

## **Introduction générale à la météorologie de la montagne**

La météorologie est une branche de la physique du globe qui se consacre à l'observation des éléments du temps (température, précipitations, vents, pression, etc ...) et à la recherche des lois des mouvements de l'atmosphère.

### **Quel temps a-t-il fait ? Quel temps va-t-il faire ?**

Il existe environ 7.000 stations météorologiques terrestres réparties dans tous les pays du monde. La coopération internationale y joue un grand rôle. Tous les météorologistes du monde parlent le même langage. Toutes les observations sont codifiées.

Les météorologues ont, pour se faire, des moyens très perfectionnés à leur disposition : observatoires terrestres, ballon-sonde dans l'atmosphère, navires et bouées météorologiques, satellite météorologique européen (METEOSTAT) et un réseau de transmission rapide et fiable qui est l'œuvre de l'O.M.M. (Organisation Météorologique Mondiale) et de l'U.I.T. (Union Internationale des Télécommunications).

Les données climatologiques peuvent nous aider à prendre certaines décisions dans le temps et dans l'espace. Il faudra donc observer attentivement les données prévisionnelles avant le départ d'une course.

### **Où se renseigner ?**

Aux services de la climatologie de la météorologie nationale de Paris - 2 avenue Rapp, ou aux 150 stations de France. Il est préférable de téléphoner à la station la plus proche de l'endroit où aura lieu votre course. Il existe des répondants téléphoniques à vocation agricole, d'autres destinés à la montagne, à ceux qui veulent prendre la mer et enfin à ceux qui font de l'aviation légère.

### **Observation et prévision**

Pour s'aventurer à faire des prévisions avec quelque chance de succès, il faut d'abord procéder à un certain nombre d'observations. Pour cela, la météorologie a mis au point des instruments très compliqués, mais également quelques-uns bien plus simples.

#### ***Le baromètre.***

Il mesure la pression atmosphérique en millimètres. L'aiguille du cadran indique une pression de mercure d'environ 760 mm. Sur le plan international, la hauteur barométrique est exprimée en millibars ou en hecto pascals :

- 1000 millibars = 1000 hecto pascals = 760 mm de mercure.

#### ***Le thermomètre.***

Il permet de mesurer la température, mais surtout les variations de température. Notre système est celui de Celsius, où l'eau gèle à 0° (point de congélation) et bout à 100° (point d'ébullition).

Mais ce n'est pas partout pareil : dans les pays anglo-saxons, par exemple, on utilise l'échelle Fahrenheit, où le point de congélation se situe à + 32° et le point d'ébullition à 212°F.

#### ***L'hygromètre.***

Il permet de mesurer l'humidité relative de l'air ambiant. Cette humidité relative donne, en pourcentage, le rapport entre la quantité de vapeur d'eau effectivement absorbée par l'air et la quantité maximale qui pourrait y être absorbée à la même température.

#### ***L'anémomètre.***

Détermine la force et la direction du vent. La direction du vent ne s'indique pas seulement par Nord, Nord-Ouest, Ouest, etc., mais s'exprime également en degrés. Le Nord est alors aussi bien 0° que 360°. La graduation tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, de sorte que l'Est est à 90° et le Sud à 180°. La force du vent est indiquée en kilomètres/heure (km/h), en mètres par seconde, en noeuds par heure, ou en chiffres allant de 1 à 12 selon l'échelle Beaufort.

### ***Le pluviomètre.***

C'est un simple récipient d'une surface bien déterminée. On mesure la quantité d'eau tombée avec une éprouvette graduée. Il doit être installé dans un lieu découvert, loin des arbres, des maisons ou des murs... Enfin, il doit être placé à 1m50 au-dessus du sol.

### **Les grands principes généraux**

C'est dans la dizaine de kilomètres inférieurs de l'atmosphère que le temps se fabrique pour l'essentiel. En saison froide, la tranche active des perturbations se trouve même comprise entre 1000 et 5000 mètres. Ces premières considérations suffisent à prouver l'importance du relief qui, même lorsque son altitude est modeste, s'oppose à l'écoulement du vent et contrarie la progression régulière des perturbations. Il n'est sans doute pas inutile de rappeler, sommairement, quelques notions de météorologie élémentaire.

### ***La pression atmosphérique***

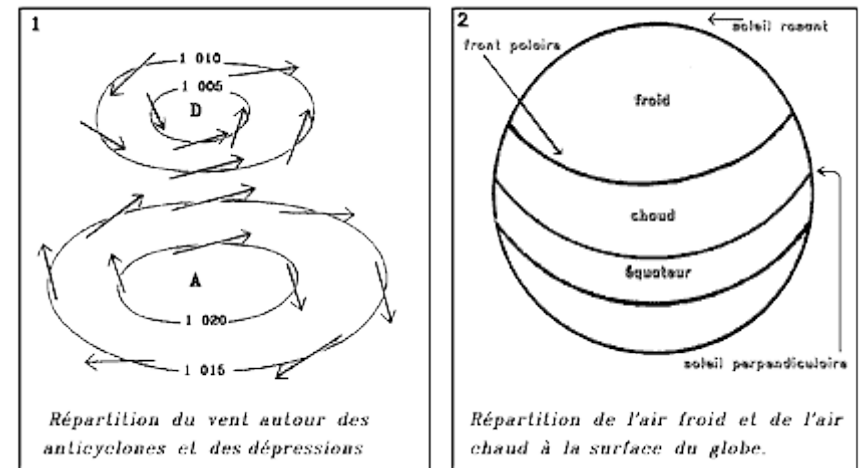
La pression de l'air sur une surface donnée est égale au poids de la colonne atmosphérique qui a pour section la surface en question et pour épaisseur la dénivellation entre la surface et la limite supérieure de l'atmosphère. La pression s'exprime en millibars. Au niveau de la mer, elle est en moyenne de 1 013,5mb, mais déjà à l'altitude du sommet du Mont Blanc elle n'est plus que de 555mb, et au sommet de l'Everest elle avoisine 300 millibars. L'oxygène diminue dans les mêmes proportions. Ainsi s'expliquent les difficultés pulmonaires et cardiaques des alpinistes en haute altitude et la nécessité d'avoir recours aux bouteilles d'oxygène.

### **La pression**

La pression varie à la surface du globe. Grâce au réseau des stations d'observation, sa répartition peut être mise en évidence sur des cartes où sont tracées, pour un niveau donné, des courbes isobares (courbes qui rejoignent les points où la pression est identique). C'est ainsi qu'apparaissent des zones de haute pression (les anticyclones) et des zones de basse pression (les dépressions)

### **L'inégalité des pressions commande le régime des vents. (en savoir plus)**

En effet, le vent tend à rétablir l'équilibre de la pression en transportant de l'air des anticyclones vers les dépressions. L'écoulement de l'air n'est pas direct, comme on pourrait le croire, du centre anticyclonique vers le centre dépressionnaire. En fait, comme la Terre tourne, une force d'inertie (la force de Coriolis) agit de telle sorte que le vent respecte les conditions suivantes :



- sa direction est sensiblement parallèle aux courbes isobares ;
- sa force dépend du contraste entre les hautes et basses pressions : plus la différence de pression est grande, plus le vent souffle fort, et inversement ;
- dans l'hémisphère Nord, il tourne autour des dépressions dans le sens inverse de celui des aiguilles d'une montre ; autour des anticyclones, dans le sens des aiguilles (schéma 1 et 2).

Pour l'Europe occidentale, le régime moyen des vents est d'ouest grâce, en particulier, à la présence très fréquente de l'anticyclone des Açores et de la dépression d'Islande. La distribution des anticyclones et des

dépressions à la surface de la Terre trouve son origine dans la répartition des températures.

- Les régions équatoriales et tropicales, parce qu'elles reçoivent le rayonnement solaire perpendiculaire, ou presque, accumulent de la chaleur.
- Les régions septentrionales, parce que le soleil ne monte jamais beaucoup au-dessus de l'horizon, se refroidissent. Les masses d'air chaudes du Sud et les masses d'air froides du Nord se juxtaposent sans se mélanger, en moyenne à la latitude des régions tempérées.

La frontière qui les sépare, étroite zone de mélange d'une dizaine de kilomètres au plus, assimilable donc, à l'échelle des cartes météorologiques habituelles, à une ligne, s'appelle le "front polaire" (v. schéma 2).

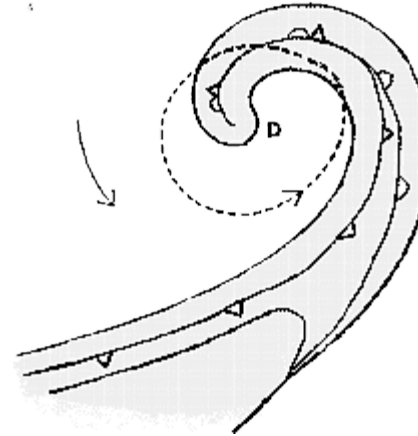
Le front polaire est animé d'ondulations qui atteignent de très grandes dimensions (parfois 1000, 2000 km ou plus, dans le sens ouest-est). Ces ondulations s'appellent les "perturbations du front polaire", ou, plus communément, les "perturbations". Elles correspondent à la nécessité d'un échange de chaleur entre les régions nord et sud. De l'air chaud "monte" vers le Nord, de l'air froid "descend" vers le Sud (voir schéma 3)



Stade du développement d'une perturbation. Mouvement relatifs de l'air chaud et de l'air froid

Les perturbations sont donc le résultat d'un rééquilibrage et même d'un conflit, entre l'air chaud et l'air froid. Cette opposition de masses d'air de densités différentes (l'air chaud est plus léger et tend à surmonter

l'air froid), de teneurs en vapeur d'eau (humidité) différentes, se manifeste par la formation de systèmes nuageux qui s'enroulent en spirales autour des dépressions.



