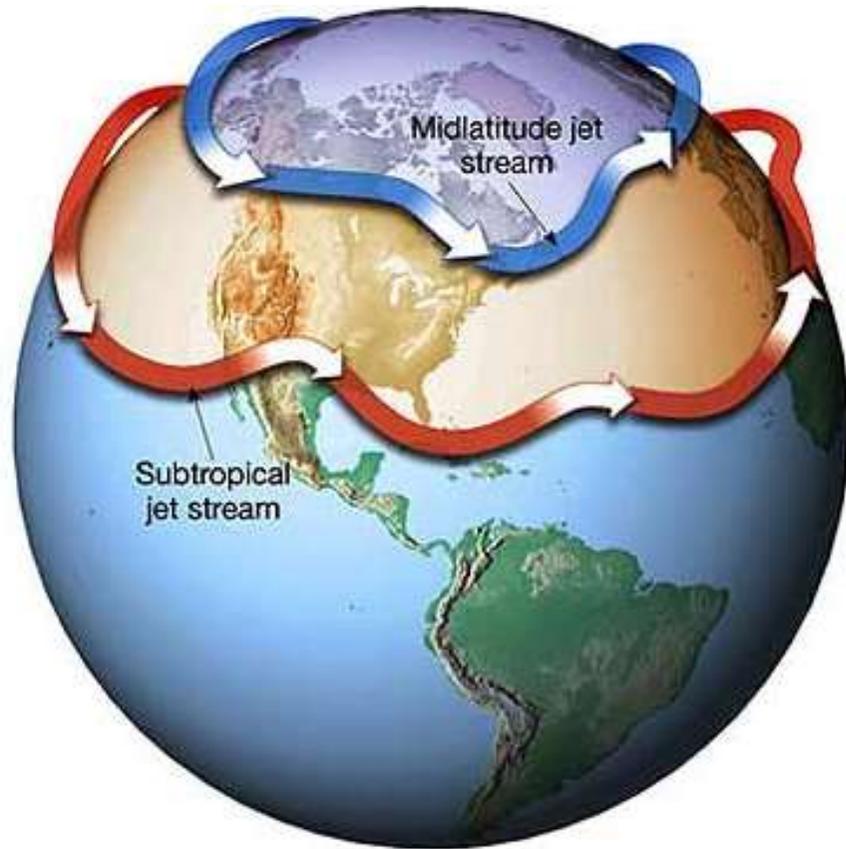
De ce fait, le vent engendré par les grandes zones de BP et de HP est dévié SW-NE (hémisphère N) ou NW-SE (hémisphère S)

Une zone de vent très utilisée par les navigateurs : **la zone des alizés**, qui soufflent d'Est en Ouest

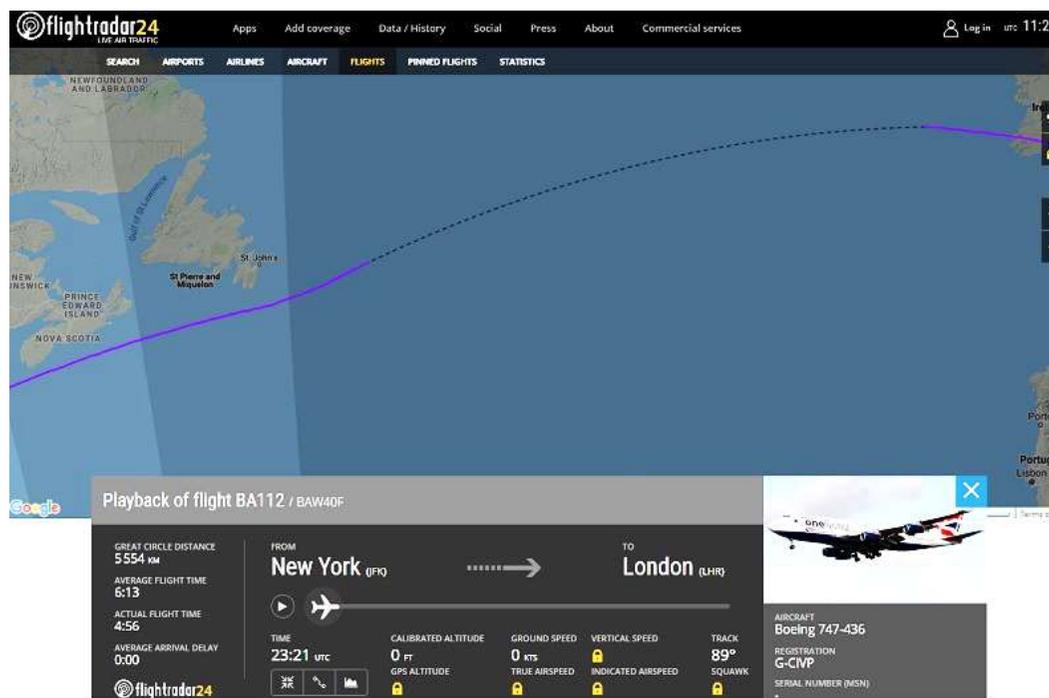


## Les grands systèmes de vent

- Il existe également un **vent d'altitude** très important : **le jet stream**.
- Ce vent souffle **d'ouest en est** sur une bande de quelques centaines de kilomètres de largeur et à une altitude d'environ 10 000 m.
- Sa vitesse atteint fréquemment 200 à 300 km/h.
- Il est utilisé par les pilotes commerciaux : il permet de raccourcir la durée des vols allant de l'Ouest vers l'Est (1h d'écart pour un vol Paris New-York en A380)



10 février 2020



# Trajet New York - Londres : un B747 bat le record de vitesse grâce à Ciara

Un B747 de la compagnie British Airways a battu un record de vitesse entre New York et Londres. Boosté par la tempête Ciara, l'appareil a mis le week-end dernier 4h56 minutes pour effectuer le trajet.

(vitesse sol max : environ 1350 km/h)

Le même jour, deux A350 de Virgin Atlantic en 4h57 mn et 4h59 min

Précédent record : B787 en 5h 13mn

# D – Les vents

## 3 Les vents locaux

L'organisation du vent à échelle globale est bien réglée. Mais à échelle régionale ou locale, cette organisation simple peut être très perturbée : **passage des océans aux continents , présence de reliefs sur les continents**

Il y a donc beaucoup de vents locaux

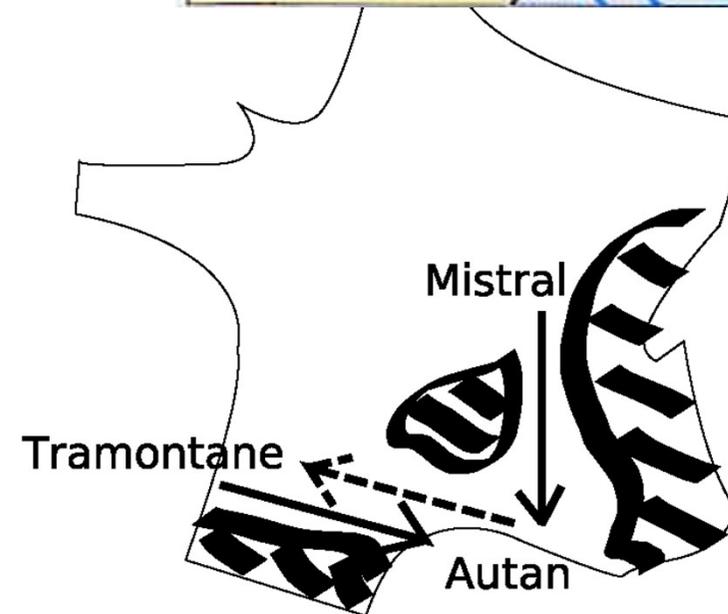
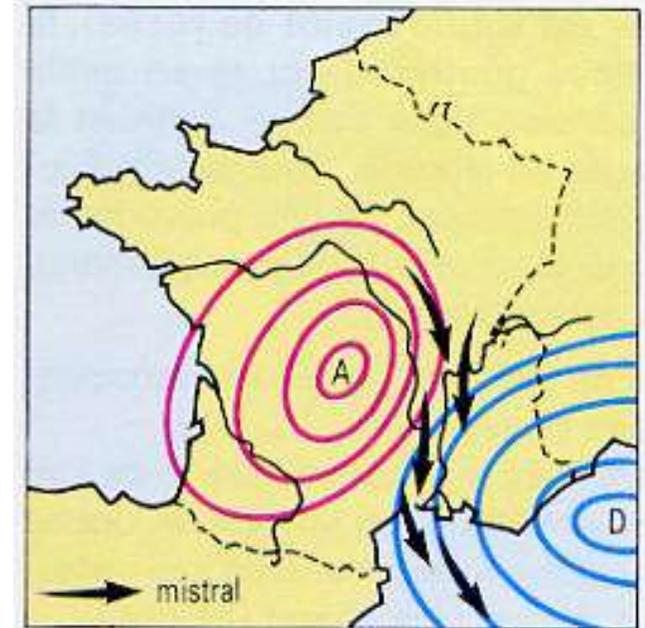
- **brises de mer, de terre**
- **brises de vallée**
- **mistral**
- **tramontane**
- lombarde (Alpes du Sud)
- vent d'autan, ponant (Méditerranée)
- nordet, suroît (Bretagne)
- etc....

## Les vents locaux : vents de vallée à grande échelle

En France, il existe deux cas de vents forts canalisés par le relief sur de grandes distances :

- dans la vallée du Rhône : **le mistral (N vers S)**
- entre les Pyrénées et le Massif Central, le vent est canalisé de Toulouse à Carcassonne. On l'appelle la **tramontane (W vers E)**.

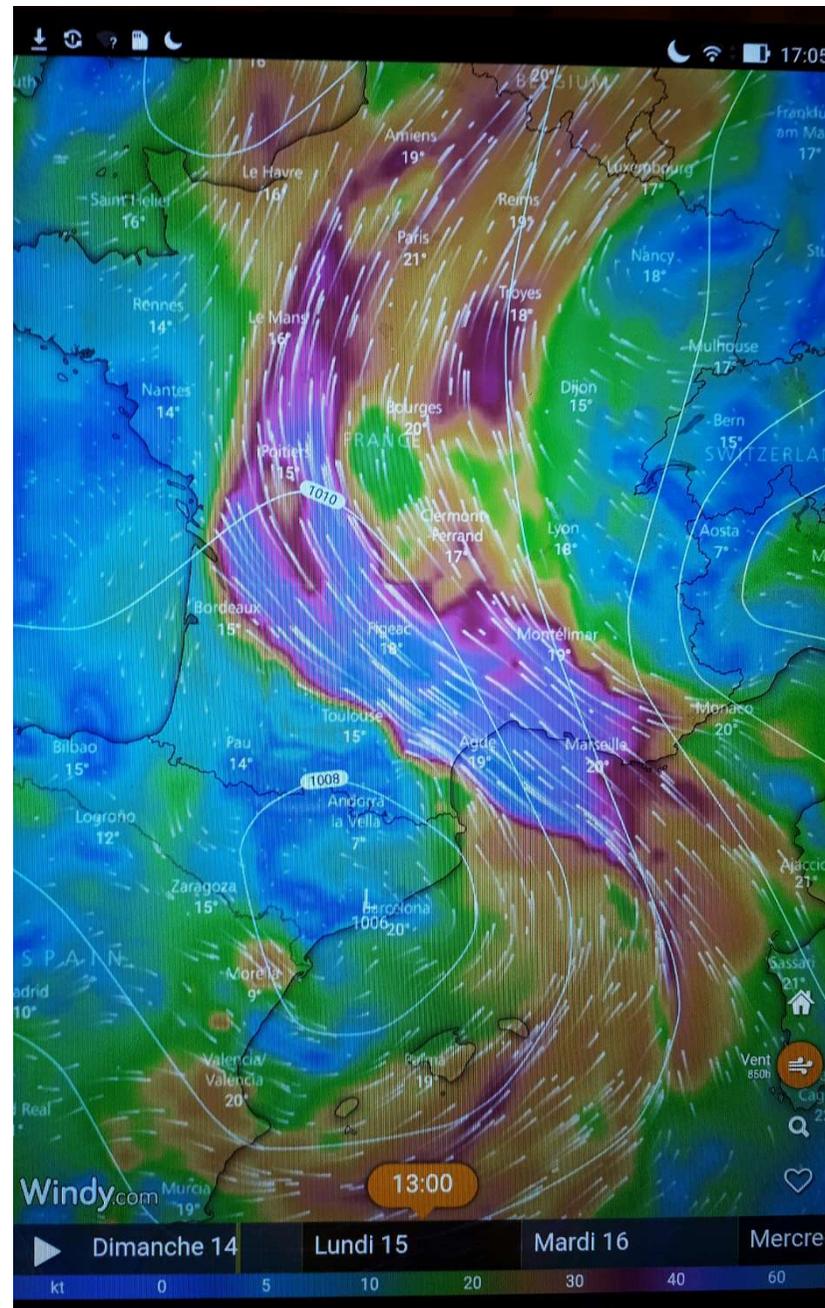
Il arrive que le vent vienne de la Méditerranée et s'engouffre alors d'est en ouest de Carcassonne à Toulouse. On l'appelle alors le **vent d'Autan. (E vers W)**



## Les vents locaux : vents de vallée à grande échelle

Tempête sur le Sud de la France (octobre 2018): vent d'Autan > 60 kts au sol.  
Un front impossible à traverser en avion léger !

