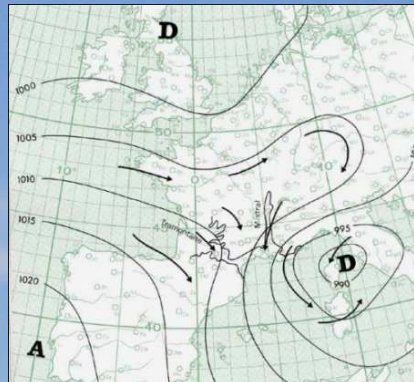
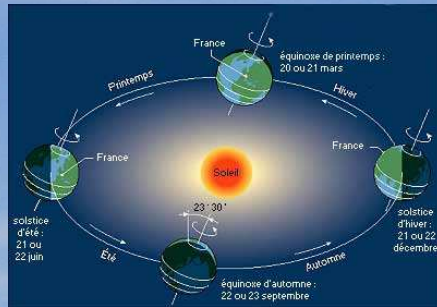
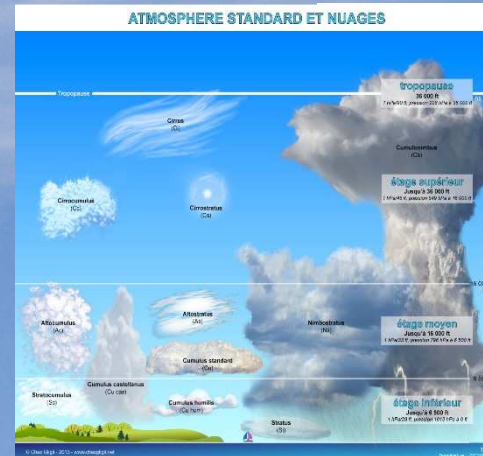
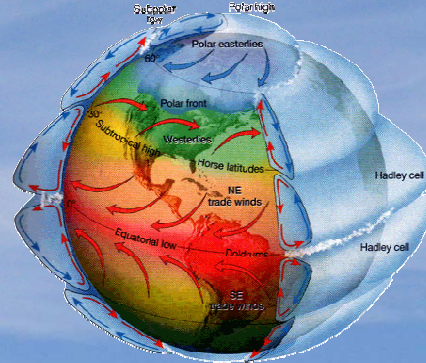
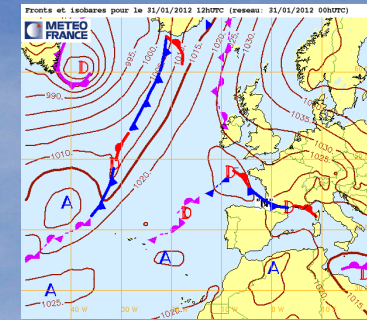
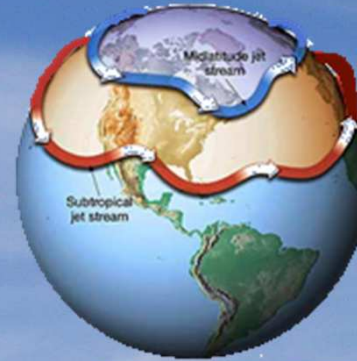
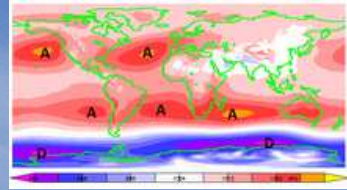
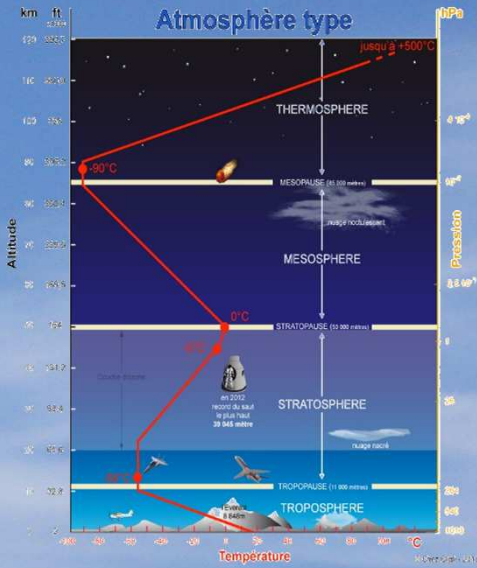


# 1. Météorologie et Aérologie



Arnaud Pecher

# 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>				

# 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 !

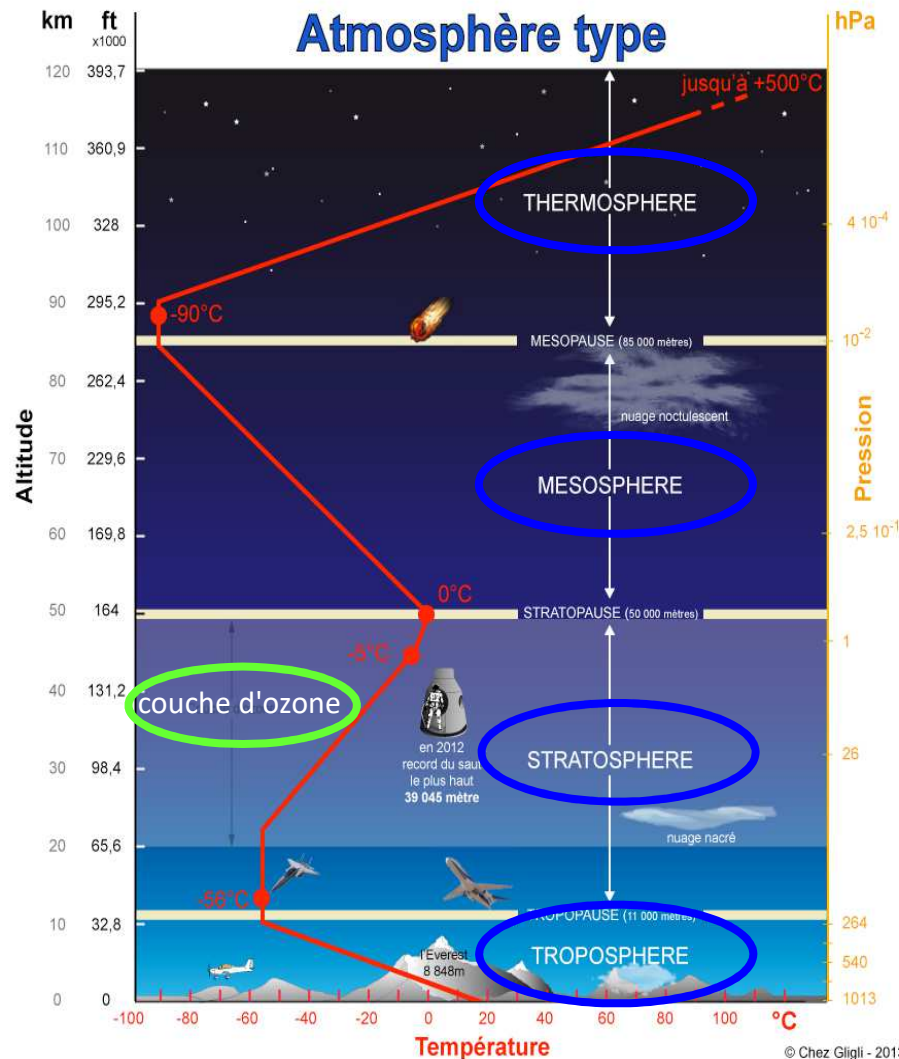
**vapeur d'eau : 0,5 à 5 %**

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**

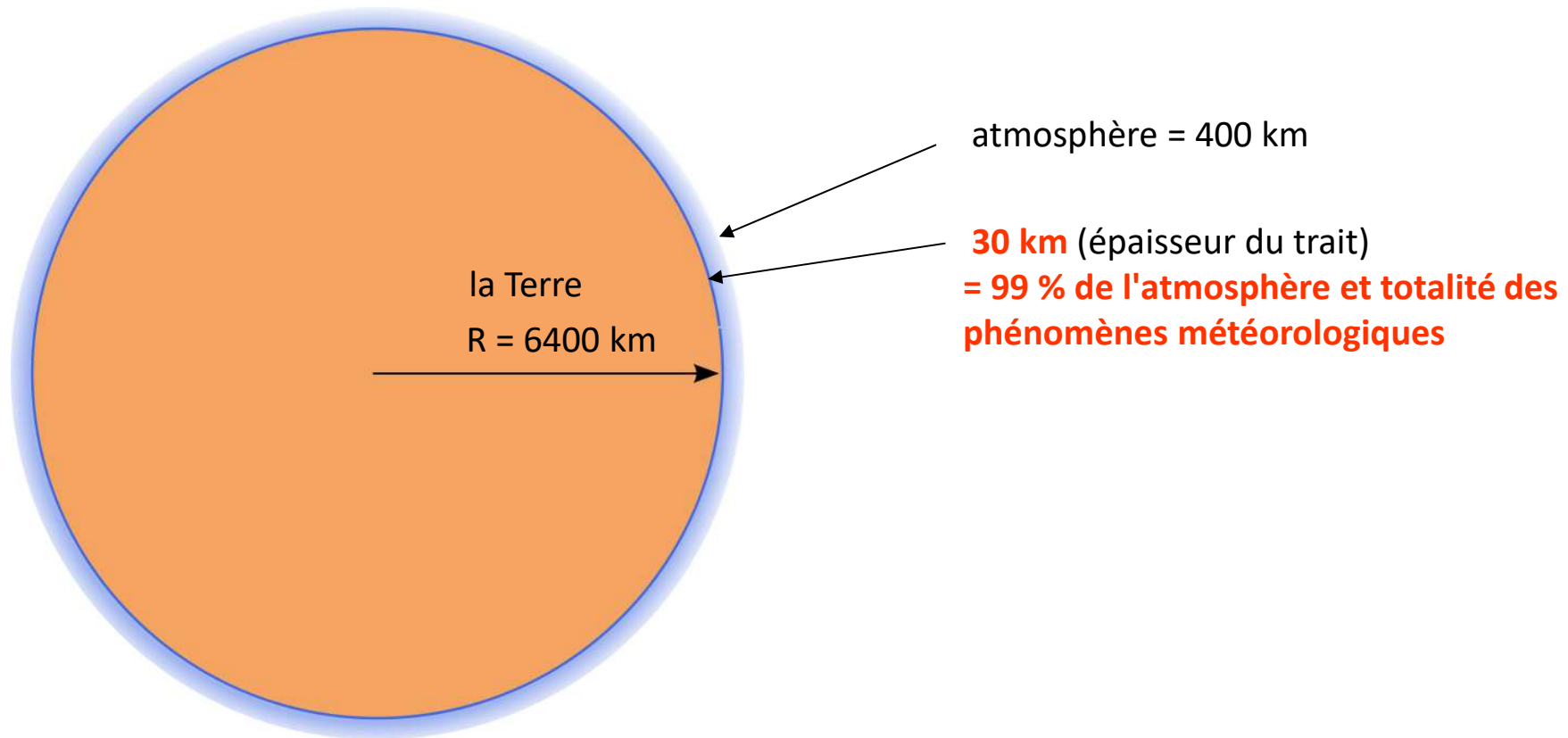
### La troposphère

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

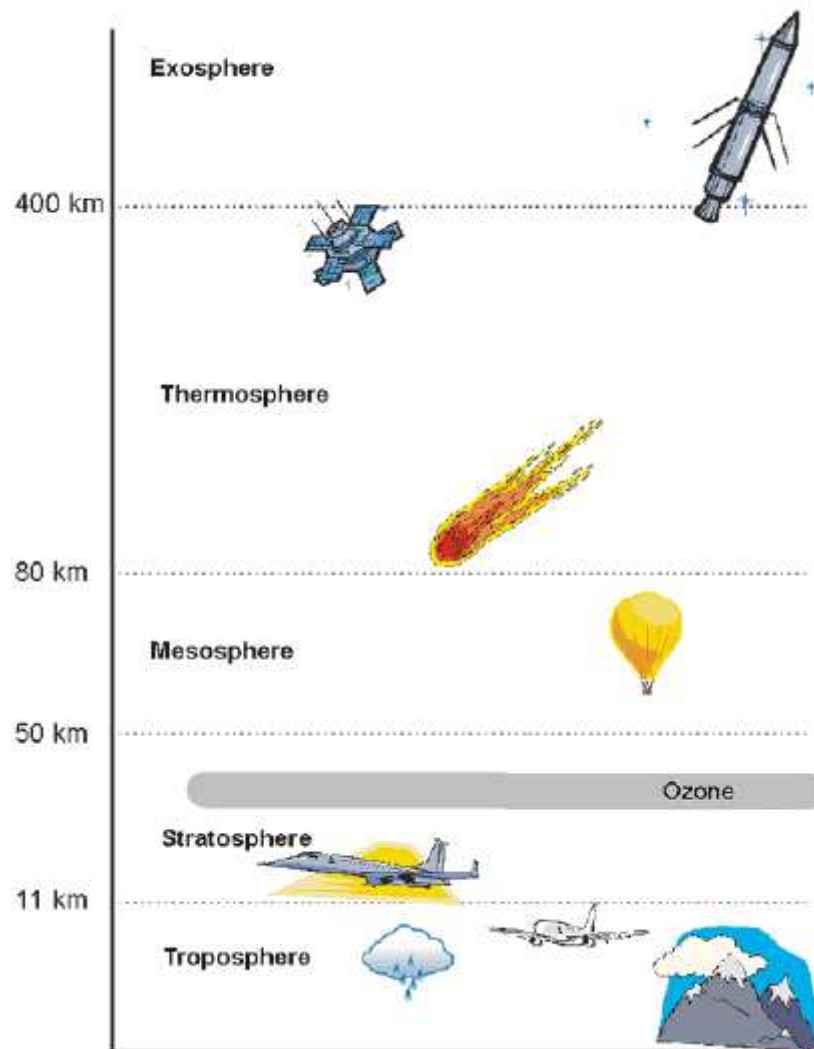
## Épaisseur

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**)

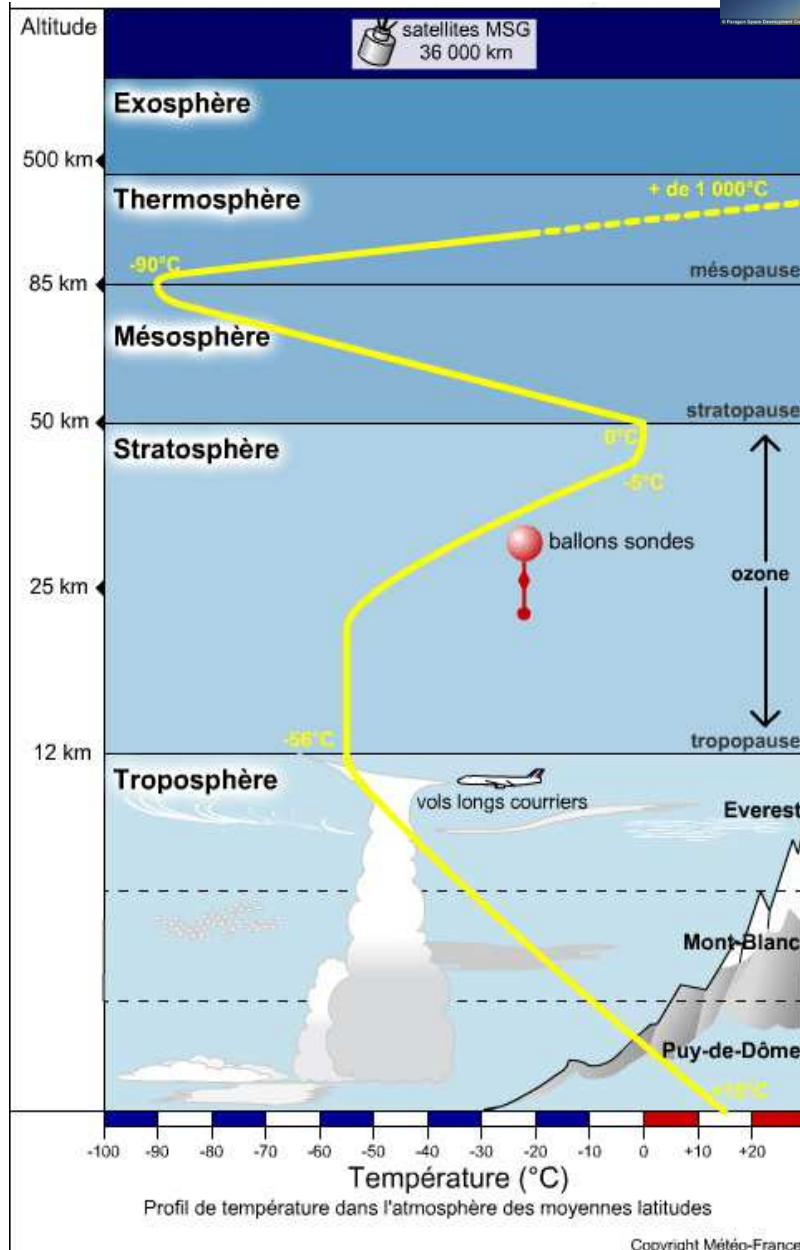


200-400 km : satellites "bas"  
Alan Eustace : saut de 41,4 km  
(par ex. la station spatiale, habitée)

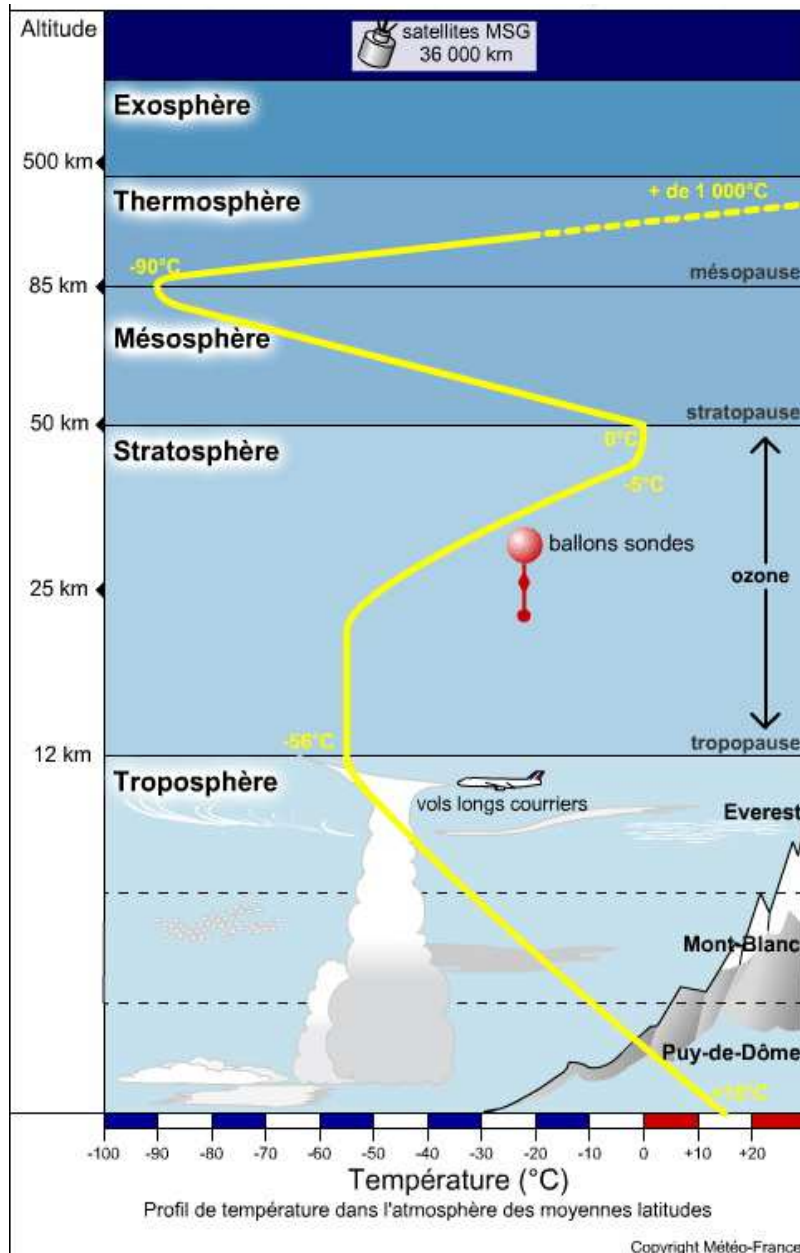
10-20 km avions militaires (et Concorde)

10-12 km : avions de ligne (liners)

1-3 km : avions légers



# Utilisateurs



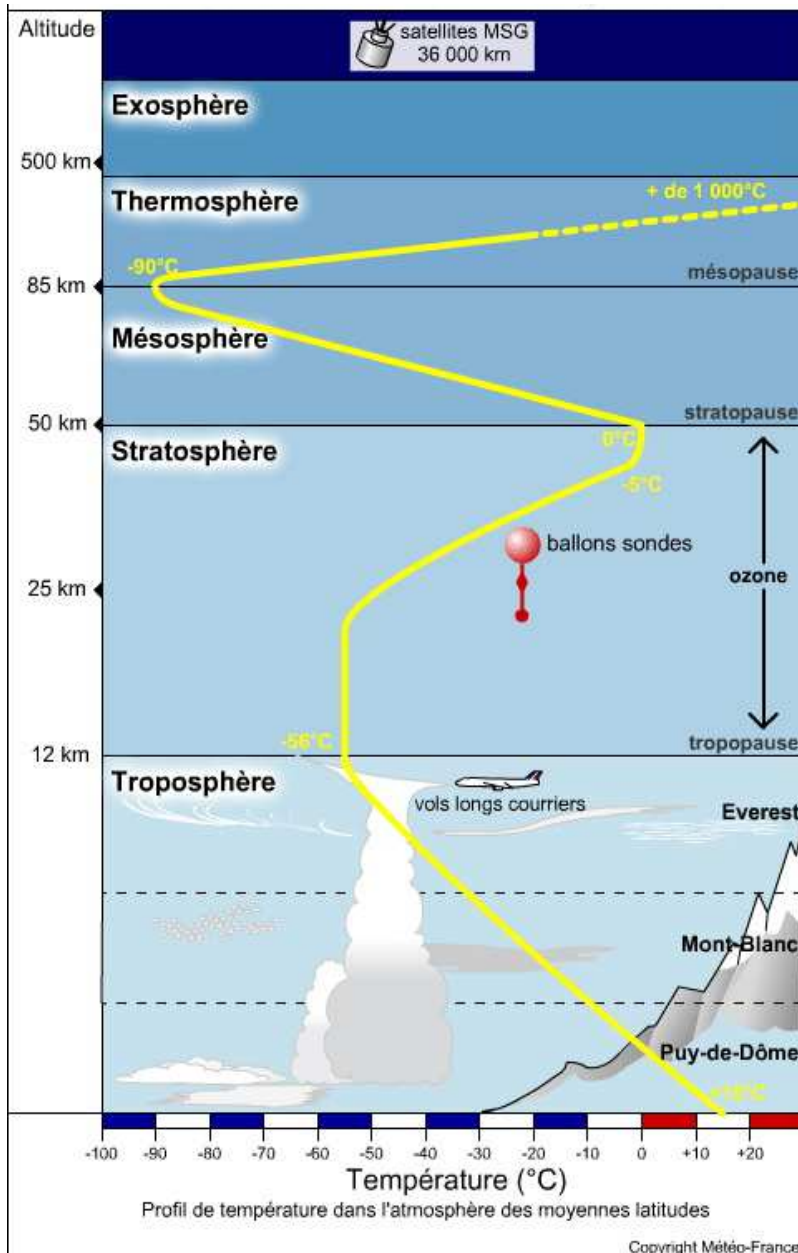
Alan Eustace : saut de 41,4 km

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)

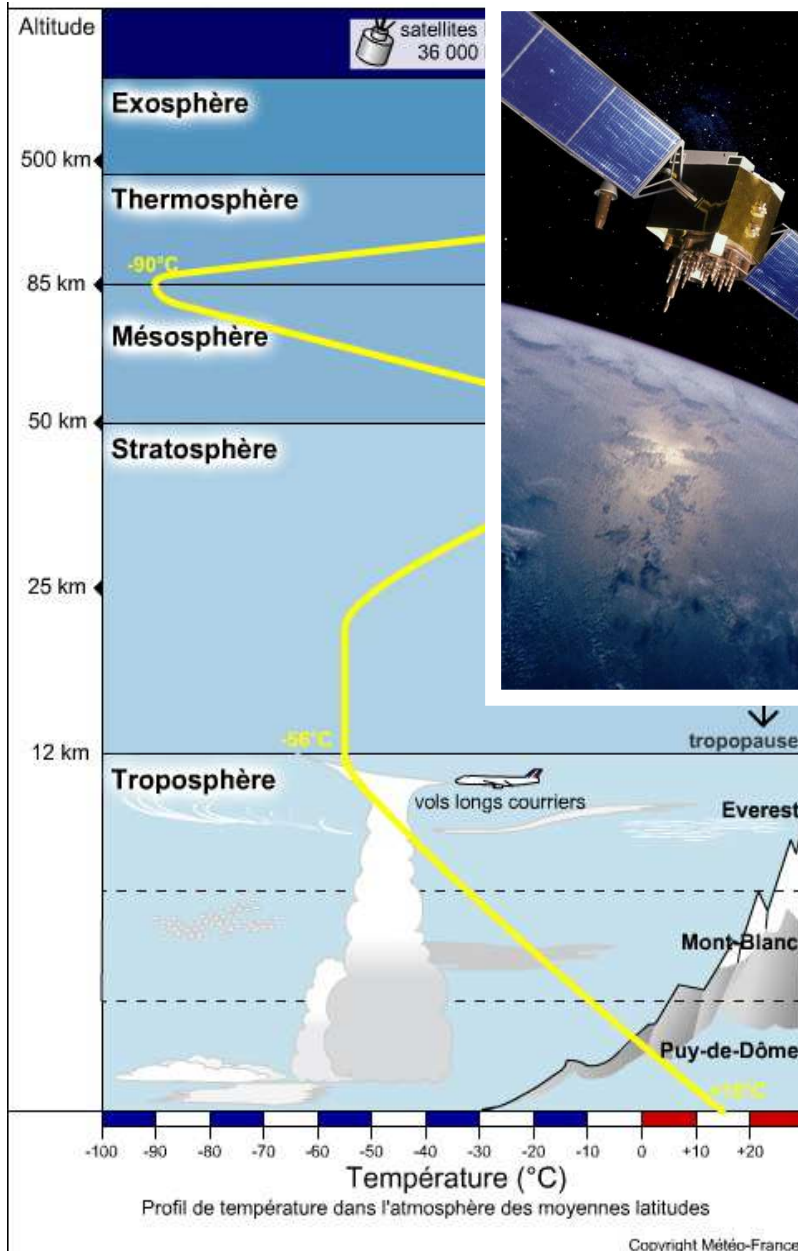
10-20 km avions militaires (et Concorde)

10-12 km : avions de ligne (liners)

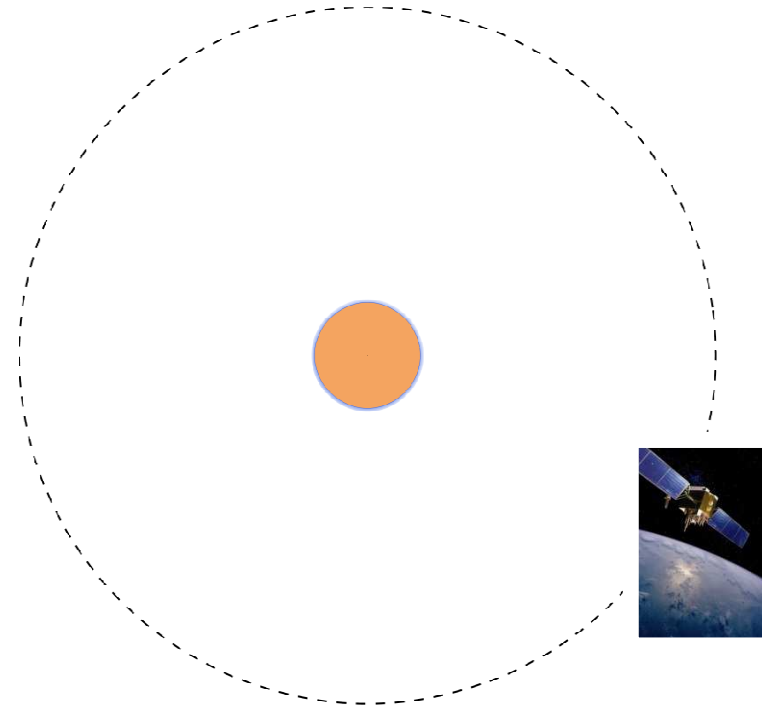
1-3 km : avions légers



# Utilisateurs



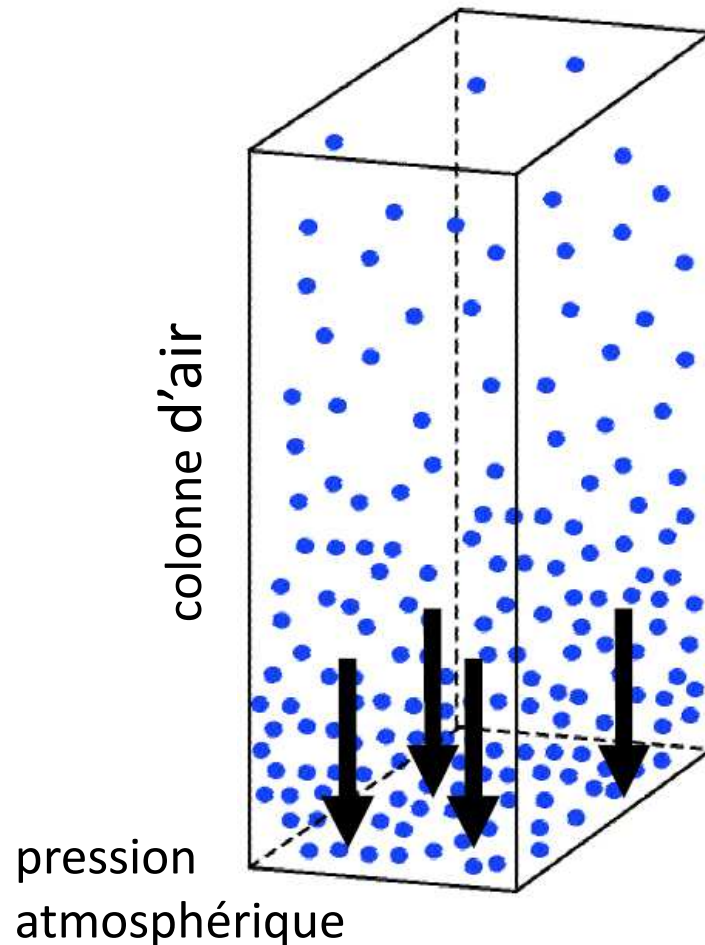
36 000 km : satellites géo-stationnaires (télécom, météo)



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

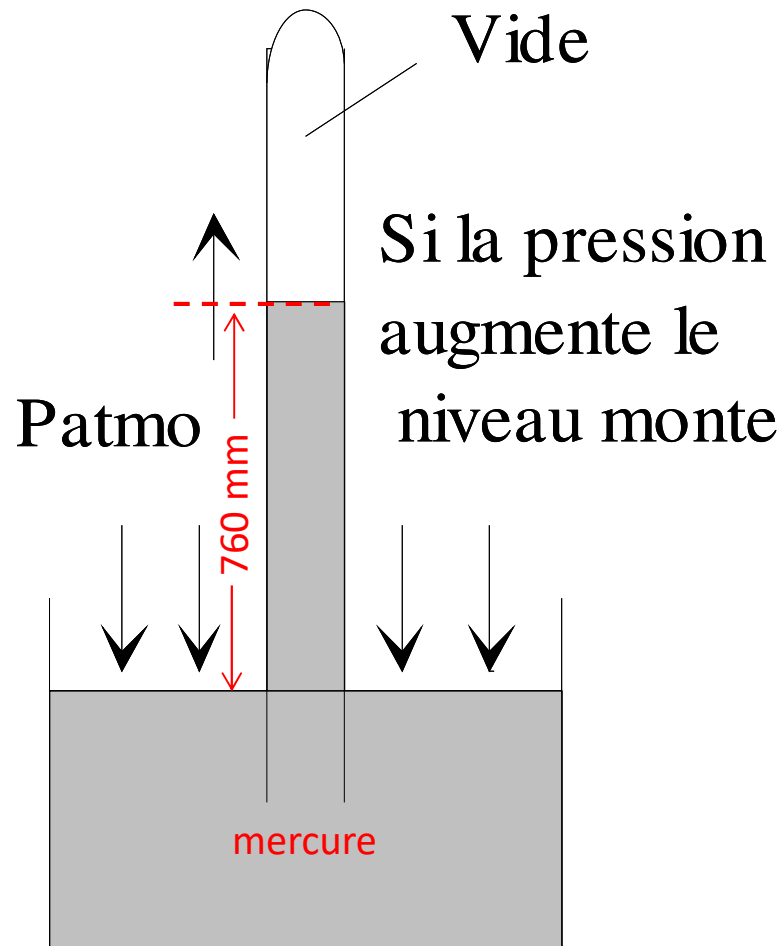


*fig. L. Souteyrat*

C'est le **poids** de la colonne d'air surmontant une surface d' $1 \text{ m}^2$ . 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 ( $1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa}$ )**.  
On utilise également **le millibar ( $1 \text{ mbar} = 1 \text{ hPa}$ )**.