Généralement les nuages deviennent suffisamment épais et denses pour donner des précipitations (pluie ou neige) libérant ainsi une eau devenue excédentaire (eau soustraite par le soleil aux océans des tropiques et de l'équateur et restituée à des milliers de kilomètres plus loin : v. schéma 4)

(4 - Système nuageux principal associé à une perturbation et s'enroulant autour d'une dépression.)

Il faut encore retenir que les perturbations se développent à l'intérieur des grands courants atmosphériques et que ceux-ci les transportent, par conséquent.

C'est ainsi que les perturbations formées sur l'Atlantique parviennent, dans la plupart des cas, sur l'Europe portées par le flux d'ouest des latitudes moyennes.

Leur passage se manifeste par des précipitations plus ou moins longues et intenses, mais aussi par des changements de température parfois brutaux (suite au défilement des "poussées chaudes" du sud, et des "descentes froides" du nord). En montagne, tous ces paramètres ou "individus atmosphériques" ont un comportement spécifique.

### **Le vent**

Un pic montagneux isolé n'a pas grande influence sur le vent en général. Par contre, les chaînes puissantes comme les Alpes, la cordillère des

Andes, les Rocheuses, l'Himalaya etc... représentent des obstacles qui modifient profondément l'écoulement des masses d'air.

Pour bien comprendre cela, il est commode d'assimiler l'air à une nappe liquide en mouvement sur un fond tourmenté, représentant le relief terrestre.

On imagine facilement le fluide des couches inférieures gêné dans sa progression par l'obstacle, obligé d'une part de le contourner à ses extrémités, d'autre part de le surmonter en créant un remous dans les couches supérieures.

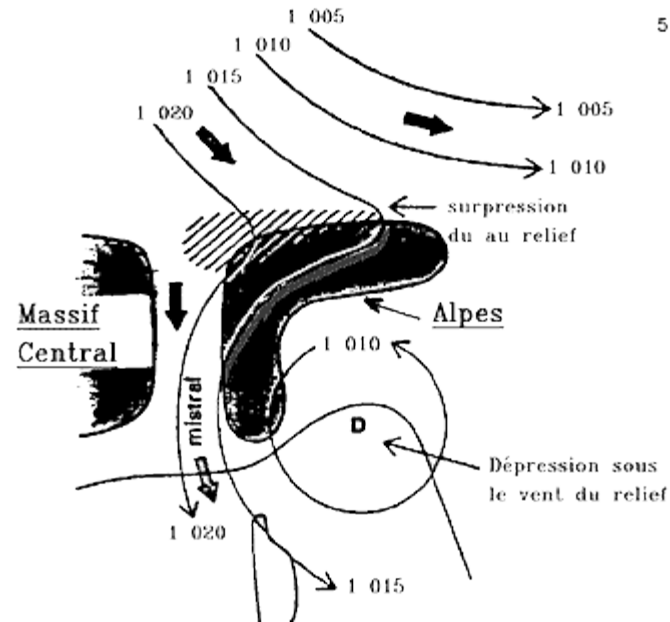
Et si la section d'écoulement se rétrécit, la vitesse s'accélère. Il est bien vrai qu'au voisinage des crêtes le vent est notablement plus fort qu'au-dessus de la plaine, notamment au passage des cols. Le remous se répercute facilement à des hauteurs atteignant quatre à cinq fois celle des chaînes, ainsi qu'à plusieurs dizaines de kilomètres en aval des crêtes.

A l'intérieur même des régions montagneuses, chaque vallée canalise une partie du volume d'air en mouvement. Plus le réseau des vallées est compliqué, plus il offre de chicanes et plus la ventilation interne est réduite. C'est surtout le cas en hiver, car un phénomène thermique permet, en saison chaude, la pénétration de l'air des plaines jusqu'au cœur des chaînes de montagne : c'est la brise.

Si la pression commande le vent, ce dernier, contrarié par un obstacle, provoque des modifications de la pression. Ainsi, devant une chaîne de montagnes, l'air s'accumule quelque peu, créant une surpression locale. Derrière, au contraire, il existe un déficit (parce qu'une partie du fluide qui devrait normalement s'y trouver s'évacue par les extrémités et manque donc dans le sillage du relief).

**Situation à mistral.**

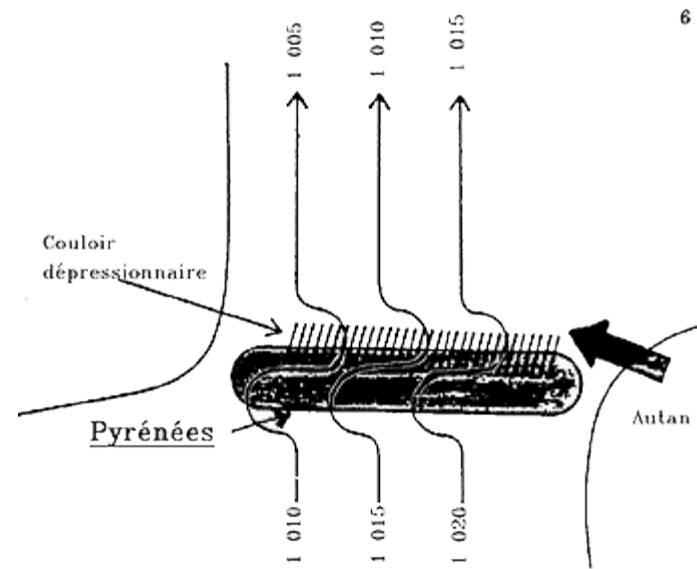
Par régime de nord-ouest, surpression au vent des Alpes, dépression du golfe de Gênes, "sous le vent".



5

Par régime de nord-ouest à nord, s'organise la dépression du golfe de Gênes et de la plaine du Po, tandis que le flux se divise : une partie vers la Bavière, l'autre vers la Méditerranée par la vallée du Rhône (le mistral).

**Autan sur le Midi pyrénéen, par régime générale de sud.**



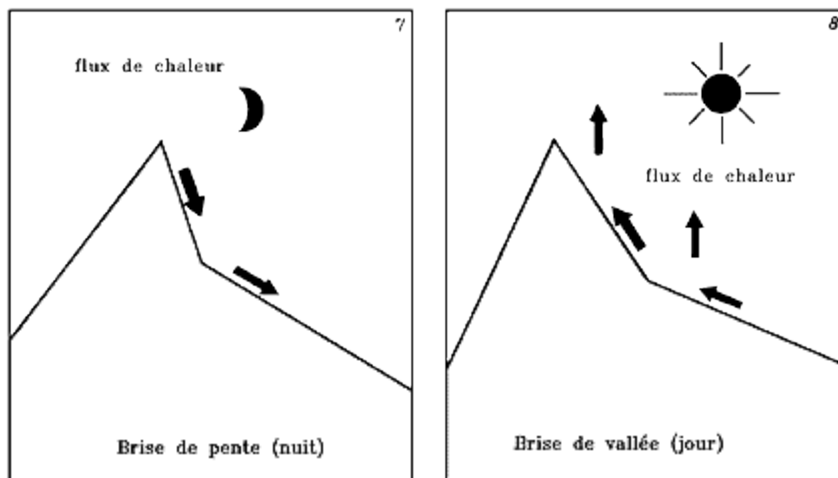
6

Derrière les Pyrénées, par vent de sud, se forme un couloir dépressionnaire qui appelle l'air méditerranéen : l'Autan .

**Les brises**

Les différences de température selon l'altitude et l'orientation des pentes sont à l'origine de vents locaux propres à la montagne. Pendant la nuit, lorsque le ciel est dégagé, le sol (végétation, neige, roc...) perd de la chaleur.

L'air au voisinage de cette surface froide se refroidit par contact, s'alourdit et coule, vers les pentes inférieures, les vallées, puis la plaine : c'est la "brise de pente". Peu rapide, elle n'est guère perçue que par les instruments sensibles. Elle existe en toute saison (voir schéma 7). Selon le même processus thermique, un courant d'air froid descend des glaciers, même pendant la journée : c'est ce qu'on appelle le "vent des glaciers".

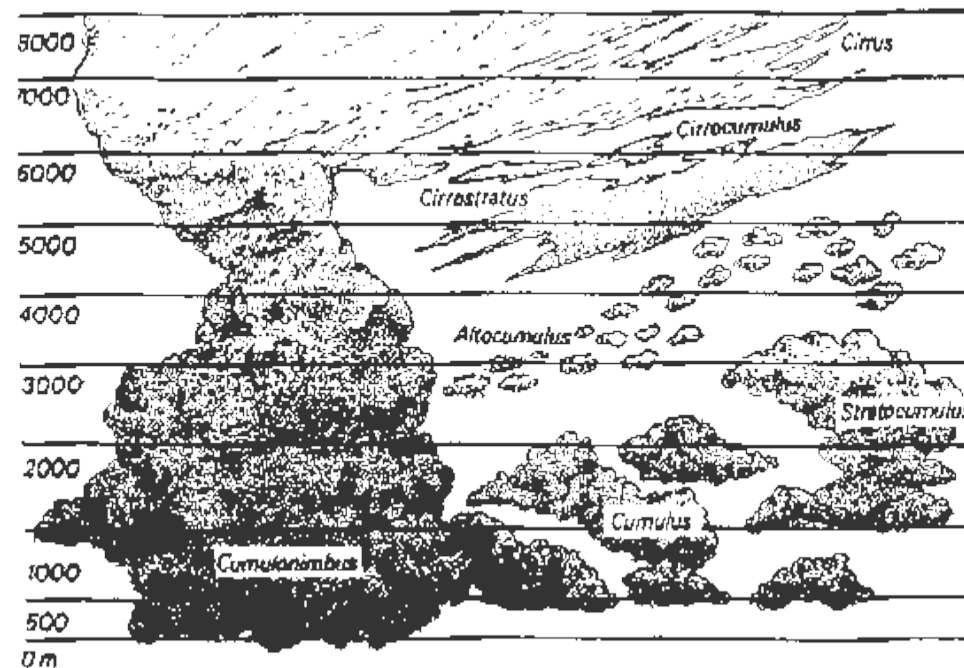


La "brise de vallée" s'établit d'aval en amont. Sur les versants ensoleillés, l'air réchauffé s'allège et s'organise en ascendances qui "aspirent" en quelque sorte celui des couches inférieures. Cette circulation, presque inexistante en saison froide, devient très efficace au printemps et surtout en été. Le vent d'aval atteint facilement 20 km/h, l'après-midi. Il contribue à tempérer le climat montagnard. (voir schéma 8).

