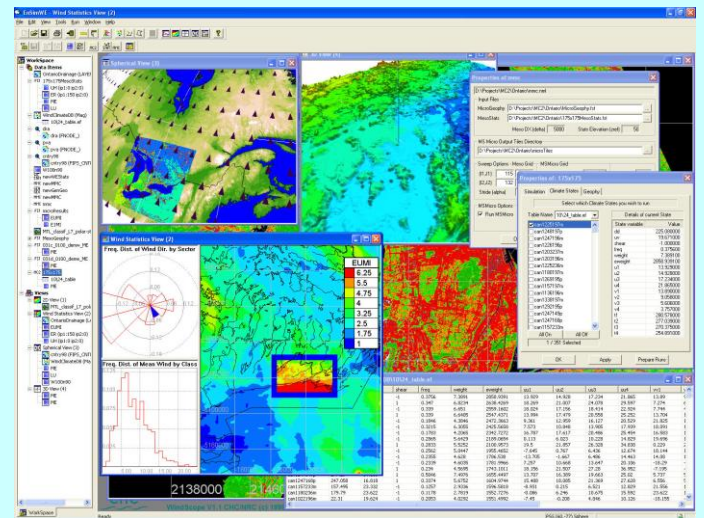


METEOROLOGIE



Comment prévoir le temps pour la navigation aérienne ?



3 – MTO – BIA & CAEA

Illustrations page de couverture :

- Avion météo France avec capteurs
- Cumulus congestus
- Station météo moderne
- Logiciel météo

Présentation du document & auteurs.

Le document initial destiné aux cours de BIA de l'Académie de Montpellier a été réalisé par Geneviève Milan. Bien qu'il ait été grandement renouvelé et étendu, le document de base a, par sa qualité, motivé les rédacteurs suivants.

Les premiers documents numériques ont été réalisés ensuite Gérard Pujol et relus par Laurent Lespiac (DAFA de Montpellier) puis par Sofiane Bouafia pour l'atelier aéronautique du lycée Jean Monnet. Ils ont ensuite été remis en page, complété et illustré (principalement sur source internet).

La version Word (modifiable) permet une pagination et l'ajout d'un index. Le fonctionnement est explicité en dernière page.



Illustrations & Copyrights.

Une grande partie des images sont extraites d'ouvrages existants ou d'internet. Les schémas ont pour la plupart été repris sur des bases existantes... mais très souvent modifiés ou complétés.

Si malgré tout, l'auteur d'un schéma, d'une image ou d'une photo pense que l'on est en infraction avec les lois sur les copyrights, il est prié de contacter le service académique (DAFA) de Montpellier pour demander à ce que l'illustration (préciser le titre du document et la page SVP) posant problème soit retirée du polycop.

Nous remplacerons le plus rapidement possible cette illustration.



Plan du cours

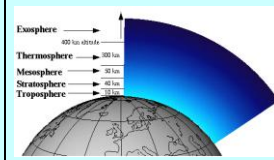
PRESENTATION DU DOCUMENT & AUTEURS.....	2
ILLUSTRATIONS & COPYRIGHTS.....	2
-I- CONNAÎTRE NOTRE ATMOSPÈRE.....	4
-II.1- LES ECHANGES DE CHALEUR.....	13
-II.2- LA FORMATION DES NUAGES.....	16
-II.3- LES NUAGES.....	21
-II.4- LES PRECIPITATIONS.....	28
-II.5 - LES PHENOMENES DANGEREUX POUR L'AVIATION.....	31
-III- VENTS ET BRISES.....	36
-IV- LES FRONTS.....	40
-V- METEOROLOGIE DE HAUTE ALTITUDE.....	48
-VI- LES CARTES ET LES MESSAGES CARTES ET MESSAGES METEO POUR L'AERONAUTIQUE.....	53
L'AÉROLOGIE ET LE VOL DES PLANEURS.....	65
UNITES DE PRESSION ATMOSPHERIQUE.....	67
TABLE D'ATMOSPHERE STANDARD.....	70
CONSEILS D'UTILISATION.....	76

Annexes en pdf

Une série de fiches au format PDF principalement d'origine météo France sont complémentaires de ce cours météo.



-I- CONNAÎTRE NOTRE ATMOSPHÈRE.



L'atmosphère est caractérisée par sa composition, sa température, sa pression et son humidité en chaque point. Elles sont connues par des observations et des mesures qui permettent de construire un modèle d'atmosphère appelé l'atmosphère standard.

I. Composition de l'atmosphère

On considère l'air atmosphérique comme un mélange d'**air sec** et de **vapeur d'eau**. L'air sec est lui-même un mélange de plusieurs gaz, de composition pratiquement constante dans les couches inférieures intéressant les météorologistes.

Composition de l'air sec (Pourcentage volumétrique)

Diazote (78 %)	78,09 %	Hélium	0,0005 %
Dioxygène (21 %)	20,95 %	Krypton	0,0001 %
Argon	0,93 %	Hydrogène	0,00005 %
Dioxyde de carbone	0,03 %	Xénon	0,000008 %
Néon	0,0018 %	Ozone	0,000001 %

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**.

En plus de ces composants gazeux, on trouve en suspension dans l'atmosphère, des particules diverses de dimensions microscopiques (débris minéraux et végétaux, particules de sel marin provenant de l'évaporation des embruns, etc.) La présence de ces divers corpuscules est importante car la condensation de la vapeur d'eau atmosphérique nécessite la présence de "supports" solides appelés "**noyaux de condensation**". **Manip**

II. Le découpage de l'atmosphère et sa température

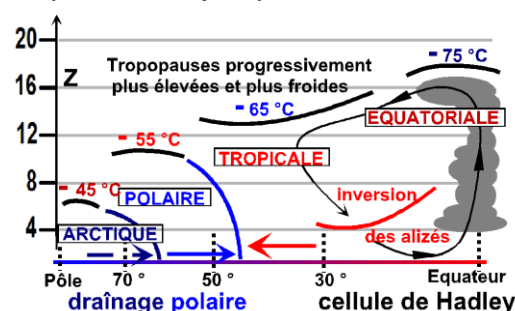
La variation de la température avec l'altitude permet de partager l'atmosphère en plusieurs grandes couches:

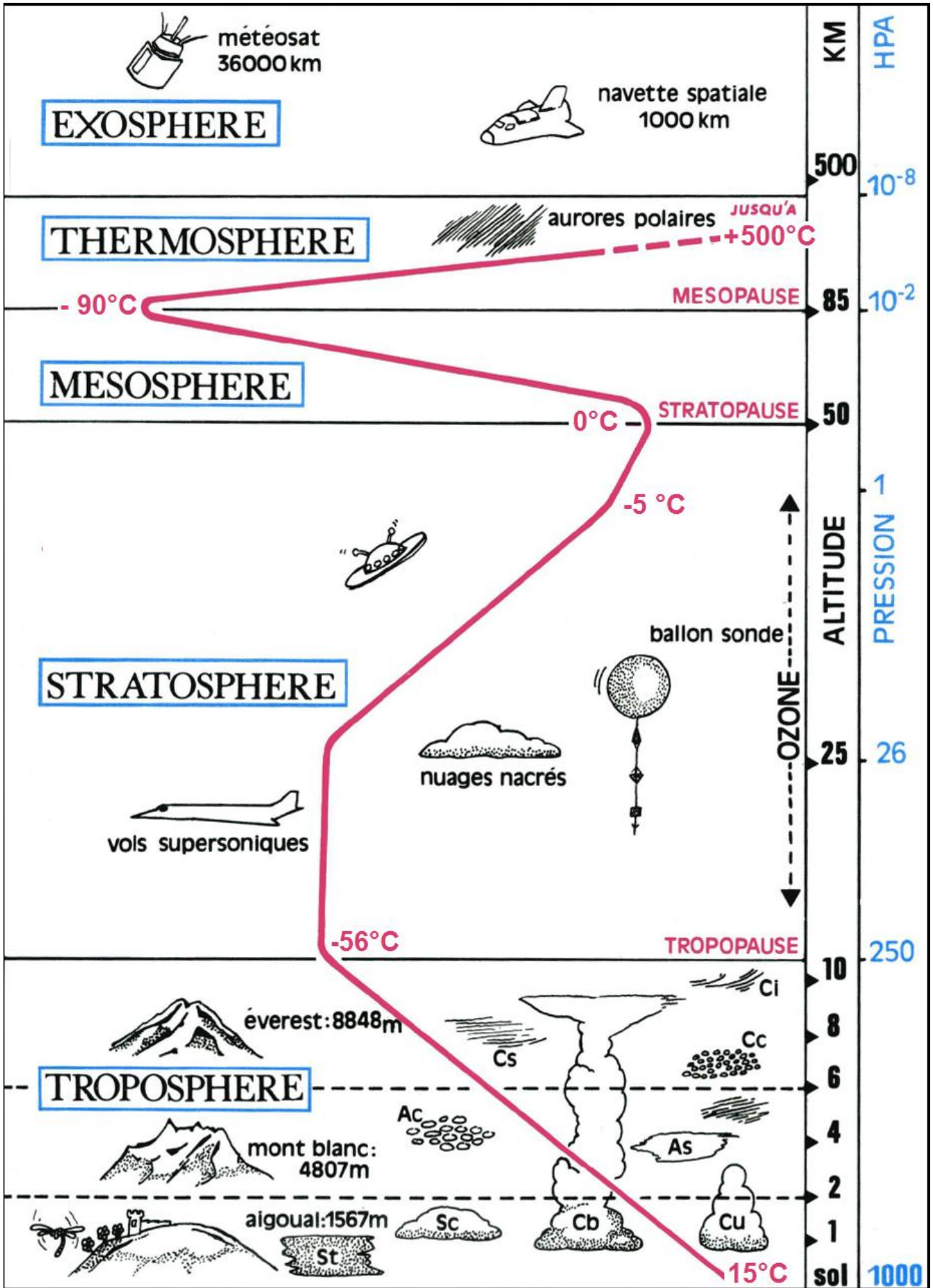
- la **troposphère** où la température **décroit en moyenne de 0,65 °C par 100 m** entre le sol et environ 10 km
- puis **la stratosphère** où la température croît et qui s'élève jusque vers 50 km.

La surface de séparation entre la troposphère et la stratosphère est appelée la **tropopause**. Elle est basse et "chaude" dans les régions polaires (8 km et -50 °C), élevée et "froide" dans la région équatoriale (17 km et - 80 °C).

C'est la **troposphère** qui nous intéresse le plus ! C'est notre zone de vie aussi bien au sol que dans des avions. C'est aussi là que se produisent les phénomènes météorologiques.

On parle de **couche d'inversion** si la température croît avec l'altitude (*par exemple près du sol après le refroidissement nocturne*) et de couche isotherme si elle reste constante. Au-dessus de la stratosphère il y a la mésosphère où la température décroît de nouveau et enfin la thermosphère dans laquelle se forment les aurores polaires.





- Bien repérer la zone d'évolution des aéronefs...
- L'évolution de la température et de la pression.
- Les différents étages de nuages.

● Exemple d'un vol au niveau de la tropopause

Les long courriers (ici un Amsterdam Abu Dhabi) volent au niveau de la tropopause afin d'optimiser les performances de l'appareil.

Notez l'altitude, la température extérieure et la vitesse.

Copies d'écran des infos destinées aux passagers ⇒

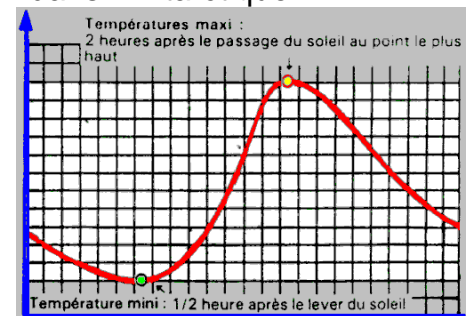
Ground Speed	1018 km/h
Distance to Destination	255 km
Altitude	11277 m
Outside Air Temperature	-55 °C



III. La température

La température est très variable, au cours du temps et suivant les lieux. Les valeurs extrêmes enregistrées sont 58 °C en Libye et -88,3 °C à Vostok dans l'Antarctique.

Il existe une **oscillation diurne** de la température dont le **minimum** se situe environ **une demi heure après le lever du soleil** et le **maximum** environ **deux heures après le passage du soleil au méridien**. L'amplitude de cette oscillation est plus grande dans les régions continentales que dans les régions côtières, et ... quand le ciel est sans nuages.



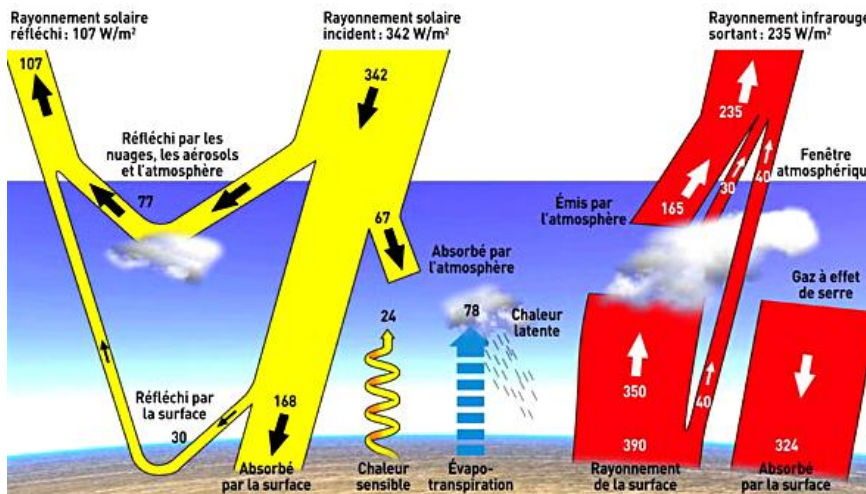
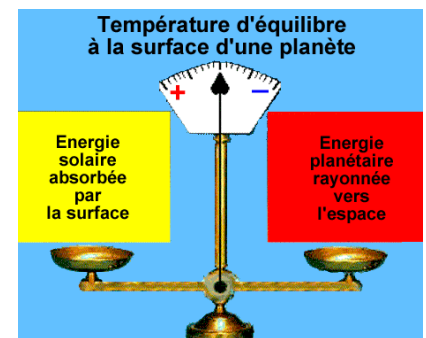
Du point de vue microscopique, la température est une mesure de l'agitation des atomes ou des molécules. En conséquence on peut définir un **zéro absolu** lorsque toute agitation cesse (*). Ce zéro (**-273,15 °C**), qui est donc la température la plus basse possible dans l'Univers, sert de départ à l'échelle **Kelvin** qui ne diffère de l'échelle **Celsius** que par le décalage de son origine.

$$1 \text{ K} = 1^\circ\text{C} \text{ et}$$

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15$$

(*) Il n'y a pas de limite vers le haut de l'échelle des températures

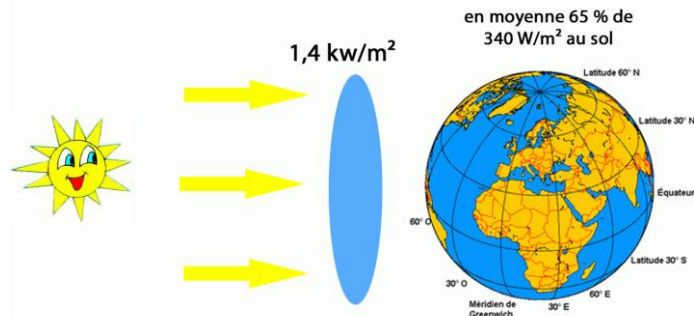
La température de l'atmosphère résulte d'un bilan énergétique complexe dans lequel interviennent le soleil, l'effet de serre et la chaleur propre de la Terre.



Pour la partie solaire, l'**énergie lumineuse** reçue par la Terre correspond à une puissance incidente **1,4 kW/m²** à la limite de l'atmosphère dont 65% (environ **1kW/m²**) **arrive jusqu'au sol** alors que le reste est absorbé par l'atmosphère.

● La constante solaire.

La mauvaise question... Pourquoi on parle de 1,4 kW/m² et que les illustrations multiples trouvées sur internet n'affichent que 342 W/m² ?



Constante solaire

La constante solaire exprime la quantité d'énergie solaire que recevrait une surface de 1 m² située à une distance de 1 ua (distance moyenne Terre-Soleil), exposée perpendiculairement aux rayons du Soleil, en l'absence d'atmosphère. Pour la Terre, c'est donc la densité de flux énergétique au sommet de l'atmosphère. La valeur de cette constante est de 1360,8 ± 0,5 W/m²... souvent résumé en 1,4 kW/m².

Ce flux énergétique intercepte, pour la Terre un disque de même rayon que la Terre... mais il est reçu par une sphère (la Terre) dont la surface (4πR²) est 4 fois plus grande ! C'est là que 1360,8/4 donne 340 W/m². En fait cette valeur est une moyenne statistique car certaines régions qui dépend de l'heure et de la latitude.

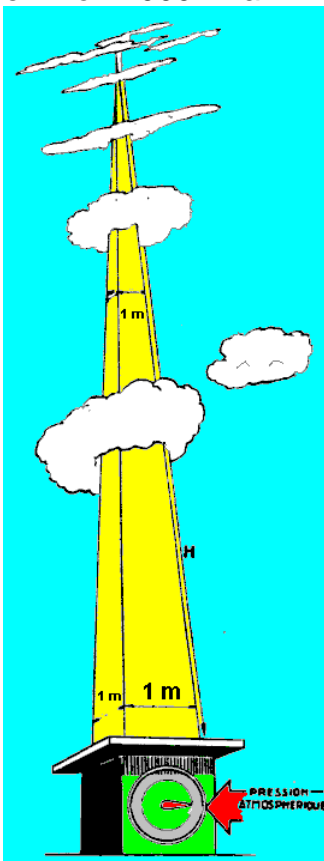
L'atmosphère est très transparente pour la lumière du Soleil : malgré la présence des nuages, près de 60 % de l'énergie lumineuse arrivant vers la Terre atteint la surface du globe, qui en réfléchit une faible partie. Globalement, la moitié de l'énergie solaire arrivant vers la Terre est absorbée par les continents et les océans qu'elle réchauffe. Une partie de cette chaleur est restituée, essentiellement sous forme de rayonnement infrarouge. Certains gaz présents en faible quantité dans l'atmosphère (vapeur d'eau, dioxyde de carbone, méthane) absorbent le rayonnement infrarouge : seulement 10 % du rayonnement émis par la surface s'échappe directement vers l'espace. (Source : rapport 2001 du GIEC).

Rappel sur la notion de puissance (W, J/s, kWh). La puissance (en W) correspond à une quantité d'énergie/seconde (1 W = 1 J/s). L'énergie quotidienne moyenne reçue par le Terre sur une surface perpendiculaire aux rayons solaires, est de 8,4 kWh/m²/jour (350 x 24 h), pour l'ensemble de la Terre (à sa distance moyenne du Soleil).

IV. Pression

La pression atmosphérique correspond au poids de la colonne d'air qui appuie sur un mètre carré de surface. Il vaut environ 10 tonnes soit 10 000 kilogrammes ou en utilisant les unités légales 100 000 newtons par mètre carré c'est-à-dire 100 000 pascals .

En pratique l'unité utilisée est l'**hectopascal** (hPa) qui vaut exactement un millibar, ancienne unité utilisée jadis en météorologie. La pression atmosphérique au sol vaut donc environ 1000 hPa.



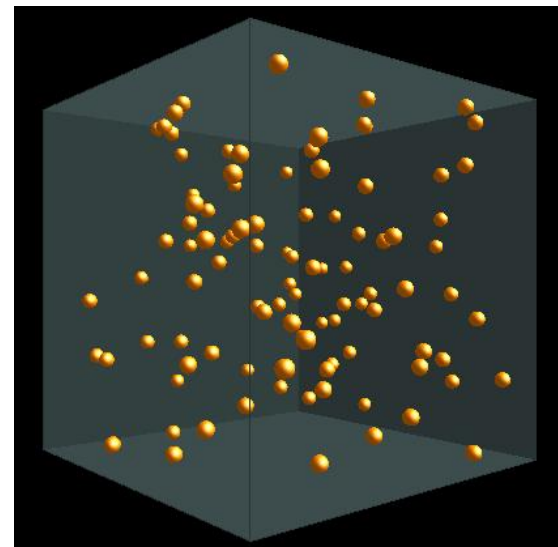
● La définition macroscopique de la pression

On dit que la pression atmosphérique sur une surface est due au poids de la colonne d'air (atmosphère) située au dessus de cette surface.

↔ *Pression = colonne d'atmosphère de 1 m² appuyant sur une balance !*

● La définition microscopique de la pression

En réalité, la pression exercée par un fluide sur une paroi est due à la multitude de chocs des atomes ou des molécules sur cette paroi (des milliards de milliards par cm² et par secondes !).

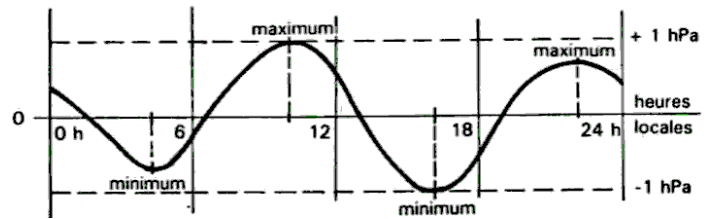


Simulation du mouvement désordonné des molécules d'un gaz (logiciel Modmol).

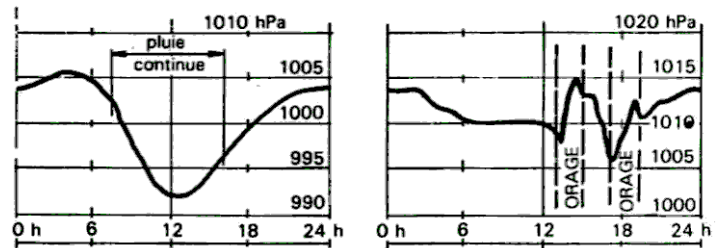
Notez que, dans un gaz, le volume occupé par les molécules est approximativement 1:1000^{ème} du volume disponible... et le reste ? Du vide !

● La pression varie en fonction du moment de la journée (heure) et du lieu.

En un même lieu au sol, il y a de faibles variations quotidiennes régulières (environ 1 hPa) : la pression monte de 04 à 10 heures, baisse de 10 à 16 heures, remonte de 16 à 22 heures, redescend de 22 à 04 heures. On parle de marée atmosphérique.



Ces faibles variations sont souvent masquées par des variations irrégulières plus importantes (parfois supérieures à 10 hPa) dues au passage des perturbations.



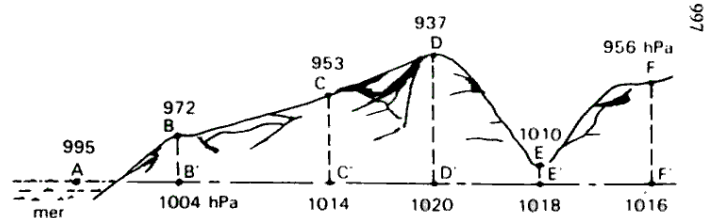
Quand on s'élève la pression diminue suivant une loi établie par LAPLACE en tenant compte de la compressibilité de l'air. (Voir coupe de l'atmosphère).

A 5,5 km d'altitude la pression a diminué de moitié, à 10 km il n'en reste que le quart. Pour une même augmentation d'altitude la pression diminue plus rapidement à proximité de la mer qu'à haute altitude.

● Les cartes de pression

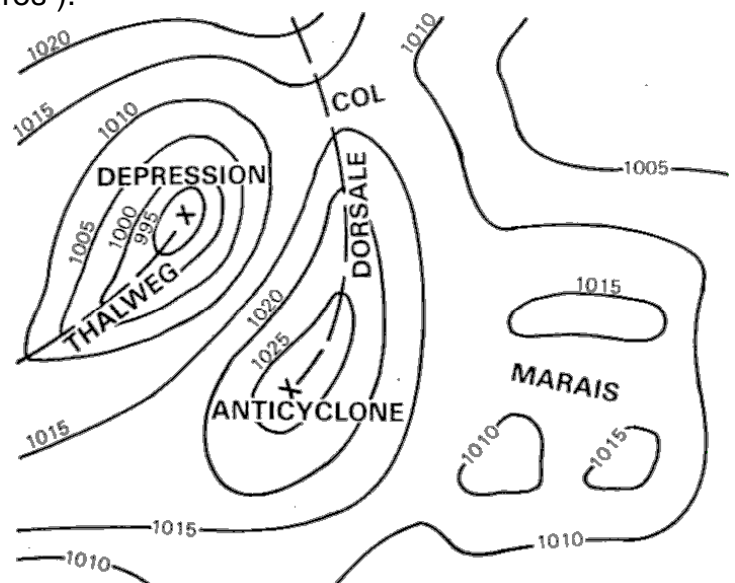
Quand on se déplace horizontalement la pression change.

Pour tracer les cartes de pression on ramène d'abord la pression mesurée au sol à la valeur qu'elle aurait à l'altitude zéro.



Les **isobares** sont les lignes qui joignent les points où la pression, ramenée au niveau de la mer, est la même (5 hPa entre 2 isobares).

- Un **anticyclone** est une zone de haute pression (A en français, H en anglais).
- Une **dépression** est une zone de basse pression (D en français, L en anglais).
- Un **thalweg** est une vallée de basses pressions.
- Une **dorsale** anticyclonique est une crête de hautes pressions.
- Un **marais barométrique** est une zone où la pression varie peu.



Dans nos régions les pressions varient entre 950 hPa et 1050 hPa.

Toutes ces variations dans le temps et l'espace ont conduit à définir une atmosphère-type ou **atmosphère standard invariable**, à partir des valeurs moyennes observées.

V. L'atmosphère standard (à retenir !)

Ainsi, la pression atmosphérique subit des variations importantes en un lieu donné. Il semble donc impossible de vouloir lier altitude et pression atmosphérique. C'est pourtant possible à partir du concept d'atmosphère-type (appelée aussi atmosphère-standard).

L'**OACI**. (*Organisation de l'aviation civile internationale*) a défini une atmosphère théorique dans laquelle on a adopté, pour chaque paramètre météorologique, une valeur moyenne.

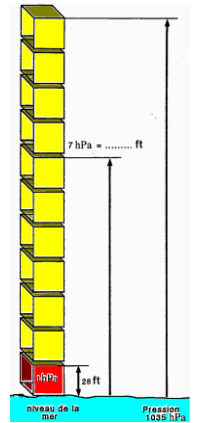
- Au niveau moyen de la mer :

La pression est de **1013,25 hPa**, la température est de **15°C**, air sec (0% d'humidité). Ces valeurs sont utilisées pour calculer diverses caractéristiques de performance aéronautique, telles que l'endurance, le rayon d'action, la vitesse aérienne et la consommation de carburant.

- En altitude Pour se reporter à une altitude barométrique autre que le niveau de la mer, la température est ajustée selon le gradient adiabatique sec prescrit ci-dessous :

La température **décroît régulièrement** jusqu'à la tropopause de **2°C pour 1000 pieds** soit un gradient de -6,5 °C/km lorsqu'on s'élève du niveau de la mer jusqu'à 11 km d'altitude. Entre 11 et 20 km d'altitude, la température de l'air reste constante, et égale à -56,5°C;

La pression **décroît de moins en moins vite quand on s'élève** : **1 hPa pour 28 pieds** dans les **basses couches** (ou **8,5 m**) , 1 hPa pour 10 m à 2 km d'altitude, 1 hPa pour 14 m à 5 km d'altitude. (Schéma)



Les lois de la physique appliquées à ce cas donnent la loi de décroissance de la pression atmosphérique, appelée loi de LAPLACE. A une altitude donnée correspond une pression atmosphérique.

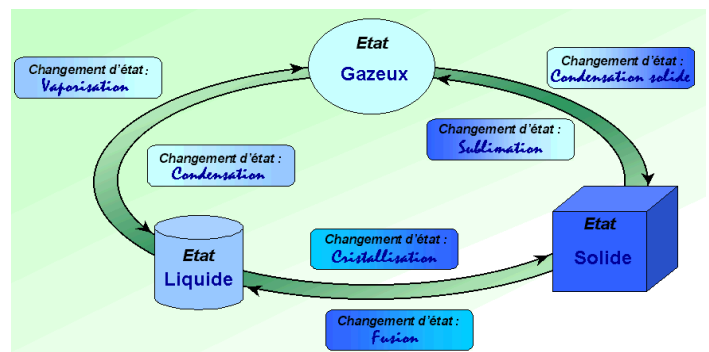
Rappel de chimie. L'expression Conditions normales de température et de pression (abréviation **CNTP**) spécifie une température de **0°C** (273,15 K) et une pression de 1 atm (définie comme étant 1013,25 hPa) ou 1.01325 bar.

VI. Humidité.

● Les 3 états de l'eau

L'eau se présente sous trois états physiques différents : **l'état solide** (neige, grêle, glace etc.). **l'état liquide** (mer, rivière, nuage, brouillard etc.) et **l'état gazeux** (vapeur d'eau).

La vapeur d'eau est un gaz invisible. Chaque passage d'un état physique à un autre porte un nom particulier.



Nom des différents changements d'état

Le plus utilisé en météorologie est le passage de l'état gazeux à l'état liquide appelé la condensation. (En physique on parle plutôt de la liquéfaction.)

La quantité de vapeur d'eau que peut contenir l'air n'est pas illimitée. Quand le maximum est atteint, on dit qu'il y a saturation. Lorsque cette limite est atteinte la vapeur d'eau commence à se transformer en eau liquide par condensation.

Ce maximum (saturation) dépend de la température. L'air chaud peut contenir davantage de vapeur d'eau que l'air froid. L'humidité absolue est la masse de vapeur d'eau que contient l'air. C'est le nombre de grammes de vapeur d'eau contenus dans un kilogramme d'air humide (de 5 à 15 en moyenne).

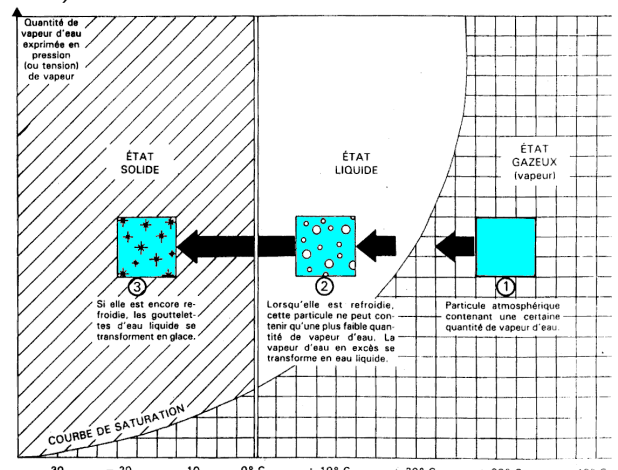


Diagramme P t(°C) des trois états de l'eau

● L'humidité relative et absolue

L'**humidité relative** est le pourcentage de vapeur d'eau que contient l'air, à une température donnée, par rapport à la quantité maximale qu'il peut contenir. Si Q est la quantité maximale de vapeur d'eau que peut contenir l'air à une température donnée et si q est la quantité réelle de vapeur d'eau que contient cet air, l'humidité relative est

$U = 100 q / Q$. A l'état de saturation $q = Q$ et $U = 100 \%$.

Si de la vapeur d'eau est ajoutée à de l'air saturé ou si sa température est abaissée l'eau se condense : de la vapeur d'eau se transforme en eau liquide.

● Une notion importante : la chaleur latente de changement d'état

A température constante, par exemple 100°C, l'énergie nécessaire pour faire passer de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur) est énorme... C'est vrai aussi pour passer de l'état solide à l'état liquide.

Eau (liq) à t (°C) + L → **Eau** (vap) à t (°C)

Mais l'énergie, qui n'est qu'une monnaie d'échange, est donc restituée ... lors du changement d'état inverse (par exemple lors d'une condensation)...

Eau (vap) à t (°C) → **Eau** (liq) à t (°C) + L

Cette quantité d'énergie (L) s'appelle la **chaleur latente de changement d'état**.

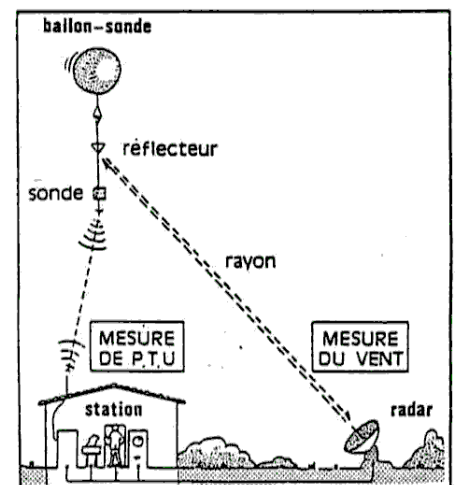
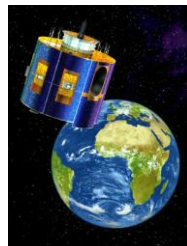
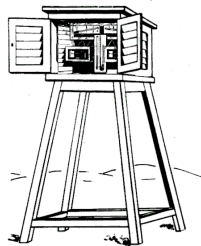
Mémorisation facile : vous sortez d'un bain de mer un jour de grand vent et vous ressentez une grande sensation de froid... c'est normal puisque de l'eau est passé de l'état liquide à l'état vapeur en prélevant l'énergie nécessaire sur son environnement... vous !!!

Les conséquences seront nombreuses pour le comportement de l'atmosphère. Citons l'exemple connu de l'effet de foehn (réchauffement d'une masse d'air après condensation:précipitation).

VII. Observations et mesures



Les observations et les mesures peuvent être effectuées au sol ou en altitude; au sol dans les abris météo. (un modèle ancien... ou moderne) : en altitude par ballon sonde, avion ou satellite...



On trouve aussi des composants électroniques sensibles à différents paramètres comme la température, la pression l'humidité etc... On les utilise pour réaliser les capteurs des stations météorologiques électroniques.

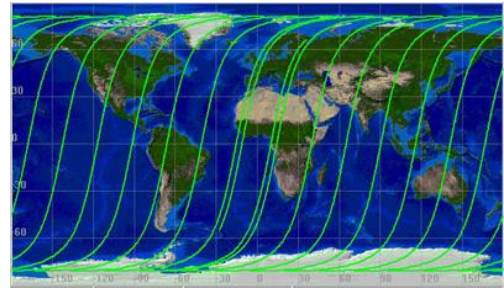
Pour les satellites la mesure s'effectue grâce à de l'imagerie dans différentes longueurs d'ondes (pas nécessairement dans le visible).

Les satellites utilisés pour ces observations sont de deux types

● Les satellites héliosynchrones

Un satellite placé sur une orbite **héliosynchrone** repasse au-dessus d'un point donné de la surface terrestre à la même heure solaire locale. Cette orbite est utilisée par tous les satellites qui effectuent des observations photographiques en lumière visible, car l'éclairage solaire du lieu observé sera peu variable d'un cliché à l'autre et notamment les satellites météorologiques.

Il s'agit d'une **orbite polaire** (qui passe près du pôle), **basse** (entre 600 et 1000 km) et de **périodicité courte** (décrite toutes les **96 à 110 minutes**).