## Mesurer la pression

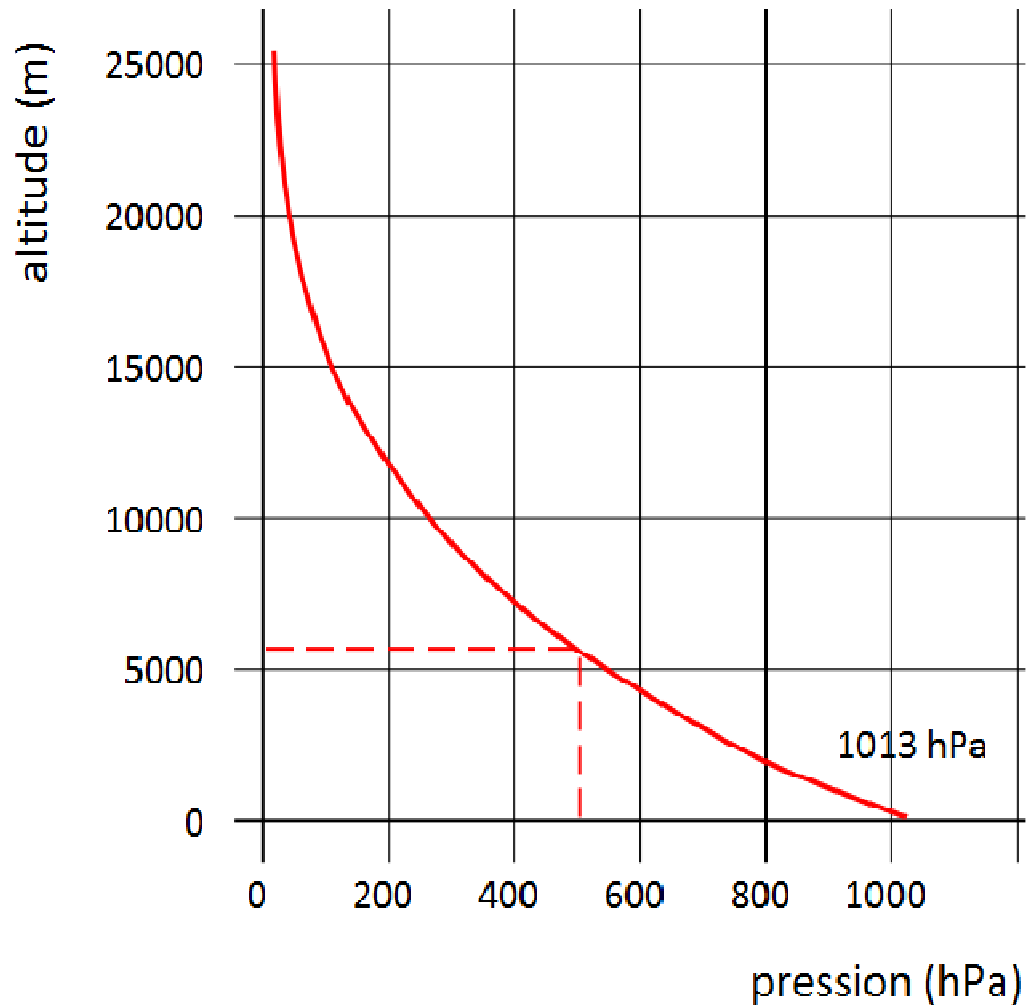


On utilise un **baromètre** (inventé par Torricelli en 1644)

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



# Variation de la pression avec l'altitude



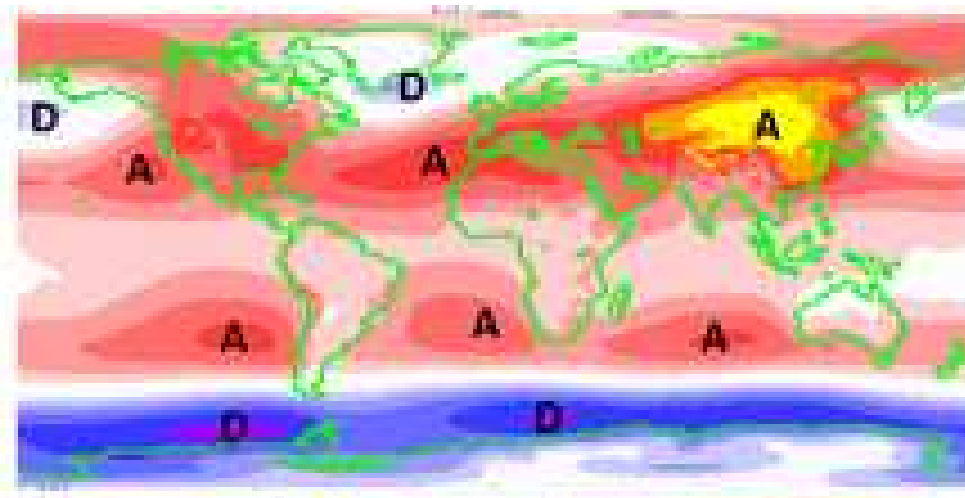
La variation de pression est surtout rapide en basse altitude :

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 2500ft
- 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

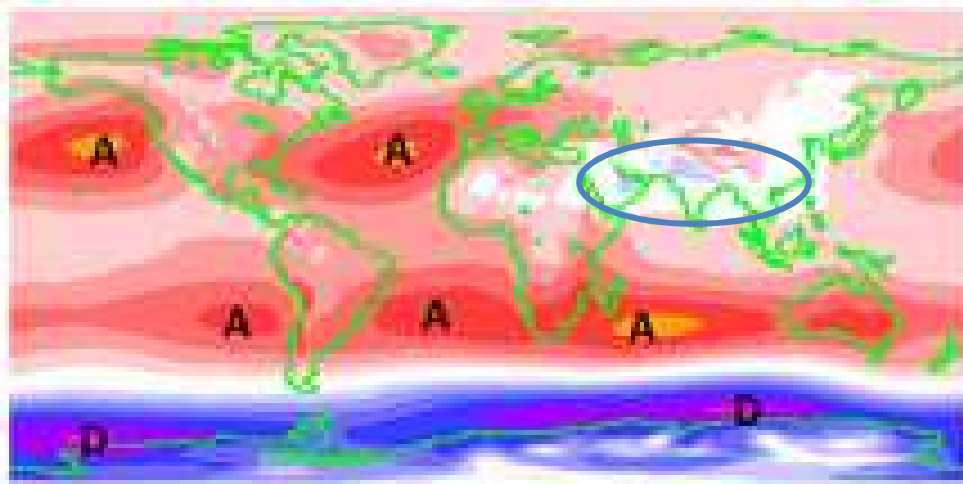


Exemple 1 : une carte à échelle du monde des pressions observées **un jour d'hiver** (en rouge, pression hautes; en bleu pressions basses)

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

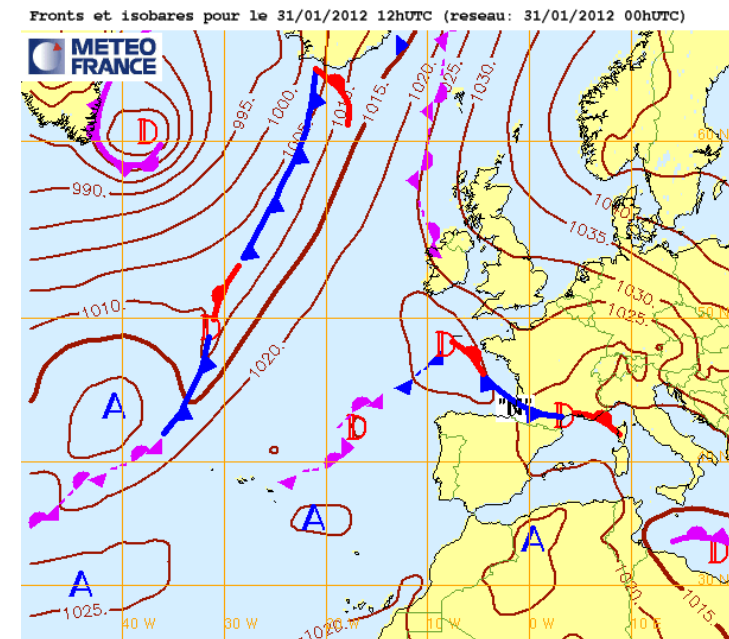
# Variation de la pression au sol



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)

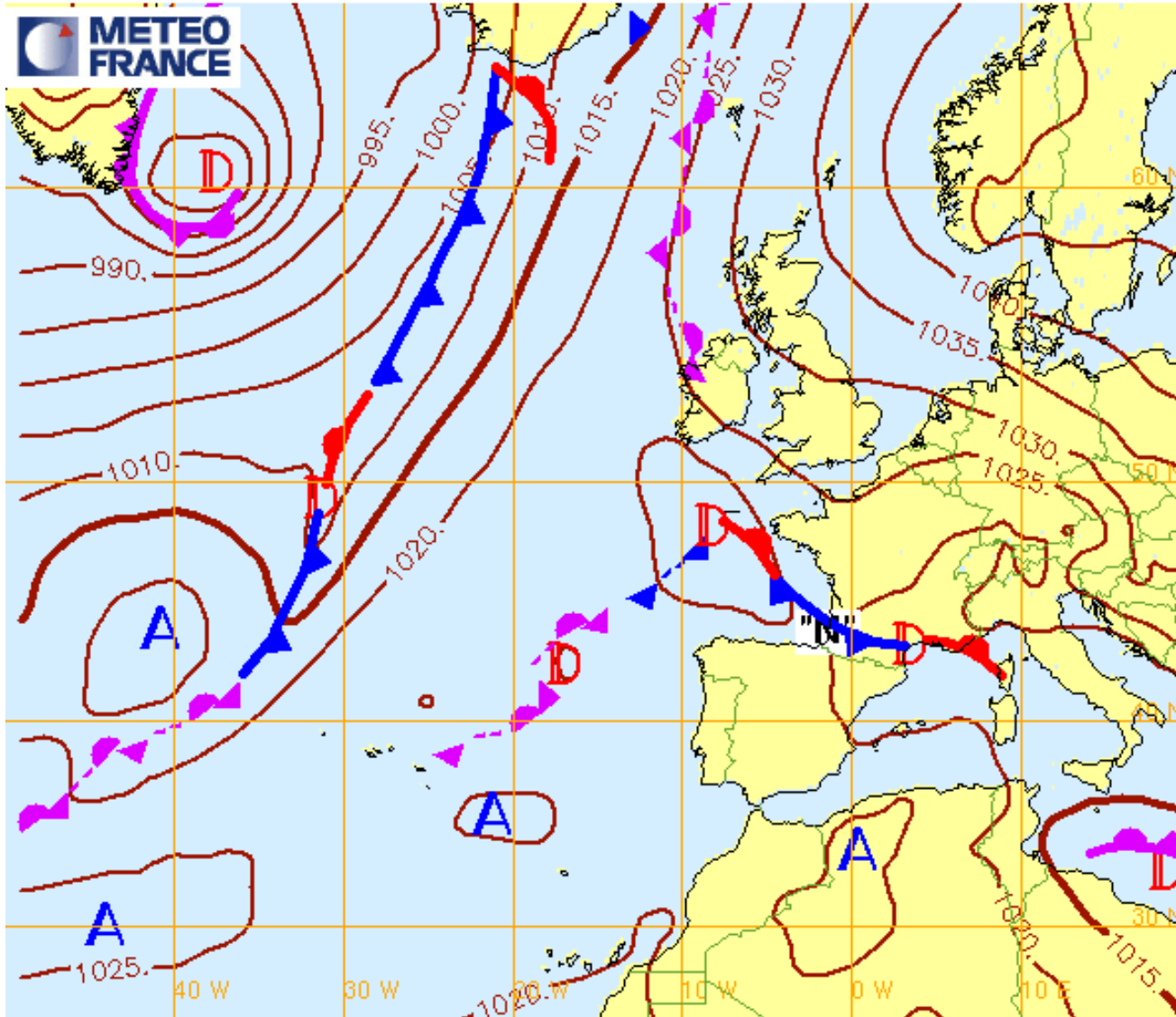
Sur les cartes, on peut dessiner les courbes joignant les points de même pression au niveau de la mer : les **isobares**

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:

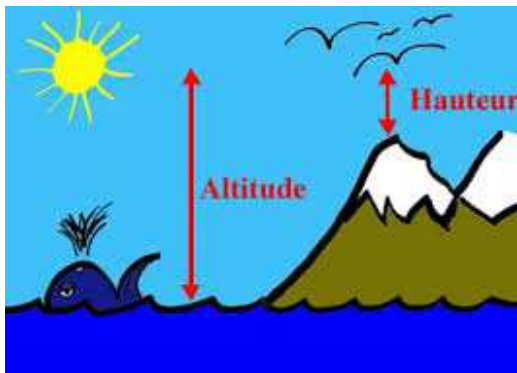
- les **dépressions (D)**
- les **anticyclones**, ou zones de haute pression (A)
- les limites entre les masses d'air chaudes et froides (**les fronts**)

# 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 :

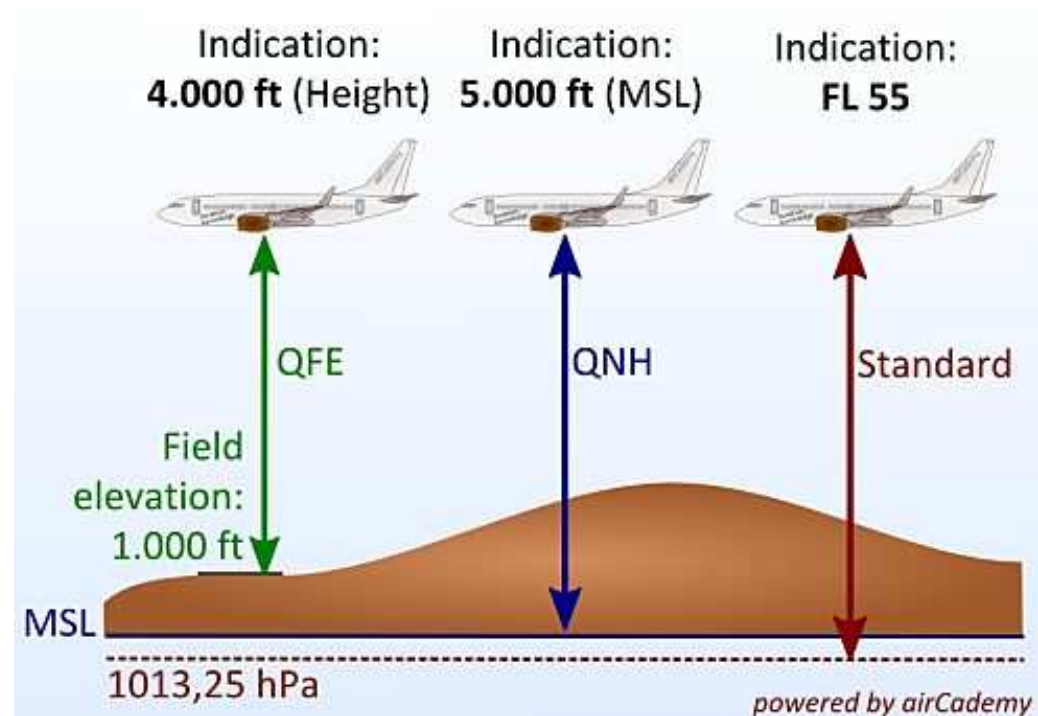
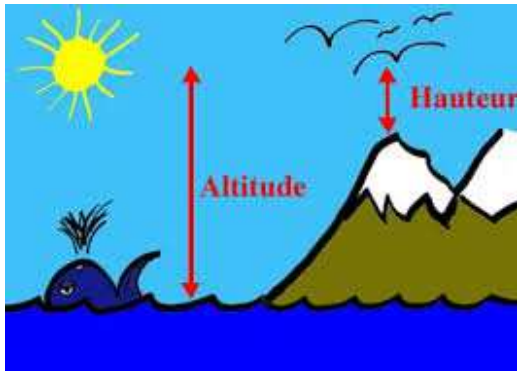
- **l'altitude** = hauteur au dessus de la mer (MSL)
- **la hauteur au dessus du terrain**

# 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** »

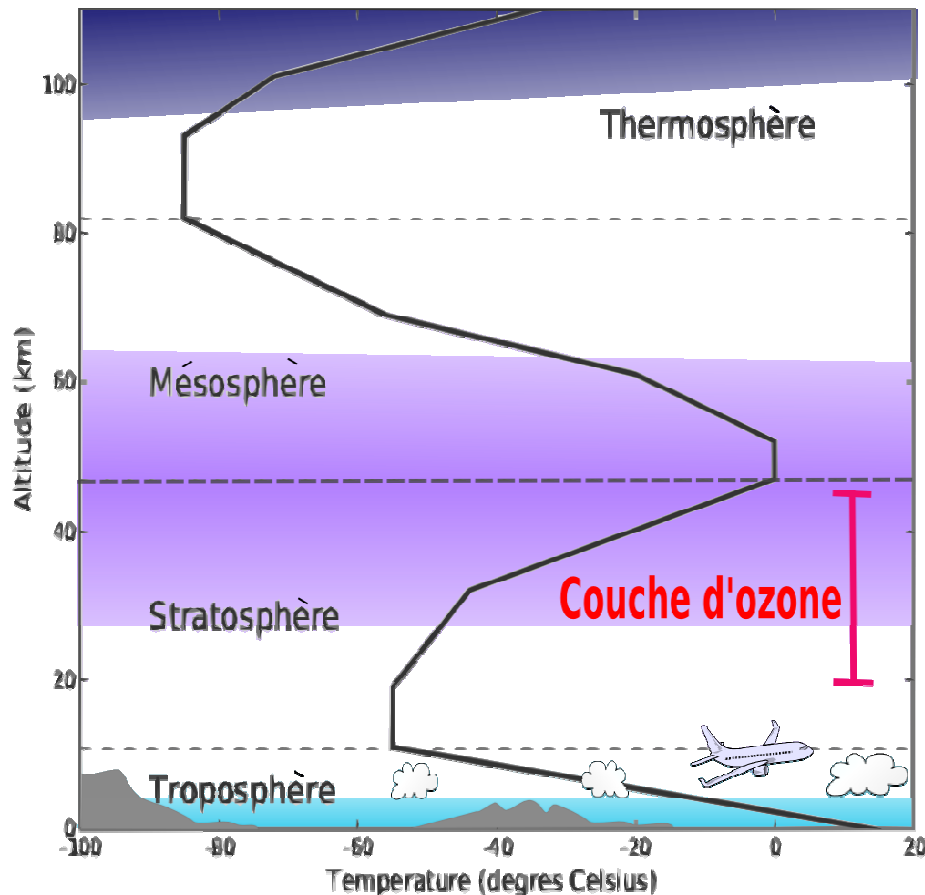


On peut changer le **calage de l'altimètre** pour lui faire afficher soit :

- **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

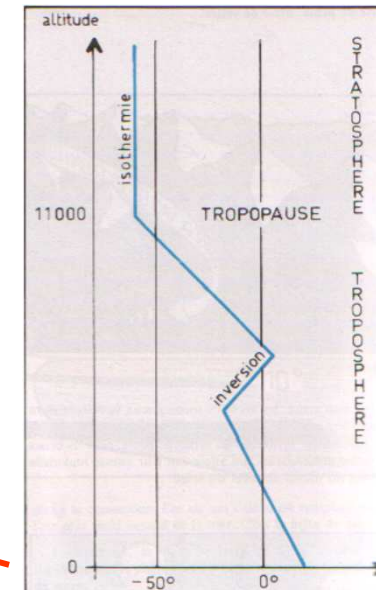


### La température évolue avec l'altitude

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

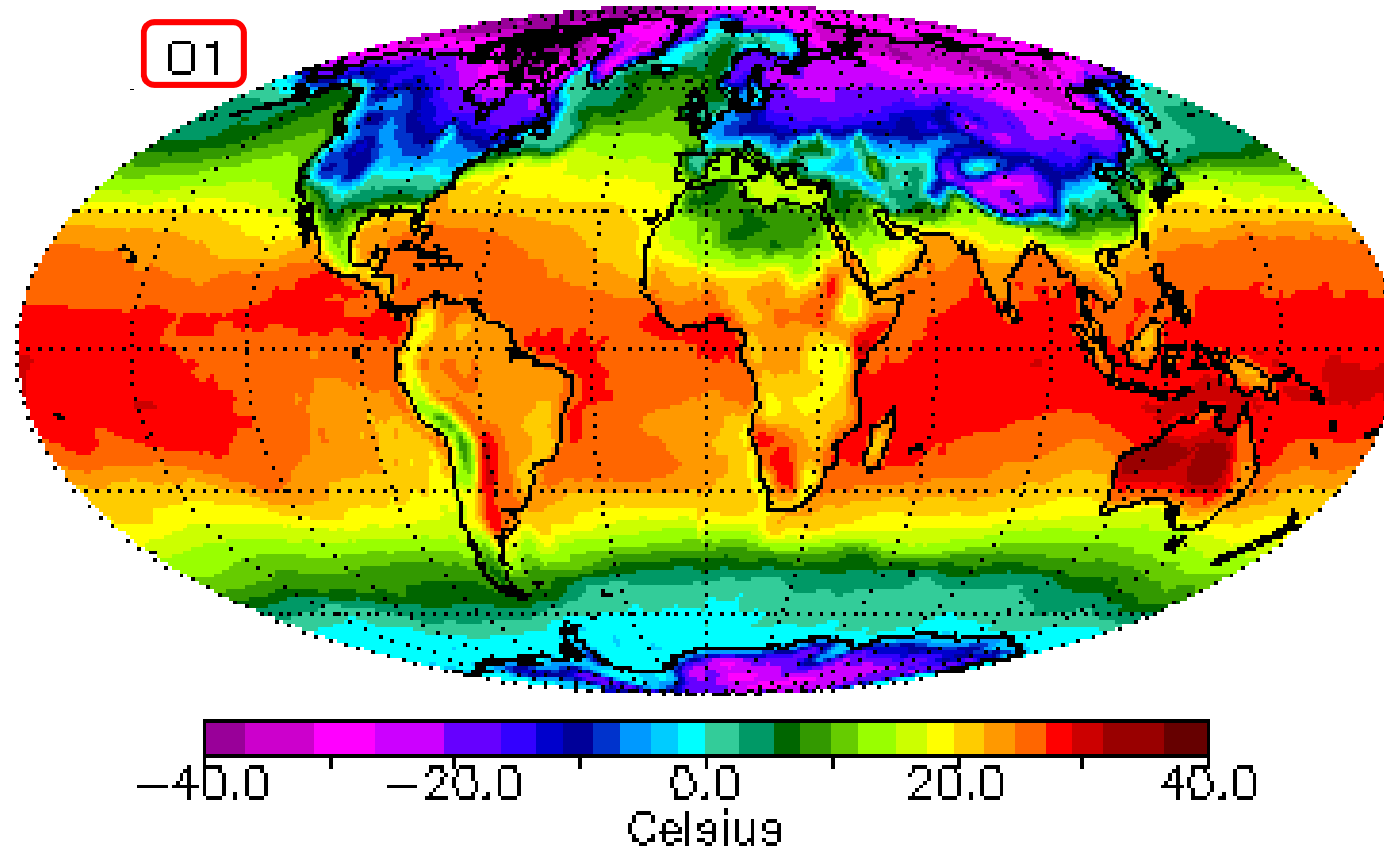
- **6,5°C / 1000m** (environ 2° / 1000 ft)  
(on perd 6°5 quand on monte de 1000 m)

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



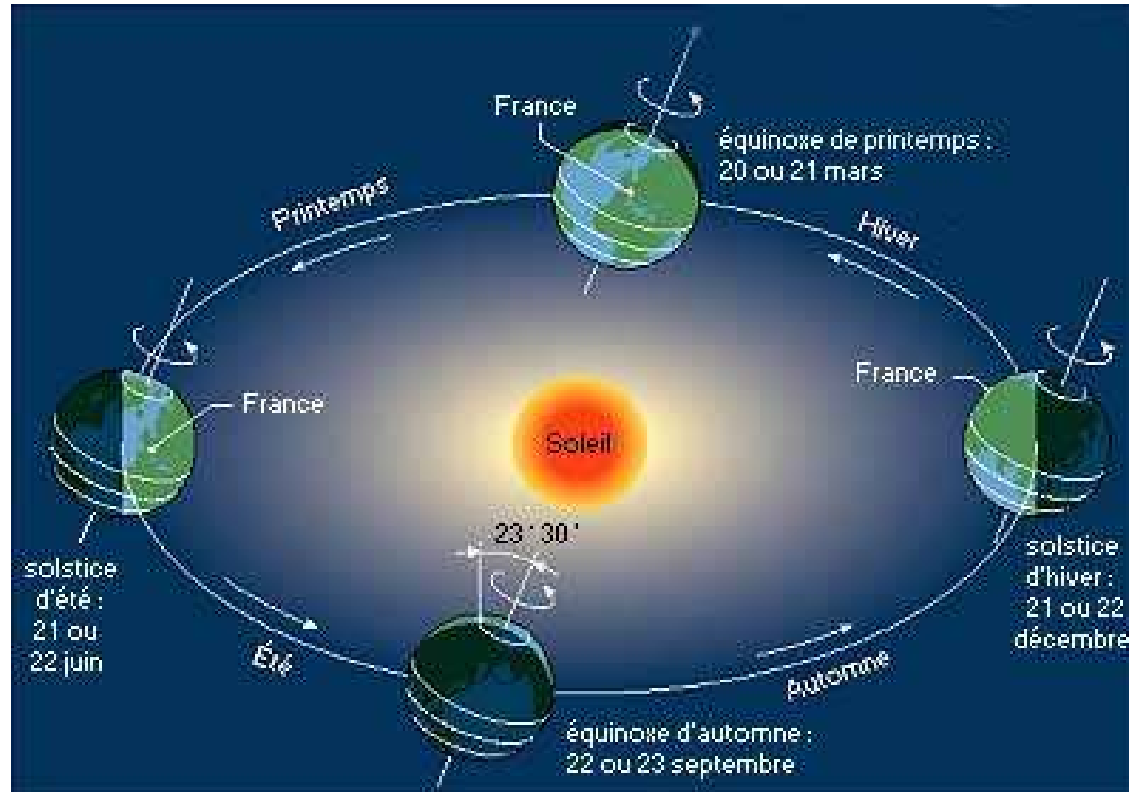


## Variation saisonnière de la température



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.