(carte provenant du logiciel de météo aéronautique Windy)



Tempête sur le Sud de la  
France (octobre 2018): au  
Sud du front



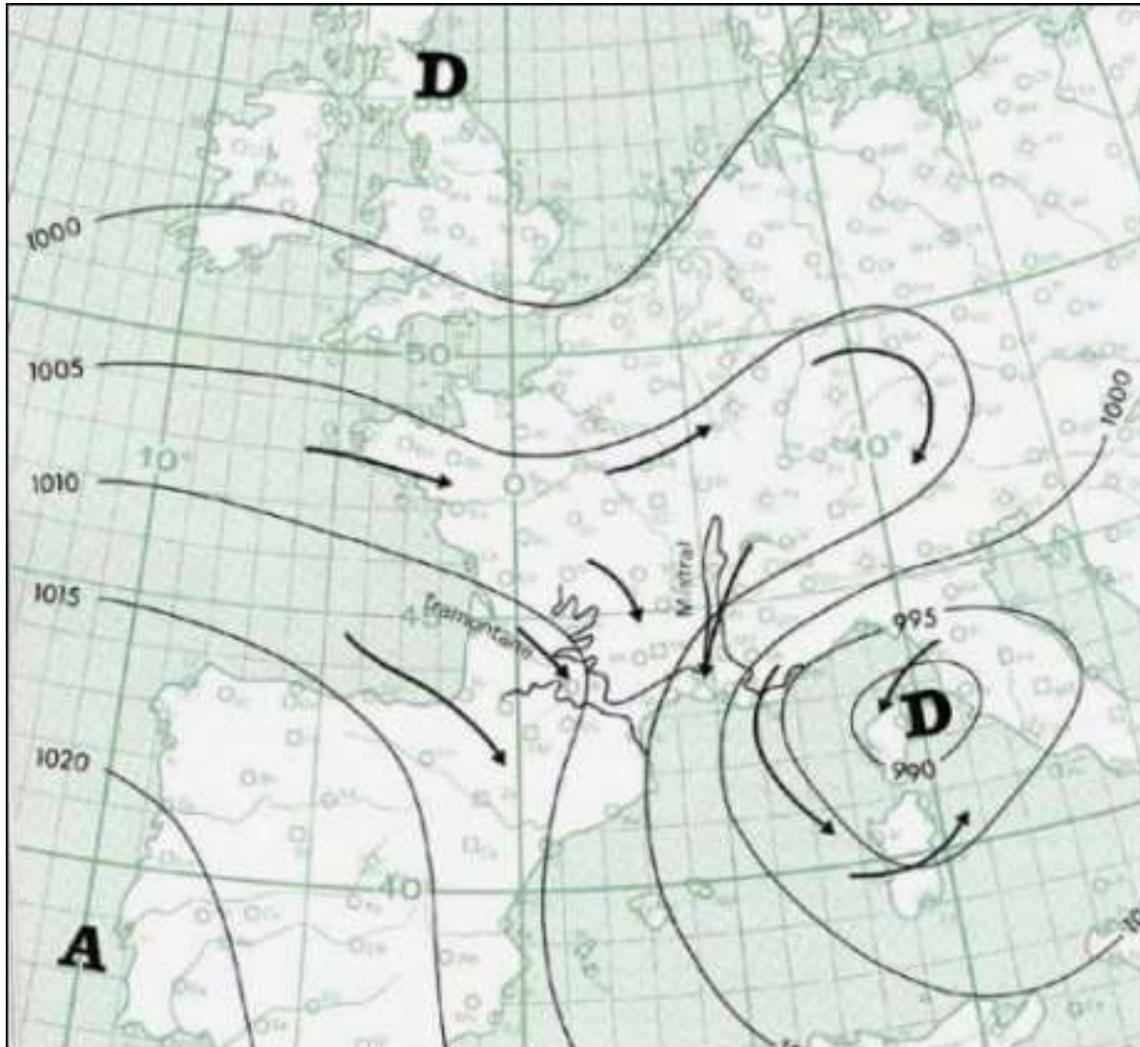
Tempête sur le Sud de la France: il faut se dérouter,  
stop à Perpignan, avec une météo très dégradée !



## Les vents locaux : vents de vallée à grande échelle

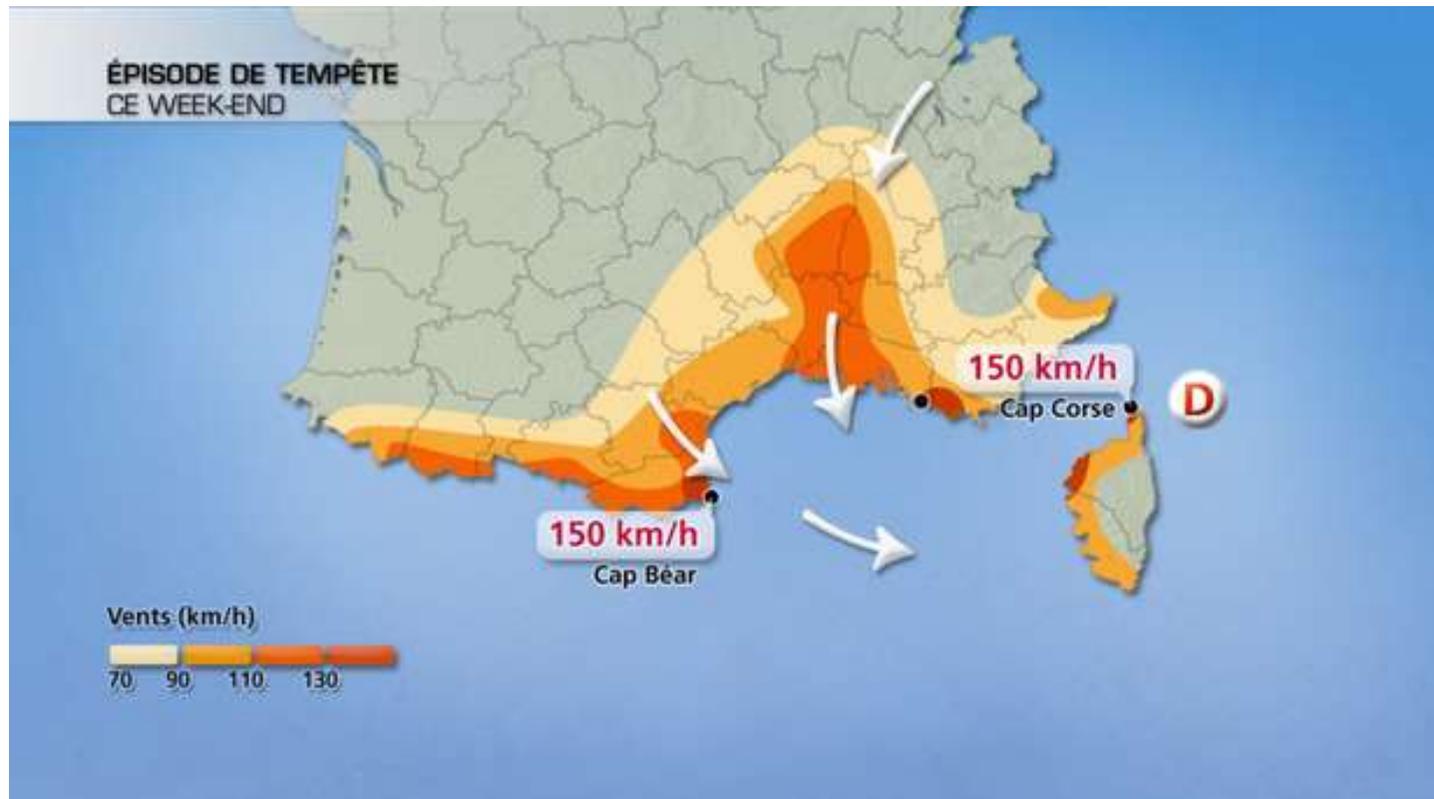
Mistral et tramontane :

l'effet conjugué de  
**l'anticyclone des Acores**, de la  
**dépression d'Islande**,  
et d'une **dépression sur le golfe de Gênes**



## Les vents locaux : vents de vallée à grande échelle

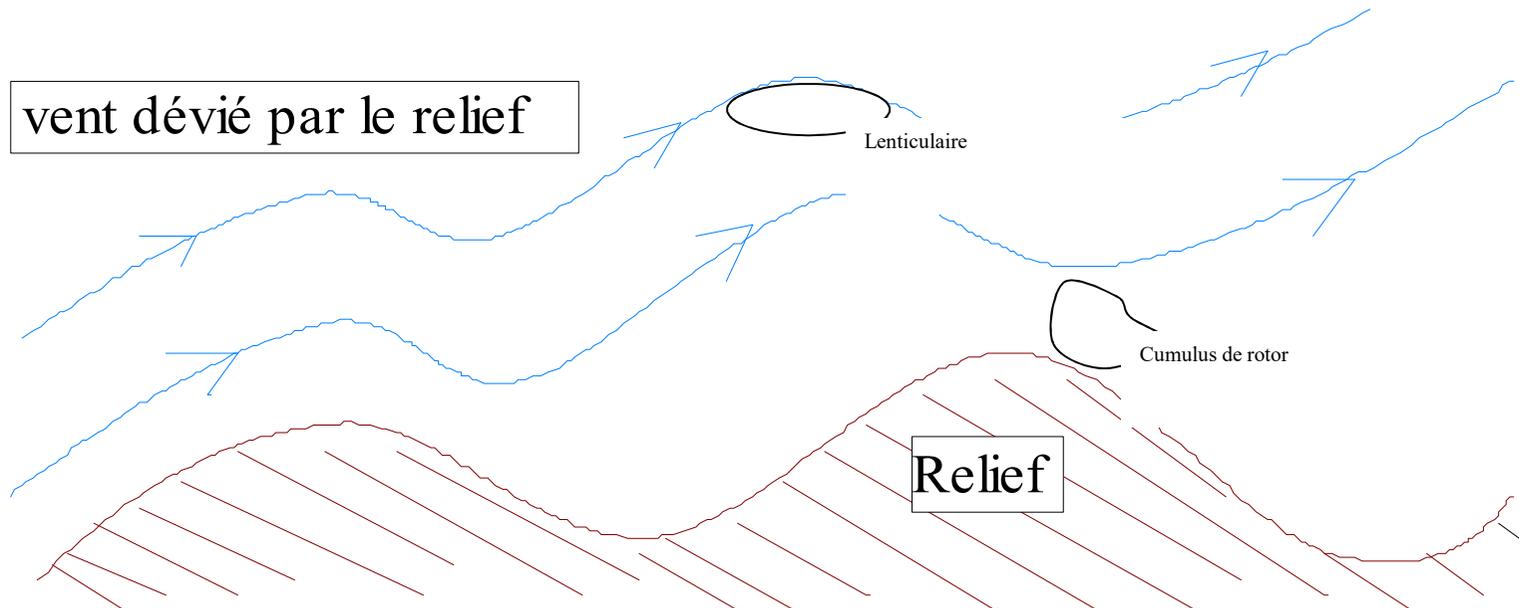
Un avis de tempête sur le Sud de la France : mistral et tramontane vont souffler avec des rafales de vent atteignant 150 km/h. Sur le versant Est des Alpes, se méfier des "retours d'Est" !



## Les vents locaux : vents liés au relief

### L'onde:

- Lorsque le vent aborde un relief perpendiculairement à son flanc, il est dévié vers le haut par celui-ci.
- Si plusieurs reliefs alignés dans la même direction (perpendiculaire au vent) sont régulièrement espacés, le vent "rebondit" sur les reliefs successifs en donnant des ascendances pouvant monter très haut.



## L'onde orographique

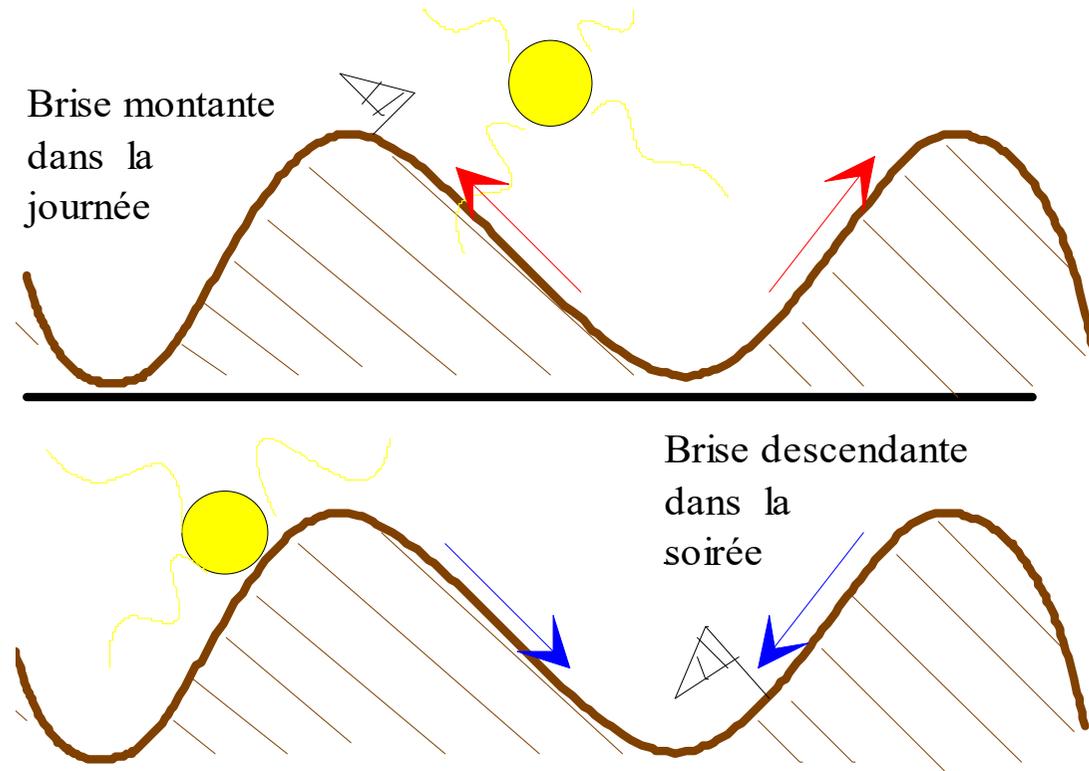
- L'onde se repère facilement lorsque des **nuages lenticulaires** se forment au sommet des ressauts et des **cumulus de rotor** sur le relief.
- Ces derniers sont perpétuellement en train de se former dans leur partie au vent et de se désagréger dans leur partie sous le vent.



## Les vents locaux : vents liés au relief

- **Les brises de pente:**
- Les faces ensoleillées des reliefs chauffent. L'air de ces pentes s'élève: une brise montante s'installe.

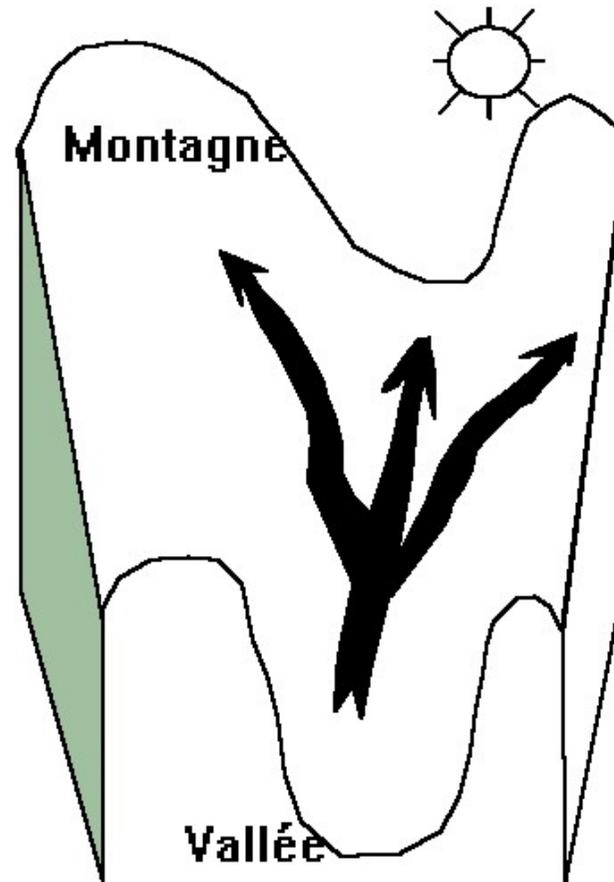
- Lorsque le soleil disparaît, l'air en altitude refroidit. Il descend alors les pentes en une brise descendante.