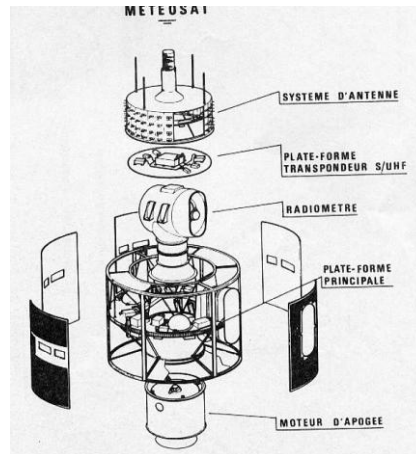


Les 14 révolutions journalières du satellite SPOT

● Les satellites géostationnaires

En plus de la caractéristique de l'orbite géosynchrone qui fait qu'un corps se trouvant sur cette orbite possède une période de révolution **très exactement égale à la période de rotation de la Terre** sur elle-même (**23 heures 56 minutes et 4,1 secondes**), l'orbite géostationnaire s'inscrit dans le plan équatorial de la Terre. Cette propriété supplémentaire fait que tout corps en orbite géostationnaire paraît immobile par rapport à tout point de la Terre.

Cette orbite est utilisée pour l'observation de la Terre depuis une position fixe dans l'espace comme c'est le cas pour les satellites météorologiques géostationnaires, dont les **Meteosat** pour l'Europe.

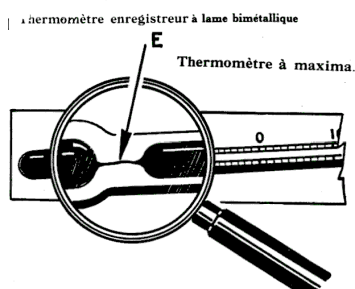
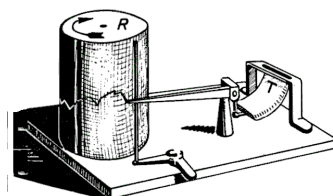


Météosat

Cette caractéristique est particulièrement importante pour les satellites de télécommunications ou de diffusion de télévision. La position du satellite semblant immobile, un équipement de réception muni d'une antenne fixe pointant dans la direction du satellite géostationnaire suffira pour capter ses émissions. Pour la couverture de l'Europe, c'est principalement Eutelsat qui assure cette mission avec de nombreux satellites en orbite.

● Température

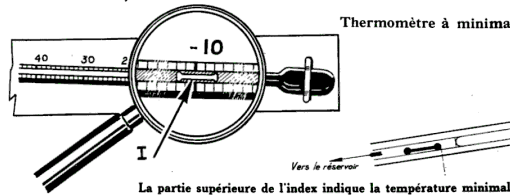
On mesure la température avec un thermomètre. L'instrument classique est basé sur la dilatation d'un liquide (mercure, alcool, ...) qui s'élève dans un tube capillaire.



La température de l'air doit être mesurée à l'abri du soleil.

Un **thermomètre** sert à repérer la température.

Il y a des thermomètres à mercure, à alcool, des thermomètres enregistreurs, des thermomètres à maxima, à minima.



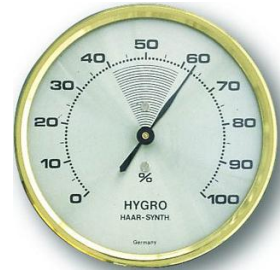
Thermomètre mini / maxi



● Humidité

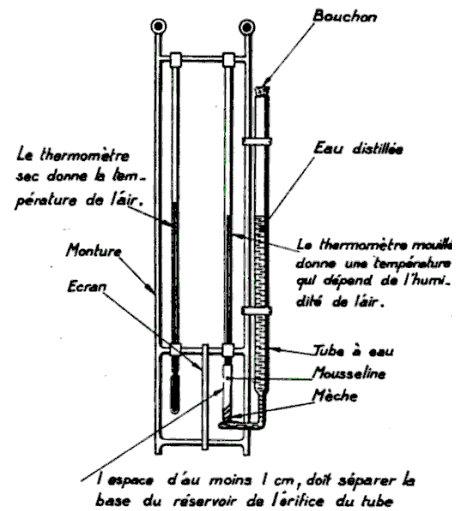
Un **hygromètre** sert à mesurer l'humidité relative.

L'hygromètre "à cheveu" est basé sur le fait qu'un cheveu se raccourcit ou s'allonge plus ou moins selon l'humidité relative.



Psychromètre.

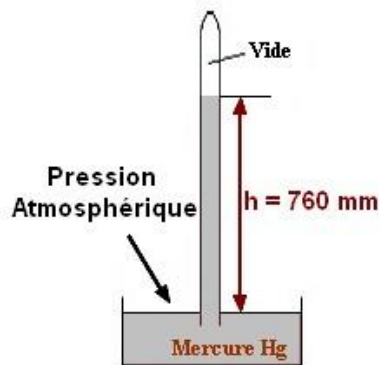
Un **psychromètre** donne une indication sur l'humidité relative de l'air. Il est composé de deux thermomètres, un thermomètre ordinaire et un thermomètre dont le réservoir est entouré d'un tissu imbibé d'eau qui s'évapore d'autant plus rapidement que l'air est plus sec. Or l'évaporation absorbe de la chaleur et abaisse donc la température indiquée par le thermomètre mouillé. Quand les deux thermomètres indiquent la même température, l'air est très humide, il est saturé en vapeur d'eau.



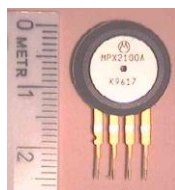
● Pression

Un **baromètre** sert à mesurer la pression atmosphérique. Le baromètre à mercure est le plus ancien et le plus précis (Torricelli 1643). Le baromètre anéroïde est plus pratique mais moins fidèle.

L'expérience de **Torricelli** (schéma) a permis de dégager le principe de l'instrument type de mesure de la pression atmosphérique.



Des composants électroniques sensibles à la pression permettent, après étalonnage, de réaliser les capteurs des stations météorologiques électroniques.



Ces stations permettent une automatisation des mesures, leur mémorisation et leur utilisation prévisionnelle.





I. La thermodynamique et l'atmosphère

La thermodynamique a trait aux processus de transfert d'énergie qui se fait dans toutes les relations calorifiques et mécaniques auxquelles sont soumises les masses gazeuses.

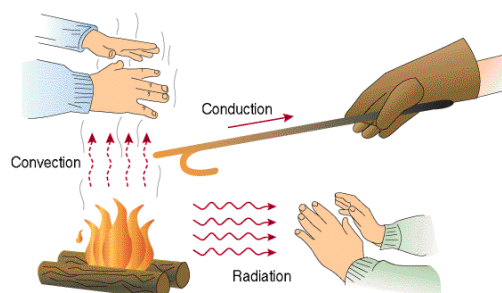
La chaleur est une forme d'énergie qu'on mesure par la **température**. Plus celle-ci est élevée, plus il y a d'énergie. Or, cette énergie est toujours diffusée vers des corps de température plus basse.

Dans le cas de l'atmosphère, réchauffement et refroidissement se font très simplement. Le Soleil réchauffe la Terre, qui en diffuse à son tour la chaleur à l'atmosphère. Quand la Terre refroidit, l'atmosphère en subit immédiatement l'influence. Ces transferts thermodynamiques revêtent plusieurs formes.

II. La chaleur peut s'échanger selon 3 modes :

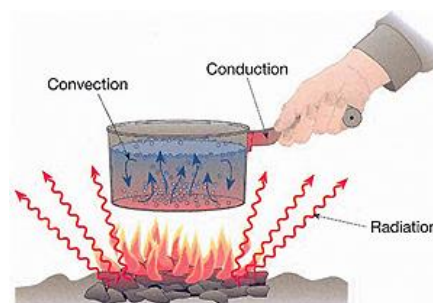
Il n'existe pour cela que 3 modes d'échange possibles

- **la conduction**
- **la convection**
- **le rayonnement**



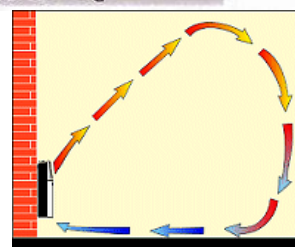
La conduction : c'est le mode de transfert **par contact** et à travers la matière. La conductivité thermique du verre sera alors utilisée.

Exemple : si vous ressentez une brûlure en tenant le manche (métallique) d'une casserole c'est que cette dernière lui a transmis de la chaleur par conduction.



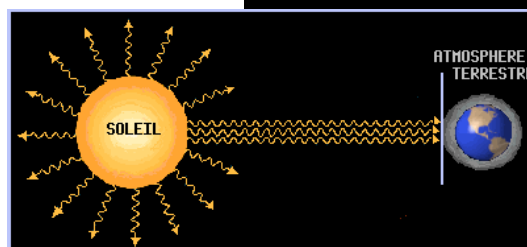
La convection : c'est le mode de transfert par **brassage de fluide**, liquide ou gazeux.

Exemple : air chaud circulant dans un pièce utilisant un chauffage électrique type "convecteur" !



Le rayonnement : c'est un mode sans contact (*le plus difficile à appréhender pour l'homme*) basé sur l'émission d'ondes électromagnétiques (des IR).

Exemple : c'est de cette manière que le soleil nous transmet "sa chaleur".



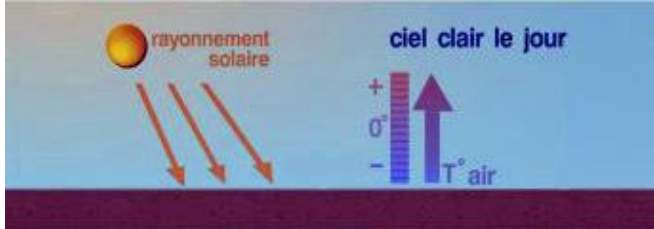
Voyons ces différents cas appliqués a l'atmosphère...

III. Le rayonnement

Transfert d'énergie par le biais d'ondes électromagnétiques. Tous les corps chauds rayonnent (le soleil émet un rayonnement lumineux, la terre émet un rayonnement obscur).

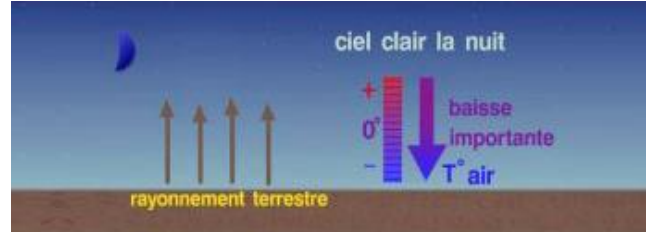
Ciel clair le JOUR

Le rayonnement terrestre est compensé par le rayonnement solaire celui-ci étant prépondérant, **la température augmente.**



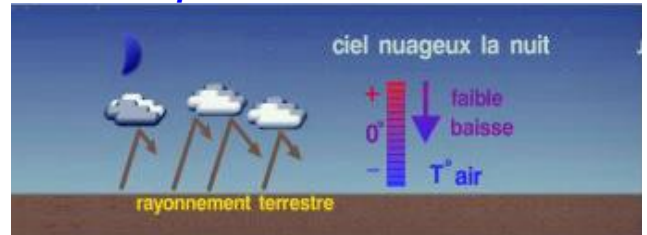
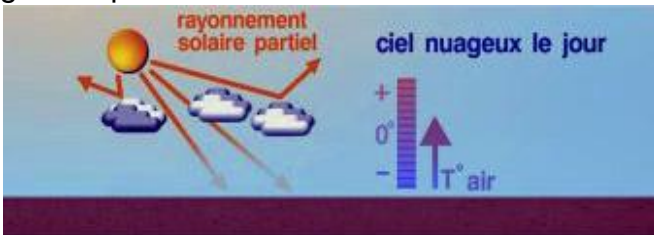
Nuit CLAIRE

Le soleil n'apporte plus son énergie ; le rayonnement terrestre se perd dans l'espace et **la terre se refroidit considérablement.**



Ciel COUVERT le jour ou la nuit

Le ciel est couvert, le rayonnement terrestre se réfléchit sur la couche nuageuse et une grande partie revient vers la terre. **Faible variation de température.**



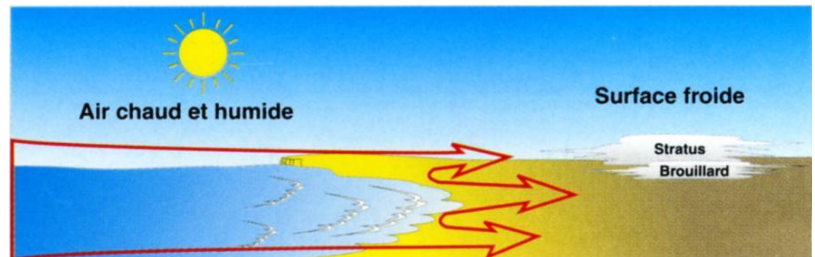
IV. La conduction

La conduction est un transfert de chaleur par contact. (échanges de chaleur limités au voisinage de la surface).

Un exemple de formation de brouillard lors du contact entre la masse d'air humide et le sol froid.

Le soleil réchauffe le sol (absorption de rayonnement) qui lui-même réchauffe une très faible épaisseur de l'air qui est au-dessus par contact (conduction)... La suite est du domaine de la convection...

NOTE : L'échauffement diffère suivant la nature du sol.



V. La convection

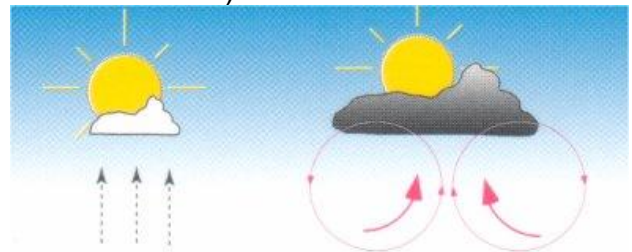
Transfert de chaleur des basses couches vers les hautes couches. (l'échauffement du sol provoque l'échauffement de l'air - l'air le plus chaud s'élève).

Dans la nature, il y a combinaison des deux effets : **conduction PLUS convection.**

Le réchauffement du sol (ou des océans) se communique à l'air qui, dilaté donc plus léger, se met à monter et se refroidit.

Les nuages de convection apparaissent d'autant plus facilement qu'il y a de l'air froid en altitude (masse d'air instable).

Les bases d'un tel nuage sont horizontales, leurs sommets évoluent en fonction de la température. L'ensemble de ces phénomènes conduisent à la formation de dépression (zone de basse pression située entre deux masses d'air).

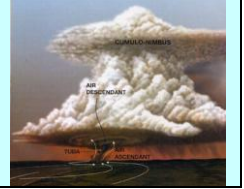


VI. Une quantité importante : la chaleur latente de changement d'état.

Pour se transformer de liquide à vapeur, et de glace à liquide, l'eau doit absorber une certaine quantité d'énergie appelée chaleur latente de changement d'état (*ou chaleur de transition de phase*). Cette énergie, prise sur le milieu extérieur (*sensation de froid en sortant d'un bain de mer plus importante s'il y a du vent*), lui sera restituée lors de la transformation inverse.

Dans l'exemple de l'ascendance d'une masse d'air (sous un nuage), celle-ci se poursuit dans le nuage et même se renforce, la condensation de l'eau absorbant un surcroît de chaleur (chaleur latente de changement d'état) ce qui accentue la différence de masse volumique entre l'air sec du nuage et l'air humide de l'ascendance.

-II.2- LA FORMATION DES NUAGES.



I. Comment se forme un nuage ?

Un nuage est constitué de minuscules particules d'eau liquide ou solide ou les deux à la fois qui sont en suspension dans l'atmosphère.

Les nuages se forment quand il y a **condensation de la vapeur d'eau** soit par :

- **refroidissement**

soit par :

- **apport d'humidité.**

Il peut y avoir échanges de chaleur par **rayonnement**, par **conduction** ou par **convection**.

II. Etude détaillée du processus de formation des nuages.

Pour qu'un nuage se forme, il faut avant tout de la vapeur d'eau (c'est la matière première du nuage) et des noyaux de condensation.

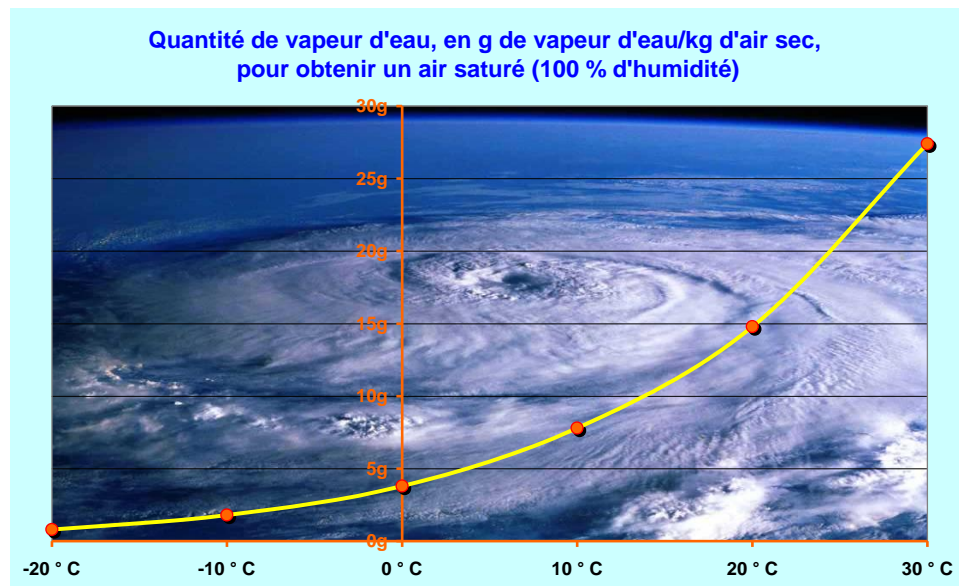
La quantité de maximale de vapeur d'eau contenue par kg d'air varie en fonction de la température.

Température (en °C)

Quantité de vapeur d'eau en g de vapeur d'eau/kg d'air sec pour obtenir un air saturé (100 % d'humidité)

-20	-10	0	+10	+20	+30
0,8	1,8	3,8	7,8	14,8	27,4

Comme la quantité de vapeur d'eau nécessaire pour obtenir un air saturé diminue très fortement avec la température, on comprend alors que la cause principale de la formation d'un nuage est un refroidissement. Arrivé au stade de saturation à 100% d'humidité, la condensation commence et se continue avec la baisse de la température pour donner naissance à un nuage.

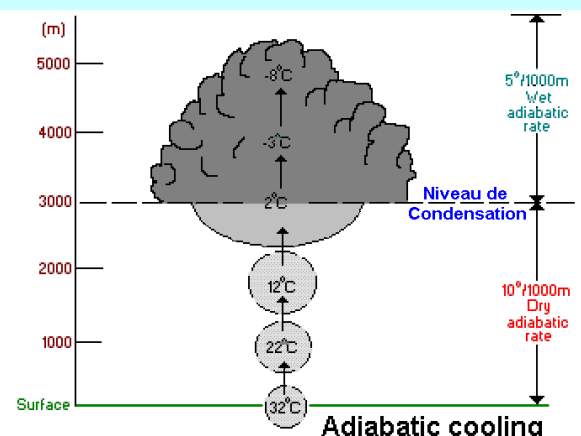


Exemple :

C'est l'été... Une masse d'air chaud (32°C) et sec (30 % humidité) située au niveau du sol s'élève.

Elle subit un refroidissement adiabatique "standard" (2°/1000 ft) alors qu'elle est entraînée par un mouvement ascendant (thermique ou autre).

Que devient cette masse d'air ?



Autres calculs :

Une masse d'air, température 20°C, se trouve située au niveau du sol.

Que devient cette masse d'air lorsqu'elle est entraînée par un mouvement ascendant (thermique ou autre) ? dans les 3 cas suivants : Humidité relative 80%, 65% et 50%.

Réponses : On ne s'intéresse qu'à la masse d'eau par kg : $80\% \cdot 14,8 = 11,8$ g d'eau par kg. Cet air deviendra saturé (100%) à 17°C soit une altitude de 1500 ft ou 500 m.

Avec un air chargé à 65 % d'humidité seulement au niveau du sol nous fait dépasser la saturation vers 1000 m (13°C). Avec 50 % d'humidité ce sera vers 1600 m (9°C).

On notera toutefois qu'à haute altitude (plus de 6000 m), le **phénomène de sursaturation** est souvent présent. La sursaturation est la persistance d'état de vapeur dans les conditions normales d'état solide ou liquide. Ainsi, en altitude, on peut trouver une humidité de 150%.

Cet état instable est mis en évidence par les traînées d'avions ou **Contrails** qui persistent dans le ciel après le passage de l'avion. En effet, les réacteurs apportent des noyaux de condensation et le choc des particules produit les turbulences nécessaires pour changer cet état.

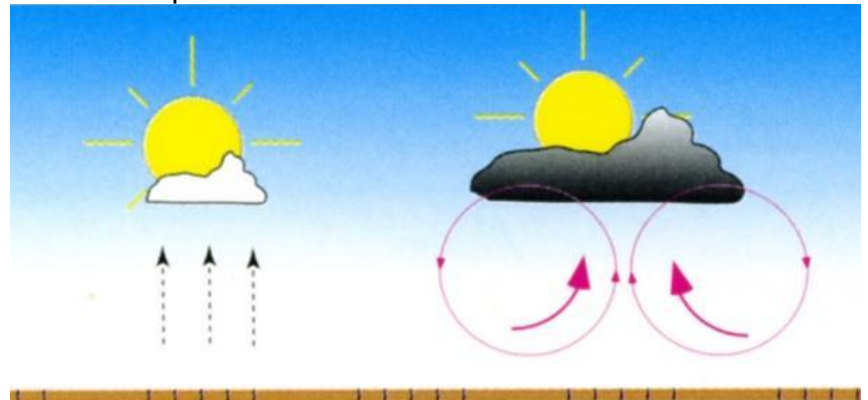


Mais la présence de vapeur d'eau n'est pas suffisante. Il faut en plus des conditions particulières pour former ces nuages.

● Formation des nuages cumuliformes :

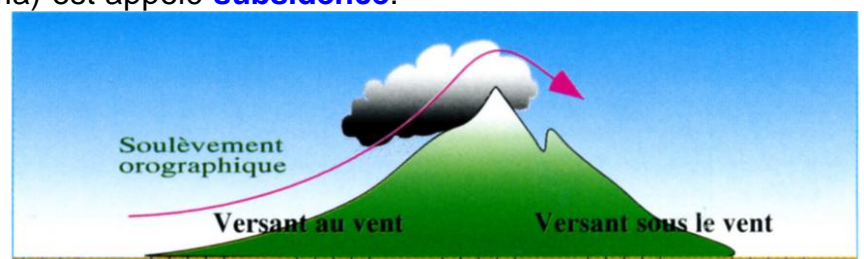
Les **nuages cumuliformes** se forment par condensation de l'humidité de l'air lors d'un **refroidissement adiabatique** (C'est une transformation au cours de laquelle les échanges de chaleur, entre le système étudié et le milieu extérieur, sont nuls. C'est souvent une bonne hypothèse à cause de la mauvaise conductibilité de l'air) obtenu par **élévation d'une masse d'air** selon trois modes possibles :

● par convection ou **ascendances thermiques**, mouvements verticaux d'air chaud,
Le réchauffement du sol se communique à l'air qui, dilaté donc plus léger, se met à monter et se refroidit par détente. Les nuages de convection apparaissent d'autant plus facilement qu'il y a de l'air froid en altitude (masse d'air instable).



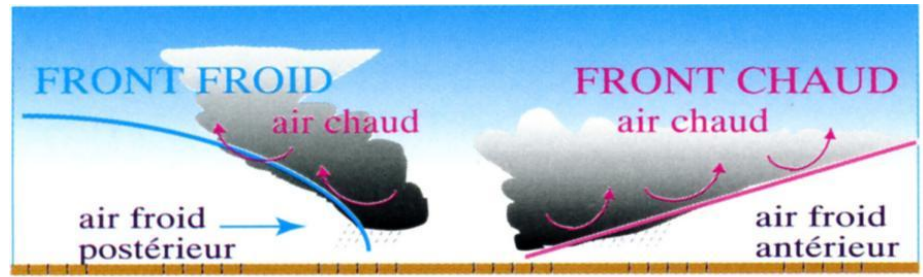
Les **bases** de tels nuages sont **horizontales**, leurs sommets évoluent en fonction de la température. Ils sont fréquents l'été sur terre, l'hiver sur mer. Notez que l'ascendance d'air chaud nécessite AUSSI que de l'air redescende pour le remplacer. Ce courant descendant plus lent du haut vers le bas (schéma) est appelé **subsidence**.

● par **ascendance forcée** sur un relief montagneux (c'est-à-dire contournement vertical du relief sous l'action du vent) ou **ascendance orographique** (les nuages sont plus isolés) ou **onde de relief**.



Le relief oblige la masse d'air à s'élever sur sa face au vent. La masse d'air s'élevant, sa température s'abaisse et peut atteindre le seuil de saturation. Un nuage se forme alors sur le versant au vent et se dissipe sur le versant sous le vent.

- par ascendance d'une masse d'air chaud sur une masse d'air froid : **soulèvement frontal** caractéristique du front chaud.



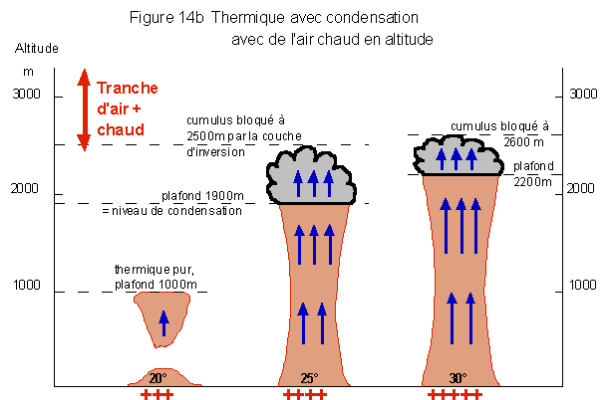
Sens de déplacement de la perturbation

- **Ascendance liée à la turbulence** qui forme des Stratocumulus dits turbulents.

Au cours de son ascension, le particule d'air se détend (diminution de pression en fonction de l'altitude) et donc se refroidit. Ce mécanisme est à l'origine de la formation de presque tous les nuages.

Le sommet du nuage correspond à l'altitude à laquelle cessent les mouvements verticaux.

C'est le niveau d'équilibre thermique au-dessus duquel la couche d'air est stable.



- **Formation des nuages stratiformes :**

Les **nuages stratiformes** se forment par condensation de l'humidité de l'air lors du **refroidissement d'une masse d'air** selon plusieurs modes possibles :

Le **refroidissement isobare** (à pression constante) obtenu par :

- **rayonnement** : le refroidissement nocturne entraîne une hausse de l'humidité et la formation de rosée, de gelée blanche, de brume ou de brouillard de rayonnement et même de Stratus ou Stratocumulus...

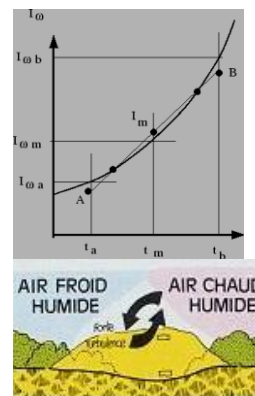
● Conditions = **Air humide ; Vent faible <5kt; Fort rayonnement.**

- **advection** : il s'agit d'air chaud qui circule sur un sol froid et donc se refroidit par contact.. Formation de nuages bas (Stratus ou Stratocumulus) ou de brouillard (dit d'advection). Phénomènes très fréquents dans les régions côtières. (vent modéré <15 kt)



Le **mélange de deux masses d'air**. Le mélange de deux masses d'air proches de la saturation peut conduire à une nouvelle masse d'air saturée (le mélange des deux masses se trouve dans la plage de saturation en raison de la concavité de la courbe de saturation par rapport à la température). Il y a alors formation de **brouillard de mélange**. Processus assez limité car plusieurs conditions sont indispensables : un **brassage important** des deux masses d'air (vent 60 km/h), un **fort écart de température** entre les masses d'air et une **forte humidité**. Type de brouillard rare et peu dense.

Par de **faibles ascendances synoptique** ou orographique. (Schéma ci-contre)



L'adjectif "synoptique" évoque l'idée de "voir en un même ensemble", "embrasser d'un coup d'œil".

Formation par apport de vapeur d'eau :

Cet apport peut venir de surfaces aquatiques ou de sols saturés d'eau, ce qui entraîne la formation de **brouillards d'évaporation** ou **côtiers**. Enfin, lorsqu'il y a précipitation, l'air est saturé et provoque la formation de Stratus fractus ou de Cumulus fractus que l'on appelle pannus.



III. De quoi les nuages sont-ils constitués ?

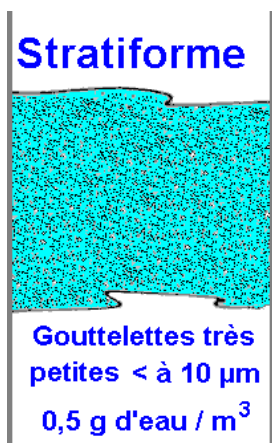
● Les gouttelettes d'eau :

Elles sont formées en atmosphère saturée (100 % d'humidité) par condensation de la vapeur d'eau (toujours présente dans l'atmosphère) en présence de particules solides en suspension appelées noyaux de condensation. Ces noyaux de condensation jouent le rôle de catalyseur et sont d'origines variées :

- minérale : suie volcanique, cristaux de sable
- marine : cristaux de sel marin arrachés des embruns par le vent
- humaine : combustions industrielles, pollution
- Diamètre des gouttelettes : de 2 à 200 microns (nombre de 300 à 600/m³ environ)

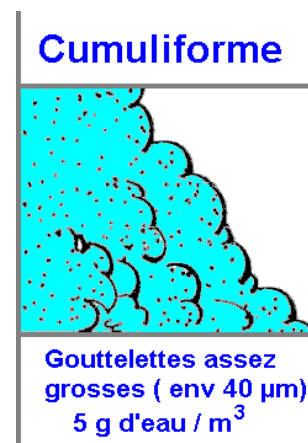
Vitesse de chute : de quelques mm/s à 1 cm/s sans agitation

Distance séparant deux gouttelettes : 1,4 mm soit 70 fois leur diamètre en moyenne (comme un ballon de foot tous les 20 à 30 mètres).



● Teneur en eau des nuages

- nuage stable (stratiforme) : gouttelettes nombreuses mais de petit diamètre et eau condensée de l'ordre de 0,5g/kg de nuage.
- nuage instable (Cumuliforme) : gouttelettes moins nombreuses mais de diamètre important (40 microns en moyenne) et eau condensée de l'ordre de 5g/kg de nuage.



● Les cristaux de glace :

Ils sont formés par cristallisation d'une gouttelette d'eau autour d'une particule solide appelée noyau glaçogène pour $T < 0^{\circ}\text{C}$.

Ces noyaux sont issus de cendres volcaniques, suie ou sable et ont une structure cristalline analogue à la glace.



Diamètre des cristaux légèrement supérieur à celui des gouttelettes.

Vitesse de chute : 1 mm/s sans mouvement ascendant

Distance séparant deux cristaux Voisine de celle des gouttelettes

Nombre : Le nombre de cristaux est variable selon la température

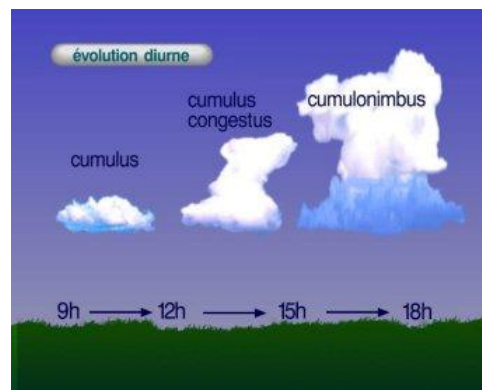
- -3°C : apparition de cristaux
- -12°C : les cristaux augmentent en nombre (un cristal pour 10 m³ de nuage)
- -32°C : augmentation marquée de leur nombre (10 pour 10 m³ de nuage)
- -41°C : augmentation systématique et brutale (il n'existe plus d'eau en surfusion)

IV. L'évolution diurne des formations nuageuses

L'évolution diurne est due essentiellement au **réchauffement du sol par le rayonnement solaire**.

Elle se produit pratiquement toute l'année, mais surtout au printemps et en été lorsque le réchauffement est plus intense. L'évolution diurne affectionne particulièrement les ciels de traîne ou les conditions de "**marais barométrique**".

Ce phénomène s'explique par la hausse progressive de la température au fil de la journée. En effet, l'air surchauffé au niveau du sol s'élève, l'air chaud étant plus léger que l'air froid. En s'élevant, il se refroidit et le phénomène de condensation intervient, d'où la formation de nuages.

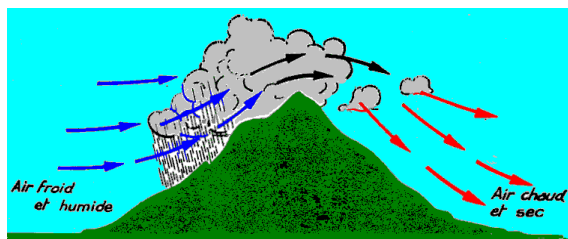


Voir animations site WEB.

Au lever du jour, le ciel est parfaitement bleu. Entre 9 et 12 heures, la température augmente lentement et les premiers cumulus apparaissent, laissant encore une impression de beau temps. De 12 à 15 heures, la température continue de grimper grâce au soleil et les cumulus prennent de l'ampleur. Ils se transforment alors en « cumulus congestus ». Ces nuages sont déjà aptes à donner quelques averses. C'est entre 15 et 18 heures que l'évolution diurne atteint son maximum puisque c'est à ce moment de la journée qu'est atteinte la température la plus élevée. Les cumulus peuvent alors se développer verticalement et dégénérer en cumulonimbus et provoquer des averses et des orages.

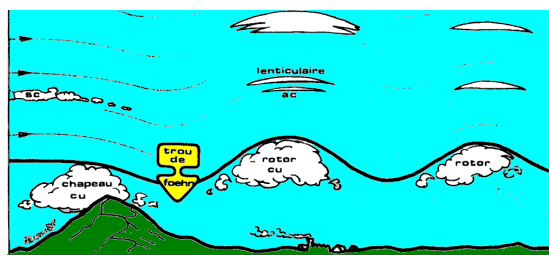
V. L'effet de foehn.

L'effet de foehn se produit essentiellement en région montagneuse. Il s'agit de conditions météorologiques particulières créées essentiellement par le vent.



La pente montagneuse exposée au vent bloque les nuages et c'est donc un temps pluvieux et frais qui s'impose sur cette pente et aux pieds des montagnes en plaine. La température décroît progressivement en altitude. Bien sûr, les nuages sont obligés de monter le long de la montagne, se refroidissant et ils déversent donc toute leur humidité en amont..

Arrivés au sommet de la montagne, le nuage s'est déjà épuisé, il a alors tendance à se disloquer et la masse d'air s'assèche brutalement. De l'autre côté de la montagne, le vent redescend le long de la pente en aval. Il s'échauffe alors plus rapidement puisque l'humidité s'est rapidement affaiblie. Plus l'air descend vers la plaine et plus il se réchauffe.