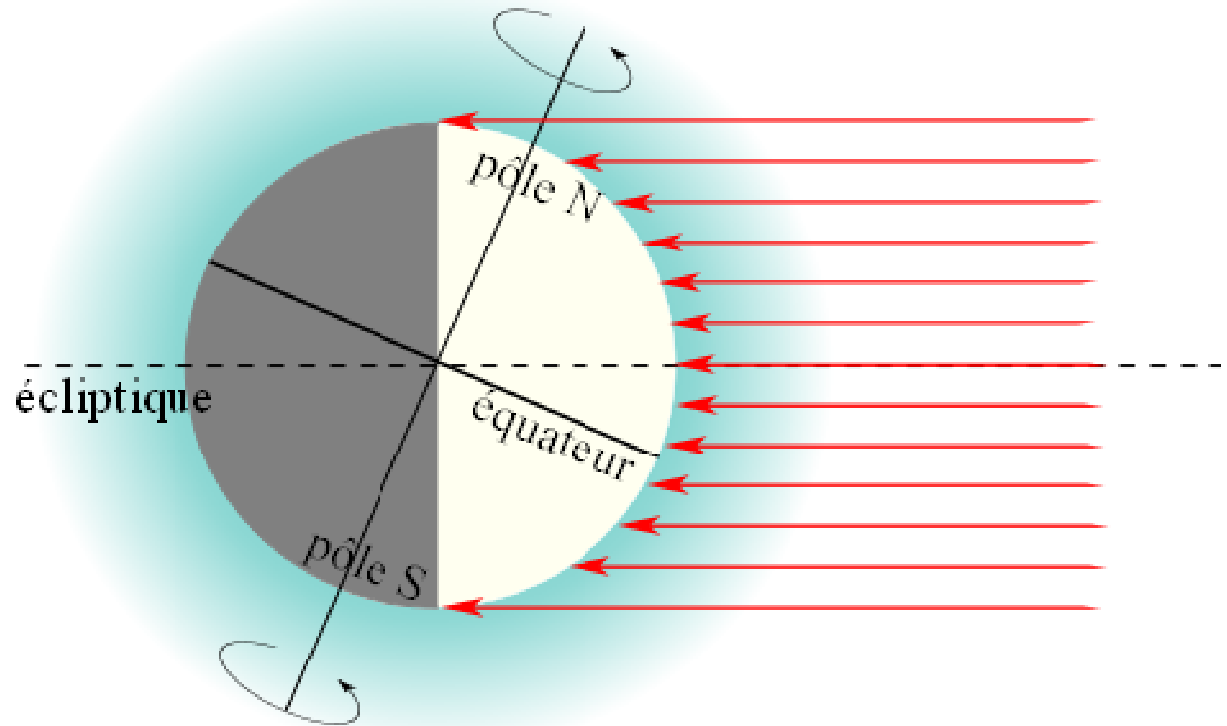
La Terre fait **un tour sur elle-même en 1 jour**, autour d'un **axe incliné** de  $23,5^\circ$  sur l'écliptique (axe passant par les pôles Nord et Sud)

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

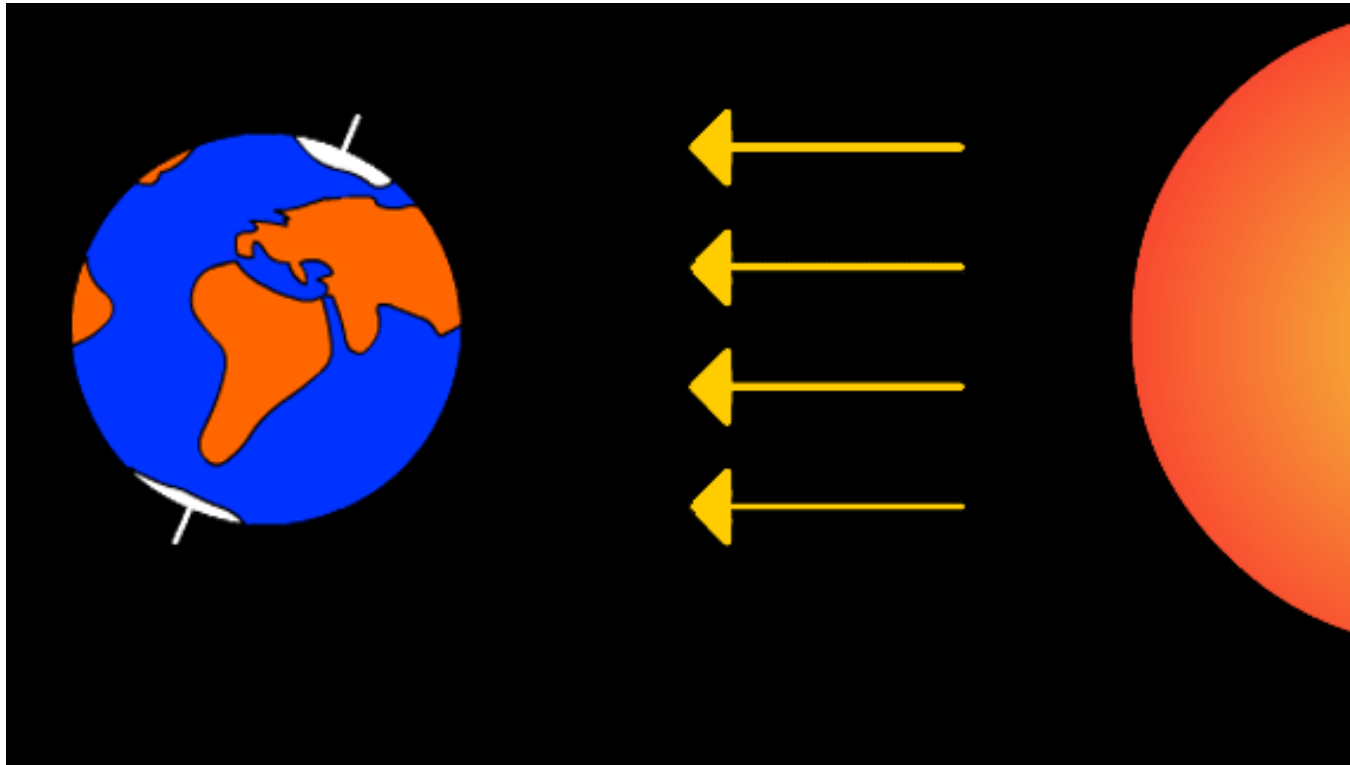
L'épaisseur d'atmosphère à traverser par le **rayonnement solaire** (en rouge), et l'angle sous lequel il arrive, varient selon la **latitude** :

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



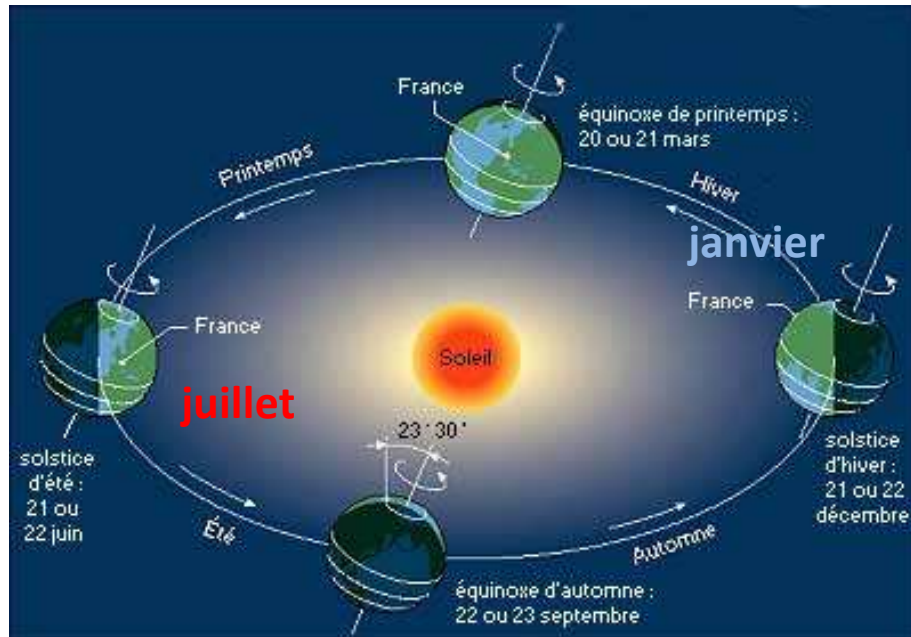
- **près des tropiques et de l'équateur**, moins d'atmosphère à traverser, rayons perpendiculaires au sol : **beaucoup d'énergie arrive au sol, l'air est chaud**

# Variation saisonnière de la température

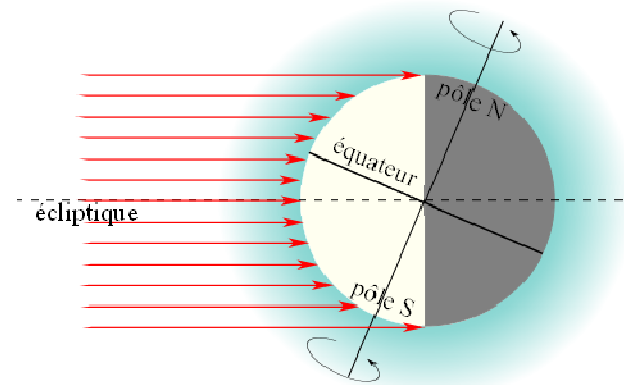


(La main à la pâte)

# Variation saisonnière de la température

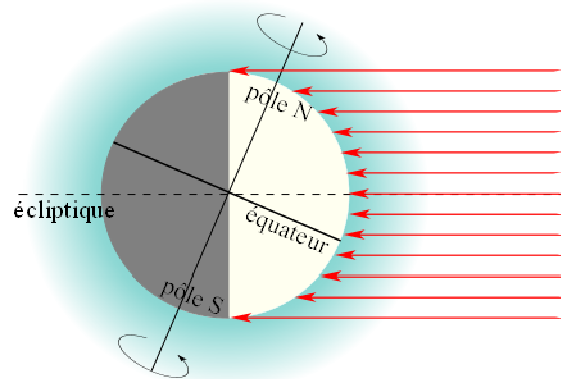


Comme l'axe de la Terre est incliné, **les saisons s'inversent entre hémisphères Nord et Sud**



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)

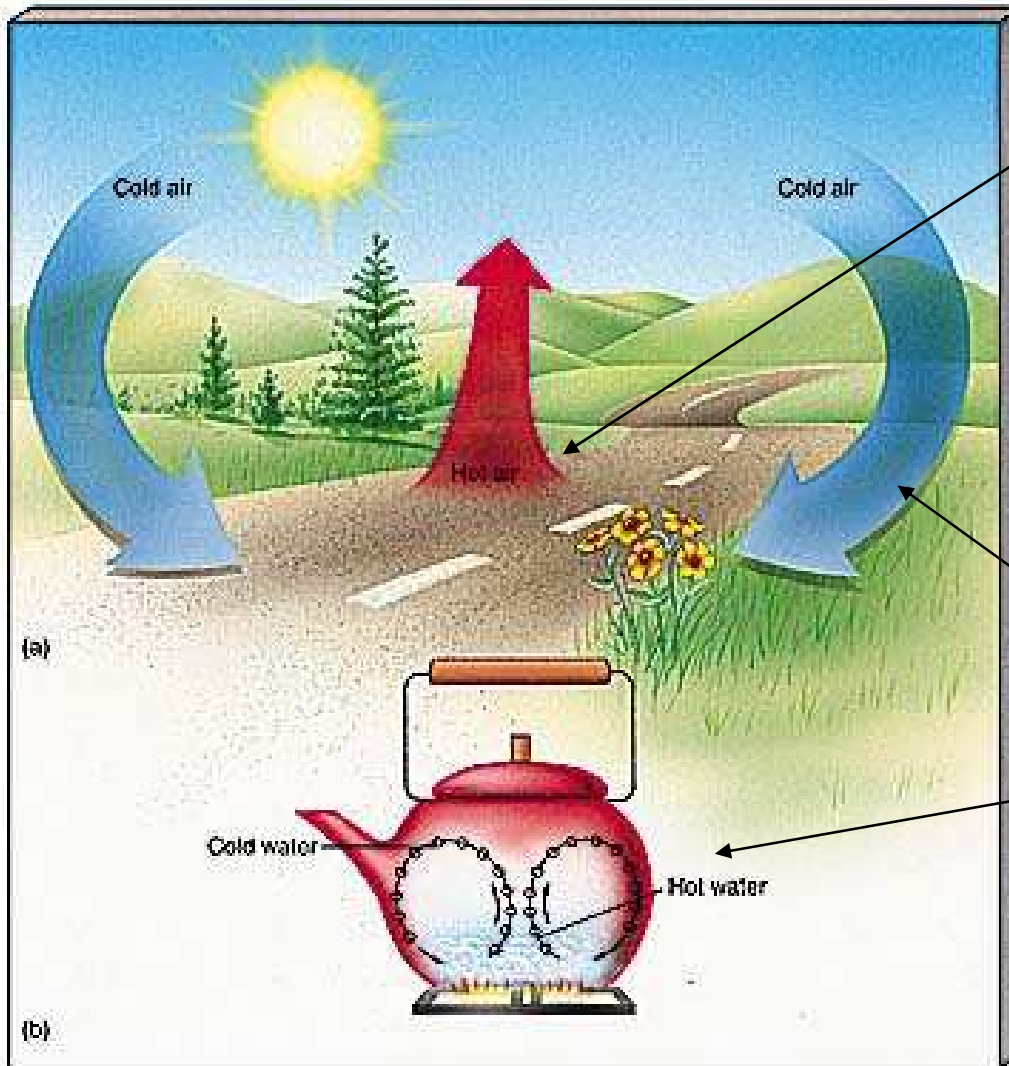
## Variation locale de la température

- Selon la **nature du sol** une même énergie arrivant du soleil par **rayonnement** 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



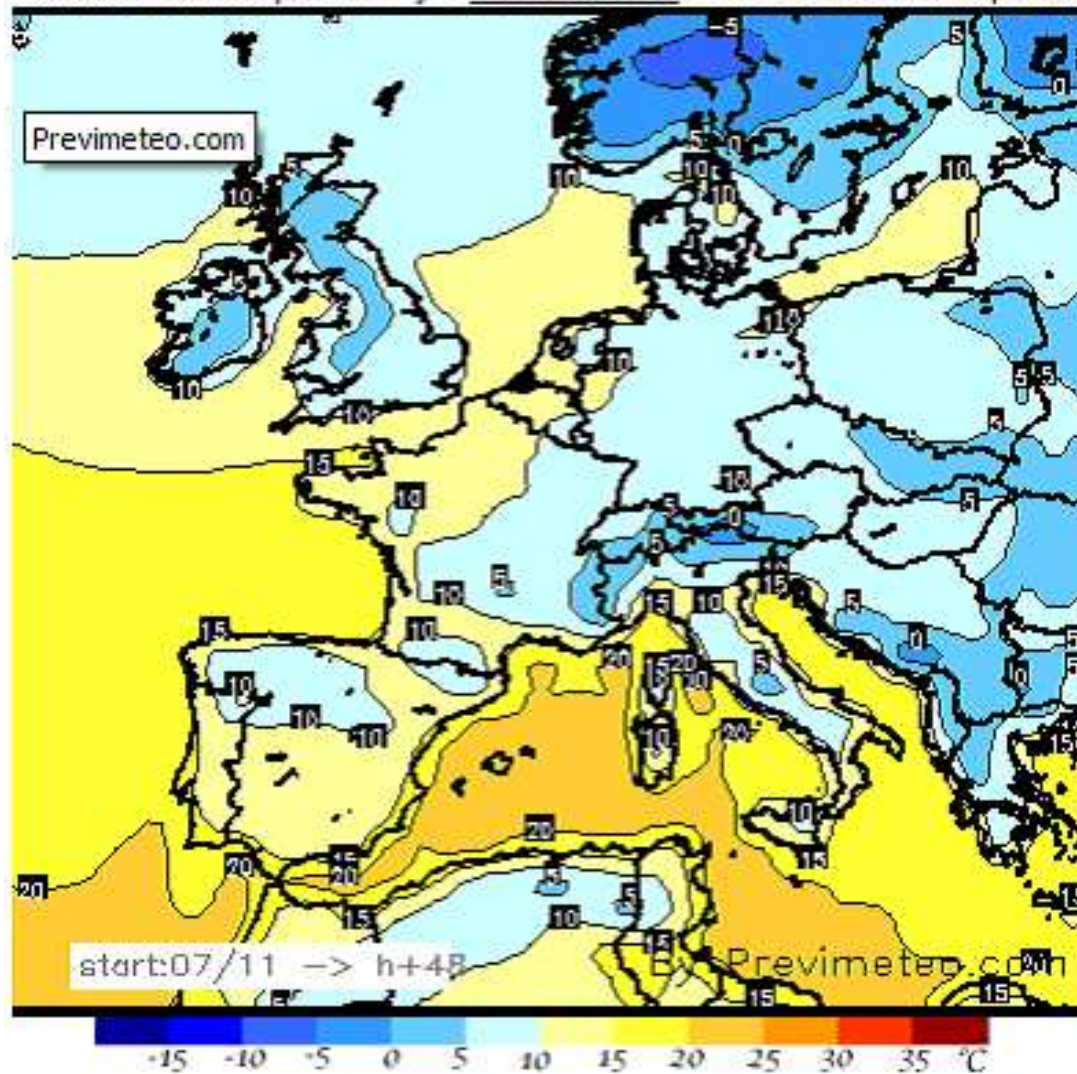
**Conduction** : l'air est réchauffé au contact du sol chaud. La chaleur "s'écoule" du sol dans l'air

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



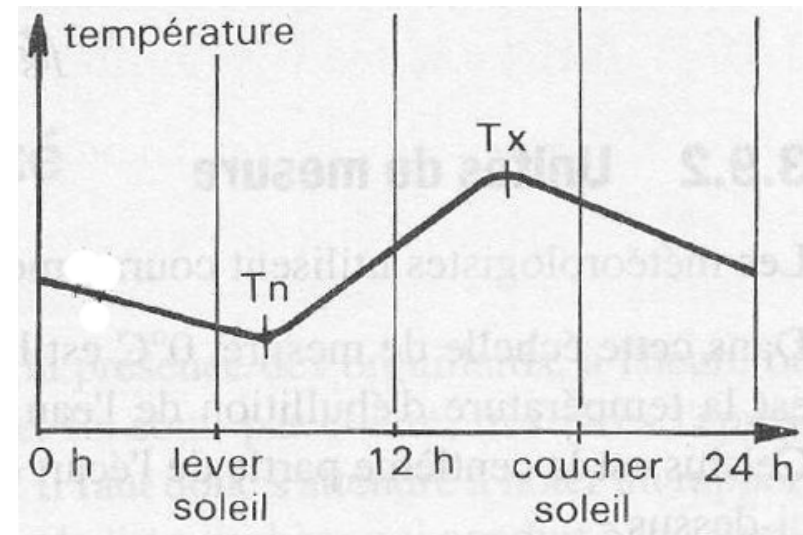
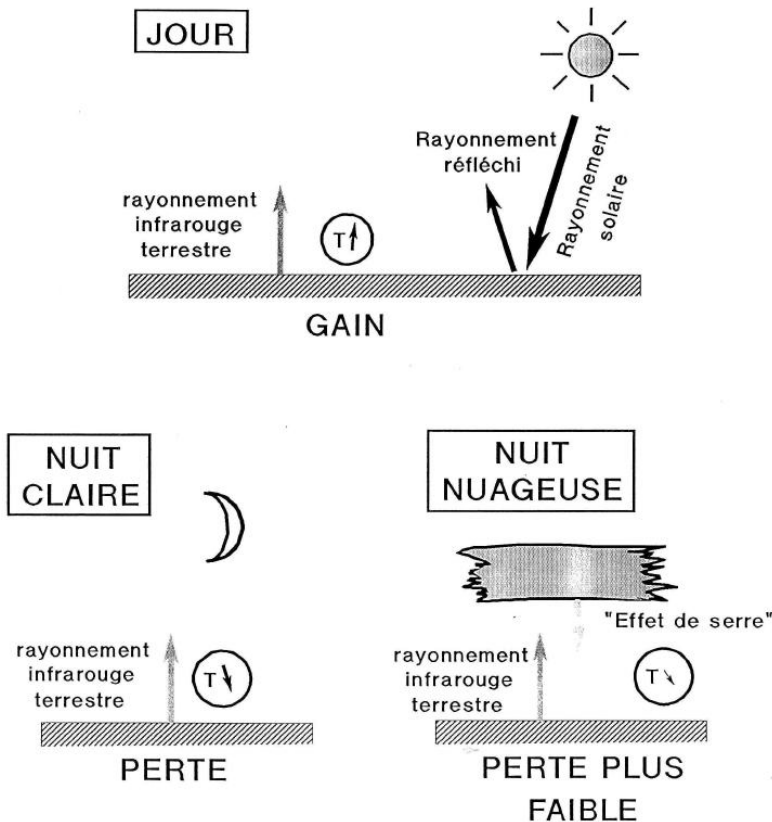
# Variation locale de la température

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.

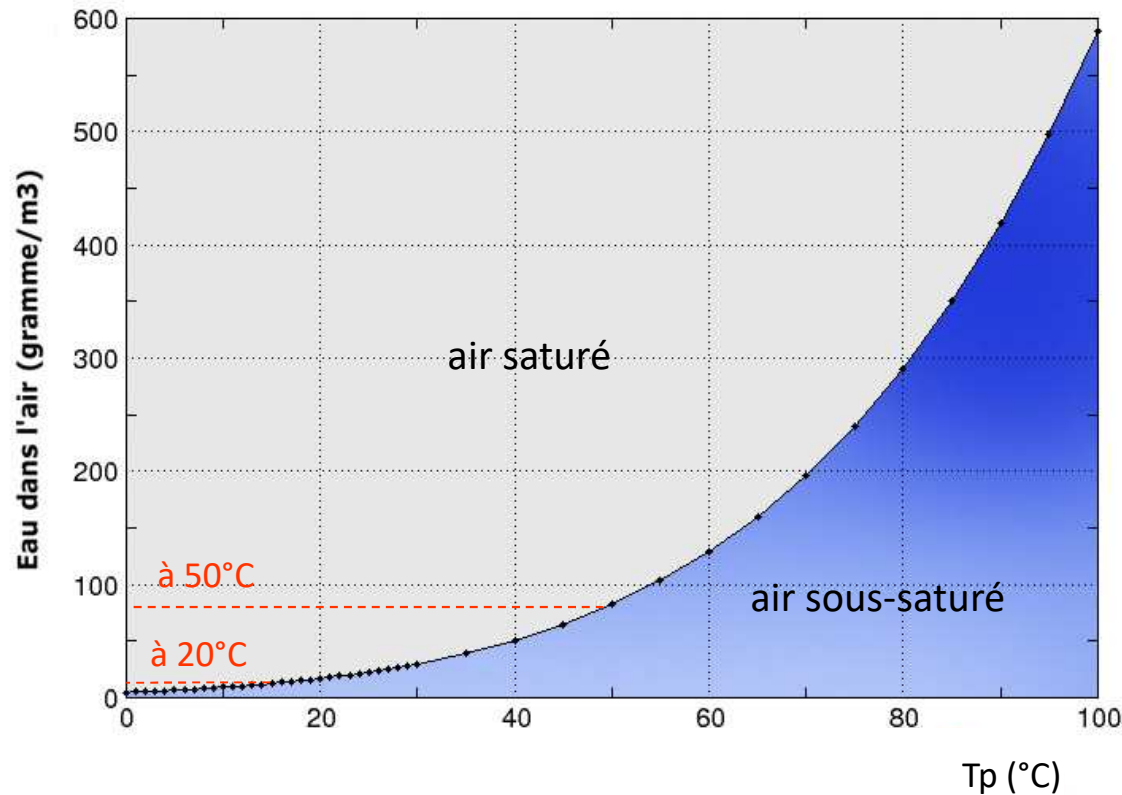


<http://ffa-jeunes.ens-cachan.fr>

# 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

$T_p$ °C	air Kg/m <sup>3</sup>	eau gr/m <sup>3</sup>	% 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

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

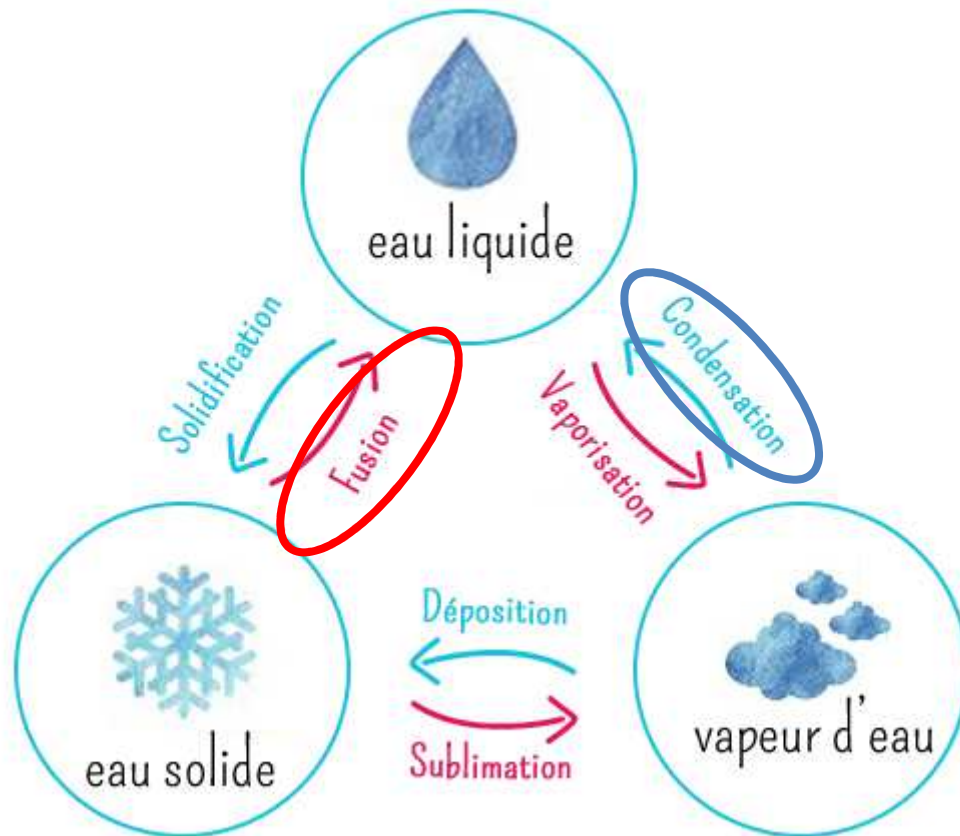
L'**humidité relative**, ou degré hygrométrique se mesure avec un **hygromètre** ou un **psychromètre**



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)

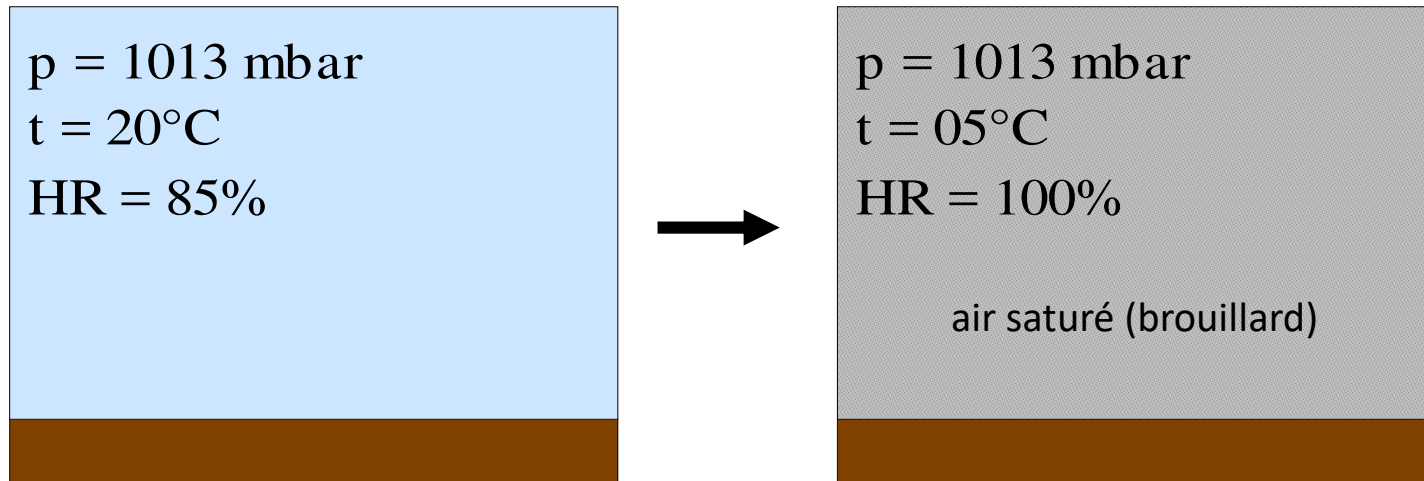


## Saturation de l'air humide

- Une masse d'air pourra atteindre la saturation de deux façons différentes :
  - par une **augmentation de la masse de vapeur d'eau dissoute** si elle passe au dessus d'étendues maritimes ou de sols détrempés.
  - 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**.

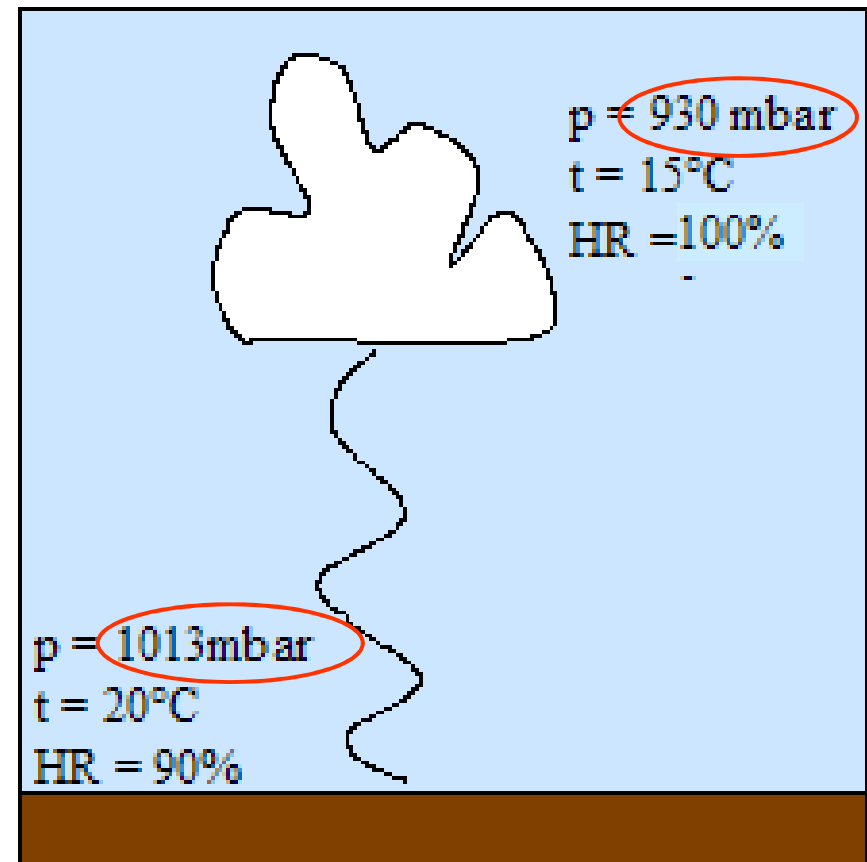
Cela peut se produire au cours du refroidissement nocturne ou au petit matin (rosée ou brouillards).



# Température à laquelle on peut atteindre la saturation

saturation atteinte par baisse de pression (point de condensation)

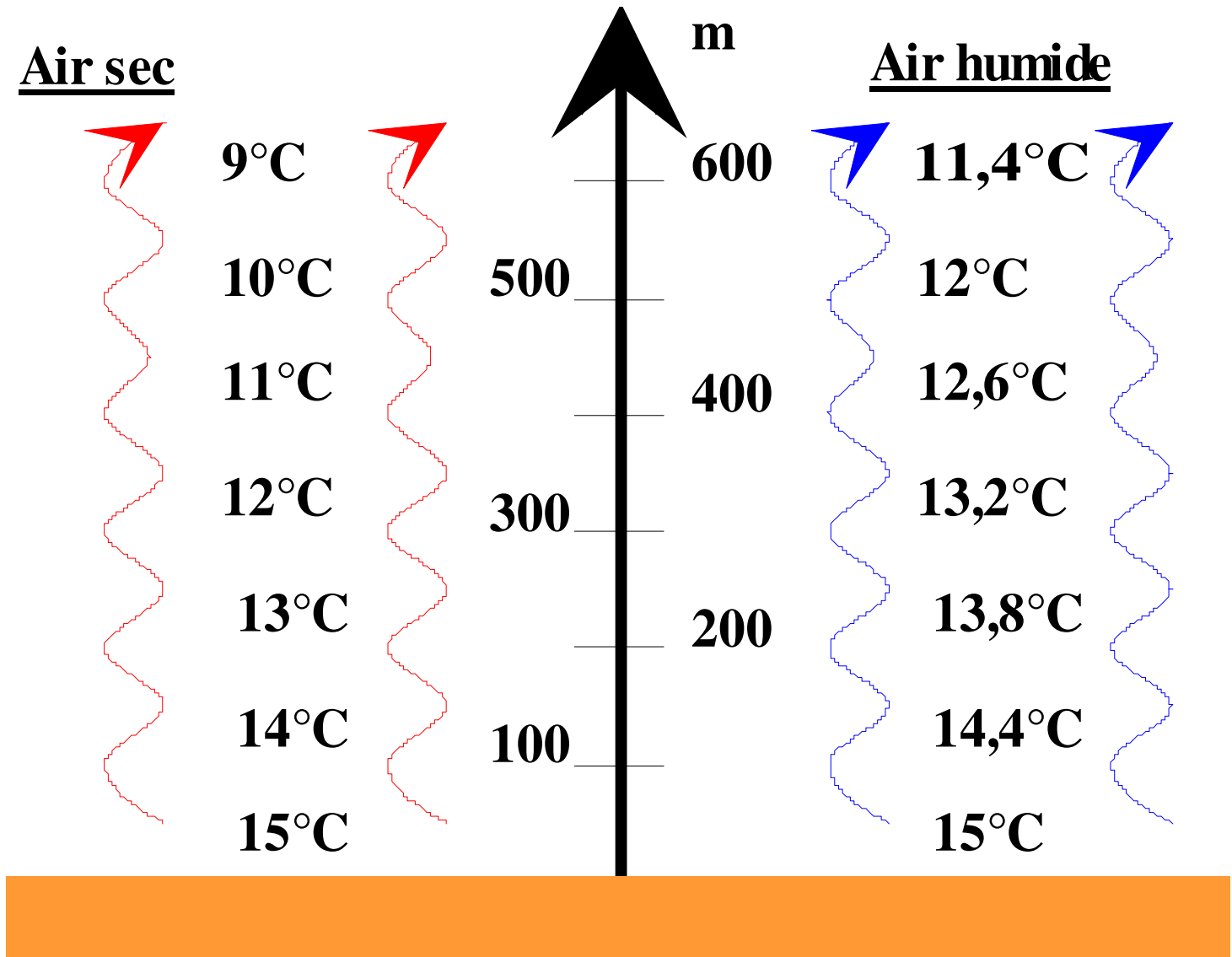
**température du point de condensation** = température à laquelle on atteint la saturation si le refroidissement accompagne une baisse de la pression et donc une élévation en altitude



## 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 11000 m
- l'air est sec et de composition constante
- accélération de la pesanteur:  $g = 9,80665 \text{ m.s}^{-2}$

# 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**

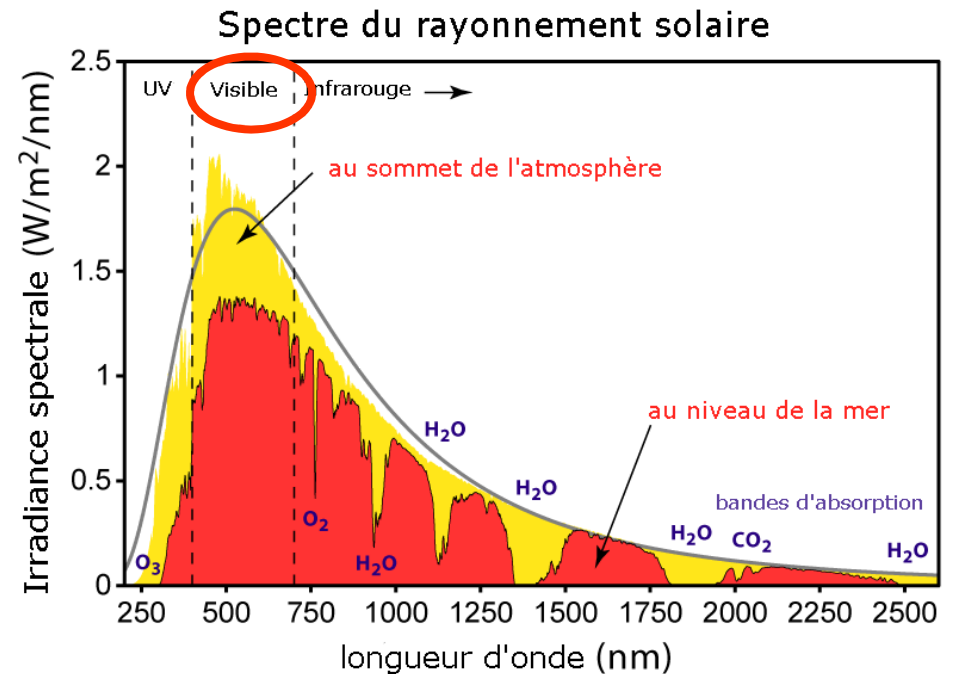
c – **L'air chaud peut mieux absorber l'humidité** que l'air froid

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).