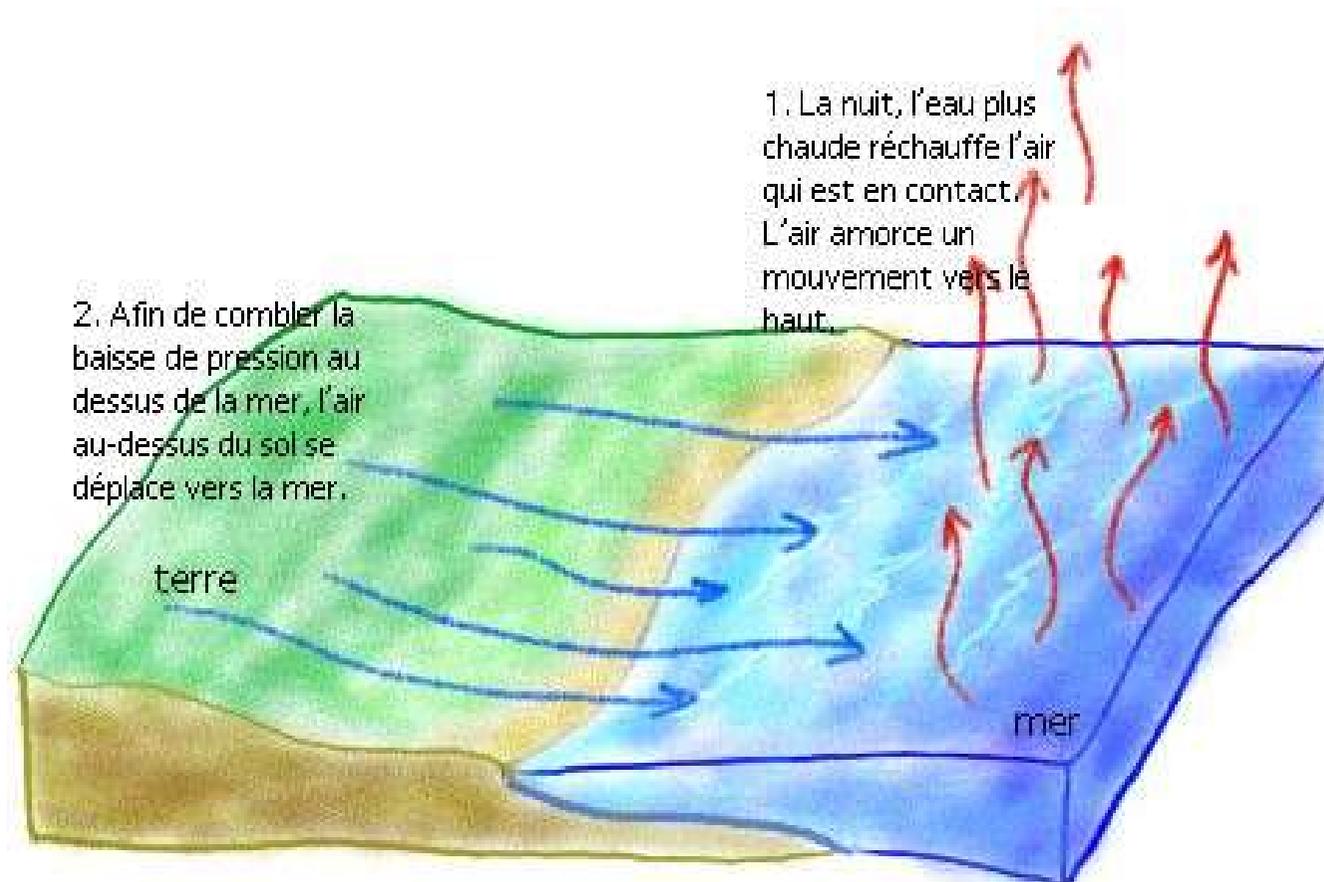
## Les vents locaux : vents liés au relief

On appelle brise un vent d'origine thermique

Brise de vallée ascendante de jour



## Les vents locaux : vents liés au passage mer/terre

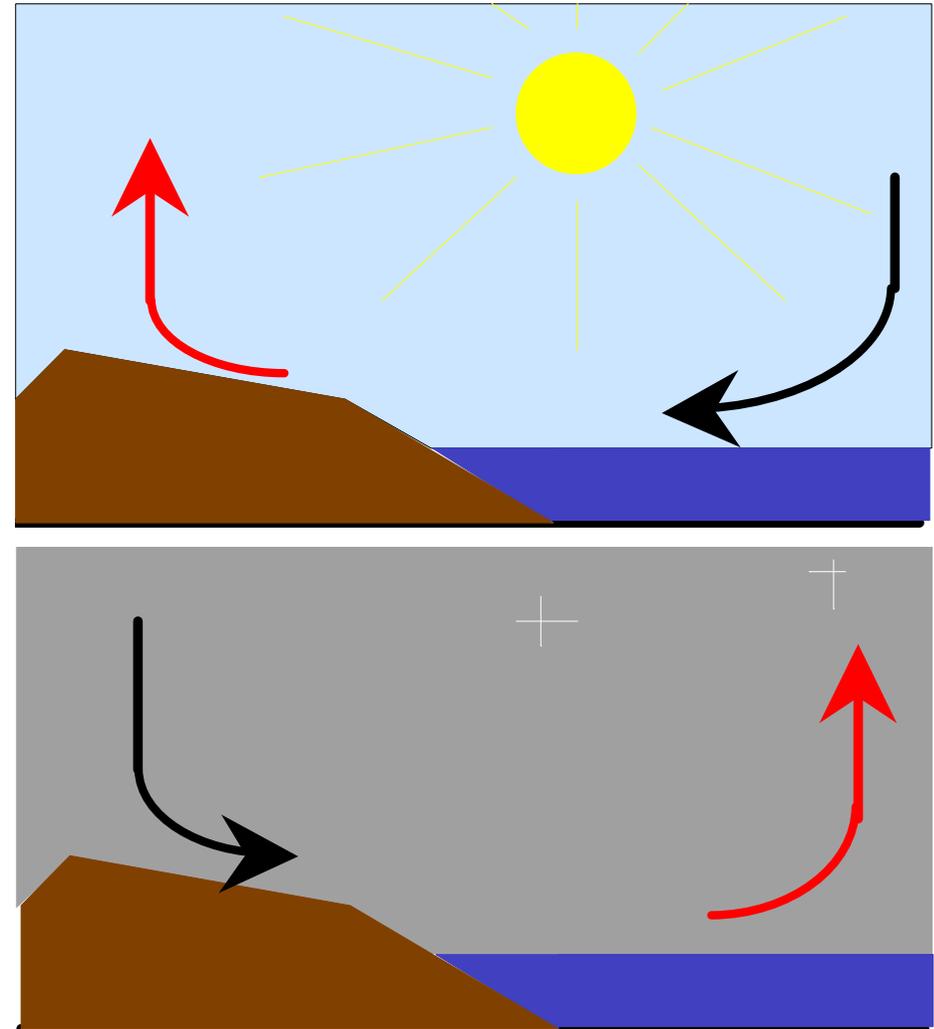


Brise de terre

## Les vents locaux : vents liés au passage mer/terre

### La brise de mer ou de terre:

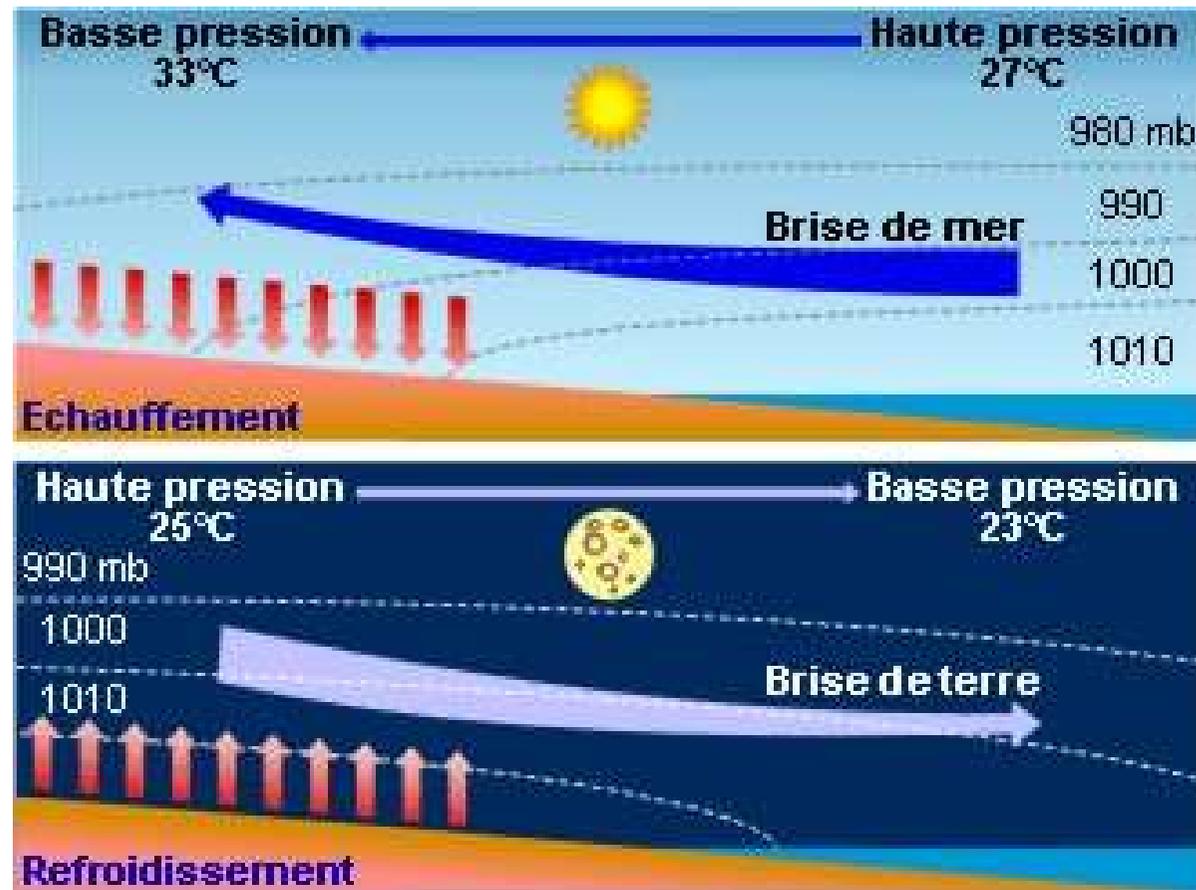
- Dans la journée, la terre chauffe plus vite que la surface de la mer. L'air au sol s'élève et l'air marin le remplace. C'est la **brise de mer**.
- La nuit le sol se refroidit plus vite que la mer. L'air se refroidit à son contact et descend sur la mer. C'est la **brise de terre**.



## Les vents locaux : vents liés au passage mer/terre

### La brise de mer ou de terre:

- Dans la journée, la terre chauffe plus vite que la surface de la mer. L'air au sol s'élève et l'air marin le remplace. C'est la **brise de mer**.
- La nuit le sol se refroidit plus vite que la mer. L'air se refroidit à son contact et descend sur la mer. C'est la **brise de terre**.



# D – Les vents

## 4 Les instruments de mesure

### La Girouette.

Elle indique la direction du vent et son origine cardinale



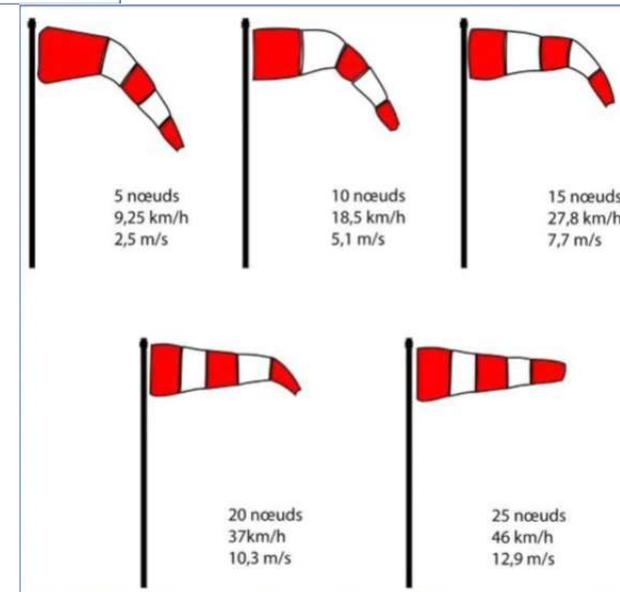
### L' Anémomètre:

Il mesure la vitesse du vent. L'unité internationale est le m/s mais en aéronautique on utilise le nœud (kt).  
1 kt = 1,852km/h soit environ 0,5m/s



### La manche à air:

Elle donne la direction du vent et une estimation de sa vitesse. Chaque bande rouge ou blanche symbolise 5kt de vent.



# D – Les vents

## 4 Information aéronautique sur le vent

### La connaissance du vent en aéronautique

- Le vent est important pour le **roulage**, le **décollage**, la **tenue de la navigation**, la **sécurité en l'air** et l'**atterrissage**...
- Les services de météorologie aéronautique fournissent les informations suivantes sur le vent :
  - **la direction d'où il vient**
  - la vitesse du vent en noeud ( 1 kt = 1 Nm/h = 1,852 km/h)
  - si nécessaire, la vitesse des rafales

Ces informations sont regroupées sur une carte, mise à jour toutes les 3h



Vent du 270°, force 65 kt

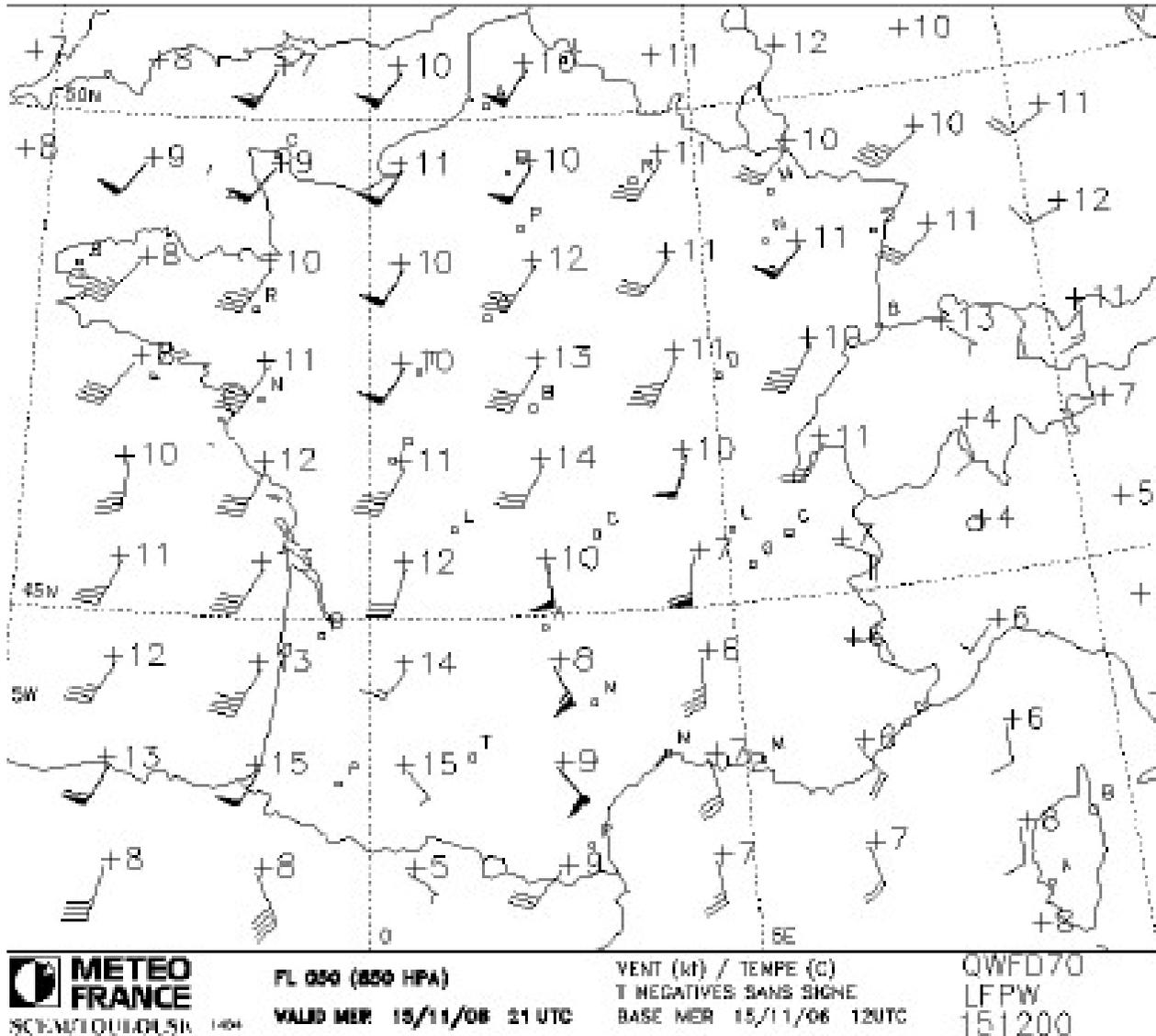


320° 25 kt



360° 50 kt

# Information aéronautique : carte du vent



Le vent est représenté par un drapeau dont l'extrémité libre du mât indique la direction dans laquelle le vent souffle

