

Thème n°1 : **Météorologie**

1. Historique

Définition :

La **météorologie**, science qui étudie l'atmosphère terrestre. Elle a pour objet d'en connaître les états pour comprendre les phénomènes qui s'y déroulent afin de décrire le temps qu'il fait et de prédire le temps qu'il fera. La météorologie observe et étudie les trente premiers kilomètres de l'atmosphère en contact avec la surface de la Terre: la troposphère et la stratosphère inférieure.

Le 14 novembre 1854, une terrible tempête, survenant sans la moindre alerte lors de la guerre de Crimée (1853 – 1856), traverse l'Europe d'ouest en est, causant la perte de 41 navires dans la Mer Noire. Suite à cette catastrophe, le Ministère de la guerre de l'époque chargea l'astronome **Urbain Le Verrier** (1811 – 1877) de trouver les causes de ce désastre. Le Verrier et Emmanuel Liass, son directeur adjoint, entreprennent alors (le 16 février 1855), à la demande de Napoléon III, de mettre en place un réseau d'observatoires météorologiques sur le territoire français, destiné avant tout aux marins afin de les prévenir de l'arrivée des tempêtes. Ce réseau regroupe 24 stations dont 13 reliées par télégraphe, puis s'étendra à 59 observatoires répartis sur l'ensemble de l'Europe en 1865 : dès 1863, la première prévision météorologique (prévision à 24 heures grâce à des cartes et bulletins météorologiques quotidiens) destinée au port de Hambourg est réalisée. C'est la naissance de la météorologie moderne.

Source : [Wikipedia.org \(Urbain Le Verrier\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Urbain_Le_Verrier)



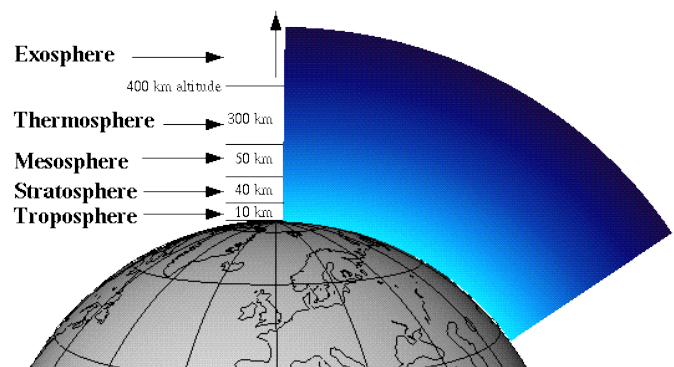
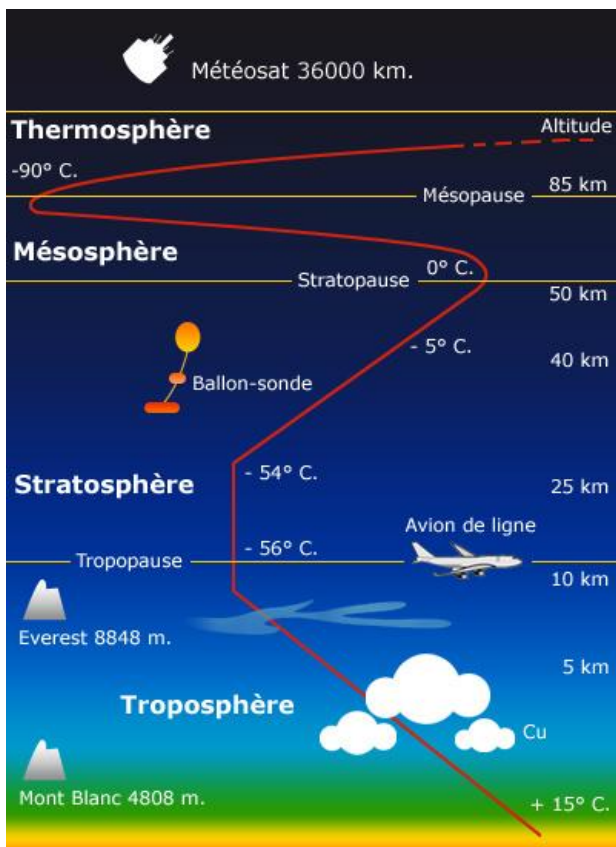
Urbain Jean Joseph Le Verrier
(1811 – 1877)

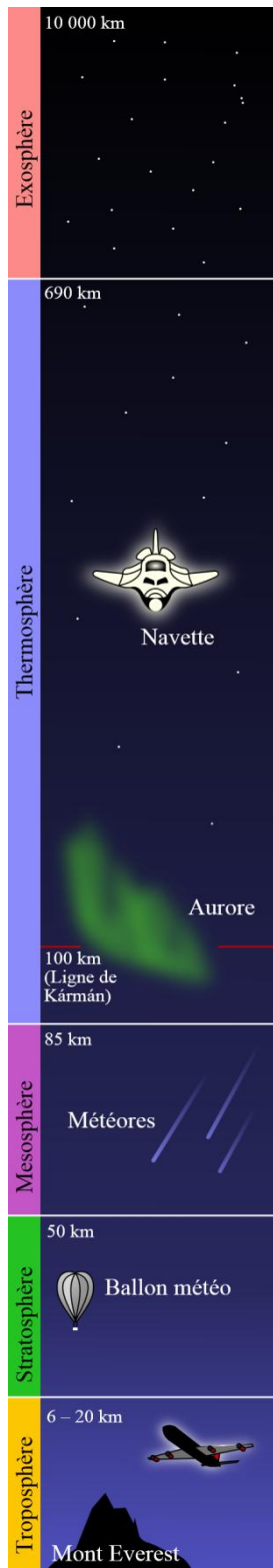
2. L'atmosphère

L'**atmosphère terrestre** est l'enveloppe gazeuse entourant la Terre que l'on appelle « air ».

2.1. Structure

L'atmosphère est divisée en plusieurs couches d'importance variable. Leurs limites ont été fixées selon les discontinuités dans les variations de la température, en fonction de l'altitude :





L'**exosphère** commence avec l'exobase, qui est aussi connu comme le « niveau critique », vers 500 – 1 000 km et s'étire jusqu'à plus de 10 000 km d'altitude. Elle contient des particules circulant librement et qui migrent ou proviennent de la magnétosphère ou du vent solaire.

L'**ionosphère** chevauche à la fois la thermosphère et l'exosphère (voir la remarque).

La **thermopause** est la limite supérieure de la thermosphère. Elle varie entre 500 et 1 000 km d'altitude.

La **thermosphère** est la couche atmosphérique commençant vers 80 – 85 km et allant jusqu'à 640 km d'altitude. La station spatiale internationale orbite dans cette couche à une altitude maintenue autour de 350 à 400 km.

La **mésopause** est la frontière entre la mésosphère et la thermosphère. C'est le lieu le plus froid de la Terre, avec une température de $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (173,1 K).

La **mésosphère** s'étend de 50 km à environ 80 – 85 km. C'est dans cette couche que la plupart des météoroïdes se consomment (brûlent) en entrant dans l'atmosphère.

La **stratopause** est la limite entre la stratosphère et la mésosphère. Elle se situe vers 50 – 55 km d'altitude. La pression représente environ 1/1000 de la pression atmosphérique au niveau de la mer.

La **stratosphère** s'étend de la tropopause, entre 7 et 17 km et environ 50 km. La stratosphère contient la majeure partie de la **couche d'ozone**.

La **tropopause** est la frontière entre la troposphère et la stratosphère.

la **troposphère** est la partie la plus basse de l'atmosphère ; elle commence à la surface et s'étend entre 7 et 8 km aux pôles et de 13 à 16 km à l'équateur, avec des variations dues aux conditions climatiques. Elle contient 80 à 90 % de la masse totale de l'air et la quasi-totalité de la vapeur d'eau. C'est la couche où se produisent les phénomènes météorologiques (nuages, pluies, etc.) et les mouvements atmosphériques horizontaux et verticaux (convection thermique, vents).

Remarque :

L'**ionosphère** est la partie de l'atmosphère ionisée par les radiations solaires, s'étire de 60 à 800 km et se constitue de trois couches : la couche D (60 à 90 km), la couche E (90 à 120 km), et la couche F (120 à 800 km). Elle chevauche à la fois la thermosphère et l'exosphère. Elle joue un rôle important dans l'électricité atmosphérique et forme le bord intérieur de la magnétosphère. Grâce à ses particules chargées, elle a une importance pratique car elle influence, par exemple, la propagation des ondes radio sur la Terre. Elle est le lieu où se déroulent les aurores et les phénomènes lumineux transitoires liés aux orages.