De plus, les nuages s'étant disloqués, le ciel est généralement dégagé ou légèrement voilé. C'est alors que l'on trouve des différences de températures parfois énormes, avec parfois plus de 10° d'écart de part et d'autre de la montagne.

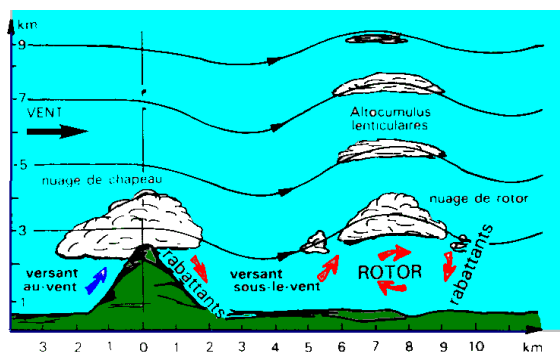
VI. L'onde, les rotors et les nuages lenticulaires.

Le passage du vent sur le relief peut créer une onde souvent repérable par des nuages lenticulaires.

Un rotor dangereux peut se former, au voisinage du sol, sous les lenticulaires.

Un rotor secondaire superposé au précédent peut se former un peu plus haut.

Notez la position des différents "rabbattants".



-II.3- LES NUAGES.



I. Rappel : Qu'est ce qu'un nuage ?

C'est un ensemble visible de minuscules particules d'**eau liquide** et/ou de **cristaux de glace** en suspension dans l'atmosphère.

II. Rappel : Comment se forment les nuages ?

Les nuages se forment par **refroidissement de l'air ascendant**. Lorsque la température diminue, la quantité maximale de vapeur d'eau que peut contenir l'air diminue, donc l'humidité relative augmente. Lorsque l'humidité relative atteint 100%, la condensation apparaît autour de minuscules particules solides (les noyaux de condensation).

III. Classification des nuages par leur forme... elle-même lié à leur formation.

La forme des nuages dépend de la stabilité de l'air.

● Stabilité et instabilité de l'air

L'air chaud monte. En montant sa pression diminue, donc sa température s'abaisse. (Inversement quand on comprime un gaz sa température augmente.)

On considère qu'il n'y a pas d'échange de chaleur entre "la particule d'air" étudiée et l'air environnant (on parle de déplacement adiabatique).

L'air est **stable** si "la particule" d'air a une température égale à celle de l'air environnant.

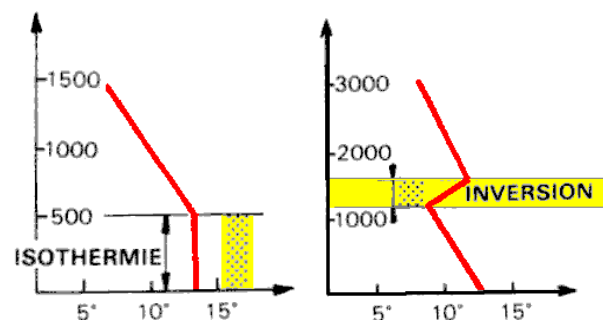
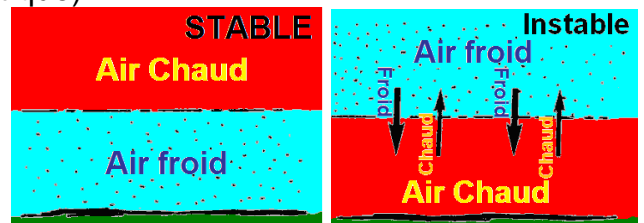
L'air est **instable** si "la particule" d'air considérée a une température supérieure à celle de l'air environnant : plus légère que lui, elle monte.

A l'endroit où elle arrive, si l'air environnant est plus froid qu'elle, elle continue de monter, s'il est plus chaud, elle s'arrête.

Il y a **isothermie** dans une couche d'atmosphère quand la température ne varie pas avec l'altitude.

Il y a **inversion** de température quand la température augmente avec l'altitude.

L'**isothermie** et l'**inversion** sont des facteurs de stabilité.



● La forme des nuages

Suivant que l'air est stable ou instable les nuages sont stratiformes ou cumuliformes.

NUAGES CUMULIFORMES

Forme isolée, non soudée, aspect "choux-fleur" bien séparés les uns des autres, à caractère instable et à développement vertical. terminaison **cumulus**



(Cu), (St),
(Ac), (As),
(Cc) (Cs)

NUAGES STRATIFORMES

Forme soudée, étalée, en couches superposées en forme de banc ou de couche, de caractère stable et à développement horizontal. terminaison **stratus**



IV. Répartition verticale des nuages en étages.

Avant de les classer il est nécessaire de faire un bilan de leur répartition dans la troposphère. On distingue 3 étages en fonction de leur altitude.

L'étage inférieur : Les nuages dont la base est approximativement située entre **le sol ou la mer et 2000 m** (6500 ft) partout, qu'on soit au pôle ou à l'équateur. Ils sont constitués d'eau liquide. **pas de préfixe.**

L'étage moyen : Les nuages dont la base est approximativement située entre **2000 m et 6000 m** environ en régions tempérées, (de 2 à 4 km en régions polaires et de 2 à 8 km en régions tropicales). Ils sont constitués de cristaux de glace et de gouttelettes d'eau liquide.

- Préfixe "**alto**"

L'étage supérieur : Les nuages dont la base est approximativement située **au dessus de 6000 m** . Ils peuvent se développer jusqu'à la **tropopause** soit environ 11000 m en régions tempérées, (de 3 à 8 km en régions polaires et de 6 à 18 km en régions tropicales). Ils sont constitués de cristaux de glace.

- préfixe "**cirro**"

La limite supérieure de l'étage moyen et les limites inférieure et supérieure de l'étage supérieur dépendent de l'altitude de la tropopause au-dessus de la région considérée.

Le **cirrus**, **cirrocumulus** et **cirrostratus** sont toujours des nuages de **l'étage supérieur**.

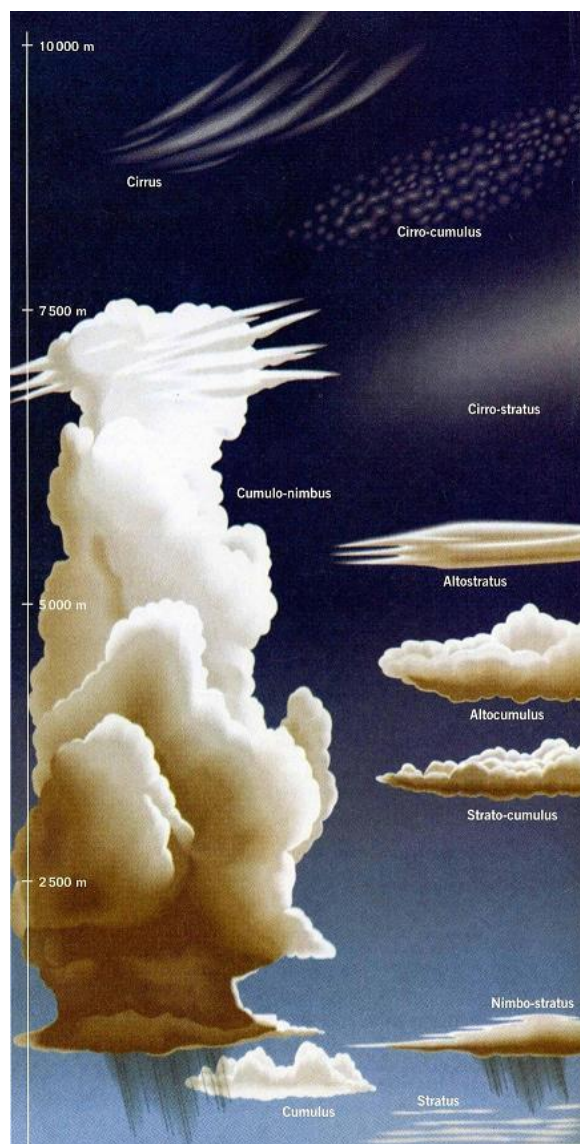
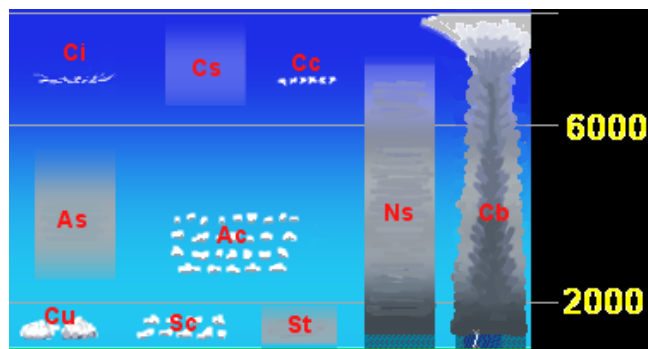
L'altocumulus et **altostratus** appartiennent à **l'étage moyen**.

Le **stratus** et le **stratocumulus** se trouvent dans **l'étage inférieur**.

V. Les nuages de mauvais temps, dangereux pour la circulation aérienne.

Les nuages qui présentent une grande extension verticale sont caractéristiques des précipitations et du mauvais temps : préfixe ou terminaison "**nimbus**".

Le **cumulus** et le **nimbostratus** peuvent se former dans **deux étages, inférieur et/ou moyen**. Le **cumulonimbus**, nuage **très dangereux**, de très grande extension verticale s'étend sur les **trois étages**. Sa base noire à **l'étage inférieur** et son sommet en forme d'enclume à **l'étage supérieur**.



VI. Les 10 classes de nuages... triées par étages.

● L'étage supérieur et les Cirrus (qui signifie filaments)

CIRRUS - Ci

Nuages élevés détachés sous forme de délicats filaments blancs composés de bancs ou d'étroites bandes blanches, de virgules ou de crochets blancs. Ces nuages ont un aspect fibreux (chevelu), un éclat soyeux ou les deux. Composés de **cristaux de glace** dispersés.

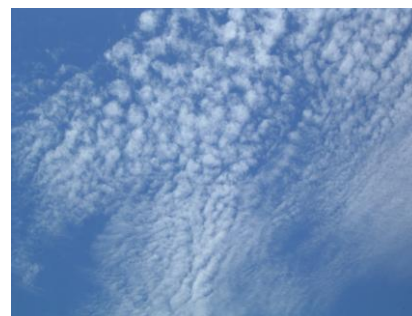
Pas de précipitations associées.



CIRROCUMULUS - Cc

Banc, nappe ou couche mince de nuages blancs élevés, sans ombres propres, composés de très petits éléments en forme de granules, de rides, d'aspect ondulé ou "moutonné", soudés ou non, et disposés plus ou moins régulièrement; la plupart des éléments ont une largeur angulaire apparente inférieure à un degré (un doigt tenu à longueur de bras). Constitués de **cristaux de glace** et parfois d'**eau fortement surfondue** (eau liquide à température négative).

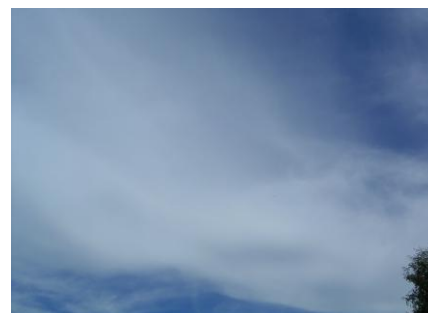
Pas de précipitations associées.



CIRROSTRATUS - Cs

Voile nuageux élevé transparent et blanchâtre, d'aspect fibreux (chevelu) ou lisse, couvrant le ciel en totalité ou en partie. Il est constitué de **cristaux de glace** et donne lieu généralement à des phénomènes de **halo**.

Pas de précipitations associées.



● L'étage moyen... Alto...

ALTOCUMULUS - Ac

Banc, nappe ou couche de nuages blancs et gris ayant généralement des ombres propres et composés de lamelles, de galets, de rouleaux, etc., d'aspect parfois partiellement fibreux ou flou, soudés ou non. La plupart des petits éléments ont une largeur apparente comprise entre un et cinq degrés (1 à 5 doigts à bout de bras). Ils sont constitués de **gouttelettes d'eau** parfois accompagnées de **cristaux de glace**.

ALTOSTRATUS - As

Nappe ou couche nuageuse grisâtre ou bleuâtre, d'aspect strié, fibreux ou en uniforme couvrant entièrement ou partiellement le ciel et présentant des parties suffisamment minces pour laisser transparaître le Soleil, du moins vaguement, comme au travers d'un verre dépoli. Il ne présente pas de phénomène de halo. Constitué de **gouttelettes d'eau** (parfois surfondues), de **cristaux de glace** ou de **neige**, il est à l'origine de **chutes de pluie de neige** ou de **granules de glace**.



L'étage inférieur... (Strato signifie en strate)

STRATOCUMULUS - Sc

Banc nappe ou couche de nuages, gris ou blanchâtres, ou à la fois gris et blanchâtres, ayant presque toujours des parties sombres, composés de dalles, galets, rouleaux, etc., d'aspect non fibreux, soudés ou non; la plupart des petits éléments disposés régulièrement ont une largeur apparente supérieure à cinq degrés.(plus de trois doigts tenus à longueur de bras). Ils sont constitués de **gouttelettes d'eau** (parfois accompagnées de *neige roulée* ou de *flocons de neige*). Précipitations associées : **pluie** ou **neige faible** ou **neige roulée**.

STRATUS - St

Couche nuageuse généralement grise, à base assez uniforme, pouvant donner lieu à de la bruine, des prismes (cristaux) de glace, ou de la neige en grains. Lorsque le soleil est visible au travers de la couche, son contour est nettement discernable. Le stratus ne donne pas lieu à des phénomènes de halo, sauf éventuellement aux très basses températures. Parfois, le stratus se présente sous forme de bancs déchiquetés. Il est constitué de **gouttelettes d'eau** (parfois de *particules de glace*). Précipitations associées : **bruine** ou **neige en grains**.

Sur les 2 étage inférieurs : (Cumulus signifie amas)

NIMBOSTRATUS - Ns

Couche nuageuse grise, souvent sombre, dont l'aspect est rendu flou par des chutes plus ou moins continues de pluie ou de neige qui, dans la plupart des cas, atteignent le sol. L'épaisseur de cette couche est partout suffisante pour masquer complètement le soleil. Il existe fréquemment, sous sa base, des nuages bas, déchiquetés, soudés ou non avec elle ainsi que des précipitations. Ce nuage est constitué de **gouttelettes d'eau**, de **cristaux de glace** ou de **flocons de neige**. Précipitations associées : **pluie**, **neige** ou **granules de glace**.

CUMULUS - Cu

Nuages séparés, généralement denses et à contours bien délimités, se développant verticalement en forme de mamelons, de dômes ou de tours, dont la région supérieure bourgeonnante ressemble souvent à un chou-fleur. Les parties de ces nuages éclairées par le soleil sont, le plus souvent, d'un blanc éclatant; leur base, relativement sombre, est sensiblement horizontale. Les cumulus sont parfois déchiquetés. Nuages de beau temps, apparaissant le matin et disparaissant le soir. Ils sont constitués de **gouttelettes d'eau**.

Pas de précipitations associées.



CUMULUS Congestus - **Cb** ou **TCU**
(TCU = Towering Cumulus)

Cumulus en développement vertical important **et pouvant atteindre le stade Cb** (Towering !). L'aspect bouillonnant révèle de puissants mouvements verticaux. Ils sont constitués de **gouttelettes d'eau** ou de **cristaux de glace** (si la partie supérieure du nuage est très < 0°C).
Précipitations associées : **averses de pluie, neige** ou **neige roulée**.



● Sur les 3 étages :

CUMULONIMBUS - Cb

Nuage dense et puissant, à extension verticale considérable, en forme de montagne ou d'énormes tours. Une partie au moins de sa région supérieure est généralement lisse, fibreuse ou striée, et presque toujours aplatie. Cette partie s'étale souvent en forme d'enclume ou de vaste panache. Au-dessous de la base de ce nuage, souvent très sombre, il existe fréquemment des nuages bas déchiquetés, soudés ou non avec elle, et des précipitations.
Précipitations associées: **averses de pluie, neige, neige roulée, grêle** ou **grésil**. **Les orages sont toujours provoqués par ce genre de nuage.**



● Différentes sous-espèces



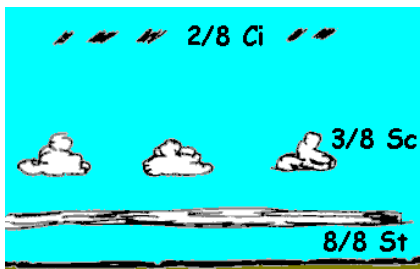
mamatus

La plupart des genres sont subdivisés en espèces (pour spécialistes...) pouvant dépendre de l'altitude, de la hauteur, de la forme etc... On trouve par exemple : fibratus, castellanus, floccus, stratiformis, fractus, humilis, mediocris, **congestus**, capillatus...



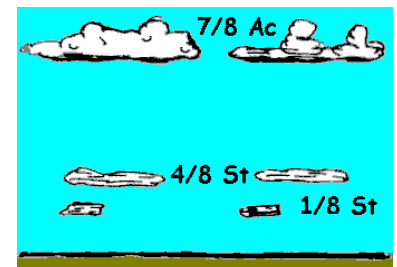
lenticularis

VII. Répartition horizontale : la nébulosité.



La **nébulosité** est la fraction du ciel cachée par les nuages. Elle s'exprime en **octas** ou **huitièmes**.

On l'indique sur les cartes météo par trois lettres venant de mots anglais. (Important BIA)



Aucun nuage : ciel clair
Quelques nuages,
Nuages éparés
Couche nuageuse morcelée,
Ciel complètement couvert,

ou **0 octa** (SKC sky clear)
de **1 à 2 octas** (FEW)
de **3 à 4 octas** (SCT scattered)
de **5 à 7 octas** (BKN broken)
8 octas (OVC overcast)

VIII. Nébulosité comparées : exemples

On a souhaité distinguer les différentes étages (*nuages bas, moyens et élevés*) car le ressenti n'est pas le même pour une nébulosité selon la hauteur des nuages.

Aucun nuage : ciel clair - 0 octa - SKC

On a 0 octa qui peut se coder SKC (*si la visibilité est strictement inférieure à 10 km*).

Si la visibilité est bonne (*supérieure ou égale à 10 km*), **SKC** est remplacé par **CAVOK**.



Quelques nuages : 1 à 2 octas - FEW

[Etage bas]



On observe une bande de Stratocumulus au-dessus de la ville.

[Etage moyen]



On est en présence d'un nuage lenticulaire au-dessus d'une montagne.

[Etage élevé]



On devine quelques cirrocumulus.

Nuages épars : 3 à 4 octas - SCT

[Etage bas]



Nous ne sommes pas encore en présence d'un nuage d'orage mais il est en passe de l'être.

[Etage moyen]



Ciel en partie occupé par quelques Altocumulus de petites tailles. Vous pouvez remarquer que des Cirrus l'accompagnent mais aussi une parhémie (phénomène lumineux provenant de la présence de cristaux de glace dans l'étage élevé, matérialisés ici par les Cirrus).

[Etage élevé]



Présence de nombreux bancs de Cirrus, certains sont un peu plus épais (paquets blancs)

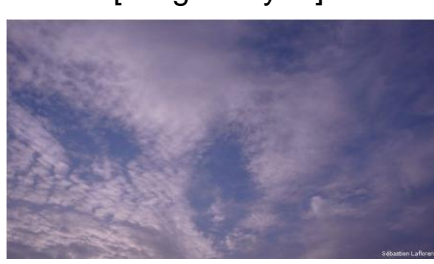
Couche nuageuse morcelée 5 à 7 octas - BKN

[Etage bas]



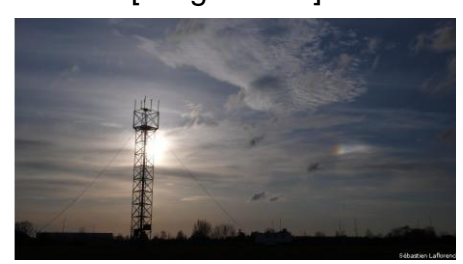
Ciel bien chargé en Stratocumulus, mais quelques percées se font apercevoir.

[Etage moyen]



Des Altocumulus couvrent une bonne partie du ciel.

[Etage élevé]



Un ciel très voilé par des nuages élevés.

Ciel complètement couvert : 8 octas - OVC

[Etage bas]



Ciel couvert en nuages bas, caractéristique du mauvais temps sur cette photographie.

[Etage moyen]



Ciel couvert en Altopcumulus.

[Etage élevé]

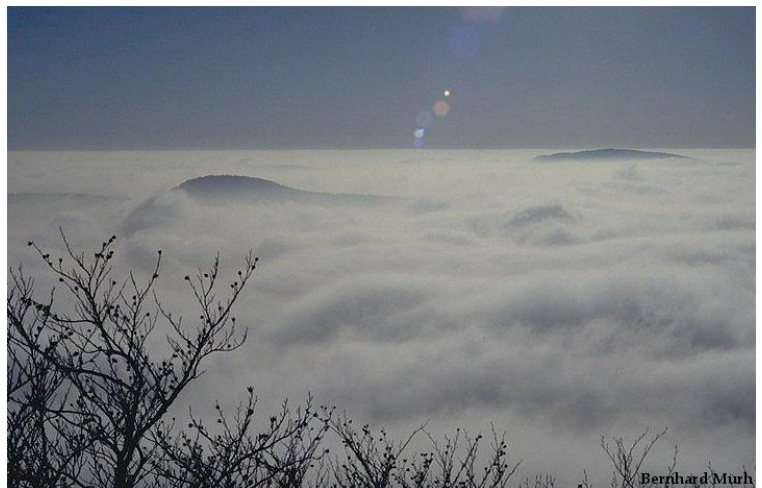


Lorsque le ciel est bien couvert en Cirrostratus, un phénomène de halo se produit régulièrement autour du soleil (angle de 22° entre le soleil et le halo).

[Base du nuage inconnue]

La situation est particulièrement dangereuse si la base du nuage atteint le sol

Cela arrive régulièrement en station de montagne. D'après cette photographie, on coderait **OVC///**.



-II.4- LES PRECIPITATIONS.



I. Les différentes forme de précipitations.

Les précipitations sont constituées par un ensemble de particules d'eau, liquides ou solides (hydrométéores) qui tombent d'un nuage et qui atteignent le sol.

On en rencontre plusieurs types classés ci-dessous :

DZ ☾	BRUINE	Précipitation caractérisée par de très fines gouttelettes d'eau d'un diamètre inférieur à 0.5 mm , très rapprochées les unes des autres, et provenant de nuages bas à extension horizontale (stratus , stratocumulus) et du brouillard.
RA //// //// ////	PLUIE	Précipitation de gouttelettes de plus grandes dimensions que la bruine provenant de nuages plus épais et de plus grande étendue (altostratus , nimbostratus).
SN ✱	NEIGE	Précipitation de cristaux de glace cristaux de glace, isolés ou soudés dont la plupart sont ramifiés, parfois étoilés. <i>Pour des températures comprises entre 0° et -10°, les cristaux sont agglomérés en flocons dont le diamètre est compris entre 0.5 et 2.5 cm. Même origine que la pluie.</i>
GR Δ	GRÊLE	Précipitation de globules de glace de dimensions importantes allant de quelques mm à quelques cm de diamètre, provenant de nuages instables à forte extension verticale d'au moins 5000 m (cumulonimbus).
FZ ~	PLUIE SURFONDUE (Verglaçantes)	Pluie où la température des gouttes est inférieure à 0°C. Au moment de leur impact (sol, objets au sol, aéronefs...) elles se congèlent.
AVERSES ▽		Ce sont des précipitations brutales, intenses, très localisées et de courte durée . Elles proviennent de nuages instables et à forte extension verticale. On distingue les averses de : pluie, neige, grêle.
Autres précipitations		Neige en grains - Neige roulée - Poudrin de glace - Grésil - Granulés de glace.

II. Comment se forment les précipitations ?

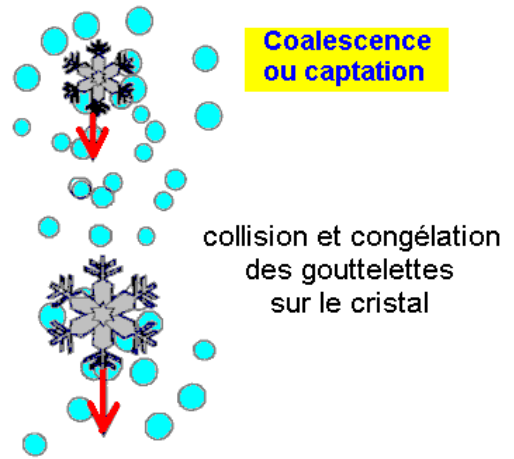
● Pourquoi des précipitations ?

Les gouttelettes ou les cristaux composant les nuages sont de faible dimension, et se maintiennent en **équilibre**. Le phénomène de précipitation est donc dû essentiellement à **l'accroissement de la taille** des éléments dont la masse devient assez importante pour vaincre les forces d'agitation.

Ce grossissement peut s'expliquer par les deux processus suivant :

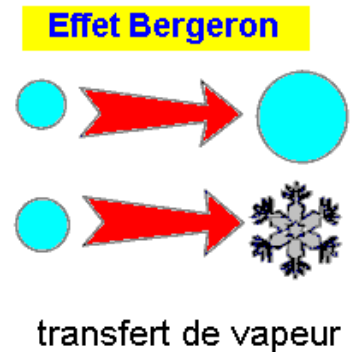
- L'effet de coalescence ou de captation.

C'est un grossissement par choc (**chute libre** ou turbulence) et fusionnement avec d'autres particules. En particulier avec des gouttelettes surfondues.



- L'effet Bergeron.

C'est un grossissement des cristaux ou des gouttelettes d'un nuage par transfert de vapeur au détriment des cristaux ou des gouttelettes les plus petites.



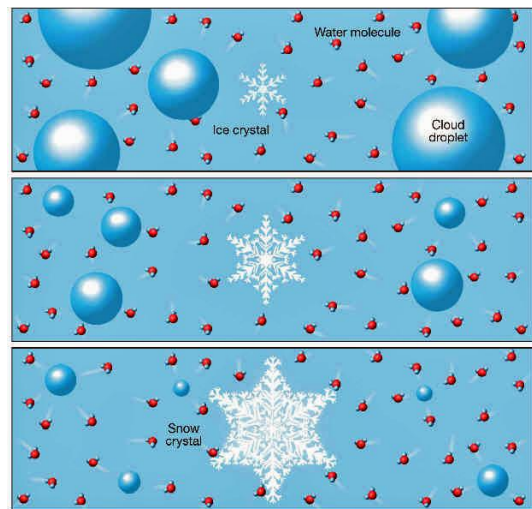
III. Effets Bergeron et coalescence ... en détail.

- L'effet Bergeron.

Dans la partie du nuage où la température est négative mais supérieure à -41°C , **coexistent cristaux de glace et gouttelettes d'eau surfondues** (eau liquide avec une $T^{\circ} < 0^{\circ}\text{C}$).

Physiquement, pour une masse d'air donnée, la saturation autour d'un cristal de glace intervient à un taux d'humidité plus bas qu'autour d'une gouttelette d'eau surfondue.

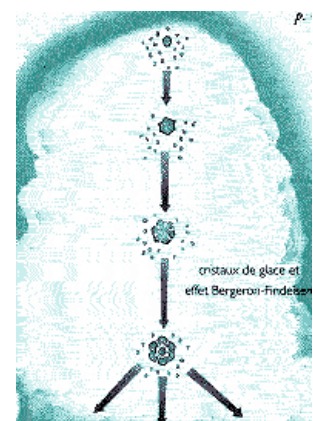
Il y a donc **transfert de la vapeur d'eau des gouttelettes vers les cristaux**, c'est à dire qu'il y a condensation autour du cristal avec évaporation des gouttelettes.



On dit aussi qu'à la même température, le cristal présente une affinité à la vapeur d'eau plus grande que l'eau surfondue. Lorsque la masse du cristal est suffisante après transfert, il précipite.

S'il traverse une zone à température positive assez épaisse (souvent à partir de 300 m dans les nuages stables) et si la durée de chute le permet, il fond et c'est la pluie.

Le même processus de grossissement a lieu entre deux gouttelettes à des températures différentes (la plus froide grossit au détriment de la plus chaude) et entre deux gouttelettes de taille différente (la plus grosse grossit au détriment de la plus petite).



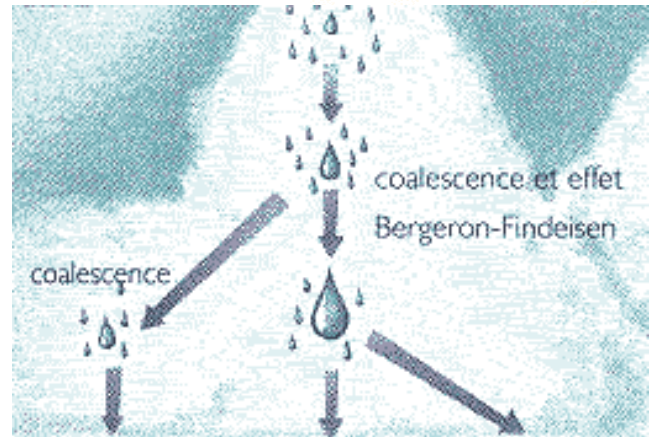
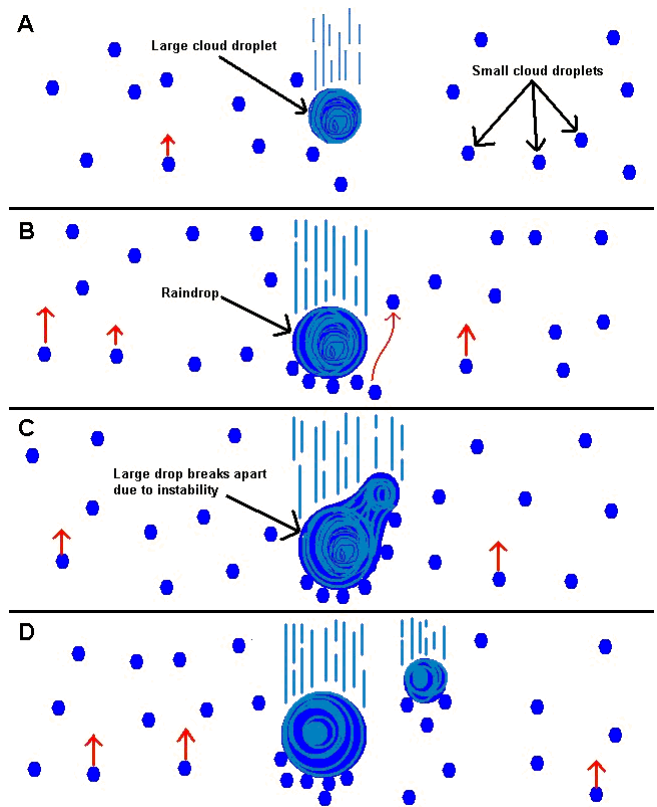
● L'effet de coalescence ou de captation.

Il y a grossissement par choc et fusionnement avec d'autres particules.

Du fait de la dispersion des vitesses, le cristal en se déplaçant, soit en chute libre, soit par turbulence, entre en collision avec les gouttelettes surfondues ; la congélation de celles-ci augmente le volume du cristal. Il en est de même pour les gouttelettes de diamètre supérieur à 30 microns qui entrent en collision avec des gouttelettes de diamètre inférieur.

Ce processus provoque un accroissement rapide de leur dimension et donc de leur masse augmentant leur vitesse de chute.

Enfin, on pourra noter que lorsque deux cristaux entrent en collision, de fins cristaux se retrouvent éjectés et ainsi servent de noyaux de condensation qui augmenteront la densité des cristaux. On comprend pourquoi, avec l'effet Bergeron en plus, 97% des nuages donnant lieu à des précipitations présentent des températures négatives à leur sommet.



● Importance de l'effet de coalescence ou de captation.

- ⇒ Il faut 4 heures d'effet Bergeron pour former une goutte de pluie de 2 mm de diamètre (et même 16 heures pour une goutte de 4 mm).
- ⇒ Dans des ciels de traîne active ou lors de la formation d'orages (effet de coalescence ou de captation maximal), des gouttes de pluie de cette taille se forment en seulement 2 heures. Ainsi intervient l'effet de coalescence ou de captation qui augmente largement le grossissement des gouttes.

-II.5 - LES PHENOMENES DANGEREUX POUR L'AVIATION.



Les phénomènes dangereux pour l'aviation sont ceux qui **diminuent la visibilité**, provoquent de **brusques mouvements verticaux** de sens contraires qu'on appelle la turbulence ou sont **cause de givrage**. (Le givrage sera étudié dans une autre partie)

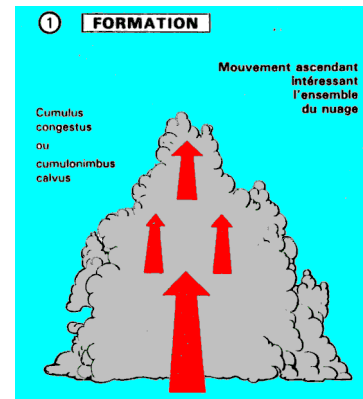
I. Evolution d'une cellule orageuse.

Caractéristiques essentielles:

les orages sont associés aux nuages de convection (Cb), et sont le plus souvent, accompagnés de précipitations sous forme d'averses, de pluie, de neige, de grêle...

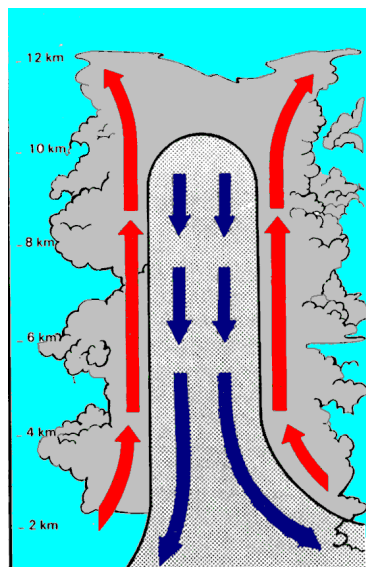
● 1 - La formation.

Mouvement ascendant intéressant l'ensemble du nuage. (Cumulus congestus ou Cumulonimbus Calvus)



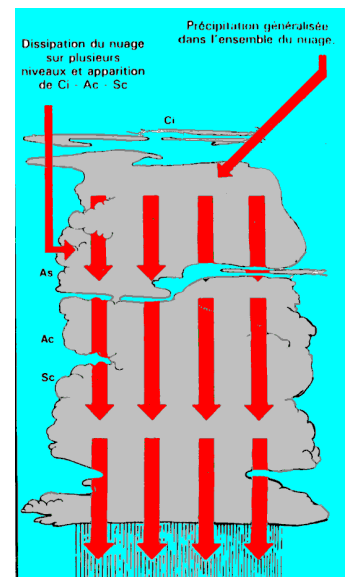
● 2 - La maturité.

Lorsque le poids des cristaux de glace est tel que les courants ascendants ne peuvent plus les maintenir en suspension il y a PRÉCIPITATION et NAISSANCE d'un mouvement descendant dans le nuage.



● 3 - La dissipation.