### ***Les nuages (en savoir plus sur les nuages)***

Suivant leur altitude, les nuages adoptent une configuration différente. Savoir lire les nuages.

Qu'il s'agisse du simple randonneur, du navigateur, de l'alpiniste ou du pilote d'avion, savoir lire les nuages revient à posséder l'une des clés de la prévision météo. Cette illustration est d'ailleurs empruntée au Livre de bord-Bloc Marine.

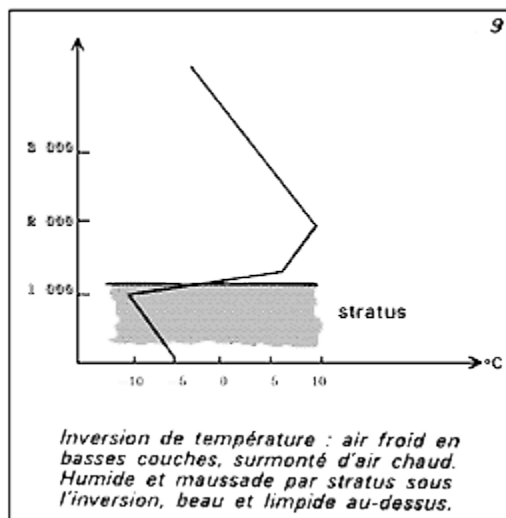


Tous les nuages, associés ou non à des perturbations, qui voyagent dans le ciel des plaines, se retrouvent sur les reliefs. D'autres, cependant, sont spécifiques à la montagne, ou du moins les processus physiques à l'origine de leur formation.

En rencontrant les pentes, l'air est forcé de s'élever. Ce mouvement s'accompagne d'un refroidissement parce que la pression diminuant, l'air se détend. Le froid ainsi créé peut conduire, quand l'humidité est suffisante, à la formation de nuages ou bien à l'épaississement de ceux qui existaient déjà. Si le nuage devient épais - à cause d'une ascendance puissante, par exemple - il condense en pluie ou en neige. Ainsi le soulèvement de l'air sur les versants exposés "au vent" est fréquemment une cause d'aggravation locale du temps.

Par journée ensoleillée, d'autres ascendances s'organisent, thermiques

celles-ci. Les brises de pente transportent en altitude l'humidité des plaines et des vallées. Selon la quantité de vapeur d'eau portée par ces brises, la plus ou moins grande sécheresse des couches moyennes et supérieures - c'est-à-dire de 3 000 à 7 000 mètres -, leur structure, stable ou instable, ou bien il ne se passe rien, et le ciel reste clair, ou bien se forment des "cumulus", amas nuageux blancs insignifiants ou puissants dont la surface supérieure moutonnée traduit les bouillonnements internes, ou bien encore, en été essentiellement, jaillissent de gigantesques et inquiétantes tours, coiffées de leurs "enclumes" : les "cumulo-nimbus", porteurs de toute la violence de la nature en colère.



A l'opposé, quand l'atmosphère se stratifie en couches stables, des nappes de nuages s'étalent sur des milliers, voire des millions de kilomètres carrés. Les inversions de température (voir schéma 9), caractéristiques d'automne et d'hiver, sont souvent à l'origine de telles configurations : des brouillards, du "stratus" ou du "stratocumulus", formés dans l'épaisseur de la couche froide ou à son sommet, restent prisonniers de cette structure qui interdit tout brassage vertical, donc toute évolution, et peut persister des semaines durant. Alors les versants et les sommets émergent de la "mer de nuages" dans une atmosphère limpide et douce.

Parfois, lorsqu'un grand vent souffle en altitude, certains pics isolés (Cervin, Aiguille Verte et Drus) "fument". Un panache de nuage s'accroche "sous le vent", créé par les remous d'air dans le sillage de la cime.

A l'approche d'une perturbation, ce sont les monts massifs aux formes arrondies, qui se signalent par la présence, au-dessus ou à leur sommet, de nuages en capuchons, en soucoupes renversées ("l'Ane" pour le Mont-Blanc). Plusieurs nuages semblables peuvent aussi se superposer (les "piles d'assiettes"), témoins d'une stratification particulière de l'atmosphère (stable et feuilletée en tranches d'humidité différente.)

D'une manière plus générale, l'air soulevé par un massif cherche, la crête passée, à revenir à son niveau initial. Mais comme l'atmosphère, en état stable, est un fluide élastique, il se formera, sur des dizaines de kilomètres derrière le sommet, des mouvements ondulatoires. Les plages d'ascendance se concrétisent par des nuages en forme de lentille ("altocumulus" lenticulaires) séparés par des intervalles de ciel clair, ou peu nuageux (mouvement descendants ; v. schéma 10 ci-après)

### *Les précipitations*

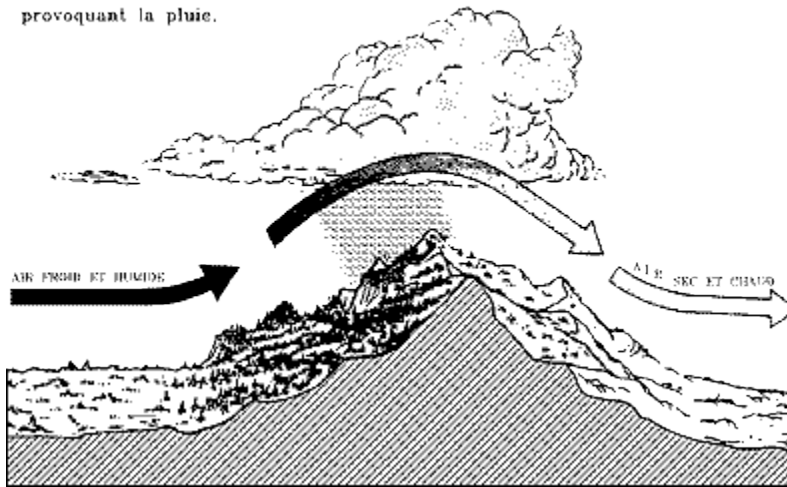
La formation de la pluie est un processus complexe. Dans la grande majorité des cas, c'est la neige qui apparaît d'abord dans les nuages où il fait suffisamment froid (au-dessus de  $-7^{\circ}\text{C}$ ). Les flocons, lorsqu'ils sont assez lourds, tombent. S'ils traversent, dans leur chute, des couches d'air de plus en plus chaudes, ils finissent par fondre et arrivent au sol en pluie. Si, au contraire, la température reste assez basse (inférieure à  $0^{\circ}\text{C}$ , ou voisine) les flocons touchent le sol.

En été, la neige ne tombe qu'en altitude, sur les reliefs tempérés. En hiver, par contre, il fait souvent assez froid - surtout dans les vallées internes qui retiennent bien l'air froid - pour que la neige descende à 1 000m, ou même jusqu'en plaine.

**Le relief et les précipitations :**

Le relief fait obstacle au front chaud provoquant la pluie.

10



Le cas de figure illustré ci-dessus, effet de foehn, est typique des reliefs situés en travers de la route des dépressions atlantiques. Quand l'air froid et humide arrive contre la montagne, il doit s'élever pour franchir l'obstacle. Quand il s'élève, sa pression diminue, il se "détend". Cette détente provoque la condensation de gouttelettes d'eau: il pleut au flanc de la montagne. Au contraire, quand l'air arrive de l'autre côté, il a perdu une partie de son humidité: il est plus chaud, plus sec.

### La température

Il faut distinguer entre la température de l'air et celle du sol.

Avec l'altitude, la température de l'air décroît, en règle générale, dans la troposphère (environ les dix premiers kilomètres de l'atmosphère, aux latitudes tempérées): grosso modo, la diminution est de  $1^{\circ}\text{C}$  pour 150m ou  $6^{\circ}\text{C}$  tous les 1 000m. En fait, cette variation est applicable à "l'atmosphère libre", c'est-à-dire à l'écart de l'influence parasite du sol. En effet, la température du sol (roc, neige, couverture végétale...) évolue en grande partie indépendamment de celle de l'air. Le sol se réchauffe en captant le rayonnement solaire, tandis que l'air y est très peu sensible. De nuit, le sol perd la chaleur accumulée en rayonnant vers l'espace. D'innombrables conditions particulières interviennent: l'orientation du sol par rapport aux rayons de soleil, sa nature, sa couleur (la neige, par

exemple, réfléchit presque intégralement le rayonnement incident), l'humidité de l'air, sa densité (la raréfaction de l'air aux altitudes élevées favorise les grandes amplitudes de température: le rayonnement solaire est particulièrement efficace puisque l'atmosphère n'oppose qu'un faible écran; par contre, en sens inverse, la perte de chaleur nocturne est facilitée), la présence ou non de nuages (une couverture nuageuse empêche le refroidissement du sol, mais laisse passer, du moins quand elle n'est pas trop épaisse, une partie de l'énergie solaire: c'est l'effet de serre), le vent (la ventilation homogénéise les températures). Un écart de  $10^{\circ}\text{C}$  entre la température à 1,50m du sol et la température de la surface de la neige est courant, au petit matin, par beau temps calme. La température de surface d'une roche ensoleillée peut être notablement supérieure à celle de l'air environnant.

