



Préparation au
BIA-CAEA

Module III



Météorologie



PLAN



Préparation au
BIA-CAEA

1. L'atmosphère
 - ✓ La pression atmosphérique
 - ✓ La température
 - ✓ L'humidité de l'air
2. Les éléments météorologiques
 - ✓ Le vent
 - ✓ Les nuages et les précipitations
3. Les évènements météorologiques
 - ✓ Les masses d'air
 - ✓ La frontologie et les précipitations
 - ✓ Les turbulences, les orages
 - ✓ La brume et le brouillard
 - ✓ Le givre
4. Les services de la météo
 - ✓ Les cartes et codes météo



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

1. L'atmosphère

1. Composition de l'atmosphère
2. La pression atmosphérique
3. La température
4. L'humidité de l'air



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Composition de l'atmosphère

- L'atmosphère terrestre est une couche de gaz entourant la terre
- Mélange **d'air sec** et de **vapeur d'eau**
- Constitution :

- ✓ **78 % d'Azote (N₂)**
- ✓ **21 % d'Oxygène (O₂)**
- ✓ **1 % d'Argon (A)**
- ✓ **0,03 % (des traces) de gaz divers**
(CO₂, Néon, Hélium, Krypton, Xénon, ...)



- ➔ Les trois premiers gaz représentent 99,97 % de l'air sec. Le pourcentage de dioxyde de carbone dépend de l'activité industrielle. Celui d'ozone au niveau de la mer est très faible, mais devient plus important en altitude, dans la "**couche d'ozone**", entre **15 et 45 km**

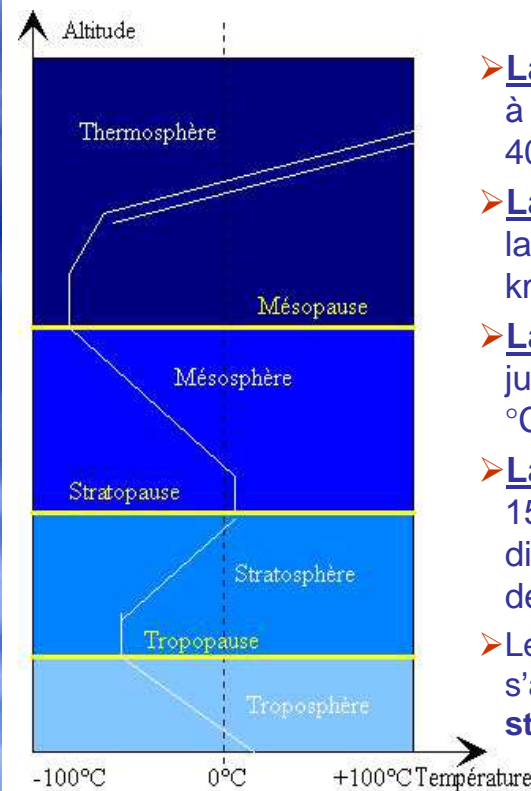


Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

- Température
- Humidité de l'air
- Vent
- Nuages
- Masses d'air
- Frontologie
- Turbulences
- Orages
- Brume & Brouillard
- Givre
- Services météo

Composition de l'atmosphère



- **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)
- **La troposphère** : Épaisseur de 7 à 15km. (11 km sous nos latitudes). T diminue avec l'altitude pour descendre jusqu'à -50 / -60 °C
- Les séparations entre les 4 couches s'appellent la **tropopause**, la **stratopause** et la **mésopause**

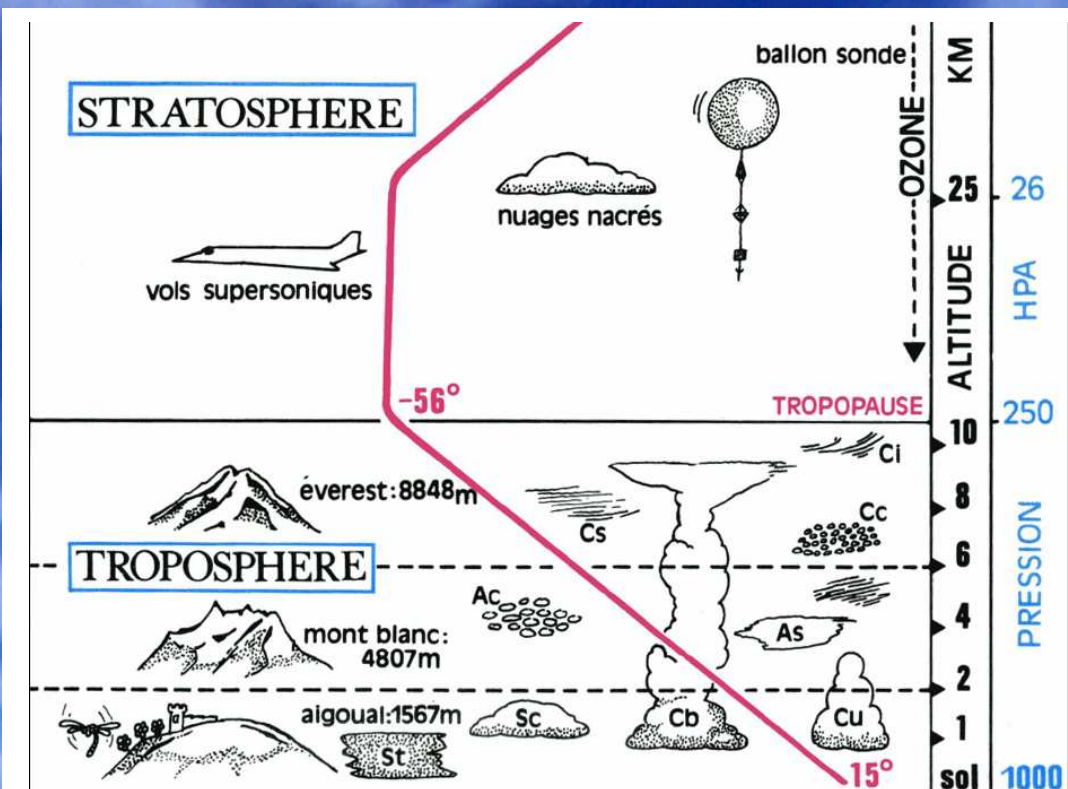


Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

- Température
- Humidité de l'air
- Vent
- Nuages
- Masses d'air
- Frontologie
- Turbulences
- Orages
- Brume & Brouillard
- Givre
- Services météo

Zone d'évolution des aéronefs





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

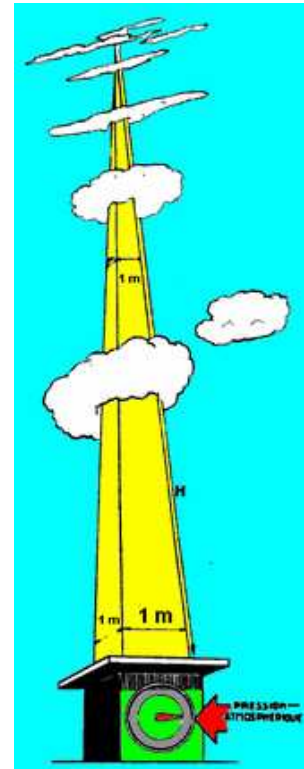
Brouillard

Givre

Services météo

La pression atmosphérique

- La pression atmosphérique correspond au poids de la **colonne d'air** qui appuie sur un mètre carré de surface, soit environ **10 tonnes** ou **10 000 kilogrammes par mètre carré** c'est-à-dire **100 000 Pascals**
- Dans le système international d'unités, la pression se donne en **Pascal**. En météo il est plus pratique d'utiliser l'**hectopascal (1 hPa = 100 Pa)**. On utilise également le **millibar (1 mbar = 1 hPa)**
- C'est, avec **la température**, un paramètre fondamental en météo pour prévoir le temps qu'il fera
- La valeur moyenne au niveau de la mer est de **1013 hP**



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

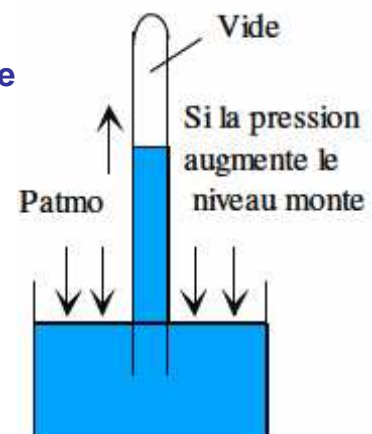
Brouillard

Givre

Services météo

Les mesures de la pression atmosphérique

- les premières mesures de la pression atmosphérique ont été effectuées par TORRICELLI. De là fut mis au point un instrument pour la mesurer, le **baromètre**
- Celui-ci utilise du **mercure** (Hg) pour mesurer la pression atmosphérique
- La première unité de mesure de la pression atmosphérique fut le **millimètre de mercure** (mmHg) ou le pouce de mercure (InHg) pour les Anglo-Saxons





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

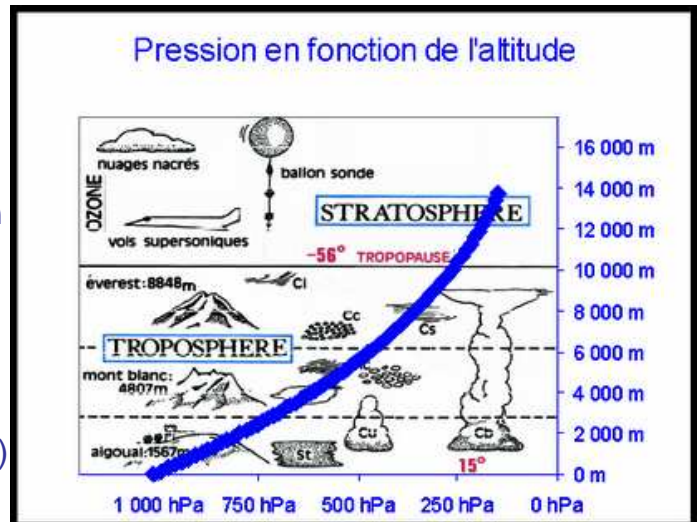
Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

La pression atmosphérique

- La pression **varie** en fonction **du moment** et **du lieu**
- Elle **diminue** lorsque l'on gagne de l'altitude. Elle suit une loi que l'on appelle la « loi du nivellement barométrique ».
- A **5,5 km** d'altitude la pression a diminué de **moitié**, à **10 km** il n'en reste que le **quart**
- La diminution est **plus rapide** en basse altitude qu'en haute altitude
- Pour que la pression diminue de **1hPa**, il faut monter de :
 - **8,5 m (=28 ft)** au niveau de la mer,
 - **30 m (=100 ft)** vers 3000 m (10000 ft)