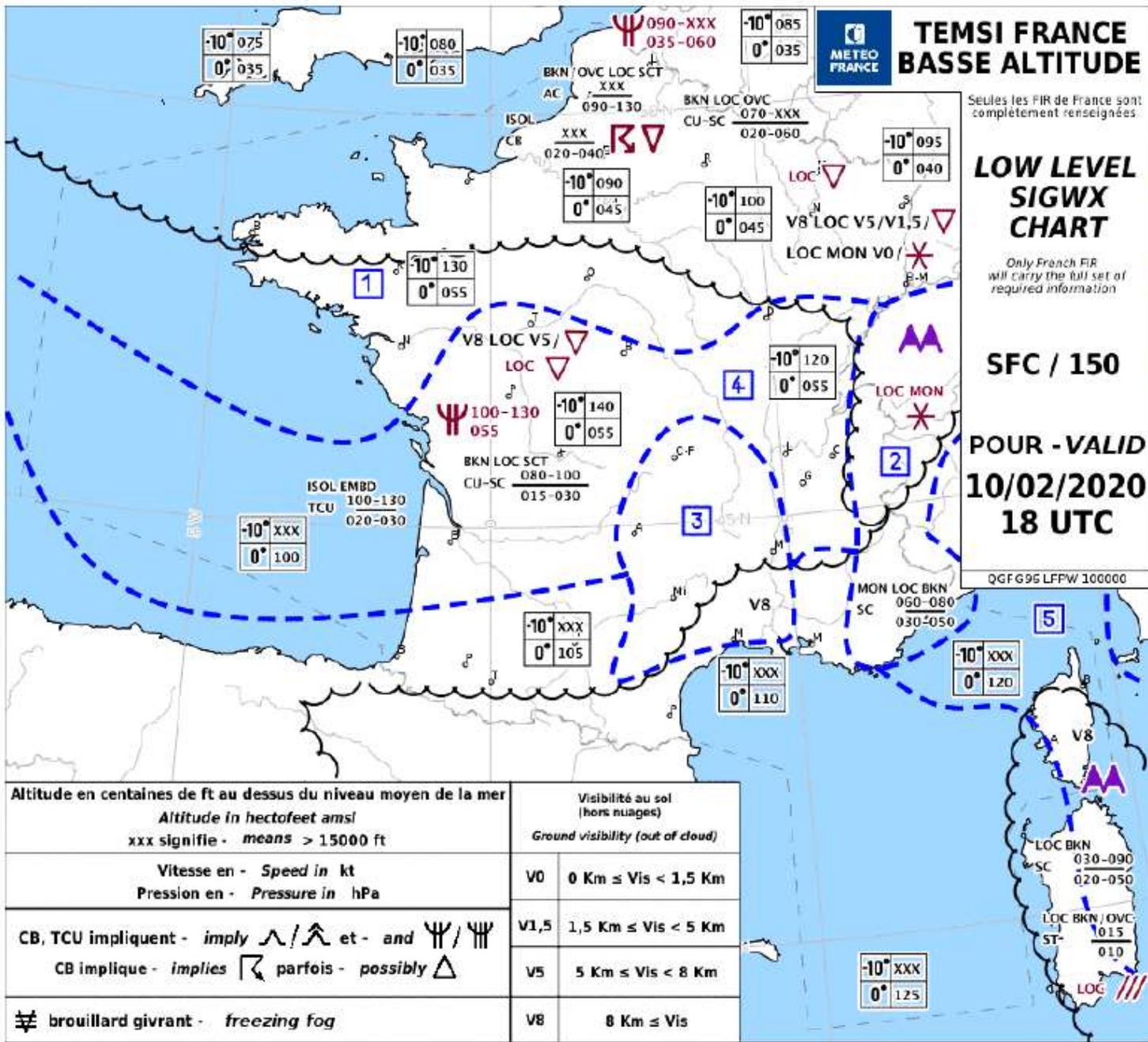
Le fanion est constitué de triangles pleins pour 50 kt de vent, de longues barres pour 10 kt et de demi barres pour 5 kt.



vent de 15 kt  
venant du 30°



vent de 55 kt  
venant du 240°



1  $\wedge/\wedge$  060 MON 100 SFC  
MAR COT  $\diamond$  40

2  $\wedge/\wedge$  080 MON XXX SFC  
 $\circ$

3  $\wedge$  LOC  $\wedge$  050 MON 100 SFC  
 $\circ$

4  $\wedge$  LOC  $\wedge$  050 SFC

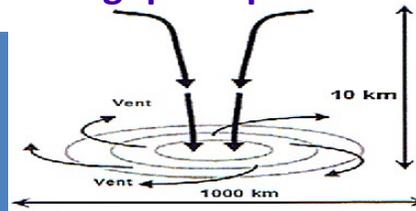
5  $\wedge/\wedge$  080 MON XXX SFC  
 $\circ$  MAR  $\diamond$  35

### La brise de mer :

- a- s'établit parallèlement aux côtes.
- b- s'établit en milieu de matinée et cesse en fin d'après-midi.
- c- a une intensité qui ne peut pas dépasser les 5 kt.
- d- pénètre sur le continent sur une étendue de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres

**Dans l'hémisphère nord, le phénomène météorologique représenté sur la figure ci-contre est :**

- a- un cyclone.
- b- un anticyclone.
- c- une tempête tropicale.
- d- une zone dépressionnaire.



**Un avion vole dans l'hémisphère nord à basse altitude. Il se déplace d'une dépression vers un anticyclone. Le pilote constate que le vent :**

- a- vient de la droite.
- b- vient de la gauche.
- c- augmente régulièrement.
- d- vient de l'arrière

**Un talweg désigne :**

- a- une zone de plus basse pression atmosphérique que les régions environnantes.
- b- une surpression devant une chaîne de montagnes.
- c- une zone de ciel clair associée à l'effet de fœhn.
- d- une zone où l'on trouve des entrées maritimes.

# Météorologie

- A. L'atmosphère
- B. Les masses d'air et les fronts
- C. Les nuages
- D. Les vents
- E. Les phénomènes dangereux pour les aéronefs
- F. L'information aéronautique

# Météorologie

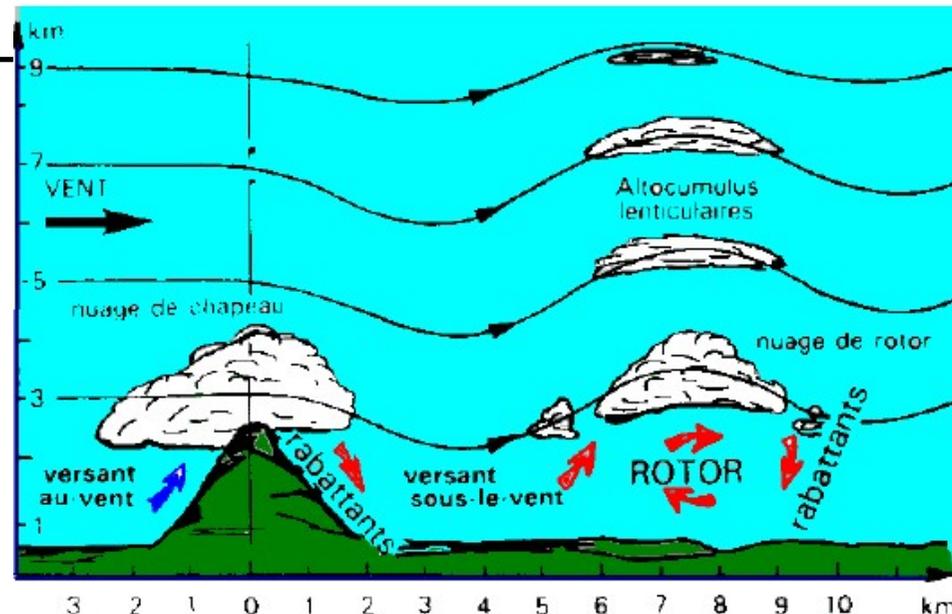
## E Les phénomènes dangereux pour les aéronefs

1. Turbulence
2. Précipitations
3. Orages
4. Brumes et brouillards
5. Givres
6. Cendres volcaniques

# D – Les phénomènes dangereux

## 1 Turbulences

- Dans les cumulonimbus, les courants de convections sont si violents que les avions peuvent être soumis à des contraintes dépassant leurs limites. Les mouvements verticaux de l'air dans le cumulonimbus peuvent dépasser les 130 km/h.
- De violentes turbulences peuvent être rencontrées lorsqu'un vent fort aborde des reliefs. Dans les rotors les turbulences peuvent engendrer une perte de contrôle.



## D – Les phénomènes dangereux

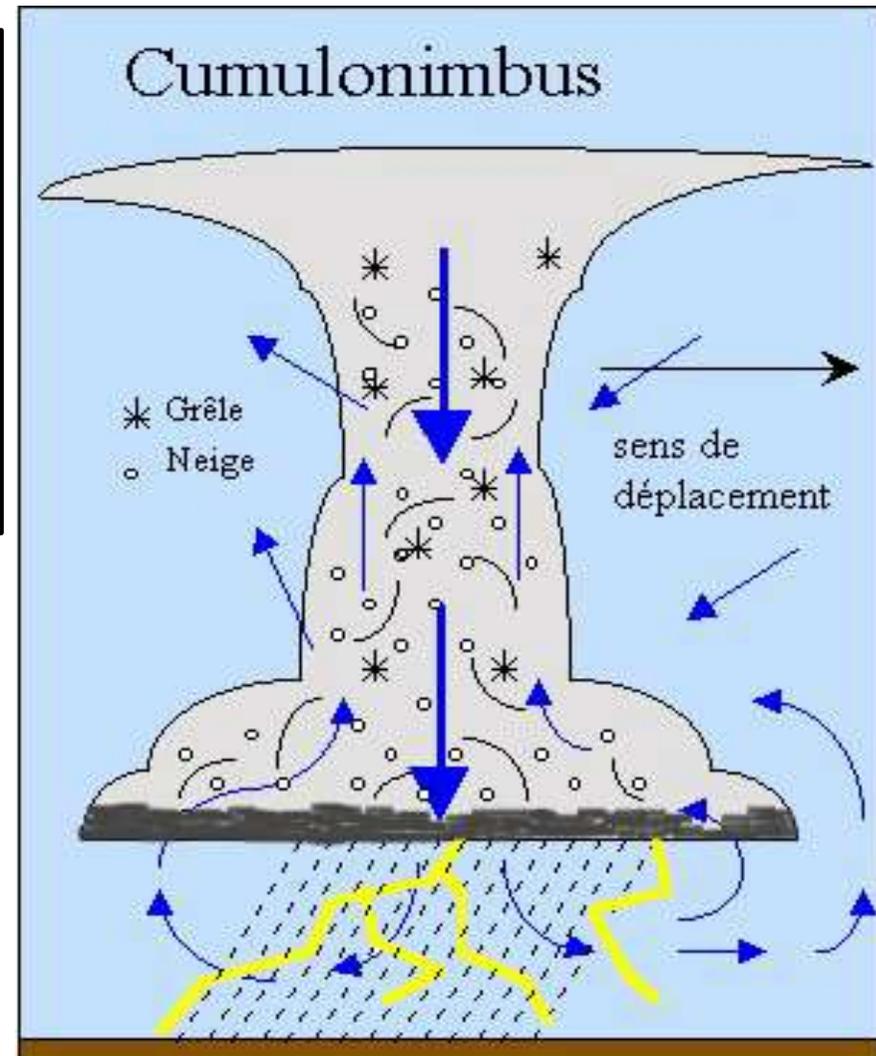
### 2 Précipitations à caractère dangereux

- Les grains (fortes averses) : obligent le pilote à voler très bas avec une visibilité médiocre. Risques de collision avec le sol ou des obstacles élevés.
- Les averses de neige: même problème. Il peut s'ajouter un risque de givrage (accumulation de glace en certains endroits de la cellule ou des moteurs).
- Le verglas: gros risques de fort givrage.

# D – Les phénomènes dangereux

## 3 Orages

- **Les orages se forment au sein des cumulonimbus.**
- Ces nuages à très grand développement vertical résultent de mouvements de convection très puissants.



## Orages

- Ils peuvent se développer sous le fait d'un très grand échauffement du sol les journées d'été. Ils sont alors isolés et éclatent en fin d'après-midi la plupart du temps.
- Ils peuvent également se former dans les fronts froids des perturbations lorsque l'air chaud et humide est fortement soulevé par l'air froid qui le pousse. Ils forment dans ce cas une barrière de cumulonimbus noyée dans la masse.

- Leur force et leur fréquence diminuent lorsque l'on se déplace de l'équateur vers les pôles.
- Ils y sont d'ailleurs inexistant car il n'y a ni la chaleur ni l'humidité nécessaire au développement des cumulonimbus .

- **En fin d'orage, le cumulonimbus se désagrège.**
- Leur durée va de quelques minutes à quelques dizaines de minutes mais les **précipitations** qui les accompagnent sont **très violentes et très dangereuses** pour les avions.