2.2. Composition de l'atmosphère terrestre

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'atmosphère terrestre :

Gaz	Volume (%)
Diazote (N ₂)	78,084 %
Dioxygène (O ₂)	20,946 %
Argon (Ar)	0,9340 %
Dioxyde de carbone (CO ₂)	0,0400 % (en mai 2014)
Néon (Ne) Hélium (He) Méthane (CH ₄) Krypton (Kr) Dihydrogène (H ₂) Monoxyde d'azote (NO) Protoxyde d'azote (N ₂ O) Xénon (Xe) Ozone (O ₃) Dioxyde d'azote (NO ₂) Iode (I ₂) Monoxyde de carbone (CO) Ammoniac (NH ₃)	Très faible quantité
Vapeur d'eau (H ₂ O)	de < 1 % à ~ 5 % (très variable)

Air sec

Remarque : d'autres éléments d'origine naturelle sont présents en plus faible quantité, dont la poussière, le pollen et les spores ainsi que des virus, bactéries. De très nombreux aérosols d'origine naturelle ou anthropique sont aussi présents dans l'air, ainsi que des polluants. Ce sont notamment le CO (contrairement à une idée reçue, le CO₂ n'est pas un polluant de l'air mais un gaz à effet de serre qui a peu d'effet direct sur la santé), les matières particulaires, les oxydes d'azote, le chlore (élémentaire ou surtout composés), le fluor (composés), le mercure et le soufre (en composé tel que le SO₂). Les régions agricoles sont aussi sources de méthane (fermentation des lisiers, rizières), de pesticides (plus ou moins solubles dans l'air ou dans l'humidité de l'air selon leur tension de vapeur, d'azote (issu des engrais).

Source : [Wikipedia.org \(Atmosphère terrestre\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Atmosph%C3%A8re_terrestre)

A RETENIR :

La composition chimique de l'atmosphère comprend, pour l'essentiel :

- Diazote : **78%**
- Dioxygène : **21%**
- Gaz rares (Argon, Néon, Hélium...), vapeur d'eau et dioxyde de carbone : **1 %**

2.3. La pression atmosphérique

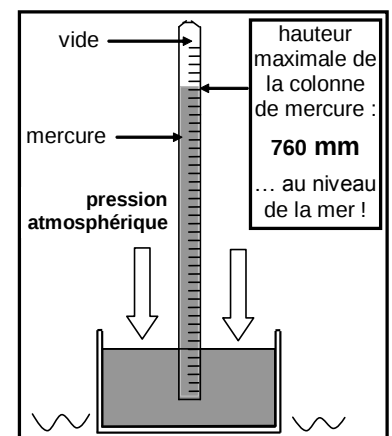
2.3.1. Définition

La pression atmosphérique résulte des chocs des molécules d'air entre elles et avec les objets dans l'atmosphère. C'est, avec la température, un paramètre fondamental en météo pour prévoir le temps qu'il fera.

Historiquement, les premières mesures de la pression atmosphérique ont été effectuées par **Evangelista Torricelli** (1608 - 1647), physicien et mathématicien italien, dans les canaux de VENISE. De là fut mis au point un instrument pour la mesurer, le baromètre. Celui-ci utilise du mercure (Hg) pour mesurer la pression atmosphérique. La première unité de mesure de la pression atmosphérique fut le millimètre de mercure (mmHg) ou le pouce de mercure (InHg) pour les Anglo-saxons.

Dans le système international d'unités, la **pression se donne en Pascal**. En météo il est plus pratique d'utiliser l'**hectopascal** (1 hPa = 100 Pa). On utilise également le millibar (1 mbar = 1 hPa).

La valeur moyenne au niveau de la mer est de 1013 hPa soit 760 mmHg.

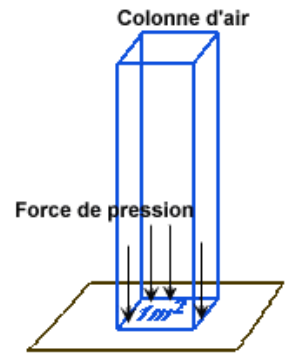


Dans l'atmosphère, la pression en un point est pratiquement égale au poids d'une colonne d'air de section horizontale égale à 1 m² et située au-dessus du point de mesure (jusqu'au sommet de l'atmosphère).

La pression (P) d'un gaz est donc une force (F) par unité de surface (S) :

$$P = \frac{F}{S}$$

$\begin{matrix} \text{Pa} & \nearrow & & \nwarrow \\ & P = & \frac{F}{S} & \\ (\text{N.m}^{-2}) & & & \nearrow \\ & & \text{m}^2 & \end{matrix}$



A RETENIR :

- La pression atmosphérique se mesure à l'aide d'un **baromètre** ;
- L'unité de pression dans le système international est le **Pascal** (symbole : **Pa**) :

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N.m}^{-2}$$

⇒ 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.

- On retiendra les équivalences suivantes :

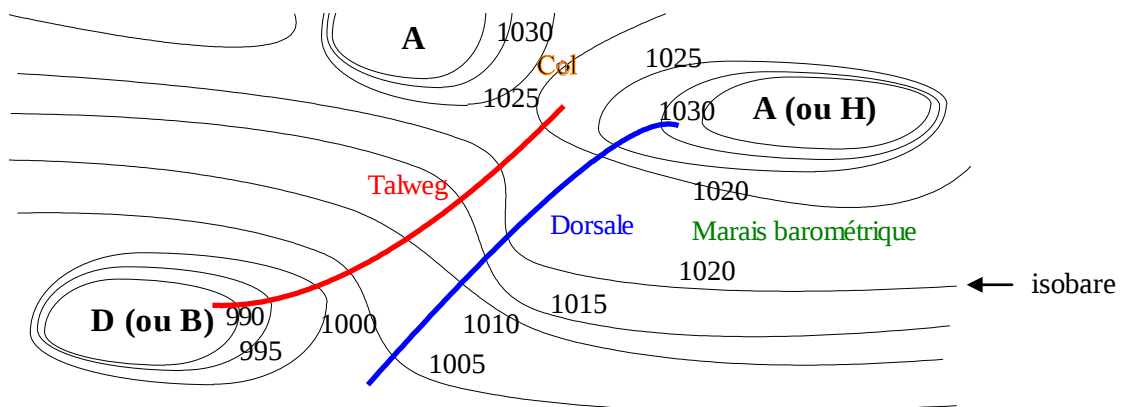
$$1013 \text{ hPa} = 1013 \text{ mbar} = 760 \text{ mmHg} (= 29,92 \text{ inHg})$$

$$1 \text{ hPa} = 1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$$

2.3.2. Les cartes de pression

Les météorologues analysent les variations horizontales de la pression atmosphérique pour localiser et suivre les systèmes météorologiques : cela permet de définir, sur les cartes, les zones de **dépressions**, les zones **anticycloniques** et les **isobares**.



A RETENIR :

- Un **anticyclone** (**A** en français ou **H** (High) en anglais) est une région de l'atmosphère où la pression est élevée par rapport à celle du voisinage au même niveau ;
- Une **dépression** (**D** en français ou **L** (Low) en anglais) est une région de l'atmosphère où la pression est plus basse que dans le voisinage au même niveau ;
- On trouve sur les cartes météorologiques des courbes joignant les points de même pression, ramenée au niveau de la mer : les **isobares**.

Remarques :

- Un **thalweg** (ou talweg), encore appelé *creux barométrique*, est une région de basse pression de l'atmosphère, issue d'une dépression, prenant à l'horizontale une forme suffisamment allongée pour qu'on puisse y distinguer un axe passant par son centre. Les creux barométriques sont donc analogues à une vallée géographique : le creux s'étend depuis la dépression le long d'un axe passant par son centre ;

- Une **dorsale** anticyclonique est une crête de hautes pressions ;
- Les **cols** sont des zones situées entre des dépressions ou des anticyclones et marquant une inversion de sens d'évolution de la pression ;
- Un **marais barométrique** est une zone où la pression varie peu.

Ainsi, du point de vue microscopique, la température est liée directement à cette agitation thermique qui provoque d'innombrables chocs de ces molécules les unes contre les autres et produit de l'énergie sous forme de chaleur.

A RETENIR :

- La température se mesure à l'aide d'un **thermomètre** ;
- Sur une carte météorologiques, les courbes joignant les points de même température sont appelées des **isothermes** ;
- Relation entre la température absolue (Kelvin) et la température exprimée en degrés Celsius (°C) :

$$\theta (^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (1^{\circ}\text{C} = 1\text{K})$$

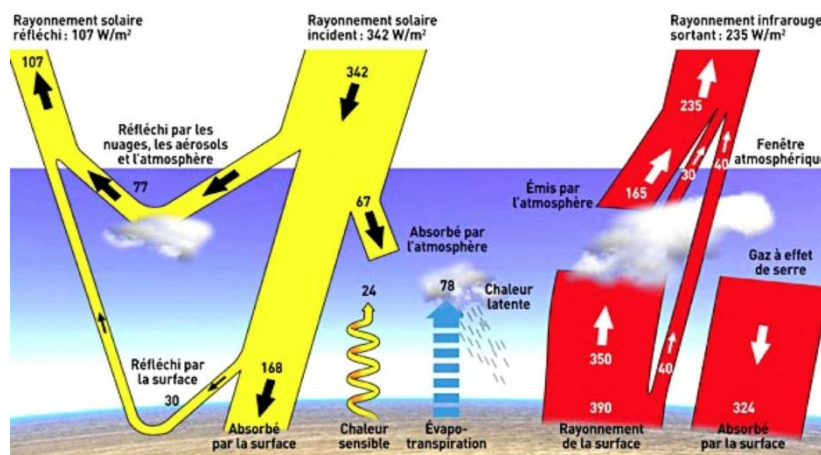
⇒ On définit un « zéro absolu », lorsque toute agitation thermique cesse, qui correspond à la température la plus basse possible dans l'Univers et sert de point de départ à l'échelle Kelvin :

$$0\text{ K ou } - 273,15^{\circ}\text{C}$$

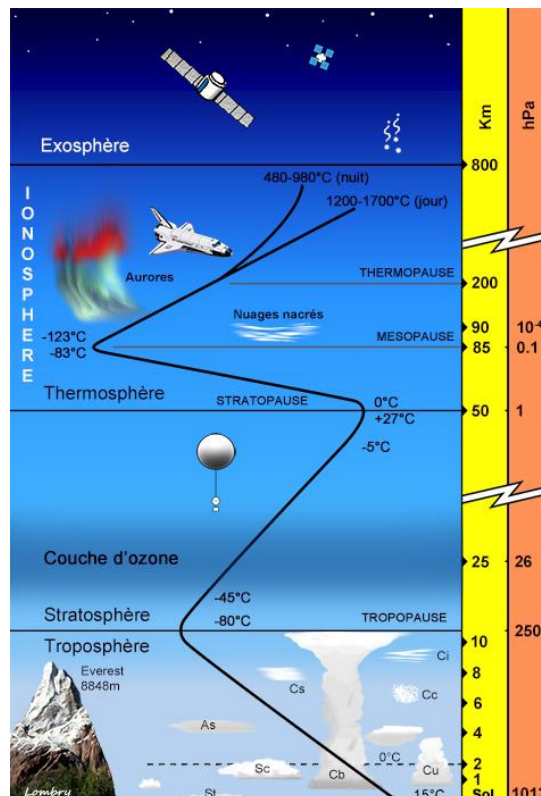
2.4.2. Évolution de la température avec l'altitude