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

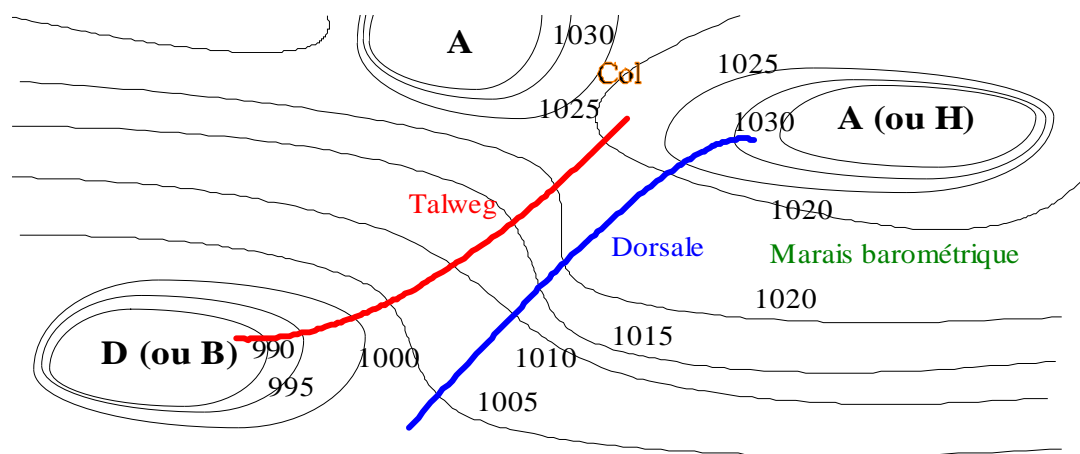
Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Lignes et surfaces isobares

- La pression varie en fonction de l'**altitude** mais aussi selon le **lieu**
- Selon la nature du sol et divers autres paramètres, la température n'est pas uniforme au niveau de la mer et de ce fait la pression ne l'est pas non plus
- On trace des cartes sur lesquelles figurent des courbes joignant les points de même pression au niveau de la mer : **des isobares**





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Terminologie

- **Les ANTICYCLONES** : Zones de **hautes pressions** notées A ou H (H pour high sur les documents anglo-saxons). Le vent y est faible et le temps est beau avec un ciel souvent bien dégagé
- **Les DEPRESSIONS** : Zones de **basses pressions** notées D ou L (L pour low sur les documents anglo-saxons). Le vent y est plutôt fort et le temps est mauvais
- **Les COLS** : Zones situées **entre des dépressions** ou anticyclones et marquant une inversion de sens d'évolution de la pression. Les vents y sont relativement calmes et de direction variable. Le temps est également variable
- **Les MARAIS BAROMETRIQUES** : Vastes zones où la pression **évolue très peu**. Les vents y sont faibles et de direction très variable. Il s'agit d'une zone de mauvais temps stagnant
- **Les DORSALES** : Il s'agit d'une avancée de **hautes pressions** dans les zones de pression plus basse. Le temps dans cette région est en général beau
- **Les TALWEGS ou THALWEGS** : C'est une avancée des zones de **basses pressions**. Il s'agit souvent de l'effet d'un front froid. On y rencontre des vents assez forts et du mauvais temps



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

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 O.A.C.I. :

- au niveau de la mer **T = +15°C** et **P_{atm} = 1013,25 hPa**
- **gradient vertical température : -6,5°C / 1000 m jusqu'à 11000 m**, nul entre 11000 et 20000 m puis **+10 °C / 1000 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 m.s⁻²**



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

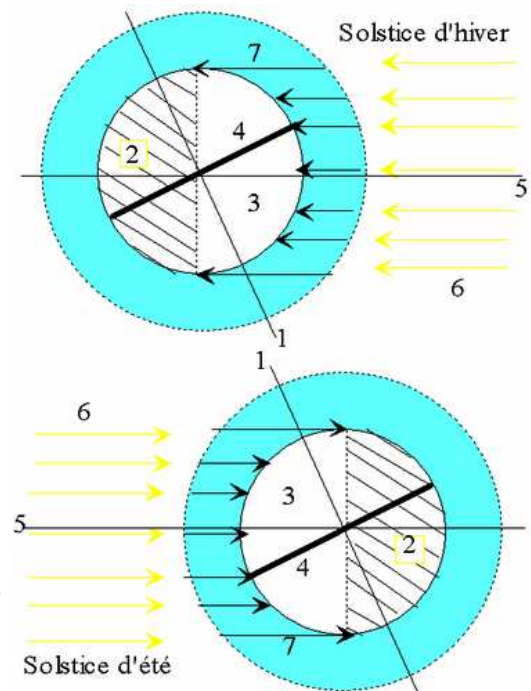
Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Température – Variations saisonnières

- En fonction de la position de la terre sur son orbite la durée d'ensoleillement et la hauteur du soleil sur l'horizon changent. Cela influe sur la température
 - La terre tourne autour d'elle-même selon l'axe de ses pôles (1)
 - Elle tourne également autour du soleil dans un plan incliné de $23,5^\circ$ par rapport à l'équateur que l'on appelle plan de **l'écliptique** (5)
 - Les rayonnements solaires (6) parviennent à la terre
 - L'épaisseur d'atmosphère qu'ils doivent traverser pour parvenir à la surface du globe (7) n'est donc pas la même selon la latitude
- ➔ Suite .../...



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

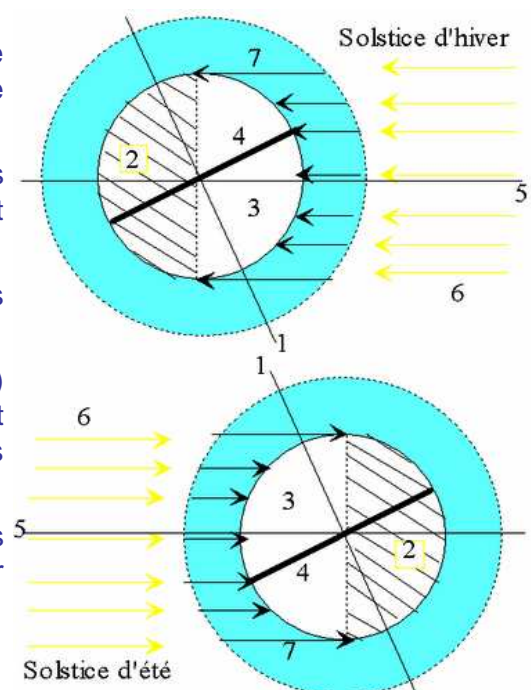
Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Température – Variations saisonnières

- ➔ Suite
- Les pôles reçoivent une quantité d'énergie bien plus faible que l'équateur
 - Les saisons sont alors inversées entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud
 - Le schéma fait apparaître les zones de nuit (2) et de jour (3)
 - Seuls les points de l'équateur (4) ne sont pas soumis aux saisons et aux variations de durée des jours et nuits (12 h / 12 h)
 - Inversement les pôles sont soumis à une alternance de 6 mois de jour et 6 mois de nuit





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Température – Variations locales

- 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 convection. Sa masse volumique diminue alors et il s'élève pour laisser la place à de l'air plus froid.
- Au dessus des zones les plus chaudes il y a donc des mouvements ascendants de la masse d'air et au dessus des 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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

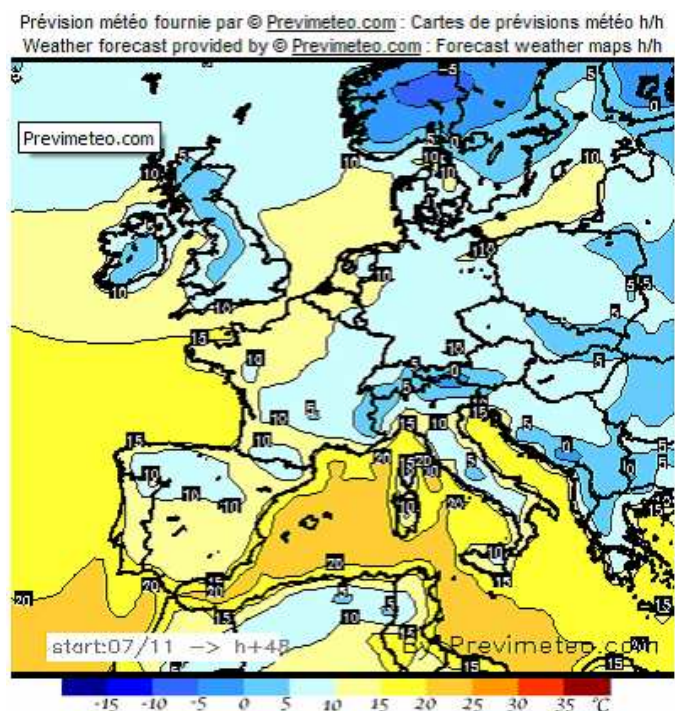
Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Température – Variations locales

- Ces variations locales ont une très grande influence sur l'évolution de la météo sur des durées faibles (quelques heures)
- Elles sont donc prises en compte par les météorologistes pour pouvoir prévoir le temps et son évolution sur une durée de quelques heures





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

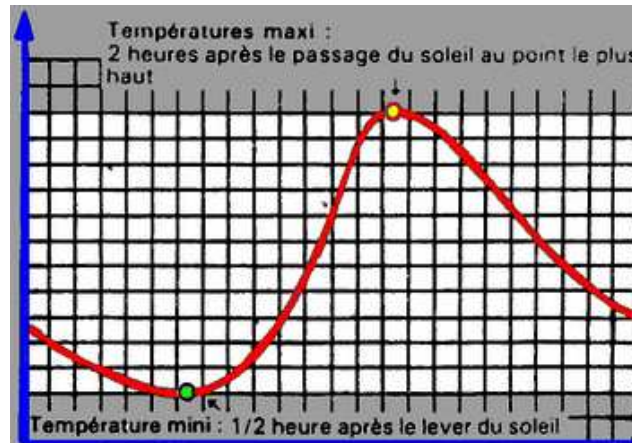
Brouillard

Givre

Services météo

Température – Evolutions journalières

- En l'absence de vent qui pourrait faire changer de masse d'air au cours de la journée ensoleillée
- et après une nuit sous un ciel dégagé
- 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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