## Orages

- **Au sein du nuage lui même, on rencontre non seulement de la pluie mais aussi de la neige et de la grêle.**
  - On peut avoir des grêlons de plusieurs dizaines voire centaines de grammes.
  - De tels météores font autant de dégâts sur un aéronef que des projectiles de DCA de petit calibre...
- De plus les turbulences au sein du nuage sont très violentes.

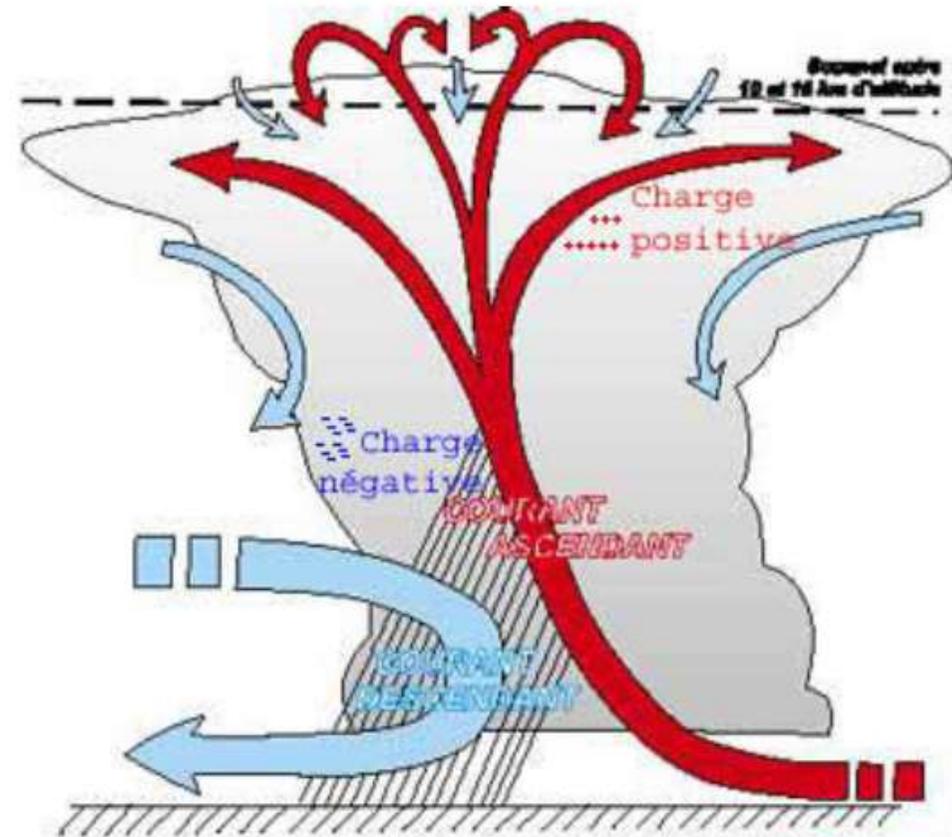


**Octobre 2022 A 320 LATAM  
Orage de grêle en vol**

# Electrisation du nuage d'orage

**Le nuage s'électrise grâce à une combinaison de la gravitation et de la convection.**

- ✓ Les forts mouvements, ascendant au début puis descendant ensuite du cycle de vie d'un Cumulonimbus, créent les conditions favorables à l'accumulation de charges électriques et par conséquent à la création d'un condensateur géant.
- ✓ La différence de température importante entre le bas et le haut du nuage, induisant de violents déplacements d'air.



La **base** du nuage se charge **négativement** tandis que le **haut** se charge **positivement**.

Lors d'un orage la **terre** se charge **positivement**.

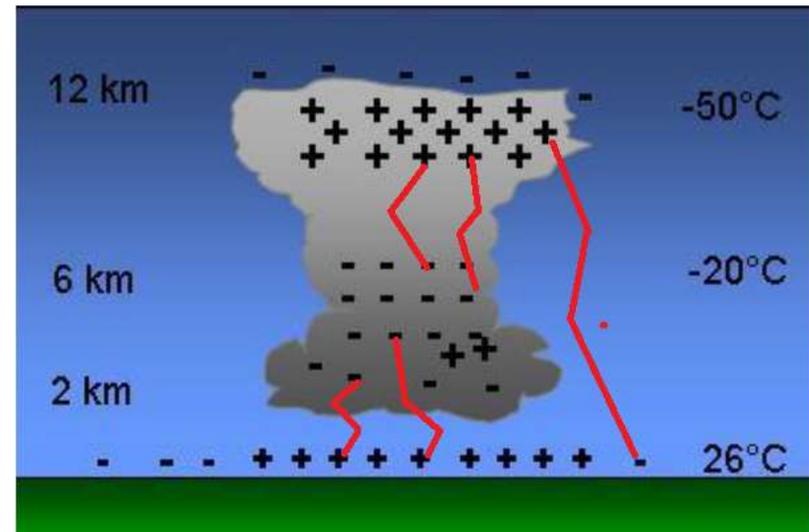
## Orages La décharge électrique d'un nuage

Lorsque le champ électrostatique **dépasse les limites diélectrique (isolante)** de l'air il se produit une **décharge violente** accompagné de

- ✓ **Foudre**: décharge électrique (15 à 150kA)
- ✓ **D'éclair**: phénomène lumineux
- ✓ **De Tonnerre**: Onde de choc sonore provoquée par l'échauffement (env. 5000°C) et de la dilatation de l'air au passage de la décharge électrique.

Le traceur ou précurseur, transportant une faible charge électrique, avance vers une zone de charge opposée à une vitesse de l'ordre de 200 km/s créant ainsi un canal ionisé.

- ✓ Cette décharge peut avoir lieu entre la base du nuage et le sol (éclair de trait) ou entre la base et le sommet du nuage (éclair de masse).

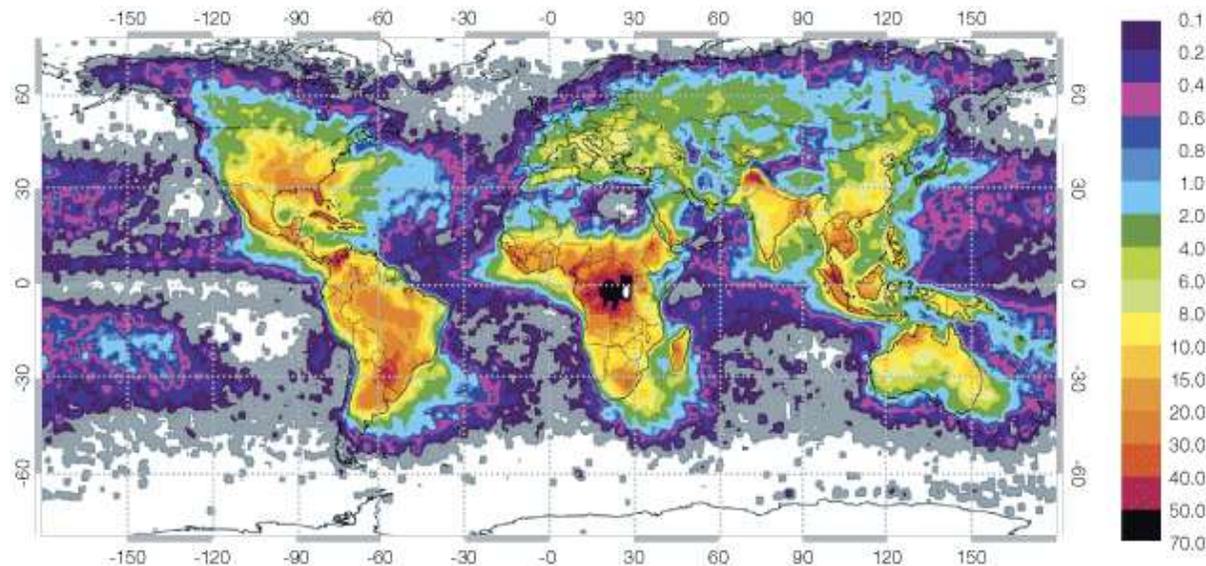


## FOUDROIEMENT

En moyenne, un avion de ligne se fait foudroyer toutes les 1 500 h de vol.

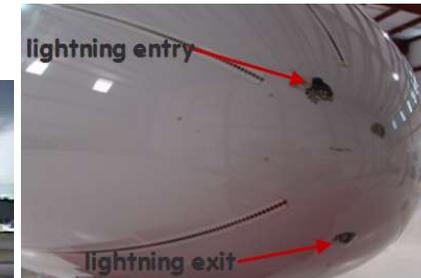
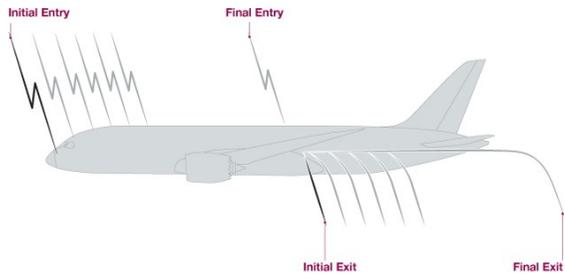
Le risque de se faire foudroyer en avion dépend de principalement 4 facteurs :

- La situation géographique :



- Le temps passé à basse altitude (phase de décollage et d'atterrissage plus fréquent)
- La situation de l'aéronef par rapport aux nuages orageux (70% des foudroiements ont lieu pendant qu'il pleut)
- La température (très souvent proche de 0°C)

La foudre rentre par une extrémité (souvent « ionisée » ou chargée électriquement tel que le radom, les antennes, winglet, empennage, nacelles) et ressort en dessous du fuselage.



Dans la cabine, le foudroiement s'accompagne souvent d'un grand éclair et d'un coup de tonnerre. Les passagers ne risquent rien car les charges électriques passent par la peau extérieure de l'avion (cage de Faraday). Les cellules des avions classiques (non-composite) ont une structure métallique avec une épaisseur suffisante pour résister à un foudroiement.

# D – Les phénomènes dangereux

## 4 Brumes et brouillard

### Les dangers du brouillard

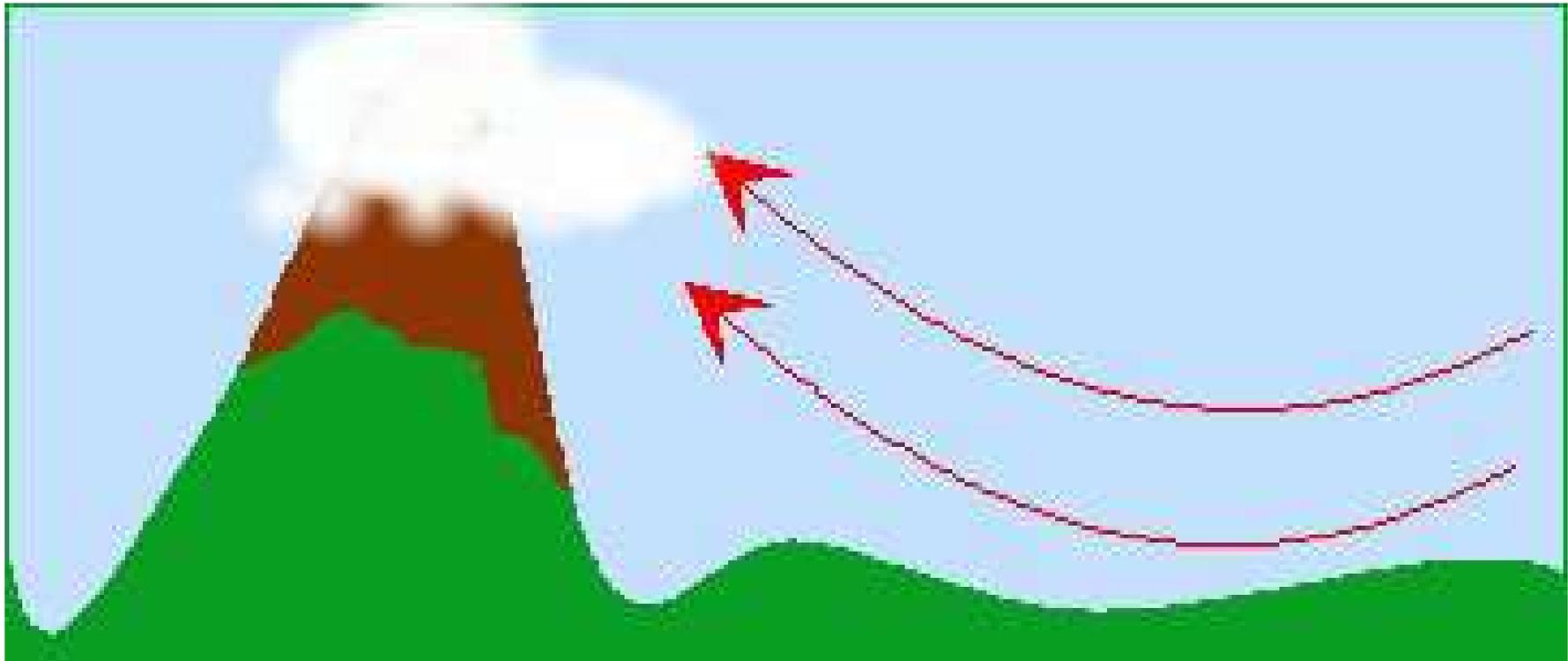
- **La réduction de visibilité empêche tout vol à vue.**
- Le sol n'est pas toujours visible et les obstacles de grandes dimensions verticales ne sont aperçus que trop tard pour être évités.
- Si le brouillard est givrant, on ajoute les risques liés au givre.



## Brumes et brouillard

### Le brouillard de pente

Dans les régions présentant un relief marqué, il se forme le long des pentes et laissant la vallée dégagée.



## Brumes et brouillard



Alphajet en finale sur le terrain de Tours par temps brumeux.

Alphajet en finale sur le terrain de Tours par temps de brouillard.



# D – Les phénomènes dangereux

## 5 Givres

- **Le givre est un dépôt de glace qui se forme à la surface du sol ou des objets.**
- Il peut être **transparent ou opaque.**
- Sur les aéronefs il se formera en priorité sur les parties exposées au vent relatif et les éléments pointus.
- Les risques de givrage sont notés sur les cartes météo. Ils sont évalués en fonction de leur intensité (faible, modéré ou fort).