Il existe évidemment une interaction entre le sol et l'air. C'est surtout le sol qui, en particulier par temps calme et sec, influence la température de l'air proche (voir "les brises").

La diminution de température avec l'altitude se manifeste par l'étagement des espèces végétales et, plus haut, par la présence de neiges éternelles. Quelle image illustre mieux ces contrastes que celle, bien connue, du Kilimandjaro enneigé, jaillissant de la savane africaine surchauffée?

Il est pourtant des cas - nombreux - l'hiver par beau temps où la décroissance n'est pas la règle. En effet, l'air froid, parce qu'il est lourd, s'accumule dans les fonds de vallée. Sur les versants au contraire, sitôt formé il ruisselle vers le bas. Dans de telles conditions, il peut faire bien plus froid en vallée, et même en plaine qu'en moyenne montagne. C'est "l'inversion de température". La nappe froide inférieure est souvent de l'ordre de 800 à 1200m d'épaisseur. Il peut, par exemple faire  $-5^{\circ}\text{C}$  en plaine,  $-10^{\circ}\text{C}$  à 1000m, en fond de vallée enneigée, et  $8^{\circ}\text{C}$  à 2000 m. Structure extrêmement stable, l'inversion de température se manifeste par une stratification très contrastée de l'atmosphère inférieure. Dans la couche froide, l'air est humide (brouillard ou nuages bas), au-dessus l'air est sec (excellente visibilité).

Dans certaines circonstances, la structure de l'atmosphère est plus complexe, une couche chaude s'immiscant entre l'air froid supérieur et

celui prisonnier des vallées. Il se forme alors une pluie qui tombe sur un sol froid et donne du verglas, pellicule de glace qui recouvre tout. Pendant quelques heures, les routes et chemins deviennent extrêmement dangereux pour toute circulation.

### ***L'effet de Foehn***

Le foehn est le vent qui souffle dans les vallées alpines quand, en altitude, le courant du sud est fort. Il s'accompagne de phénomènes caractéristiques qui ne sont pas propres au vent du sud mais plus accusés avec lui. C'est pourquoi le météorologiste, généralisant, évoque "l'effet de foehn" quand un courant atmosphérique, quelle que soit sa direction, prend une chaîne de montagnes par le travers.

"Au vent" (voir "les nuages"), l'air soulevé se refroidit et condense sa vapeur d'eau - quand il en contient assez - en nuages puis, plus haut, en précipitations. Ce faisant, l'air perd de l'eau. Quand il arrive au sommet, il n'est donc pas identique à celui qui s'élançait à l'assaut du versant. Aussi, à peu de distance de la crête, "sous le vent", le nuage se dissipe. En effet, à l'inverse de ce qui se passe dans les ascendances, un air descendant se réchauffe et s'assèche. Lorsqu'il y a précipitation, une dissymétrie caractérise le comportement de l'atmosphère de part et d'autre de la montagne:

- au vent, le nuage se forme à un niveau bien inférieur, la pluie et la neige tombent.
- sous le vent, le nuage se dissipe beaucoup plus haut, il fait bien plus chaud et il peut faire très beau.

Ce contraste entre les versants est la règle là où les courants dominants sont assez humides (car s'il n'y a pas précipitation le résultat est différent : symétrie généralement).

Les exemples ne manquent pas dans nos massifs européens: le nord des Alpes est verdoyant et frais, le sud est sec et chaud même répartition dans les Pyrénées, les forêts de Lorraine et des Vosges occidentales, le vignoble alsacien, etc. (voir schéma 10).

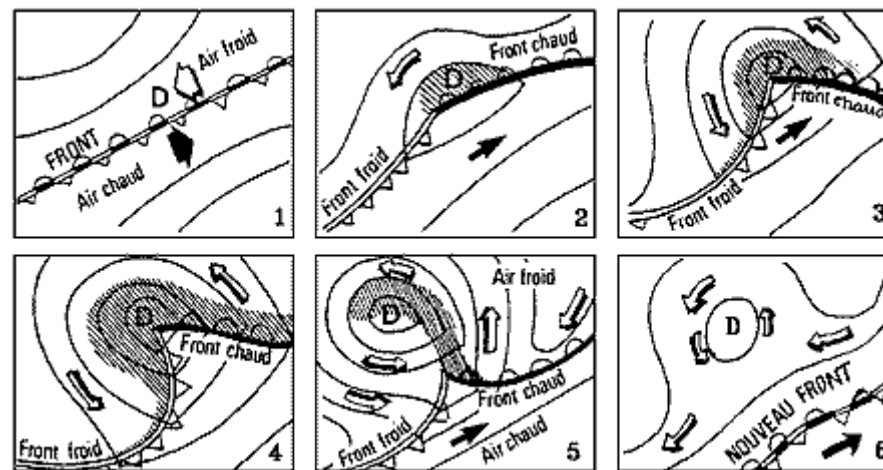
### ***Les perturbations (en savoir plus)***

La genèse des perturbations est indépendante du relief; mais par la suite, leur comportement est toutefois fort affecté par la présence de la montagne, surtout si la masse de celle-ci est importante.

Au vent, les perturbations s'activent ou se réactivent (un système nuageux ne précipitant pas en plaine peut apporter neige et pluie en montagne). Sous le vent, elles se disloquent ou s'effacent, quitte à se reformer, parfois, quelques dizaines de kilomètres au-delà de la ligne de crête.

Pour peu qu'une situation perturbée se maintienne plusieurs heures, voire plusieurs jours, qu'une mer chaude alimente l'atmosphère en vapeur d'eau, des quantités de pluie ou de neige énormes peuvent s'accumuler sur un versant tandis que l'autre ne reçoit presque rien et la plaine beaucoup moins (il en est ainsi des Cévennes et du sud des Alpes par vent de sud, des Alpes italiennes par vent de sud-est ou d'est, du Népal que la mousson de l'océan indien arrose copieusement tandis que le Tibet connaît la sécheresse.)

### **Vie d'une perturbation**



Au contact de l'air chaud et de l'air froid se forme une empoignée (1 et 2) et bientôt apparaît un tourbillon (3 et 4), qui finit par tourner sur lui-même (5), tandis qu'un nouveau front se forme (6).



### L'orage (en savoir plus)

Il existe deux grandes catégories d'orages : ceux qui accompagnent des perturbations de plus ou moins grande étendue, ceux qui se développent localement dans une masse d'air devenue instable. L'orage est un événement essentiellement estival que les alpinistes, en particulier, redoutent beaucoup car il s'accompagne de phénomènes violents, soudains, imprévisibles, notamment la foudre.

*On distingue 3 types d'orages.*

**L'orage isolé :**

C'est celui qui éclate très localement en fin d'après midi ou le soir des chaudes journées d'été. Cet orage traduit une détérioration sensible de la stabilité des couches d'air par excès de chaleur à la base mais non une aggravation irrémédiable. Avec le retour de la fraîcheur nocturne, ce type d'orage se résorbe.

Si les conditions générales restent les mêmes, il peut d'ailleurs se répéter le lendemain, pas forcément au même endroit. Et ainsi de suite pendant une période de chaleur.

L'orage isolé trouve sur le relief des conditions qui lui permettent de s'y développer bien plus aisément qu'en plaine. Les mouvements ascendants, facilités par les versants, une humidité souvent plus forte (forêts, rivières, fonte des neiges) contribuent à déclencher l'orage en montagne. Celui-ci est, en général, de courte durée. Il éclate plutôt en fin d'après-midi et s'éteint en soirée.

Ainsi, un orage de faibles dimensions, environ 4 km de rayon, et qui donne de faibles quantités d'eau, environ 10mm, dégage une énergie pendant la condensation d'eau à l'intérieur du nuage correspondant à une puissance équivalente à celle de dix bombes atomiques du type Hiroshima.

**La zone orageuse :**

Vaste plage d'air humide, chaud et instable, qui recouvre de vastes territoires, et même la France entière parfois. A l'intérieur de cette zone, à n'importe quelle heure du jour et même de la nuit (mais quand

même de préférence l'après midi et le soir) se déclenchent de multiples orages. Ces orages sont souvent annoncés par de nombreux nuages aux formes tourmentées, et notamment vers 4000m d'altitude.

**L'orage de front froid :**

Le plus dangereux de tous car, surtout en été, il peut être à la fois soudain, violent (rafales, fortes averses...) généralisé et accompagné d'un refroidissement intense. Il est la conséquence de l'irruption d'une masse d'air froid qui repousse brutalement l'air chaud préexistant.

**Le climat montagnard**

La montagne a son propre climat, quel que soit l'endroit du monde où elle se trouve. C'est la conséquence directe de l'altitude : la présence de la montagne au niveau où s'activent les masses d'air de température et de densité différentes provoque des dérèglements de la situation météo générale. De manière schématique, on peut dire que la montagne augmente les conséquences sur la température, les précipitations, le vent... de la situation météorologique sur la région concernée. Ce phénomène est responsable des contrastes saisissants qui surprennent le montagnard débutant ou mal informé. Par exemple, il suffit d'un nuage ou d'un vent qui se lève pour changer instantanément une température brûlante en froid glacial.