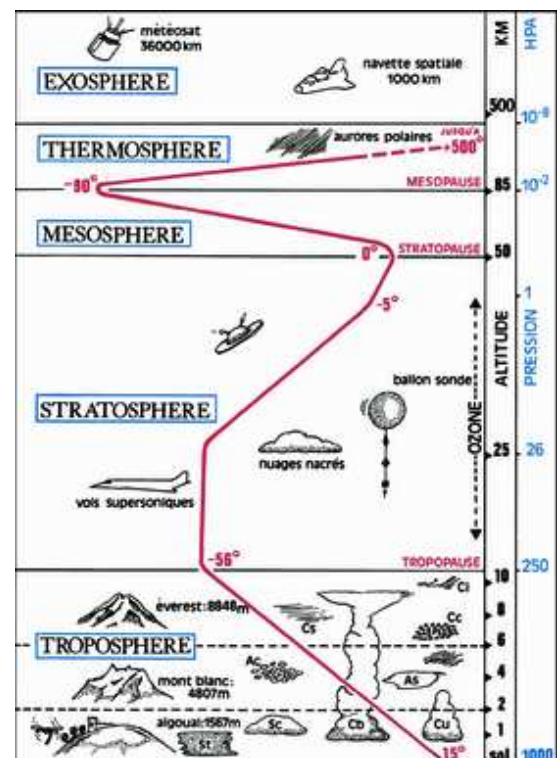
Brouillard

Givre

Services météo

Température – Evolutions avec l'altitude

- La **température évolue avec l'altitude.**
- Le **gradient de température** retenu pour l'atmosphère standard n'est pas celui que l'on rencontre tous les jours.
- Pour la **troposphère**, couche des phénomènes météorologiques, le gradient de $-6,5^\circ\text{C} / 1000\text{m}$ est un gradient moyen
- Il se peut également que le gradient ne soit pas constant de 0 à 11000 m.
- Le **gradient dépend de l'humidité** de l'air (1°C par 100m pour de l'air sec).
- Il dépend beaucoup de l'homogénéité de la masse d'air.
- On peut assister à une **inversion de signe du gradient** dans certaines couches





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

Givre

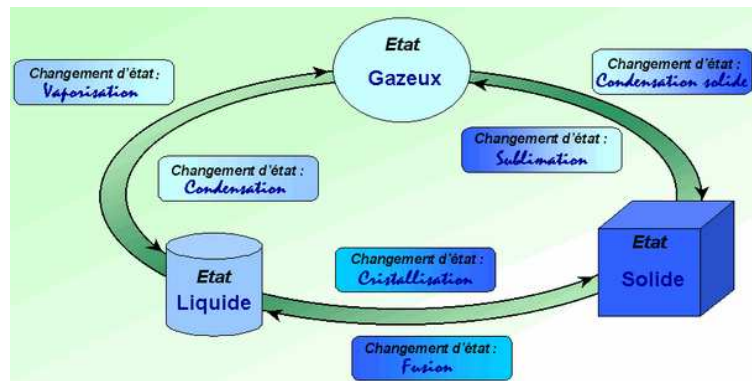
Services météo

Humidité relative de l'air

- La quantité de vapeur d'eau qui peut être contenue dans l'air dépend des conditions de température et de pression de ce dernier. **Plus la température de l'air est élevée et plus la quantité d'eau qui peut être dissoute est importante.**
- **L'humidité relative est le rapport entre la masse d'eau dissoute dans l'air et la masse maximale d'eau que l'on peut y dissoudre**

$$U = 100 q / Q$$

L'humidité relative permet donc aux météorologues de prévoir les formations de nuages et même le type de nuages et les risques de précipitation



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

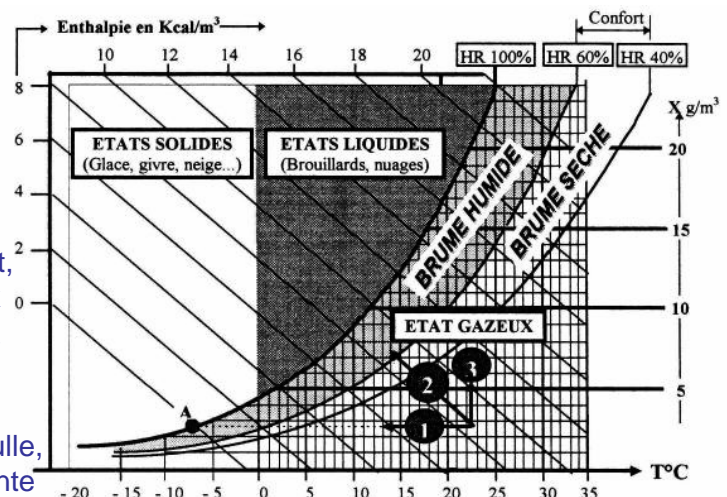
Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Humidité relative de l'air

- Lorsque l'humidité relative atteint 100 %, on dit qu'il y a **saturation** ou que **l'air est saturé** en vapeur d'eau.
- Dans ce cas il va pouvoir se former **des nuages ou du brouillard** selon les conditions.
- **L'humidité relative, HR**, ou degré hygrométrique se mesure avec un hygromètre ou un psychromètre
- Ce dernier instrument, est constitué de deux thermomètres dont la différence permet de calculer HR
- Si la différence est nulle, la saturation est atteinte (brouillard)





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Saturation de l'air humide

- Pour une même quantité de vapeur d'eau dissoute, l'humidité relative dépend de la température. Plus il fait froid, et plus elle est importante. 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 %. En effet, à plus faible température la quantité d'eau pouvant être dissoute dans l'air est plus faible
- Pour ce dernier mode on définit deux températures auxquelles on peut atteindre la saturation



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

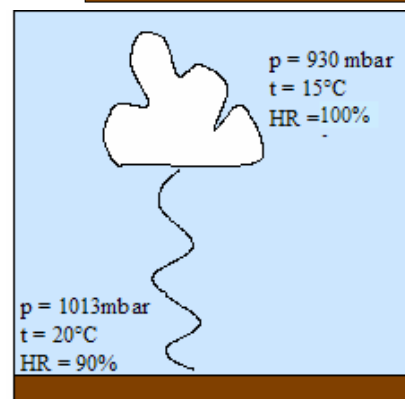
Saturation de l'air humide

- 1- 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)

$p = 1013 \text{ mbar}$
 $t = 20^\circ\text{C}$
 $\text{HR} = 85\%$

$p = 1013 \text{ mbar}$
 $t = 05^\circ\text{C}$
 $\text{HR} = 100\%$

- 2- la température du point de condensation** : température à laquelle on atteint la saturation si le refroidissement est provoqué par une baisse de la pression.





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

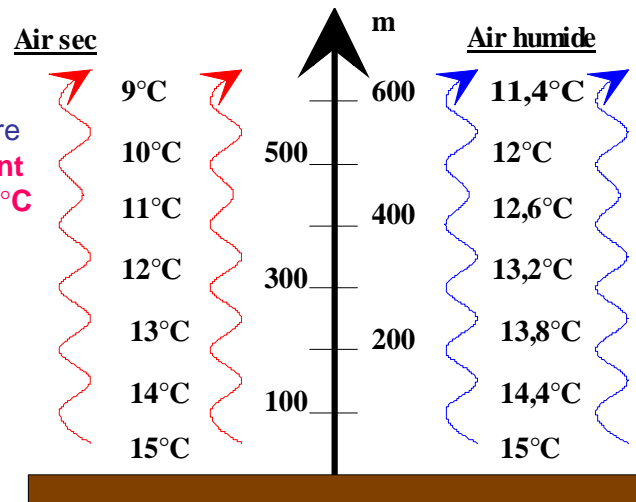
Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

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 1°C tous les 100 m**
- 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 0,6°C pour 100 m**



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Saturation de l'air humide

- 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 :
 - ✓ 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
- ➔ On dit alors que **l'atmosphère est stable**



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

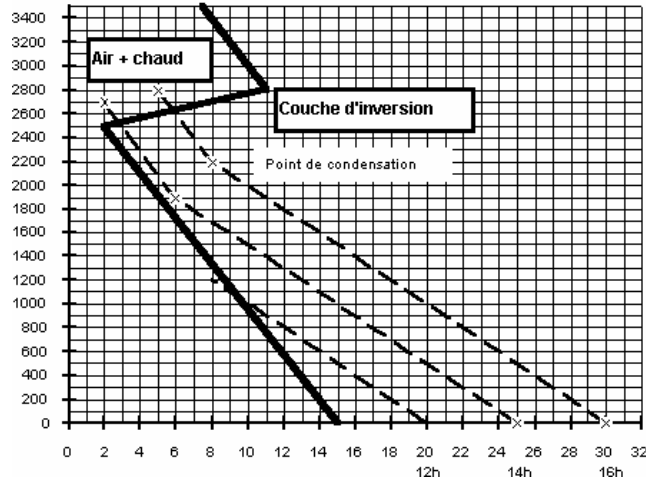
Givre

Services météo

Saturation de l'air humide

- 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

Fig 14a



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

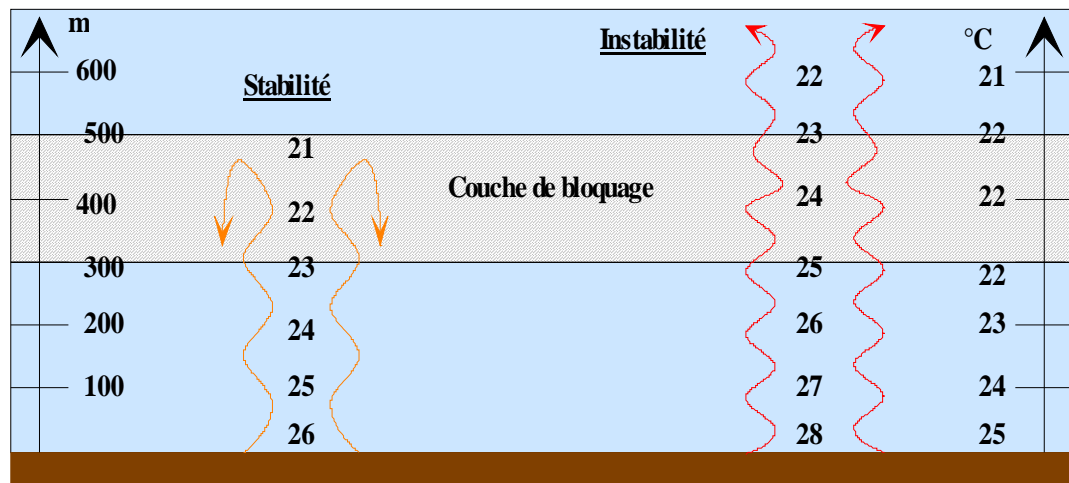
Brouillard

Givre

Services météo

Saturation de l'air humide

- 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
 - ✓ 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
- On dit alors que l'atmosphère est **instable**





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Saturation de l'air humide

- Une bulle d'air chaud quittant le sol se refroidit selon le **gradient adiabatique en air sec**
- Si le **gradient atmosphérique** est du même ordre, la bulle monte
- Arrivée à son niveau de condensation, la bulle va donner naissance à un nuage. Son gradient va devenir inférieur à celui de l'atmosphère ($0,6 \text{ °C} / 100 \text{ m}$) et la montée continuera de plus belle
- Il se forme alors des nuages à très grand développement vertical : **les cumulus congestus et les cumulonimbus (nuage d'orage)**
- **On dit qu'il y a instabilité absolue**

- Si au cours de leur ascension les bulles thermiques rencontrent une isothermie ou une inversion de température sur une couche de faible épaisseur, les bulles parties avec les températures les plus importantes parviendront à traverser cette couche et à poursuivre leur ascension
- En revanche, celles qui se sont détachées du sol avec une différence de température peu importante seront stoppées par l'isothermie ou l'inversion
- **On dit qu'il y a instabilité sélective**
- Lorsque la masse d'air est instable, les thermiques se déclenchent d'autant plus facilement que le sol présente de forts contrastes (zones claires et zones sombres) et des natures différentes (rocher, forêts, champs...)