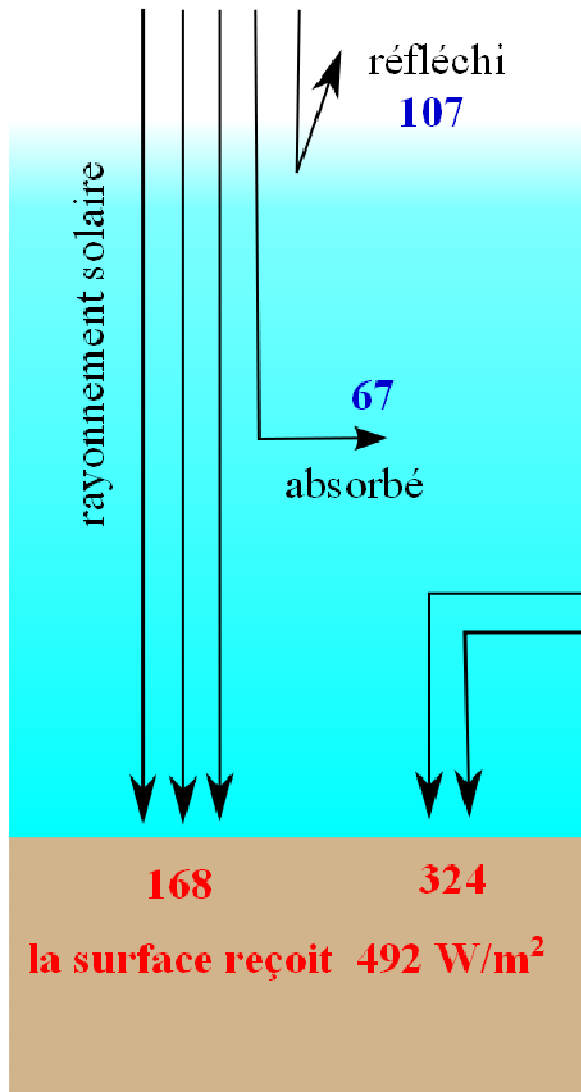


La Terre **renvoie dans l'espace à peu près la même quantité d'énergie**. Sa température moyenne est donc sensiblement constante. **Mais le rayonnement réémis est décalé dans l'infrarouge (la Terre renvoie surtout de la chaleur)**

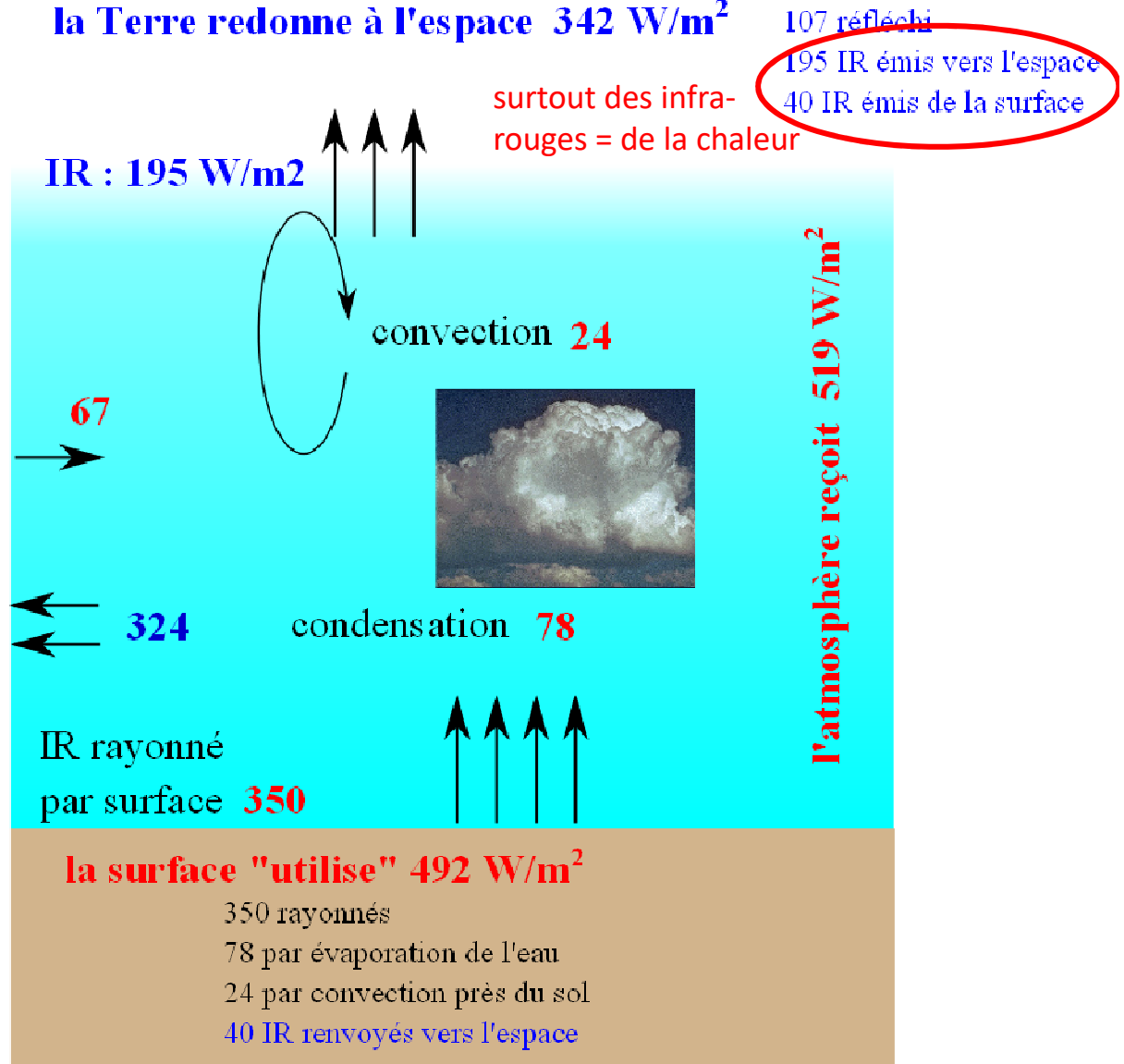
Note - en considérant la quantité de chaleur renvoyée dans l'espace, on calculerait une **température moyenne** d'environ  $-30^{\circ}C$ . En réalité, **grâce à l'effet de serre, la température moyenne à la surface de la Terre est d'env.  $15^{\circ}C$**

# Le bilan énergétique

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



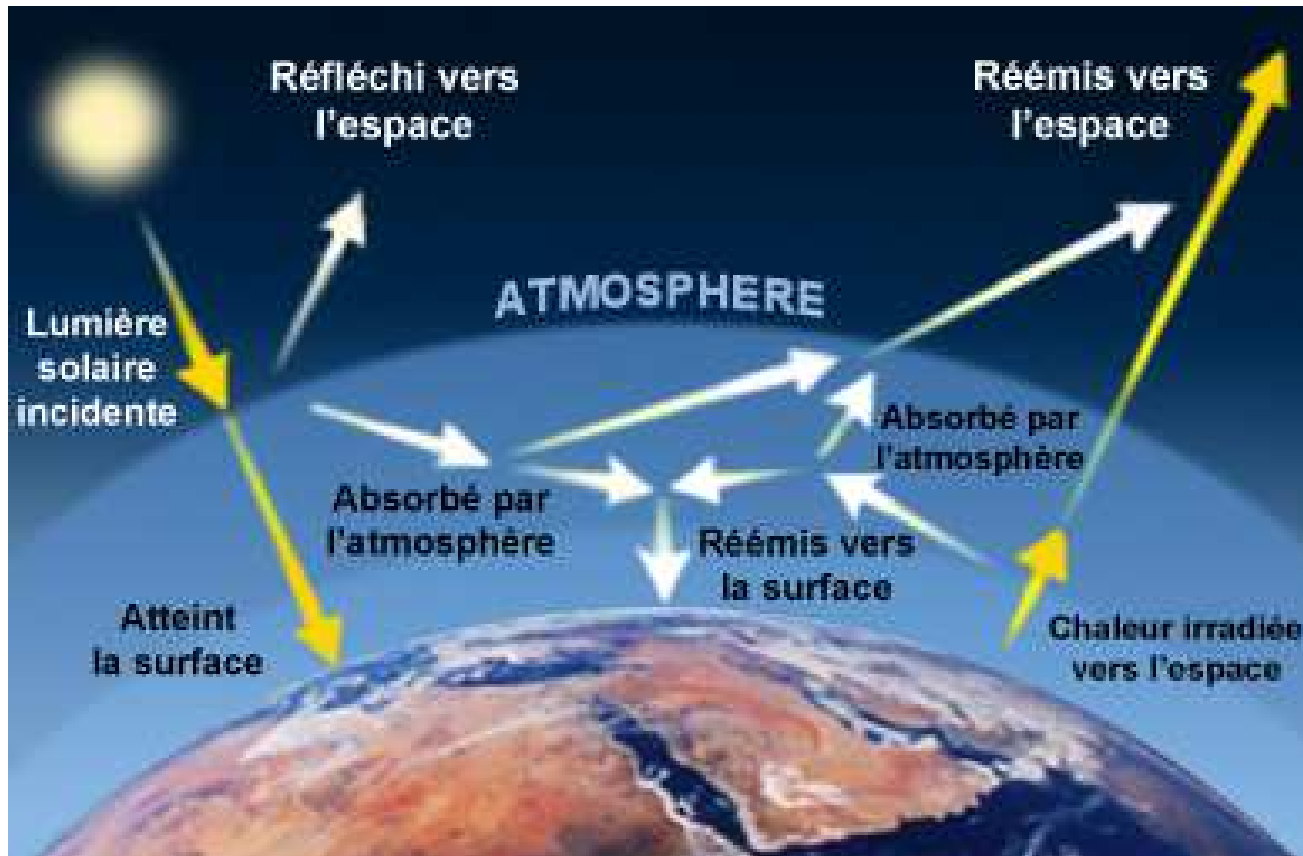
**la Terre redonne à l'espace 342 W/m<sup>2</sup>**



## 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 !**

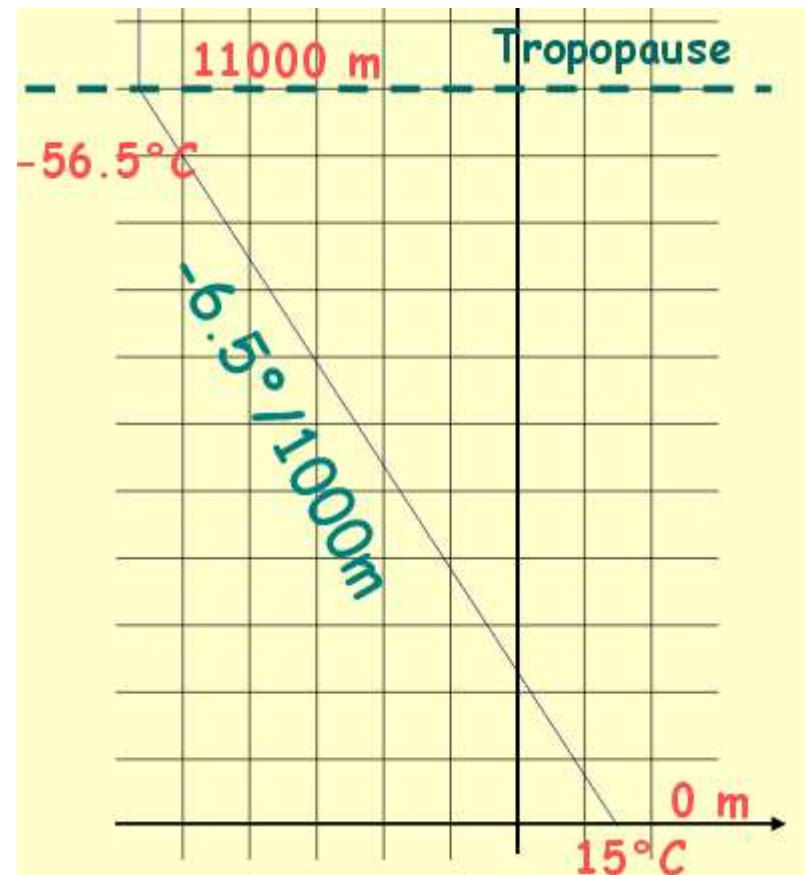


## Le bilan énergétique

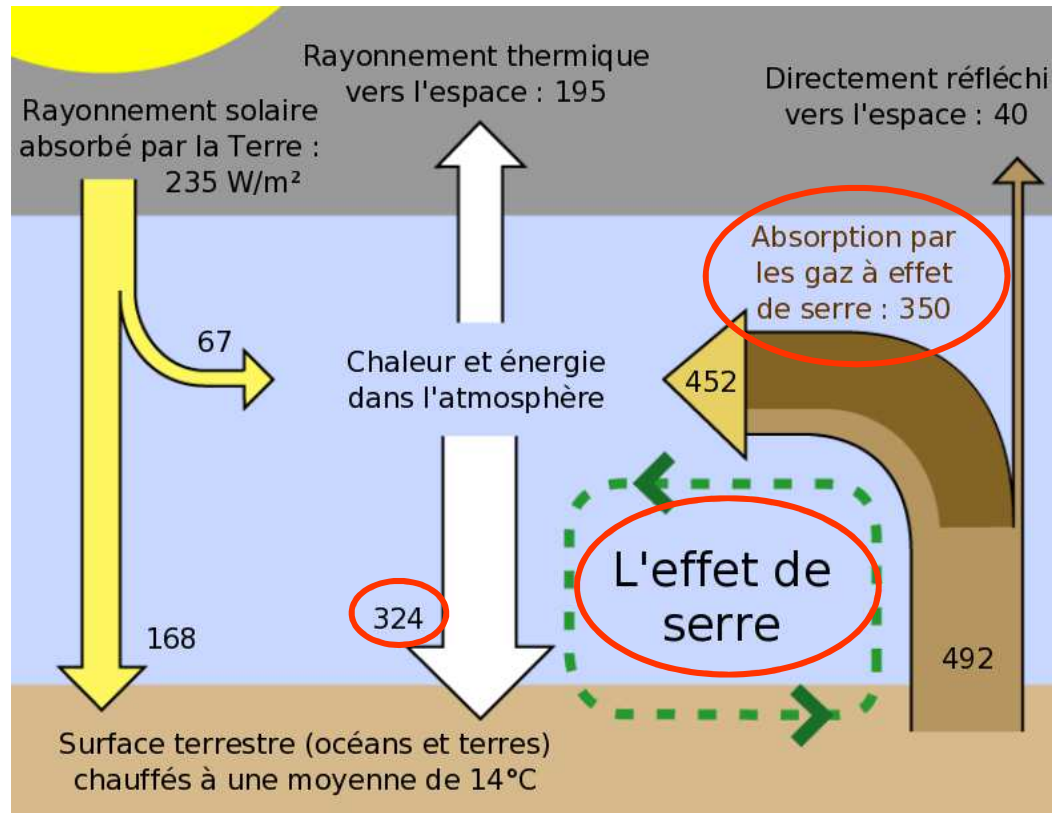
Pour l'atmosphère, la source principale de chaleur n'est pas le soleil, mais le sol

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 m d'altitude



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

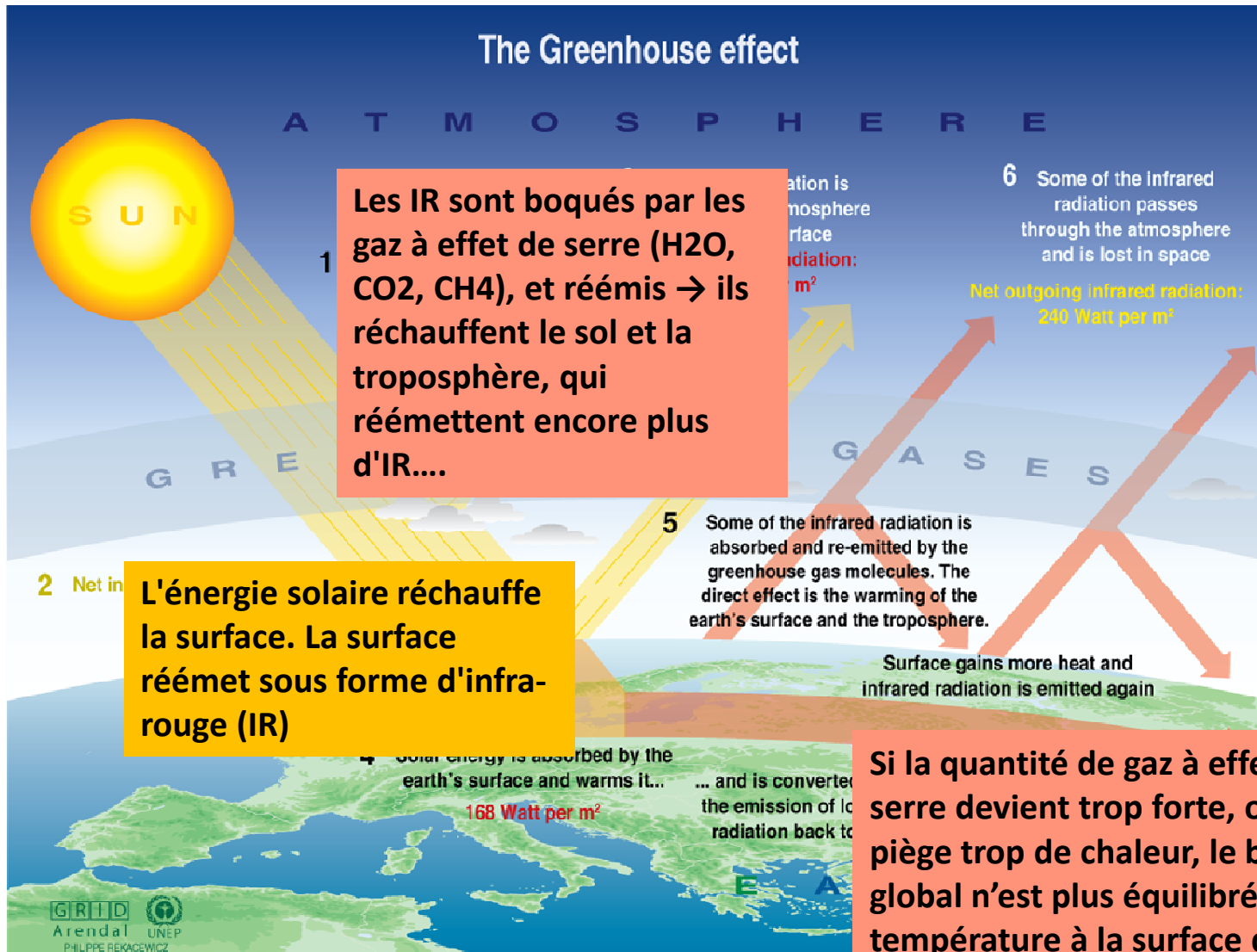


Le rayonnement infrarouge (la chaleur) réémis par la surface de la Terre est absorbé par certains gaz (H<sub>2</sub>O, **CO<sub>2</sub>**, **CH<sub>4</sub>**), entraînant une augmentation de la température de l'atmosphère.

**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 type : les masses d'air **polaires, arctiques et tropicales**.

# Masse d'air

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

# 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>Eté</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>Eté</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>Eté</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.

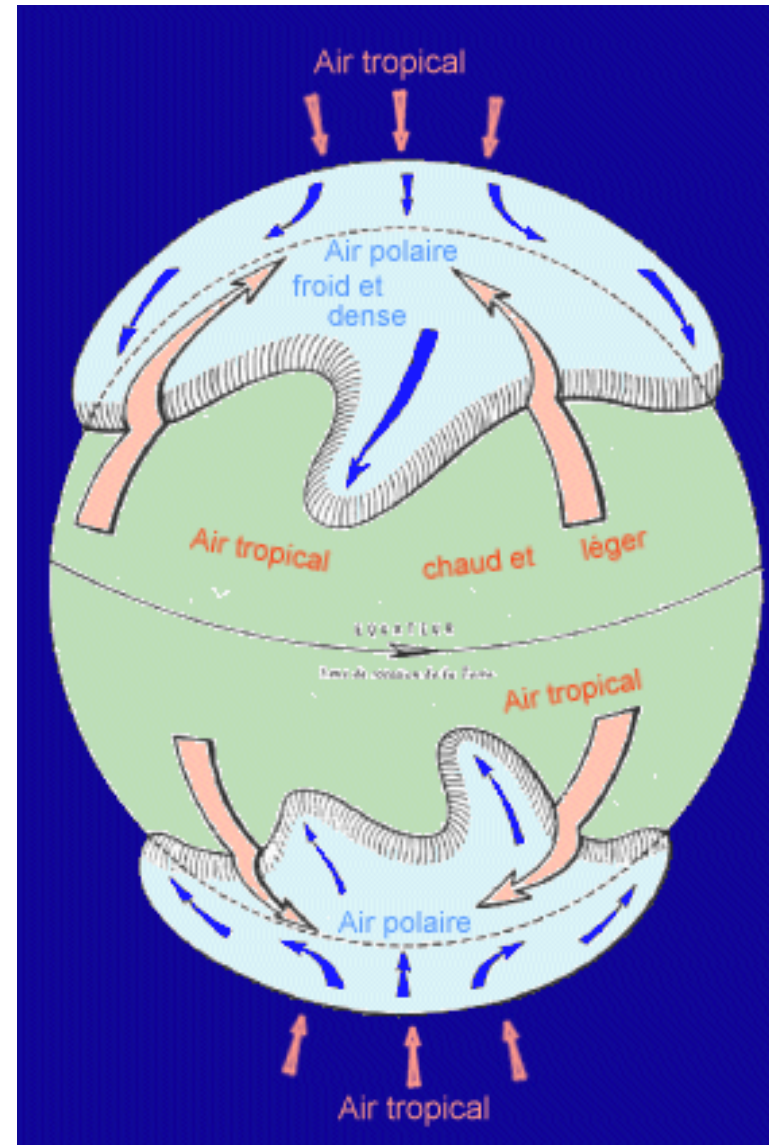
# B - Masses d'air et fronts

## 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).

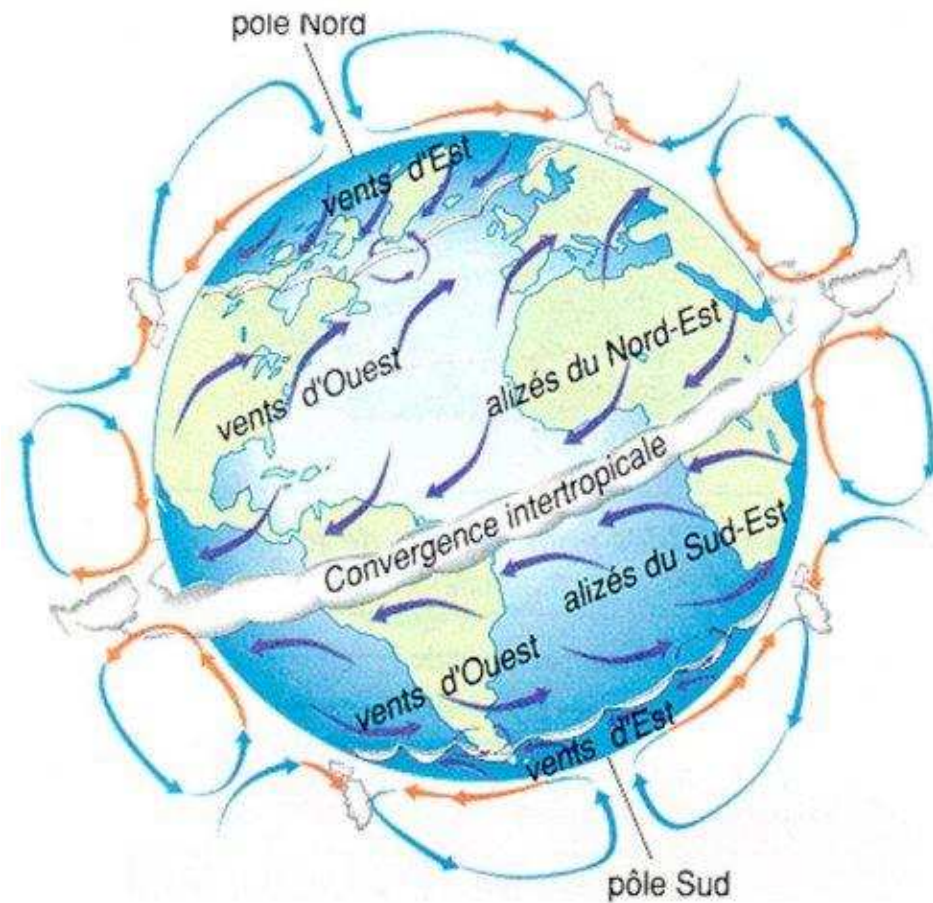
L'air chaud tropical va avoir tendance à passer au dessus de l'air froid polaire



# 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)

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



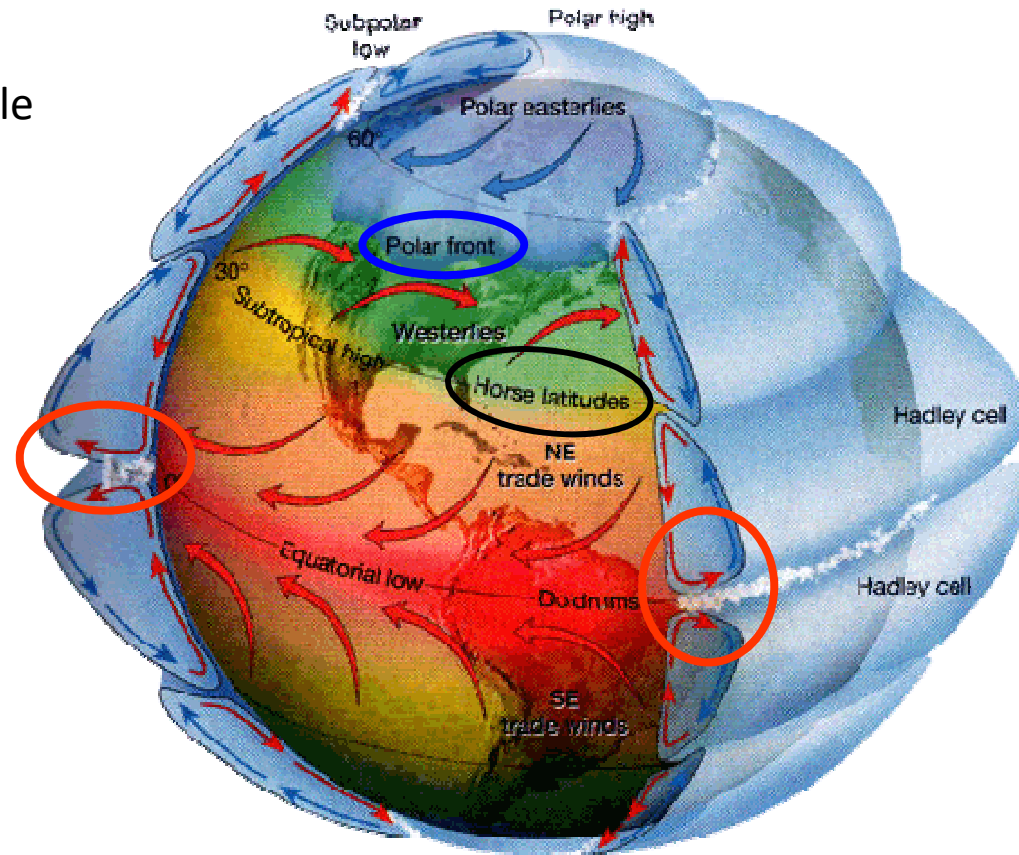


# Circulation générale

Une autre vue de la circulation générale dans l'atmosphère

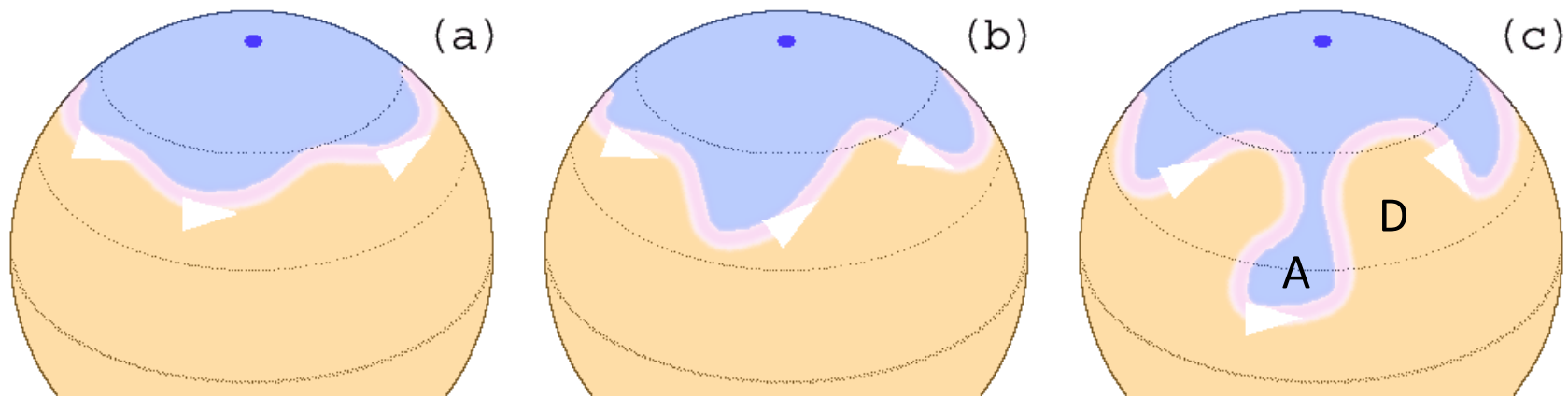
Il existe des zones remarquables :