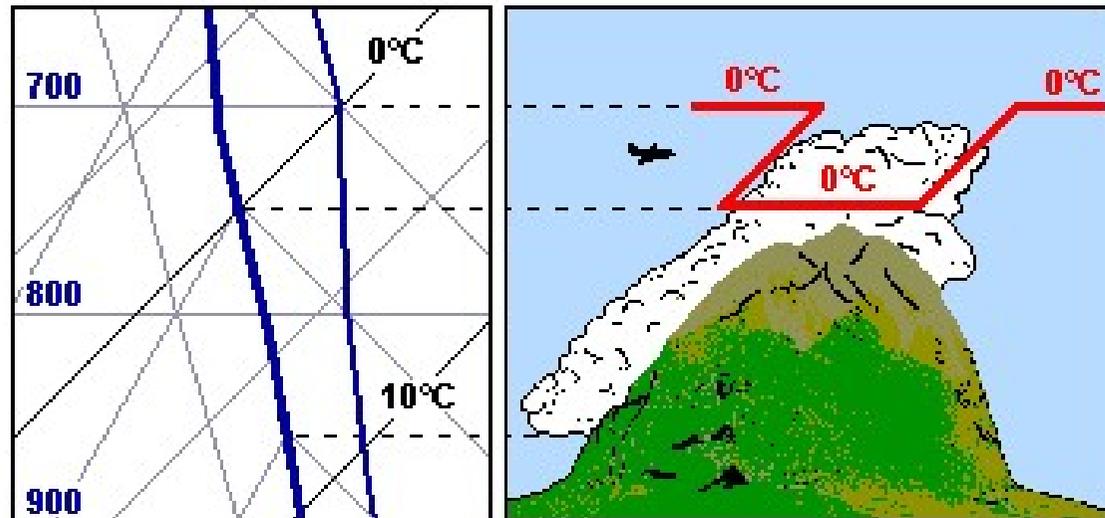
- Les conditions de givrage faible se rencontrent dans les nuages **stables et les brouillards peu denses.**
- Celles de givrage modéré dans les nuages **instables et les brouillards denses.**
- Le givrage fort n'apparaît quasiment que dans les nuages **très instables** et avec les précipitations surfondues.

# Givre

- **Formation du givre**
- **Le givre qui peut se former sur un aéronef peut avoir plusieurs origines :**
- **solidification d'eau présente sur l'aéronef au sol.**
- **- dépôt sur les parties froides par condensation solide de la vapeur d'eau contenue dans l'air.**
- **- solidification des gouttelettes d'eau formant les nuages.**

Une situation avec fort risque de givrage pour l'avion au moment de son passage au dessus de la montagne

- l'air est très humide (nuage)
- l'isotherme 0°C est abaissé



## Classification du givre :

- **Le givre est classé selon deux critères : son intensité et son aspect. Les deux étant souvent liés.**
  - **La gelée blanche**
    - **condensation directe de l'état gazeux à l'état solide.**
    - **survient au sol ou en vol hors nuage.**
    - **givrage faible gênant la visibilité à travers le pare-brise.**
  - **Le givre blanc**
    - **solidification rapide de gouttelettes en surfusion.**
    - **survient en milieu nuageux instable et le dépôt peut être rapidement important.**

# Givre

## **Le givre transparent**

- solidification lente de gouttelettes en surfusion.
- survient en milieu nuageux généralement instable. (entre 0 et -15°C).
- formation lente avec étalement du dépôt.
- très dangereux car transparent (détection tardive).

## **Le verglas**

- congélation d'une pluie ou d'une bruine surfondue à l'impact avec le sol ou un obstacle.
- dépôt transparent se formant très rapidement sur toute la surface de l'avion.
- L'épaisseur peut très vite être importante.

# Givrage

## Les effets sur l'avion

- Augmentation de la masse de l'appareil
  - Déformation du profil aérodynamique par le dépôt de givre ( $C_z$  diminue et  $C_x$  augmente)
  - Mise hors service des instruments par givrage des sondes (tube de Pitot, prises statiques,...)
  - Perturbation des moyens radionav par givrage des antennes
  - Risques de blocage des parties mobiles (gouvernes, volets, becs, train d'atterrissage)
  - Visibilité nulle à travers le pare-brise.
- Décoller avec un avion couvert de givre est très dangereux.
- Voler dans un environnement givrant sans système anti givrant fonctionnel l'est tout autant.

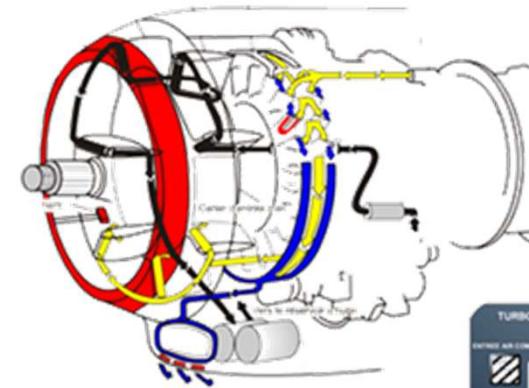
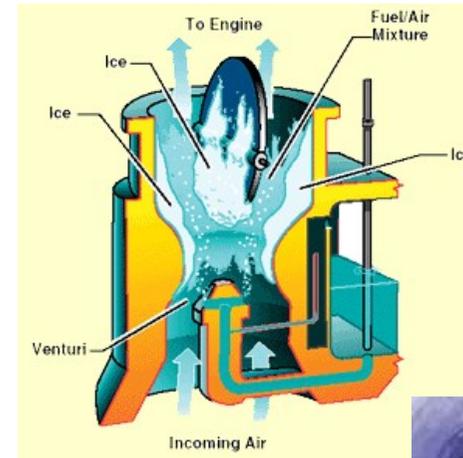


<http://www.knowtex.com>

# Givrage

## Les effets sur les moteurs

- givrage carburateur sur les moteurs à pistons (baisse de puissance ou arrêt moteur)
- baisse de rendement de l'hélice
- givrage des entrées d'air des réacteurs avec baisse de rendement, pompage (décrochage) du compresseur.
- passage de glace dans les réacteurs, détachement dans l'entrée d'air puis aspiration par le moteur. Dommages ou destruction possible du compresseurs, extinction.
- Les réacteurs sont équipés de systèmes d'anti givrage: Electrique, à air chaud et ou à huile chaude. Systèmes activés par intermittence ou en permanence.



■ Electrique  
■ Air chaud  
■ Huile chaude



Antigivrage réacteur

# Dégivrage

- **Dégivrage:** Lorsque le givrage à eu lieu. Au sol, le traitement consiste à appliquer sur l'appareil des fluides constitués de glycol et d'eau bouillante.  
**Anti Givrage:** éviter sa formation:
  - en évoluant le moins possible en conditions givrantes.
  - dispositifs permettant de dégivrer les bords d'attaque des ailes, de réchauffer les sondes de mesure ou les antennes et les parebrises, de faire suinter un mélange de glycol, d'eau et d'épaississants (polymères) ou en actionnant des membranes gonflables.



Dégivrage au sol d'un avion avant son décollage (pulvérisation de glycol)

<http://www.airliners.net>

Systèmes **d'anti givrage** de bord d'attaque

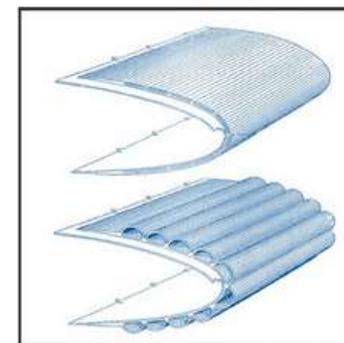
**A air chaud**

Evacuation de l'air chaud

Arrivée de l'air chaud

source : Liebherr

**A boudin gonflable**



## Cendres volcaniques

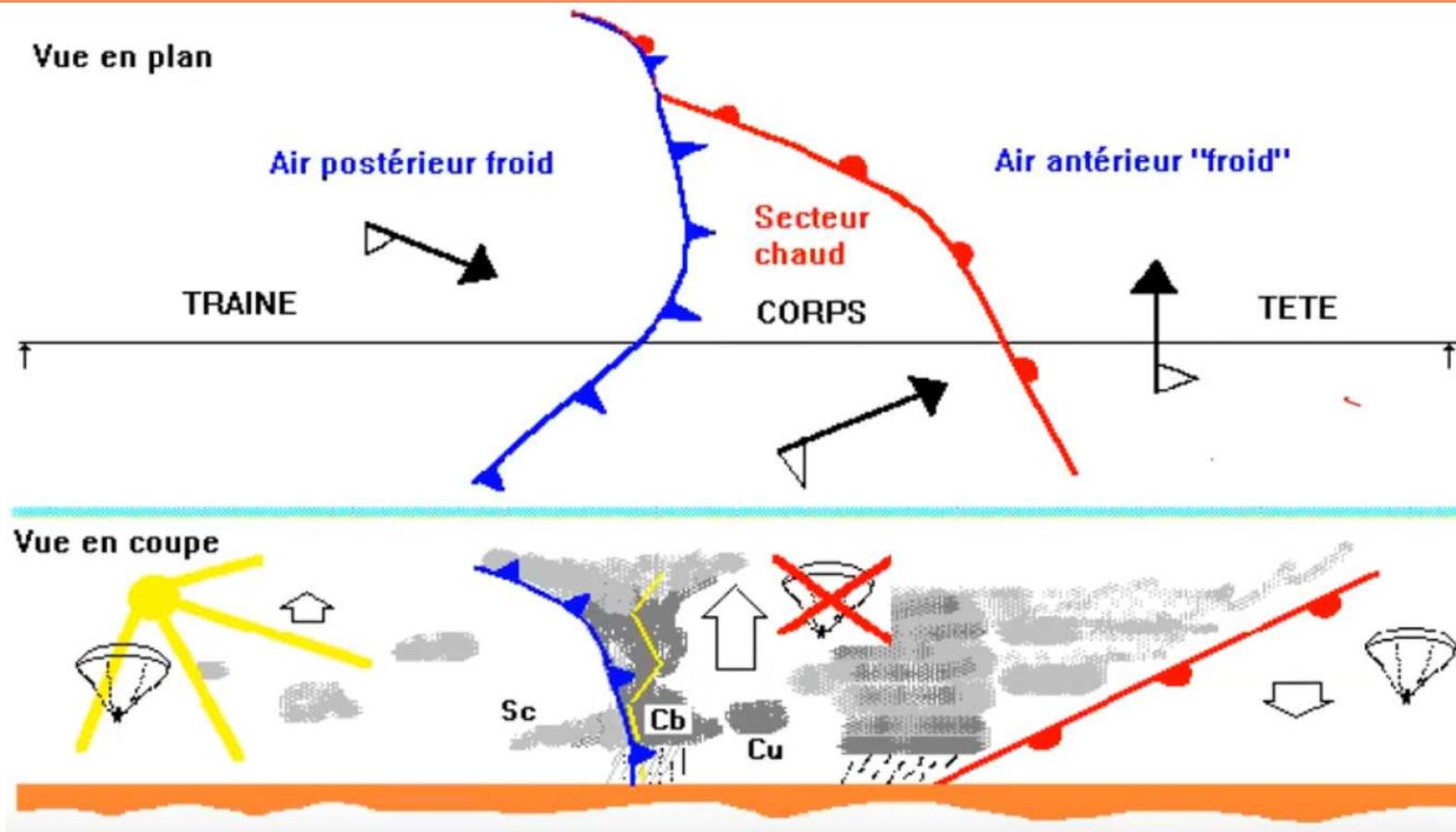
Une grande partie du trafic aérien dans le nord de l'Europe était cloué au sol à cause de l'éruption d'un volcan au sommet du glacier Eyjafjallajokull, dont les cendres étaient dispersées par les vents. Le volcan était entré en éruption le 20 mars 2010, puis à nouveau le 14 avril 2010.



Le 24 juin 1982, un Boeing 747 de la British Airways avait perdu toute puissance dans l'ensemble de ses réacteurs en traversant un nuage de cendres au-dessus de l'Indonésie. Il avait fait une chute de plusieurs milliers de pieds avant de toucher une nappe d'air non polluée, ce qui avait pu permettre à ses moteurs de redémarrer. L'appareil a pu planer assez loin pour sortir du nuage de cendres et tous les moteurs ont été redémarrés, permettant à l'appareil d'atterrir en toute sécurité.

---

# Impact des fronts sur le vol en parapente. France métropolitaine



	FRONT CHAUD			FRONT FROID	
	Avant	Pendant	Après	Pendant	Après
<b>Type de vol</b>	dynamique	<b>AUCUN</b>	dynamique	<b>AUCUN</b>	Thermique
<b>Orientation</b>	S à SO		S à SO		O à N
<b>Précautions, risques</b>	se méfier du renforcement du vent qui peut faire reculer		Comme avant, vent fort et surtout <b>arrivée du front froid</b>		Risques liés au vol thermique et formations nuageuses

**On parle de brouillard lorsque la visibilité horizontale est inférieure à :**

- a- 1 km.
- b- 3 km.
- c- 5 km.
- d- 10 km

Dans un cumulonimbus, on peut rencontrer des ascendances dont les valeurs maximales peuvent atteindre :

- a- Mach 1.
- b- 1 à 3 m/s.
- c- 150 à 200 m/s.
- d- 20 à 40 m/s.

15 - Un aérodrome se trouve à l'altitude de 2800 ft, l'écart de pression avec le niveau de la mer y est de :

- a- 20 hPa.
- b- 50 hPa.
- c- 100 hPa.
- d- 200 hPa.

16 - En montagne, un parapentiste rencontre les meilleures conditions pour du vol de pente :

- a- la nuit.
- b- en début de matinée.
- c- dans l'après-midi.
- d- en fin de soirée.

17 - L'appareil servant à mesurer la vitesse du vent au sol s'appelle :

- a- une girouette.
- b- une rose des vents.
- c- un baromètre.
- d- un anémomètre.

18 - Un pilote de vol libre ou de planeur souhaitant voler longtemps privilégie le vol sous :

- a- les stratus.
- b- les cirrus.
- c- les cumulus.
- d- les alto-stratus.

# Météorologie

- A. L'atmosphère
- B. Les masses d'air et les fronts
- C. Les nuages
- D. Les vents
- E. Les phénomènes dangereux pour les aéronefs
- F. L'information aéronautique

# Météorologie

## E - L'information aéronautique

1. METAR et TAF
2. Carte des vents
3. La carte TEMSI et la coupe verticale

L'information météorologique aéronautique est donnée aux pilotes par les **services météorologiques**. C'est une aide à la préparation et à la sécurité des vols. **Elle est systématiquement consultée avant tout vol** autre que local.

Elle se présente sous deux formes

- **des messages codés**, décrivant pour un aéroport donné les conditions météo (METAR) et donnant les prévisions à court terme (TAF)
- **des cartes** : carte du temps observé, cartes des vents à différentes altitudes

# D – L'information aéronautique

## 1 METAR et TAF

**METAR** = messages codés donnant les informations météo observées régulièrement par la station de l'aéroport (**METAR** = **MET**éo d'**AÉRo**port).

Ils sont rédigés selon un modèle type et donnent les indications suivantes : type de message, terrain, heure TU (Zoulou), vent (éventuellement rafales), visibilité, météores, nuages, température et température du point de rosée, pression (QNH et en général QFE), piste en service et les phénomènes significatifs récents.

Parfois complétés par un **SIGMET**, message signalant les phénomènes météorologiques particulièrement dangereux dans une région d'information de vol

**TAF** (**Aerodrome Forecast** = prévisions sur un terrain) = messages codés faisant état des prévisions établies pour une période de 9 heures.

Ils indiquent le terrain concerné, l'heure à laquelle la prévision a été établie, la période pour laquelle elle a été établie, le temps observé et son évolution prévue (vent, visibilité, précipitations, nuages).

# METAR et TAF

- Exemple de METAR :

LFPO 0930Z 20010G20kt 0800 +SHSN SCT010St BKN025Sc M04/M05  
Q1002 NOSIG

- Signification :

Paris Orly 09h30 TU Vent du 200 pour 10 kt, rafales à 20kt Visibilité 800m  
Fortes averses de neige 1 à 4 octas de stratus à 1000 ft et 5 à 7 octas de  
stratocumulus à 2500ft Température -4°C et température du point de rosée -  
5°C QNH 1002 hPa Pas de changements significatifs prévus.