La température de l'atmosphère est très variable, au cours du temps et suivant les lieux. Elle résulte d'un bilan énergétique complexe dans lequel interviennent le soleil, l'effet de serre et la chaleur propre de la Terre.

Les variations de température influent beaucoup sur les phénomènes météorologiques.



Évolution de la température :



A RETENIR :

Dans la troposphère, la température décroît de **2°C tous les 1000 ft** (⇔ 6,5 °C tous les 1000 m).

2.5. Atmosphère standard

Afin de baser tous les altimètres sur une même loi de variation de la pression en fonction de l'altitude, l'O.A.C.I. (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) a défini une **atmosphère standard**. Elle correspond aux conditions moyennes de température et de pression que l'on rencontre dans l'atmosphère.

Caractéristiques de l'atmosphère standard O.A.C.I. :

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

→ C'est cette référence qui permet d'étalonner les altimètres, d'assurer la sécurité des aéronefs et d'homologuer des records.

Remarque : 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.

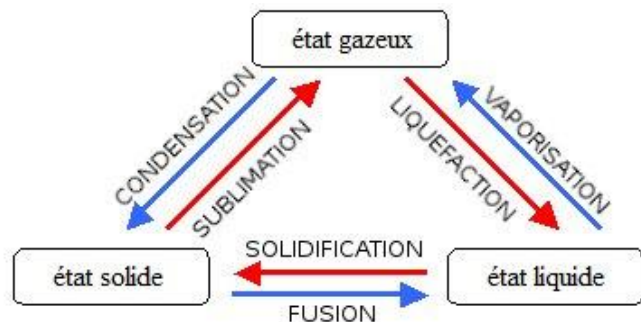
3. La circulation générale atmosphérique

La « **circulation générale** » désigne les mouvements de l'atmosphère et de l'océan qui se produisent et interagissent à l'échelle de la planète. La circulation générale répartit les vents en surface de l'équateur aux pôles. Elle est accompagnée de phénomènes météorologiques tels que les perturbations dans les régions tempérées, les cyclones tropicaux, les Alizés, ou encore El Niño.

3.1. Humidité de l'air

L'eau se présente sur Terre 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).

Chaque passage d'un état physique à un autre porte un nom particulier :



Les changements d'état de l'eau

→ Le plus étudié en météorologie est le passage de l'état gazeux à l'état liquide appelé la **liquéfaction** (ou condensation dans la vie courante, par abus de langage).

A RETENIR :

- 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 liquéfaction (« 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 la masse (en gramme) de vapeur d'eau contenue dans un kilogramme d'air humide (de 5 à 15 en moyenne) ;
- L'**humidité relative** (ou **degré hygrométrique**) 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.

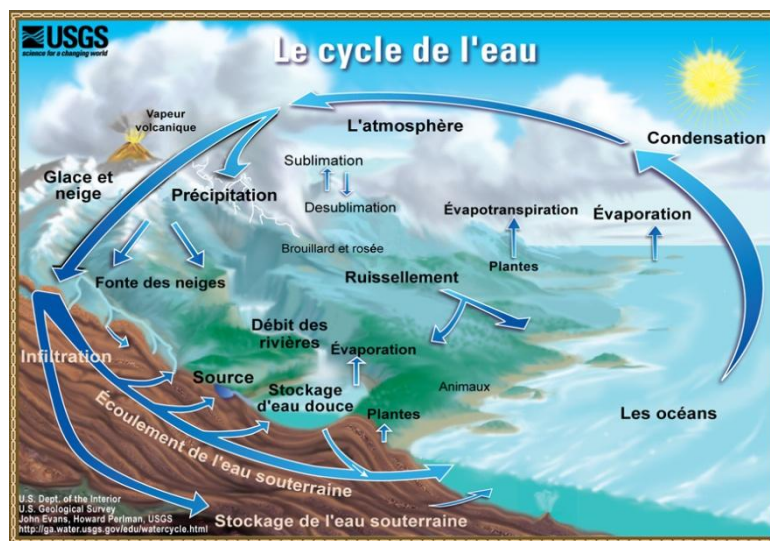
Remarques :

- L'humidité relative se mesure à l'aide d'un **hygromètre** ;
- Le **point de rosée** de l'air est la température à laquelle il faut refroidir un volume d'air, à pression et humidité constantes, pour qu'il devienne saturé (humidité relative de 100%). Lorsque le point de rosée est atteint, la vapeur d'eau se condense sous forme de gouttelettes. Plus l'humidité du gaz est importante, plus le point de rosée est élevé (en degré Celsius).

Le cycle de l'eau

Le **cycle de l'eau** (ou **cycle hydrologique**) est un modèle représentant le parcours entre les grands réservoirs d'eau liquide, solide ou de vapeur d'eau sur Terre.

Le « moteur » de ce cycle est l'énergie solaire qui, en favorisant l'évaporation de l'eau, entraîne tous les autres échanges : chauffée par le rayonnement solaire, l'eau des mers, des lacs, des rivières, etc., **s'évapore** peu à peu puis se disperse dans l'atmosphère sous la forme de vapeur d'eau. En rencontrant des zones d'air froid, la vapeur d'eau se liquéfie en de minuscules gouttelettes d'eau, qui peuvent se solidifier sous la forme de cristaux de glace si l'air se refroidit suffisamment, et forme alors les **nuages**.



3.2. Les vents

3.2.1. Définitions

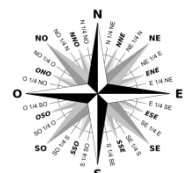
Le **vent** est le mouvement, au sein de l'atmosphère, d'une masse de gaz (ou d'une partie de ce gaz) située à la surface de la Terre.

L'inégalité de la répartition de l'énergie solaire sur la surface de la Terre engendre des variations de température et de pression en fonction de la latitude : l'air est entraîné des zones de haute pression vers les zones de basse pression. Les **vents** sont globalement provoqués par ce réchauffement inégal et par la rotation de la planète. **En pratique lorsque l'on observe les isobares d'une carte météorologique, plus elles sont serrées et plus le vent est fort.**

Ils sont généralement classifiés selon leur ampleur spatiale, leur vitesse (ex : échelle de beaufort), leur localisation géographique, le type de force qui les produit et leurs effets.

A RETENIR :

- La vitesse du vent est mesurée avec un **anémomètre** mais peut être estimée par une **manche à air**, un drapeau, etc.
- La vitesse du vent s'exprime en kilomètres par heure (km/h), en mètres par seconde (m/s) ou en nœuds (**kt** pour knot avec 1 knot = 1,852 km/h) ;
- La direction du vent est donnée par une **girouette** ;
- On identifie les vents en fonction de leur provenance grâce à la **rose des vents** (ci-contre) ;



3.2.2. [Les anticyclones et les dépressions](#)

3.2.2.1. [La force de Coriolis](#)

La **force de Coriolis** est une force agissant perpendiculairement à la direction du mouvement d'un corps en déplacement dans un milieu.

En l'absence de rotation de la Terre, les différences de pression dans l'atmosphère induirait un déplacement d'air des zones de haute pression vers les zones de basse pression. Ainsi, si la Terre ne tournait pas sur son axe, la circulation de l'air (= vent) serait rectiligne entre les régions de haute pression (anticyclones) et les régions de basse pression (dépressions).

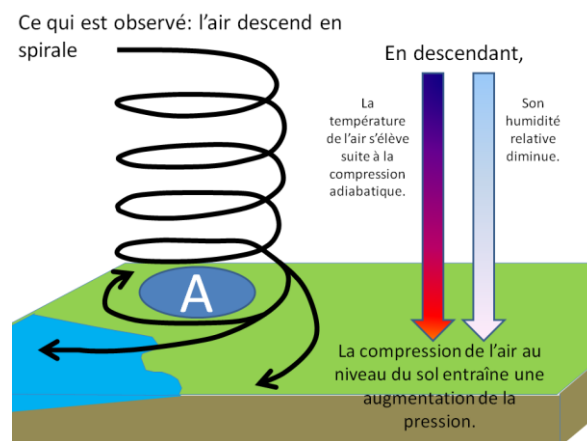
Cependant, la rotation de la Terre entraîne une déviation de la circulation de l'air sous l'effet de la **force de Coriolis** :

- Déviation vers la droite (« vers l'est ») dans l'hémisphère Nord ;
- Déviation vers la gauche dans l'hémisphère Sud.