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Saturation de l'air humide

En résumé :

- Le degré de stabilité ou d'instabilité d'une masse d'air, dépend du rapport entre son gradient vertical thermique et le gradient adiabatique
- Tout ce qui tend à **diminuer le gradient thermique vertical** d'une masse d'air, le rend stable (refroidissement par la base, réchauffement par le sommet)
- Tout ce qui tend à **augmenter le gradient thermique vertical** d'une masse d'air, le rend instable (réchauffement par la base, refroidissement par le sommet)

Les indices révélateurs de l'état de l'air :

- En présence de vent :
 - ✓ Air stable = vent fort et régulier.
 - ✓ Air instable = vent irrégulier et en rafale
- En présence de nuages :
 - ✓ Air stable = pas de mouvement convectif
 - ✓ Air instable = mouvement convectif



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

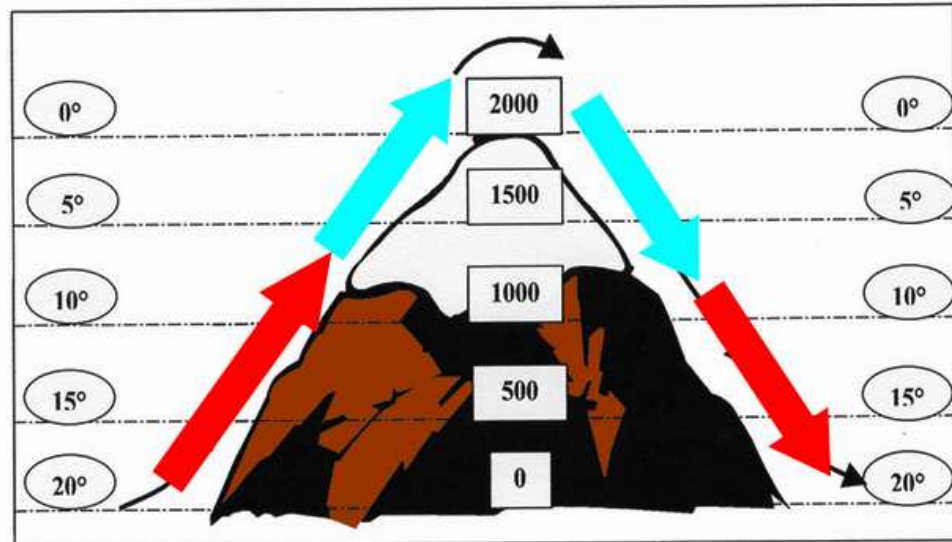
Givre

Services météo

En résumé

Exemple n° 1 :

- Soit une masse d'air limpide (sec) à 20° devant contourner un relief. L'air s'élève le long de la pente, la pression diminue → détente → refroidissement, puis l'air redescend de l'autre côté. Et enfin la pression augmente → compression → réchauffement



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

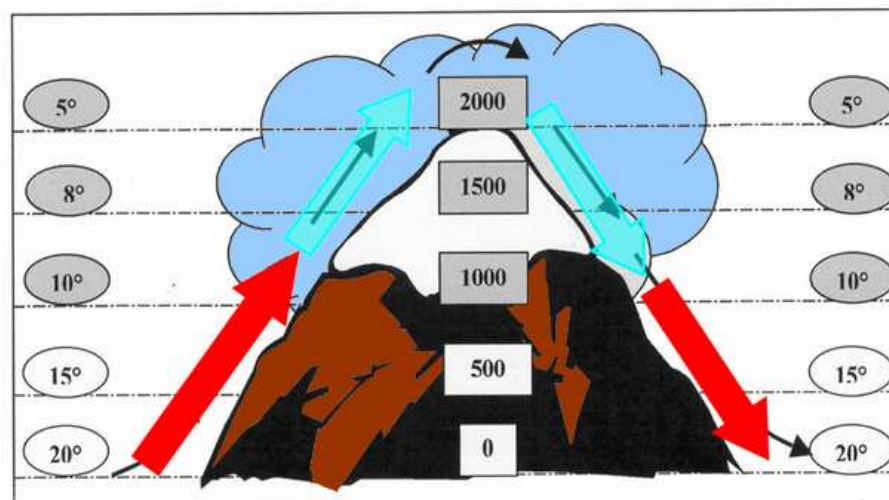
Givre

Services météo

En résumé

Exemple n° 2 :

- La masse d'air est toujours à la même température, mais sa quantité de vapeur d'eau est plus importante. L'air s'élève le long de la pente. La pression diminue → détente → refroidissement → saturation → point de rosée → passage de l'eau de l'état gazeux à l'état liquide → formation d'un nuage. Enfin l'air redescend de l'autre côté. La pression augmente → compression → réchauffement → passage de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux → et évaporation du nuage



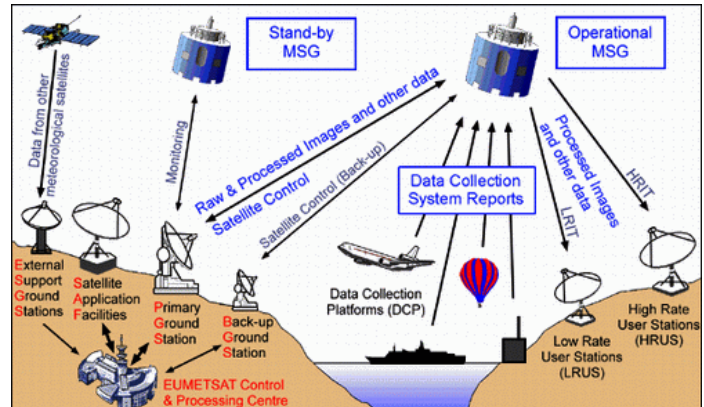


Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume & Brouillard
Givre
Services météo

Observations et mesures

- Les observations et les mesures peuvent être effectuées au sol ou en altitude :
 - ✓ Au sol, dans les abris météo
 - ✓ En altitude par ballon sonde, par avion, ou par satellite
- La température de l'air doit être mesurée à l'**abri du soleil** l'instrument utilisé est un **thermomètre**
- Le **psychromètre** est un autre instrument qui donne une indication sur l'humidité relative de l'air. Il est composé de **deux thermomètres**
- Un **hygromètre** sert à mesurer l'humidité relative
- La pression se mesure avec un **baromètre**



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume & Brouillard
Givre
Services météo

Le vent - les origines

- 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

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 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**

La force de CORIOLIS

- Tout objet en mouvement dans l'hémisphère nord est dévié vers sa droite. (c'est le contraire dans l'hémisphère sud). Les particules d'air n'y font pas exception
- Lors de son déplacement des hautes vers les basses pressions, l'air est dévié vers **la droite** dans l'hémisphère nord et vers **la gauche** dans l'hémisphère sud



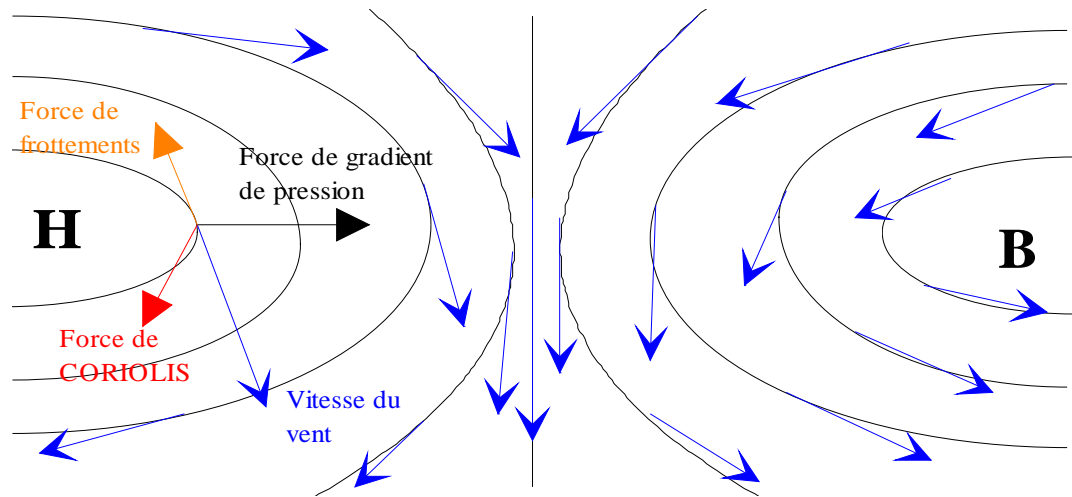
Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Le vent - les origines

Les forces de frottements

- Lors de son mouvement, l'air frotte contre les autres particules d'air et le sol. Cela entraîne des forces **s'opposant à son mouvement**
- Elles ne le dévient pas mais le freinent
- L'action de ces trois forces a pour conséquence de stabiliser la direction du vent :



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Le vent - les origines

- **Le vent se stabilise dans une direction tangente aux isobares.** En réalité, il les coupe légèrement vers l'intérieur dans les dépressions et vers l'extérieur dans les anticyclones
- Dans l'hémisphère nord il tourne dans le **sens horaire** (sens des aiguilles d'une montre) autour des **anticyclones** et dans le sens **anti-horaire** autour des **dépressions**
- Dans l'hémisphère sud c'est le **contraire**