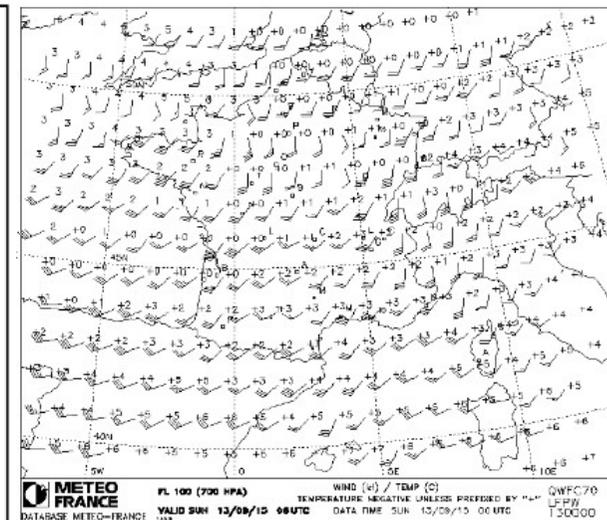
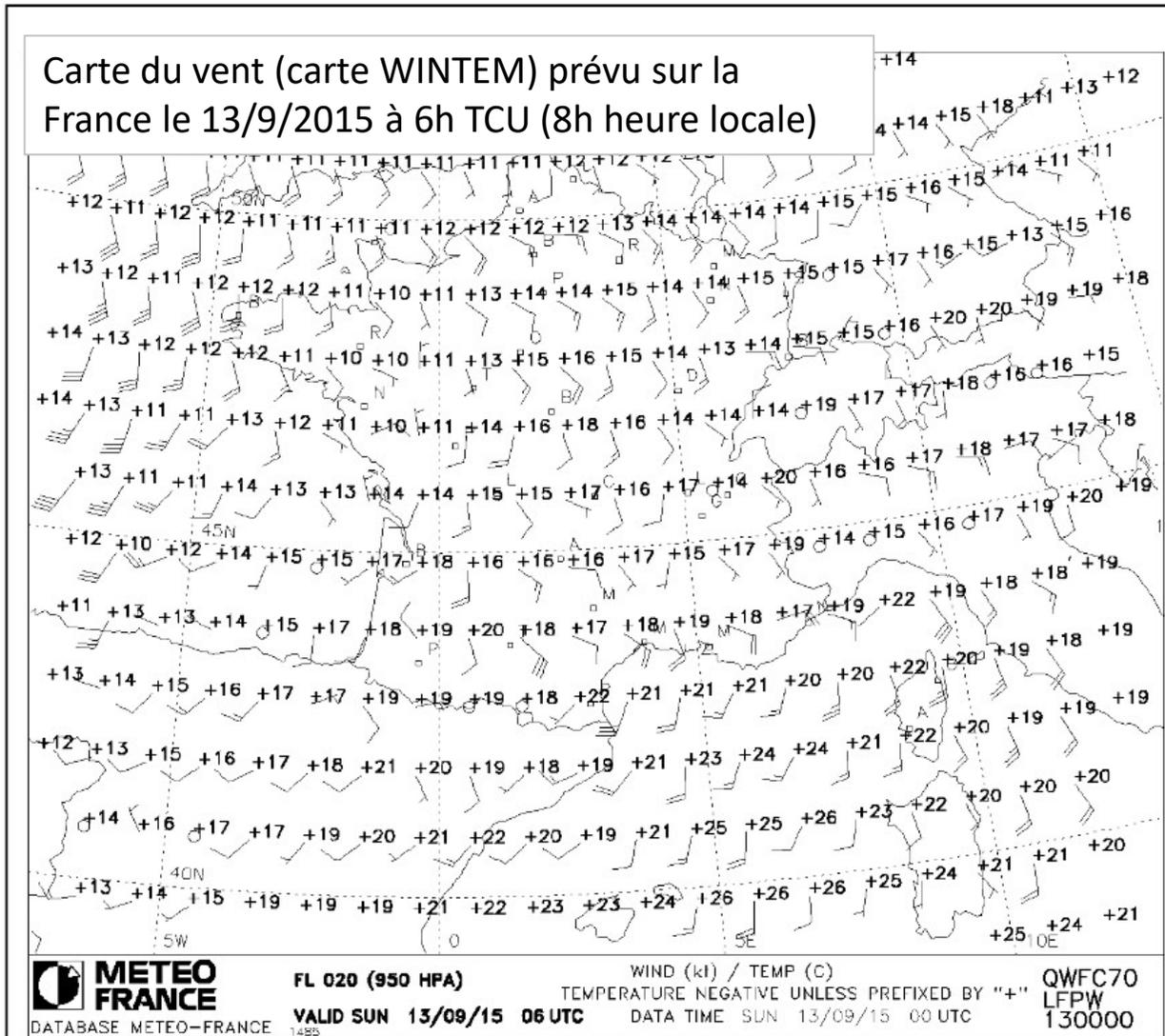
Rappel : l'importance de la couverture nuageuse s'évalue en **octas** (1 octa veut dire 1/8<sup>ème</sup> du ciel est masqué par les nuages).

- pour une couverture de 1 à 4 octas on qualifie la couverture de scattered (épars en anglais) (SCT)
- pour une couverture de 5 à 7 octas le ciel est dit broken ( présence de “trous” de ciel bleu) (BKN)
- pour une couverture de 8 octas, le ciel est qualifié de overcast (couvert) (OVC)

**QNH** : une abréviation pour désigner la pression atmosphérique ramenée au niveau de la mer. Un QNH de 1002 hPa est un QNH bas, qui correspond à une dépression

# D – L'information aéronautique

## 2 - Carte des vents



- ci-dessus, à 10000 ft
- ci-contre, à 2000 ft



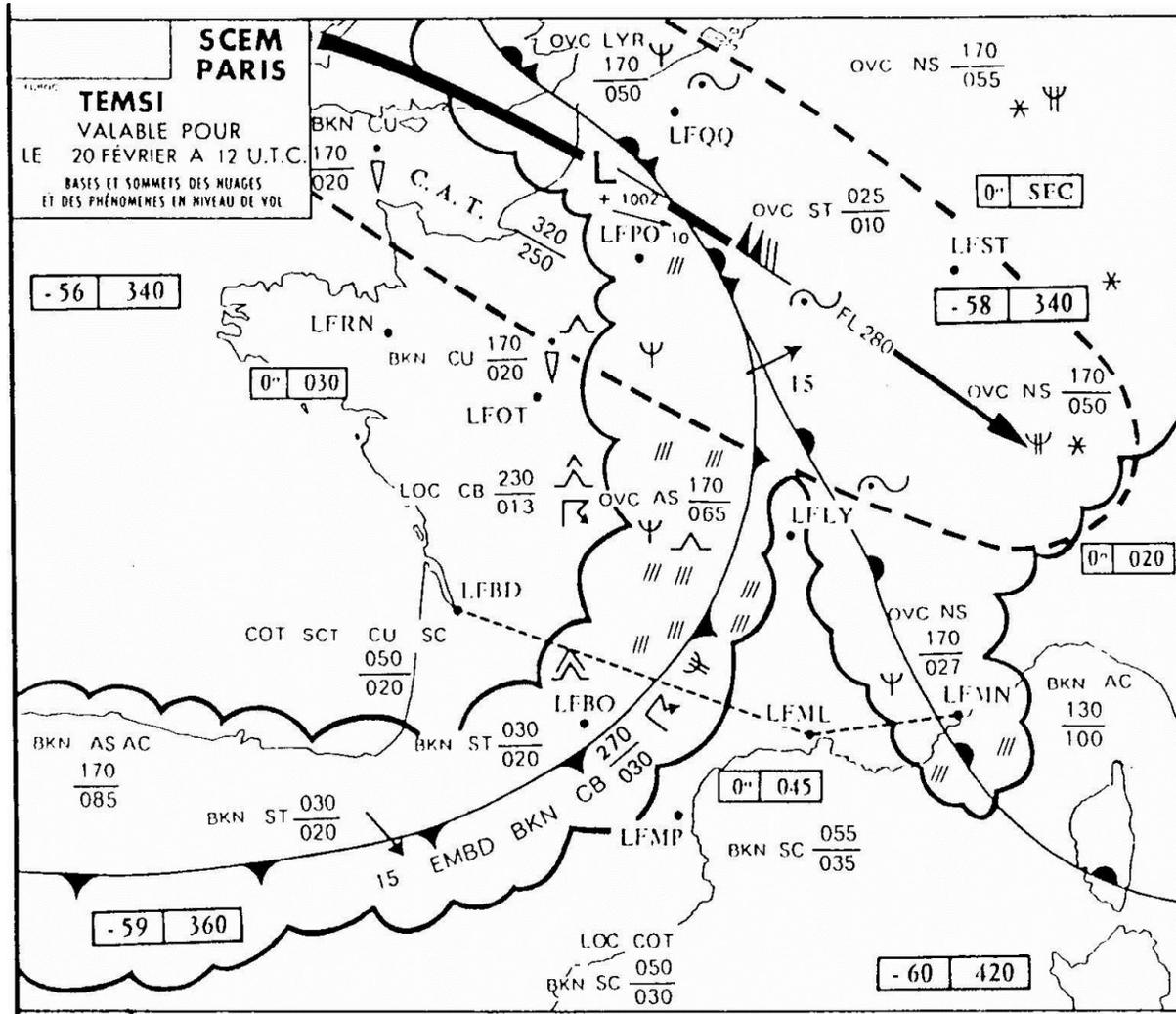
vent de 15 kt  
venant du 30°



vent de 55 kt  
venant du 240°

# D – L'information aéronautique

## 3 - Carte TEMSI et coupe verticale



Les cartes **TEMSI** (**TEMps Significatif**) montrent les principales formations nuageuses et les précipitations qu'elles engendrent.

On y porte également les risques de givrage, d'orage et de turbulences avec leurs intensités prévues.



20 / Pour un aéronef en vol, le seul phénomène pouvant être la cause de tous ces dangers (réduction de visibilité, cisaillement de vent, dégâts à la structure, altération du profil aérodynamique, givrage) est :

- a- l'onde.
- b- la turbulence.
- c- les précipitations.
- d- le brouillard.

12 / Le givre qui se dépose sur un aéronef durant un vol :

- a- ne survient que si l'aéronef est proche du sol.
- b- n'est jamais dangereux, car il se dépose en couches très minces.
- c- peut être un phénomène très dangereux.
- d- ne survient que si l'aéronef vole à très haute altitude.

Une pluie durable et continue durant plusieurs heures provient du type de nuage suivant :

- a- cirrocumulus.
- b- cirrostratus.
- c- altocumulus.
- d- nimbostratus.

9 / L'effet de fœhn est un phénomène météorologique que l'on rencontre :

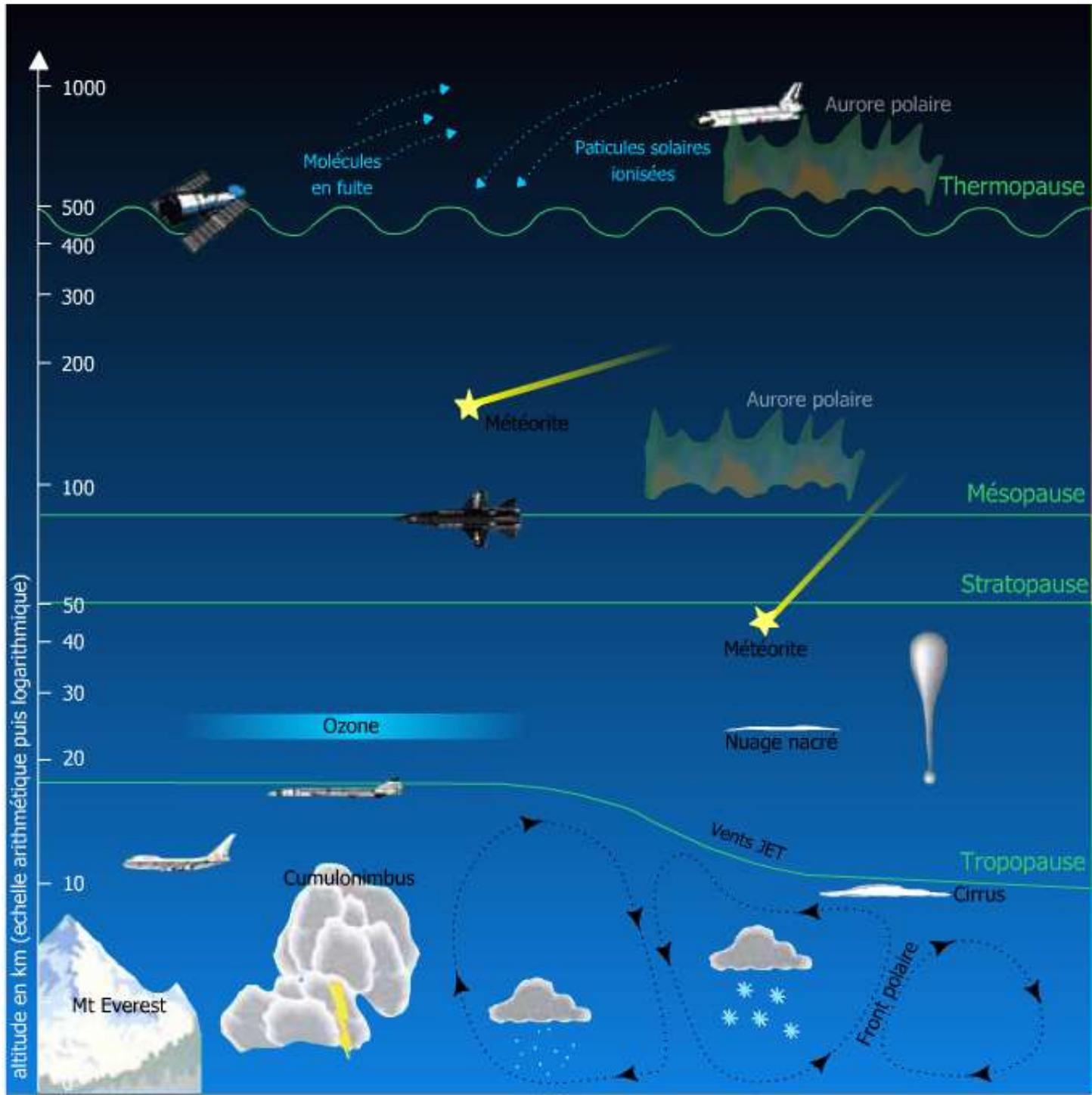
- a- en bord de mer.
- b- en plaine.
- c- en montagne.
- d- au-dessus d'une forêt.