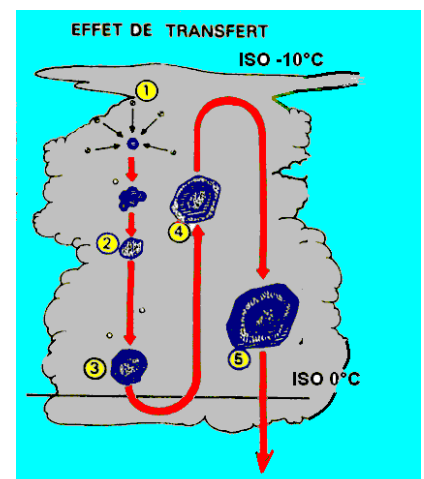
Après des précipitations généralisées dans l'ensemble du nuage, celui-ci se dissipe. Il subsiste alors quelques nuages (Ci, Ac et Sc) sur différents niveaux.



II. Orage de grêle.

● Mécanisme de formation

- ① Effet de transfert (Bergeron...)
- ② Le cristal rencontre de l'eau à température très basse qui se congèle rapidement en emprisonnant des bulles d'air (croissance sèche : glace opaque).
- ③ Plus bas, le grêlon rencontre de l'eau à température moins basse qui s'étale lentement avant de se congeler (croissance humide : glace claire)
- ④ Le grêlon est hissé par les ascendances internes ou nuage (nouvelle croissance sèche).
- ⑤ Après **plusieurs ascendances successives**, le grêlon atteint sa taille et tombe.



III. La foudre et les éclairs...

● Les orages créent des éclairs...

L'orage est une forte précipitation associée à une ou plusieurs décharges brusques d'électricité atmosphérique, se manifestant par une lueur brève et intense (éclair) et par un bruit sec ou un roulement (tonnerre).

La foudre est une décharge électrique au sein d'un nuage, entre différents nuages ou entre un nuage et le sol (15 à 150 kA) suite à un mécanisme d'électrisation du nuage liés à la formation des précipitations.

L'éclair est la phase lumineuse de la décharge électrique.

Le tonnerre est une onde de choc sonore provoquée par l'échauffement (~5000°C) et la dilatation de l'air sur le passage de la décharge électrique.



● L'électrisation du nuage d'orage

Les forts mouvements, ascendant au début et descendant ensuite du cycle de vie d'un nuage d'orage (cumulonimbus), créent les conditions favorables à l'accumulation de charges électriques et par conséquent à la création d'un condensateur géant;

La différence de température importante entre le bas et le haut du nuage, induisant de violents déplacements d'air.

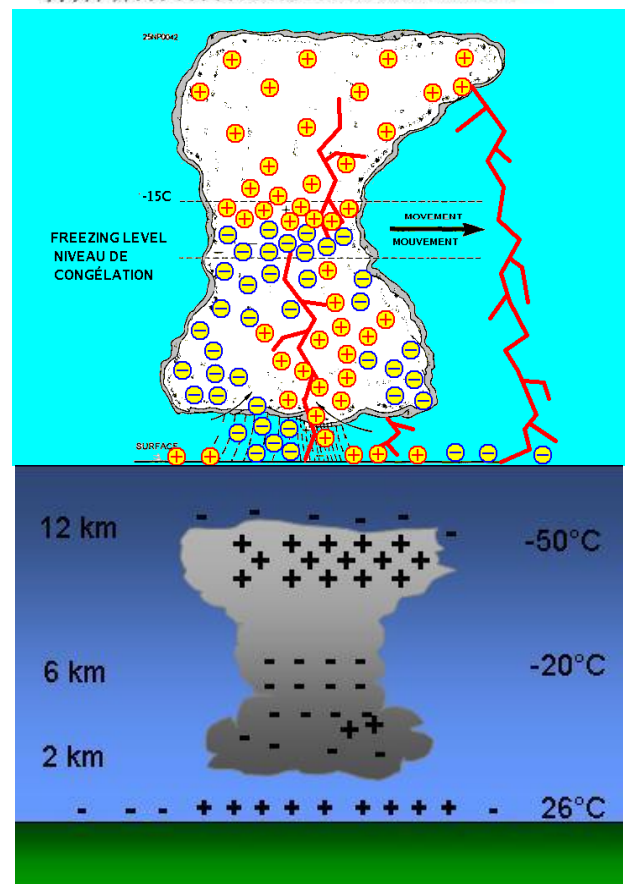
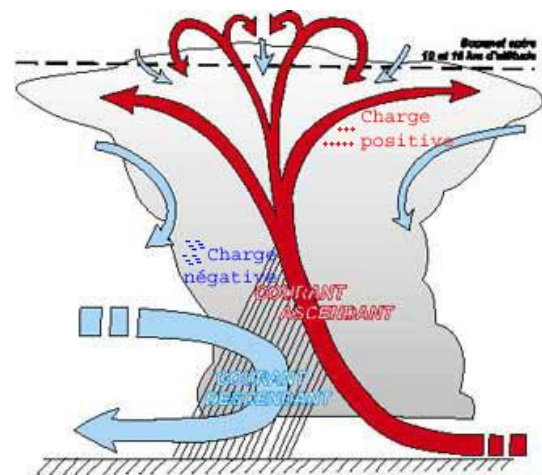
La présence de particules diverses comme de la glace et des poussières qui par effet triboélectrique vont faciliter l'arrachement ou l'ajout d'électrons, selon le signe.

L'air (et tout ce qu'il contient) étant électriquement chargé, il se crée dans le nuage des zones à potentiel électrique différents : négatif à sa base et positif à son sommet. Il s'en suit un champ électrique très important.

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

La couche inférieure positive du **nuage** étant assez fine, c'est la **couche négative** qui aura une influence sur la Terre.

En effet, lors d'un orage **la Terre** se **charge positivement** par influence.



● La décharge

Lorsque le champ électrostatique dépasse les limites diélectriques de l'air (*variables selon les conditions d'humidité et de pression*), il s'ensuit la décharge de foudre.

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

Dans le cas d'une décharge négative, ce précurseur progresse par bonds de longueurs proportionnelles à l'amplitude de la décharge. C'est ce phénomène qui permet l'efficacité des paratonnerres. Les arcs en retour se déclenchent alors successivement ; ils utilisent le canal du précurseur pour libérer les charges électriques accumulées à une vitesse pouvant alors dépasser 100 000 km/s.

IV. BRUMES ET BROUILLARDS (Rappel : nuages stratiformes)

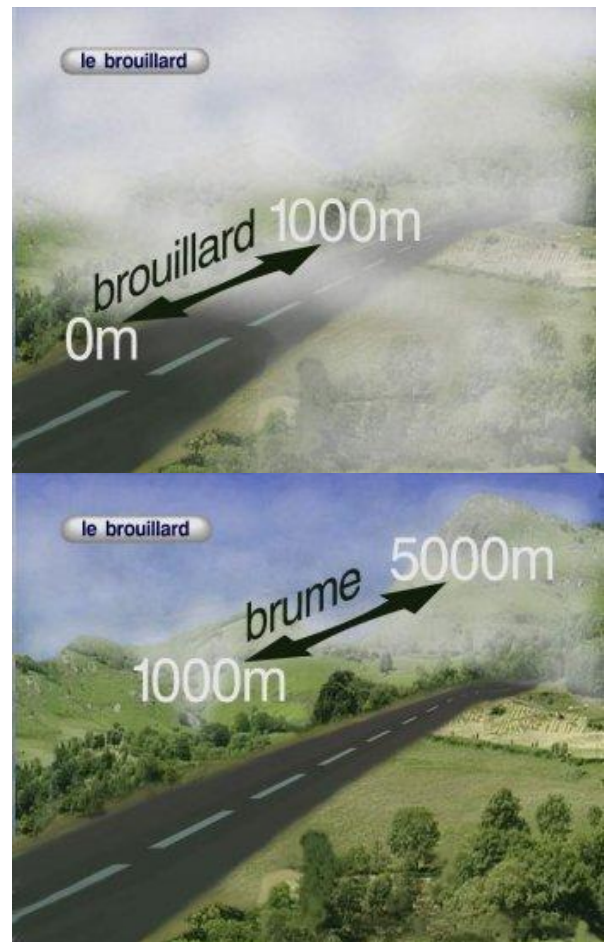
Le brouillard est un phénomène silencieux et dangereux qui peut mettre en péril la vie de l'homme moderne. En effet, lorsque la visibilité s'abaisse de manière importante, toute circulation (routière, aérienne, maritime...) peut devenir dangereuse si des précautions ne sont pas prises.

● Définitions différenciant la brume et le brouillard...

Le brouillard est constitué de fines gouttelettes d'eau en suspension dans l'air, identiques à celles qui constituent les nuages. Il s'agit en fait d'un nuage, un stratus, en contact avec le sol. Le brouillard se présente sous la forme d'un voile opaque, parfois très dense, mais il peut aussi se présenter sous la forme de bancs, circulant à travers les campagnes. En météorologie, on parle de **brouillard** lorsque la **visibilité est inférieure ou égale à 1.000 mètres**.

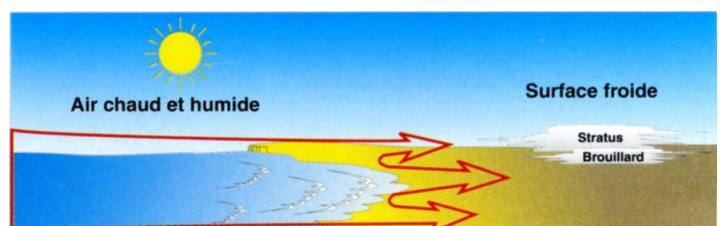
Au delà, on parle de **brume** jusqu'à une **visibilité de 5 kilomètres**.

Pour se former, le brouillard nécessite un taux d'humidité élevé, permettant la condensation de la vapeur d'eau par un refroidissement ou encore par un apport en humidité. Le vent ne doit être ni trop fort, pour éviter la dispersion des gouttelettes d'eau, ni trop faible pour empêcher leur suspension dans l'air.



● Les processus de formation définissent les différents types de brouillard :

- Le **brouillard d'advection**, lorsqu'une masse d'air chaud et humide se refroidit par contact avec une surface froide (par exemple en bord de mer lorsqu'un vent faible apporte de l'humidité vers les terres plus froides).



Ce type de brouillard est souvent tenace même si la visibilité n'est pas particulièrement réduite.

- Le **brouillard d'évaporation** lorsque de l'air froid s'humidifie au contact de surface chaude et humide (par exemple au-dessus des fleuves ou des lacs lorsque la température de l'eau est plus élevée que celle de l'air). Ce type de brouillard n'est pas très dense et il se présente souvent sous la forme de bancs.

- Le **brouillard de rayonnement**, lorsque la baisse de la température en cours de nuit refroidit la masse d'air, d'où condensation. Il nécessite un ciel peu nuageux et un vent faible, et des surfaces dégagées (champs, clairières dans une forêt, extérieurs des villes). Il se présente sous forme de bancs mais peut aussi se généraliser à de grandes étendues.

- Le **brouillard de mélange** se produit par le refroidissement d'une masse d'air chaud par mélange avec une masse d'air plus froid. Ce processus est assez limité car plusieurs conditions sont indispensables: un brassage important des deux masses d'air, un fort écart de température entre les masses d'air et une forte humidité. Ce type de brouillard est plutôt rare et peu dense.

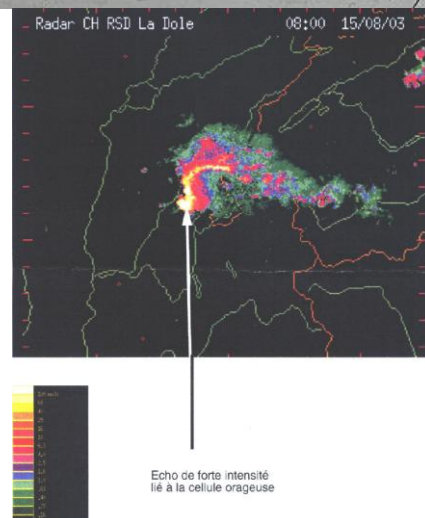
- Le **brouillard de détente** : une masse d'air humide se soulève et se refroidit, par exemple d'une vallée vers une colline, d'où la condensation de la vapeur d'eau.

Le brouillard se forme souvent lors de conditions anticycloniques. Lorsque ces conditions se poursuivent trop longtemps, le brouillard peut se charger de pollution dans les grandes villes (le fameux brouillard de Londres!) et présente des dangers importants pour l'être humain.

V. Accidents et incidents spectaculaires

● Grêle sur un Boeing 737 EasyJet le 15 aout 2003

Un Boeing 737 d'Easyjet assurant la liaison Genève-Londres a dû rebrousser chemin après avoir essuyé une averse de grêle d'une rare violence. L'appareil, parti de Cointrin à 9 h 50 avec 123 passagers à bord, s'était écarté de sa route pour éviter les gros orages qui touchaient la région.



Sur tout l'avant de l'avion, les grêlons, de la taille d'une pomme, ont laissé des dizaines d'impacts. Le pare-brise est fendu en plusieurs endroits. L'appareil touché sera inutilisable pendant quelques semaines et les dégâts se montent à plusieurs millions de francs.

● Caribbean Airlines - Boeing 737 Georgetown, Guyana 30 Juillet 2011



Le Boeing 737-8BK opéré par Caribbean Airlines avait décollé de Port d'Espagne (Trinidad et Tobago) pour un vol passagers à destination de Georgetown (Guyane). 154 passagers et 8 membres d'équipage avaient pris place à bord. L'appareil a manqué son atterrissage et s'est brisé en deux morceaux. Toutes les personnes à bord ont survécu, mais deux personnes ont été gravement blessées.

De fortes pluies affectant la visibilité étaient présentes au moment de l'accident. L'appareil en approche sur la piste 06 de Georgetown a touché le sol trop loin après le début de la piste, et n'a pas réussi à s'arrêter avant le bout de la piste. L'avion a continué sa course après la piste sur environ 100 mètres (330 ft), a traversé la clôture de l'aéroport, et a terminé sur une route bordant l'aéroport. Les chocs ont brisé en deux le fuselage de l'avion au niveau des ailes.

● Nuage ? Non éruption volcanique en Islande... ou ailleurs !

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



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

I. Observations et mesures.

Le vent est caractérisé par sa **direction et sa vitesse**. La vitesse du vent est parfois désignée par le terme "**la force du vent**".

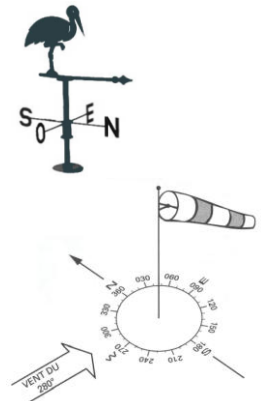
● Mesure du vent en surface

La direction et la vitesse du vent en surface se mesurent au sommet d'un pylône dégagé de tout obstacle, à 10 m au-dessus du sol.

La direction du vent est, par convention, la direction **d'où vient le vent**. C'est l'angle que fait la direction d'où vient le vent avec la direction du nord géographique. Dans nos régions, la direction géographique est peu différente de la direction magnétique. L'erreur qui en découle est inférieure à la précision fournie par les services météorologiques, qui indiquent la direction du vent arrondie au multiple de 10° le plus proche.

La **direction du vent** est mesurée à l'aide d'une **girouette**. Un mécanisme électrique transmet l'information sur un cadran situé dans la station météorologique, ou dans la tour de contrôle. Sur un aérodrome, la manche à air indique la direction du vent.

La **vitesse du vent** est mesurée avec un **anémomètre** dont le moulinet, en tournant, produit un courant électrique proportionnel à la vitesse du vent. Un intégrateur permet de connaître la vitesse moyenne du vent pendant les 2 dernières minutes (vent aéronautique) ou la vitesse moyenne du vent pendant les 10 dernières minutes (pour les messages météorologiques codés, vent synoptique).



Girouette et anémomètre couplé.

● Mesure du vent en altitude

La mesure du vent en altitude n'est effectuée que par une trentaine de stations en France, à l'aide de petits **ballons gonflés à l'hydrogène**. Les positions successives du ballon sont repérés grâce à un théodolite (ou un radar). Les mesures de vent en altitude sont effectuées quatre fois par jour : à 0 h, 6 h, 12 h et 18 h.

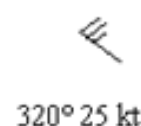
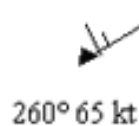
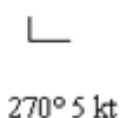
● Unités et représentation

La vitesse du vent s'exprime en nœud, (abréviation **kt** pour **knot**) ou mille nautique par heure (**1 kt = 1,852 km/h**). On a environ : 1 m/s = 2 kt = 4 km/h.

La vitesse du vent est représentée, sur les cartes, par des barbules (5 kt pour une petite, 10 kt pour une grande) ou des flammes (50 kt). Les barbules sont comme les plumes d'une flèche qui, volant dans le vent, indiquerait la direction d'où vient le vent.



Vent du 270°, force 65 kt

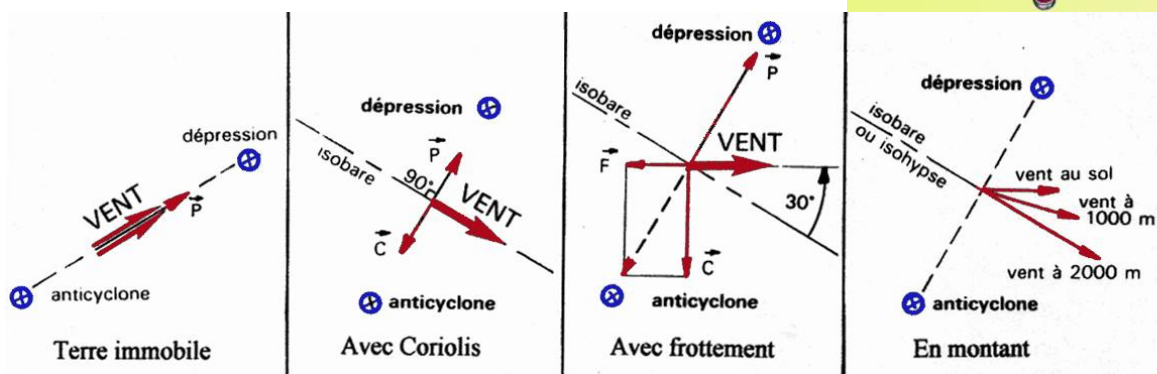
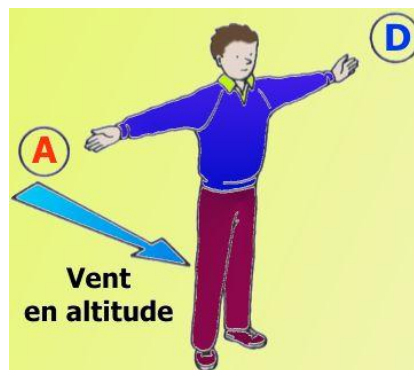


II. Vent et champ de pression.

Le vent a pour origine la force due à la différence de pression atmosphérique entre deux points. Les vents sont des déplacements horizontaux de l'air.

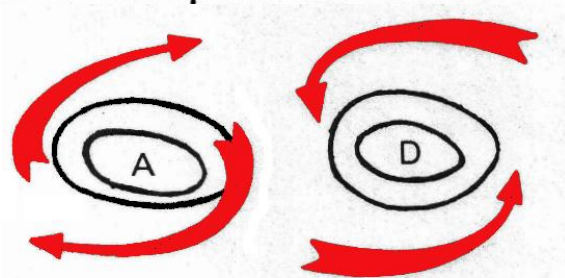
● Direction du vent règle de Buys -Ballot

Si la terre était immobile, les vents iraient directement depuis les zones de haute pression (ou anticyclone) où l'air est froid et lourd, vers les zones de basse pression (ou dépression) où l'air est chaud et léger. Ce déplacement est causé par ce qu'on appelle la force de pression notée P. Mais à cause de la rotation de la terre sur elle-même l'atmosphère subit la **force de Coriolis** notée C qui, dans l'hémisphère nord, dévie les mouvements de l'air vers la droite.



Cela a pour conséquence que **les vents tournent dans le sens des aiguilles d'une montre autour des anticyclones**, et dans le sens inverse des aiguilles d'une montre autour des dépressions dans l'hémisphère nord.

Quand on a le vent de face, les hautes pressions sont à gauche (règle de Buys-Ballot). C'est l'inverse dans l'hémisphère sud.

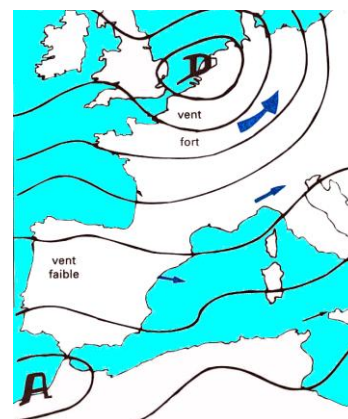


Enfin, près du sol, le vent subit une **force de frottement** notées F de sens contraire à celui de son déplacement. Cette force de frottement a pour conséquence **d'orienter le vent au sol, à 30° environ des lignes isobares, en le faisant converger vers les basses pressions.** Quand on s'élève depuis le sol jusqu'à 2000 m, la force de frottement diminuant, le vent semble tourner vers la droite.

● Force ou vitesse du vent

Le vent du gradient est **d'autant plus fort que les lignes isobares sont plus resserrées**, c'est-à-dire que le gradient de pression est plus fort. Inversement, dans les zones où les isobares sont plus espacées (où le gradient de pression est plus faible), la force du vent est plus petite.

La vitesse du vent augmente avec l'altitude car les frottements diminuent. Dans l'hémisphère nord, en altitude, les vents dominants soufflent du secteur ouest. A haute altitude, à la limite de la troposphère, vers 10000 m, un vent très fort appelé **jet-stream**, peut parfois se former. Sa vitesse peut atteindre jusqu'à 100 kt ou même 150 kt (environ 200 ou 300 km/h).

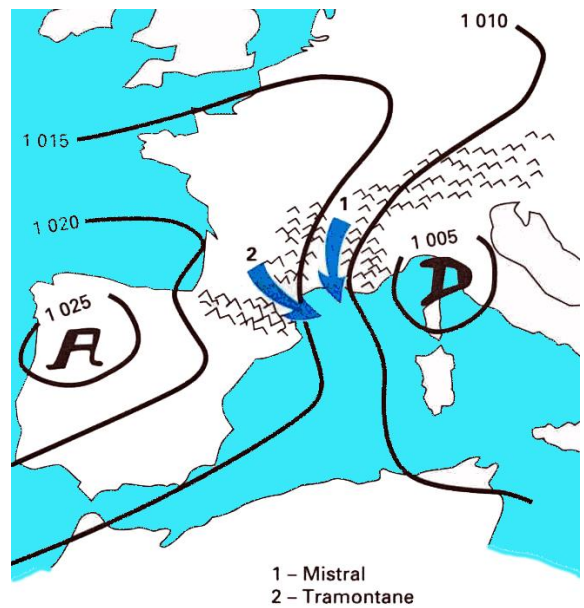


La direction et la vitesse du vent varient lors du passage d'une perturbation.

III. Vents locaux

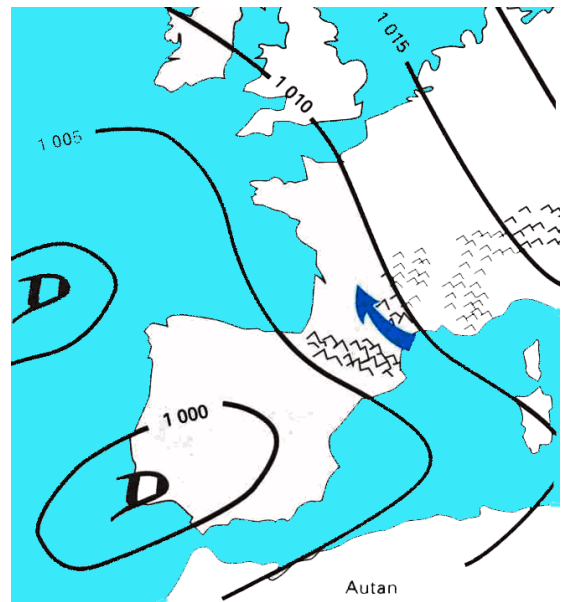
● Mistral

Le mistral est un vent du nord, qui s'engouffre **dans la vallée du Rhône**, depuis Vienne jusqu'à la Méditerranée, accéléré dans le couloir rhodanien, entre les Alpes et le Massif Central. D'une manière générale, quand le vent souffle dans l'axe d'une vallée, sa vitesse s'accroît dans les passages resserrés (par effet Venturi). Il est violent, turbulent. Sa vitesse en altitude peut dépasser 100 km/h. Son effet se fait sentir parfois jusqu'en Corse. Il souffle en rafales et crée de dangereux rabattants. Il prend naissance quand il y a une dépression au sud des Alpes et un anticyclone situé entre les Açores et le Massif Central.



● Tramontane

La tramontane est un vent du nord-ouest soufflant dans le Bas-Languedoc et le Roussillon entre Toulouse et Sète. Il est créé par une situation voisine de celle qui produit le Mistral. Il faut une dépression entre le golfe de Gênes et le golfe du Lion et un anticyclone sur les Açores. Ses effets peuvent se faire sentir depuis le sud-ouest de la France jusqu'au nord de l'Espagne.



● Autan

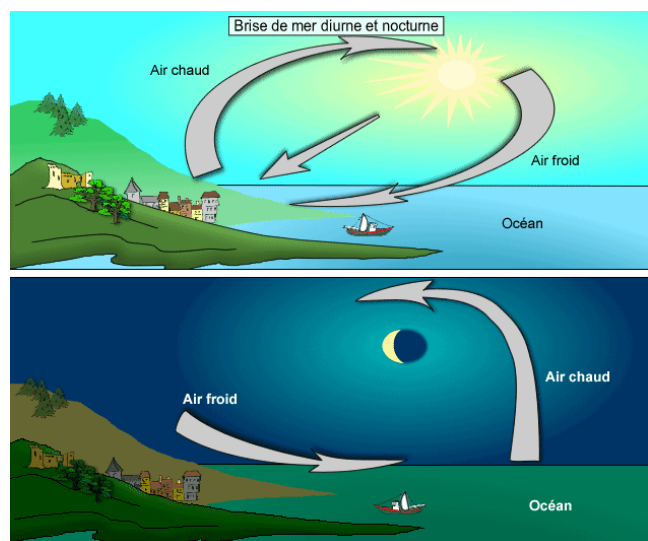
Le vent d'autan est un vent de sud-est qui souffle **de Carcassonne à Toulouse**. C'est aussi un vent violent, observé en n'importe quelle saison mais plus souvent en mars avril ou fin novembre début décembre.

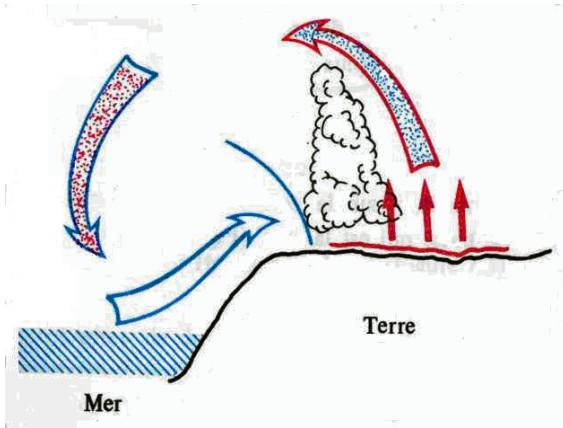
1) Brisés

● Brise de mer

On constate, près de la mer, par beau temps calme (écoulement général très faible), qu'en été, au petit matin, un vent léger souffle de la terre vers la mer. Au milieu de la matinée le vent se calme totalement. Avant midi, il se lève de nouveau et souffle de la mer vers la terre. Il souffle ainsi jusqu'au coucher du soleil puis se calme. Avant minuit il se remet à souffler faiblement de la terre vers la mer.

Le phénomène s'explique de la façon suivante : sous l'action du soleil, la terre s'échauffe plus vite que la mer car l'eau possède une plus grande inertie thermique.

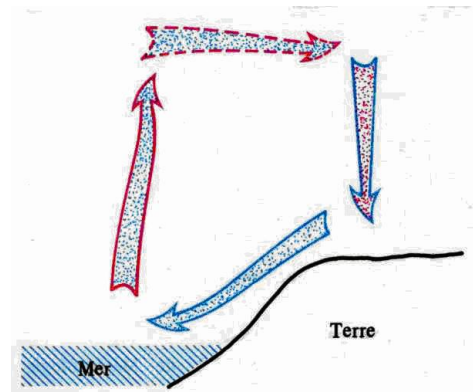




Il se développe sur la terre, dont la température est plus élevée, des courants ascendants dus à la convection.

Cet air chaud et léger monte (la pression baisse de quelques hectopascals) et est remplacé par de l'air plus froid venant de la mer où la pression est plus forte. Le vent va de la mer vers la terre. C'est la brise de mer qui ne se fait pas sentir dans les terres au-delà de 30 à 50 km de la mer.

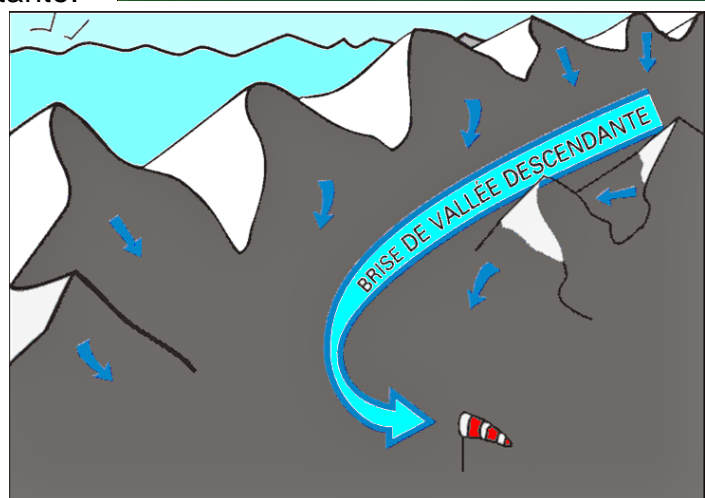
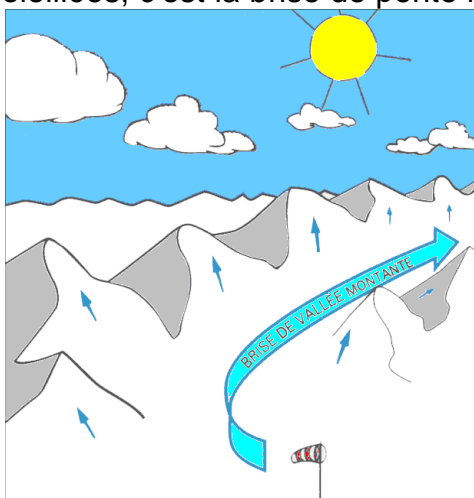
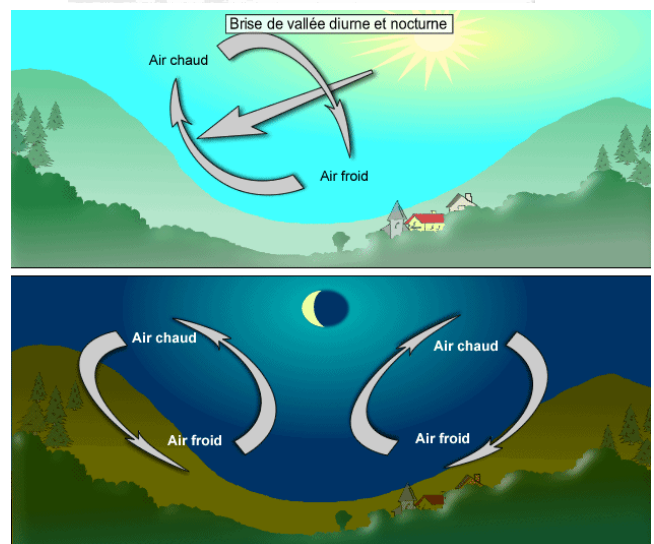
Dans la nuit la mer reste plus chaude que la terre. C'est le mouvement inverse ou brise de terre. La brise de mer fait avec le littoral un angle voisin de 70°.



● Brises de vallée et de pente

On parle de brise de vallée montante quand la brise va de la plaine vers la haute vallée ou de brise de vallée descendante dans le sens contraire. La brise de vallée montante s'établit en fin de matinée et cesse au coucher du soleil. Elle peut atteindre jusqu'à 20 kt.

Elle est la conséquence de la brise de pente montante. En effet le soleil chauffe plus rapidement les sommets que le fond des vallées souvent dans l'ombre le matin. Une brise remonte le long de toutes les pentes ensoleillées, c'est la brise de pente montante.



Pour compenser l'air qui a quitté le fond de la vallée, un vent s'établit dirigé vers le haut de la vallée en venant de la plaine c'est la brise de vallée montante. Pendant la nuit les sommets sont plus froids que la vallée et le mouvement s'inverse.



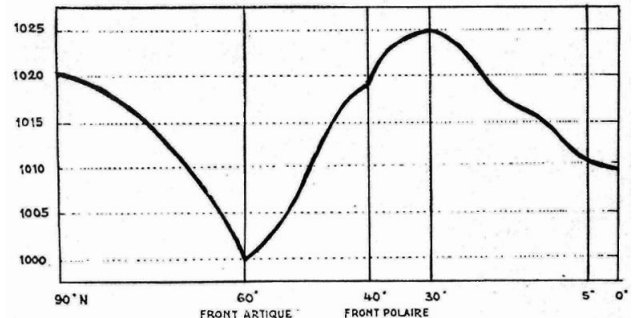
-IV- LES FRONTS.



I. Circulation générale

La circulation générale de l'air, à l'échelle du globe, en surface dépend surtout de la répartition des pressions depuis le pôle jusqu'à l'équateur. Approximativement la pression est :

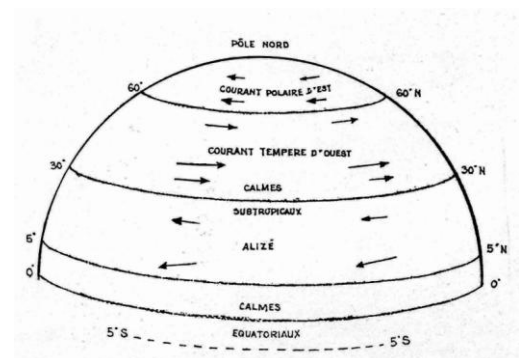
- décroissante du pôle nord (1020 hPa) au soixantième parallèle (1000 hPa),
- croissante du soixantième (1000 hPa) au trentième parallèle (1025 hPa),
- décroissante du trentième parallèle (1025 hPa) à l'équateur (1010 hPa).



Il y a donc : un **centre anticyclonique au pôle nord**, un axe **dépressionnaire aux environs du soixantième parallèle**, un **axe anticyclonique aux environs du trentième parallèle**, une **bande dépressionnaire, à faible gradient, près de l'équateur**.