- 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

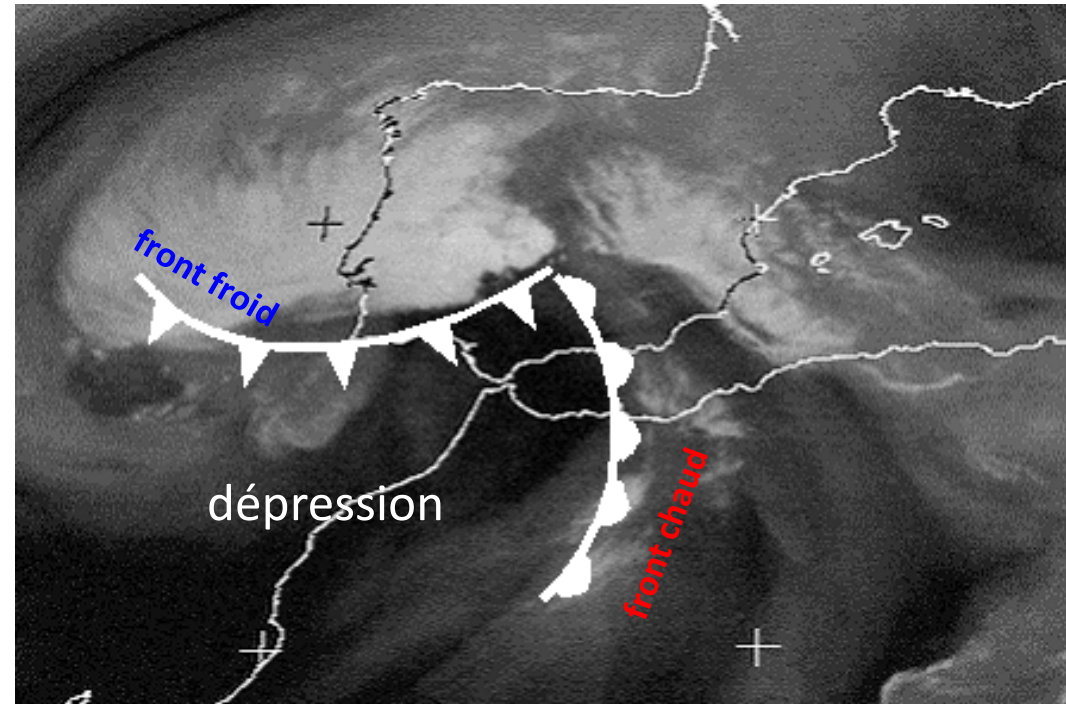
### 5 - Perturbation et fronts



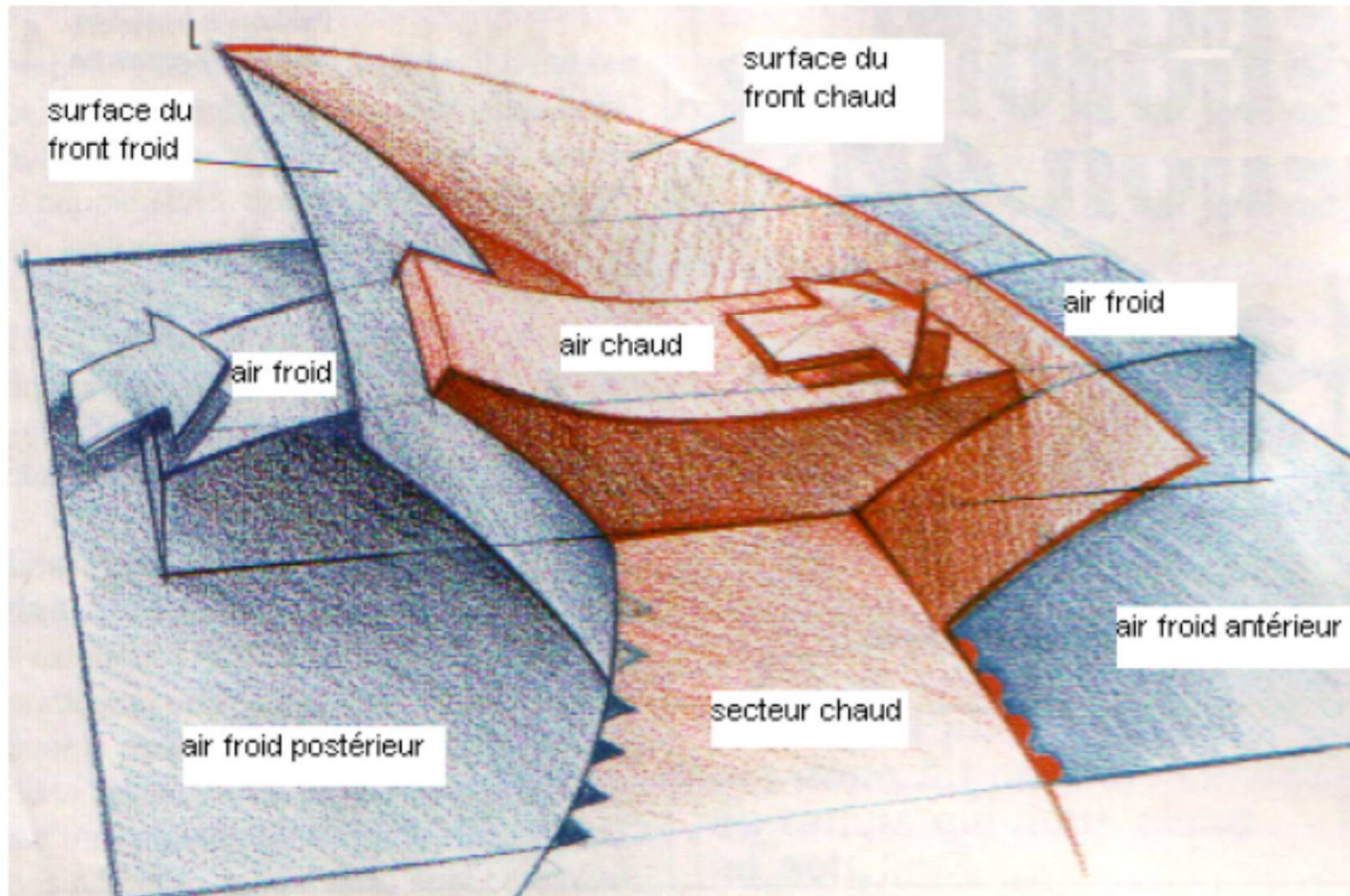
- La zone de contact entre air froid polaire et air chaud tropical se situe aux latitudes moyennes (dans nos régions pour l'hémisphère nord).
- Ces masses d'air sont de nature trop différentes pour se mélanger : elles glissent simplement les unes sur les autres.
- Il y a des frottements entre les masses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

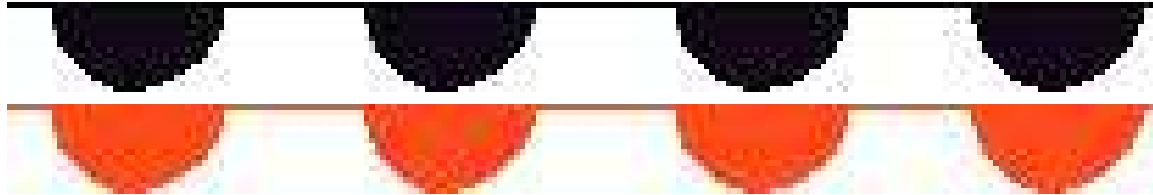


# Formation des fronts



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

## Les fronts chauds



- **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.

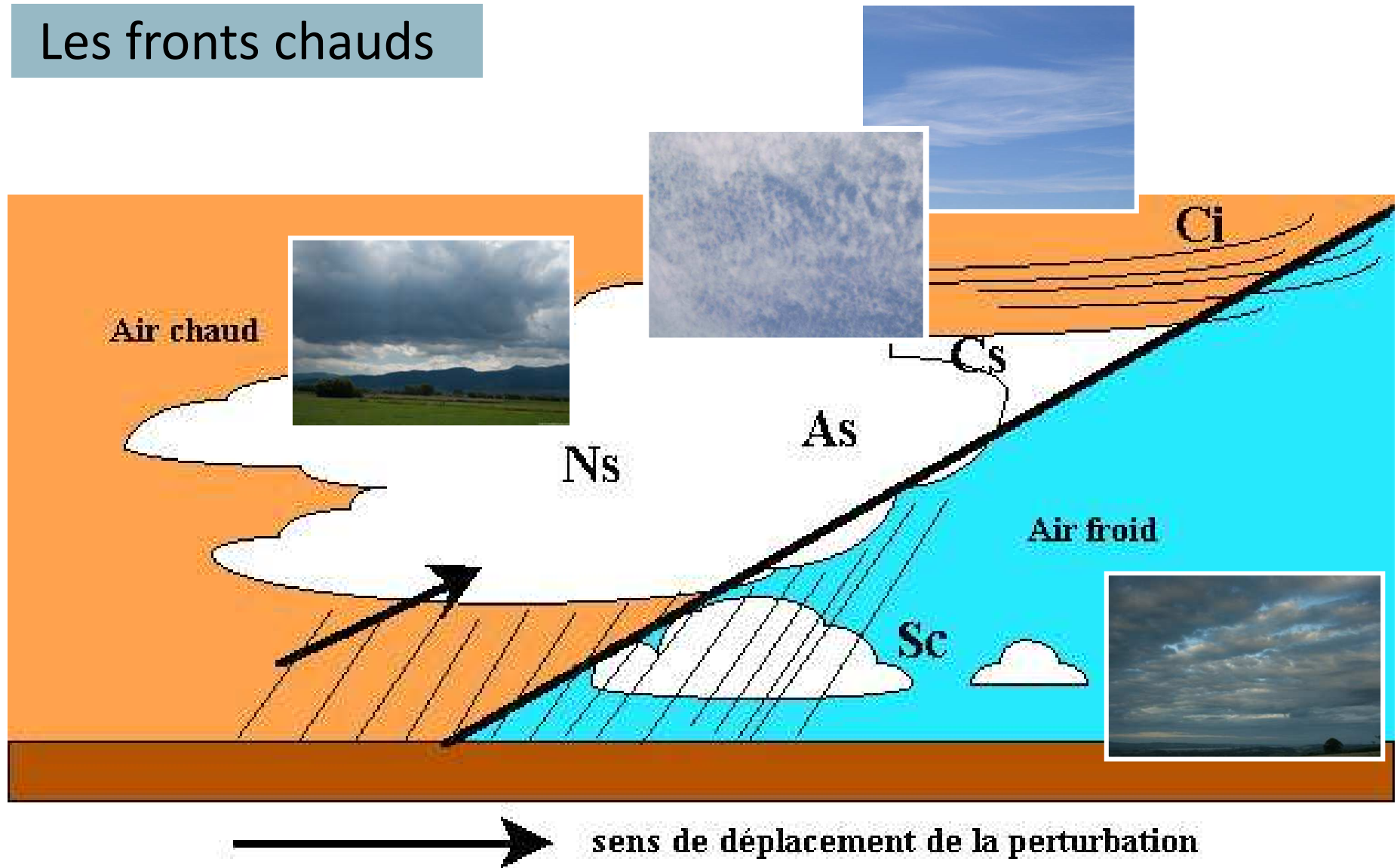
## Les fronts chauds

- 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** puis des **altocumulus**.
- Le ciel se bouche et la convection est stoppée.
- Les **altostratus** et les **nimbostratus** encombrant alors le ciel amenant les précipitations si le front est actif.
- Des **stratocumulus** peuvent compléter les nuages du corps par le bas.





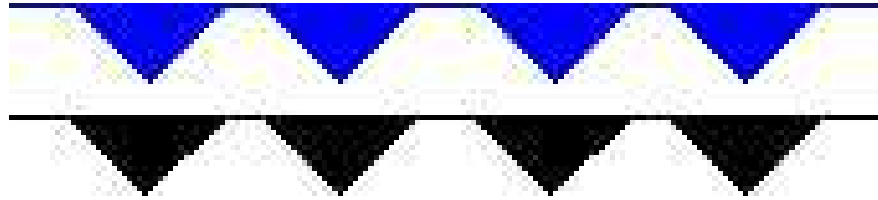
# Les fronts chauds



Coupe schématique d'un front chaud.



## Les fronts froids

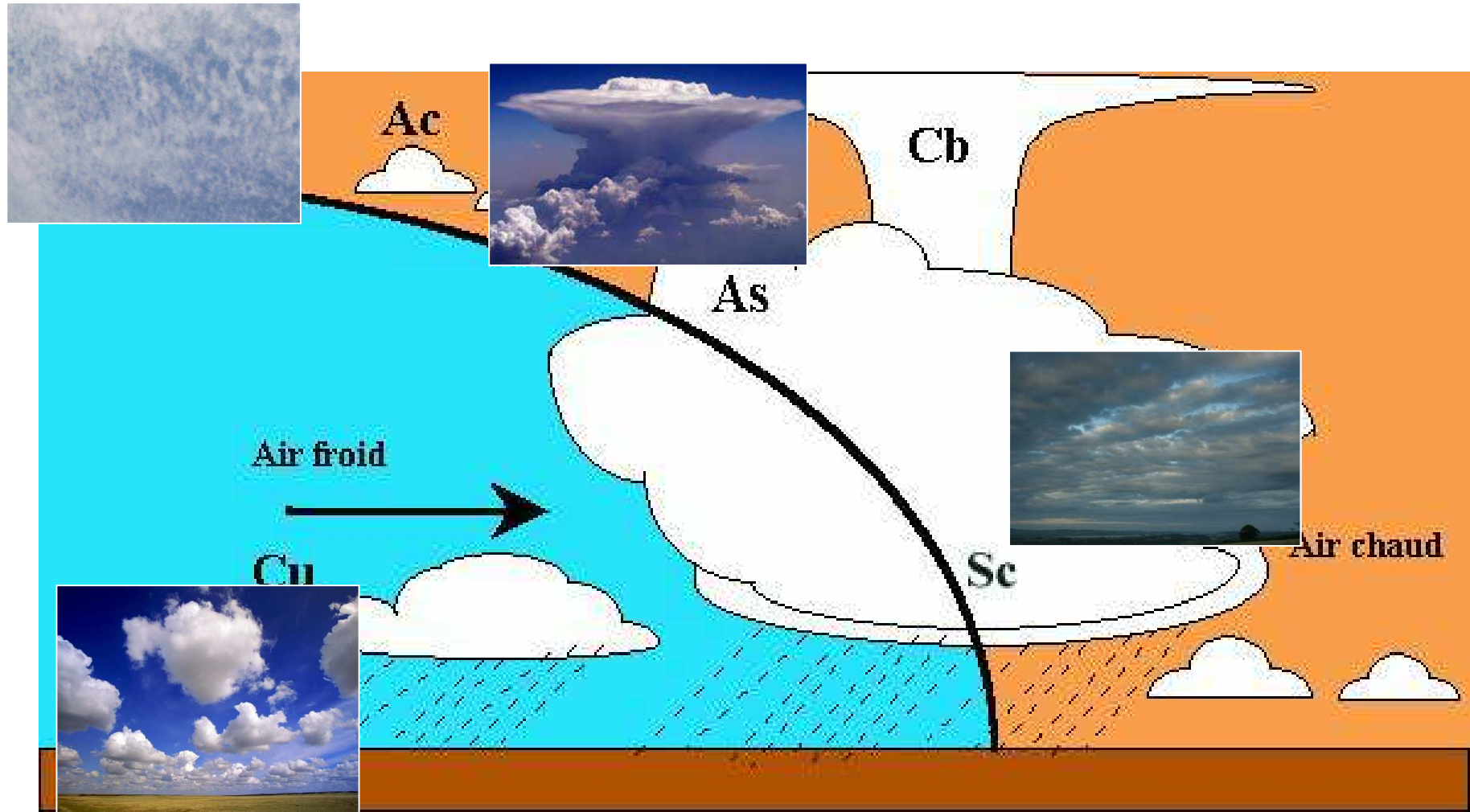


- **Le front froid est la surface de séparation entre une masse d'air chaud et une masse d'air froid le repoussant.**
- Il y a un front froid à la fin d'une perturbation.
- Le front est incliné vers l'arrière dans le sens de déplacement de la perturbation.
- Le front froid avance rapidement et son étalement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

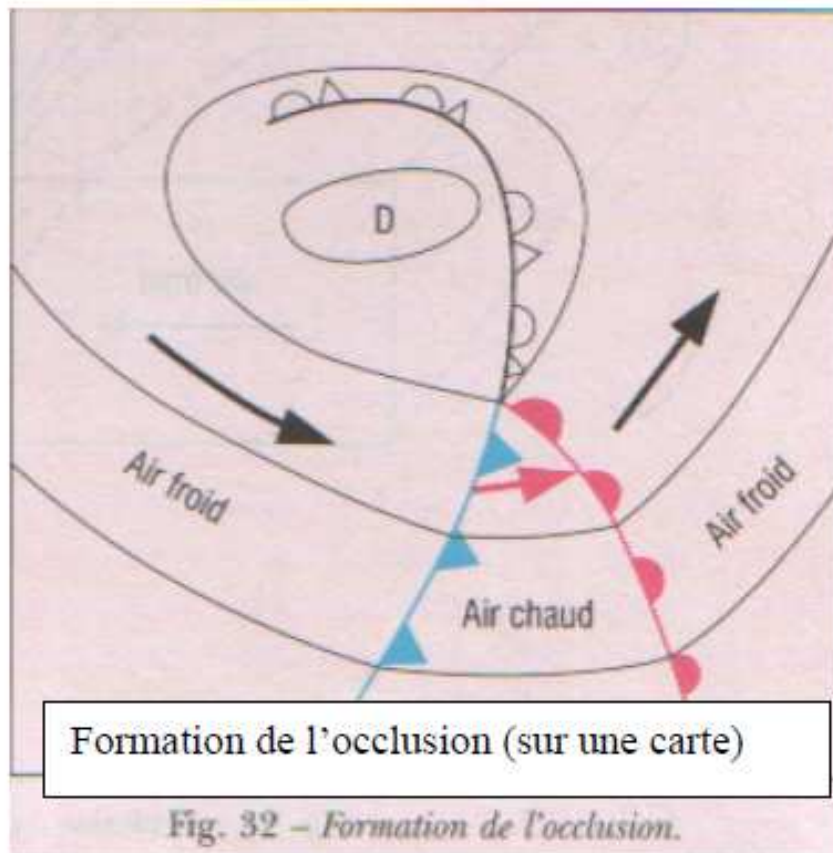
Coupe schématique d'un front froid.


## 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** ». Elle est symbolisée par le symbole  et par la couleur violette.

L'occlusion s'enroule souvent autour du centre dépressionnaire en formant alors un **vortex** (ou spirale).

Nous reparlerons de l'occlusion dans les pages qui suivent.

# 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

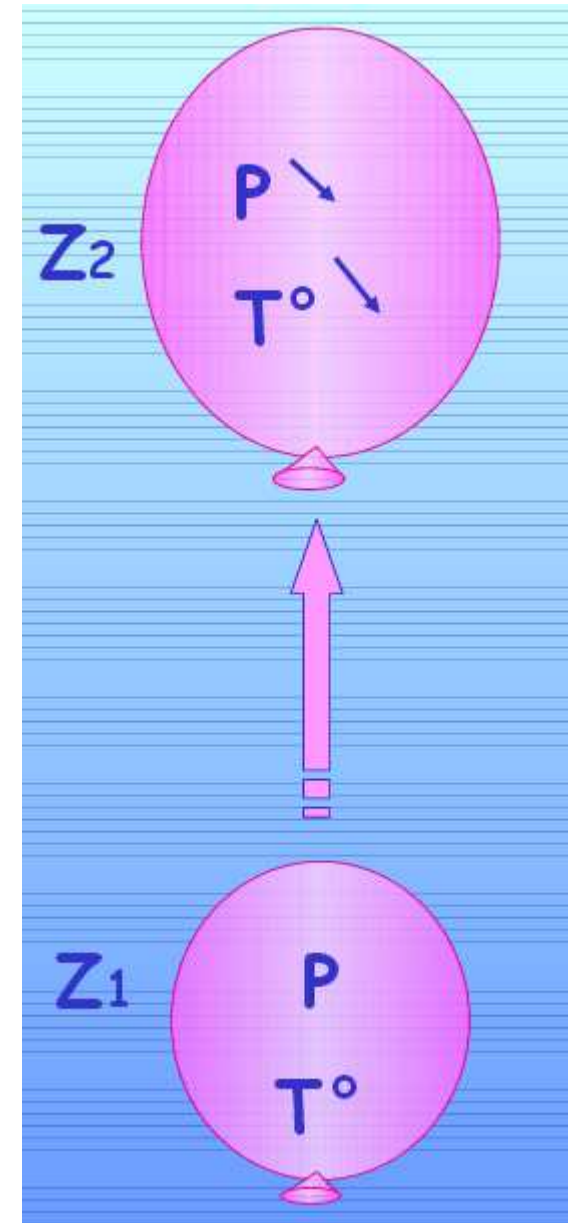
1. Retour sur la stabilité de l'air
2. Formation des nuages
3. Formation des brouillards et des brumes
4. Description et classification
5. Précipitations associées

# 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** ( $6,5^{\circ}\text{C}/\text{km}$ )

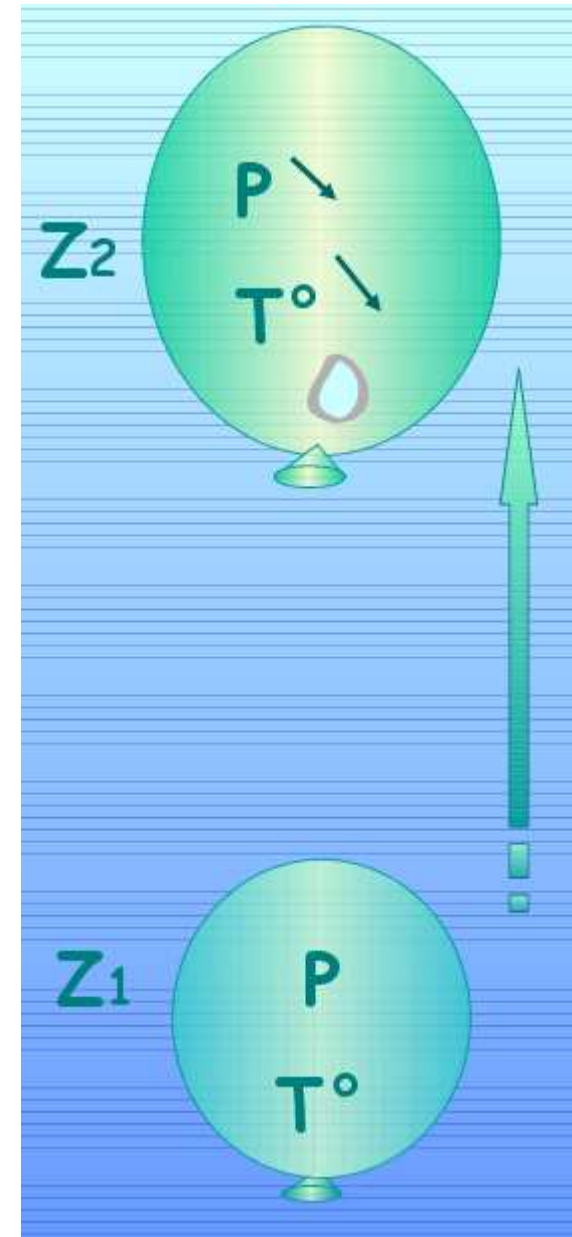




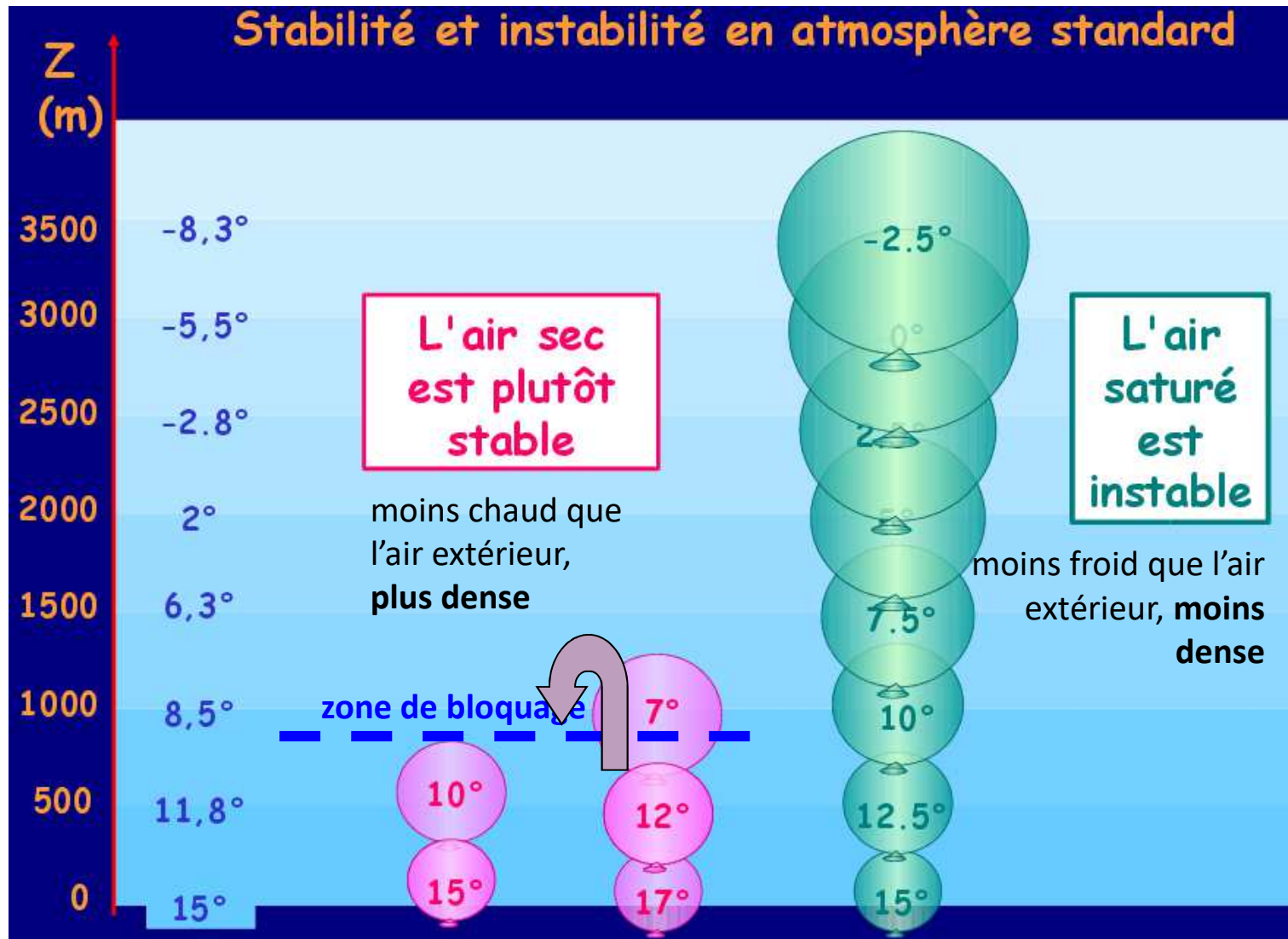
# Stabilité de l'air

Si l'air est **saturé en humidité**

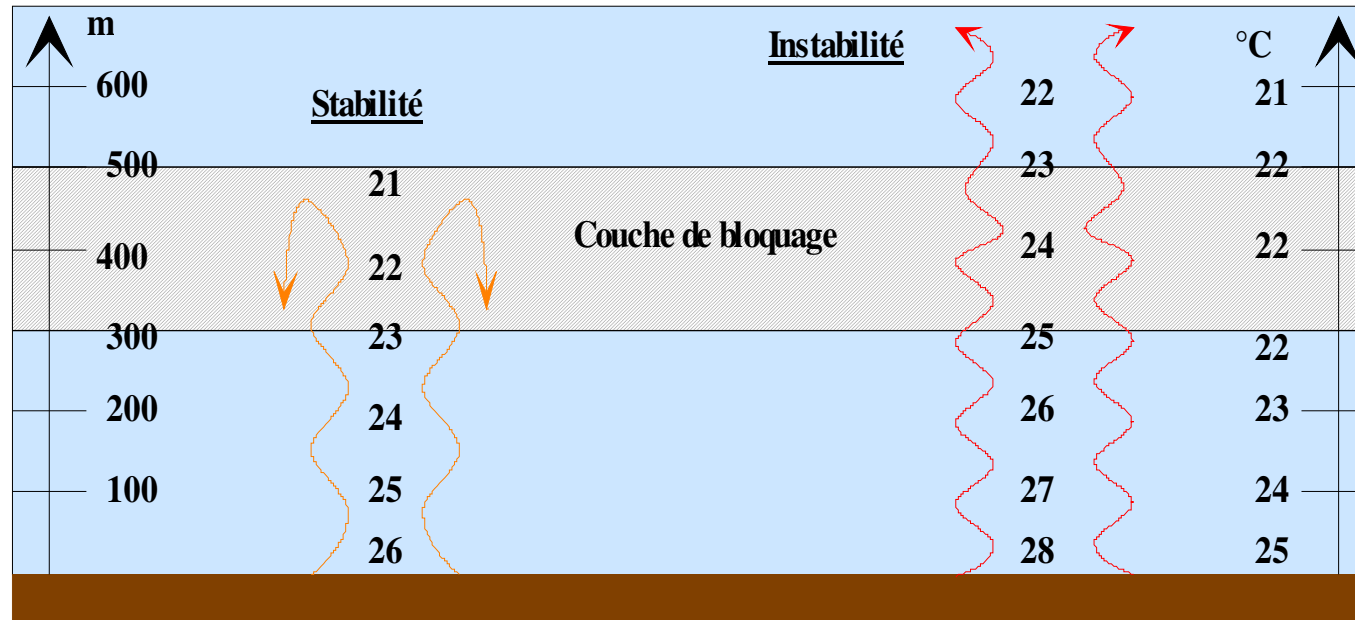
- Comme pour l'air sec, la bulle va avoir **tendance à se refroidir** en se dilatant (environ  $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ )
- Si elle se refroidit, **une certaine quantité de vapeur d'eau va se condenser**
- La **condensation libère de la chaleur** et fait gagner **environ  $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$**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

- 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.