3.2.2.2. [Les anticyclones](#)

L'air au-dessus d'une région froide est également froid. Il tend donc à descendre au sol. Ceci provoque au niveau du sol une zone de haute pression, appelée **anticyclone**.

Dans cette zone de haute pression le vent se déplace dans le sens **des aiguilles d'une montre** dans l'Hémisphère Nord :



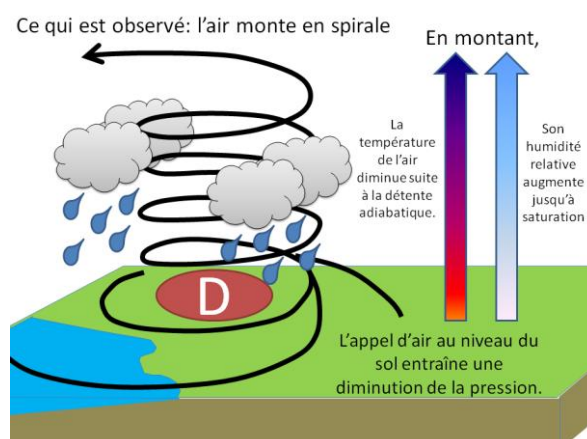
C'est l'inverse d'ans l'hémisphère Sud

→ Dans les **zones anticycloniques**, habituellement, le vent y est faible et le temps est beau avec un ciel souvent bien dégagé. Ce système engendre, en été du beau temps, mais en hiver, occasionne un ciel clair et du temps froid ou un ciel nuageux.

3.2.2.3. [Les dépressions](#)

L'air au-dessus d'une région chaude (l'équateur, par exemple) est réchauffé. Il s'élève à mesure qu'il se réchauffe car il devient plus léger. Ceci provoque au niveau du sol une zone de basse pression, appelée **dépression**.

Dans cette zone de basse pression le vent se déplace dans le sens **contraire des aiguilles d'une montre** (dans l'Hémisphère Nord) :

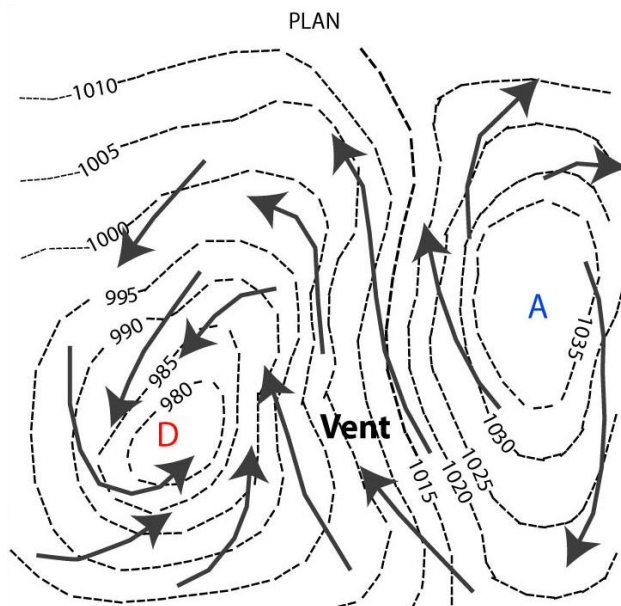


C'est l'inverse d'ans l'hémisphère Sud

On peut aussi l'expliquer par l'action du Jet-Stream (voir §3.4) dont le comportement instable peut forcer l'air à s'élever et ainsi abaisser la pression en surface. En réponse à cette baisse de pression, les masses d'air avoisinantes se dirigent vers la dépression dans un mouvement en spirale dans le sens anti-horaire (dans l'Hémisphère Nord).

→ Dans les **zones de dépression**, le vent y est plutôt fort et le temps est mauvais avec un ciel nuageux. Ce système engendre généralement du mauvais temps, des vents violents et de la pluie abondante.

EN RÉSUMÉ :



3.2.2.4. [Les cols](#) (voir §2.3.2)

Zone située entre des dépressions ou anticyclones et marquant une inversion de sens d'évolution de la pression. Dans cette zone les vents sont relativement calmes et de direction variable. Le temps est également variable.

3.2.2.5. [Les marais barométriques](#) (voir §2.3.2)

Ce sont de vastes zones où la pression évolue très peu. Dans cette zone, les vents sont faibles et de direction très variable. Il s'agit d'une zone de mauvais temps stagnant.

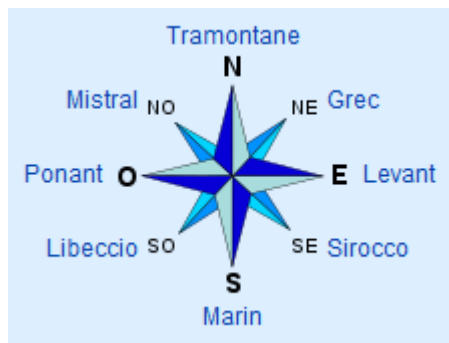
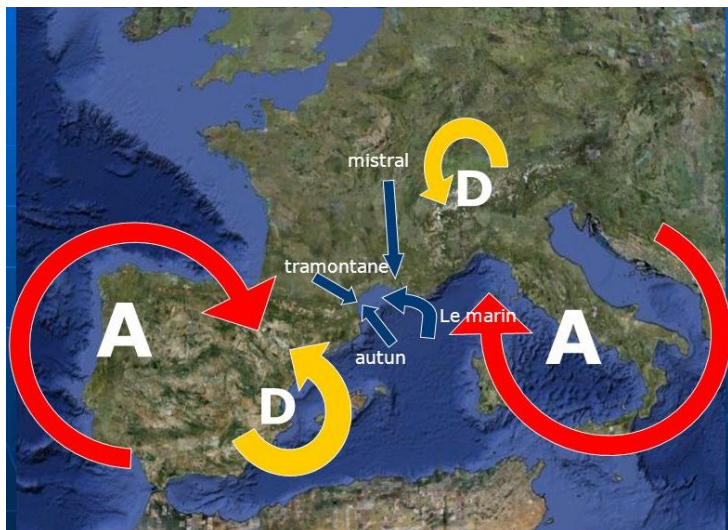
3.2.2.6. [Les dorsales](#) (voir §2.3.2)

Il s'agit d'une avancée d'un anticyclone dans les zones de pression plus basse. Le temps dans cette région est en général beau.

3.2.2.7. [Les thalwegs](#) (voir §2.3.2)

C'est une avancée des zones de basse pression. Il s'agit souvent de l'effet d'un front froid. On y rencontre des vents assez forts et du mauvais temps.

3.3. [Les vents locaux](#)



Rose des vents sur la mer Méditerranée

3.3.1. [Le mistral](#)

Le **mistral** est un vent régional froid (surtout en température ressentie) et généralement sec, soufflant le jour à une vitesse moyenne de 50 km/h avec des rafales supérieures à 100 km/h. Il parcourt la basse vallée du Rhône et la Provence et envahit le littoral méditerranéen à partir de la Camargue.

De secteur nord dans la vallée du Rhône, la direction du mistral devient de nord-ouest en région marseillaise, et d'ouest sur la côte varoise et la Corse. Ce vent régional, souvent plus fort en hiver et au printemps, peut durer plusieurs jours, voire plus d'une semaine.

Son apparition est liée à la présence conjointe d'un anticyclone s'étendant de l'Espagne vers le Sud-Ouest à travers le golfe de Gascogne, et d'une dépression dans les parages du golfe de Gênes.

La zone d'influence du mistral est liée au positionnement de cette dépression : lorsque la dépression se situe au nord du golfe de Gênes, le mistral touche également la côte d'Azur. Mais compte-tenu de sa direction de sud-ouest, on ne parle jamais de mistral dans la région niçoise.

La situation la plus favorable à l'apparition du mistral est celle qui succède au passage d'un front froid pluvieux qui atteint la Méditerranée après avoir balayé l'ensemble de la France du nord-ouest au sud-est.

3.3.2. [La tramontane](#)

La **tramontane** est un vent violent et froid de secteur ouest à nord-ouest parcourant les contreforts des Pyrénées et les monts du sud du Massif central. Ce vent régional présente des similitudes avec le mistral : il peut se lever en toute saison mais avec plus de vigueur en hiver et au printemps, et souffle par rafales pouvant dépasser 100 km/h.

La situation météorologique amenant la tramontane est comparable à celle qui engendre le mistral :

- une zone anticyclonique abordant l'Espagne et le sud-ouest de la France ;
- un flux de nord-ouest à nord (souvent sous forme d'un front froid) apporte de l'air froid vers les régions méditerranéennes, entre cet anticyclone à l'ouest et, à l'est, une dépression formée sur le golfe de Gênes ou la mer Tyrrhénienne.

Remarque : la tramontane se forme également lors du déplacement vers l'est d'une perturbation circulant au-dessus de la Méditerranée occidentale. Les régions des îles Baléares ou du golfe du Lion se retrouvent couvertes par une dépression se creusant rapidement au sortir de la péninsule ibérique (en général en automne et au printemps). Des dépressions peuvent également s'y succéder au sein d'un flux s'écoulant du nord-ouest au sud-est en longeant l'anticyclone des Açores (généralement en hiver).