On en déduit la circulation générale de l'air c'est-à-dire les vents généraux sur l'ensemble du globe :

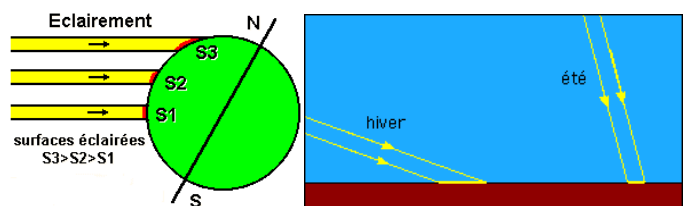
- calmes au pôle,
- d'est du pôle N au 60°N (courant polaire d'est),
- d'ouest du 60°N au 30°N (courant tempéré d'ouest),
- calmes sur le 30°N (calmes subtropicaux),
- d'est du 30°N au 5°N (alizés),
- d'est très faibles, puis presque nuls, au voisinage de l'équateur du 5°N au 5°S (calmes équatoriaux).



La circulation est symétrique de l'autre côté de l'équateur.

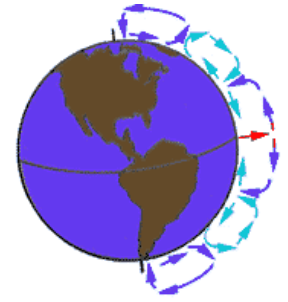
II. Les masses d'air

Le rayonnement solaire reçu par la terre varie avec la latitude en raison de l'inclinaison des rayons par rapport au sol, d'où de grandes différences de température.



D'autre part les océans sont sources d'humidité et les continents sources de sécheresse, d'où les notions d'air continental sec et d'air maritime humide. Lorsqu'un grand volume d'air séjourne assez longtemps sur une région il prend des caractéristiques bien précises, liées à son lieu d'origine.

On appelle **masse d'air** une grande étendue d'air dans laquelle les conditions de température et l'humidité varient peu. Certaines régions du globe ont des propriétés de température et d'humidité uniformes au sol. Les masses d'air surmontant ces régions acquièrent ces mêmes propriétés.



Les masses d'air se déplacent alors selon les principes de la circulation atmosphérique générale : l'air froid tend à s'écouler vers l'équateur alors que l'air chaud se dirige vers les pôles.

Ces masses d'air peuvent se déplacer à une vitesse moyenne de 40 à 50 km/h pendant deux ou trois jours en conservant les caractéristiques de leur lieu d'origine. Mais au-delà de

En effet, les masses d'air, en se déplaçant, se modifient petit à petit en fonction des régions sur lesquelles elles circulent : un trajet maritime les charge d'humidité, un trajet continental les assèche, une masse d'air froid se déplaçant sur un sol plus chaud se réchauffe par la base et devient instable, inversement une masse d'air chaud se déplaçant sur un sol plus froid se refroidit par la base et devient stable.

● Les masses d'air sont classifiées selon deux caractéristiques :

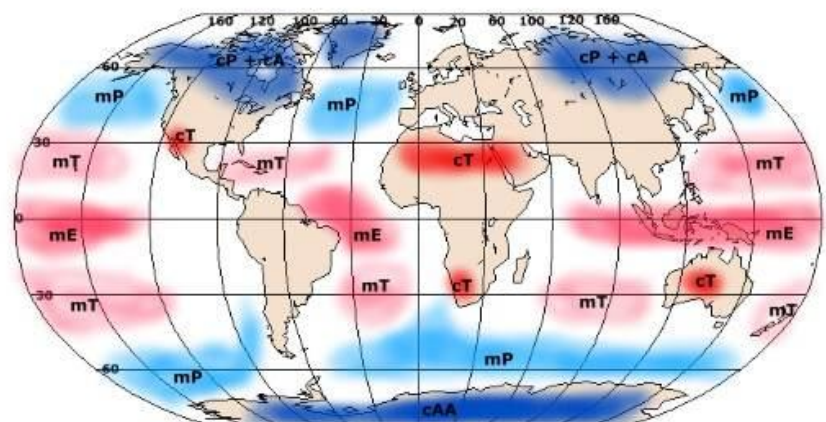
la température :

- très chaude : masse d'air équatoriale (E)
- chaude : masse d'air tropicale (T)
- froide : masse d'air polaire (P)
- très froide : masse d'air arctique (A)

l'humidité :

- sec : masse d'air continentale (C)
- humide : masse d'air maritime (M)

Plusieurs combinaisons sont donc possibles pour former les masses d'air.



● Les masses d'air en Europe

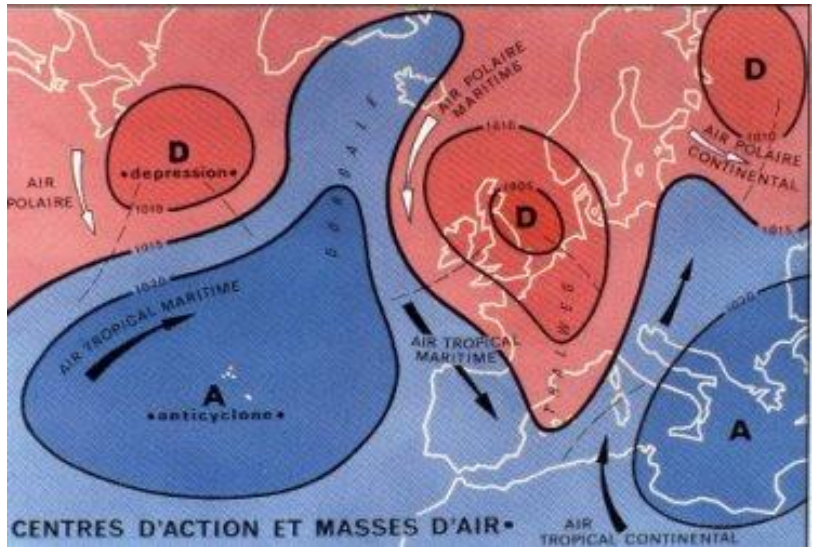
Plusieurs masses d'air peuvent atteindre l'Europe et y apporter un temps caractéristique :

● l'air arctique, très stable, très froid.

Lorsque cet air se déplace vers le sud, sa stabilité diminue par suite du réchauffement sur un sol plus chaud.

● Air polaire maritime : temps à nuages cumuliformes et averses

● Air polaire continental : temps clair et sec, avec occasionnellement des stratus ou stratocumulus.



L'air polaire, originaire des très hautes latitudes, est une masse d'air froide qui descend parfois jusqu'aux latitudes moyennes, en devenant de plus en plus instable. On distingue l'air polaire maritime Pm, humide et l'air polaire continental Pc qui est plus sec.

● Air tropical maritime : temps à brumes, brouillards ou nuages stratiformes bas.

L'air tropical, originaire des latitudes tropicales, est une masse d'air chaud qui remonte jusqu'aux latitudes élevées, en devenant de plus en plus stable. On distingue l'air tropical maritime Tm humide et l'air tropical continental Tc plus sec.

● Air tropical continental : temps provoquant souvent des orages sur les reliefs

L'air équatorial dont la région d'origine est la ceinture maritime située entre les anticyclones subtropicaux de l'hémisphère nord et de l'hémisphère sud. cet air est très chaud et humide.

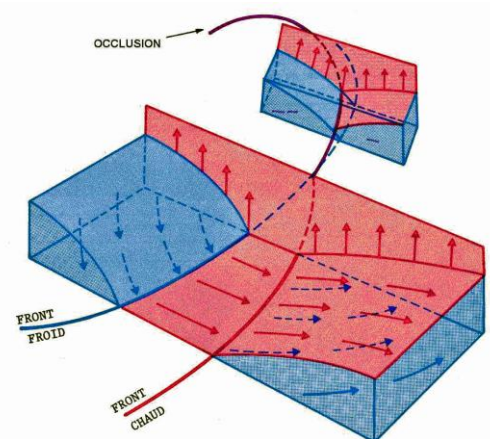
III. Les fronts.

Si deux masses d'air possédant des qualités différentes ont des trajectoires ou des vitesses qui les conduisent à se rencontrer, elles ne se mélangent pas mais la plus chaude est soulevée par la plus froide. **La zone intermédiaire qui sépare les deux masses d'air est très mince.** Elle peut être assimilée à une surface appelée **surface frontale** et sa trace au sol est **le front**. **Une surface frontale est une région où varient brusquement : température, pression, humidité, vent, nuages, stabilité...**

Quand une masse d'air chaud rattrape une masse d'air froid, l'air chaud, plus léger passe au-dessus de l'air froid en le repoussant devant lui. La pente de la surface frontale est faible, de l'ordre de 1/100 à 1/1000 et son intersection avec le sol est appelée un front chaud. Elle a une épaisseur qui peut atteindre plusieurs kilomètres.

Quand une masse d'air froid rattrape une masse d'air chaud, l'air froid, plus dense se glisse sous l'air chaud, à la manière d'un coin et l'air chaud est rejeté en altitude. La pente de la surface frontale est de l'ordre de 1/10 à 1/200. La trace au sol de cette surface frontale est appelée un front froid.

Elle a une épaisseur variable, mais dépassant rarement une centaine de mètres.



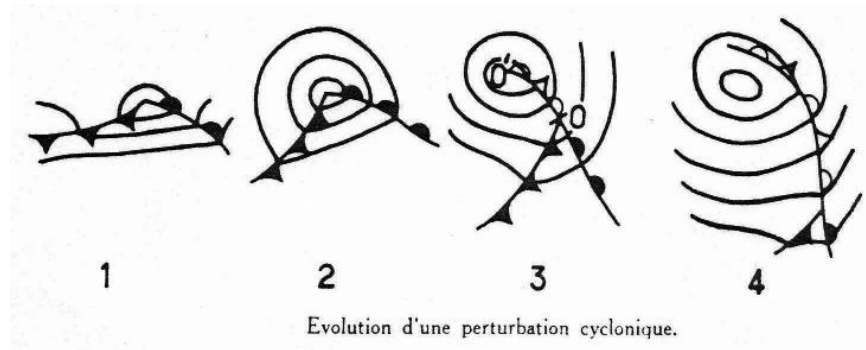
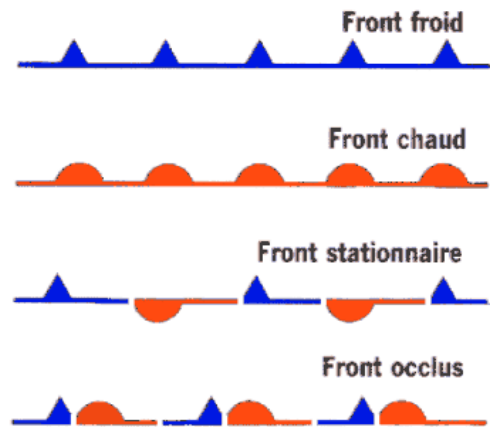
Sur les cartes en couleurs un **front chaud** est représenté par une ligne rouge, un **front froid** par une ligne bleue.

Sur les cartes en noir et blanc un front chaud est représenté par une série de demi-cercles, un front froid par une série de petits triangles pointant dans le sens de déplacement du front.

Un **front quasi-stationnaire** est représenté alternativement par des triangles et des demi-cercles en sens contraires.

Une **occlusion** (front froid rattrapant le front chaud) est représentée alternativement par des triangles et des demi-cercles dans le même sens.

Sur les cartes de pressions on observe le plus souvent une cassure des isobares au niveau d'un front. Il se trouve sur un talweg ce qui entraîne une discontinuité de direction de vent au passage du front (souvent accompagnée de discontinuité de vitesse.)

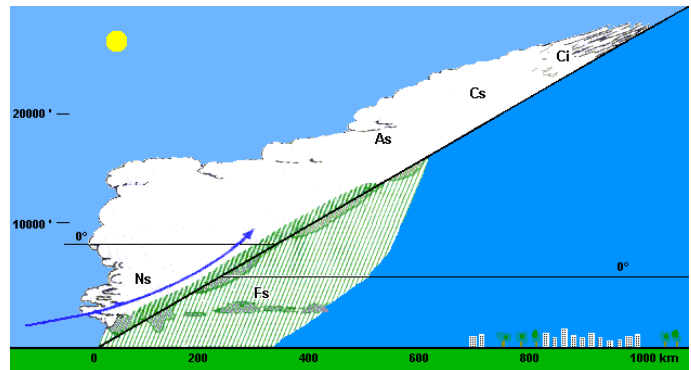


De part et d'autre d'une surface frontale l'isotherme zéro degré n'est pas à la même altitude.

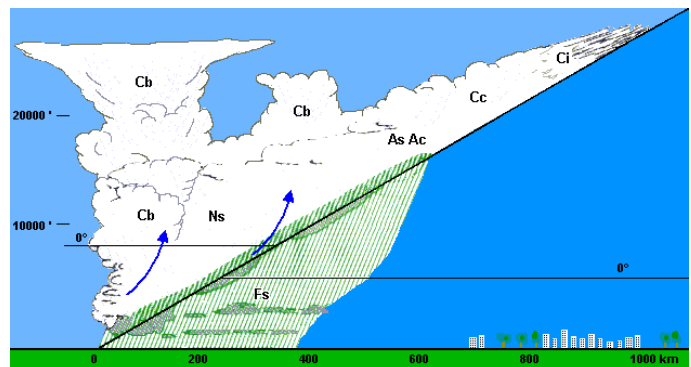
IV. Les nuages liés aux fronts

Le processus physique de formation des nuages frontaux est la détente adiabatique qui a pour origine le soulèvement en bloc de l'air chaud le long des surfaces frontales. Le degré de stabilité de la masse d'air va déterminer le genre des nuages formés.

Pour un **front chaud avec air chaud stable**, loin à l'avant de la trace au sol du front, le soulèvement a lieu à très haute altitude. Les nuages formés sont des cirrus Ci. Puis on observe des Cirrostratus Cs, des Altostratus, des Altostratus As, des Nimbostratus Ns, des Stratocumulus Sc et des Stratus St. Des précipitations se produisent dans le secteur où les nuages sont épais, (sous les Altostratus As et les Nimbostratus Ns).



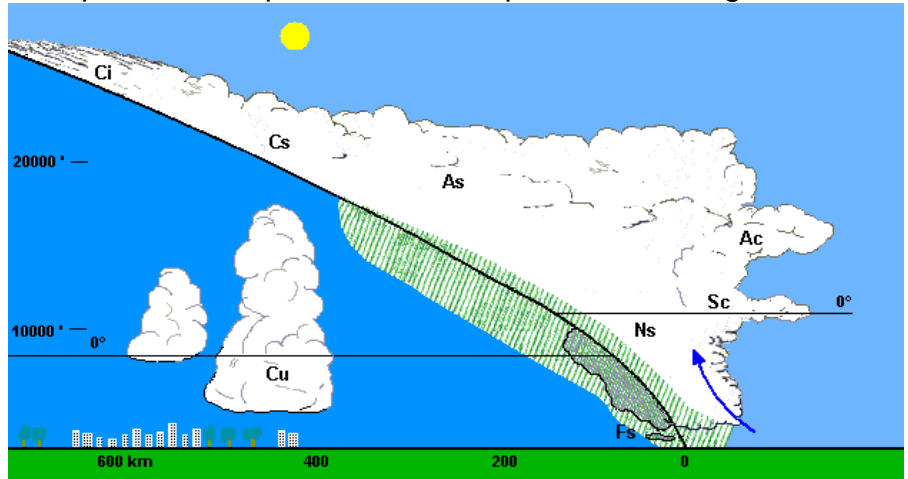
Pour un **front chaud avec air chaud instable**, le soulèvement lié au front crée à la fois des nuages stables et des nuages instables. Loin à l'avant du front, les Cirrus Ci sont accompagnés de Cirrocumulus Cc. Plus près du front, les altostratus Ac et les Altostratus As sont mêlés à des Altostratus castellanus Ac très développés verticalement.



Au niveau des Altostratus As et des Nimbostratus Ns il y a dans la masse nuageuse principale, des Cumulonimbus Cb noyés dans les autres nuages. Il est pratiquement

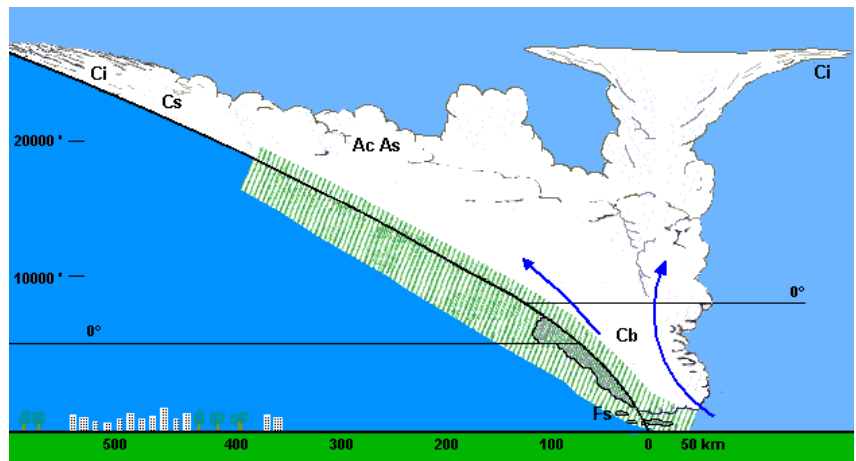
impossible de les déceler de près ou de loin. On se rend compte de leur présence parce que la pluie devient subitement et temporairement plus violente et que le tonnerre gronde.

Pour un **front froid avec air chaud stable**, l'air est expulsé vers le haut à l'arrivée de l'air froid. L'aggravation du temps est très rapide. Il y a formation d'Altostratus As et de Nimbostratus Ns avec précipitations, ainsi que de nombreux Stratus St et Stratocumulus Sc. Puis viennent en altitude des Cirrostratus Cs et des Cirrus Ci.



Comme pour les fronts chauds à air chaud stable, la stabilité de l'air empêche le développement de grands mouvements verticaux rapides. On observe plusieurs couches de nuages les unes au-dessus des autres, séparées par des espaces sans nuages.

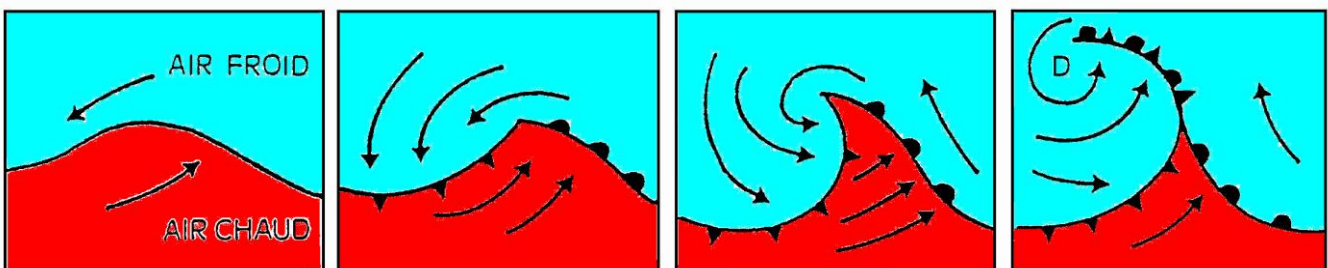
Pour un **front froid avec air chaud instable**, le ciel est composé d'un mélange de nuages stables et instables. On voit rapidement arriver des Cirrus Ci et des Altostratus Ac qui précèdent une ligne plus ou moins continue de Cumulonimbus Cb, alignés le long du front, fréquemment noyés dans les Stratocumulus Sc, Altostratus Ac, ou Altostratus As.



Le soulèvement puissant du front froid s'ajoute aux mouvements verticaux liés à l'instabilité. Les perturbations correspondantes sont généralement très actives.

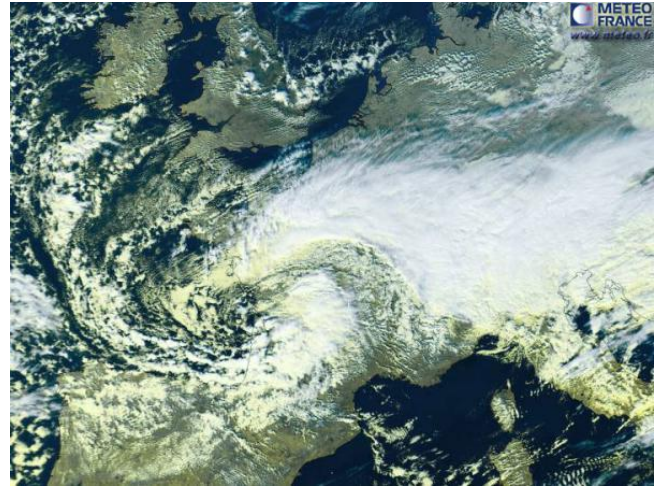
V. La perturbation

Si l'on considère l'ensemble de l'hémisphère nord, on constate que l'air tropical est séparé de l'air polaire par une surface frontale, dont l'intersection avec le sol a reçu le nom de front polaire.



Il se produit parfois une poussée d'air chaud en direction du pôle. Cette langue d'air chaud entourée d'air froid crée une dépression au sol. **Les vents suivent alors la règle de Buys-Ballot** (Sens horaire autour des anticyclones). Le front polaire se déforme davantage donnant naissance à une ondulation qui s'amplifie. Une partie de cette ondulation donne à l'avant un front chaud et une autre partie produit à l'arrière un front froid. C'est l'ensemble de ces deux fronts qui constitue une perturbation (du front polaire).

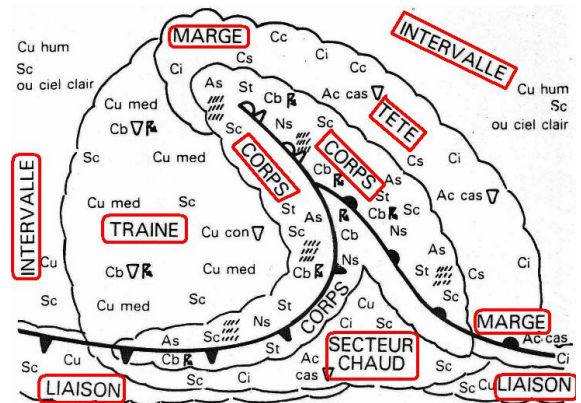
La durée de vie d'une perturbation est de 3 à 6 jours. Son **diamètre peut atteindre 1000 km** à nos latitudes. Elle se déplace **souvent d'ouest en est**, à une vitesse moyenne de **50 km/h**. Le passage d'une perturbation s'accompagne d'une baisse de pression avant le passage du front chaud et d'une hausse à l'arrière du front froid.



Dans nos régions les perturbations se succèdent à une cadence assez régulière, en régime normal d'ouest, la période de passage est d'environ 48 h.

Le **système nuageux** associé à une perturbation est constitué de plusieurs parties. Suivant la stabilité de l'air les nuages que l'on rencontre ne sont pas les mêmes mais la structure d'ensemble du système nuageux est semblable. On peut délimiter des zones où se trouvent des nuages du même genre. Chacune de ces zones est appelée un secteur nuageux. Selon son emplacement par rapport aux fronts, chaque secteur nuageux porte un nom qui permet de le situer

- le **corps** est la masse nuageuse principale qui accompagne les fronts,
- la **tête** précède le corps lié au front chaud,
- le **secteur chaud** est situé entre le front chaud et le front froid,
- la **traîne** est située à l'arrière du front froid,
- les **marges** sont au nord et au sud de la perturbation,
- la **liaison** est la zone qui relie deux perturbations,
- les intervalles sont des zones nuageuses situées hors de l'action des perturbations. Ils sont souvent caractéristiques des anticyclones.

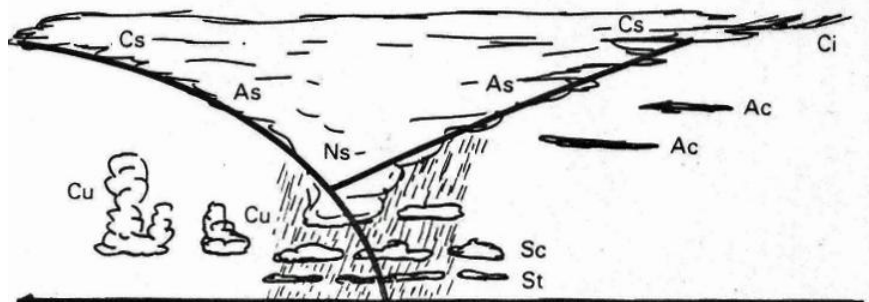


VI. Occlusion

A sa naissance la perturbation est très active. Elle a un secteur chaud étendu. Puis le front froid se déplaçant plus rapidement que le front chaud, il le rejoint.

L'air du secteur chaud ne touche plus le sol, il est rejeté en altitude et s'enroule souvent autour de la dépression qu'il a créée.

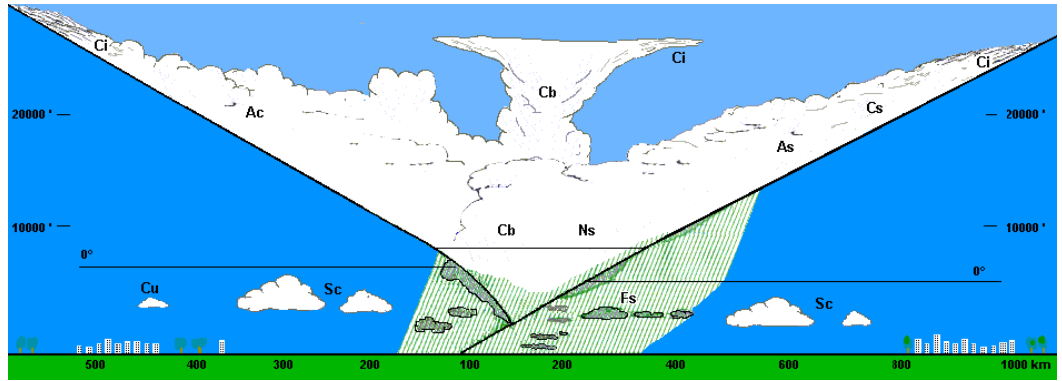
La partie dans laquelle le front froid a rattrapé le front chaud s'appelle front occlus ou occlusion.



Si l'air froid postérieur est plus froid que l'air froid antérieur (majorité des cas), on a une occlusion à caractère de front froid, s'il est plus chaud, une occlusion à caractère de front chaud. Dans les deux cas, c'est la fin de la vie de la perturbation.

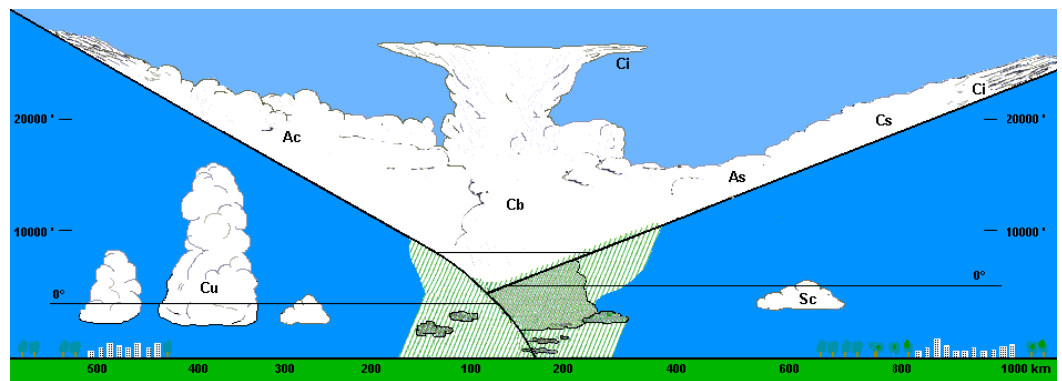
Les phénomènes météorologiques accompagnant une occlusion à caractère de front chaud diffèrent de ceux associés au simple front chaud par le fait que les précipitations les plus intenses sont enregistrées à quelque distance à l'avant du front en surface et présentent un caractère beaucoup moins régulier : la probabilité d'y rencontrer des cumulonimbus englobés dans la masse nuageuse est élevée.

Dans une occlusion à caractère de front chaud. L'arrière se caractérise par un temps plus chaud avec des cumulus et des stratocumulus.



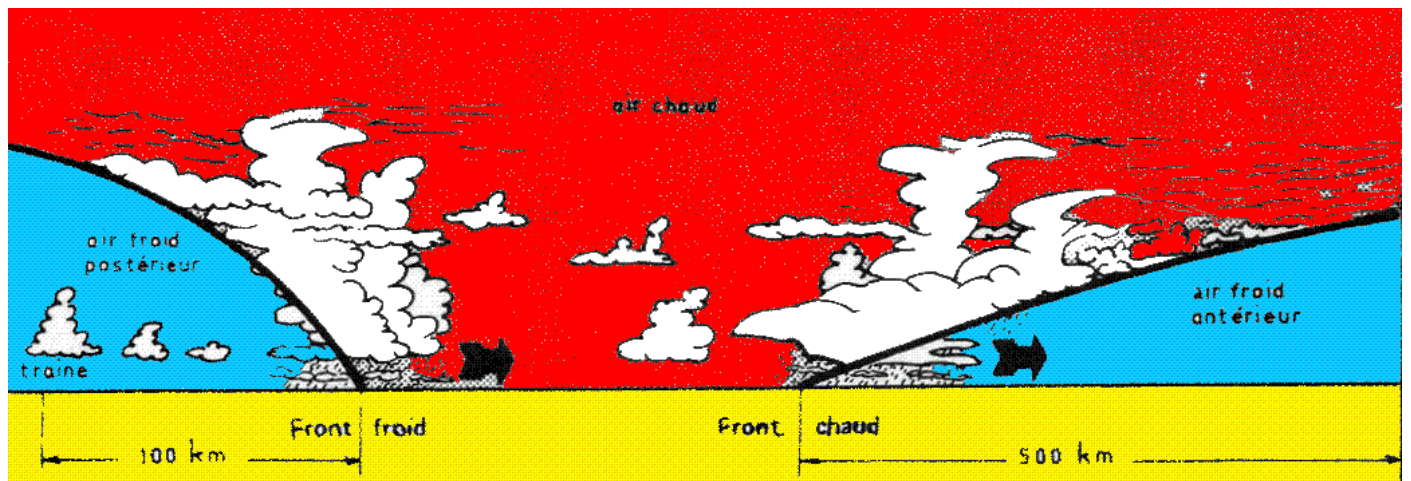
Dans une occlusion à caractère de front froid, les phénomènes météorologiques sont concentrés dans une zone moins étroite que dans le cas d'un front simple : l'amélioration postérieure au passage du front y est aussi moins rapide.

Dans une occlusion à caractère de front froid. L'avant est plus chaud que l'arrière.



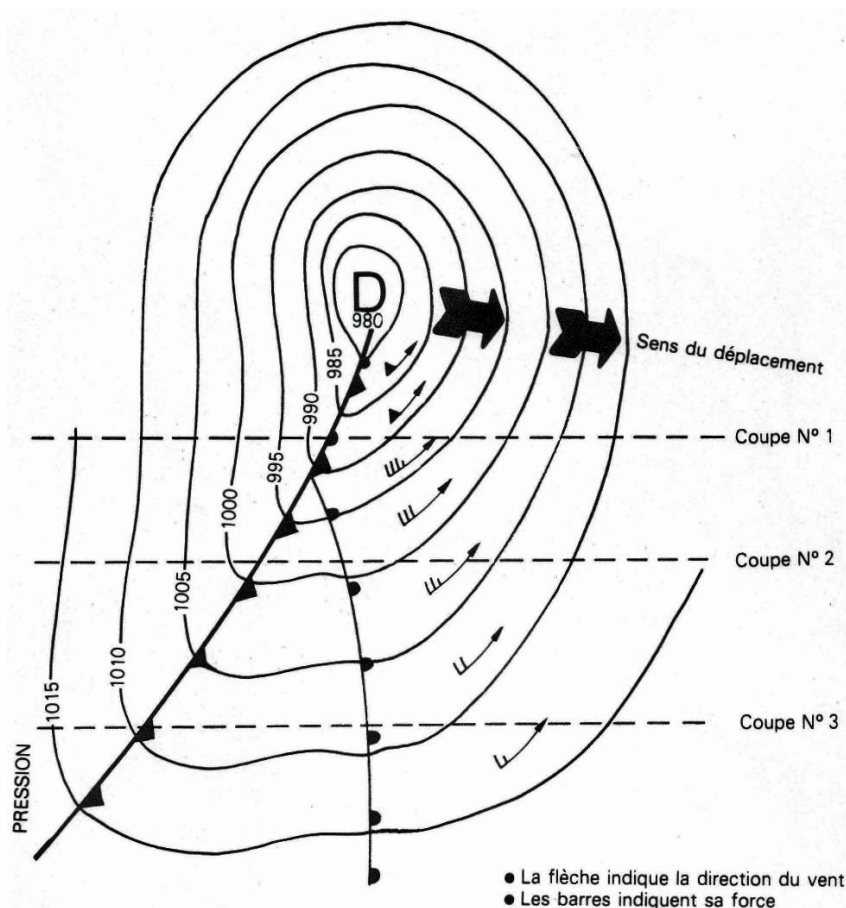
Sur les cartes en couleurs, l'occlusion est représentée par une ligne violette, et par une alternance de demi-cercles et de petits triangles, sur les cartes en noir et blanc.

VII. Répartition des vents, des pressions et des nuages autour d'une perturbation. Vue en coupe des fronts.



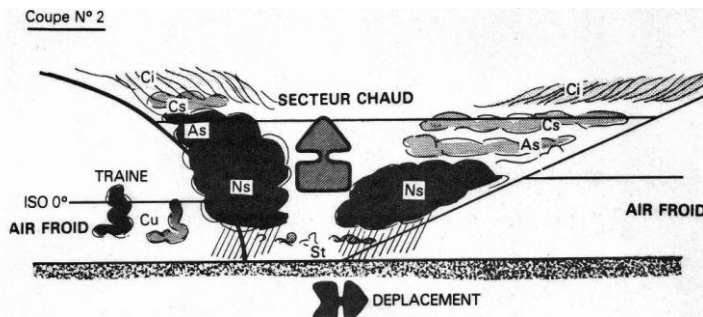
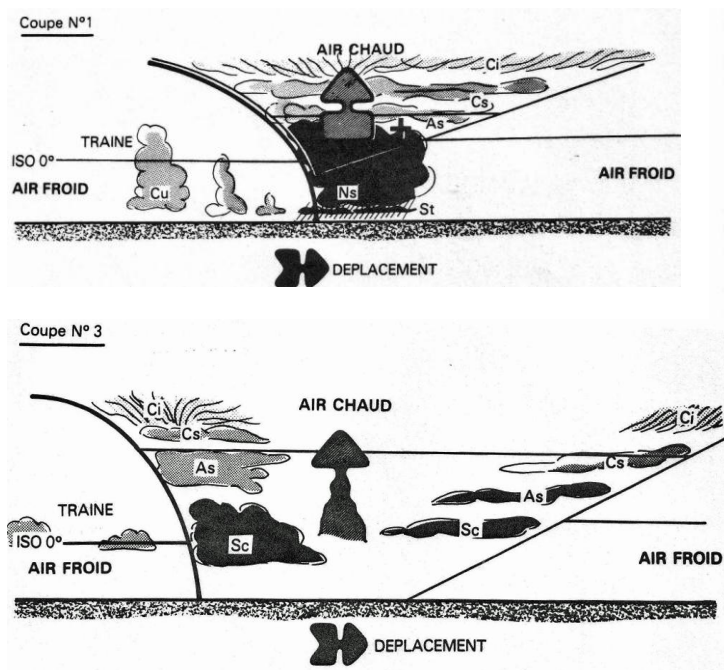
La première coupe permet de comparer le front chaud, très aplati et étendu sur 500 à 1000 km... et le front froid beaucoup plus abrupt et n'occupant que quelques centaines (100 à 300) de km.