Nous résumons ci-dessous les caractéristiques essentielles du climat montagnard, avant d'en étudier plus précisément le fonctionnement météorologique:

- **Contraste entre le jour et la nuit.** Une différence de 30°C entre la température à midi et en pleine nuit est dans la norme.
- **Contraste selon l'orientation.** Les faces orientées au sud sont accueillantes et ensoleillées. Les faces nord sont austères, parce que situées à l'ombre, et caparaçonnées de glace.
- **Contraste entre les saisons.** L'été est court et chaud. L'hiver est long et rigoureux.
- **Aggravation des phénomènes météo.** En cas de mauvais temps d'été provoquant simplement des pluies en plaine, on peut voir s'instaurer

en haute montagne un véritable climat polaire, avec tempête de neige et températures largement négatives.

- **Hiver particulièrement rude.** Les températures descendent très bas, et la quantité de neige accumulée sur le relief est énorme. Ce qui crée des risques d'avalanche. La rigueur de l'hiver en haute montagne fait de l'alpinisme hivernal une discipline spéciale, exigeant une solide expérience de l'alpinisme lui-même, et des techniques de survie en conditions ex-trêmes.

### Météorologie de la montagne

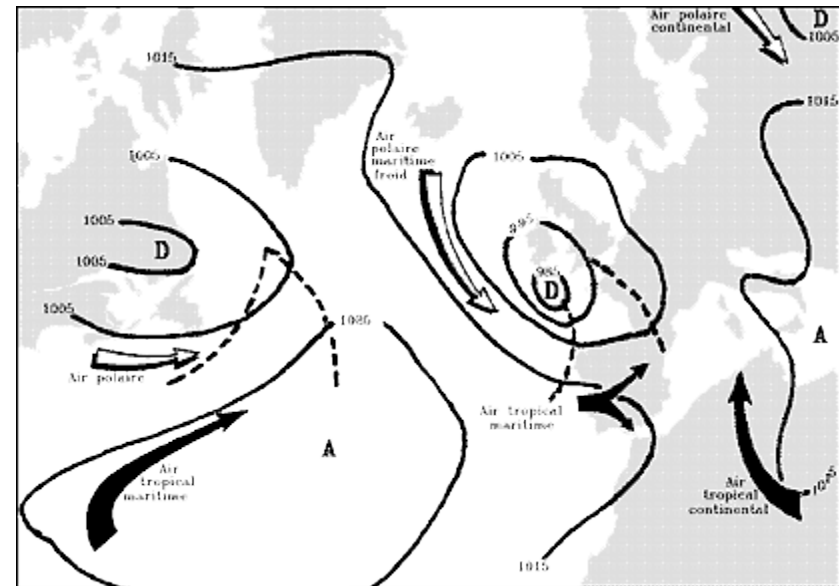
Pas question d'apprendre ici à prédire le temps : le système d'information météo est suffisamment sophistiqué pour cela. Mais il faut tout de même connaître les principes généraux de la météorologie et ses particularités montagnardes, de façon à être capable de comprendre effectivement les informations contenues dans les bulletins officiels, d'apprécier la différence observée entre les prévisions officielles et la réalité, puis, une fois isolé en montagne, de déceler une évolution rapide du temps.

### La notion de « type de temps »

C'est la clé de la compréhension de la météo. A partir d'une situation générale observée par des satellites, des stations météo, et le temps effectivement observé dépend de paramètres subtils. La prévision météo a ses limites et les prévisionnistes font ce qu'ils peuvent. Il faut toujours leur faire confiance à priori ; mais ce n'est qu'en connaissant les diverses formes possibles d'un "type de temps" qu'on peut effectivement déterminer à quoi s'en tenir.

Schématiquement, l'été, l'anticyclone des Açores s'installe sur la France. On a alors un ciel bleu, et un air sec apporté par un vent du secteur nord à est. Cet anticyclone lutte contre la pénétration des dépressions - on dit aussi perturbations - sur le continent. des principales dépressions sont les perturbations atlantiques, qui arrivent de l'Océan et touchent l'Europe au niveau de l'Angleterre ou de la Bretagne, voire du golfe de Gascogne. Elles traversent ensuite la France avant de se combler au milieu de l'Europe. D'autres dépressions peuvent concerner aussi nos massifs montagneux: celles qui se creusent dans le golfe de Gênes conditionnent la météo alpine, et celles qui se développent à partir des îles Baléares ou dans le

golfe du Lion touchent les Pyrénées. Les dépressions se caractérisent par un vent de secteur sud doux et chargé d'humidité. Elles se déplacent plus ou moins vite, déclenchant un vent plus ou moins fort.



Les différentes masses d'air qui conditionnent le temps en Atlantique et sur l'Europe.

### Situation météo générale et montagne

#### L'anticyclone

Ciel bleu, soleil, forte chaleur... Mais le beau temps en montagne n'a pas que des conséquences heureuses. La chaleur est même responsable de phénomènes dangereux, ainsi :

- La transformation malsaine de la neige. Par transformation de la neige », on entend le processus de fonte à la chaleur du jour, et de regel dans la nuit. Quand il fait trop chaud, la neige fond très vite le jour, et gèle peu ou pas du tout au cours de la nuit. On dit que la neige est « pourrie », c'est-à-dire dangereuse à fréquenter parce que ne tenant pas sous les pas.

- La fragilisation des passages. Les ponts de neige au-dessus des crevasses, notamment, ne demandent qu'à s'effondrer.
- Les pierres se descellent et tombent dans les couloirs.
- Les orages. L'air surchauffé pompe l'humidité, jusqu'à ce que, surchargé, il dégénère en orage isolé, mais violent. Ce phénomène survient habituellement après quelques jours de "trop beau temps".

### Quand craindre ce "trop beau temps" ?

La notion "d'altitude de l'isotherme zéro degré", ou, plus précisément encore, "d'altitude du niveau de gel" constitue un très bon indicateur. Il s'agit de l'altitude à laquelle, la nuit, la température est assez basse pour que la neige gèle. Ce n'est pas forcément celle à laquelle il fait 0 °C, comme on le pense souvent.

En réalité, la force du vent, le degré d'humidité de l'air, la quantité de nuages dans le ciel, voire la topographie des lieux conditionnent complètement la qualité du regel nocturne, qui varie donc beaucoup selon les lieux. On peut cependant prendre comme point de repère que, lorsque, par beau temps, l'isotherme zéro arrive au-delà de 3 500 mètres (il arrive qu'il dépasse les 4 000 mètres!), les conditions de neige sont défavorables.

### *La dépression*

Le vent de secteur sud à ouest, plus ou moins fort, apporte des nuages et, au fur et à mesure qu'on prend de l'altitude, des précipitations variables: pluie, grêle, neige. L'arrivée d'une perturbation sur le massif montagneux provoque soit une instabilité orageuse, soit du mauvais temps caractérisé.

### L'instabilité orageuse.

Elle est due à la présence d'une dépression faible qui s'est presque comblée au moment où elle arrive, mais qui, au contact de l'air chaud du beau temps, reprend de la vigueur et explose en un ou plusieurs orages. Cette situation peut durer plusieurs jours: on parle alors de "temps pourri".

### Le mauvais temps caractérisé.

L'arrivée d'une perturbation active au contact du relief provoque des précipitations et du vent, aggravés avec l'altitude. Avec, pour conséquence directe, le froid et l'orage. On sait que, plus on gagne en altitude, plus l'air est froid et moins il est capable de retenir l'humidité

Ainsi, là où, en moyenne montagne, il fait encore clair, on trouve, au fur et à mesure qu'on monte, la brume, la pluie, la grêle et, enfin, la neige. Et qui dit neige fraîche et abondante dit très vite risques avalancheux, tandis que les traces sont effacées et les formes rocheuses plâtrées : les conditions deviennent hivernales. Dans le même temps, les précipitations provoquent une baisse importante de la température.

Pour l'alpiniste pris par le mauvais temps en altitude, cela signifie un épuisement physique accéléré, d'autant plus que la progression devient difficile, si ce n'est impossible. Quant au vent, non seulement il peut interdire toute progression, mais il accentue de manière affolante les effets du froid sur le corps.

### Les orages



Un orage est un des phénomènes atmosphériques les plus spectaculaires.

Les orages sont des nuages au sein desquels se produisent des décharges électriques dont

les manifestations les éclairs et le tonnerre. Le nuage caractéristique des orages est le cumulonimbus, reconnaissable par sa grande extension verticale et sa forte densité.

Dans tous les cas d'orage important, l'air est instable en profondeur, de la surface aux hautes altitudes. Comme préalables, il doit y avoir une humidité relative élevée dans les bas niveaux, un air plus sec en altitude, et très souvent un facteur important de soulèvement, tel une montagne ou un front froid.

### Structure et formation

Un nuage d'orage est composé de cellules à divers stades de sa formation. Au plan horizontal, la masse nuageuse peut couvrir de 30 à 500 km. Généralement, ces cellules sont reliées entre elles par d'importantes couches de nuages.

Certains orages peuvent n'être formés que d'une seule cellule, mais celle-ci ne prendra pas l'importance qu'acquiert une cellule faisant partie d'un système multicellulaire. À mesure que l'orage évolue, chaque cellule grossit et gagne une altitude supérieure à celle de la cellule précédente.

### Stade cumulus



stade cumulus

À son début, chaque orage est un cumulus. À ce stade, un courant ascendant prédomine dans toute la cellule, courant vertical qui atteint habituellement sa vitesse maximale dans sa partie supérieure, en fin d'étape. Il n'est pas rare que ce courant atteigne une vitesse de 16 m/s. À chaque niveau de ce courant, la température est supérieure à l'air environnant. Le diamètre de la cellule peut

avoir de 2 à 10 km.