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

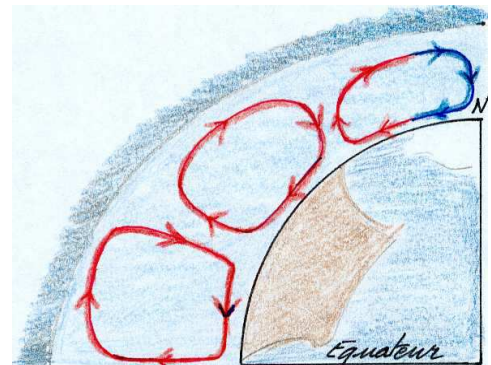
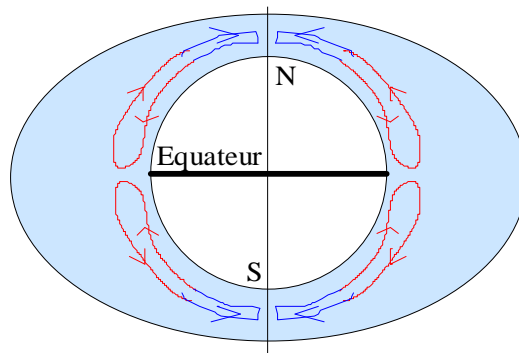
Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Le vent – Les mouvements planétaires

- L'air chaud et léger de l'équateur s'élève
- L'air froid et dense des pôles le pousse et le remplace
- En altitude l'air équatorial se refroidit et redescend au niveau des pôles.
- Dans sa descente l'air polaire se réchauffe et s'élève en arrivant à l'équateur
- En pratique , il se forme trois **cellules convectives** entre les pôles et l'équateur
 - ✓ Les cellules de HADLEY
 - ✓ Traduit assez bien la circulation atmosphérique à grande échelle



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Le vent – Les mouvements planétaires

- On peut en déduire les vents dominants au sol au niveau de la planète et les zones plutôt anticycloniques ou plutôt dépressionnaires :
 - ✓ au niveau des pôles les vents dominants soufflent de l'est
 - ✓ dans les zones tempérées les vents dominants sont d'ouest
 - ✓ dans la zone équatoriale, les alizés soufflent de l'est
 - ✓ les pôles sont sous l'influence de hautes pressions tandis qu'une ceinture de dépressions s'établit à environ 30° de latitude et une ceinture d'anticyclones à environ 60° de latitude
- 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



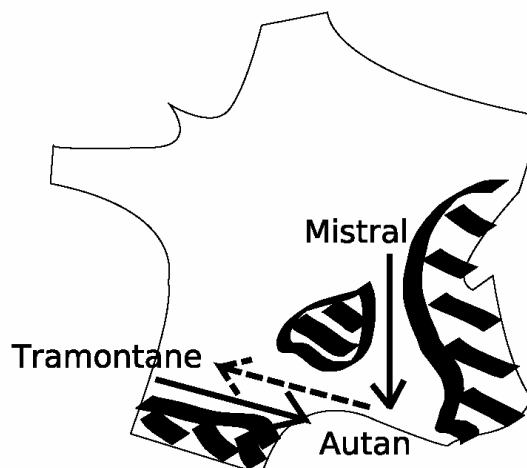
Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Le vent – Les vents locaux

Les 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**



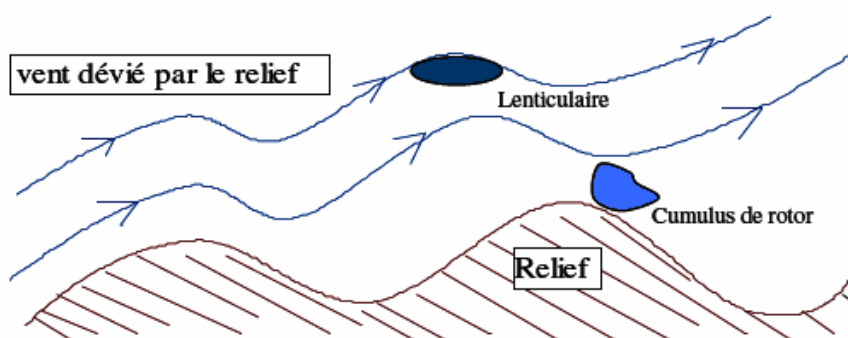
Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Le vent et le relief – L'onde

L'onde:

- Lorsque le vent aborde un relief perpendiculairement à son flan, 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 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





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

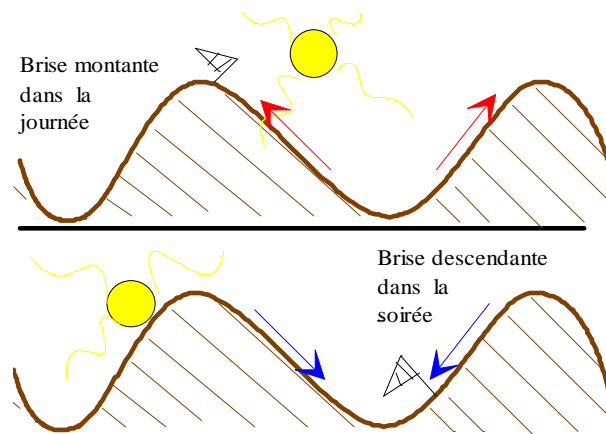
Givre

Services météo

Le vent et le relief – Les brises de pente

La brise de mer ou de terre:

- 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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

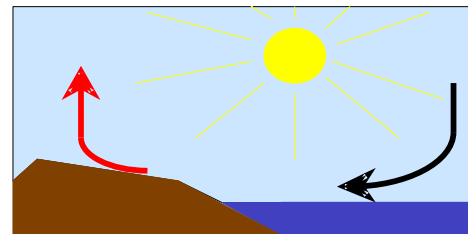
Givre

Services météo

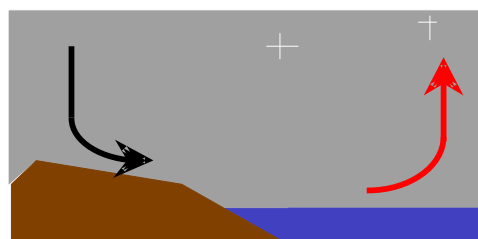
Le vent et le relief – brises de bord de mer

Les brises de pente:

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



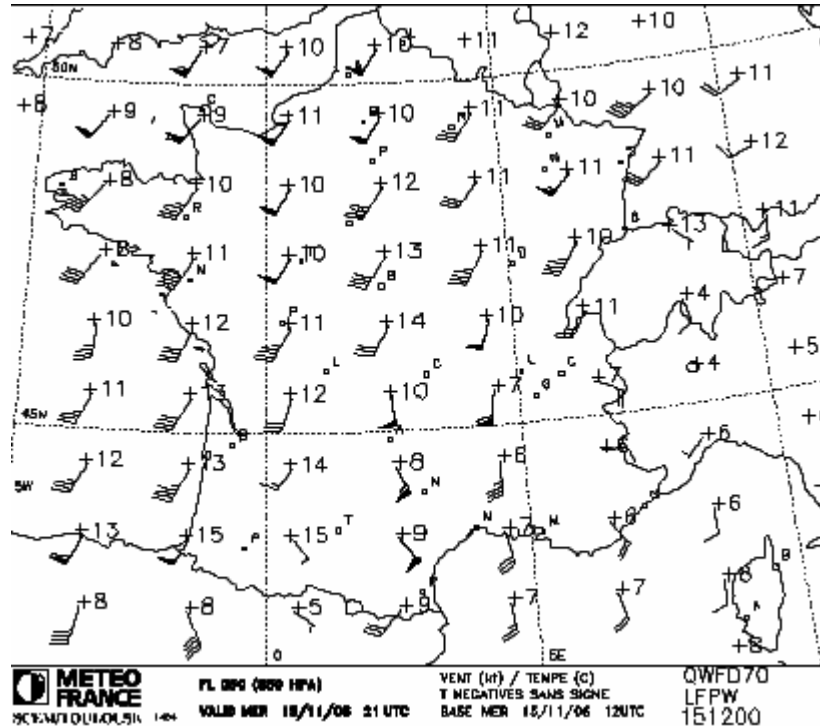


Préparation au
BIA-CAEA

- Pression Ath.
- Température
- Humidité de l'air
- Vent**
- Nuages
- Masses d'air
- Frontologie
- Turbulences
- Orages
- Brume & Brouillard
- Givre
- Services météo

Le vent et l'aéronautique

La connaissance du vent en aéronautique:



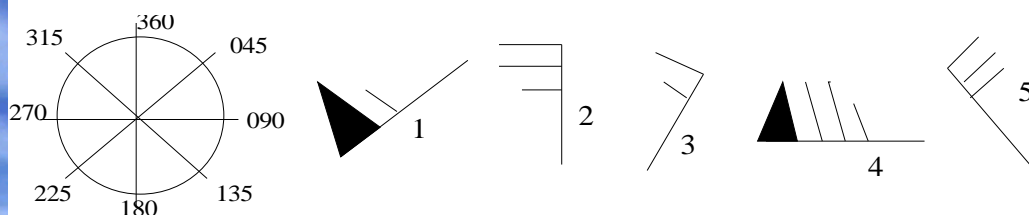
Préparation au
BIA-CAEA

- Pression Ath.
- Température
- Humidité de l'air
- Vent**
- Nuages
- Masses d'air
- Frontologie
- Turbulences
- Orages
- Brume & Brouillard
- Givre
- Services météo

Le vent et l'aéronautique

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
- Sur les cartes aéronautiques, il 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





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

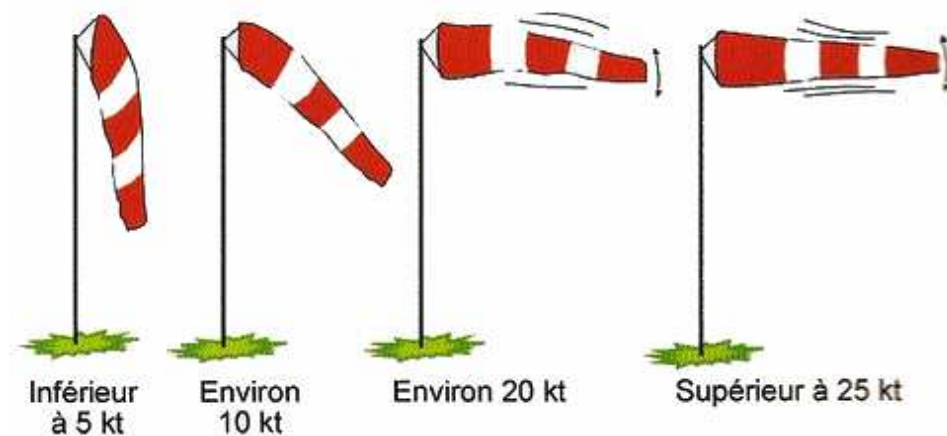
Givre

Services météo

Le vent et l'aéronautique

La manche à air:

- La manche à air permet de déterminer la direction du vent et la force du vent au sol
- De ce fait, elle permet aussi d'indiquer la piste en service (décollage et atterrissage face au vent)



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Les Nuages - Généralités

- 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
- A l'intérieur du nuage les gouttelettes d'eau ou les cristaux de glace peuvent se vaporiser et se re-condenser en fonction de leurs mouvements dans la masse nuageuse et des évolutions de température et de pression
- 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



Préparation au
BIA-CAEA

- Pression Ath.
- Température
- Humidité de l'air
- Vent
- Nuages**
- Masses d'air
- Frontologie
- Turbulences
- Orages
- Brume & Brouillard
- Givre
- Services météo

Les Nuages et les Précipitations

- Tous les nuages ne donnent pas des précipitations. 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 naissances à des **météores** trop grosses pour être maintenue dans le nuage par les courants ascendants.
- Ces météores tombent alors vers le sol
- **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)**



Préparation au
BIA-CAEA

- Pression Ath.
- Température
- Humidité de l'air
- Vent
- Nuages**
- Masses d'air
- Frontologie
- Turbulences
- Orages
- Brume & Brouillard
- Givre
- Services météo

Classification des nuages

- 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
- 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

		Sur les trois étages
Etage supérieur	Cirrus Cirrostratus Cirrocumulus	Nimbostratus (cœur dans l'étage moyen) Cumulus Cumulonimbus
Etage moyen	Altostratus Alto cumulus	
Etage inférieur	Stratus Strato cumulus	



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Classification des nuages

- Pour les reconnaître, voici une description sommaire des différents genres de nuages avec un exemple
- Les espèces et les variétés étant nombreuses à l'intérieur des genres, les exemples pourraient être multipliés
- Ceux présentés sont assez représentatifs du genre

Cumulus: (humilis)

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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Classification des nuages

Cumulus: (congestus)

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





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Classification des nuages

Cumulonimbus:

- 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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Classification des nuages

Nimbostratus:

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



Stratus:

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





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Classification des nuages

Stratocumulus:

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



Altostratus:

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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Classification des nuages

Alto cumulus:

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



Cirrus:

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





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

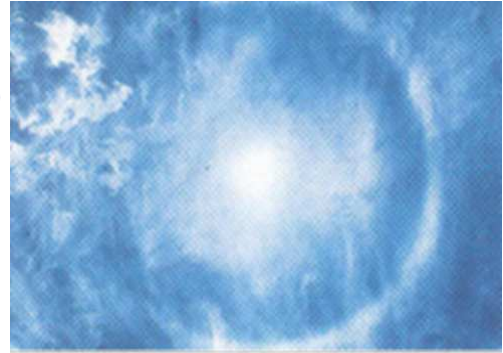
Givre

Services météo

Classification des nuages

Cirrostratus:

- Voile élevée transparente et blanchâtre
- Cristaux de glace (phénomène de halo)
- Pas de précipitations



Cirrocumulus:

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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Classification des nuages

- La couverture nuageuse s'évalue en octats (8^{ème} de ciel).
 - ✓ Pour une couverture de 1 à 4 octats on qualifie la couverture de **scattered** (épars en anglais);
 - ✓ pour une couverture de 5 à 7 octats le ciel est dit **broken** (présence de "trous" de ciel bleu);
 - ✓ pour une couverture de 8 octats, le ciel est qualifié de **overcast** (couvert).



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume & Brouillard
Givre
Services météo

Les masses d'air

Notion de masses d'air:

- Une **masse d'air**, en météorologie est un volume important (quelques dizaines ou centaines de milliers de km³) 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,...)
- La rencontre de deux masses de caractéristiques très différentes influence beaucoup la météorologie dans la région de leur contact



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume & Brouillard
Givre
Services météo

Les types de masses 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 grande latitude, l'air est froid, alors que pour celles qui se forment aux latitudes proches de l'équateur, l'air est chaud. On en distingue trois type : les masses d'air **Polaires**, **Arctiques** ou **Tropicales**

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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Les types de masses d'air

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



Préparation au
BIA-CAEA

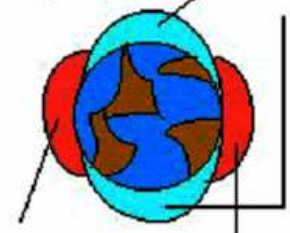
Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Frontologie – formation des perturbations

L'atmosphère contient 2 types de masses d'air :

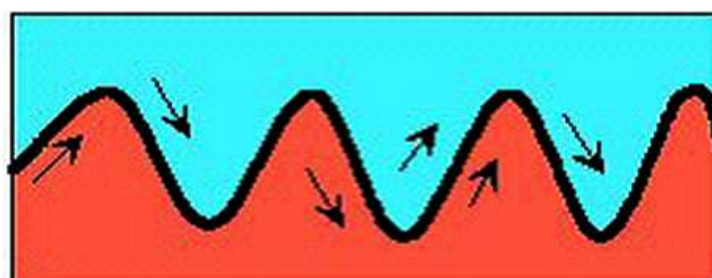
- les masses d'air polaires (sec et très dense)
- les masses d'air tropicales (humides et peu denses)

Air polaire sec et dense



Air tropical humide et léger

- La zone de contact entre les deux types 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





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Frontologie – formation des perturbations



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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

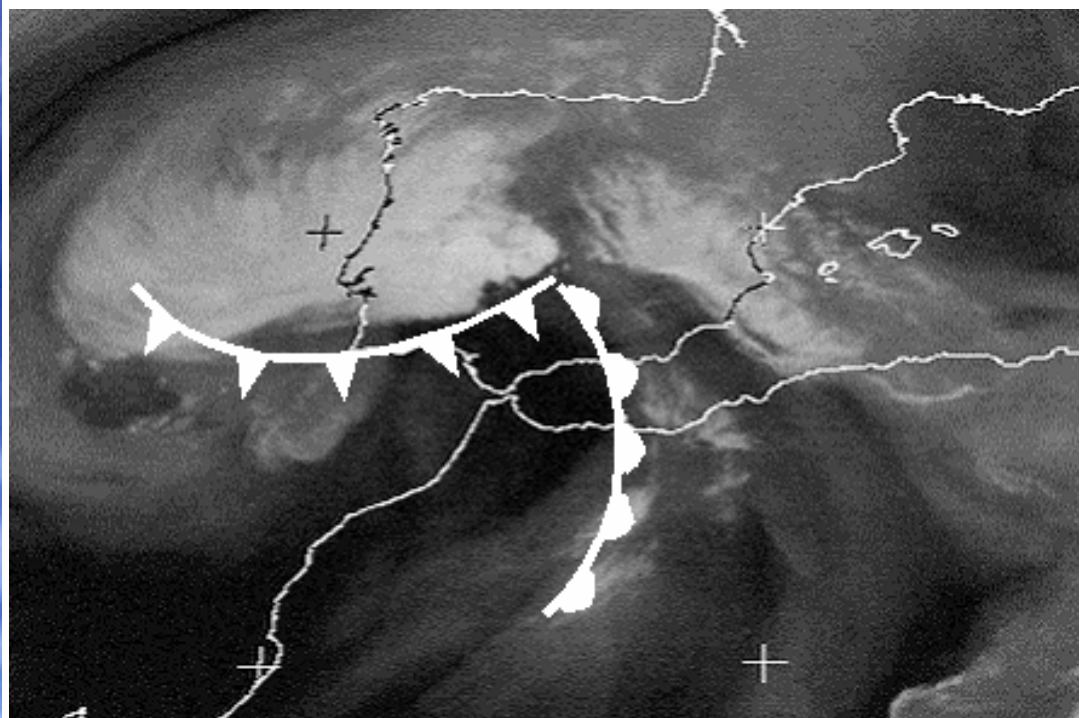
Orages

Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Frontologie – formation des perturbations





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Frontologie – 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
- Sur les cartes météo il est représenté par un trait sur lequel sont dessinés des demi-disques dans le sens de progression du front
- Si la carte est en couleur, le **trait et les demi-disques sont rouges**



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

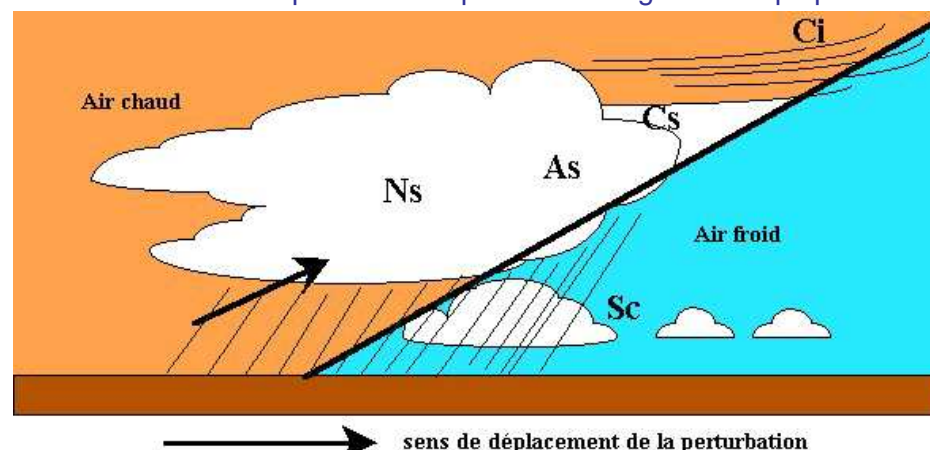
Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Frontologie – 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





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Frontologie – Les fronts chauds

Evolution des paramètres météo au passage d'un front chaud:

FRONT CHAUD			
Paramètre	Avant	Pendant	Après
Vent	Sud ou sud-ouest forcissant	Sud-ouest stable ou forcissant	Direction changeant un peu. Reste fort
Température	En augmentation	En augmentation	Stationnaire
Pression	Baisse rapide	Stationnaire	Baisse possible
Nébulosité	Ci, Cs, As, Ns	As, Ns, Sc	St, Sc
Précipitations	Pluie continue	Pluie	Bruine, averses possibles
Visibilité	Mauvaise	En amélioration	Assez mauvaise

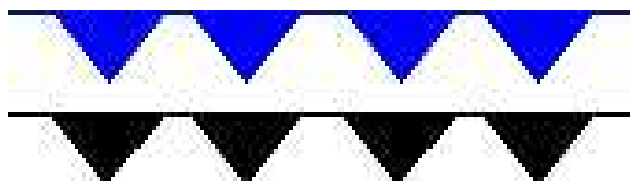


Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Frontologie – 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
- Sur les cartes météo il est représenté par un trait sur lequel sont dessinés des triangles pointant dans le sens de progression du front. Si la carte est en couleur, le **trait et les triangles sont bleus**