3.3.3. [La brise](#)

Vent doux et irrégulier qui se fait sentir sur les bords de la mer la nuit.

3.3.4. [Le marin](#)

Le **marin** est un vent de secteur sud-est qui souffle sur le golfe du Lion et la Provence.

C'est un vent humide et doux, il se charge en humidité au-dessus de la mer Méditerranée. Il est accompagné de pluies et lève une mer forte.

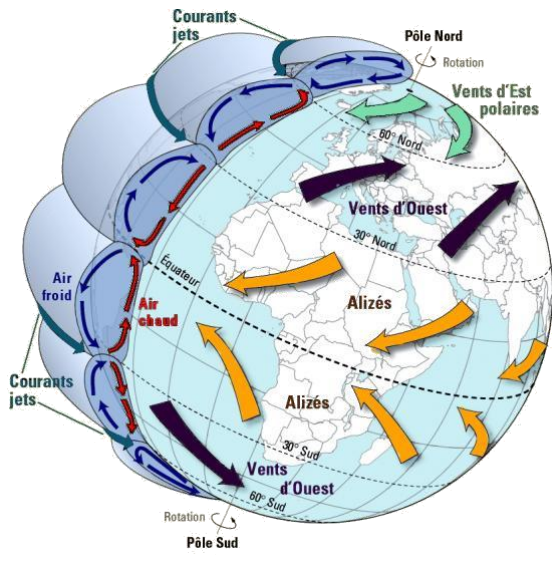
→ Le marin est associé à l'arrivée du front chaud d'une dépression sur la région.

3.3.5. [L'autan](#)

Le **vent d'autan** est un vent soufflant dans le sud/sud-ouest de la France, en provenance du sud-est/sud-sud-est, affectant la partie orientale du bassin aquitain et le sud-ouest du Massif central.

3.4. En haute altitude

A haute altitude, on ne parle plus de vents, mais de **courants**. En effet, l'absence de frottements au sol fait en sorte que la vitesse de ces courants est puissante et régulière.



L'inclinaison de la Terre par rapport au soleil induit des changements dans la quantité d'énergie solaire reçue par les points de la surface du globe : les points situés à l'équateur sont plus chauffés que les points situés aux pôles. Ceci entraîne des différences de température et de pression entre l'air équatorial et l'air polaire. Il en résulte une circulation à l'échelle de la planète entre l'air polaire et l'air équatorial. L'air en mouvement forme ce que l'on appelle une cellule convective.

Ce modèle de la circulation atmosphérique générale traduit assez correctement ce qui se passe à l'échelle de la planète. Les cellules convectives ainsi représentées sont appelées les **cellules de HADLEY**.

← Principaux types de vents qui soufflent de l'équateur vers les tropiques, les alizés, des zones subtropicales vers les cercles polaires, et en provenance des pôles.

Trois types de courants appartiennent à ce groupe :

- les courants **occidentaux** :

Ils se déplacent d'ouest en est et se situent à 5000 m d'altitude. Leur vitesse s'intensifie au fur et à mesure que l'altitude augmente. Elle est à son maximum dans la zone tempérée, mais elle diminue vers la zone équatoriale.

- les courants **orientaux** :

Ils soufflent d'est en ouest, dans une large zone comprise entre le tropique du cancer et celui du capricorne.

- les **courant-jet** (ou **jet stream**) :

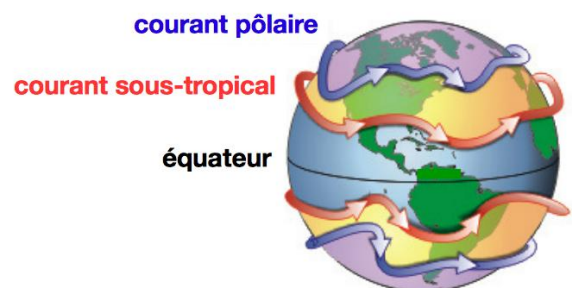
Le courant-jet est un tube de vent très fort situé au sommet de la troposphère, première couche atmosphérique en partant du sol.

Les caractéristiques du courant-jet sont les suivantes :

- altitude : généralement entre 8 et 12 km ;
- épaisseur : quelques km ;
- largeur : une centaine de km.

Situé à une altitude entre 6000 m et 12 000 m, ces mouvements d'air très rapides parcourent des milliers de kilomètres avec des pointes de vitesse pouvant atteindre les 500 km à l'heure ! Leur trajectoire est sinusoïdale et circule sous les zones de dépression et au-dessus de celles d'anticyclone se trouvant à la même latitude.

Remarque : Il y a deux principaux courants-jet sur le globe : le courant-jet subtropical, entre 25° et 30° de latitude, provoqué par hautes pressions subtropicales et, le courant-jet polaire, entre 45 et 60° de latitude.



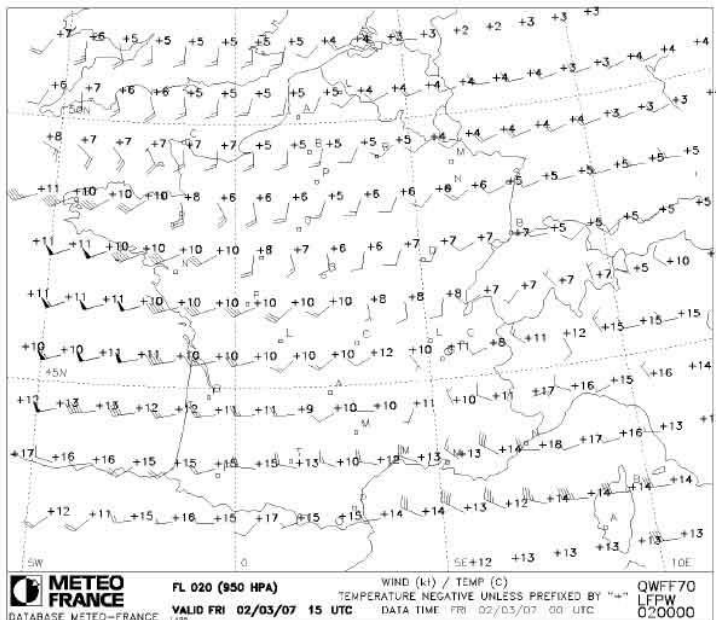
3.5. Carte des vents

La carte des vents est une représentation du vent prévu sur une zone géographique donnée (direction + force) mais également les températures (+5 = 5°C, 5 = -5°C).

Les services de météorologie aéronautique fournissent les informations suivantes sur le vent :

- la direction d'**où il vient** ;
- la vitesse du vent en noeud (1 kt = 1 noeud = 1,852 km/h) ;
- la vitesse des rafales, si nécessaire.

Sur les cartes aéronautiques, il est représenté par un drapeau dont l'extrémité libre du mât indique la direction dans laquelle le vent souffle.



Exemple de carte des vents FRANCE

Légende :

La **hampe** (flèche) indique la direction d'où vient le vent et les **barbules** indiquent la vitesse (en nœud) selon le code suivant :

☉ Vent calme \ 10 nœuds
 — 5 nœuds ▲ 50 nœuds

Exemples :



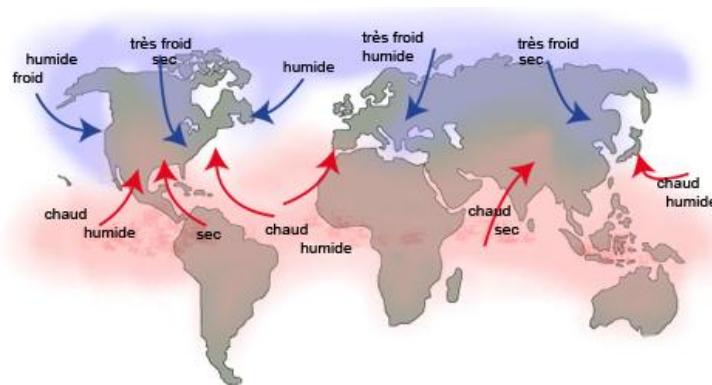
- 1 : un vent du 230 pour 55 kt
- 2 : un vent du 360 pour 25 kt
- 3 : un vent du 035 pour 15 kt
- 4 : un vent du 270 pour 75 kt
- 5 : un vent du 315 pour 30 kt

3.6. Les masses d'air

3.6.1. Définition

Une **masse d'air** est une zone de l'atmosphère où les conditions de température, de pression et d'humidité principalement, varient peu.

Les masses d'air se forment généralement dans de vastes zones géographiques particulières (au-dessus des régions polaires, des régions tropicales, des océans et des continents) où la circulation atmosphérique est lente, stationnaire, stable et continue et acquièrent les caractéristiques de température, d'humidité et de pression locale. Elles 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. L'existence et la structure de la circulation générale proviennent de la différence de rayonnement solaire entre l'équateur et les pôles, ainsi que de la déviation des mouvements de l'air par la rotation du globe terrestre autour de son axe.