On note aussi la forte accumulation de nuage dans la zone "active" du front.



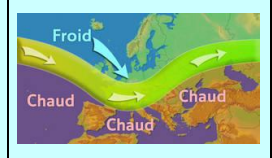
On remarque :

- Le gradient de pression (*ici de 1015 à 980 hPa*)
- La variation de la force du vent (*ici de 15 à 50 kt*)
- La zone d'occlusion (*coupe 1*)
- Une zone encore très active (*coupe 2*)
- Une faible activité loin du centre de la dépression (*coupe 3*)



Bien repérer aussi

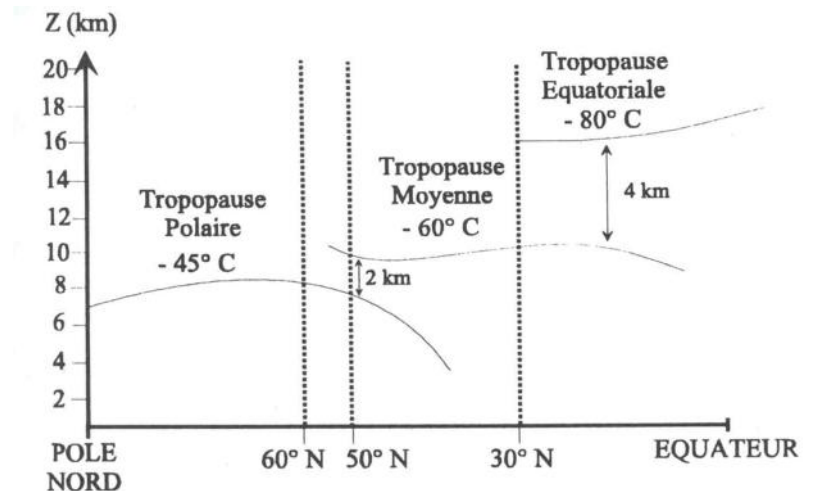
- L'isotherme 0°C qui permet de prévoir les zones de givrages et la présence de pluie surfondue
- Les nuages dangereux car totalement opaques et sièges de fortes précipitations. Ici des nimbostratus qui, contrairement aux cumulonimbus, présentent moins de courants verticaux et donc moins de turbulences.



I. La tropopause

La tropopause est la surface de discontinuité séparant la TROPOSPHERE de la STRATOSPHERE. Il s'agit du niveau au dessus duquel la température cesse de décroître pour devenir à peu près constante, voire sensiblement croissante.

La **tropopause** marque la limite supérieure des nuages. C'est à ce niveau que l'on rencontre aussi les courants jet stream et la turbulence en ciel clair (CAT).



Les deux discontinuités qui séparent les trois tropopauses sont appelées

- **Discontinuité subtropicale** (ouverture de 4 à 6 km) où l'on trouve le courant jet subtropical ;
- **Discontinuité subpolaire** (ouverture de 1 à 2 km) où se place le courant jet polaire.

La tropopause polaire va jusqu'au pôle en s'abaissant de 8-9 à 6-7 km. Sa température moyenne est relativement chaude - 45° C.

La tropopause moyenne s'étend du 30° au 50° voire 60° parallèle en s'abaissant de 12 à 10 km. Sa température moyenne est de l'ordre de - 55° C.

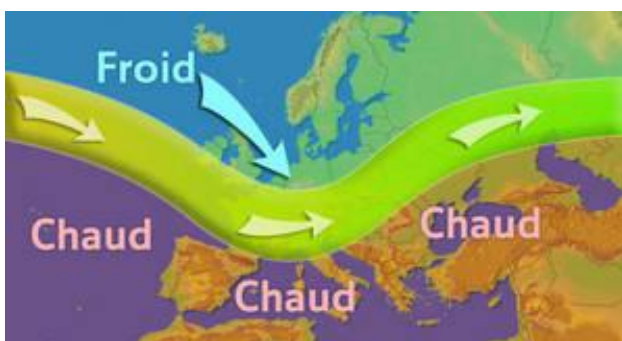
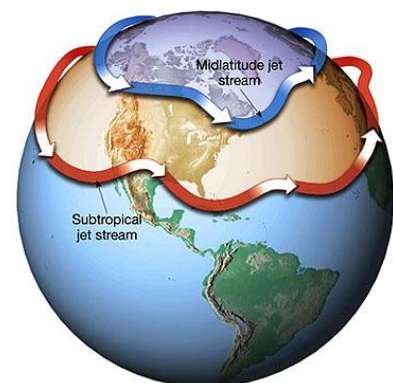
La tropopause équatoriale va de l'Equateur au 30° parallèle en s'abaissant légèrement de 18-20 km à 13-14 km. La température est froide et varie entre - 60° C et - 80° C.

La tropopause est plus basse et chaude aux pôles et plus froide et haute à l'équateur.

II. Les JET STREAM

On appelle jet stream un tube de courant de vent très fort.

Les jet stream sont connectés à un front froid ou à une goutte froide et se présentent sous la forme de longs tubes sinueux longs de plusieurs milliers de kilomètres et très aplatis (épaisseur 5 km environ pour 500 km de large).

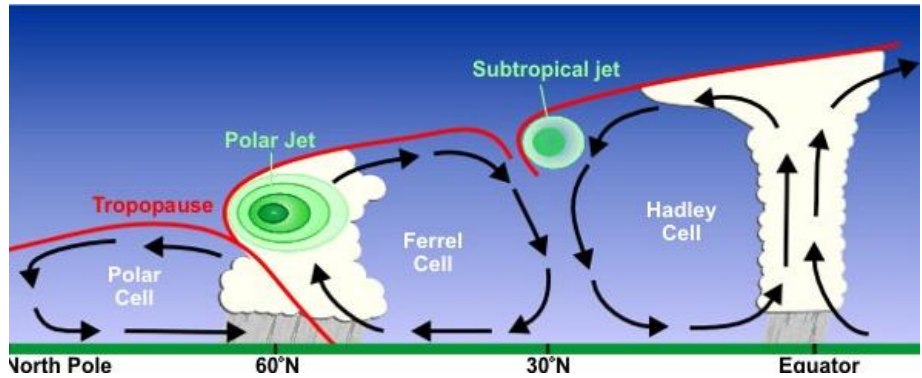


Le courant jet est un courant d'altitude qui se situe dans les limites supérieures de la troposphère, entre 6000 et 15000 mètres d'altitude.

Il atteint une vitesse généralement située entre 250 et 360 km/h.

Le corps ou cœur du jet est la zone des vents les plus forts et se trouve en air chaud dans le voisinage de la tropopause.

L'axe du jet est la ligne joignant les points de vitesse maximale du vent.

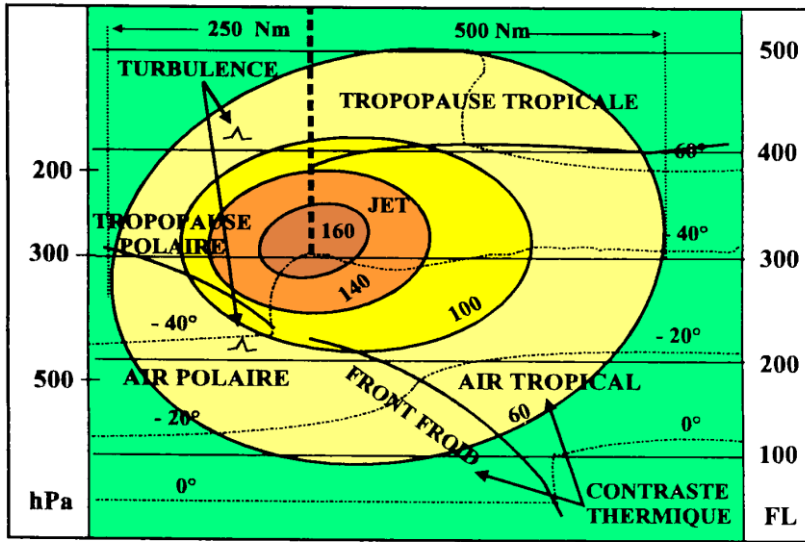


Il existe un **Jetstream polaire** et un **jetstream subtropical**.

COUPE TRANSVERSALE D'UN JET STREAM

GRADIENT VENT
40 à 100 kt par 100 Nm

GRADIENT VENT
20 à 40 kt par 100 Nm



LE JET STREAM POLAIRE

A l'approche d'un jet stream la température décroît jusqu'à atteindre celle de la tropopause. Lorsque l'on s'écarte de l'axe du jet vers le côté cyclonique à FL constant, la température décroît rapidement si l'on vole au dessous de l'axe et croît si l'on vole au dessus. Le facteur D : 0 (Zv - Zp) décroît rapidement lorsqu'on s'écarte, à FL constant, de l'axe du jet vers le côté cyclonique.

⇐ Les "isothermes" sont en pointillés sur la coupe de Jetstream ci-contre.

● LE JET STREAM POLAIRE

Le jet stream polaire est né de la juxtaposition de deux masses d'air quasi-stationnaires, l'une d'air tropical et l'autre d'air polaire, dont la surface de séparation est appelée front polaire.

Gradient vertical maximum 3 à 5 km du niveau de l'axe. Les vents, plus forts au dessus de l'axe qu'en dessous, atteignent la moitié de la force maximale de l'axe entre 4 et 5 km de part et d'autre de l'axe.



Tube aplati situé entre le FL 310 et le FL 410 et ayant pour dimensions moyennes :
Longueur : 2 000 à 4 000 km
Largeur : 400 à 800 km
Epaisseur : 4 à 8 km

Gradient horizontal maximum de 150 à 250 km de part et d'autre de l'axe à son niveau. Les **isotaches** (lignes d'égale vitesse du vent) sont plus serrées côté cyclonique que côté anticyclonique.

La turbulence, le plus souvent de type **CAT** (clear air turbulence - voir coupe), est engendrée par le frottement et le cisaillement des filets d'air voisins allant à des vitesses différentes. Elle est localisée davantage sur le côté cyclonique et sur la face supérieure du jet.

● LE JET STREAM SUBTROPICAL



Contrairement au jet polaire qui est très irrégulier et instable en latitude (généralement entre 30° N et 70°N), le jet stream subtropical a une position géographique très stable et une direction quasi-constante (entre 225° et 285°).

Sa variabilité est saisonnière et très marquée. Inexistant en été, il est très bien établi en hiver entre le 20° N et le 35° N au voisinage du FL 390. Durant sa période d'activité, la vitesse moyenne du jet stream subtropical est de l'ordre de 150 à 200 kt.

III. Les fronts et systèmes nuageux des régions tropicales

Les caractéristiques principales des climats de la zone intertropicale sont

- La variabilité saisonnière de la température très faible (écarts de 1 à 3° C entre la température la plus faible parmi les chaudes et la plus faible parmi les froides).
- La variabilité saisonnière de la pression relativement faible (variations diurnes de l'ordre de 2 à 5 hPa avec une amplitude maximale de 10 hPa entre les pressions les plus hautes et les plus basses).
- Les vents en général organisés en un système convergent d'Est régulier dit système des alizés (Nord-Est dans l'hémisphère Nord et Sud-Est dans l'hémisphère Sud). Le système des alizés est le siège de perturbations saisonnières et accidentelles.

- Les saisons en général déterminées par la variation annuelle de l'équateur thermique et de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) qui lui est associée (on parle de saisons sèches et de saisons humides). La zone de convergence intertropicale est étroitement associée à l'équateur thermique qui correspond à la zone d'ensoleillement terrestre maximal. Il s'agit du cœur même du climat de la région.

La convergence des alizés provient d'une double origine

-L'écoulement de l'air, des hautes vers les basses pressions (flux du nord et flux du sud) ; -La rotation de la terre qui donne une composante d'Est à ces flux, compte tenu de la force de Coriolis.

Lorsque l'équateur géographique et thermique sont confondus, les deux flux sont symétriques, lorsque l'équateur thermique s'écarte notablement de l'équateur géographique, l'angle de convergence augmente.

L'équateur thermique se déplace au cours de l'année

- Dans l'Océan Atlantique, l'Océan Pacifique Oriental et en Afrique entre le 20° N et le 5°N;
- Dans l'Océan Indien, entre le 25° N et le 15° S ;
- Dans l'Océan Pacifique Occidental et l'Amérique du Sud entre le 5° N et le 15° S.

IV. Le front intertropical (FIT)

La zone de convergence intertropicale (ZCIT) est attirée par la surface terrestre. Elle a l'allure d'une surface frontale séparant deux masses d'air très différentes, l'une continentale, avec de l'air chaud et sec, l'autre maritime avec de l'air chaud et humide. Le tracé au sol de cette surface est appelé Front intertropical (FIT).

Localisé dans l'hémisphère Nord, le FIT a une activité renforcée par l'angle de convergence des alizés qui ont une position d'attaque frontale.

L'alizé du Nord-Est chaud et sec dit Harmattan se trouve face à l'alizé du Sud-Sud-Est chaud et humide dit Vent de mousson.

La position du FIT est saisonnière (5° N en janvier et 20° N en juillet) et suit au cours de l'année celle de l'équateur thermique. Son activité est maximale en fin d'après-midi. Dans la pratique, le FIT est localisé par les valeurs de la température et du point de rosée qui évoluent entre 0° et + 5° C au Nord en air sec et entre + 15° et + 20° C au Sud en air humide.

V. Les ondes d'est

Les ondes d'Est sont des « accidents » localisés du champ de pression près de l'Equateur. Rencontrées généralement entre le FL 100 et le FL 180, elles sont très atténuées près du sol. Fréquentes sur les étendues maritimes, leur déplacement est lent (10 à 15 kt) et peuvent, lorsqu'elles sont actives, être à l'origine de cyclones tropicaux.

VI. Les lignes de grains

Perturbations à caractère convectif, les lignes de grains prennent naissance sur les continents et s'organisent généralement en alignement de Cumulonimbus sensiblement Nord-Sud d'une longueur de 200 à 300 km et circulant d'Est en Ouest à une vitesse pouvant atteindre 30 kt. Assez actives mais relativement faciles à détecter au radar, on les rencontre en Afrique occidentale au sud du FIT dans l'air maritime et humide arrivant sur le continent.

VII. Les cellules de Hadley

Selon : http://www.passion-meteo.net/dossiers/cellules_hadley.htm

Au niveau de l'Equateur, la forte chaleur dispensée par le Soleil réchauffe l'air près de la surface.

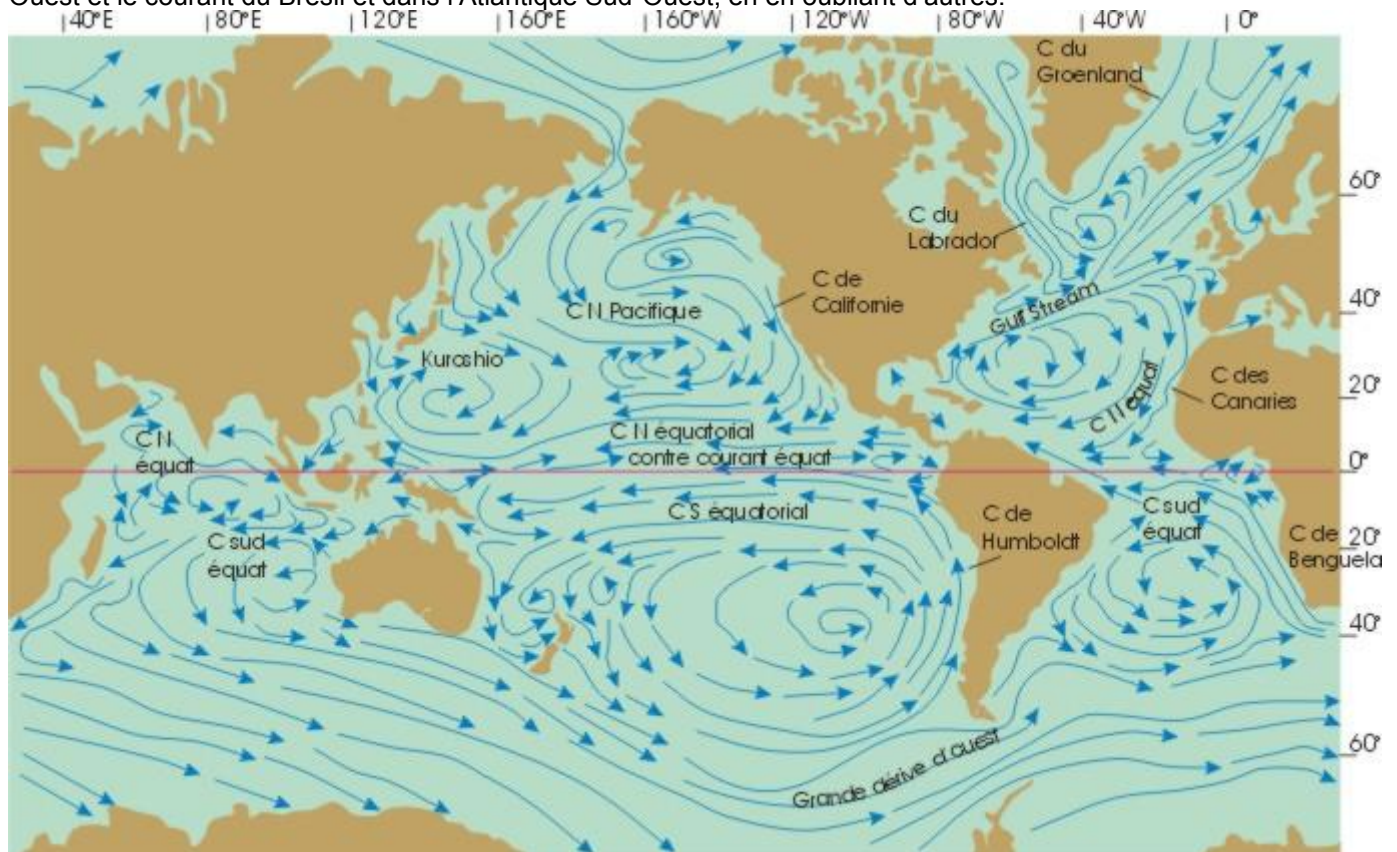
Cet air s'élève dans l'atmosphère et ce mouvement ascendant engendre la création d'un espace de basse pression. L'air est aspiré dans cet espace de basse pression, ce qui provoque dans les deux hémisphères (Nord et Sud) des alizés.

Le système climatologique tente en vain d'exporter la chaleur de l'Equateur, mais ces derniers vents contrarient la libre circulation de l'air.

● Les courants mondiaux

Prenons l'exemple du Gulf Stream, qui assure la circulation de chaleur depuis la zone tropicale de l'Atlantique vers le Nord et qui par conséquent fait bénéficier l'Europe d'un climat tempéré.

Bien sûr, il existe d'autres courants semblables comme le Kuroshio qui se situe dans le Pacifique Nord-Ouest et le courant du Brésil et dans l'Atlantique Sud-Ouest, en oubliant d'autres.



● Les cellules de Hadley

Cette théorie permet d'expliquer l'existence de trois grandes zones de perturbation :

A : le front polaire, zone de rencontre entre l'air froid et l'air chaud et humide, ce qui explique les précipitations en Europe de l'Ouest.

B : les hautes pressions subtropicales et la zone des alizés, favorables à la naissance des ouragans.

C : la zone de convergence intertropicale, où de l'air montant rapidement se refroidit, provoquant des orages tropicaux et de fortes pluies.

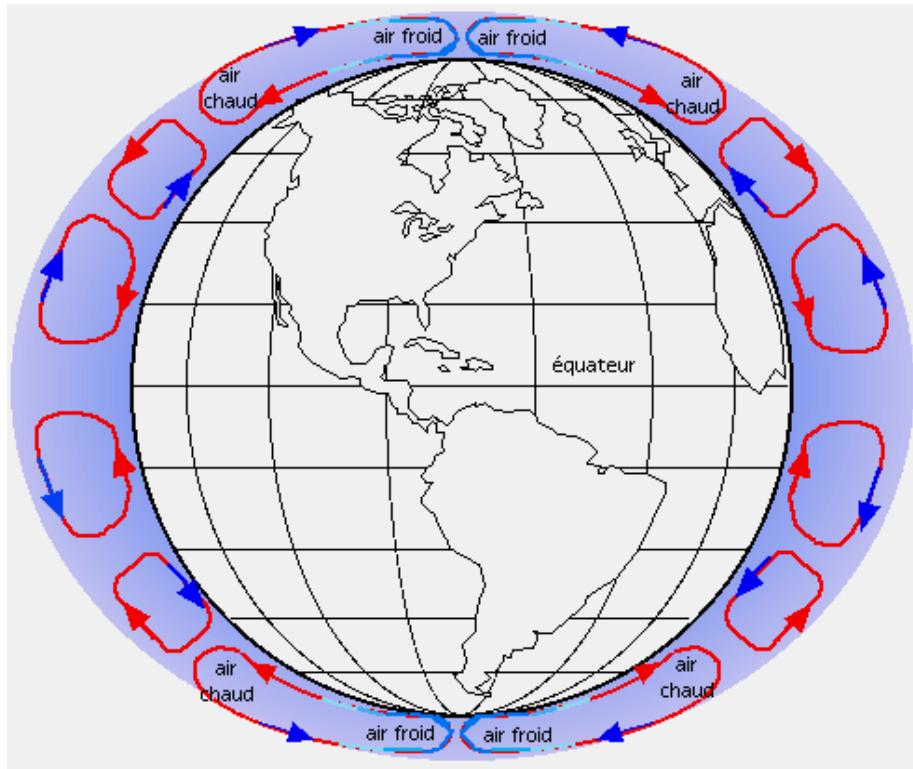


Schéma complexe des cellules (Hadley au niveau des tropiques, Ferrel sous nos latitudes, polaire ... aux poles)

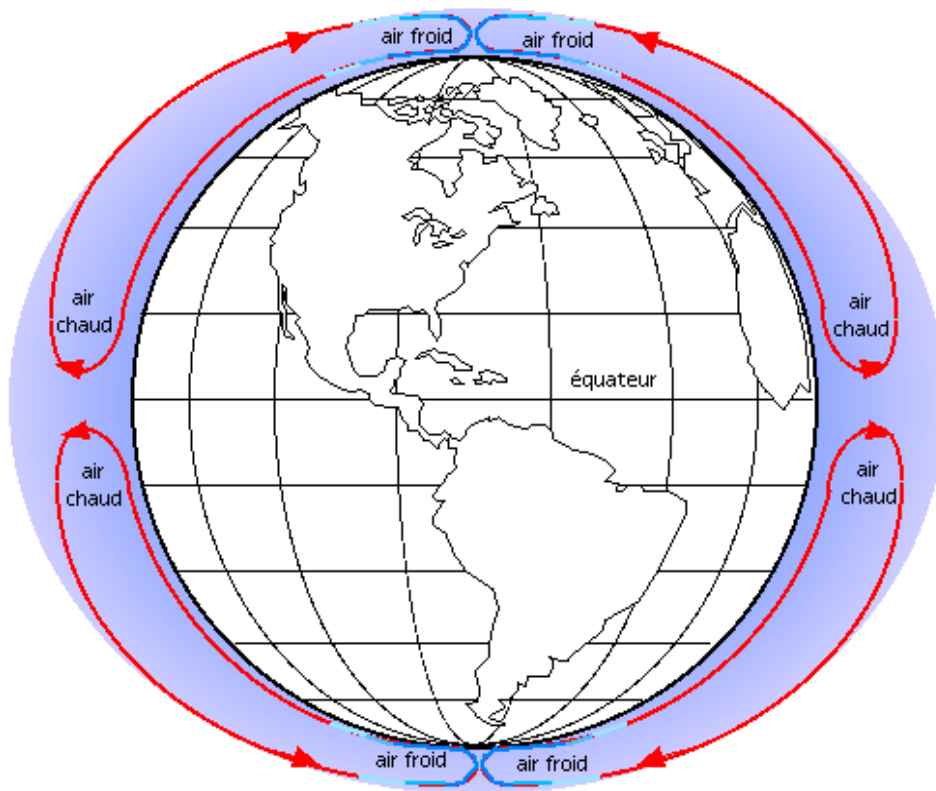
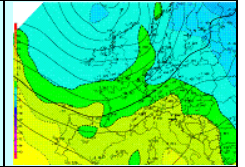


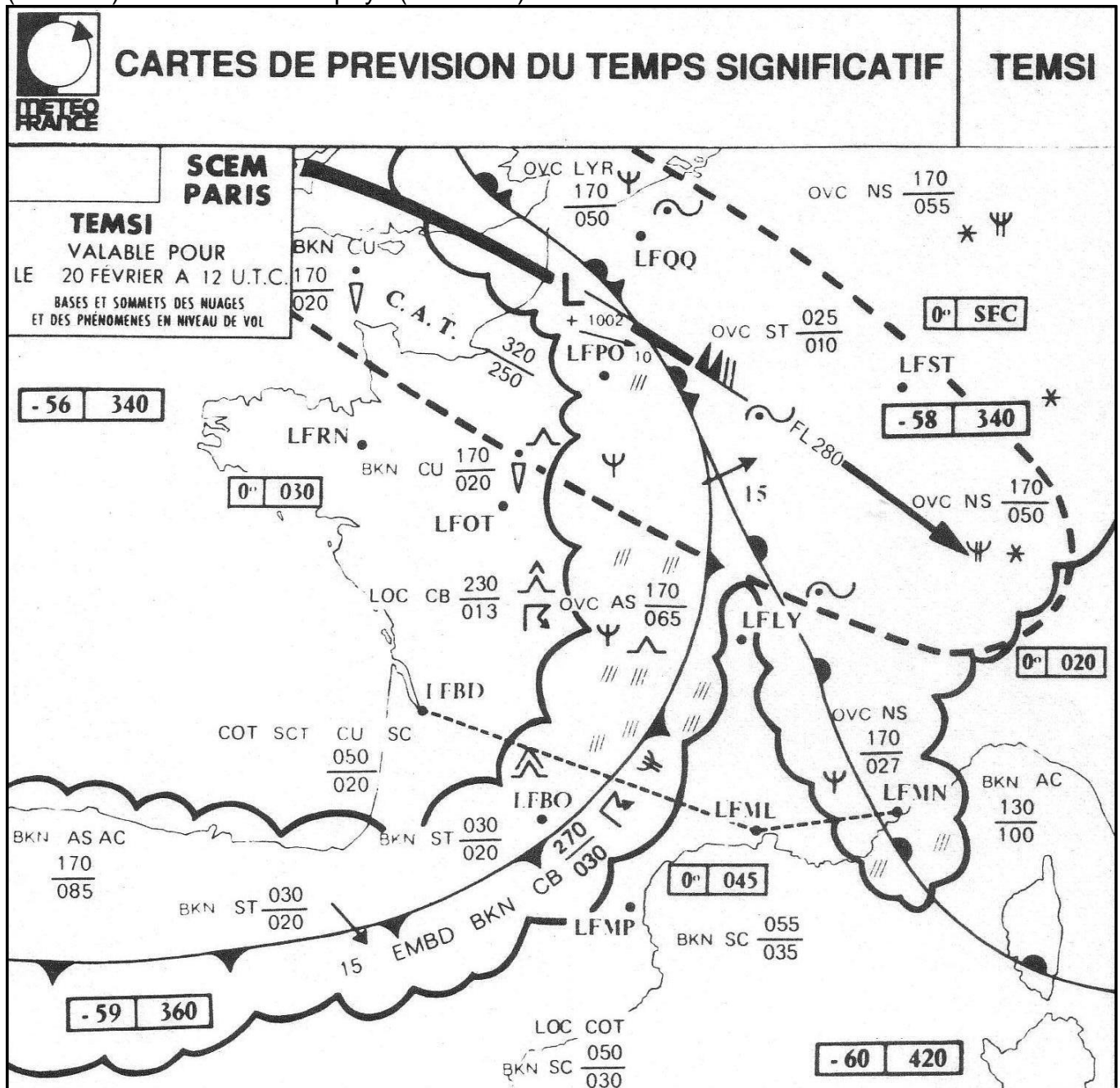
Schéma simplifié de la circulation

-VI- LES CARTES ET LES MESSAGES

Cartes et messages météo pour l'aéronautique.

**I. Les cartes TEMSI:**

Les cartes de **prévision** du **temps significatif** (significant weather) peuvent concerner des surfaces horizontales différentes: l'Europe entière (EUR), l'Europe occidentale (EUROC) ou seulement un pays (FRANCE).



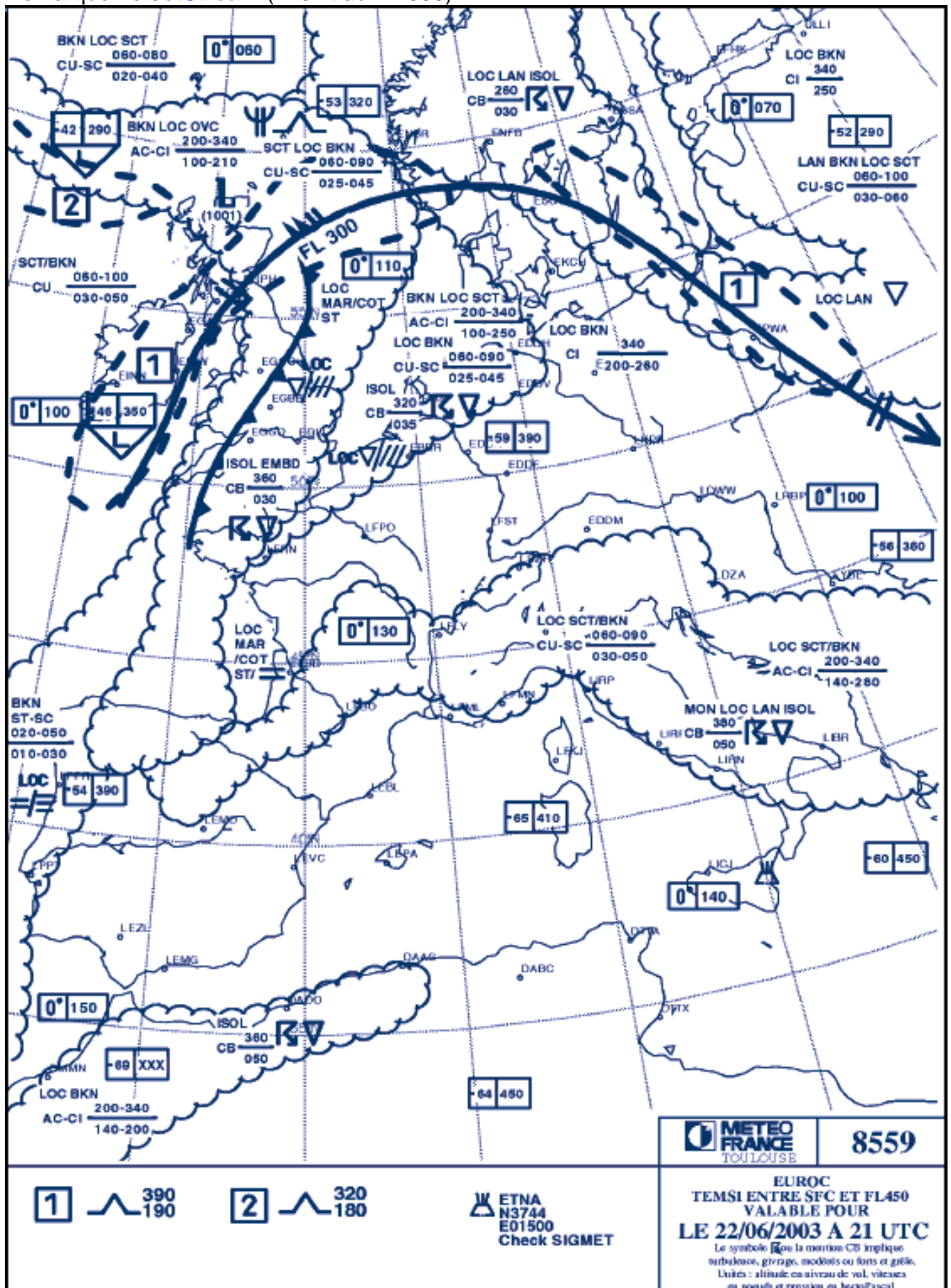
Sur chaque TEMSI **l'espace aérien est précisé** verticalement par l'indication de son plancher et de son sommet (FL 100 - 450 veut dire depuis le niveau 100 jusqu'au niveau 450). La carte TEMSI décrit la situation météorologique à un instant précis.

La **validité** permet de savoir à partir de quelle heure la carte est utilisable. Pour connaître l'heure locale à partir de l'**UTC (Universal Time Coordinated** ou temps universel coordonné) **il faut ajouter à l'UTC 2h en été ou 1 h en hiver.**

● Une carte TEMSI:

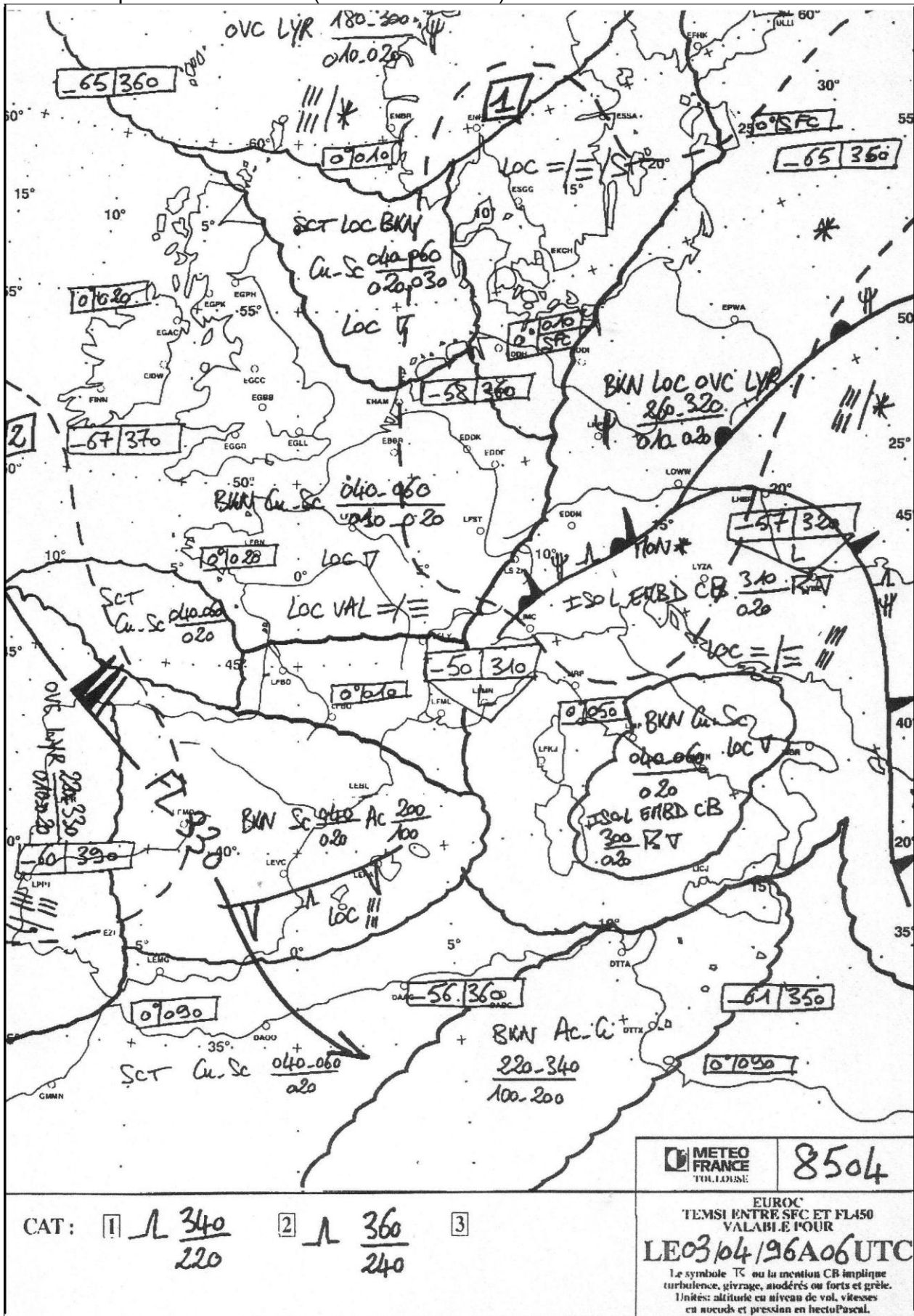
Carte du 22/06/2003 valable entre le **sol(SFC)** ,et le **FL 450**.