# C - Les nuages

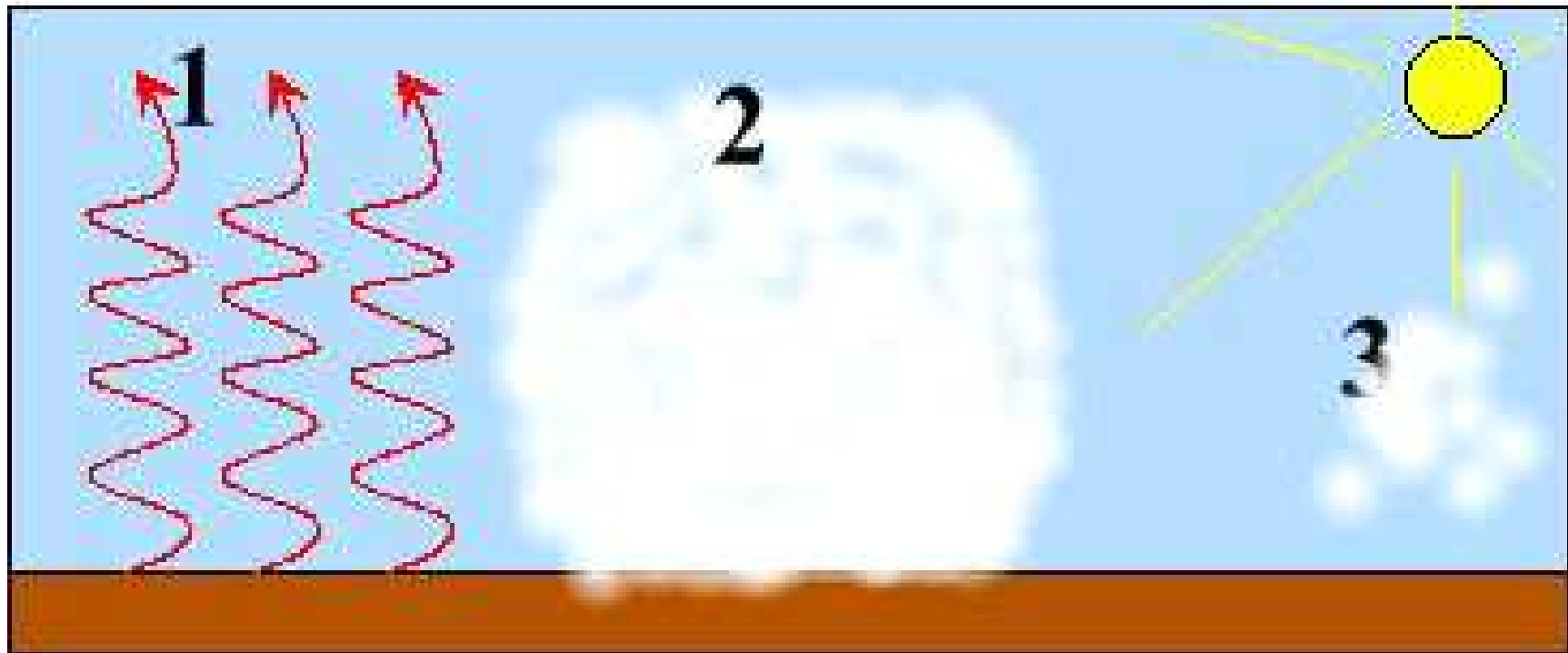
## 3 - Formation des brouillards et des brumes

- 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

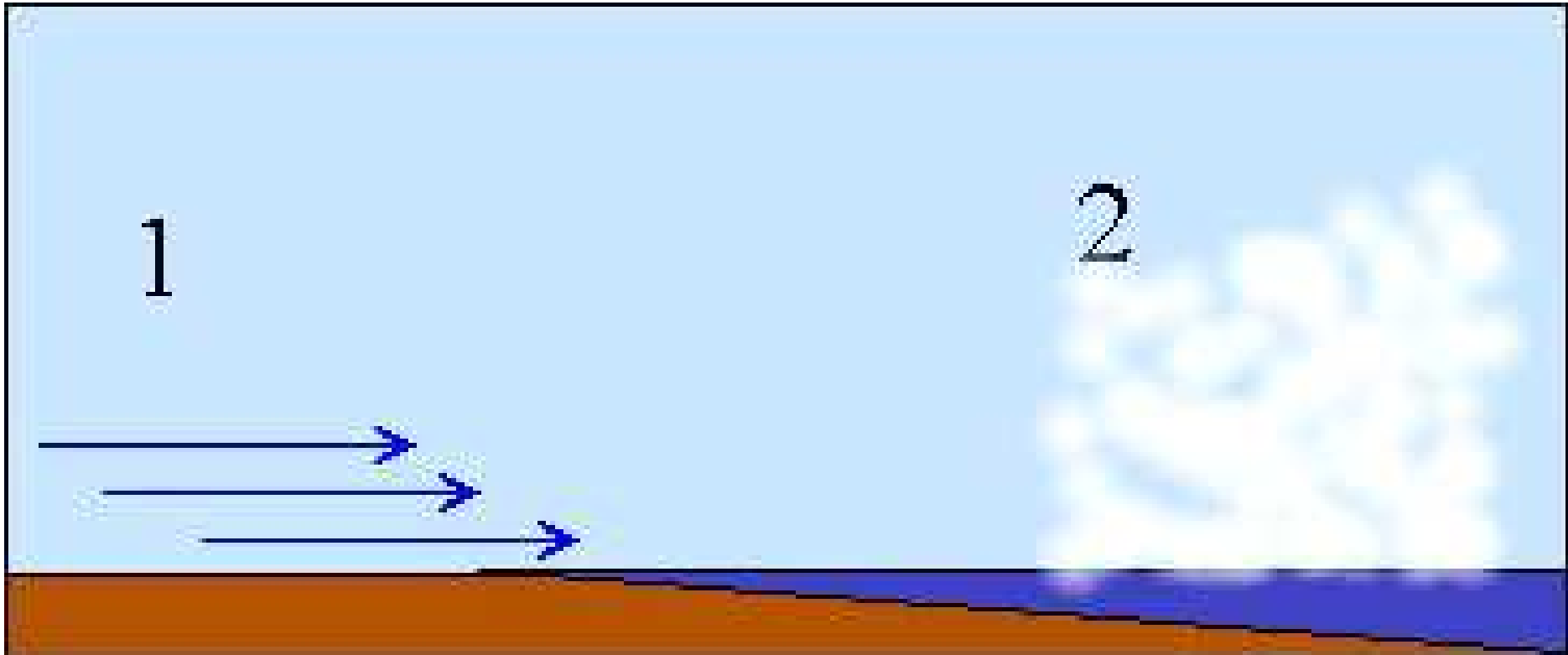
- apparaît la nuit lorsque l'air est très **humide**, qu'il n'y a pas de **vent** et que la **température** chute rapidement.
- En se dissipant, il peut donner naissance à des stratus.



# Formation des brouillards

## Le brouillard d'évaporation

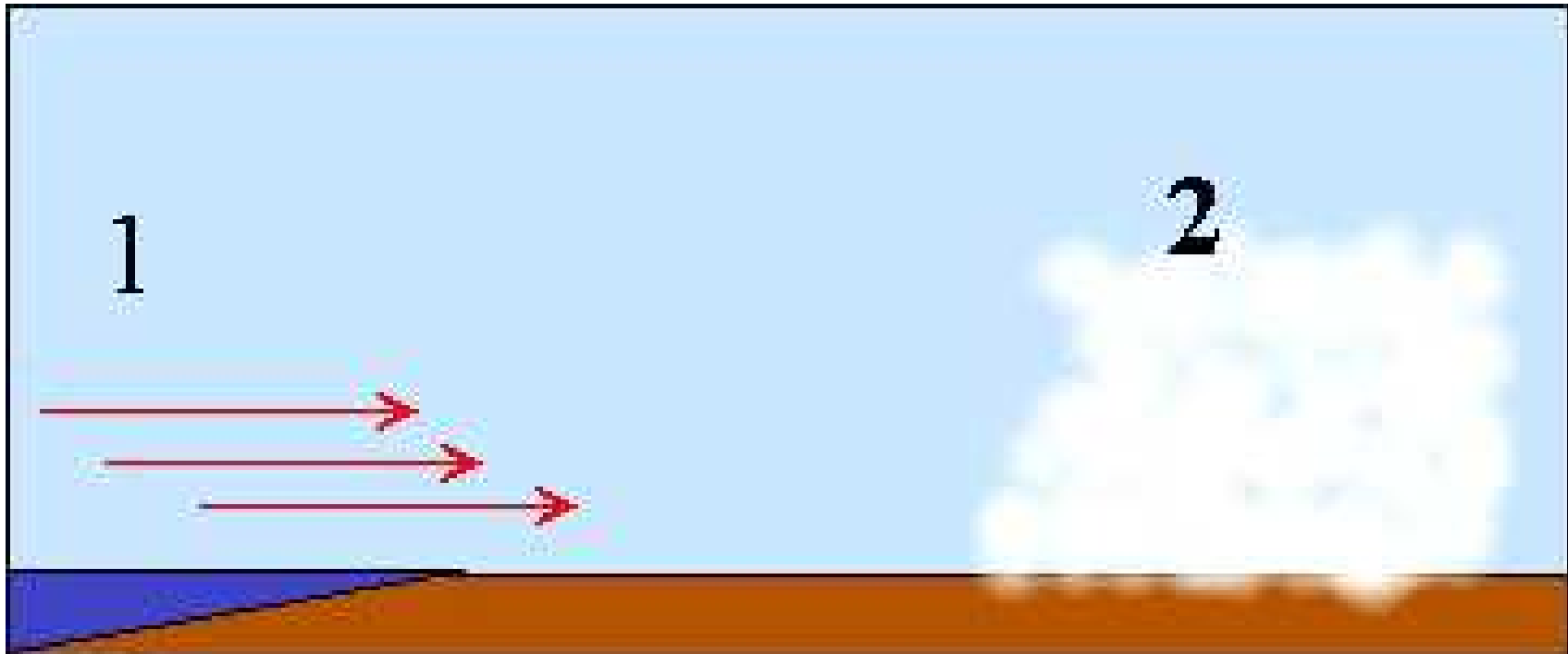
- se forme sur les grandes étendues d'eau avec un vent faible mais froid soufflant depuis la terre vers la mer.



# Formation des brouillards

## Le brouillard d'advection ou de transport

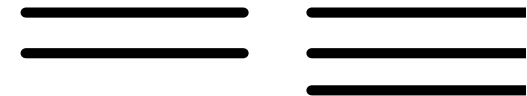
- se forme lorsqu'une masse d'air chaud et humide est poussée par un vent faible sur un sol plus froid.
- Ce type de brouillard apparaît suite à des entrées maritimes en hiver ou au printemps.





# 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

# C - Les nuages

## 4 - Description et classification

- 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 :**
  - l'étage inférieur : du sol à 2000 m
  - l'étage moyen : de 2000 à 6000 m
  - l'étage 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.

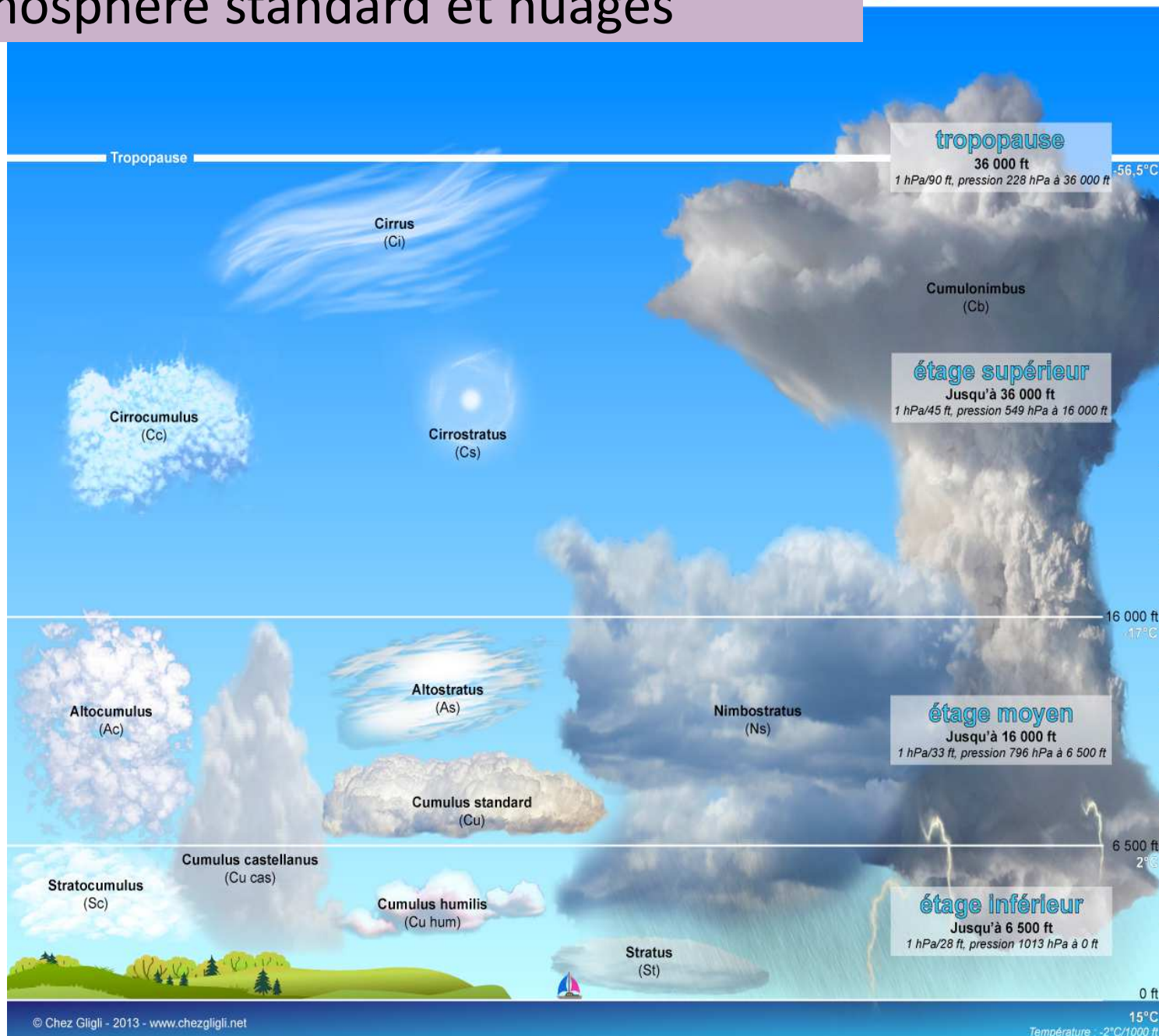
## Description et classification

- 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> (base > 6000 m)	<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> (6000 m > base > 2000 m)	<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> (base < 2000 m)	<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

Une description sommaire pour reconnaître les différents types de nuages

- Les espèces et les variétés étant nombreuses à l'intérieur des genres, les exemples pourraient être multipliés.
- Ceux présentés sont assez représentatifs du genre.



## 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>L</sub>2)

- 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



# 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





# 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



# 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 coeur 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

- 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

## 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.



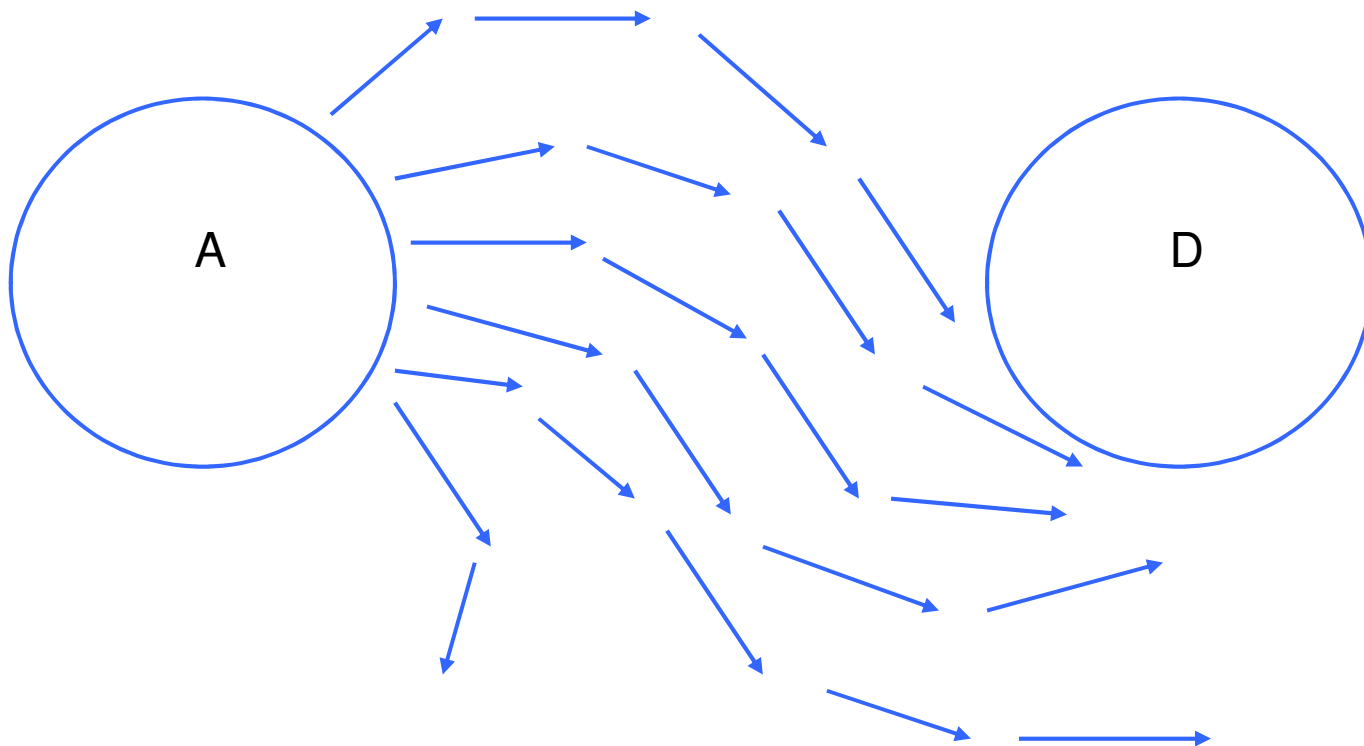
# Origine du vent

## 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 pression 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

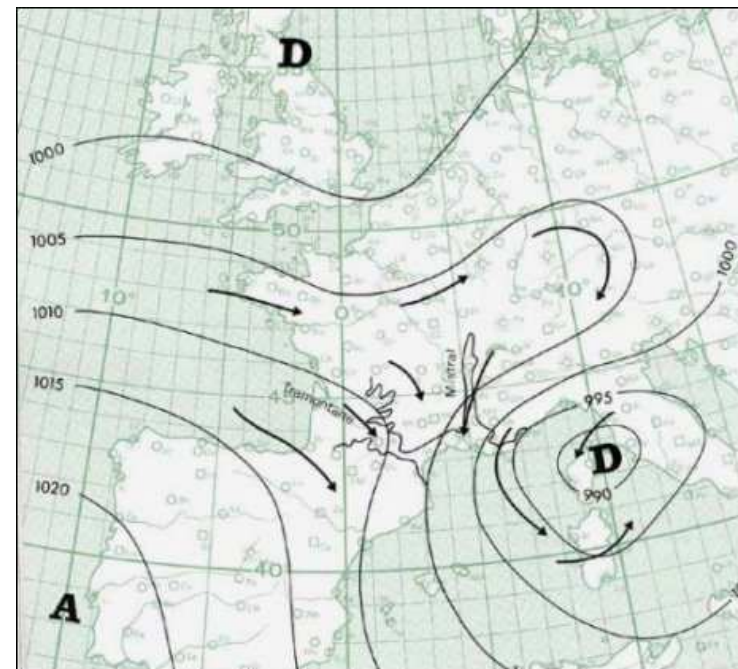
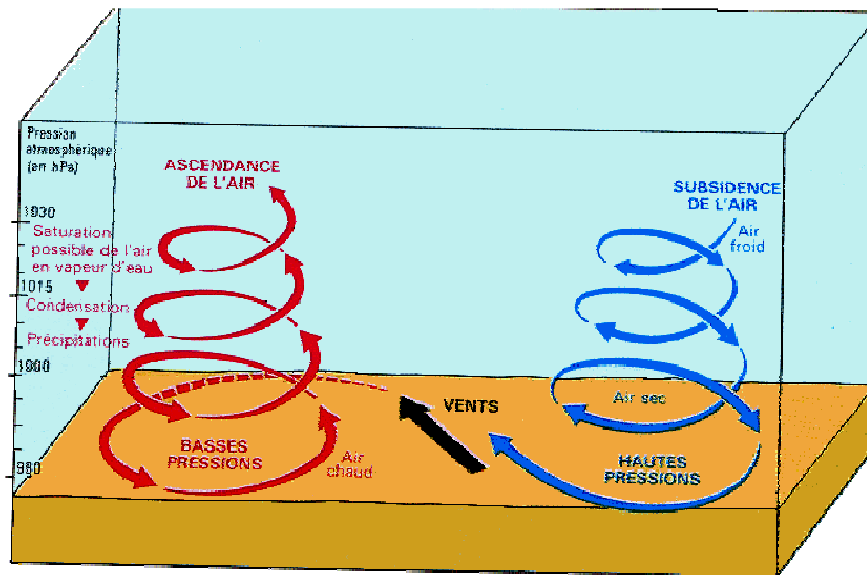
Les différences de pressions finissent par ramener le vent vers la dépression :



# 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



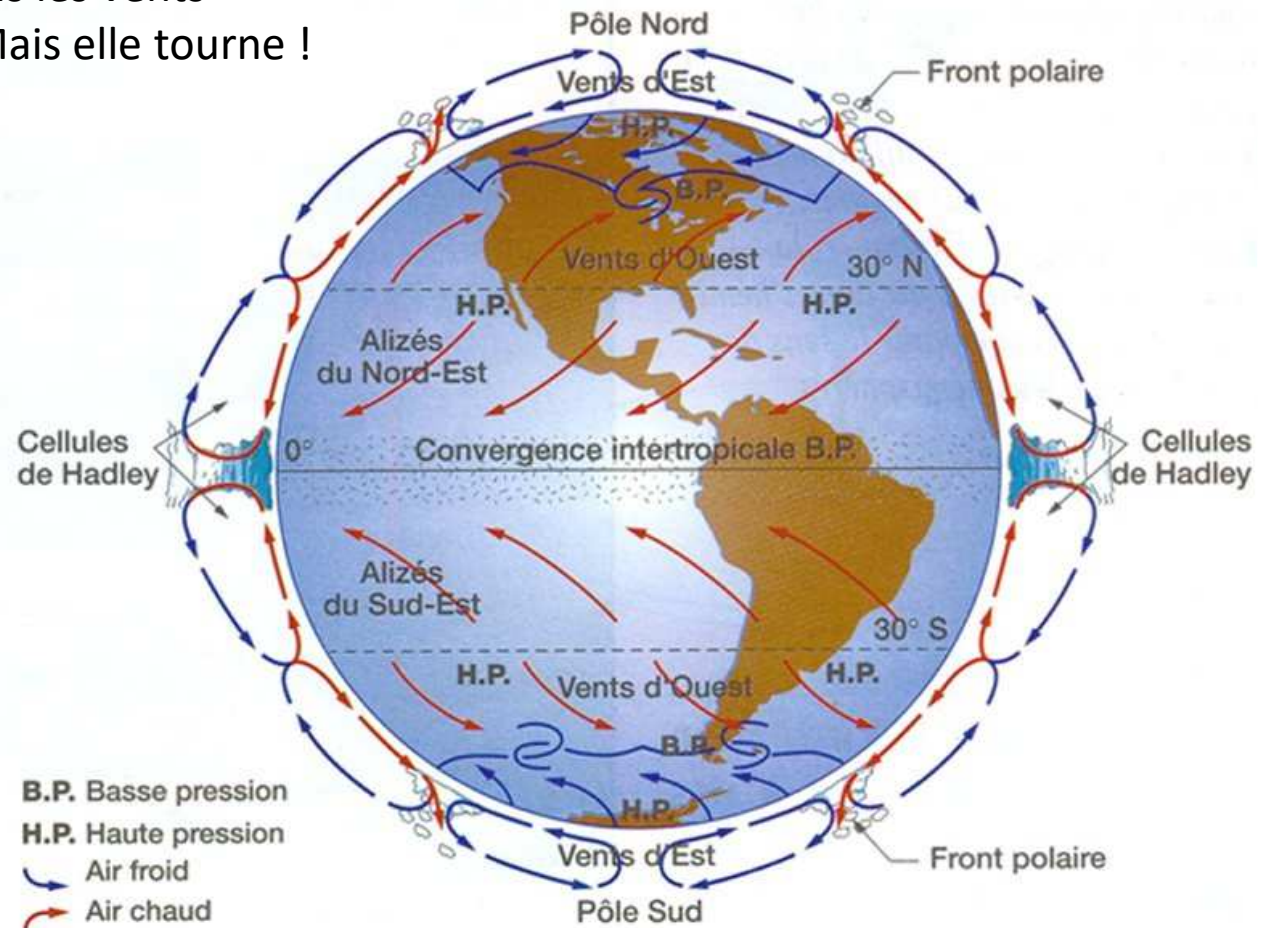
# D – Les vents

## 2 Les grands systèmes de vent

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

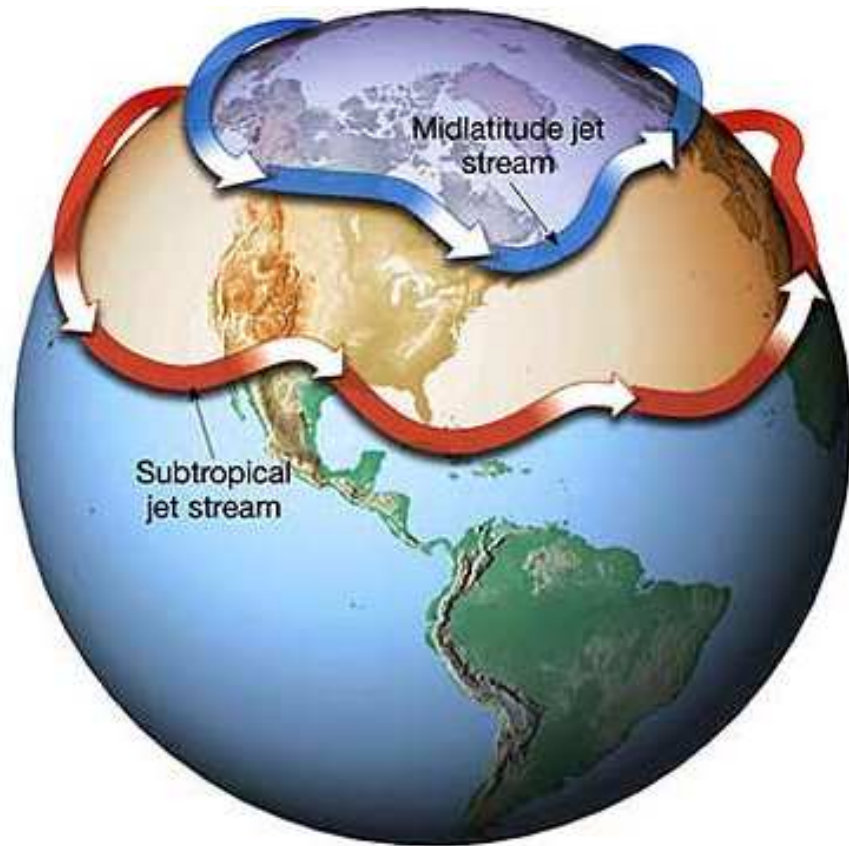
De ce fait, le vent engendré par les grandes zones de BP et de HP est dévié SW-NE (hémisphère N) ou NW-SE (hémisphère S)

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)



# 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**

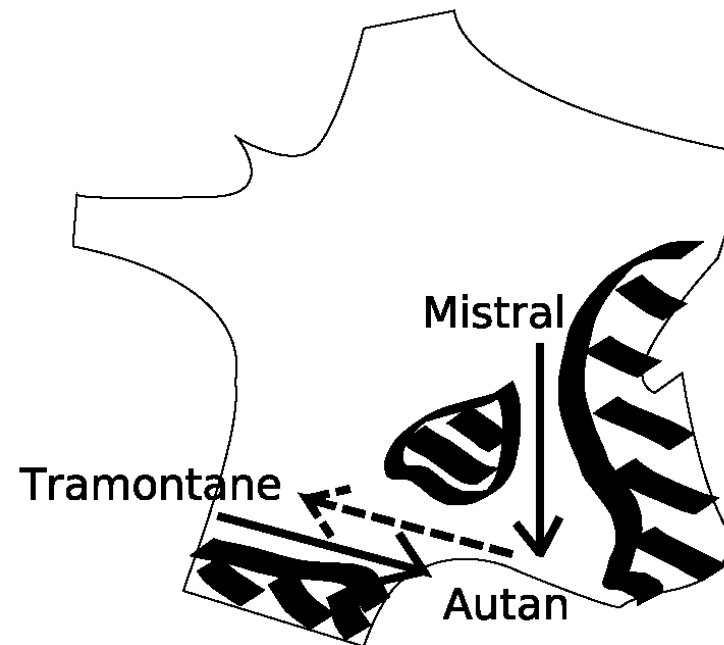
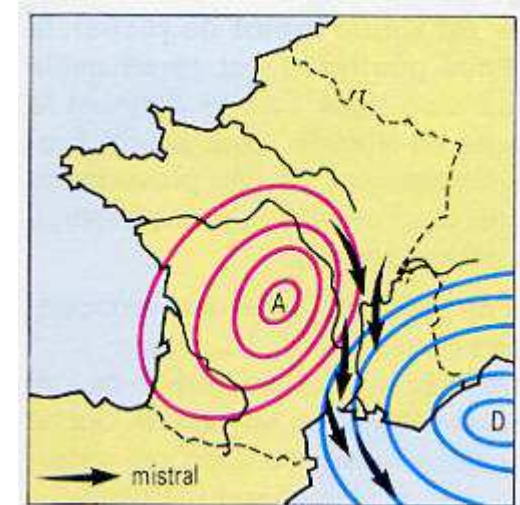
Il y a donc beaucoup de vents locaux

- **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**
- entre les Pyrénées et le Massif Central, le vent est canalisé de Toulouse à Carcassonne. On l'appelle **la tramontane**.
- 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**.