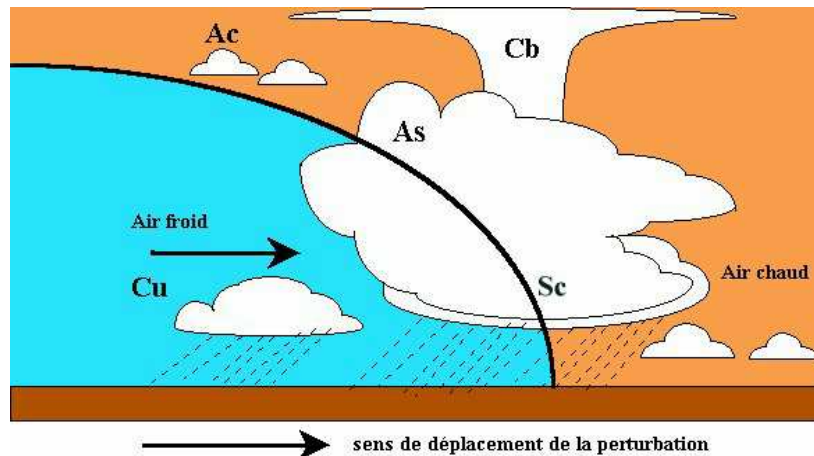


Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Frontologie – 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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Frontologie – Les fronts froids

Evolution des paramètres météo au passage d'un front froid:

FRONT FROID		
Paramètre	Pendant	Après
Vent	Passé Ouest ou Nord-Ouest en rafales	Passé au Nord en faiblissant
Température	Baisse rapide	Stationnaire ou baisse
Pression	Augmente rapidement	Augmente lentement
Nébulosité	St, Cu, Sc, Cb	Cu
Précipitations	Averses et orages	Averses



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologies

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Frontologie – 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
- Il existe des occlusion à caractère froid (le front froid passe sous le front chaud) ou à caractère chaud (le front froid passe au dessus du front chaud dans son élan)
- Elles se représentent comme indiqué ci-dessous sur les cartes météo :



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &
Brouillard

Givre

Services météo

Les turbulences

- Dans les cumulonimbus, les courants de convections sont si violents que les aéronefs 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.
- Il est possible de rencontrer des turbulences en air clair : **CAT** (Clear Air Turbulence) survenant en haute altitude dans des zones de fort gradient de température et de pression
- **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

➔ **Le pilote doit toujours s'informer de l'évolution de la météo pour contourner les zones dangereuses et s'il le faut, en cas d'aggravation, se dérouter ou faire demi-tour**

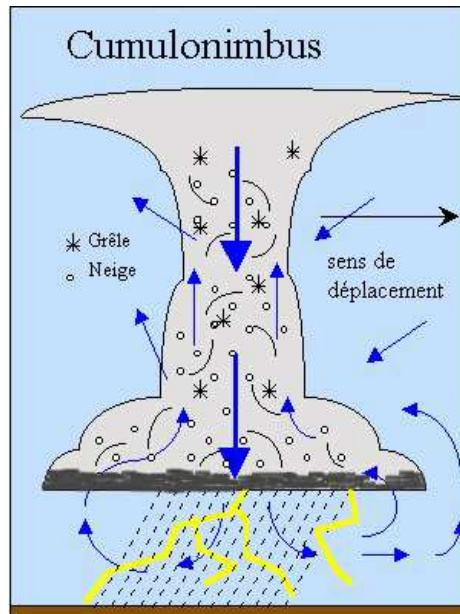


Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Les orages

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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Les 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**
- C'est un système si puissant qu'il est impossible de le régénérer comme dans le cas des autres nuages donnant lieu à des précipitations
- 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



Préparation au
BIA-CAEA

- Pression Ath.
- Température
- Humidité de l'air
- Vent
- Nuages
- Masses d'air
- Frontologie
- Turbulences
- Orages**
- Brume & Brouillard
- Givre
- Services météo

Les 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. Le record enregistré atteint le kilogramme !
- De tels **météores** font autant de dégâts sur un aéronef que des projectiles de DCA de petit calibre...
- 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 donc primordial de ne pas voler dans ou sous les cumulonimbus pour éviter tous les risques liés à l'orage**




Préparation au
BIA-CAEA

- Pression Ath.
- Température
- Humidité de l'air
- Vent
- Nuages
- Masses d'air
- Frontologie
- Turbulences
- Orages
- Brume & Brouillard**
- Givre
- Services météo

Brumes & Brouillards

- 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**
- 

Brume



Brouillard
- 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
 - Ils se notent par deux ou trois traits horizontaux sur les cartes météo



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

**Brume &
Brouillard**

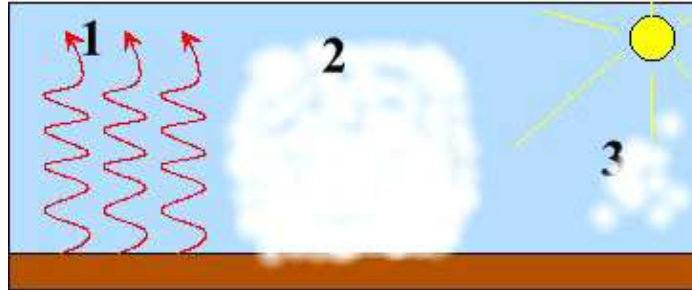
Givre

Services météo

Les types de 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



1. Si le ciel est dégagé, le sol perd rapidement la chaleur qu'il a emmagasinée dans la journée par radiation
2. Cela entraîne une diminution rapide de la température de l'air humide. On atteint alors le point de rosée et des gouttelettes d'eau se condensent en formant un brouillard au niveau du sol
3. Dans la matinée, le soleil réchauffe le sol et l'air à son contact se réchauffe à son tour. Le brouillard se dissipe



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

**Brume &
Brouillard**

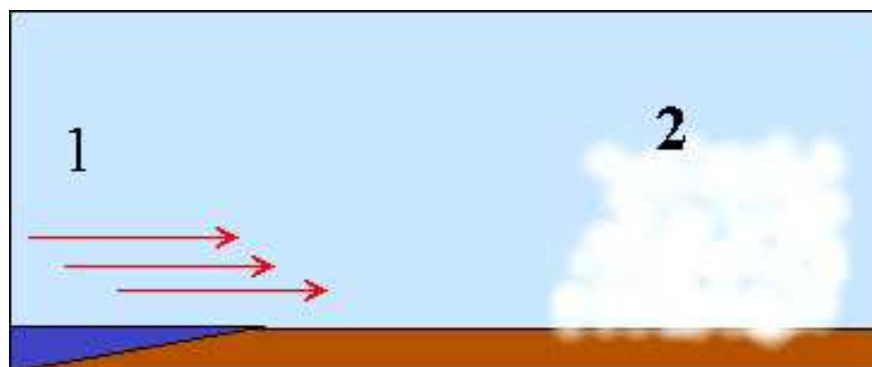
Givre

Services météo

Les types de brouillards

Le brouillard d'advection:

- se forme lorsqu'une masse d'air chaud et humide est poussée par un vent faible sur un sol plus froid (1)
- Dans son déplacement l'air se refroidit et finit par atteindre son point de rosée (2).
- Il y a alors condensation d'un brouillard qui se déplace avec le vent
- Ce type de brouillard apparaît suite à des entrées maritimes en hiver ou au printemps.





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

**Brume &
Brouillard**

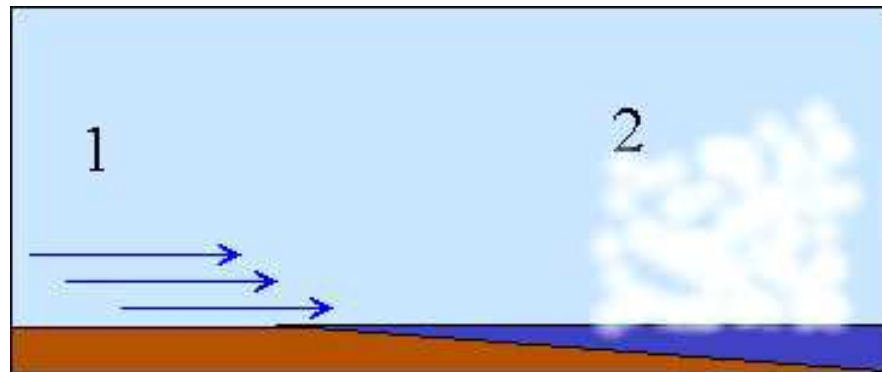
Givre

Services météo

Les types de 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
- Un vent faible mais froid souffle depuis la terre vers la mer (1). Cet air froid et sec se charge en humidité par **évaporation** de l'eau au-dessus de laquelle il passe
- Il atteint alors la **saturation** (point de rosée) et des gouttelettes d'eau se condensent au-dessus de la mer (2)



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

**Brume &
Brouillard**

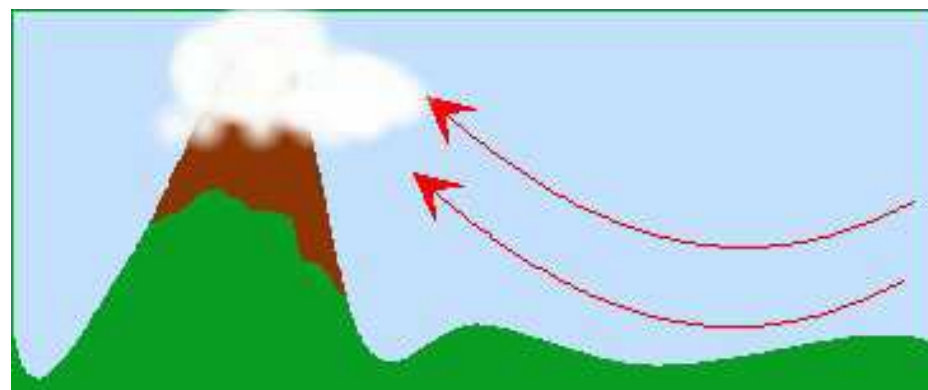
Givre

Services météo

Les types de brouillards

Le brouillard de pente

- Dans les régions présentant un relief marqué, il se forme le long des pentes et laissant la vallée dégagée
- Cela se produit lorsqu'un vent faible pousse de l'air chaud et humide provenant de la vallée à l'assaut du relief
- En s'élevant l'air se refroidit par détente adiabatique et atteint son point de condensation
- Un brouillard se condense alors le long de la pente





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume & Brouillard
Givre
Services météo

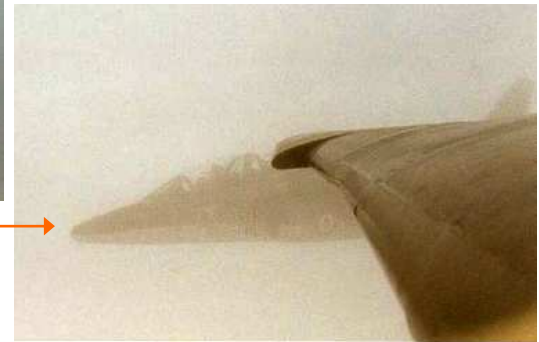
Les dangers du brouillard

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.
- En cas de brume, le vol IFR est possible, le VFR parfois (mais dangereux).
- Si le brouillard est givrant, on ajoute les risques liés au givre.