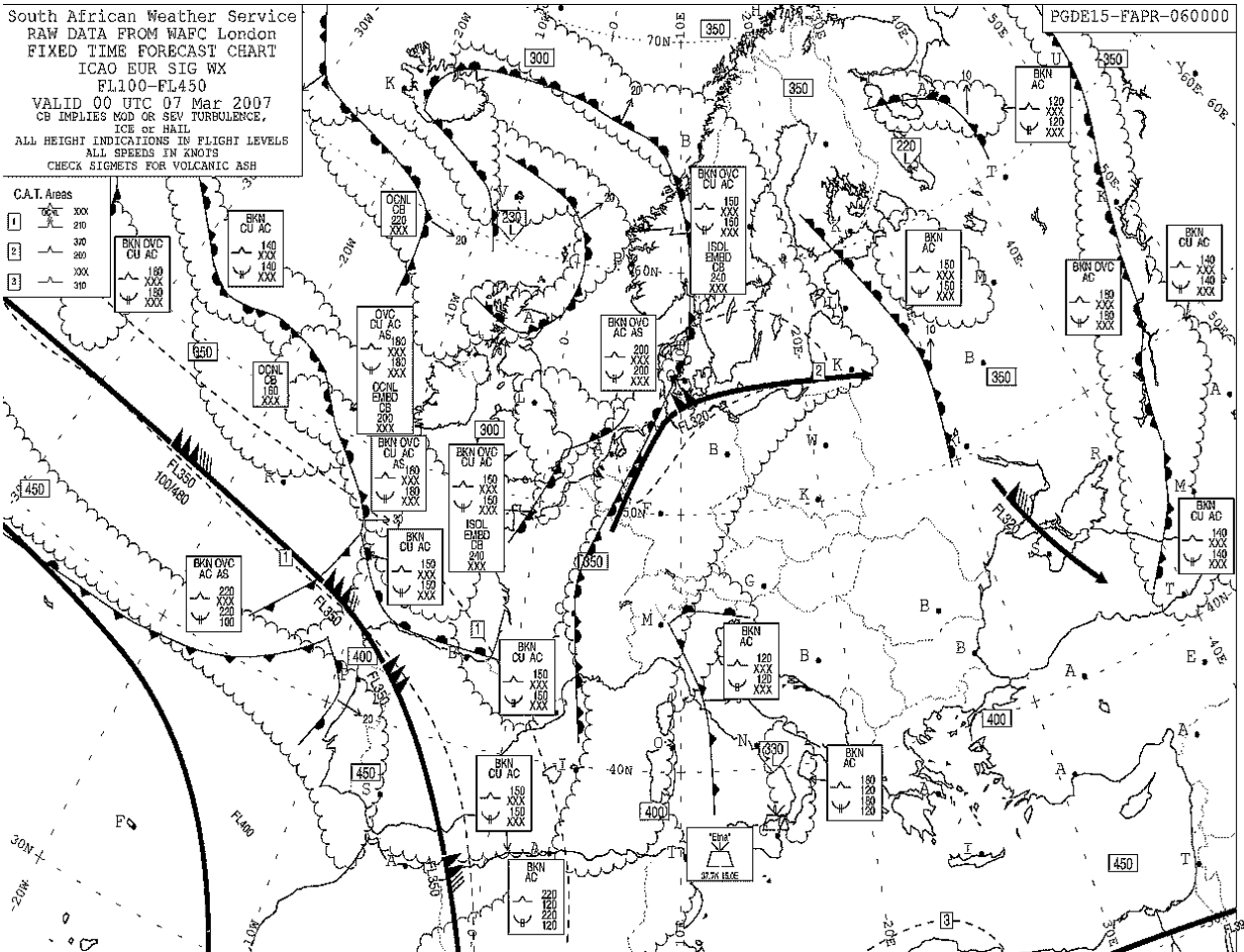
Remarquer le **JetStream** (220 kt au FL 300)



● Une autre carte TEMSI:


Carte du 03/04/1996 valable entre le **sol(SFC)** ,et le **FL 450**.
Remarquer le **JetStream** (210 kt au FL 330)






Les fronts nuageux correspondent au temps significatif tout comme les encadrés comprenant par exemple BKN CU AC :

● Exemple de lecture d'une carte TEMSI ?

Les **symboles**  correspondent à la zone de **turbulence** à une altitude (en pieds) . Par exemple, sur l'Irlande, la zone de turbulence se situe entre une altitude XXX et 10 000 pieds .

Le trait en pointillé représente les limites de la zone de turbulence dans le cas d'un ciel clair .

Le **symbole**  correspond au **givrage** (en pieds) . Avec les deux traits verticaux, le givrage est modéré .

Par exemple, sur l'Irlande, la zone de givrage se situe une altitude XXX et 10 000 pieds.

Les **symboles** As,Cu,Ac,Cb,Ns,etc... correspondent au **type de nuages** présents à telle altitude.

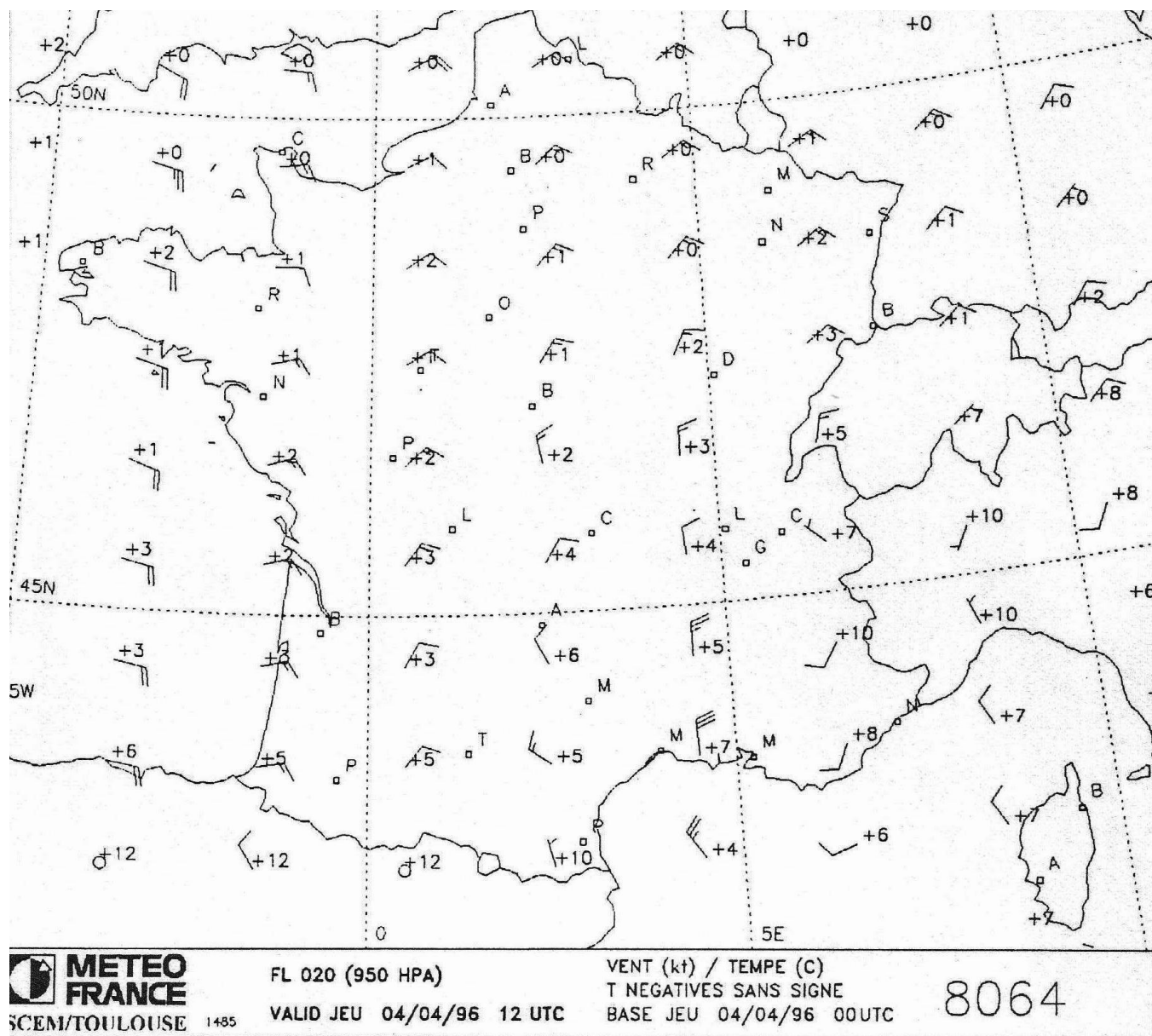
Les **encadrés** 300, 420, 450, etc... correspondent à la hauteur de la **tropopause** / 100 ; par exemple, pour l'encadré 300, la tropopause se trouve à 30 000 pieds.

FL 340 : Flight Level 34000 feet ; position du courant jet à 34 000 pieds (10 000 metres environ) .

Les **CAT** sont les **Clear Air Turbulence** (zones de turbulence en atmosphère claire) .

II. Cartes de vents et températures:

Sur les cartes des vents et températures en altitude, le vent est représenté par des flèches avec des barbules et des flammes (ou fanions). Une température indiquée par un nombre sans signe est négative. Une température positive est notée avec le signe +. Les cartes de situation météorologique en altitude sont établies à un niveau de pression constante. Des lignes continues, appelées isohypses, joignent les points de même altitude de la surface sur laquelle la pression reste constante.



Il existe des cartes au niveau 50 noté FL 050 (850 hPa) ou au niveau 100, FL 100 (700 hPa) ou plus haut encore (500, 300, 250, 200 hPa). Les cartes du niveau 20, FL 020 (950 hPa) sont sorties pour la première fois en mars 1996 et sont plus spécialement destinées aux pilotes VFR.



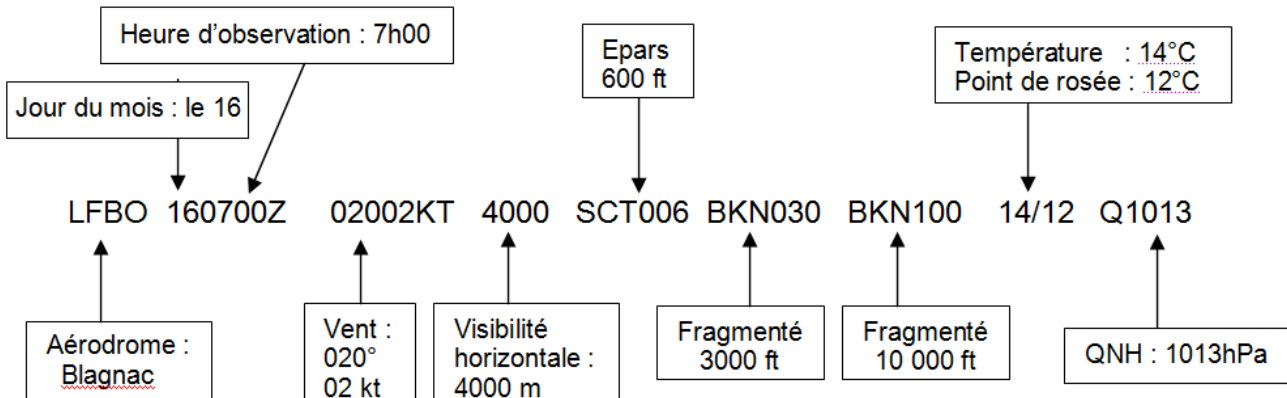
Belle série de cartes actualisées au

http://perso.orange.fr/meteoclimato/Pages/Analyses_Meteocentre_Bracknell_Jeppesen.htm

III. Le METAR:

Le METAR est un message **d'observation d'aérodrome**. Il décrit le temps sur l'aérodrome à l'heure de l'observation. Les observations sont effectuées toutes les heures (toutes les demi-heures sur les aérodromes importants).

Lecture d'un METAR



● Lecture du METAR n°1

LFPO	0930Z	20010G20KT	0800	+SHSN	SCT010	BKN025	M04/MO5	Q1002	NOSIG=
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j

Interprétation : 1

- a - indicateur OACI de l'aérodrome LFPO: **PARIS ORLY**.
- b - heure UTC de l'observation 0930Z: **09h30 UTC**
- c - vent : 200: direction d'où vient le vent par rapport au Nord vrai: 200°, **Vent du 200**
- 10: vitesse moyenne du vent observé au cours des 10 minutes précédant le moment de l'observation: **10 kt**,
- G20: vitesse maximale du vent: **rafales 20 kt**.
- KT : noeud, KMH: kilomètre/heure, MPS: mètre/seconde
- d - visibilité horizontale en surface 0800: **800 m de visibilité horizontale**.
- e - temps présent significatif +SHSN : **averse forte de neige (Shower SNow)**
- f - nébulosité et hauteur des nuages SCT010: **1 à 4 octas** (8^{ième}) dont la hauteur de la base est à 300 mètres (**1000 ft**).
- g - deuxième couche nuageuse BKN025: **5 à 7 octas**, base 750 mètres (**2500 ft**).
- h - température/point de rosée M04/MO5: température **-04°C**, point de rosée **-05°C**.
- i - pression **QNH 1002 : 1002 hPa**.
- j - prévision de tendance NOSIG: **pas de changement significatif prévu**.

● Lecture du METAR n°2

LFPO	1500Z	27008 KT	4000	+TSGRRA	BKN020TCU	SCT025CB	15/13	00998	NOSIG=
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j

Interprétation : 2

- a - indicateur OACI de l'aérodrome LFPO: **PARIS ORLY**.
- b - heure UTC de l'observation 1500Z: **15h00 UTC**
- c - vent : 270: direction d'où vient le vent par rapport au Nord vrai: 270°, **Vent du 270**
- 08: vitesse moyenne du vent observé au cours des 10 minutes précédant le moment de l'observation: **8 kt**,
- d - visibilité horizontale en surface 4000: **4 km de visibilité horizontale**.
- e - temps présent significatif +TSGRRA : **orage avec forte pluie et grêle sur l'aérodrome (grêle prédominante)**
- f - nébulosité et hauteur des nuages BKN020TCU : **5 à 7 octas** (8^{ième}) de **CU congestus** (Towering cumulus) dont la hauteur de la base est à 600 m (**2000 ft**).
- g - deuxième couche nuageuse SCT025CB: **1 à 4 octas** de **CB**, base 750 m (**2500 ft**).
Le genre de nuage est précisé seulement dans le cas de CB ou de TCU.
- h - température/point de rosée 15/13: température **+15°C**, point de rosée **+13°C**.
- i - pression **QNH 0998: 998 hPa**.
- j - prévision de tendance NOSIG: **pas de changement significatif prévu**.

● Lecture du METAR n°3

LFPO	0600Z	VRB02KT	0600SW	6000E	R07/0800D	R26/P1500	-DZ	FG	OV0006	10/10
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
Q1020	NOSIG=									
l	m									

Interprétation : 3

PARIS ORLY à **06h00 UTC** vent **variable (VRB) 02 KT**

d : visibilité horizontale en surface 0600SW: **600 m** dans la direction **SUD-OUEST**

e : visibilité horizontale maximale en surface **6 km** dans la **direction EST**.

Ce groupe est rajouté si la visibilité minimale dans une direction est inférieure à 1500 m et supérieure à 5000 m dans une autre direction.

f : portée visuelle de piste R07/0800D: PVP **Portée Visuelle de Piste 800 m sur le QFU 07**, en décroissance (**D : DOWN**). On précise la variation de la PVP lorsque celle-ci varie de 100 m ou plus pendant 10 mn, U: UP, D: DOWN et N: pas de variation significative de la PVP. PVP : Portée Visuelle de Piste = RVR = Runway Visual Range

g : portée visuelle de piste R26/P1500: **PVP supérieure à 1500 m sur le QFU 26**.

h : temps présent significatif (voir fiche 3) **-DZ: faible bruine**.

i : deuxième temps présent significatif (voir fiche 3) **FG: brouillard**.

j : nébulosité et hauteur des nuages OV0006: **8 octas (8^{ième}), base 180 m** (600 ft).

k : température/point de rosée 10/10 : **température +10°C, point de rosée + 10°C**

l : pression **QNH 01020: 1020 hPa**. m : prévision de tendance **NOSIG**: pas de changement significatif prévu.

● Lecture du METAR n°4

LFPO	0530Z	20004KT	0250	R07/0300VO400U	R26/0450U	FG	VV///	08/08	Q1028
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
BECMG	FM0630	0600	OVC020 =						
K	l	m							

Interprétation : 4

PARIS ORLY à **05h30 UTC** vent **du 200 04 KT** visibilité horizontale en surface 0250: **250 m**

e : variations significatives de la portée visuelle de piste R07R/0300VO4000: **variation de la PVP entre 300 m et 400 m** sur le **QFU 07R, en augmentant** (U: UP).

Ce groupe est chiffré lorsque au cours des 10 mn précédant l'observation, la valeur de la PVP varie pendant une minute de 50 m ou plus par rapport à la valeur moyenne, variation supérieure à 20% de la valeur moyenne. U: UP et D: DOWN.

f : portée visuelle de piste **R26/0450U** : PVP 450 m en augmentation sur le QFU 26

g : temps présent significatif (voir fiche 3) **FG: brouillard**.

h : visibilité verticale **VV///: absence de données sur la visibilité verticale**

Ce groupe est codé lorsque le ciel est invisible. En France, les données ne sont pas disponibles.

i : température/point de rosée 08/08: **température +08°C, point de rosée +08°C**.

j : pression **QNH 01028:1028 hPa**.

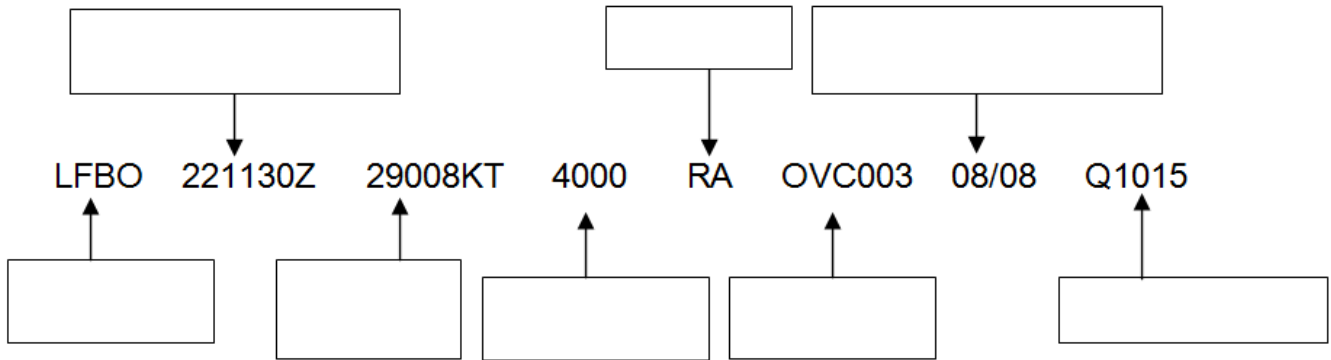
k : prévision de tendance (voir fiche 4) **BECMG**: évolution des conditions météorologiques suivant des seuils définis.

indicateur de l'heure de début d'un changement prévu FM0630: début du changement 06h30. L'heure de fin de changement est supposé à 07h30 (2 heures après l'heure d'observation).

m : phénomènes météorologiques significatifs prévus **0600 OVC020: 600 m de visibilité horizontale 8 octas (8^{ième}), base 600 m** (2000 ft).

● Exercice de lecture d'un METAR

Essayez de décrypter le METAR suivant en utilisant les connaissances acquises

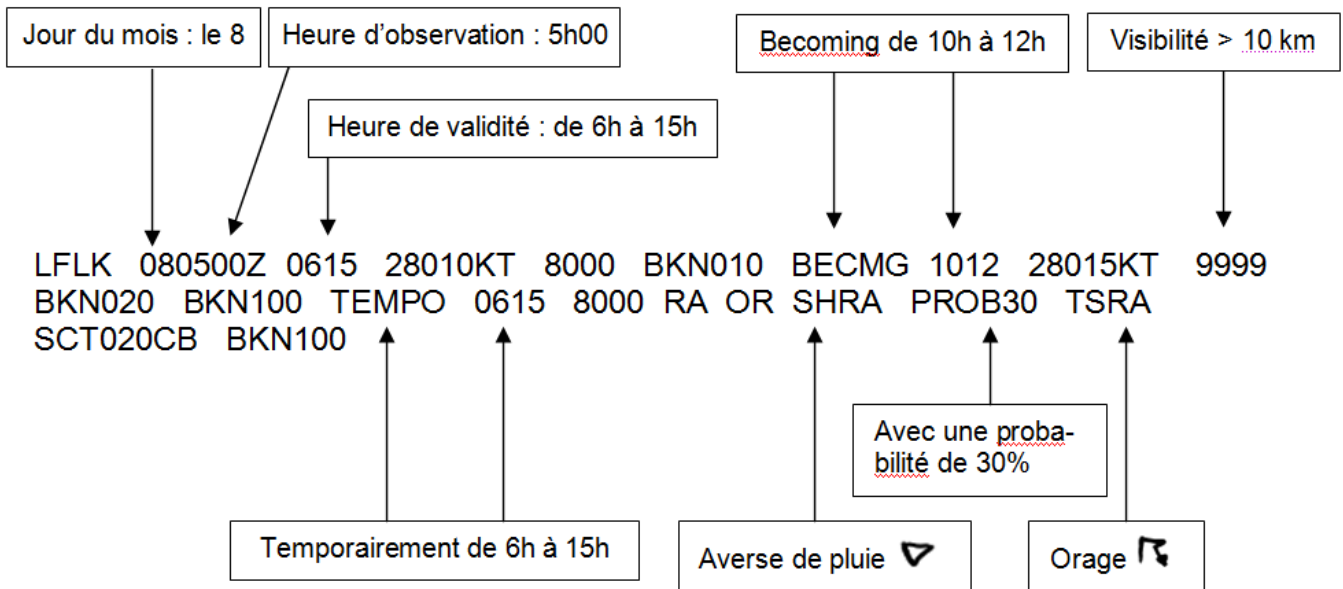


Correction exercice lecture METAR (plus loin)

IV. Le TAF:

Le TAF est un message de **prévision d'aérodrome**. Il est diffusé à heures fixes pour une **validité de 9h**. (Redenir comme Laurent en brenant l'agsent allemmand "Temps A Fenir")

Lecture d'un TAF



● Lecture du TAF n°1

LFPO	210145Z	0312	22010G20KT	3000	+RA	OVC015	SCT060
a	b	c	d	e	f	g	
TEMPO 0307	7000	RA	OVC020	FM11	28015KT	9999 NSW	BKN020=
	h					i	

Interprétation : 1

- a : indicateur OACI de l'aérodrome **LFPO: PARIS ONLY**.
- b : jour et heure de la prévision : **le 21** (du mois en cours) à **01h45 UTC**.
- c : validité 0312: **valable de 03h00 à 12h00**.
- d : vent **22010G20KT: vent du 220° 10KT, rafales 20KT**.
- e : visibilité horizontale **3000: 3 km**.
- f : temps significatif **+RA: forte pluie**.
- g : nébulosité et hauteur des nuages **OVC015 SCT060: 8 octas, base 450 m (1500 ft) et 1 à 4 octas, base 1800 m (6000 ft)**.
- h : variations prévues des conditions précédentes **TEMPO 0307 7000 -RA OVC020: temporairement entre 03h00 et 07h00, 7 km de visibilité, pluie et 8 octas, base à 600 m (2000 fi)**.
- i : variations prévues des conditions précédentes **FM11 28015KT 9999 NSW BKN020 : à partir de 11 h00 (from 11 h00), vent du 280° 15 KT, visibilité supérieure à 10 km, No Significant Weather, 5 à 7 octas base 600 m (2000 ft)**.

● Lecture du TAF n°2

<u>LFPO</u>	<u>0615</u>	<u>VRB03KT</u>	<u>0800</u>	<u>FG</u>	<u>SCT008</u>	<u>SCT080</u>
a	b	c	d	e	f	
<u>BECMG 0810 4000 NSC</u>			<u>BECMG 1215 04008KT 8000 SKC=</u>			
g			h			

Interprétation : 2

a : indicateur OACI de l'aérodrome **LFPO: PARIS ORLY**.

b : validité 0615 : **valable de 06h00 à 15h00**

c : vent VRB03KT : **vent VARIABLE 3 KT**.

d : visibilité horizontale 0800 : **800 m**.

e : temps significatif FG : **brouillard**.

f : nébulosité et hauteur des nuages SCT008 SCT080: **1 à 4 octas, base 240 m (800 ft) et 1 à 4 octas, base 2400 m (8000 ft)**.

g : variations prévues des conditions précédentes BECMG 0810 4000 NSC : **devenant (BECOMinG) entre 08h00 et 10h00, 4 km de visibilité, et No Significant Cloud** (pas de nuage en dessous de 1500 m).

h : variations prévues des conditions précédentes BECMG 1215 04008KT 8000 SKC : **devenant entre 12h00 et 15h00 vent du 40° 08 KT, visibilité 8 km et ciel clair**.

● Lecture du TAF n°3

<u>LFPO</u>	<u>1803</u>	<u>0000KT</u>	<u>0600</u>	<u>FG</u>	<u>OV0008</u>	<u>BKN040</u>
a	b	c	d	e	f	
<u>PROB40 2024</u>		<u>0300 DZ</u>	<u>FG OV0002 BKN040= 9</u>			
		g				

Interprétation : 3

a : indicateur OACI de l'aérodrome **LFPO: PARIS ORLY**.

b : validité 1803 : **valable de 18h00 à 03h00 le jour suivant**.

c : vent 0000KT : **vent calme**.

d : visibilité horizontale 0600 : **600 m**.

e : temps significatif FG: **brouillard**.

f : nébulosité et hauteur des nuages OV0008 BKN040: **8 octas, base 240 m (800 ft) et 5 à 7 octas, base 1200 m (4000 ft)**.

g : variations prévues des conditions précédentes PROB40 2024 0300 DZ FG OV0002 BKN040 : probabilité **40% entre 20h00 et 24h00 de 300 m de visibilité, bruine modérée et brouillard, 8 octas à 60 m (200 ft) et 5 à 7 octas à 1200 m (4000 ft)**.

V. Le SIGMET:

Les renseignements sigmet sont relatifs à **l'apparition ou à la prévision** de l'un ou de plusieurs des **phénomènes dangereux** suivants : **zone orageuse active, ligne de grains forts, forte grêle, forte turbulence, fort givrage, ondes orographiques marquées, ou encore tempête de sable ou de poussière de grande étendue, tempête tropicale tourbillonnaire**. Les messages SIGMET sont rédigés en anglais.

● Lecture du SIGMET n°1

LFFF SIGMET SST 1 VALABLE 031200/031600 LFPO - ISCL CB OBS UIR FRANCE MAINLY E PART BLW FL400 MOV E 20 KMH =
i

Interprétation : 1

Premier message SIGMET pour «vols transsoniques ou supersoniques» de la journée établi pour la région supérieure d'information de vol France, le message est valable le 3 du mois de 12h00 à 16h00 et est communiqué par le centre de veille météorologique Paris Orly.

Cumulonimbus observés et prévus dans l'UIR France, principalement dans la partie EST, au dessous du FL400, se déplaçant vers l'EST à 20 km/h

● Lecture du SIGMET n°2

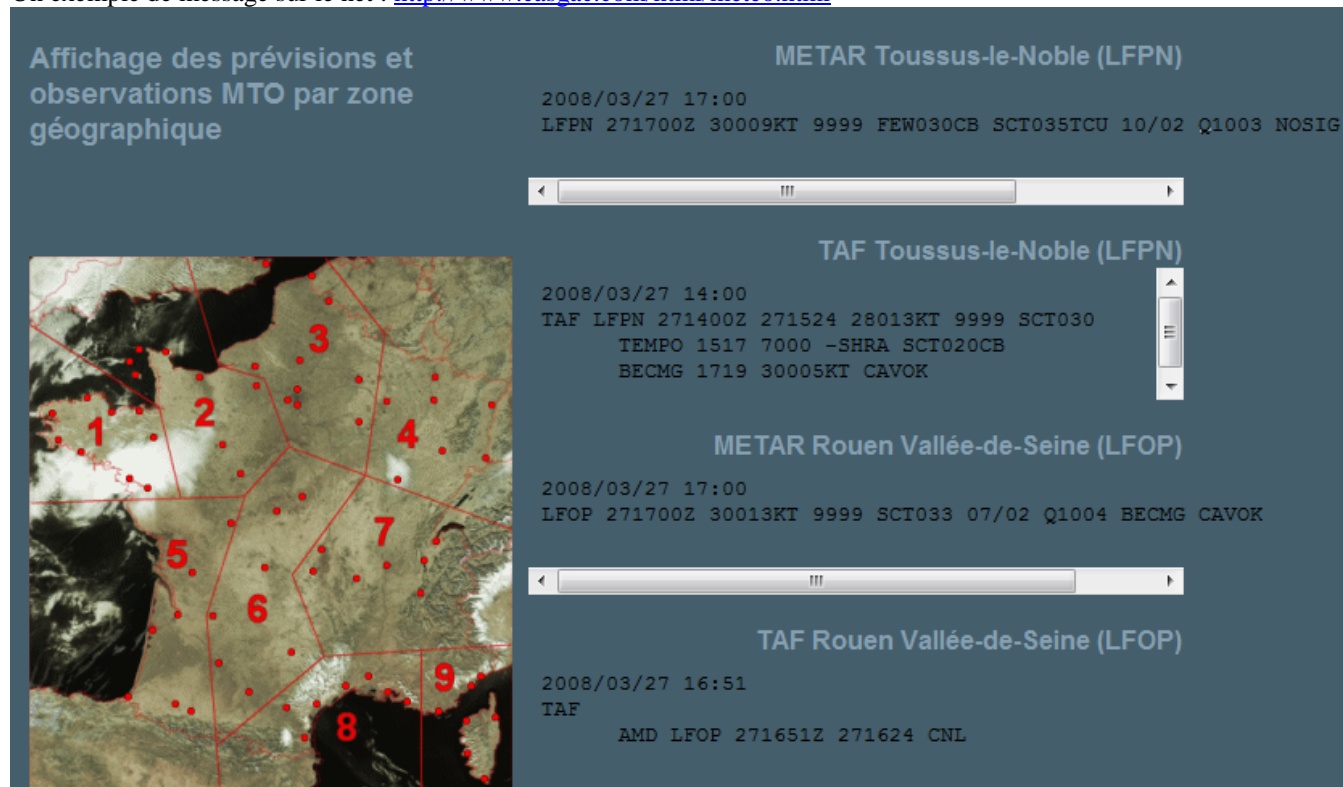
LFMM SIGMET 3 VALABLE 160800/161200 LFML - SEV TURB FCST FIR MARSEILLE BTN GND AND FL160 STNR WKN=

Interprétation : 2

Troisième message SIGMET pour «vols subsoniques» de la journée établi pour la région d'information de vol de Marseille, le message est valable le 16 du mois de 08h00 à 12h00 est communiqué par le centre de veille météorologique de Marignane.

Forte turbulence prévue dans la FIR de Marseille, entre le sol et le niveau de vol FL160, phénomène stationnaire diminuant d'intensité.

Un exemple de message sur le net : <http://www.casgac.com/html/meteo.html>



Affichage des prévisions et observations MTO par zone géographique

METAR Toussus-le-Noble (LFPN)
2008/03/27 17:00
LFPN 271700Z 30009KT 9999 FEW030CB SCT035TCU 10/02 Q1003 NOSIG

TAF Toussus-le-Noble (LFPN)
2008/03/27 14:00
TAF LFPN 271400Z 271524 28013KT 9999 SCT030
TEMPO 1517 7000 -SHRA SCT020CB
BECMG 1719 30005KT CAVOK

METAR Rouen Vallée-de-Seine (LFOP)
2008/03/27 17:00
LFOP 271700Z 30013KT 9999 SCT033 07/02 Q1004 BECMG CAVOK

TAF Rouen Vallée-de-Seine (LFOP)
2008/03/27 16:51
TAF
AMD LFOP 271651Z 271624 CNL

Les curseurs permettent d'avoir l'intégralité du message... mais j'ai bricolé l'image pour afficher le message complet

VI. Quelques termes utilisés dans les messages météo

On peut trouver, à la place de l'indication de la visibilité et des nuages, le terme **CAVOK** (Ceiling And Visibility OK) qui signifie: visibilité supérieure à 10 km, pas de nuages au-dessous de 1500 m, pas de cumulonimbus, pas de précipitations ni d'orages.

Autres termes :

- RA (rain) pluie,
- SN (snow) neige,
- FG (fog) brouillard,
- DZ bruine,
- BR brume,
- GR grêle,
- SG neige en grains,
- TS orage,
- SH averse,
- SQ grains,
- Mi mince,
- BC bancs,
- FZ surfondu,
- VA cendres volcaniques
- ...

On trouve encore:

- **TEMPO** temporairement,
- **PROB** probabilité,
- **FM** depuis,
- **TL** jusqu'à,
- **BECMG** le changement débute à ... et prend fin à ...
- **NOSIG** pas de changement.