3.6.2. Classification des masses d'air

Les masses d'air sont classifiées selon deux caractéristiques :

- La température :

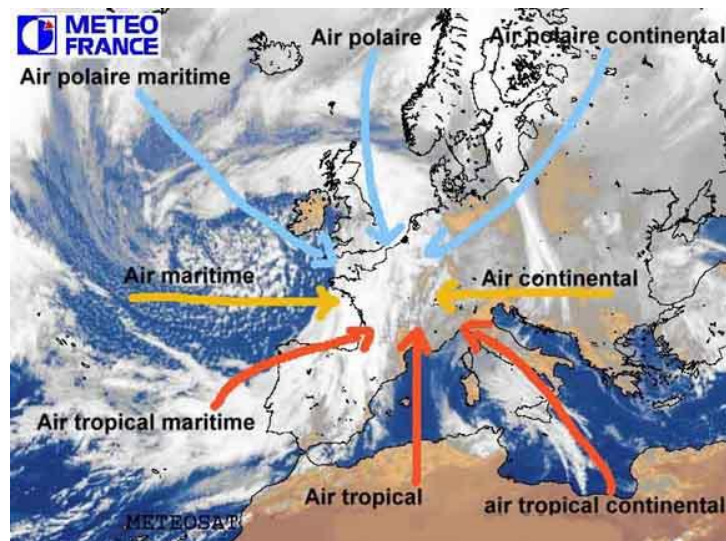
Très froide	Masse d'air arctique	(A)
Froide	Masse d'air polaire	(P)
Chaude	Masse d'air tropicale	(T)
Très chaude	Masse d'air équatoriale	(E)

- L'humidité :

Sèche	Masse d'air continentale	(C)
Humide	Masse d'air maritime	(M)

→ Plusieurs combinaisons sont possibles pour former les masses d'air ([lien](#)).

3.6.3. [Les masses d'air en France](#)



3.7. [Les nuages](#)

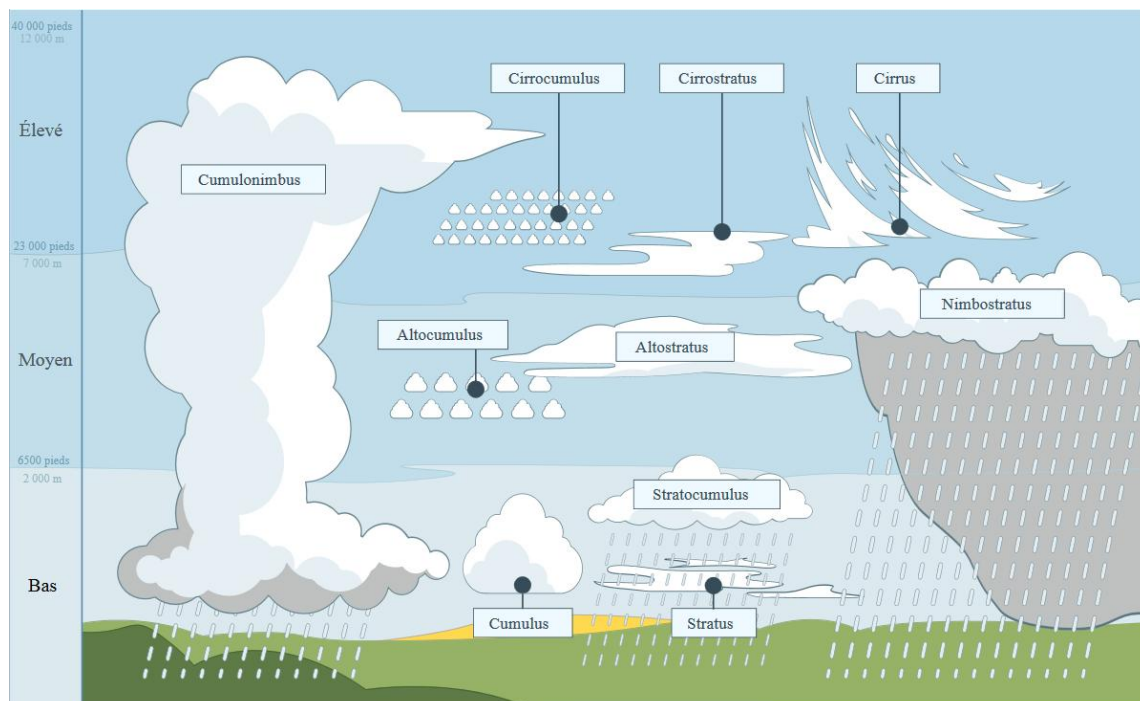
3.7.1. [Définition](#)

Un **nuage** est une masse visible constituée initialement d'une grande quantité de gouttelettes d'eau (parfois de cristaux de glace associés à des aérosols chimiques ou des minéraux) en suspension dans l'atmosphère au-dessus de la surface d'une planète.

3.7.2. [Classification des nuages](#)

Les nuages dans l'**Atlas international**⁽¹⁾ (ou plus simplement *Atlas des nuages*) des nuages sont classés en 10 genres (montrés dans l'image ci-dessous) :

- 3 genres « principaux » : **Cirrus** (nuages élevés), **Stratus** (nuages bas à développement horizontal), et **Cumulus** (nuages généralement bas à développement vertical) avec d'autres types dérivés ;
- 3 genres intermédiaires des 3 précédents : **Cirrostratus**, **Cirrocumulus** et **Stratocumulus** ;
- 4 genres dérivés des Cumulus et Stratus : **Altostratus** et **Altostratus** pour les nuages dont la base est à plus de 2 km d'altitude, et de **Cumulonimbus** et **Nimbostratus** pour les nuages capables de donner de fortes précipitations.



¹ Ouvrage dont les objectifs initiaux étaient d'aider à la formation des météorologistes et de promouvoir un vocabulaire plus cohérent pour la description des nuages.

→ Voir document « [Reconnaitre les nuages - Météo France](#) »

Pour aller plus loin :

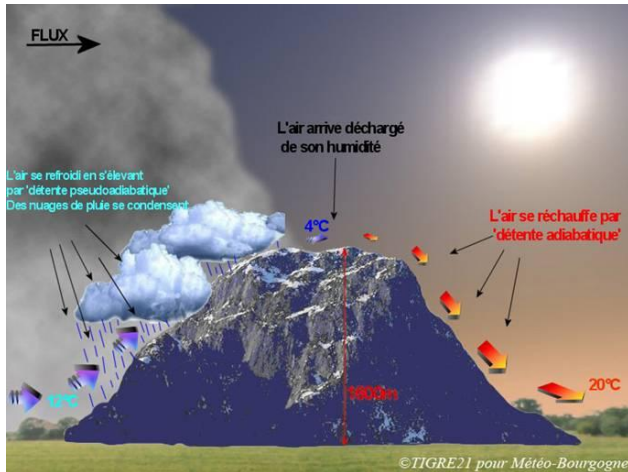
- Pourquoi les nuages ne tombent-ils pas : [lien](#)
- Reconnaitre les nuages - Météo France : [Animation](#)

3.7.3. [Formation](#)

La formation de nuages résulte du refroidissement d'un volume d'air jusqu'à la condensation d'une partie de sa vapeur d'eau. Si le processus de refroidissement se produit au sol (par contact avec une surface froide, par exemple), on assiste à la formation de **brouillard**.

Les nuages se forment selon deux processus : la convection et le soulèvement progressif de la masse d'air.

3.7.4. [L'effet de foehn](#)



Lorsqu'une masse d'air humide se heurte à une montagne (voir schéma), cet air n'a pas d'autre choix que de s'élever au contact de ce relief. **Il se refroidit naturellement d'environ 0,5°C tous les 100 m** (phénomène appelé « détente pseudo-adiabatique »). Il s'en suit une **importante liquéfaction accompagnée de fortes précipitations**.

Arrivé au sommet, l'air s'est débarrassé de la majeure partie de son humidité, mais sa température est descendue. L'air alors commence à redescendre de l'autre côté et se réchauffe naturellement d'environ cette fois **1°C tous les 100 m** (phénomène appelé « détente adiabatique sèche »).

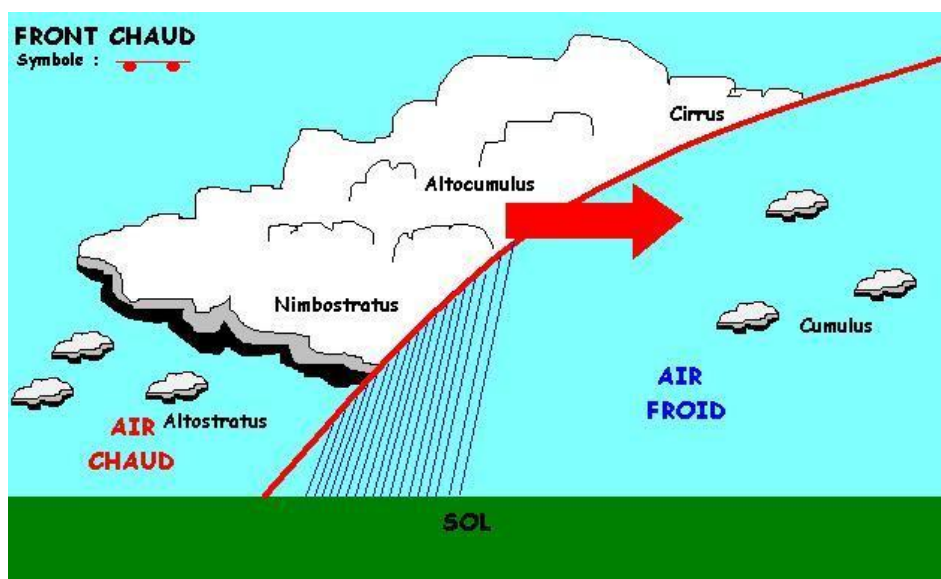
L'air s'assèche encore davantage pendant sa descente puis s'accélère, et après sa descente, il est devenu un air très sec, poussé par un vent fort, et réchauffé. C'est l'**effet de foehn**.