Alphajet en finale sur le terrain de TOURS par temps brumeux



Alphajet en finale sur le terrain de TOURS par temps brouillard



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Givre
Services météo

Le givre

- **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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Le 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**

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 antigivrage des aéronefs
 - ✓ **givrage fort** : danger !



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Les types de 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
- 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 brume 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



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Les effets du givre

➤ Les effets sur la cellule :

- ✓ 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

➤ 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)



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Les effets du givre

- 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



Préparation au BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Les cartes et codes météo

- Certains phénomènes météorologiques présentent des dangers particuliers pour l'aéronautique
- Même très bien équipés, les aéronefs ne peuvent pas voler dans n'importe quelles conditions. Notamment, il faut toujours que le pilote puisse distinguer la piste avant de se poser
- Le givrage reste un phénomène dangereux par ses effets sur la cellule et les moteurs. Des turbulences violentes peuvent endommager les aéronefs,...
- Le pilote doit toujours s'informer de l'évolution de la météo pour contourner les zones dangereuses et s'il le faut, en cas d'aggravation, se dérouter ou faire demi-tour



Préparation au BIA-CAEA

Pression Ath.
Température
Humidité de l'air
Vent
Nuages
Masses d'air
Frontologie
Turbulences
Orages
Brume &
Brouillard
Givre
Services météo

Les messages METAR

- **METAR** = message donnant les informations météo observées régulièrement par la station de l'aéroport (**METAR** = **MET**éo d'**AR**rivée)
- 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
- Exemple de code : CAVOK signifie Ceiling And Visibility OK (plus de 10km de visibilité, pas de nuages significatifs (notamment cumulonimbus) sous 1500m
- 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 0800 : visibilité 800m fortes averses de neige 1 à 4 8^{èmes} de stratus à 1000 ft et 5 à 7 8^{èmes} de stratocumulus à 2500ft température -4°C et température du point de rosée -5°C QNH 1002 hPa pas de changements significatifs prévus



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Les messages SPECI

- Les **SPECI** (**SPECI**fique) sont émis en cas d'une brusque variation des phénomènes météo entre les observations régulières si les changements peuvent jouer sur la sécurité ou la possibilité de se poser pour les avions en route vers le terrain.



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Les messages TEND

- Les **TEND** (**TEND**ances) suivent toujours un METAR ou un SPECI.
- Ils constituent une information supplémentaire si une évolution notable est attendue entre deux observations régulières
- Ils indiquent la plage horaire des évolutions, leur rythme, et la nature des changements (visibilité, nébulosité, précipitations,...)

- Exemple de METAR avec TEND :

```
LFPO 0530Z 20004kt 0250 R07/0300V0400U R26/0450U FG VV/// 08/08 Q1028  
BECMG FM0630 0600 OVC020
```

- Signification :

Paris Orly 05h30 TU vent du 200 pour 4 kt visibilité 250 m sur la piste 07R de 300 à 400 m en augmentation et sur la piste 26R 450 m en augmentation brouillard visibilité verticale nulle température +08°C et température du point de rosée +08°C QNH 1028 hPa **TEND** : devenant à partir de 06h30 TU visibilité 600m et 8 8^{ème} à 2000ft



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Les messages TAF

- Les **TAF** (**T**errain **A**rrival **F**orecast = prévisions sur le terrain d'arrivée) sont des messages 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)

- Exemple de TAF :

```
LFPO 210145Z 0312 22010G20kt 3000 +RA OVC015 SCT060 TEMPO 0307  
7000 -RA OVC020 FM11 28015kt 9999 NSW BKN020
```

- Signification :

Paris Orly le 21 à 01h45 TU validité entre 03 et 12h00 TU vent du 220 pour 10 kt rafales à 20 kt visibilité 3000 m forte pluie 8 8^{ème} à 1500 ft et 1 à 4 8^{ème} à 6000 ft temporairement entre 03h00 et 07h00 TU visibilité de 7000 m pluie faible 8 8^{ème} à 2000 ft à partir de 11h00 TU vent du 280 pour 15 kt visibilité supérieure à 10 km pas de temps significatif 5 à 7 8^{ème} à 2000 ft



Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

Les messages SIGMET

- Les **SIGMET** (**S**IGNificatif **M**ÉTéo) sont des messages rédigés par un centre de veille météorologique et émis par les services de la navigation aérienne
- Ils signalent des phénomènes météorologiques dangereux hors des zones d'approche des terrains pour attirer la vigilance des équipages au cours de leur vol de croisière

- Exemple de SIGMET :

```
LFFF SIGMET 3 VALABLE 160800/161200 LFML - SEV TURB FCST FIR  
MARSEILLE BTN GND AND FL160 STNR WKN
```

- Signification :

Région d'information de Marseille 3ème SIGMET pour vols subsoniques VALABLE 160800/161200 LFML : valable le 16 entre 08h00 et 12h00 TU en provenance du centre de veille météorologique de Marignane. Fortes turbulences prévues dans la zone de Marseille entre le sol et le niveau de vol 160 Phénomène stationnaire et faiblissant.

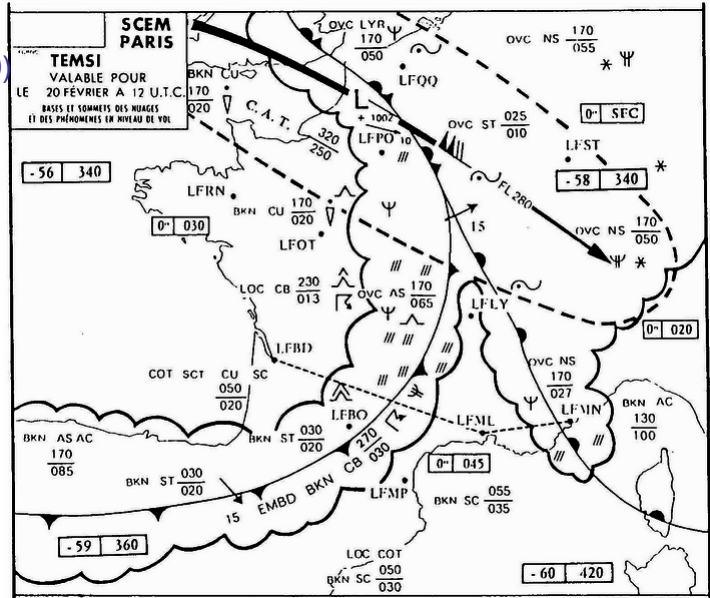


Préparation au
BIA-CAEA

- Pression Ath.
- Température
- Humidité de l'air
- Vent
- Nuages
- Masses d'air
- Frontologie
- Turbulences
- Orages
- Brume & Brouillard
- Givre
- Services météo**

La carte TEMSI

- Les cartes **TEMSI** (**TEM**ps **S**ignificatif) 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
- Ces cartes sont établies pour les altitudes moyennes (FL100 à 250) mais présentent en général aussi la météo en dessous pour les phases de montée et de descente

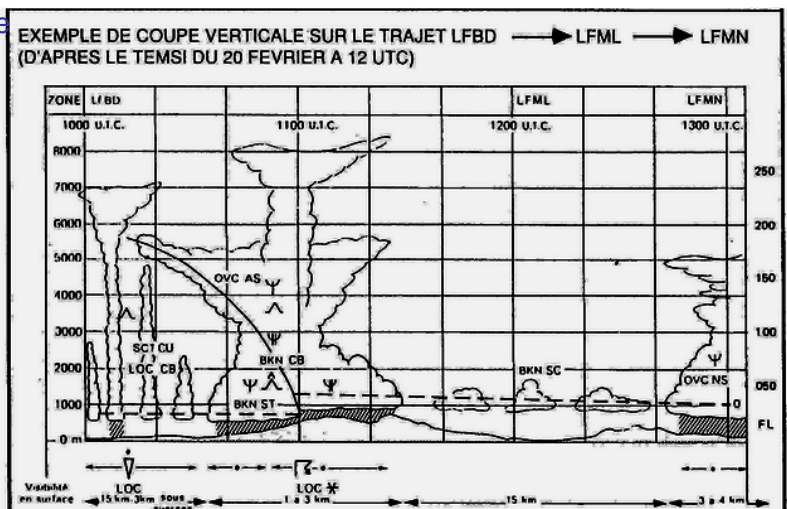


Préparation au
BIA-CAEA

- Pression Ath.
- Température
- Humidité de l'air
- Vent
- Nuages
- Masses d'air
- Frontologie
- Turbulences
- Orages
- Brume & Brouillard
- Givre
- Services météo**

La coupe verticale

- A partir des cartes TEMSI, on établit des **coupes verticales** sur un trajet déterminé
- Elles permettent à un équipage de préparer leur vol et de faire des choix de trajectoire et d'altitude pour éviter les phénomènes dangereux
- Elles ont une validité limitée dans la durée et les équipages doivent continuer à s'informer sur la météo et son évolution pendant leur vol pour s'assurer qu'ils peuvent poursuivre conformément à la route prévue





Préparation au
BIA-CAEA

Pression Ath.

Température

Humidité de l'air

Vent

Nuages

Masses d'air

Frontologie

Turbulences

Orages

Brume &

Brouillard

Givre

Services météo

La carte TEMSI et la coupe verticale

- Il existe des cartes des vents à différentes altitudes (FL50 -100 - 180 et 300)
- Un pilote peut demander auprès de la station météo de son terrain de lui fournir un dossier appelé "**protection météo**" qui rassemblera toutes les données météo sur le trajet qu'il va suivre (carte TEMSI, coupe verticale, carte des vents, SIGMET,...) et les terrains dans les environs desquels il passera (en plus du terrain de départ et d'arrivée)



Préparation au
BIA-CAEA

Questions ?