● Correction de l'exercice de lecture de METAR

Aérodrome de toulouse Blagnac le **22** du mois à **11 h UTC**

Vent du **290** force **8 kt**

visibilité horizontale 4000 m

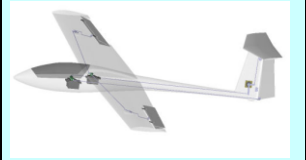
temps présent significatif : **pluie** (Rain)

OVC = overcast couverture nuageuse **8/8** base à **300 ft**

température/point de rosée 08/08 : **température + 8°C, point de rosée + 8°C** *ce qui au passage annonce une humidité maximale (100 %)*

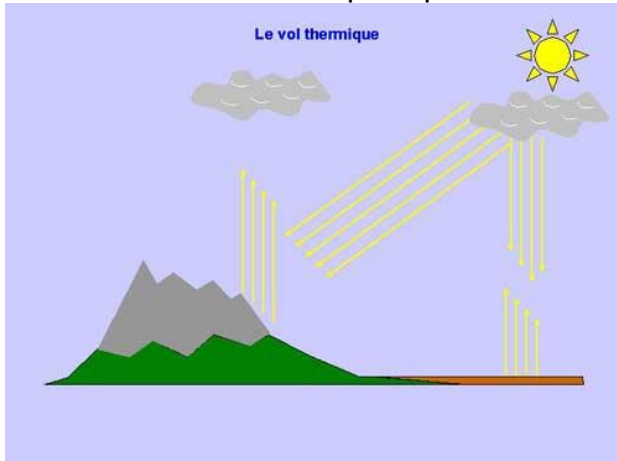
pression **QNH 1015**

L'AÉROLOGIE ET LE VOL DES PLANEURS.



I. Les ascenseurs pour planeurs

Contrairement aux idées reçues, ce n'est pas le vent qui est le principal facteur intervenant dans le fait qu'un planeur reste en l'air ou pas.



En effet, ce sont bien souvent les **phénomènes de convection** (mouvement vertical de l'air dû à sa température) qui en générant des ascendances, permettent à celui-ci de prendre de la hauteur.

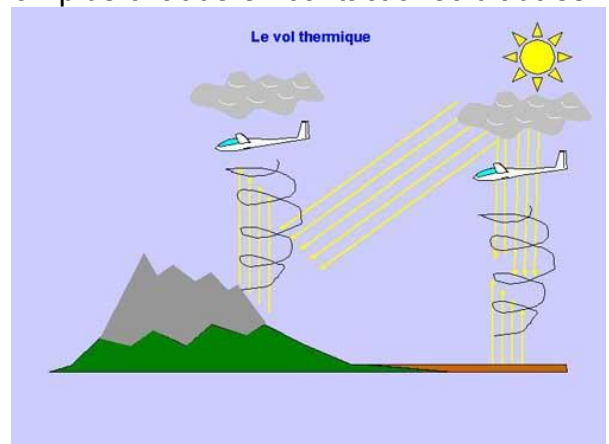
Petites explications...

- Le soleil réchauffe la terre de manière irrégulière en fonction de la nature même du sol (rocher, prairie, eau, etc ...).
- De fait l'air situé sur une surface qui chauffe plus fortement va lui-même s'échauffer plus fortement que l'air qui l'environne.

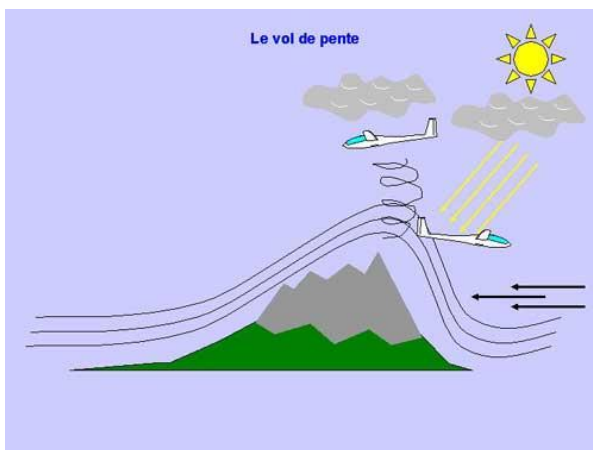
L'air étant mauvais conducteur, cette masse d'air plus chaude en contact avec d'autres masses d'air plus froides va naturellement s'élever répondant ainsi au phénomène physique bien connu (l'air chaud s'élève).

▪ Les planeurs profitent ainsi de ces "ascenseurs de la nature" comme peuvent le faire les oiseaux. Ce sont les oiseaux (rapaces par exemple) qui nous enseignent le vol en thermique lorsque vous les voyez spiraler au-dessus du sol.

▪ Ces **thermiques**, ou ascendances, sont parfois repérables car matérialisés par des nuages (la saturation de la masse d'air qui s'élève), bien souvent des cumulus de beau temps.



II. Le vol de pente



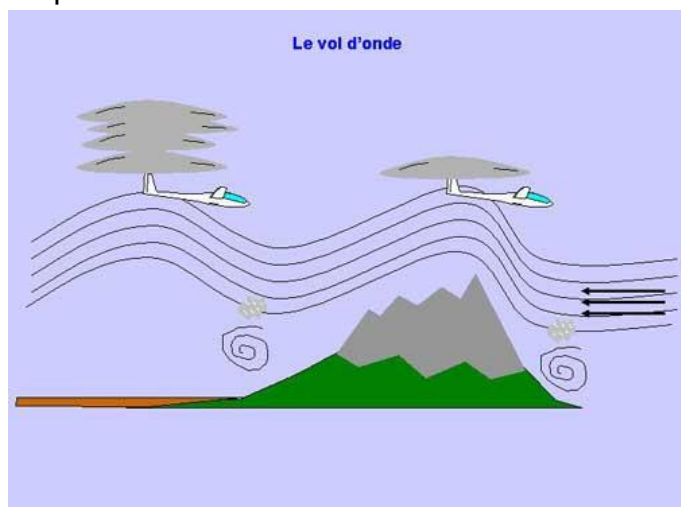
▪ Lorsque les conditions le permettent, et lorsque l'on a un relief suffisant, le planeur peut faire du « vol de pente ». Imaginez un vent soutenu qui vient heurter un relief. L'air doit franchir l'obstacle et s'élève le long de la paroi au vent. Il crée ainsi un phénomène d'ascendance que vont pouvoir exploiter les planeurs.

▪ Ce sont encore les oiseaux qui nous enseignent le vol de pente, il n'y a qu'à regarder des mouettes ou des choucas voler le long d'une falaise.

▪ Ces ascendances de pente sont souvent matérialisées jusqu'à quelques petites centaines de mètres au-dessus du relief. Ce type de vol peut être conjugué avec le vol thermique.

III. L'onde

Lorsque la masse d'air est stable et qu'un vent constant vient heurter un relief, il se crée un phénomène dit « ondulatoire ».



- L'air rebondi sur le relief créant des ondes qui peuvent se répercuter très haut dans le ciel. Les planeurs utilisent ces phénomènes météorologiques pour prendre de la hauteur et sauter ainsi d'un phénomène ondulatoire à un autre.

- Ce type de vol peut donner lieu à des prises de hauteur importantes et nécessitent l'emport d'oxygène à bord. Le record du monde est à plus de 14000 mètres ! Ces phénomènes ondulatoires sont souvent repérés par la formation d'un nuage statique en forme de soucoupe volante (altocumulus lenticularis).

IV. Internet et le vol à voile

Le document ci-dessus a été entièrement trouvé sur le WEB...

<http://volavoile.free.fr/volavoile/nouvelle3.htm>

Le texte est quasiment brut de copie mis à part une remise en page et quelques corrections.

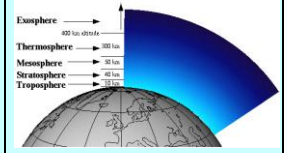
Des infos intéressantes et pratiques (modélisme)

<http://technolascasc.free.fr/Cycle6/FOT/Planeur/index.htm>



Unités de pression atmosphérique.

Et plus généralement la foire aux unités !!!



Ce complément est plutôt destiné aux enseignants (CAEA)

Pourquoi faire simple quand on peut faire compliqué ???

La **pression atmosphérique** se mesure en différentes unités... selon les pays, les personnes ou les instruments... Ce complément sert à faire le point sur ces différentes définitions... et unités qui en découlent.

I. Il n'y a qu'UNE SEULE définition de la pression !

La **pression** correspond à l'effet d'une force exercée sur une surface elle doit donc s'exprimer en Newton par mètre carré. $p = \frac{F}{S}$ avec p en **Pascal (Pa)** F en **newtons (N)** et S en mètres carrés (**m²**). Un Pa c'est donc 1 N / m².

II. Mais on a au moins (*) 3 unités pour la pression atmosphérique !

(*) En fait il y en a une bonne dizaine recensées par Wikipédia ! <http://fr.wikipedia.org/wiki/Pression>

● Le bar et le millibar (mb)

Le **bar** était une unité pratique puisque la pression atmosphérique vaut approximativement UN bar (au passage on utilisait l'**atmosphère 1 atm** ≈ 1 bar) ... Pour être plus précis 1 Bar = 10⁵ Pa. (avec une **atmosphère standard** à 1,01325 10⁵ Pa)

C'est l'information que l'on retrouve à la station service en gonflant les pneus des véhicules, on le rencontre aussi en plongée pour les pressions des bouteilles...

Les météorologues (et donc les présentateurs météo) utilisaient le **millibar (mb)** ... la pression atmosphérique normale valait donc environ 1000 mb.

On trouve cette unité sur des tableaux de bords français pour des pressions de fluides (essence par exemple).



On peut aussi trouver des mélanges de **bar** (ici la pression d'huile) et de **millibar** (ici la pression d'essence).

● Le Pascal et l'hectopascal

C'est la définition internationale de la pression qui la définit en **pascal**... la pression atmosphérique normale valait donc, dans cette unité internationale, environ 100000 Pa...

Pour retrouver leurs habitudes (les mb) les météorologues se sont débrouillés pour en retrouver environ 1000... en utilisant des **hectopascals** (hecto = coeff X 100). La pression atmosphérique normale valait donc environ 1000 **hPa**...

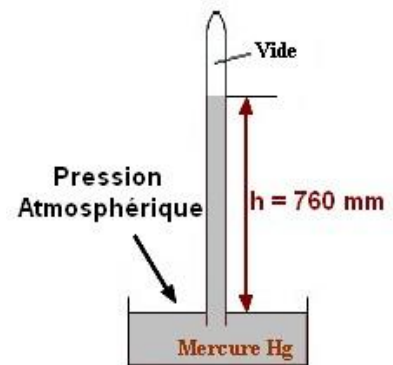
● Le mercure (torr, mm et pouces...) un gros sac d'embrouilles ?

Historiquement les premières déterminations de la pression atmosphérique ont été réalisées (**Torricelli en 1643**) à l'aide d'un baromètre à mercure.

La pression atmosphérique correspond à celle exercée par une **colonne de mercure** de 760 mm de haut. (Symbole du mercure : Hg... pour hydrargyre ou "vif argent" ou "eau argent") ... (Ce liquide brillant a une masse volumique de 13 600 kg/m³. Il est 13,6 fois plus lourd que l'eau !)

De ce constat on a inventé le **torr** (pour Torricelli) qui correspond à 1 **mm de mercure (mmHg)**...

La pression atmosphérique normale valait donc environ 760 **mmHg** ou 760 torr...



Les américains (et les anglais) étant restés au pouce (inch) ... comme 760 mm correspond à 29,9 **inch** (ou **pouces**) ça nous donne pour la pression atmosphérique normale valait environ 29,9 **inHg** (c'est-à-dire **inch off Hg**)...

On trouve évidemment des altimètres en **pouce de mercure** sur les matériels anglais ou américains (et par défaut sur flight Simulator)...



Mais sur un avion français ces infos se trouvent parfois sur d'autres instruments...

Ici un suivi de dépression pour l'alimentation des gyroscopes.



III. Tant qu'on y est... le psi ! (On va bientôt en avoir besoin du psy !)

● Le psi (livre par pouce carré !)

Le **psi**, de l'anglais **pound per square inch** (livre par pouce carré) est une unité anglo-saxonne très utilisée notamment en hydraulique et en hydrostatique. *Le gag c'est que si le pouce carré est bien une surface, la livre n'est pas une force ... sauf, comme ici, par abus de langage comme pour le kg lorsque vous vous pesez sur une balance... qui mesure en fait une force. Tout va bien restez calmes ça ne peut que s'aggraver !*

1 psi vaut environ 6 894 Pa.

Le psi est utilisé dans les affichages de paramètres moteurs (pression d'admission par exemple) ... comme les moteurs étaient très souvent américains on a récupéré cette unité sur nos tableaux de bord "français"...

Ici les **psi** (pression d'essence) cohabitent avec les **bar** (pression d'huile).

Notons que l'on peut aussi avoir des **inHg**...



IV. Et si on mélangeait tout sur le même tableau ?

Des **hPa**, des **inHg** des **mb** et des **bars**... cohabitent sur le même avion.

On devrait trouver facilement des psi en plus sur un avion un peu plus complexe (les hélices "constant speed" sont souvent réglées avec des valeurs en de PA en psi).



La TOTALE !!! Le mélémélo des unités de pression n'est malheureusement pas le seul... Les volumes, les températures se voient attribuer des unités inusitées chez nous même si l'immatriculation de l'avion est française.

Ici, pour les pressions, on a :
psi
inHg
hPa

Mais on a des degrés fahrenheit (°F) sur une sonde de température et des **US galons** pour le contenu du réservoir...



Pourquoi faire des unités internationales ? Là est la question !!!!

V. Pilotes ! Allez au plus simple...

- Le pilote ne regarde que les couleurs des cadrans

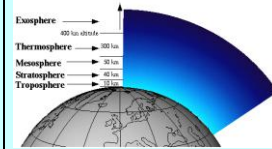
En fait ces unités ne posent de problèmes qu'à ceux qui veulent tout savoir... le pilote lui regarde ses cadrans :

C'est **VERT** tout va bien !

C'est **ROUGE** ... je me pose d'urgence !



Table d'atmosphère standard



Calculs effectués sous Excel (fichier à part)

TABLE D'ATMOSPHERE STANDARD

Altitude		Température		Pression	Rapport de Pression	Masse Volumique	Densité relative	Racine carrée de	Vitesse du son	Vitesse du son
ft	m	°C	°K	hPa	$\delta = P / P_0$	ρ	$\sigma = \rho / \rho_0$	$\sqrt{\sigma}$	kt	km.h ⁻¹
45 000	13 716	-56,5	216,5	147,47	0,1456	0,2373	0,1937	0,4402	574	1063
40 000	12 192	-56,5	216,5	187,53	0,1851	0,3018	0,2464	0,4964	574	1063
35 000	10 668	-54,3	218,7	238,41	0,2354	0,3799	0,3101	0,5569	577	1068
30 000	9 144	-44,4	228,6	300,89	0,2970	0,4587	0,3744	0,6119	590	1092
29 000	8 839	-42,5	230,5	314,84	0,3108	0,4758	0,3884	0,6232	592	1097
28 000	8 534	-40,5	232,5	329,31	0,3251	0,4935	0,4028	0,6347	595	1101
27 000	8 230	-38,5	234,5	344,32	0,3399	0,5116	0,4176	0,6462	597	1106
26 000	7 925	-36,5	236,5	359,88	0,3553	0,5302	0,4328	0,6579	600	1111
25 000	7 620	-34,5	238,5	376,00	0,3712	0,5494	0,4485	0,6697	602	1115
20 000	6 096	-24,6	248,4	465,62	0,4596	0,6532	0,5332	0,7302	615	1138
19 000	5 791	-22,6	250,4	485,47	0,4792	0,6756	0,5515	0,7427	617	1143
18 000	5 486	-20,7	252,3	505,99	0,4995	0,6987	0,5703	0,7552	620	1147
17 000	5 182	-18,7	254,3	527,21	0,5204	0,7223	0,5896	0,7679	622	1152
16 000	4 877	-16,7	256,3	549,14	0,5421	0,7465	0,6094	0,7807	624	1156
15 000	4 572	-14,7	258,3	571,81	0,5645	0,7714	0,6297	0,7935	627	1161
14 000	4 267	-12,7	260,3	595,23	0,5876	0,7969	0,6505	0,8065	629	1165
13 000	3 962	-10,8	262,2	619,42	0,6115	0,8230	0,6718	0,8197	632	1170
12 000	3 658	-8,8	264,2	644,40	0,6361	0,8498	0,6937	0,8329	634	1174
11 000	3 353	-6,8	266,2	670,19	0,6616	0,8772	0,7161	0,8462	636	1178
10 000	3 048	-4,8	268,2	696,81	0,6879	0,9053	0,7390	0,8597	639	1183
9 000	2 743	-2,8	270,2	724,28	0,7150	0,9341	0,7625	0,8732	641	1187
8 000	2 438	-0,8	272,2	752,62	0,7430	0,9636	0,7866	0,8869	643	1192
7 000	2 134	1,1	274,1	781,85	0,7718	0,9938	0,8112	0,9007	646	1196
6 000	1 829	3,1	276,1	811,99	0,8016	1,0247	0,8365	0,9146	648	1200
5 000	1 524	5,1	278,1	843,07	0,8322	1,0563	0,8623	0,9286	650	1204
4 000	1 219	7,1	280,1	875,10	0,8639	1,0887	0,8887	0,9427	653	1209
3 000	914	9,1	282,1	908,11	0,8965	1,1218	0,9158	0,9570	655	1213
2 000	610	11,0	284,0	942,13	0,9300	1,1557	0,9434	0,9713	657	1217
1 500	457	12,0	285,0	959,52	0,9472	1,1730	0,9575	0,9785	658	1219
1 000	305	13,0	286,0	977,16	0,9646	1,1904	0,9718	0,9858	660	1222
500	152	14,0	287,0	995,07	0,9823	1,2080	0,9861	0,9930	661	1224
0	0	15,0	288,0	1 013,25	1,0002	1,2259	1,0007	1,0004	662	1226
-500	-152	16,0	289,0	1 031,69	1,0185	1,2439	1,0154	1,0077	663	1228
-1 000	-305	17,0	290,0	1 050,41	1,0369	1,2621	1,0303	1,0150	664	1230

Index

1

1 atm	67
1kw/m ²	6

A

Ac	23
advection	18
AÉROLOGIE	65
air arctique	42
air est instable	21
air est stable	21
Air polaire continental	42
Air polaire maritime	42
air sec	4
Air tropical continental	42
Air tropical maritime	42
ALTOCUMULUS	23
altocumulus lenticularis)	66
ALTOSTRATUS	23
anémomètre	36
anticyclone	8
As	23
ascendance forcée	17
Ascendance liée à la turbulence	18
ascendance orographique	17
ascendances thermiques	17
atmosphère	67
atmosphère standard	9, 67, 70
Averses	54
AVERSES	28

B

bar	67, 69
baromètre	12
BC	63
BECMG	64
Bergeron	29
BKN	25, 26, 54
BR	63
Brise de mer	38
BRISES	36
Brises de vallée	39
brouillard d'advection	33
brouillard de détente	34
brouillard de mélange	18, 34
brouillard de rayonnement	34
brouillard d'évaporation	34
Brouillard étendu	54
BROUILLARDS	33
brouillards d'évaporation	19
Bruine	54
BRUINE	28
brume	33
BRUMES	33
Buys-Ballot	37, 44

C

captation	29, 30
Cartes de vents et températures	58
CAT	48, 49, 54
CAVOK	26, 63
Cb	25
Cc	23
cellule orageuse	31
cellules de Hadley	51, 52
centre anticyclonique	40
chaleur	13
chaleur latente de changement d'état	15
Ci 23	23
Circulation générale	40
cirro	22
CIRROCUMULUS	23
CIRROSTRATUS	23
CIRRUS	23
CIT	54
coalescence	29, 30
colonne de mercure	68
Composition de l'atmosphère	4
condensation de la vapeur d'eau	16
conduction	13, 14
Contrails	17
convection	13, 14
Coriolis	37
corps	45
COT	54
couche d'inversion	4
couche d'ozone	4
cristaux de glace	19
Cs 23	23
Cu	24
Cumuliforme	19
CUMULONIMBUS	25
CUMULUS	24
CUMULUS Congestus	25

D

dépression	8
direction du vent	36
dissipation	31
dorsale	8
durée de vie d'une perturbation	45
Dz	54
DZ	28, 63

E

éclair	32
effet Bergeron	29
effet de coalescence	29

effet de foehn	20
Effets Bergeron	29
électrisation du nuage	32
élévation d'une masse d'air	17
EMBD	54
énergie lumineuse	6
espace aérien	53
étage inférieur	22
étage moyen	22
étage supérieur	22
évolution diurne des formations nuageuses	20

F

faibles ascendances synoptique	18
FEW	25, 26, 54
FG	63
FIT	50
FL 340	57
FM	64
foehn	20
force de Coriolis	37
force de frottement	37
force du vent	36
formation des nuages	16
Formation par apport de vapeur d'eau	19
Freezing Rain	54
front chaud	43
front chaud avec air chaud instable	43
front chaud avec air chaud stable	43
front froid	43
front froid avec air chaud instable	44
front froid avec air chaud stable	44
FRONT INTERTROPICAL	50
front occlus	45
front quasi-stationnaire	43
fronts	42
FRQ	54
FZ	28, 63

G

géostationnaire	11
girouette	36
givrage	57
Givrage faible	54
Givrage modéré	54
Givrage sévère	54
gouttelettes d'eau	19
GR	28, 63
GRÈLE	28

H

H 54	51
Hadley	51

hectopascal	7, 68
hectopascals	68
héliosynchrone	11
hPa	68, 69
<i>Humidité</i>	9, 12
humidité relative	10
hygromètre	12

I

inch (68
inch off Hg	68
inHg	68, 69
inversion	21
isobares	8
ISOL	54
isotaches	49
isotherme 0°C	54
isothermes	49
isothermie	21

J

<i>JET STREAM</i>	48
JET STREAM POLAIRE	49
JET STREAM SUBTROPICAL	50
jet-stream	37
JetStream	55
Jetstream polaire	49
jetstream subtropical	49

K

kt 36

L

L	54
La foudre	32
<i>La température</i>	6
LAN	54
le front	42
lenticularis	25
liaison	45
<i>lignes de grains</i>	51
LOC	54
LYR	54

M

mamatus	25
MAR	54
marais barométrique	8, 20
marges	45
masse d'air arctique	41
masse d'air continentale	41
masse d'air équatoriale	41
masse d'air maritime	41
masse d'air polaire	41
masse d'air tropicale	41
<i>masses d'air</i>	40
maturité	31
mb	69
<i>mélange de deux masses d'air</i>	18
<i>METAR</i>	59

<i>Meteosat</i>	11
Mi63	
millibar	67
mistral	38
mm de mercure	68
mmHg	68
MON	54

N

<i>nébulosité</i>	25
Neige	54
NEIGE	28
NIMBOSTRATUS	24
nimbus	22
nœud	36
NOSIG	64
noyaux de condensation	4
Ns	24
<i>nuage</i>	16
nuages cumuliformes	17
NUAGES CUMULIFORMES	21
<i>nuages lenticulaires</i>	20
nuages stratiformes	18
NUAGES STRATIFORMES	21

O

OACI	9
occlusion	43, 45
OCNL	54
octas	25
<i>onde</i>	20, 66
onde de relief	17
Orage	54
<i>Orage de grêle</i>	31
orbite polaire	11
oscillation diurne	6
OVC	25, 26, 54

P

pascal	68
Pascal	67, 68
<i>période de rotation de la Terre</i>	11
<i>perturbation</i>	44
phénomène de sursaturation	17
phénomènes de convection	65
PLANEURS	65
Pluie	54
PLUIE	28
Pluie surfondue	54
PLUIE SURFONDUE	28
pouce de mercure	68
pouces	68
pound per square inch	68
pression	67
Pression	8, 12
pression atmosphérique	67
PROB	64
psi	68, 69
psi,	68
psychromètre	12

R

RA	28, 54, 63
----	------------

rayonnement	13, 18
réchauffement du sol par le rayonnement solaire	20
refroidissement adiabatique	17
refroidissement de l'air ascendant	21
refroidissement d'une masse d'air	18
<i>refroidissement isobare</i>	18
règle de Buys-Ballot	37, 44
<i>rotors</i>	20

S

satellites	10, 11
Sc	24
SCT	25, 26, 54
secteur chaud	45
SFC	54
SG	63
SH	54, 63
<i>SIGMET</i>	62
SKC	25, 26, 54
SLW	54
SN	28, 54, 63
soulèvement frontal	18
SQ	63
St	24
Stabilité et instabilité de l'air	21
STNR	54
stratiforme	19
STRATOCUMULUS	24
stratosphère	4
STRATUS	24
subsidence	17
surface frontale	42
symboles	57
système nuageux	45

T

<i>TAF</i>	61
Température	11
TEMPO	64
temps significatif	53
<i>TEMSI</i>	53, 55
Teneur en eau des nuages	19
tête	45
thalweg	8
thermiques	65
thermomètre	11
<i>Thunderstorm</i>	54
TL	64
tonnerre	32
torr	68
Torricelli	12, 68
traîne	45
tramontane	38
tropopause	4, 22, 48
troposphère	4
TS	63
turbulence	57
Turbulence en air clair	54
Turbulences modérée	54
Turbulences sévères	54
type de nuages	57

U

<i>Unités de pression</i>	67, 70
US galons	69
UTC	53

V

VA	63
VAL	54
VENTS	36

Vitesse de chute	19
vitesse du vent	36
<i>vol à voile</i>	66
<i>vol de pente</i>	65

Table des matières

PRÉSENTATION DU DOCUMENT & ACTEURS	2
ILLUSTRATIONS & COPYRIGHTS	2
-I- CONNAÎTRE NOTRE ATMOSPÈRE	4
I. COMPOSITION DE L'ATMOSPHERE.....	4
II. LE DECOUPAGE DE L'ATMOSPHERE ET SA TA TEMPERATURE.....	4
• Exemple d'un vol au niveau de la tropopause.....	6
III. LA TEMPERATURE.....	6
• La constante solaire.....	7
IV. PRESSION.....	7
• La définition macroscopique de la pression.....	7
• La définition microscopique de la pression.....	7
• La pression varie en fonction du moment de la journée (heure) et du lieu.....	8
• Les cartes de pression.....	8
V. L'ATMOSPHERE STANDARD (A RETENIR !).....	9
VI. HUMIDITE.....	9
• Les 3 états de l'eau.....	9
• L'humidité relative et absolue.....	10
• Une notion importante : la chaleur latente de changement d'état.....	10
VII. OBSERVATIONS ET MESURES.....	10
• Les satellites héliosynchrones.....	11
• Les satellites géostationnaires.....	11
• Température.....	11
• Humidité.....	12
• Pression.....	12
-II.1- LES ECHANGES DE CHALEUR	13
I. LA THERMODYNAMIQUE ET L'ATMOSPHERE.....	13
II. LA CHALEUR PEUT S'ÉCHANGER SELON 3 MODES :.....	13
III. LE RAYONNEMENT.....	14
IV. LA CONDUCTION.....	14
V. LA CONVECTION.....	14
VI. UNE QUANTITE IMPORTANTE : LA CHALEUR LATENTE DE CHANGEMENT D'ETAT.....	15
-II.2- LA FORMATION DES NUAGES	16
I. COMMENT SE FORME UN NUAGE ?.....	16
II. ETUDE DETAILLEE DU PROCESSUS DE FORMATION DES NUAGES.....	16
• Formation des nuages cumuliformes :.....	17
• Formation des nuages stratiformes :.....	18
III. DE QUOI LES NUAGES SONT-ILS CONSTITUES ?.....	19
• Les gouttelettes d'eau :.....	19
• Teneur en eau des nuages.....	19
• Les cristaux de glace :.....	19
IV. L'ÉVOLUTION DIURNE DES FORMATIONS NUAGEUSES.....	20
V. L'EFFET DE FOEHN.....	20
VI. L'ONDE, LES ROTORS ET LES NUAGES LENTICULAIRES.....	20

-II.3- LES NUAGES.....	21
I. RAPPEL : QU'EST CE QU'UN NUAGE ?	21
II. RAPPEL : COMMENT SE FORMENT LES NUAGES ?.....	21
III. CLASSIFICATION DES NUAGES PAR LEUR FORME... ELLE-MEME LIE A LEUR FORMATION.	21
• Stabilité et instabilité de l'air.....	21
• La forme des nuages.....	21
IV. REPARTITION VERTICALE DES NUAGES EN ETAGES.....	22
V. LES NUAGES DE MAUVAIS TEMPS, DANGEREUX POUR LA CIRCULATION AERIENNE.....	22
VI. LES 10 CLASSES DE NUAGES... TRIEES PAR ETAGES.....	23
• L'étage supérieur et les Cirrus (qui signifie filaments).....	23
• L'étage moyen... Alto.....	23
• Sur les 3 étages :.....	25
• Différentes sous-espèces.....	25
VII. REPARTITION HORIZONTALE : LA NEBULOSITE.....	25
VIII. NEBULOSITE COMPAREES : EXEMPLES.....	26
-II.4- LES PRECIPITATIONS.....	28
I. LES DIFFERENTES FORME DE PRECIPITATIONS.....	28
II. COMMENT SE FORMENT LES PRECIPITATIONS ?.....	28
• Pourquoi des précipitations ?.....	28
• L'effet de coalescence ou de captation.....	29
• L'effet Bergeron.....	29
III. EFFETS BERGERON ET COALESCENCE ... EN DETAIL.....	29
• L'effet Bergeron.....	29
• L'effet de coalescence ou de captation.....	30
• Importance de l'effet de coalescence ou de captation.....	30
-II.5 - LES PHENOMENES DANGEREUX POUR L'AVIATION.....	31
I. EVOLUTION D'UNE CELLULE ORAGEUSE.....	31
• 1 – La formation.....	31
• 2 - La maturité.....	31
• 3 - La dissipation.....	31
II. ORAGE DE GRELE.....	31
• Mécanisme de formation.....	31
III. LA FOUDRE ET LES ECLAIRS.....	32
• Les orages créent des éclairs.....	32
• L'électrification du nuage d'orage.....	32
• La décharge.....	33
IV. BRUMES ET BROUILLARDS (RAPPEL : NUAGES STRATIFORMES).....	33
• Définitions différenciant la brume et le brouillard.....	33
• Les processus de formation définissent les différents types de brouillard :.....	33
V. ACCIDENTS ET INCIDENTS SPECTACULAIRES.....	34
• Grêle sur un Boeing 737 EasyJet le 15 août 2003.....	34
• Caribbean Airlines - Boeing 737 Georgetown, Guyana 30 Juillet 2011.....	35
• Nuage ? Non éruption volcanique en Islande... ou ailleurs !.....	35
-III- VENTS ET BRISÉS.....	36
I. OBSERVATIONS ET MESURES.....	36
• Mesure du vent en surface.....	36
• Mesure du vent en altitude.....	36
• Unités et représentation.....	36
II. VENT ET CHAMP DE PRESSION.....	37
• Direction du vent règle de Buys -Ballot.....	37
• Force ou vitesse du vent.....	37
III. VENTS LOCAUX.....	38
• Mistral.....	38
• Tramontane.....	38

•	Autan.....	38
1)	BRISES.....	38
•	Brise de mer.....	38
•	Brises de vallee et de pente.....	39
-IV-	LES FRONTS.....	40
I.	CIRCULATION GENERALE.....	40
II.	LES MASSES D' AIR.....	40
•	Les masses d'air sont classifiées selon deux caractéristiques :.....	41
•	Les masses d'air en Europe :.....	42
III.	LES FRONTS.....	42
IV.	LES NUAGES LIES AUX FRONTS.....	43
V.	LA PERTURBATION.....	44
VI.	OCCCLUSION.....	45
VII.	REPARTITION DES VENTS, DES PRESSIONS ET DES NUAGES AUTOUR D'UNE PERTURBATION. VUE EN COUPE DES FRONTS.....	46
-V-	METEOROLOGIE DE HAUTE ALTITUDE.....	48
I.	LA TROPOPAUSE.....	48
II.	LES JET STREAM.....	48
•	LE JET STREAM POLAIRE.....	49
•	LE JET STREAM SUBTROPICAL.....	50
III.	LES FRONTS ET SYSTEMES NUAGEUX DES REGIONS TROPICALES.....	50
IV.	LE FRONT INTERTROPICAL (FIT).....	50
V.	LES ONDES D'EST.....	50
VI.	LES LIGNES DE GRAINS.....	51
VII.	LES CELLULES DE HADLEY.....	51
•	Les courants mondiaux.....	51
•	Les cellules de Hadley.....	51
-VI-	LES CARTES ET LES MESSAGES CARTES ET MESSAGES METEO POUR L'AERONAUTIQUE.....	53
I.	LES CARTES TEMSI:.....	53
•	Les abréviations et symboles utilisés (Cartes et messages) :.....	54
•	Une carte TEMSI:.....	55
•	Une autre carte TEMSI:.....	56
•	Exemple de lecture d'une carte TEMSI ?.....	57
II.	CARTES DE VENTS ET TEMPERATURES:.....	58
III.	LE METAR:.....	59
•	Lecture du METAR n°1.....	59
•	Lecture du METAR n°2.....	59
•	Lecture du METAR n°3.....	60
•	Lecture du METAR n°4.....	60
•	Exercice de lecture d'un METAR.....	60
IV.	LE TAF:.....	61
•	Lecture du TAF n°1.....	61
•	Lecture du TAF n°2.....	62
•	Lecture du TAF n°3.....	62
V.	LE SIGMET:.....	62
•	Lecture du SIGMET n°1.....	62
•	Lecture du SIGMET n°2.....	63
VI.	QUELQUES TERMES UTILISES DANS LES MESSAGES METEO.....	63
•	Correction de l'exercice de lecture de METAR.....	64
	L'AÉROLOGIE ET LE VOL DES PLANEURS.....	65
I.	LES ASCENSEURS POUR PLANEURS.....	65
II.	LE VOL DE PENTE.....	65
III.	L'ONDE.....	66

IV. INTERNET ET LE VOL A VOILE	66
UNITES DE PRESSION ATMOSPHERIQUE.	67
I. IL N'Y A QU'UNE SEULE DEFINITION DE LA PRESSION !	67
II. MAIS ON A AU MOINS (*) 3 UNITES POUR LA PRESSION ATMOSPHERIQUE !	67
• Le bar et le millibar (mb).....	67
• Le Pascal et l'hectopascal.....	68
• Le mercure (torr, mm et pouces...) un gros sac d'embrouilles ?	68
III. TANT QU'ON Y EST... LE PSI ! (ON VA BIENTOT EN AVOIR BESOIN DU PSY !)	68
• Le psi (livre par pouce carré !).....	68
IV. ET SI ON MELANGEAIT TOUT SUR LE MEME TABLEAU ?	69
V. PILOTES ! ALLEZ AU PLUS SIMPLE... ..	69
• Le pilote ne regarde que les couleurs des cadrans.....	69
TABLE D'ATMOSPHERE STANDARD.....	70
CONSEILS D'UTILISATION.....	76

Conseils d'utilisation

En version modifiable (Word)

Ajout d'un renvoi vers la table d'Index.

*Sélectionner le mot ou le groupe de mot puis la combinaison de touches **Maj+Alt+X***

Choisir vos options puis valider.

Avant impression du document complet. (*Avantage = pagination + index + table des matières*)

Vérifier ensuite en mode aperçu qu'il n'y a pas de pages blanches, des erreurs de numérotation ou des polices anormales (des bugs de Word assez pénibles).

Mettre ensuite à jour les références (table des matières et index)

Clic droit sur les éléments actifs (tables des matières simplifiée du début et la complète de la fin ainsi que sur l'index) pour une MISE à JOUR des CHAMPS ou mieux de toute la table en commençant si possible par la fin.