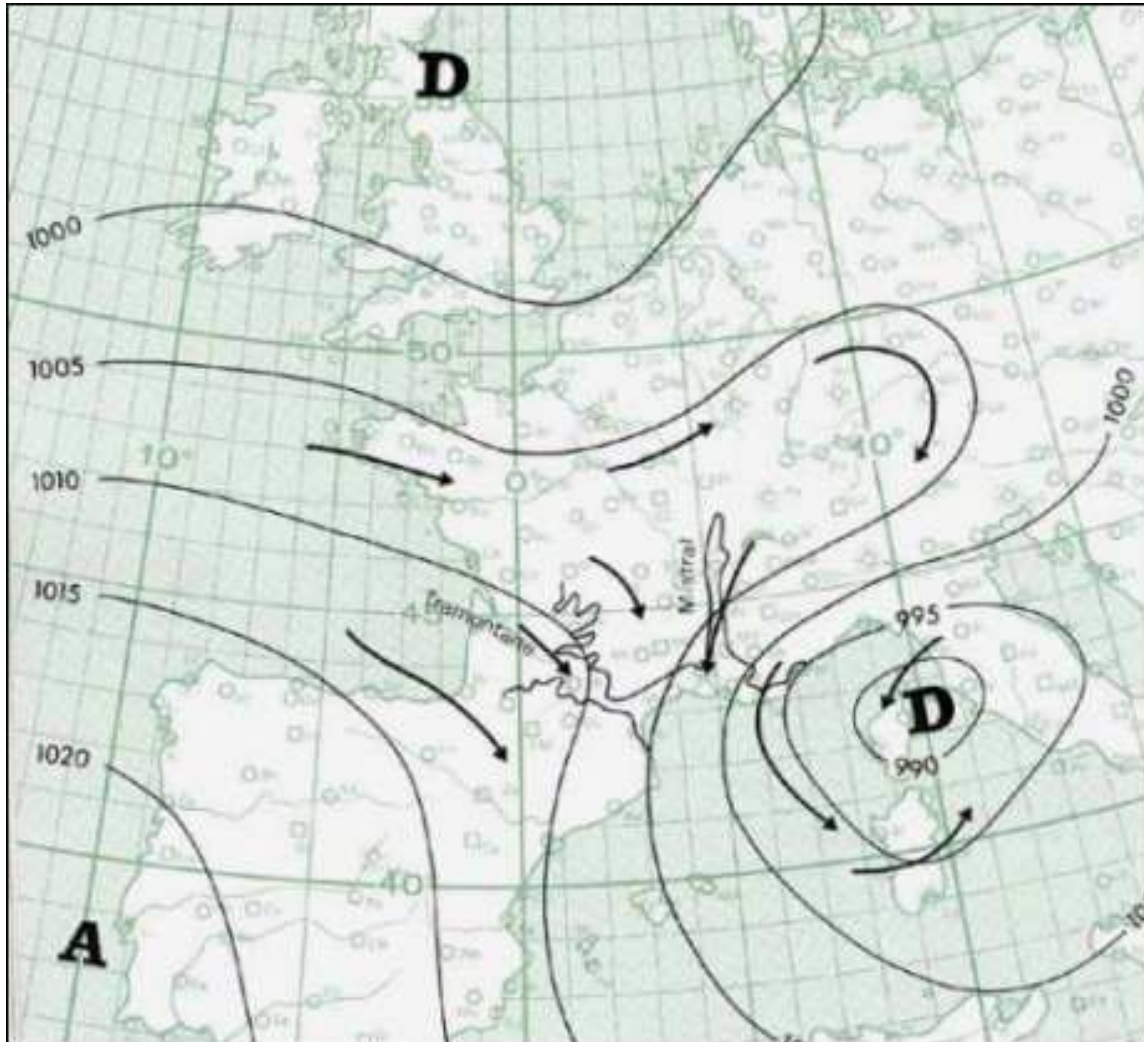




## Les vents locaux : vents de vallée à grande échelle

Mistral et tramontane :

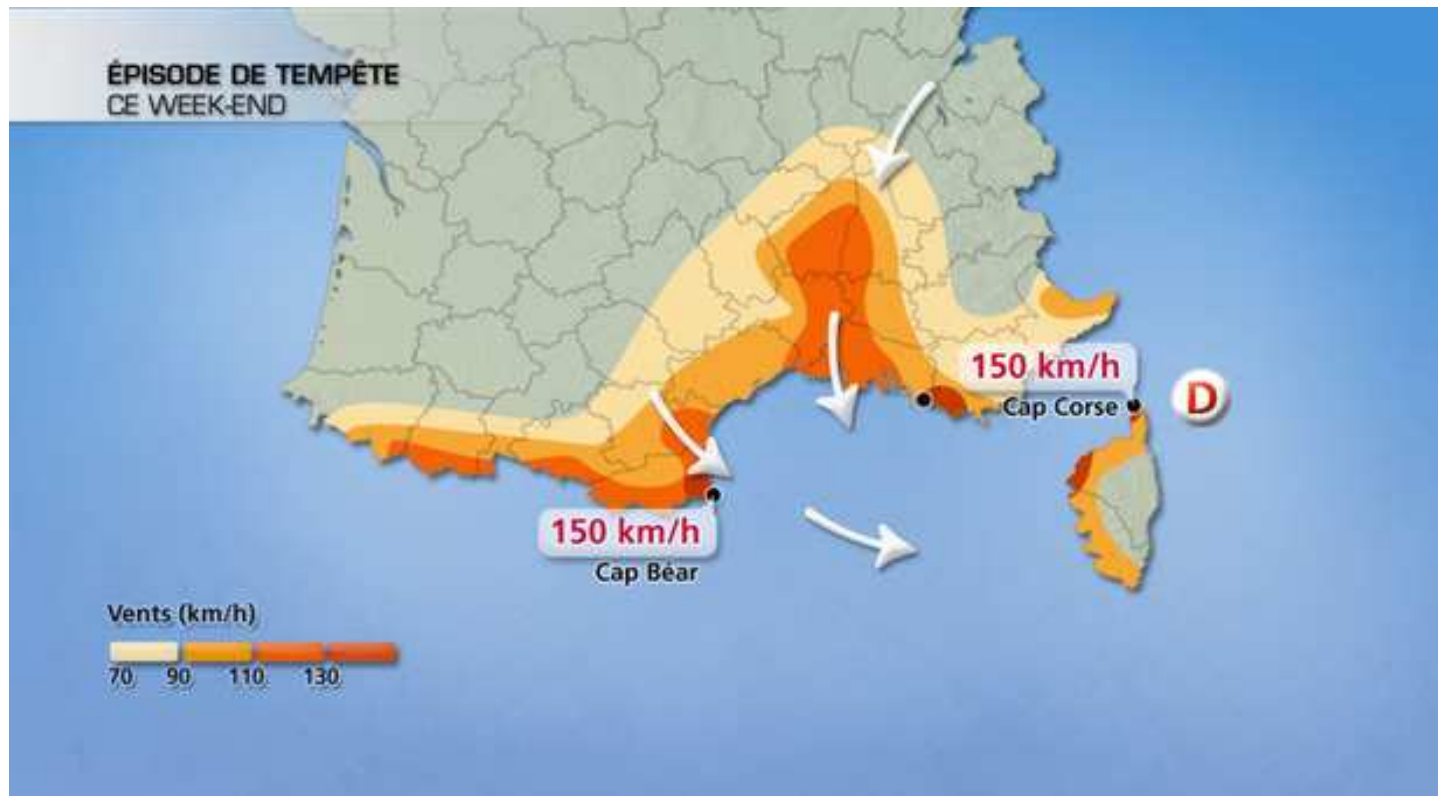
l'effet conjugué de  
**l'anticyclone des Açores**, de la  
**dépression d'Islande**,  
et d'une **dépression sur le golfe de Gênes**





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

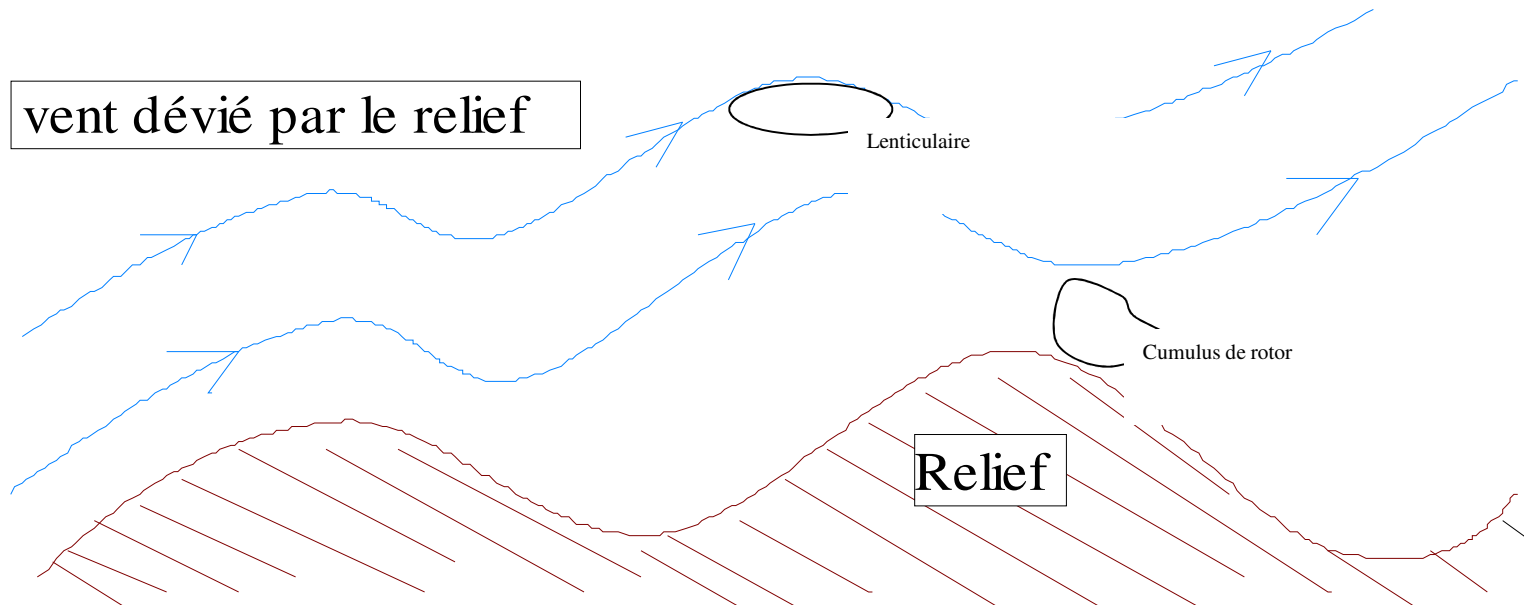
Un avis de tempête sur le Sud de la France : mistral et tramontane vont souffler avec des rafales de vent atteignant 150 km/h. Sur le versant Est des Alpes, se méfier des "retours d'Est" !



## Les vents locaux : vents liés au relief

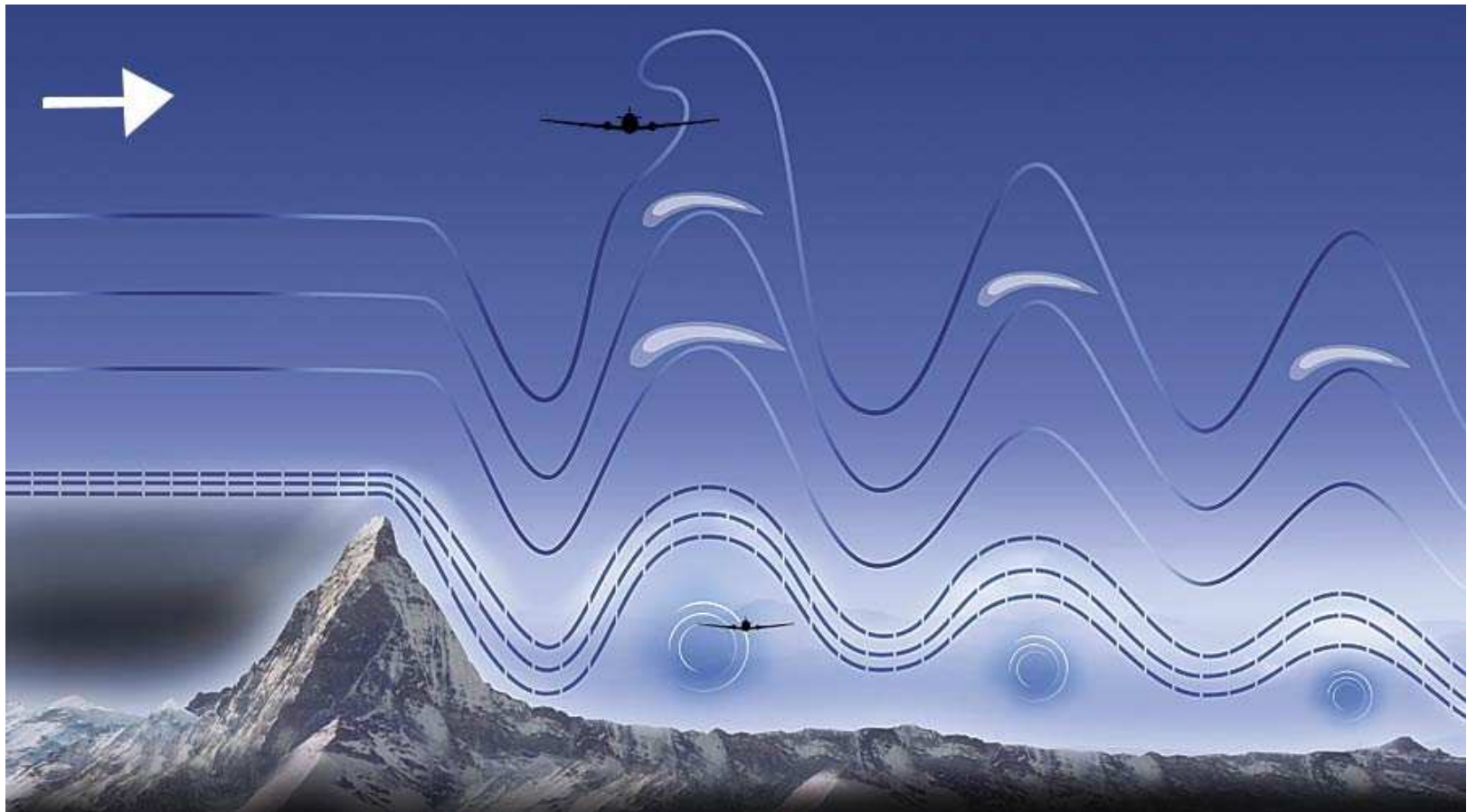
### L'onde:

- 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.

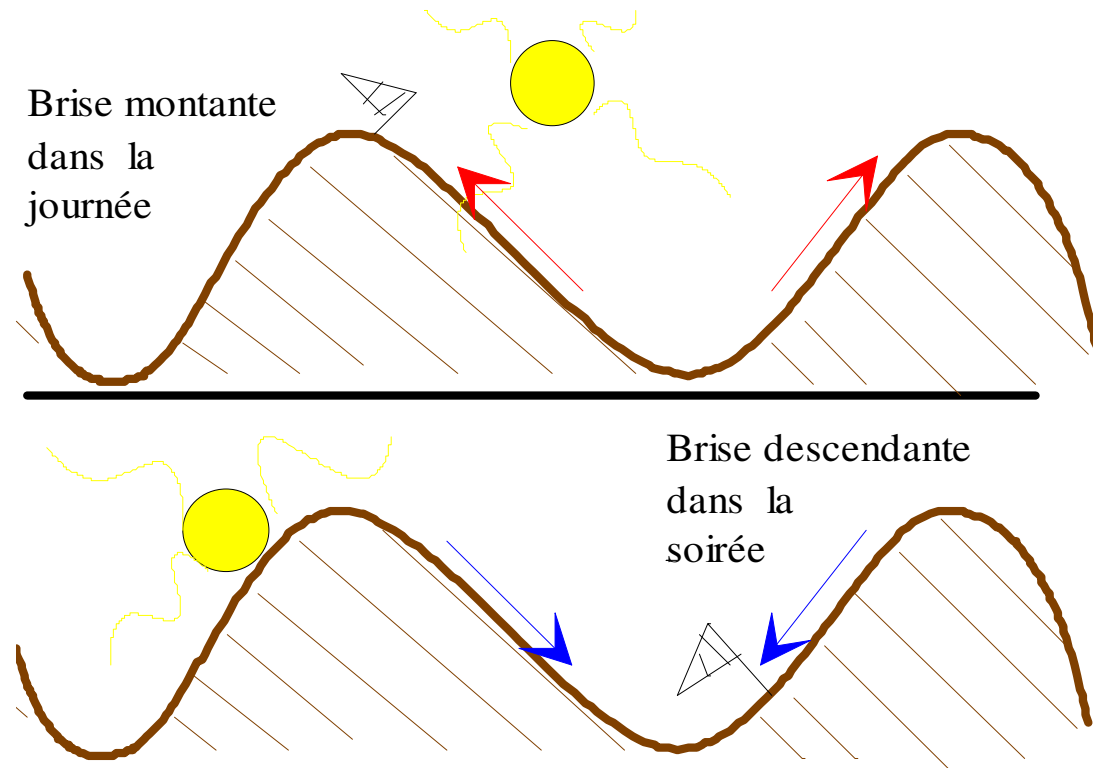


## Les vents locaux : vents liés au relief

### Les brises de pente:

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

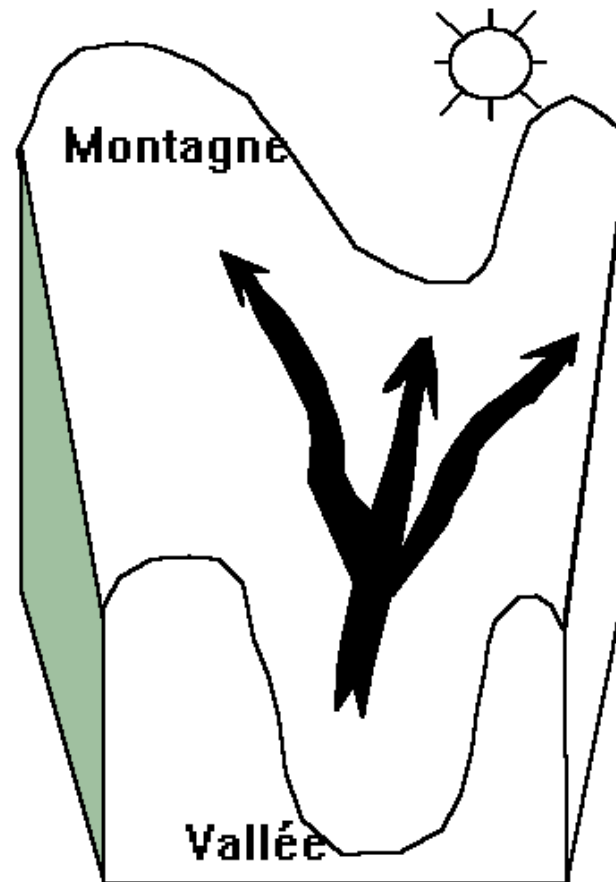
- Lorsque le soleil disparaît, l'air en altitude refroidit. Il descend alors les pentes en une brise descendante.



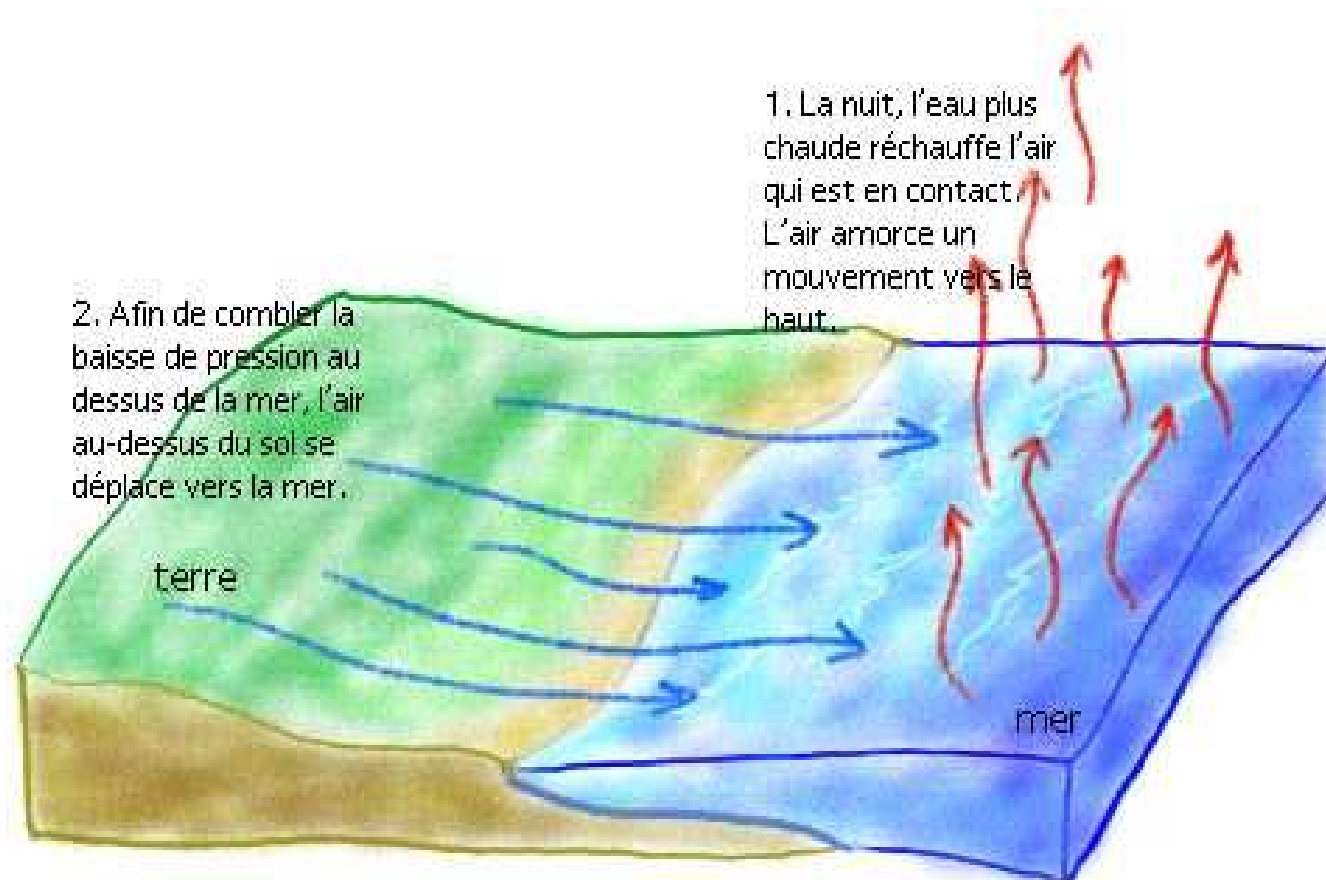
## Les vents locaux : vents liés au relief

On appelle brise un vent d'origine thermique

Brise de vallée ascendante de jour



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

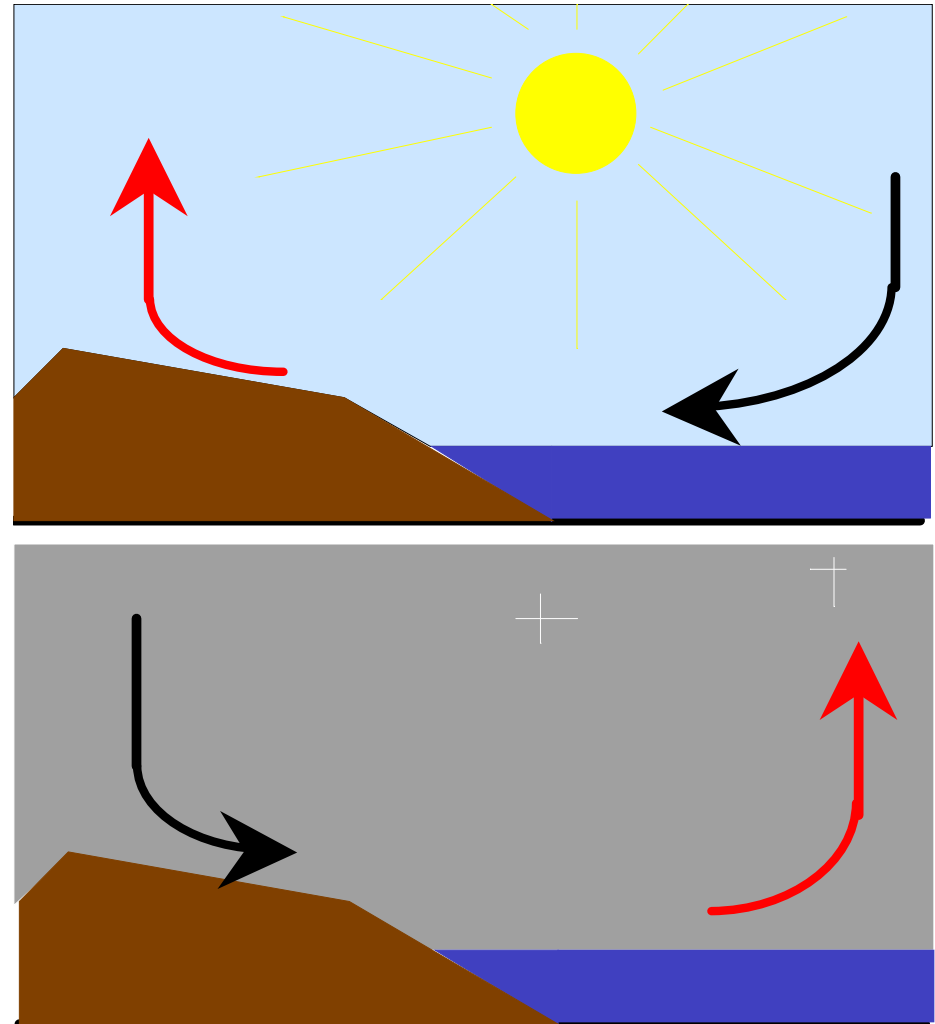


Brise de terre

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

### La brise de mer ou de terre:

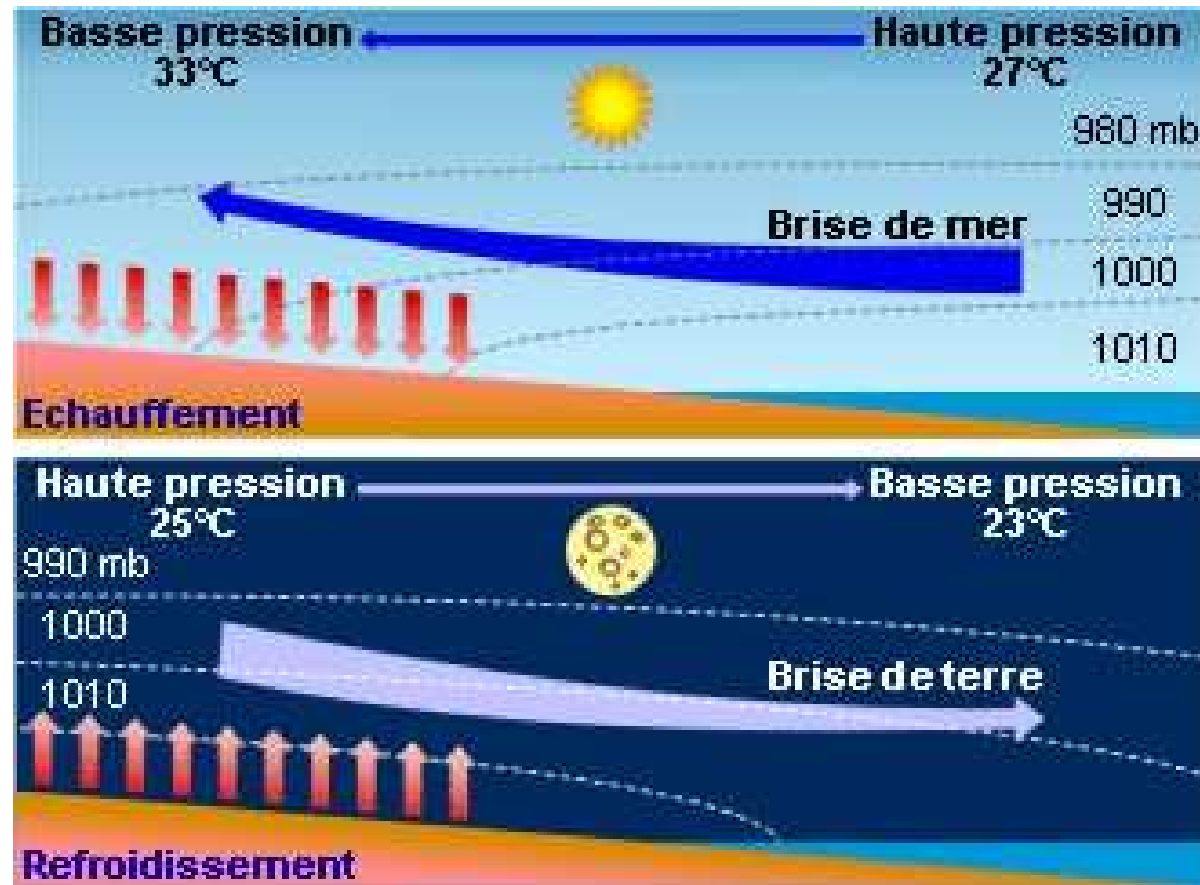
- Dans la journée, la terre chauffe plus vite que la surface de la mer. L'air au sol s'élève et l'air marin le remplace. C'est la **brise de mer**.
- La nuit le sol se refroidit plus vite que la mer. L'air se refroidit à son contact et descend sur la mer. C'est la **brise de terre**.