2 / La circulation du vent autour des centres de pression s'opère de souffle des :

- a- hautes pressions vers les basses pressions (perpendiculaire aux isobares).
- b- basses pressions vers les hautes pressions (perpendiculaire aux isobares).
- c- basses pressions vers les hautes pressions, dévié vers la gauche dans l'hémisphère nord par la force de Coriolis (tangente aux isobares).
- d- hautes pressions vers les basses pressions, dévié vers la droite dans l'hémisphère nord par la force de Coriolis (tangente aux isobares)

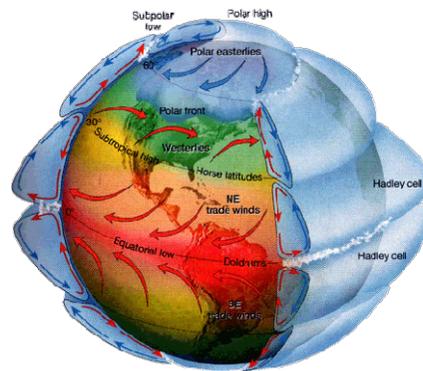
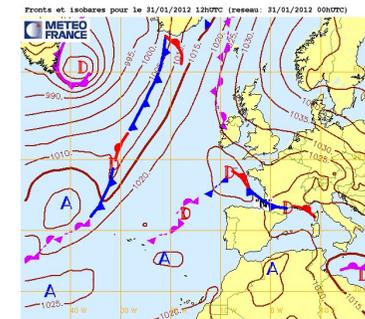
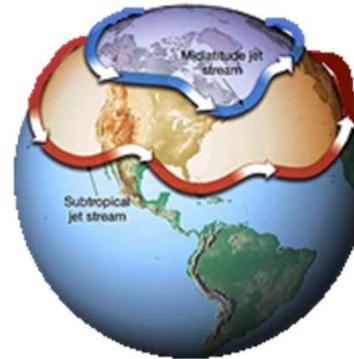
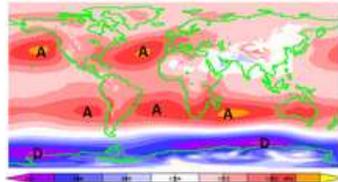
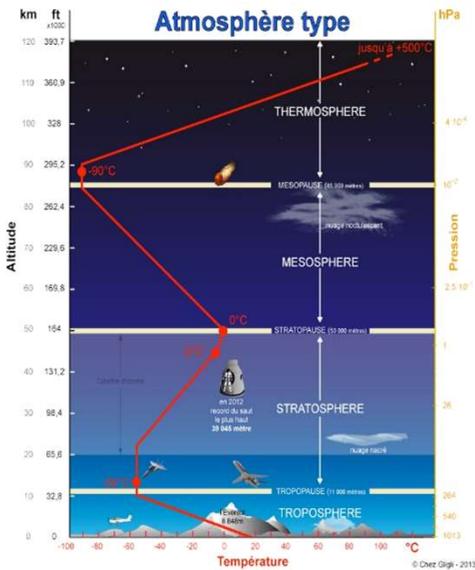
3 - L'unité utilisée pour exprimer la vitesse du vent dans les messages et cartes météorologiques destinés à l'aéronautique (dossiers de vol) est :

- a- le nœud.
- b- le kilomètre par heure.
- c- le mètre par seconde.
- d- le pied par minute.

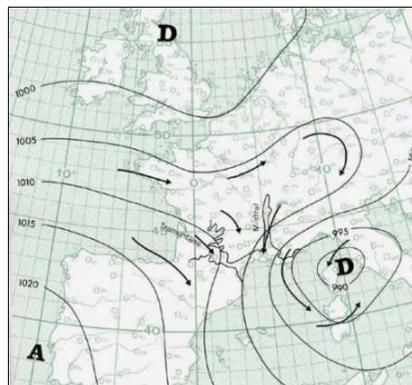
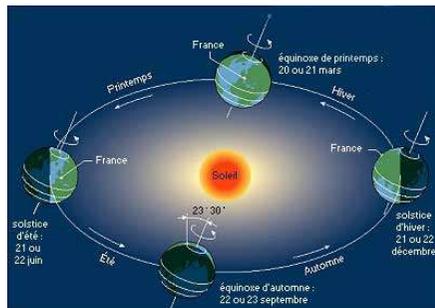
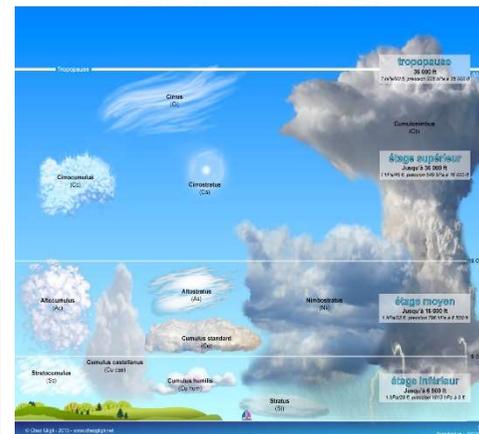




# C'était la Météorologie et l'Aérologie



ATMOSPHERE STANDARD ET NUAGES



Arnaud Pecher Albert Scius

# Météorologie - Fiches techniques - Résumé

- Composition en volume air sec: azote (N<sub>2</sub>) = 78,1 % et oxygène (O<sub>2</sub>) = 20,9 %
- La troposphère: Epaisseur de 7 à 15km. (11 km sous nos latitudes). Température diminue avec l'altitude pour descendre jusqu'à -50 / -60 °C.
- La stratosphère : T constante jusqu'à 25 km puis croît (environ 0 °C vers 40 km). Contient la couche d'ozone
- La mésosphère: T décroît jusqu'à la limite de cette couche (environ 80 km).
- La thermosphère: T atteint 500 °C à la limite de l'atmosphère (environ 400km).
- Pression atmosphérique: C'est le poids de la colonne d'air surmontant une surface d'1 m<sup>2</sup>. Elle varie donc avec l'altitude. Unité: Pascal ou Hectopascal 1hPa = 100 Pa ou millibar 1mbar = 1hPa.
- Variation de pression avec l'altitude: pour que la pression diminue de 1 hPa, il faut monter de: 8,5 m (= 28 ft) au niveau de la mer et jusqu'à 2 500ft; 30 m (=100 ft) vers 3 000 m (10 000 ft)
- Isobares: courbes joignant les points de même pression au niveau de la mer
- Dépressions: Zone de basses pressions. D ou L. Pression < 1013 Hpa. Le vent tourne dans le sens anti-horaire de la dépression. (Hémisphère Nord)
- Anticyclones, zones de haute pression. A ou H. Pression > 1013 hPa, Le vent tourne dans le sens horaire de l'anticyclone. (Hémisphère Nord).
- Front = limites entre les masses d'air chaudes et froides.
- On peut utiliser la valeur de la pression pour connaître l'altitude : c'est le principe de l'altimètre. Un altimètre doit être calé.
  - Zero au niveau de la mer = QNH. Altitude. MSL ou AMSL (Mean sea level)
  - Zero au niveau d'un aéroport = QFE. Hauteur
  - Calage à 1013,25 hPa = Standard. Niveau de vol. FL (flight level)

# Météorologie - Fiches techniques - Résumé

- La température évolue avec l'altitude. Pour la troposphère (couche où se situent les principaux phénomènes météorologiques), le gradient moyen air sec est de environ  $2^\circ / 1000 \text{ ft}$  ou on perd  $6^\circ 5$  quand on monte de 1000 m.
- Le gradient de température en air humide est de  $6^\circ \text{C}$  pour 1000 m.
- La Terre fait le tour du Soleil en 1 an, en dessinant dans un plan (appelé plan de l'écliptique) une orbite en forme d'ellipse et un tour sur elle-même en 1 jour, autour d'un axe incliné de  $23,5^\circ$  sur l'écliptique.
- Transfert de chaleur:
  - La conduction: Mode de transfert par contact et à travers la matière.
  - La convection: Mode de transfert par le brassage de fluide, liquide ou gazeux.
  - Le Rayonnement: Mode sans contact basé sur l'émission d'ondes électromagnétiques, des IR (Infrarouge).
- Humidité: Plus la température de l'air est élevée et plus la quantité d'eau qui peut être dissoute est importante.
- Température du point de rosée (dew point): température à laquelle on atteint la saturation si la pression reste constante. Peut se produire au cours du refroidissement nocturne ou au petit matin (rosée ou brouillards).
- Atmosphère standard:
  - au niveau de la mer  $T = +15^\circ \text{C}$  et  $P_{\text{atm}} = 1013,25 \text{ hPa}$
  - gradient vertical température :  $-6,5^\circ \text{C} / 1000 \text{ m}$  (soit  $-2^\circ / 1000'$ ) jusqu'à 11000 m, nul entre 11000 et 20000 m puis  $+10^\circ \text{C} / 1000 \text{ m}$  jusqu'à 32000 m
  - la tropopause se situe à 11 000 m
  - l'air est sec et de composition constante
  - accélération de la pesanteur:  $g = 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$

# Météorologie - Fiches techniques - Résumé

- L'air chaud et l'air froid ne se mélangent pas (comme l'eau et l'huile)
- L'air chaud est moins dense (« plus léger ») que l'air froid
- L'air chaud peut mieux absorber l'humidité que l'air froid
- L'air qui s'élève voit sa pression diminuer, et donc il refroidit, même si il n'échange pas de chaleur avec l'air environnant (détente adiabatique)
- Pour classer les masses d'air on utilise 2 critères.
  1. leur humidité : se forment au dessus des océans = très humides (masses maritimes), au dessus de régions désertiques = peu humides (masses continentales).
  2. leur température : se forment dans les régions de haute latitude (près des pôles), l'air est froid, se forment aux basses latitudes (près de l'équateur), l'air est chaud.
    - On en distingue trois types: Polaires, Arctiques, Tropicales.
- Circulation générale: A échelle de la Terre, il se forme dans l'atmosphère des cellules de convection (l'air chaud remonte, l'air froid descend) (cellules de Hadley). Combiné à la rotation de la Terre, cela entraîne un système de vents assez réguliers (par exemple les alizés)
- Le front chaud = surface de séparation entre une masse d'air chaud repoussant une masse d'air froid. Signalée par l'apparition en altitude d'un voile de cirrus, puis des cirrostratus (Cs) puis des altocumulus (Ac), le ciel se bouche, les altostratus (As) et les nimbostratus (Ns) amènent les précipitations si le front est actif, des stratocumulus (Sc) peuvent compléter les nuages du corps par le bas. La situation est **stable**: Déplacement latéral / nuages de type **stratiforme**
- Le front froid = surface de séparation entre une masse d'air froid repoussant une masse d'air chaude. Front froid à la fin d'une perturbation. Reprise de la convection. Quand le front froid avance, formation de altocumulus, altostratus et des cumulus congestus ou des cumulonimbus si le front est très actif. Des précipitations apparaissent avec parfois des orages. Des stratocumulus et des stratus complètent les nuages dans l'étage inférieur. Lorsque la trace au sol est passée, nous sommes dans la traîne de la perturbation. La situation est **instable**: Déplacement horizontal / nuages de type **cumuliforme**.

# Météorologie - Fiches techniques - Résumé

- L'occlusion est une zone où le front froid rejoint le front chaud. L'air chaud est totalement rejetée en altitude. Elle marque le début de la désagrégation de la perturbation car la dépression se comble alors. Le temps est perturbé à plus longue échéance qu'avec un front. L'occlusion s'enroule souvent autour du centre dépressionnaire (D) en formant un Vortex (Spirale).
- Front stationnaire: Limite entre deux masses d'air qui sont quasiment immobiles.
- Un nuage c'est un ensemble visible de minuscules particules d'eau liquide et/ou de cristaux de glace en suspension dans l'atmosphère. Ils se forment par condensation d'une partie de la vapeur d'eau contenue au cours de son ascension.
- Il existe 2 grand types de nuage:
  - Forme isolée, aspect « choux fleur ». Terminaison: cumulus. Gouttelettes moins nombreuses mais de diamètre important de 40 microns en moyenne et 5g d'eau/m<sup>3</sup>.
  - Forme soudée, étalée en couches superposées (strates). Terminaison: Stratus. Gouttelettes nombreuses mais de petit diamètre < à 10 microns et 0,5g d'eau/m<sup>3</sup>.
- Les nuages de l'étage supérieur sont constitués de cristaux de glace. Ci; Cs; Cc. Préfix: Cirr...
- Les nuages de l'étage moyen sont en général constitués de gouttelettes d'eau. On peut aussi y trouver des cristaux de glace si la température est très basse. Ac; As (Alto) Ns (Nimbo)
- Les nuages de l'étage inférieur sont constitués de gouttelettes d'eau. Sc; St (Strato); Cu; Cb (cumu...)
- L'importance de la couverture nuageuse s'évalue en octas.
  - couverture de 1 à 4 octas: épars ou scattered (SCT)
  - couverture de 5 à 7 octas : broken ( présence de "trous" de ciel bleu) (BKN)
  - couverture de 8 octas, overcast (couvert) (OVC).
- Le brouillard est une suspension de fines gouttelettes d'eau réduisant la visibilité à moins d'1 Km.
- La brume, visibilité réduite à moins de 5km, mais supérieure à 1 Km.

# Météorologie - Fiches techniques - Résumé

- Le vent est un déplacement d'air horizontal dû à des différences de pression (gradient de pression) entre les points de la surface de la terre. La force de gradient de pression entraîne l'air des hautes pressions vers les basses pressions. Plus les différences de pression sont importantes et plus cette force est importante. isobares rapprochées = vent fort.
- le jet stream. Vent qui souffle d'ouest en est sur une bande de quelques centaines de kilomètres de largeur et à une altitude d'environ 10 000 m. Sa vitesse atteint fréquemment 200 à 300 km/h.
- En France, il existe deux cas de vents forts:
  - dans la vallée du Rhône : le mistral (N vers S)
  - entre les Pyrénées et le Massif Central, le vent est canalisé de Toulouse à Carcassonne. la tramontane (W vers E).
  - vent de la Méditerranée E vers W de Carcassonne à Toulouse. le vent d'Autan
- L'onde: Lorsque le vent aborde un relief perpendiculairement à son flanc, il est dévié vers le haut par celui-ci. L'onde se repère facilement lorsque des nuages lenticulaires se forment au sommet des ressauts et des cumulus de rotor sur le relief. Ces derniers sont perpétuellement en train de se former dans leur partie au vent et de se désagréger dans leur partie sous le vent.
- On appelle brise un vent d'origine thermique.
- Les brises de pente: Les faces ensoleillées des reliefs chauffent. L'air de ces pentes s'élève: une brise montante s'installe. Au coucher du soleil le phénomène s'inverse.
- Brise de mer et Brise de terre. Dans la journée, la terre chauffe plus vite que la surface de la mer. L'air au sol s'élève et l'air marin le remplace. C'est la brise de mer. La nuit le sol se refroidit plus vite que la mer. L'air se refroidit à son contact et descend sur la mer. C'est la brise de terre.
- METAR = messages codés donnant les informations météo observées régulièrement par la station de l'aéroport (METAR = METéo d'AéRoport).
- TAF (Aerodrome Forecast = prévisions sur un terrain) = messages codés faisant état des prévisions établies pour une période de 9 heures.

Cette représentation en plan d'une famille de perturbations peut être associée aux différents stades de la formation d'une perturbation, *vus en coupes*.

Sens du déplacement