3.8. [Frontologie](#)

Un **front** météorologique est une surface de discontinuité étendue (surface de contact), qui sépare deux masses d'air ayant des propriétés physiques différentes (ex : température, humidité, pression).

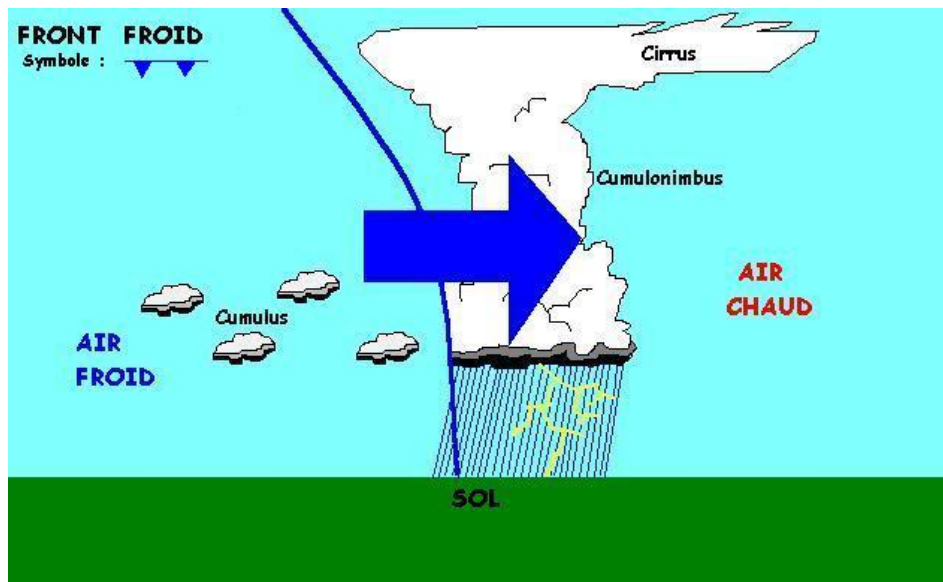
Il existe plusieurs types de fronts :

- Le **front chaud** est la zone où l'air de la masse d'air la plus chaude est déplacée vers celle plus froide par les vents (l'air chaud progresse vers une zone d'air froid) ;



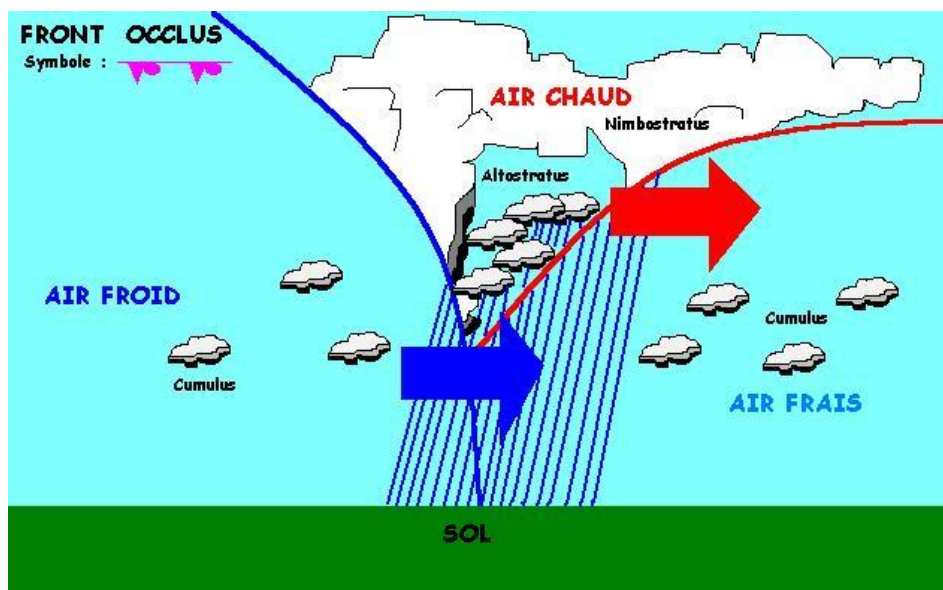
→ Comme l'air chaud est moins dense, il glisse au-dessus de l'air froid et provoque la formation des nuages en s'élevant. Souvent, des pluies prolongées précèdent le déplacement d'un front chaud.

- Le **front froid** est l'endroit où la masse d'air froid se déplace vers celle plus chaude ;



→ L'air froid, plus dense, glisse sous la masse d'air chaud. Il y a encore formation de nuages, suivie de fortes pluies de courte durée, voire d'orage, puis le temps se dégage, avec alternance d'averses et d'éclaircies. C'est ce que l'on appelle un **ciel de traîne**.

- Un **front occlus** (ou occlusion) se développe lorsqu'un système météorologique s'intensifie et que son front froid accélère de sorte qu'il rattrape le front chaud. Lorsque le front froid atteint le front chaud, l'air chaud devient de plus en plus pincé ou coincé entre les deux fronts en altitude ;

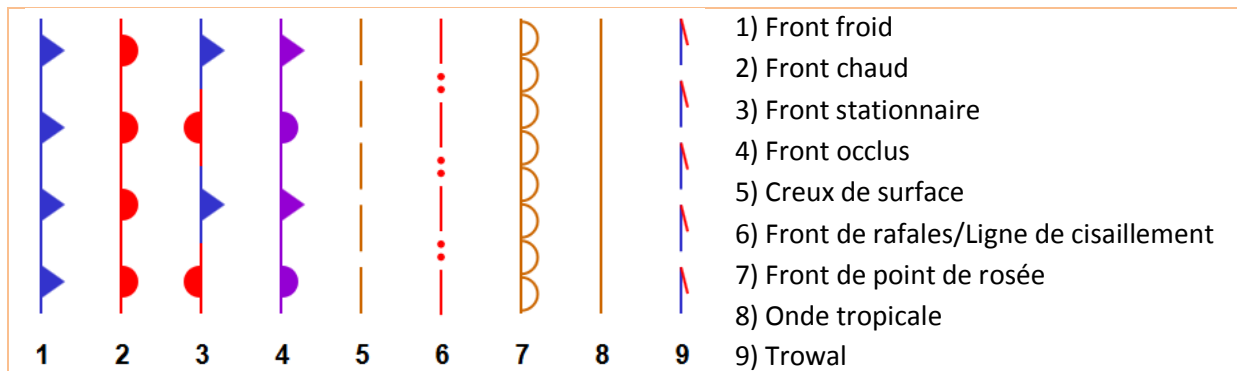


→ La masse d'air froid soulève la masse d'air chaud qui finit par ne plus être en contact avec le sol. Il se produit alors des chutes de pluies régulières suivies en général d'éclaircies.

Remarque : il existe deux autres types de front

- Un **front stationnaire** est la limite entre de vastes masses d'air chaud et froid qui sont en contact entre elles sans produire de mouvements relatifs d'une grande portée car les vents dans chacune des masses d'air sont parallèles au front (par exemple les fronts océaniques) ;
- Un **trowal** est le creux d'air chaud en altitude créé par le front occlus. Il se retrouve légèrement à l'arrière de celui-ci. En effet, la position du front occlus est celle qu'aurait le front froid coincé sous l'air chaud. Ce concept est utilisé dans certains pays comme le Canada et la Grande-Bretagne.

Légende des fronts sur les cartes météorologiques :



Remarque : le symbole (triangles bleus, ronds rouge,...) pointent dans le sens de l'avancée du front.

3.9. Précipitations

3.9.1. Définitions

Une **précipitation**, en météorologie, est un ensemble organisé de particules d'eau liquide ou solide tombant en chute libre au sein de l'atmosphère.

Tous les nuages ne sont pas susceptibles de donner des précipitations. Seuls quelques-uns en produisent (les stratus, les nimbostratus, les cumulus et les cumulonimbus essentiellement).

Mécanismes de formation des précipitations :

Pour que des gouttelettes d'eau se forment et donnent des précipitations, il faut un mécanisme pour amener l'air à saturation : lorsque des courants (d'air) ascendants apportent de la vapeur d'eau au cœur des nuages déjà saturés, qui va se liquéfier, les gouttelettes d'eau ou les cristaux de glace se soudent alors pour donner naissance à des **météores** (particules en suspension dans l'air), trop grosses pour être maintenue dans le nuage par les courants ascendants. Ces météores tombent alors vers le sol : ce sont les **précipitations**.

Poussés par les vents, ces nuages se déplacent dans l'atmosphère avant que l'eau qu'ils contiennent ne retombe à la surface de la Terre, sous la forme de précipitations : pluie, bruine, neige, grésil ou grêle.

- La **pluie**
- La **bruine** (ou crachin) : gouttes d'eau qui paraissent presque flotter dans l'air grâce à leur petite taille (de 0,2 à 0,5 mm). La bruine est particulièrement fréquente dans les régions côtières.
- La **neige**
- Le **grésil** : précipitations formées de pluie totalement gelée après être passée dans une couche épaisse d'air sous 0°C. Les grains de glace ne dépassent pas 5 mm de diamètre et sont généralement sphériques.
- La **grêle** : constituée de billes de glace de diamètre supérieur à 5 mm : les grêlons. Elle se forme spécifiquement dans les cumulonimbus.