### Stade de maturité



phase de maturité

Lorsque le courant ascendant gagne de hautes altitudes, une abondance de cristaux de glace et de gouttelettes crée des précipitations. L'apparition des précipitations à la surface indique que l'orage a atteint sa phase de maturité. La traînée des précipitations est un des agents initiateurs du courant descendant.

Au début, ce courant descendant ne touche que les couches intermédiaires et inférieures de la cellule. Il augmente graduellement aux plans horizontal et vertical, bien qu'il n'atteigne jamais le sommet du nuage.

L'écoulement de l'air descendant qui s'étale au sol amène des changements marqués dans les conditions en surface. Au cours de cette phase, la cellule peut atteindre une altitude de 9 à 12 km et, dans certaines zones, jusqu'à 20 km.

À l'occasion, un nuage en rouleau se produit au front d'attaque de l'orage, sous l'effet de frottement des courants descendant et ascendant. Leur phase de maturité dure habituellement de 15 à 30 mn.

### Stade de dissipation



stade de dissipation

Le courant descendant gagne graduellement toute la cellule, sauf la partie du sommet où le courant ascendant perdure. À ce stade, l'orage est parvenu au stade de dissipation. La pluie cesse graduellement et le sommet de la cellule s'effiloche en forme d'enclume.

### L'évolution nuageuse



Au début de la journée, le ciel était pourtant bleu avec seulement quelques petits nuages. Cependant, lorsqu'il fait chaud et humide, un mouvement de convection se crée. L'air chaud et humide se refroidit en montant et la vapeur d'eau qu'il contient se condense pour former des gouttelettes d'eau ou des cristaux de glace et, par la suite, un nuage appelé cumulus humilis.



Il fait de plus en plus chaud et que le petit cumulus humilis du matin s'allonge est grossi pour former un autre nuage: le cumulus mediocris.



Ce petit nuage, qui a l'air tout à fait inoffensif, prend de l'altitude et son sommet atteint 6 000 mètres alors qu'il était à 1 000 mètres au début de la journée. Il porte maintenant le nom de cumulus congestus.

La présence du cumulus congestus est un signe de l'instabilité atmosphérique.

L'instabilité atmosphérique et la convection vont faire en sorte que le haut du nuage monte jusqu'à la tropopause, qui est située à 10 000 mètres d'altitude. À cette altitude, il n'y a plus de courants ascendants : le haut du nuage s'étire horizontalement et prend la forme d'une enclume. C'est le cumulonimbus. Trois sortes de cumulonimbus existent: Le cumulonimbus calvus, le cumulonimbus capillatus incus et le cumulonimbus avec mamatus. Le plus violents d'entre eux est le capillatus incus reconnaissable par son sommet en forme d'enclume (incus en latin).



La température à la tropopause est au-dessous de 0°C; le haut du nuage est donc composé de grêlons. Dans un cumulonimbus, les courants d'air vers le haut peuvent dépasser 100 km/h.

Le cumulonimbus peut donner différents types de précipitations. En effet, grêle, pluie, tonnerre, éclairs peuvent survenir durant les orages qui se

produisent au cours de l'été. Aussi, si les courants ascendants ont atteint la tropopause, il y aura formation de mammatus sous l'enclume, ce qui annonce un temps violent et peut-être même la formation d'une tornade.

### Les types d'orages

On classifie les orages selon leur processus de formation. Il y a les orages de masse d'air, et ceux associés aux fronts. Dans les 2 cas, ces orages peuvent être très destructeurs. Cependant, le déplacement d'un front, qui génère des orages, est facilement détectable par photos satellitaires ou radar. Par conséquent, il est donc plus facile de prévoir les orages frontaux que ceux des masses d'air.

### *Les orages de masse d'air (ou convectif)*

Les orages peuvent se produire par suite du réchauffement diurne, du passage d'air froid et humide sur une surface plus chaude ou par ascendance orographique. La topographie est donc un facteur très important.

Même si une masse d'air a des propriétés de température et d'humidité relativement uniformes au plan horizontal, la topographie peut changer localement ces propriétés. Par exemple, l'air près de la surface d'un lac est plus humide qu'à l'intérieur des terres.

Le déplacement des orages dépend uniquement des vents en altitude. De fait, s'il ne vente pas, les orages resteront presque stationnaires.

- Réchauffement diurne de l'air humide. Dans ces conditions, les orages se produisent l'après-midi et en début de soirée par jour chaud de printemps ou d'été. Ils ont tendance à être isolés. La nuit, lorsque le sol se refroidit, l'air se stabilise dans les couches inférieures et l'activité orageuse cesse.
- Air froid et humide se déplaçant au-dessus d'une surface plus chaude. Les orages ont alors mêmes propriétés que celles décrites plus haut. Ils sont fréquents près des zones côtières lorsque les vents du large sont dominants.
- Air froid et humide se déplaçant au-dessus d'une étendue d'eau plus chaude. Dans ce cas, les orages sont plus fréquents en début de

matinée, d'automne ou d'hiver. Ils ne sont pas aussi importants que les orages formés au-dessus du sol, mais ils sont plus compacts.

- **Ascendance orographique.** Des orages peuvent se produire si un écoulement instable d'air humide est soulevé par une chaîne de montagnes. Dans ce cas, ces orages s'alignent le long du côté au vent de la chaîne de montagnes, et durent aussi longtemps que l'écoulement d'air les alimente.

Un tel orage peut-être multicellulaire

### ***Les orages frontaux***

Les orages associés à front froid de perturbation forment une ligne appelée ligne de grains. Ces orages sont alimentés par le front et ont en abondance humidité, mouvements ascensionnels et instabilité. Parfois il se forme des orages auto-entretenus très violents à l'extrémité d'une ligne de grains. Appelés orages super cellulaires, ils peuvent durer plusieurs heures, car le front froid leur fournit un flux continu d'air plus froid à moyenne altitude qui augmente l'instabilité atmosphérique. Ils engendrent les vents, les averses de grêle et les tornades les plus destructeurs.

Voir aussi le chapitre : [Le temps selon le système frontal](#)

### ***Orage multicellulaire ou super cellulaire***

#### **Orage multicellulaire**

Orage formé de plusieurs cellules convectives à différents stades de leur existence. Les plus jeunes se trouvent à l'avant par rapport au déplacement, leur développement augmente vers l'intérieur de la masse nuageuse.

#### **Orage super cellulaire**

Un orage super cellulaire n'est formé que d'une seule cellule convective de très grande taille, de très forte intensité et de très longue durée de vie. A titre de comparaison, le diamètre d'une super cellulaire à maturité varie de 20 km à 50 km alors que celui des multicellulaires ne dépasse 10 km.

### **Cellule convective**

Élément constitutif des orages, formé d'un courant ascendant et d'un courant descendant.

### **Le temps dans un orage**

#### ***Plafond bas et mauvaise visibilité***

La visibilité est souvent nulle à l'intérieur d'un nuage d'orage. Le plafond et la visibilité peuvent aussi être réduits par les précipitations dans l'espace vertical situé entre la base du nuage et le sol.

#### ***Pluie***

Au début, la pluie associée à une cellule ne couvre que quelques kilomètres carrés. Lorsque l'air froid s'étale, la pluie suit le mouvement pendant un certain temps puis perd du terrain, tandis que la zone d'air froid sans pluie s'élargit. À mesure que la cellule se dissipe, la zone de pluie diminue tandis que l'air froid continue de s'étaler.

#### ***Température***

La température près de la surface baisse rapidement lors du passage d'un orage dans ce secteur. L'air immédiatement sous l'orage provient du cumulonimbus, plus froid que l'air de surface.

Même si l'air du nuage se réchauffe quelque peu lors de sa descente vers la surface, ce réchauffement ne sera pas suffisant pour que sa température soit égale à celle de l'air en surface.

Par conséquent, lors du passage d'un orage, on notera dans la plupart des cas une baisse importante de la température de surface.

#### ***Pression***

Au cours du stade initial de l'orage, le courant ascendant dominant produit une baisse de la pression en surface. Lorsque la cellule parvient à maturité, la sortie d'air froid cause une hausse soudaine de la pression, qui diminue une fois que la cellule est passée. Les changements de pression



de surface sont fréquents et difficilement prévisibles lors du passage d'un orage.

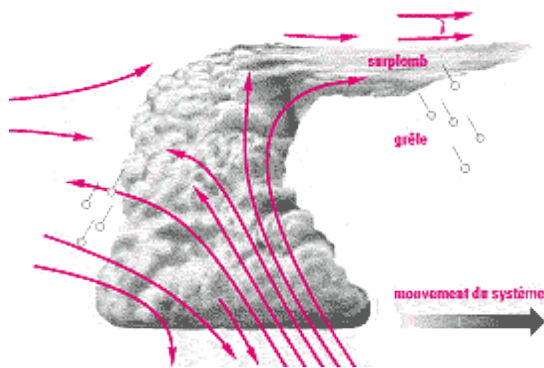
### **Eclairs**

L'éclair est l'élément le plus spectaculaire des décharges électriques.

Même si la foudre se produit surtout dans des secteurs où la température se situe entre 0°C et 13.4,9°C, il est fréquent que les éclairs frappent des endroits où le régime de température est bien différent. Par exemple, les éclairs générés par un nuage peuvent frapper le sol, même si celui-ci est beaucoup plus chaud que leur secteur d'origine.

Enfin, on peut dire que l'augmentation de la fréquence des éclairs est proportionnelle à l'augmentation d'intensité d'un orage. Le contraire est aussi vrai. La nuit, de fréquents éclairs sur une longue partie de l'horizon sont la manifestation d'une ligne de grains.