## 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

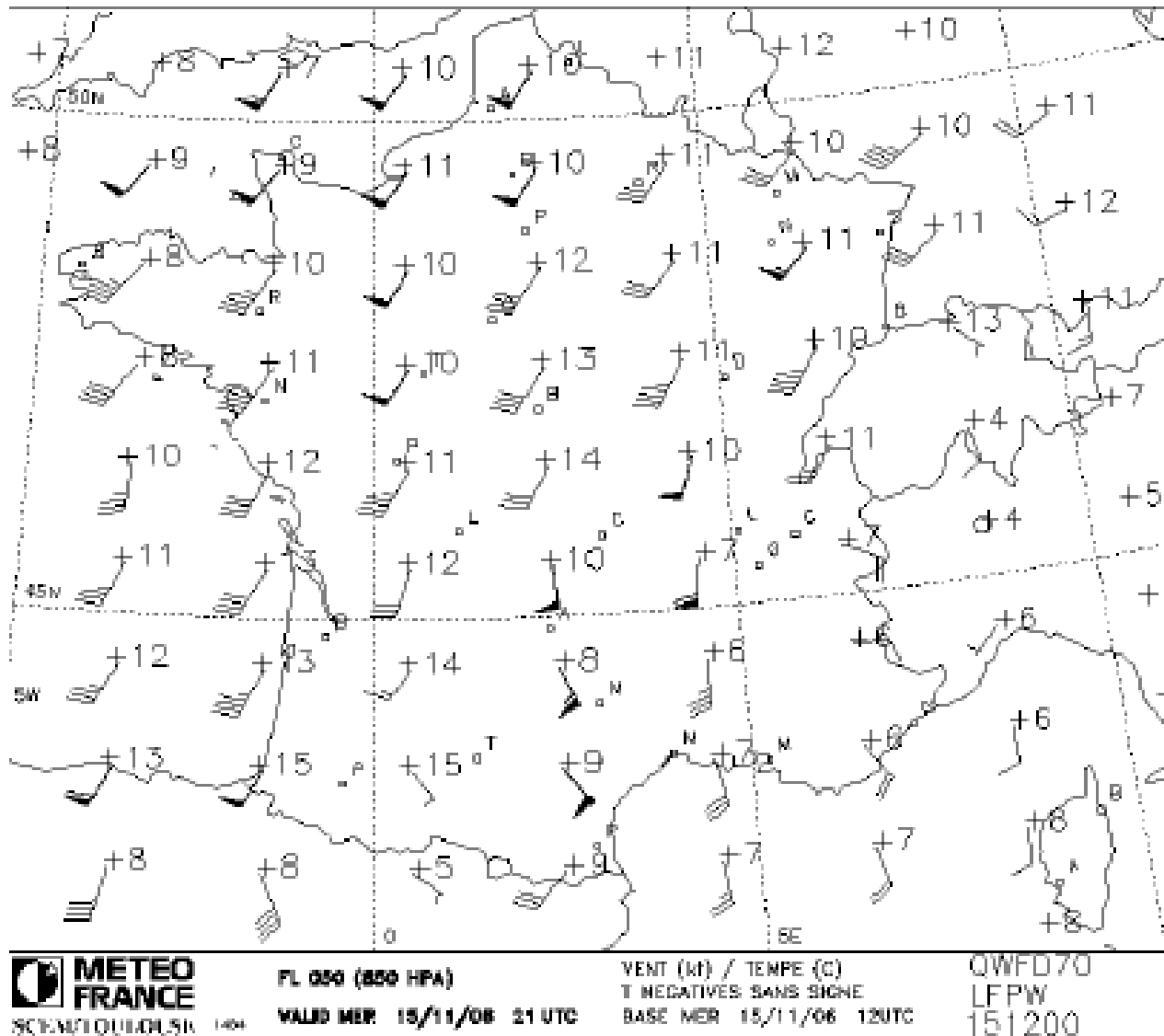
## 4 Information aéronautique sur le vent

### 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 (  $1 \text{ kt} = 1 \text{ Nm/h} = 1,852 \text{ km/h}$  )
  - si nécessaire, la vitesse des rafales

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

# 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°

# 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

# 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.
- 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

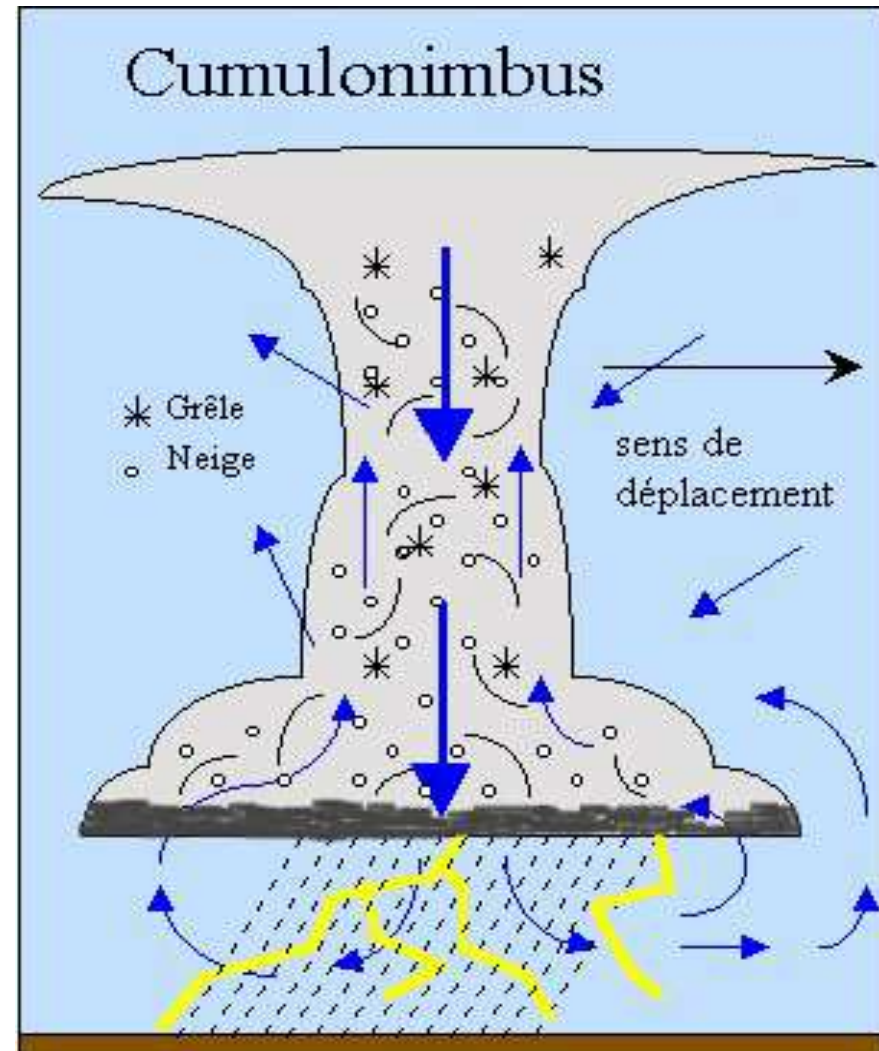
## 2 Précipitations à caractère dangereux

- 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 .



## Orages

- **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

- **D'autre part au sein du nuage lui même, on rencontre non seulement de la pluie mais aussi de la neige et de la grêle.**
- Il est possible de rencontrer 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.



# Orages

- Le bas du nuage se charge négativement tandis que le haut se charge positivement.
- **Quand les charges sont très importantes, il se produit une décharge violente accompagné d'un phénomène lumineux (éclair ou foudre) et d'un phénomène acoustique (tonnerre).**
- 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).
- Un avion atteint par la foudre peut voir certaines parties de sa structure endommagées ou certains de ces instruments et circuits électriques mis hors service.

**Il est primordial de ne pas voler dans ou sous les cumulonimbus pour éviter tous les risques liés à l'orage**

# D – Les phénomènes dangereux

## 4 Brumes et brouillard

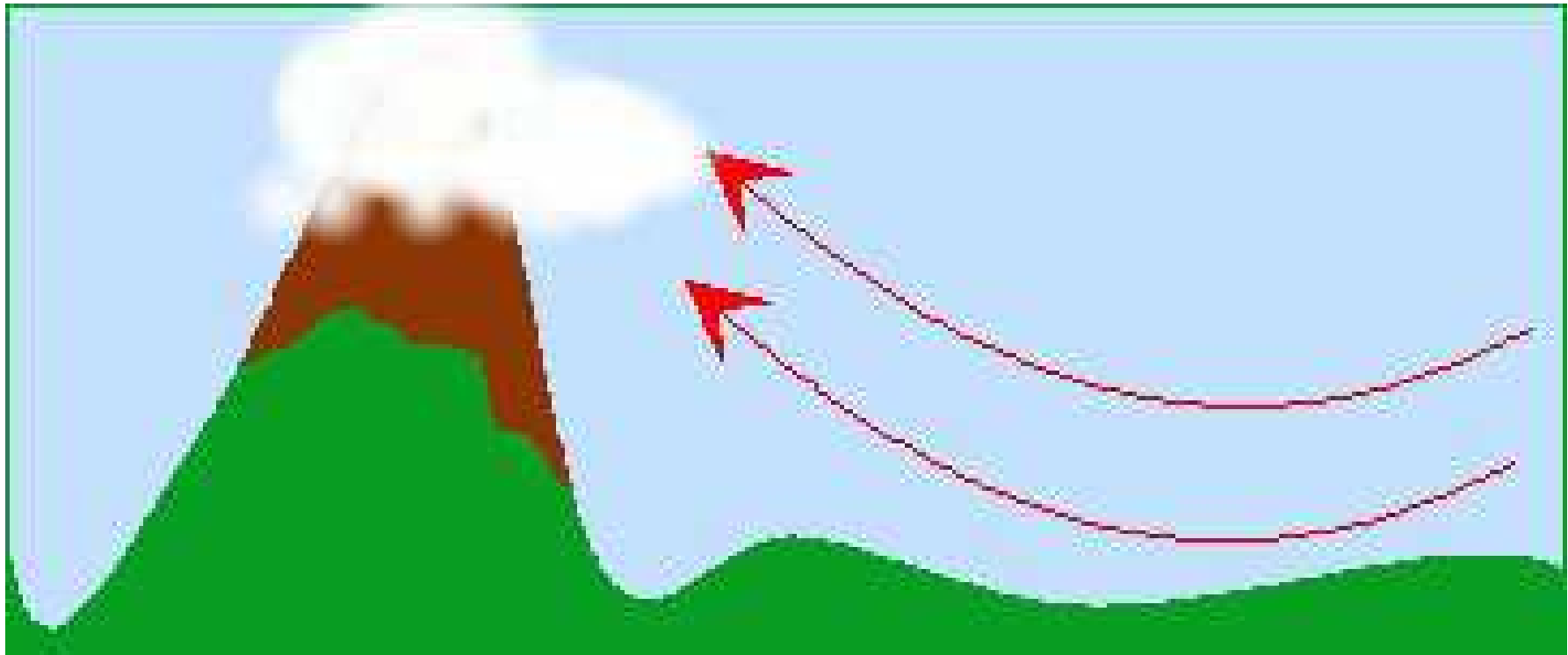
### Les dangers du brouillard

- **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.

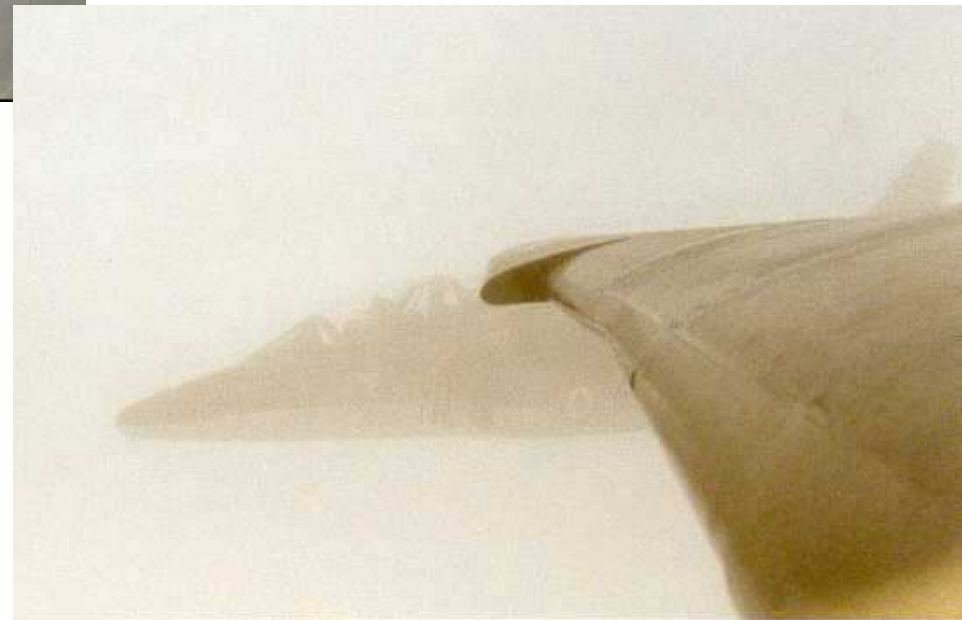


## Brumes et brouillard



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.

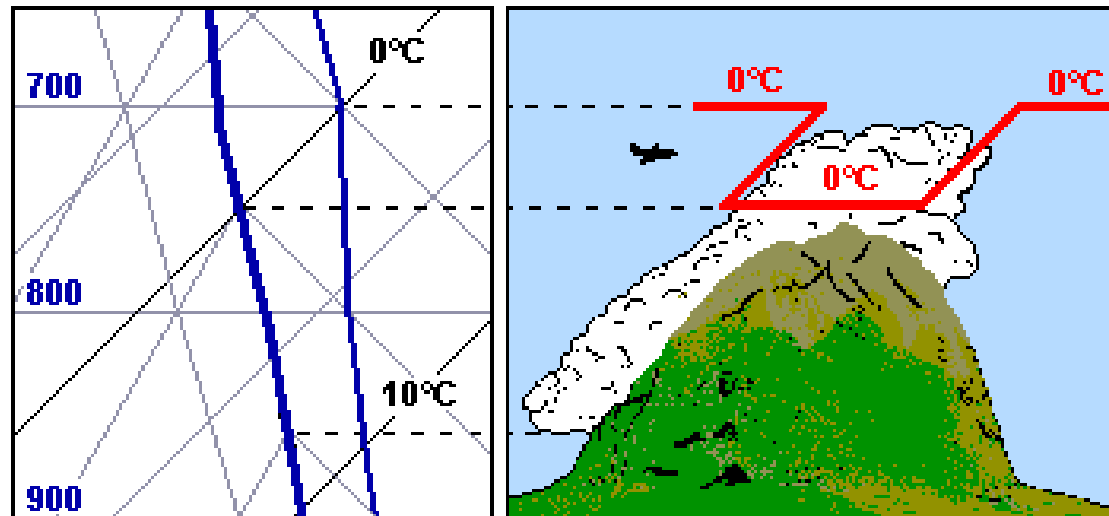
# Givre

## 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





# Givre

## 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 du givrage:**
  - conséquences sur la cellule et sur les moteurs.
  - givrage faible: pas de réel danger si on prend les mesures pour éviter qu'il ne s'aggrave.
  - givrage modéré: contrôlé par les dispositifs anti-givrage des aéronefs.
  - Givrage fort: danger !

# Givrage

## Les effets sur l'avion

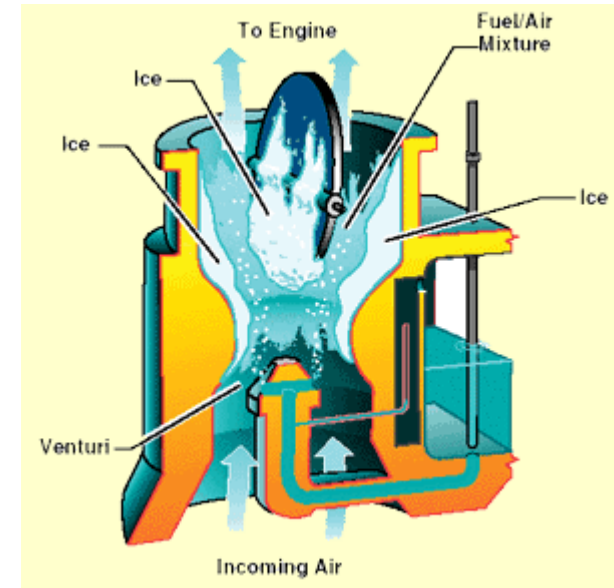
- augmentation de la masse de l'appareil
- déformation du profil aérodynamique par le dépôt de givre (diminution des performances)
- mise hors service des instruments par givrage des sondes (tube de Pitot, prises statiques,...)
- perturbation des moyens radionav par givrage des antennes
- risques de blocage des parties mobiles (gouvernes, volets, becs, train d'atterrissage)
- visibilité nulle à travers le pare-brise.



# 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 (baisse de rendement)
- passage de glace dans les réacteurs (détachement dans l'entrée d'air puis aspiration par le moteur. Dommages possible au compresseurs ou extinction due à la glace dans la chambre de combustion).



# Dégivrage

- Pour lutter contre le givrage, la meilleure solution est d'essayer de l'éviter en évoluant le moins possible en conditions givrantes.
- Pour éviter de givrer l'appareil dans les nuages, il existe des dispositifs permettant de dégivrer les bords d'attaque des ailes, de réchauffer les sondes de mesure ou les antennes et les pare-brises.



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

<http://www.airliners.net>

# 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.

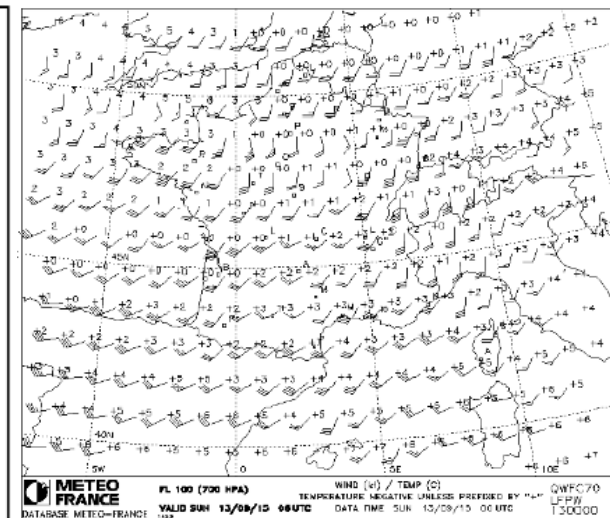
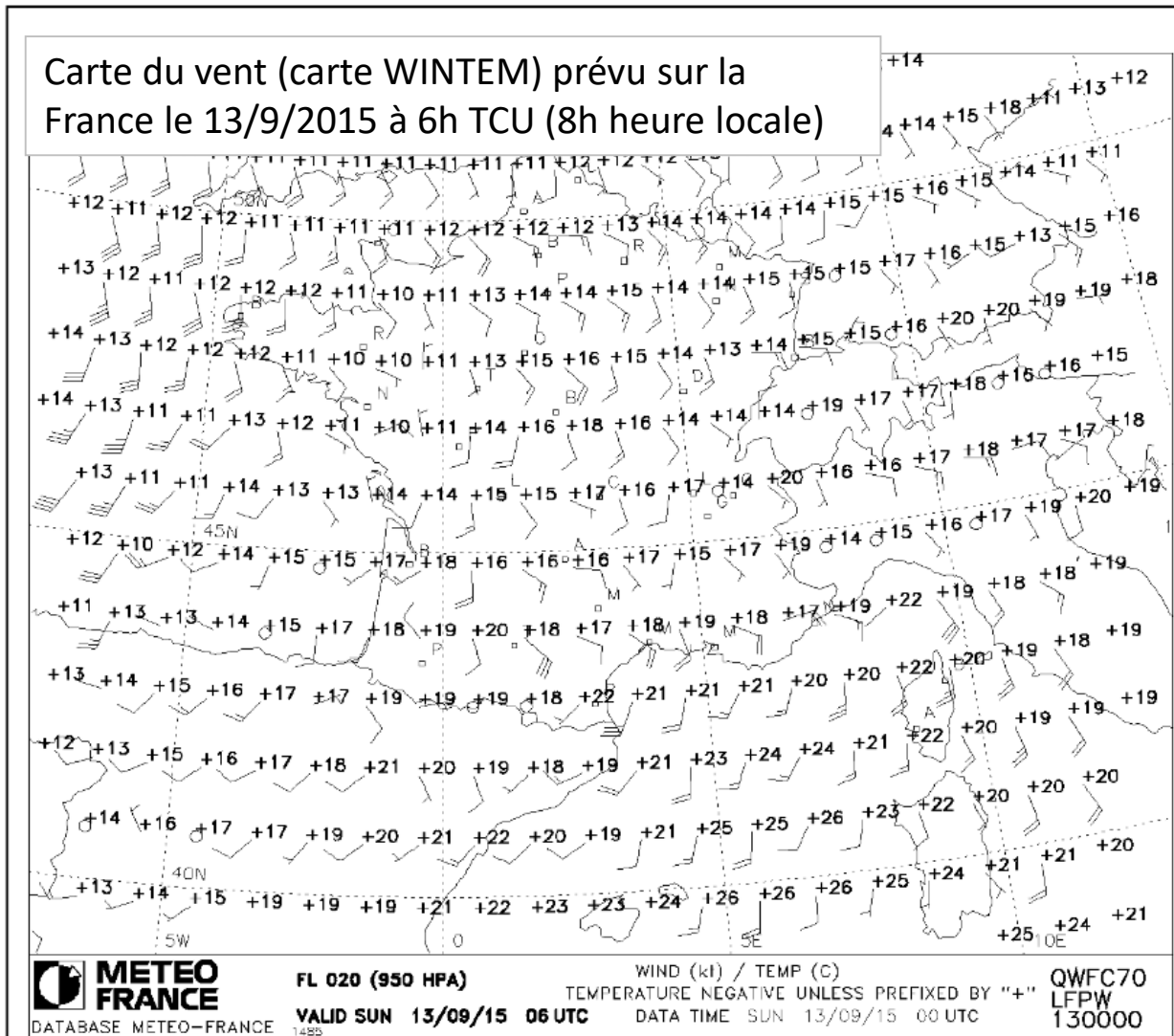
Rappel : l'importance de la couverture nuageuse s'évalue en **octas** (1 octa veut dire 1/8<sup>ème</sup> du ciel est masqué par les nuages).

- 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)

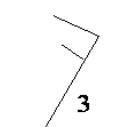
**QNH** : une abréviation pour désigner la pression atmosphérique ramenée au niveau de la mer. Un QNH de 1002 hPa est un QNH bas, qui correspond à une dépression

# D – L'information aéronautique

## 2 - Carte des vents



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



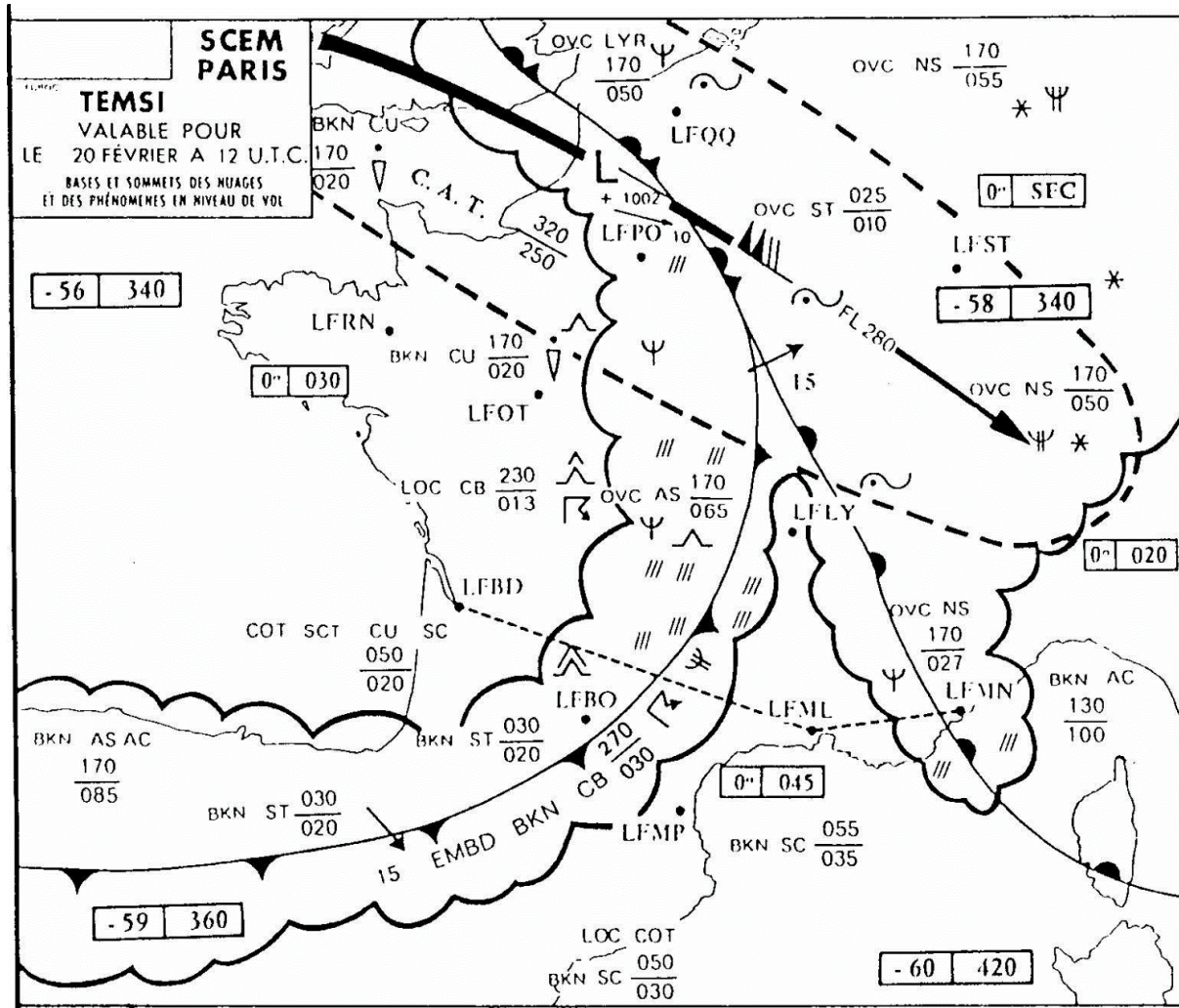
vent de 15 kt  
venant du 30°



vent de 55 kt  
venant du 240°

# D – L'information aéronautique

## 3 - Carte TEMSI et coupe verticale

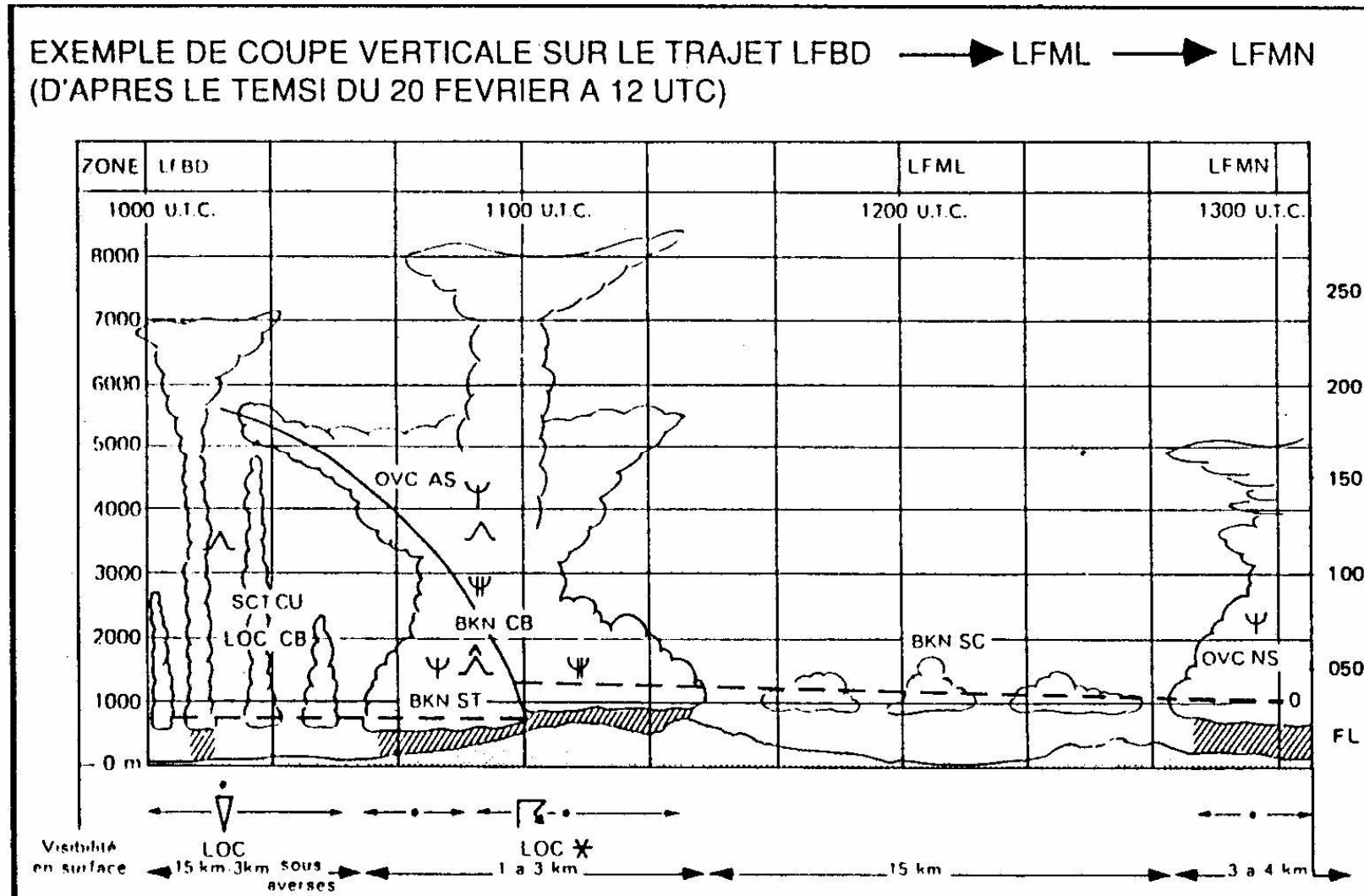


Les cartes **TEMSEI** (**TEMps Significatif**) montrent les principales formations nuageuses et les précipitations qu'elles engendrent.

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

# coupe verticale

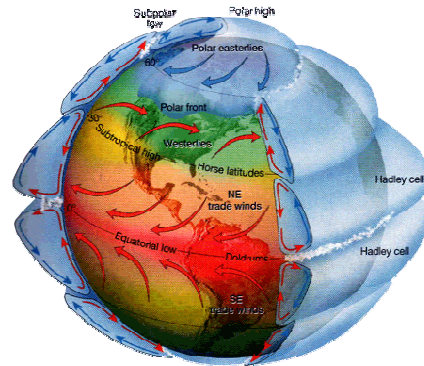
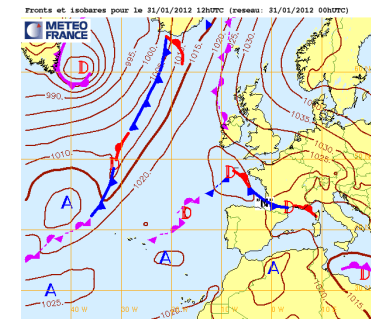
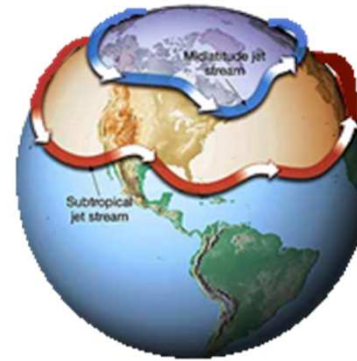
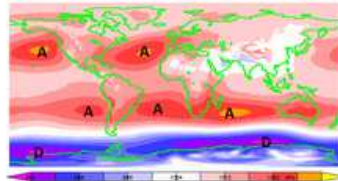
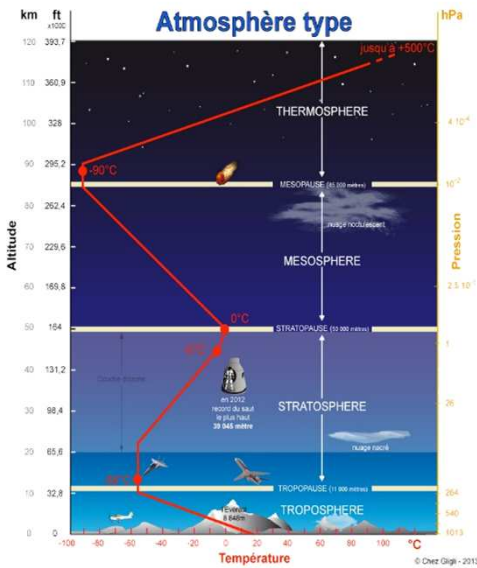
A partir des cartes TEMSI, on peut établir des coupes verticales sur un trajet déterminé



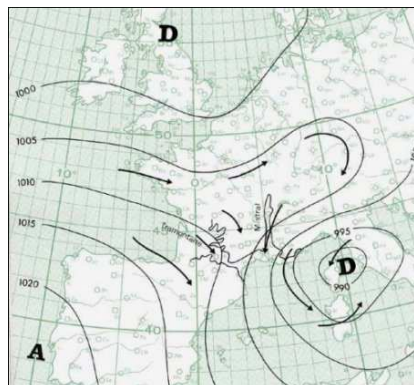
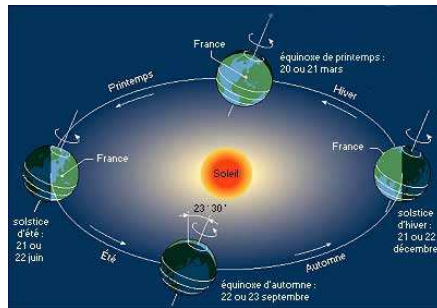
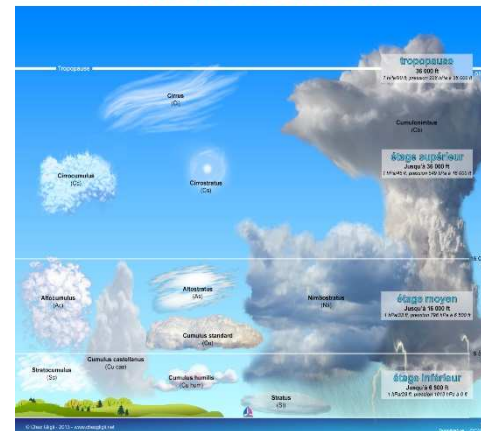




# C'était la Météorologie et l'Aérologie



ATMOSPHERE STANDARD ET NUAGES



Arnaud Pecher