3.9.2. Phénomènes dangereux pour les aéronefs

3.9.2.1. Les brumes et les brouillards

La brume et le brouillard sont des phénomènes météorologiques analogues qui diffèrent essentiellement par leur intensité.

Le **brouillard** est la **suspension** dans l'atmosphère de très petites gouttelettes d'eau **réduisant la** visibilité au sol à moins d'un kilomètre. Le brouillard est en fait un nuage dont la base touche le sol. On parle de **brume** lorsque la visibilité est comprise entre 1 et 5 kilomètres.

Pour que le brouillard se forme, le taux d'humidité de l'air doit être suffisamment élevé pour permettre la condensation de la vapeur d'eau par un refroidissement ou par un apport supplémentaire en humidité. Le vent ne doit pas être trop fort, pour éviter la dispersion des gouttelettes d'eau, ni trop faible, ce qui empêche leur suspension dans l'air. La présence d'un nombre suffisant de noyaux de condensation est également nécessaire : ils servent à fixer les gouttelettes d'eau.

Il existe plusieurs processus par lesquels la vapeur d'eau se condense au voisinage de la surface terrestre et donc plusieurs types de brouillard :

- **Le brouillard de rayonnement**

Ce brouillard apparaît généralement en fin de nuit lorsque l'air est très humide, qu'il n'y a pas de vent et que la température chute rapidement. Ce brouillard est typiquement terrestre et peut persister plusieurs jours en période hivernale. Il se dissipe en matinée sous l'action du rayonnement solaire, en commençant par la base, évoluant parfois en une couche de nuages bas (stratus).

Le **brouillard givrant** est un cas spécifique de brouillard de rayonnement : c'est un brouillard composé de gouttelettes d'eau surfondue (à l'état liquide par température négative, elles gèlent au moindre contact). Les brouillards givrants peuvent entraîner des dépôts importants sur les chaussées, barrières de sécurité, mais également sur la végétation, sur les lignes électriques, etc.

- **Le brouillard d'advection**

C'est un brouillard qui se forme lorsqu'une masse d'air chaud et humide se déplace sur une surface relativement froide. Il se forme sur les grandes étendues d'eau (lacs ou mers).

Formation : La base de la masse d'air se refroidit au contact de la surface froide et, en ce refroidissement, se propage sur une certaine épaisseur. Le refroidissement entraîne la liquéfaction de la vapeur d'eau en minuscules gouttelettes maintenues en suspension par la turbulence et le vent léger.

→ Ce brouillard est rarement très dense (visibilité rarement inférieure à 100 m), mais son épaisseur verticale est importante et il peut se former à tout moment de la journée.

→ La plupart des brouillards rencontrés en haute mer sont des brouillards d'advection. Leur dissipation se produit avec le réchauffement de la surface froide ou par un changement de masse d'air, au passage d'un front par exemple.

Les dangers du brouillard :

Le brouillard est un phénomène particulièrement dangereux pour l'aéronautique : en plus de réduire la visibilité, les brouillards peuvent entraîner de faibles précipitations sous forme de bruine, voire de neige, et des phénomènes de dépôts liquides ou givrants par températures négatives. La réduction de visibilité qu'il entraîne empêche tout vol à vue : le sol n'est pas toujours visible et les obstacles de grandes dimensions verticales ne sont aperçus que trop tard pour être évités.

Dans le cas de la brume, il est possible que les conditions météo minimales légales pour le vol à vue soient réunies mais la plus grande prudence s'impose et il est préférable de bien connaître la région survolée pour ne pas se perdre et assurer la sécurité. Si le brouillard est très dense, il est possible que les vols aux instruments ne soient pas possibles non plus. En effet, il faut une visibilité minimale au pilote pour s'assurer que son avion ne va pas quitter la piste au décollage. À l'atterrissage il faut pouvoir apercevoir la piste (ou au moins son balisage) pour poser correctement l'avion.

Symboles sur les cartes météorologiques :



3.9.2.2. Le givre

Le **givre** est un dépôt de glace provenant de la congélation de gouttelettes de brouillard ou de nuages en surfusion (dont la température est négative), sur des objets dont la surface est à une température inférieure ou égale à 0°C.

→ Il se dépose sur des objets exposés au vent. En altitude, le vent violent accroît sa formation.

→ En atmosphère libre⁽²⁾, il se dépose surtout sur les parties des aéronefs exposées au vent, bords d'attaque des ailes et pales d'hélices, dont il déforme dangereusement les caractéristiques aérodynamiques.

² Voir glossaire

Symboles sur les cartes météorologiques :



Remarque : le **point de givrage** (ou température du point givrage ou point de gelée) est la température à laquelle, tout en gardant inchangées les conditions barométriques courantes, l'air devient saturé de vapeur d'eau par rapport à la glace. Le point de givrage est donc l'équivalent du point de rosée pour la condensation de la vapeur d'eau directement en cristaux de glace et non en micro-gouttelettes. C'est le phénomène de déposition, qui survient lorsque le point de givre est atteint, qui crée la gelée blanche (ou simplement **gelée**).

3.9.2.3. Les turbulences

En aéronautique, la turbulence se traduit par des mouvements erratiques de l'aéronef. Il peut s'agir d'une zone de cisaillement des vents ou d'une zone soumise à des ascendances et descendances. La turbulence peut être, légère, modérée, forte ou extrême :

- La turbulence est qualifiée de **légère** lorsque l'aéronef est soumis à de petits changements aléatoires, d'assiette, d'inclinaison ou de cap. Les passagers d'un avion de ligne peuvent continuer à se déplacer.
- La turbulence est qualifiée de **modérée** lorsqu'elle engendre des changements d'assiette, d'inclinaison ou de cap plus conséquents. La vitesse air est aussi affectée. Les déplacements des passagers d'avions de ligne deviennent problématiques.
- La turbulence est qualifiée de **sévère** lorsque l'aéronef est soumis à des changements brusques d'attitude ou d'altitude. L'aéronef peut temporairement échapper au contrôle du pilote. De plus, le déplacement dans la cabine d'un avion de ligne est impossible. Cette définition de turbulence sévère inclut les changements d'altitude liés aux ondes orographiques qui peuvent être parfaitement laminaires. Un pilote aux instruments considérera ces ondes comme des « turbulences sévères » car il ne pourra pas maintenir l'altitude qui lui a été assignée. Toutefois, un vélivole réfutera cette définition, car il maîtrisera parfaitement son planeur dans une ascendance puissante et laminaire.
- La turbulence est qualifiée d'**extrême** lorsque l'avion échappe au contrôle de son pilote. Ce type de turbulence peut engendrer une rupture de l'aéronef.

3.9.2.4. L'orage

Un **orage** est une perturbation atmosphérique associée aux le cumulonimbus : nuage à forte extension verticale, il engendre des pluies fortes voire diluviennes, des décharges électriques de foudre accompagnées de tonnerre.

→ Dans des cas extrêmes, l'orage peut produire des chutes de grêle, des vents très violents et, rarement, des tornades



4. [L'information météo](#)

4.1. [Les cartes TEMSI](#)

La carte **TEMSI (TEMps Significatif)** est une carte représentative du temps significatif prévu pour une heure fixe sur une zone géographique déterminée.

Pour aller plus loin :

- Les codes météorologiques : [L'avionnaire \(Codes Temsi\)](#)

4.2. [Le METAR](#)

Un **METAR** (officiellement **METEorological Aerodrome Report** mais parfois défini par **METEorological Airport Report** ou **METéo d'ARrivée**) est un rapport d'observation (et non de prévision) météorologique pour l'aviation.

Ces messages sont rédigés selon un modèle type et donnent les indications suivantes :

- type de message ;
- le code OACI⁽³⁾ de l'aéroport ou aérodrome pour lequel est émis le METAR ;
- heure TU (Z, prononcé "Zoulou", signifie : UTC) de l'observation ;
- direction et force du vent (éventuellement des rafales) ;
- visibilité ;
- météores ;
- nuages (nébulosité, hauteur de base et genres) ;
- température et température du point de rosée ;
- pression (QNH⁽⁴⁾ et en général QFE⁽³⁾) ;
- pistes en service pour les décollages et les atterrissages ;
- phénomènes significatifs récents (mais pas au moment de l'observation).

Exemple de METAR français :

METAR LFPO 201630Z 18005KT 4000 -SHRA SCT030 BKN050 18/12 Q1014 NOSIG=

Signification :

LFPO : Paris Orly

201630Z : observation pour le 20 du mois à 16h30 UTC

18005KT : vent du 180° (Sud), vitesse 5 nœuds

4000 : Visibilité horizontale de 4 km ("9999" signifierait "supérieure à 10 km")

-SHRA : Averses (SH = shower) de pluie (RA = rain) de faible intensité (-)

SCT030 : Nuages épars (SCT = scattered) à 3000 pieds

BKN050 : Nuages fragmentés (BKN = broken) à 5000 pieds

18/12 : Température +18°C, point de rosée +12°C

Q1014 : Pression de 1014 hPa QNH (rapportée au niveau de la mer)

NOSIG : Pas d'évolution prévue pour les 2 heures à venir

= : Fin du message

→ Ceci n'est qu'un exemple de METAR, ils peuvent contenir beaucoup plus d'informations ([lien](#)).

³ Le code OACI (ou ICAO code en anglais) est un code attribué par l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI, ou ICAO en anglais) à un aérodrome, une région aérienne, une compagnie aérienne, un type d'aéronef ou une immatriculation d'aéronef.

⁴ Voir chapitre navigation