### **La grêle**



Dans les cellules matures dont les courants ascendants sont d'une intensité inhabituelle, il peut y avoir de la grêle. Si la cellule s'élève en diagonale, il est possible que la grêle près de son sommet tombe dans un ciel dégagé. Elle semble alors tomber d'étages en surplomb. La grêle est plus fréquente à des altitudes d'environ 3 000 à 4 500 m.

### **Givrage**

Les nuages d'orage comprennent des courants verticaux assez forts pour transporter en altitude de grosses gouttelettes avec une rapidité telle,

que même par températures au-dessous de 13.25° C, le contenu en eau du nuage peut être relativement élevé.

C'est probablement dans la partie supérieure des cellules venant d'atteindre leur maturité, que les possibilités de givrage sont les plus fortes. La concentration des gouttelettes diminue alors à mesure que la cellule traverse sa phase de maturité, de sorte qu'au stade de la dissipation, la partie supérieure de la cellule se compose surtout de cristaux de glace.

### **Vents**

Au stade cumulus, un léger afflux d'air gagne la cellule puis, à mesure que le courant descendant se développe, son air froid s'étale le long de la surface. Cet air s'enfonce sous l'air chaud, de sorte qu'il crée une sorte de front froid miniature.

Ce front est appelé front de rafale. Lorsque le front d'attaque de l'air froid se manifeste par une brusque saute de vent, ce vent, surtout en surface, est accompagné de fortes rafales quelquefois destructrices.

### **Rafales**

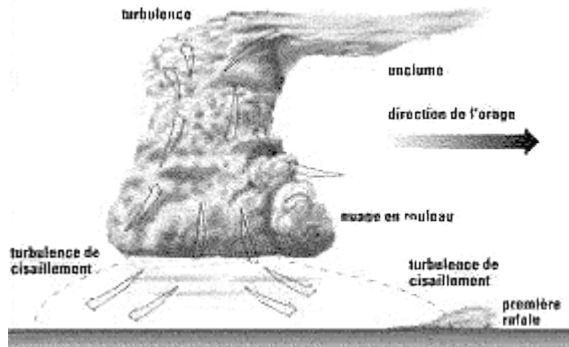
Les rafales sont des variations transitoires et irrégulières de la vitesse du vent, causées par de petits tourbillons insérés dans l'écoulement général de l'air. Dans un orage, elles résultent des mouvements de cisaillement.

Au sein du nuage, les rafales s'intensifient avec l'altitude jusqu'à 1 500 à 3 000 m au-dessus du sommet. En général, les rafales sont au plus faible au voisinage ou en dessous de la base du nuage.

Dans les couches inférieures, les rafales sont au plus fort lorsque le courant descendant atteint le sol, c'est-à-dire peu de temps après le début de la pluie. L'anneau de fortes rafales s'étale alors vers l'extérieur de la zone de pluie, avec une vitesse de déplacement maximale dans la direction du vent dominant.

## Micro rafales

Les micro rafales sont d'intenses courants descendants qui se produisent à petite échelle sous un orage violent; en atteignant le sol, elles soufflent vers l'extérieur, à partir du centre de la base de l'orage. Elles sont la cause de cisaillement horizontal et vertical.



## Turbulence

Dans un nuage, la turbulence est constituée de courants soutenus et non horizontaux; lors d'un orage, ces courants sont continus au-dessus de tout le secteur.

Durant la période active de la cellule, le nuage est

presque entièrement parcouru par cette turbulence. Un courant ascendant prédomine durant le stade initial, alors que durant le stade terminal de l'orage, c'est le courant descendant qui est dominant.

La largeur du courant ascendant associé au développement du cumulus est habituellement inférieure à 7,5 km, bien qu'à l'occasion il puisse s'élargir jusqu'à 12 km. Durant le stade terminal, le courant ascendant est presque entièrement confiné à une altitude de 3 à 4,5 km.

Les courants descendants sont plus lents et de moindre étendue horizontale que les courants ascendants. Les courants descendants traversent la base du nuage et s'arrêtent près du sol, où l'air froid s'étale horizontalement. De la phase de maturité au stade de dissipation, le courant atteint sa vitesse maximale puis diminue d'intensité.

Sous le nuage, le courant principal est le courant descendant d'air froid associé à la zone de précipitations. Bien qu'il commence à s'étaler et à ralentir avant d'atteindre le sol, à des altitudes de moins de 300 m en zone de précipitations, il peut être important.

Généralement, un courant de cette sorte ne s'étend pas horizontalement sur plus de 5 km.

## Ligne de grain

Le grain est une variation violente du vent qui se produit le long d'une ligne étroite et mobile. Cette ligne est très souvent accompagnée d'averses ou d'orages. Elle se développe fréquemment à l'avant d'un front froid dans de l'air humide et instable, mais elle peut également se développer dans l'air instable, très loin de tout front.

Elle renferme souvent des orages supercellulaires très violents, et présente donc le plus grand danger.

Une ligne de grain se forme rapidement; elle atteint son intensité maximale en après-midi et durant les premières heures de la tombée de la nuit.

## Météorologie : les nuages

### Les nuages

#### Introduction

Qu'est ce qu'un nuage : Les nuages sont constitués de minuscules gouttelettes d'eau ou de cristaux de glace (1 à 100 microns de diamètre). Ces éléments sont dus à la condensation obtenue notamment par détente de la vapeur invisible toujours contenue dans l'atmosphère autour de minuscules impuretés appelées noyaux de condensation (cristaux de sel marin, pollens, poussières).

Les gouttelettes et cristaux ont une vie dans le nuage; ils peuvent s'évaporer et se reformer. Leur vitesse de chute, de l'ordre du millimètre par seconde, est imperceptible au sein de l'agitation de l'air nuageux. La quantité d'eau condensée est faible, de l'ordre du gramme par mètre cube d'air, et ne représente qu'une faible partie de l'eau atmosphérique, le reste étant constitué par la vapeur d'eau présente dans le nuage.

### Les 10 genres de nuages



Classification générale des nuages : Bien que les nuages soient en perpétuelle évolution, il est possible de définir un nombre limité de formes caractéristiques permettant de les classer. La classification des nuages est basée sur l'existence de dix groupes, appelés "genres", qui s'excluent mutuellement mais comportent des subdivisions en "espèces" et en "variétés", parfois communes d'un genre à l'autre.

Description de la classification des nuages : Chacun des divers processus de formation donne des formes particulières et se trouve donc indirectement pris en compte dans la classification. Il en est de même pour l'altitude. L'altitude d'un genre nuageux est fortement influencée par la structure thermique de l'atmosphère. Elle varie donc avec la latitude, la saison, la situation météorologique et même l'heure de la journée, mais l'étagement relatif des différents genres est immuable.

Les nuages les plus élevés, qui occupent l'étage supérieur de la troposphère sont constitués de cristaux de glace (préfixe: Cirr ou Cirro) et comprennent les genres Cirrus, Cirrocumulus et Cirrostratus.

Ceux de l'étage moyen (préfixe: Alto), généralement constitués de gouttelettes d'eau, parfois de cristaux de glace, comprennent les Alto cumulus et Altostratus, et le Nimbostratus. L'Altostratus peut pénétrer dans l'étage supérieur; le Nimbostratus déborde généralement dans les étages supérieur et inférieur.

A l'étage inférieur, on trouve les genres Stratocumulus et Stratus, nuages bas.

Enfin, les Cumulus et Cumulonimbus, nuages d'instabilité qui ont généralement leur base dans l'étage inférieur, peuvent monter à travers les deux autres étages. Ils sont en éléments séparés, ayant l'aspect de monceaux, de montagnes ou de tours dont l'extension verticale peut être comparable à l'extension horizontale.

La majeure partie de la masse de ces nuages est constituée de gouttelettes d'eau, mais la partie supérieure des Cumulonimbus et de certains Cumulus, qui peut atteindre 8 à 13 km d'altitude et parfois bien plus (15 à 20 km dans les régions tropicales) est formée de cristaux de glace.

## Cirrus (Ci)

### Description générale

Nuages détachés sous forme de délicats filaments blancs composés de bancs ou d'étroites bandes blanches ou en majeure partie blanche. Ces nuages ont un aspect fibreux (chevelu), un éclat soyeux ou les deux.

Les cirrus sont formés de cristaux de glace qui se colorent au coucher du soleil. Ils annoncent généralement un changement de temps avant 36 heures s'ils sont suivis de cirrostratus.

S'ils se présentent en longues traînées allongées, ils annoncent l'arrivée d'un front chaud. Le vent se renforce dans les six à douze heures, la température et le thermomètre sont en baisse. Le temps sera à la pluie. Si au contraire, les cirrus sont denses et larges, avec une augmentation de la pression, il n'y aura pas de mauvais temps dans l'immédiat. Les cirrus indiquent la direction des vents de haute altitude (jet-stream). Si le vent d'altitude souffle dans le même sens ou en sens opposé par rapport au vent au sol, pas de modification de temps à prévoir.

### Altitude

Étage supérieur : 6000 mètres

### Espèces

#### Fibratus

Nuages détachés ou en un voile fin consistant en filaments presque rectiligne ou plus ou moins irrégulièrement recourbé ne se terminant pas en crochet ou en touffes.

#### Uncinus

Cirrus habituellement en forme de virgule se terminant, dans sa partie supérieure, en un crochet ou une touffe et dont l'extrémité supérieure n'est pas en forme de protubérance arrondi.

## Spissatus

Cirrus suffisamment épais pour être gris lorsque vu près du soleil

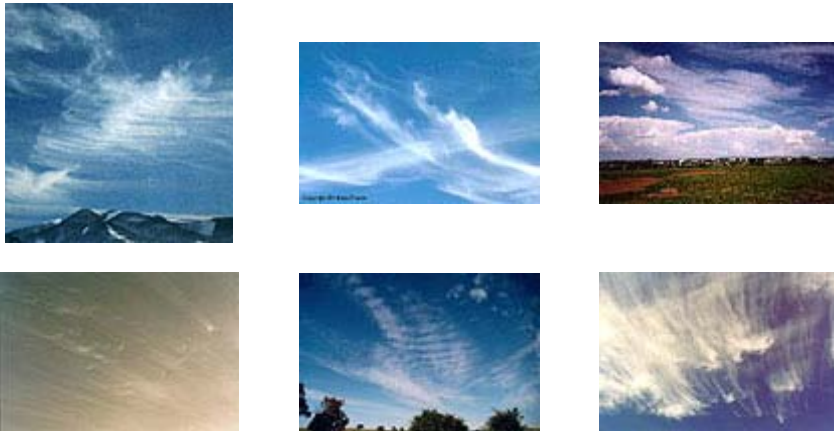
## Castellanus

Nuages qui présentent dans leur partie supérieure des protubérances en forme de tours et qui leur donnent une apparence crénelées. Les tours sont issues de la même base et arrangées en ligne.

## Flocus

Chaque nuage est une touffe d'apparence cumuliforme dont la base est plus ou moins déchiquetée et qui s'accompagne souvent de virga.

## Exemples



**Cirrocumulus (Cc)**

## Description générale

Banc, nappe ou couche mince de nuages blancs sans ombre propre composés de très petits éléments en forme de granules, de rides, etc., soudés ou non et disposés plus ou moins régulièrement; la plupart des éléments ont une largeur apparente inférieure à 1 degré (de moins d'un doigt tenu à longueur de bras).

## Altitude

Étage supérieur : 6000 mètres

## Espèces

### Castellanus

Nuages qui présentent dans leur partie supérieure des protubérances en forme de tours et qui leur donnent une apparence crénelées. Les tours sont issues de la même base et arrangées en ligne.

### Flocus

Chaque nuage est une touffe d'apparence cumuliforme dont la base est plus ou moins déchiquetée et qui s'accompagne souvent de virga.

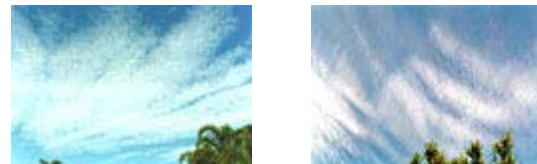
### Stratiformis

Les nuages s'étendent en une vaste nappe ou couche horizontale.

### Lenticularis

Nuages en forme de lentilles ou d'amandes, souvent allongés et avec un pourtour bien défini montré par une irisation.

## Exemples



**Cirrostratus (Cs)**

## Description générale

Voile nuageux transparent et blanchâtre, d'aspect fibreux (chevelu) ou lisse, couvrant le ciel en totalité ou en partie et donnant le plus généralement lieu à des phénomènes de halo (et notamment au halo de 22° de rayon, cercle lumineux, centré sur le soleil, semblable à un arc-en-ciel dont l'ordre des couleurs aurait été inversé).

L'ensemble des nuages du genre Cirrus, et notamment les Cirrus et Cirrostratus, indiquent en général l'approche ou la proximité d'une perturbation et du système nuageux qui lui est associé et dont ils constituent la "tête" ou la "marge".

### **Altitude**

Étage supérieur : 6000 mètres à 12000 mètres

### **Espèces**

#### **Fibratus**

Nuages détachés ou en un voile fin consistant en filaments presque rectiligne ou plus ou moins irrégulièrement recourbé ne se terminant pas en crochet ou en touffes.

#### **Nebulosus**

Nuages en forme de voile ou couche, sans détail distinct.

### **Exemple**



Cirrostratus avec halo

### **Alto cumulus (Ac)**

#### **Description générale**

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, ce qui donne au ciel une allure pommelée. (entre un et trois doigts tenus à longueur de bras).

Lorsqu'un banc d'alto cumulus passe devant le soleil ou la lune, un étroit anneau coloré apparaît, vert à l'intérieur et rouge à l'extérieur. On dit alors que l'astre a une "couronne". Cette couronne est surtout visible de nuit (autour de la lune).

### **Altitude**

La base de ce nuage est comprise entre 2,5 et 5 km d'altitude aux latitudes tempérées.

### **Espèce**

#### **Castellanus**

Autre espèce particulière d'Alto cumulus (et aussi de Cirrus, Cirrocumulus, et Stratocumulus) présentant dans leur partie supérieure des protubérances cumuliformes analogues à de petites tours, ce qui donne à ces nuages un aspect crénelé. Les Alto cumulus castellanus indiquent l'existence d'une certaine instabilité à caractère orageux en altitude; ils peuvent ainsi précéder ou annoncer le développement de Cumulonimbus et des orages qui les accompagnent.

### **Flocus**

Chaque nuage est une touffe d'apparence cumuliforme dont la base est plus ou moins déchiquetée et qui s'accompagne souvent de virga.

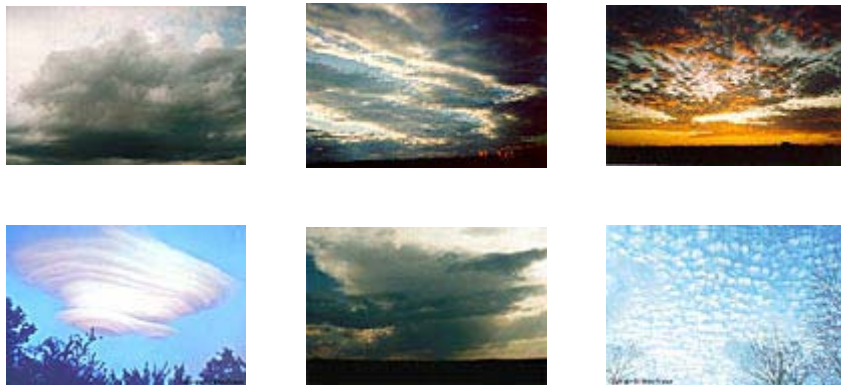
### **Stratiformis**

Les nuages s'étendent en une vaste nappe ou couche horizontale.

### **Lenticularis**

Espèce particulière d'altocumulus (et parfois de cirrocumulus ou de stratocumulus) en forme de lentilles ou d'amandes, souvent très allongés, dont les contours sont bien délimités; ils apparaissent parfois en piles d'assiettes, superposées les unes aux autres et peuvent présenter des irisations. Ces nuages "d'ondes" ont généralement une origine orographique et apparaissent dans la partie ascendante d'ondes sinusoïdales, formées sous le vent des massifs montagneux, parfois très loin de ceux-ci.

### Exemples



### Altostratus (As)

#### Selon l'altitude

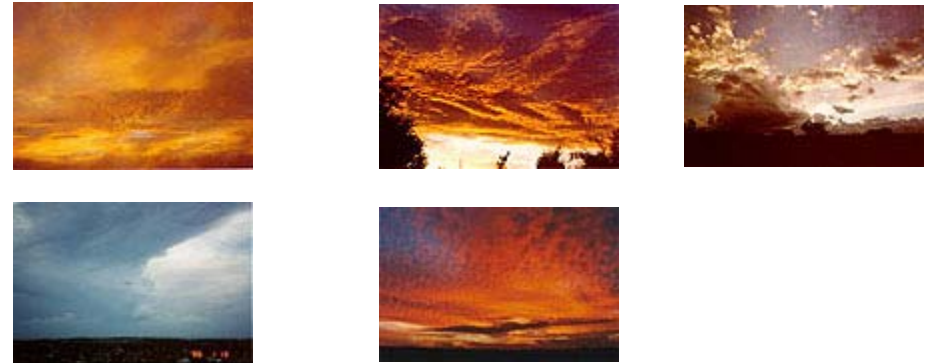
Nappe ou couche nuageuse grisâtre ou bleuâtre, d'aspect strié, fibreux ou en uniforme couvrant entièrement ou partiellement le ciel et présentant des parties suffisamment minces pour laisser voir le soleil, au moins vaguement, comme au travers d'un verre dépoli ("translucidus"). Il ne présente pas de phénomène de halo.

Certains altostratus épais peuvent masquer complètement le soleil (Altostratus "opacus").

### Altitude

Étage moyen : 2000 mètres à 5000 mètres

### Exemples



### Nimbostratus (Ns)

#### Description générale

Couche nuageuse grise, souvent foncée dont l'aspect est rendu flou par des chutes de pluie plus ou moins continues, qui, dans la plupart des cas atteignent le sol. Il masque complètement le soleil sur toute son étendue. Sous sa base on retrouve fréquemment des nuages bas, déchiquetés, soudés ou non avec elle ainsi que des précipitations.

### Altitude

Étage inférieur : Du sol à 2000 mètres

### Exemples



## Stratocumulus (Sc)

### Description générale

Banc, nappe ou couche de nuages gris ou blanchâtre, ou les deux à la fois, ayant presque toujours des parties foncées, formées de dalles, de galets, de rouleaux, etc., d'aspect non fibreux, soudés ou non.

La plupart des petits éléments disposés régulièrement ont une largeur apparente supérieure à cinq degrés, (I 'Altocumulus, d'aspect comparable, a un diamètre apparent inférieur à 5°, car il est plus haut dans le ciel) . Les éléments de Stratocumulus peuvent s'étaler et se souder. Le Stratocumulus apparaît alors en couche continue présentant des bourrelets.

Le Stratocumulus peut avoir un aspect menaçant, mais il n'est généralement pas accompagné de précipitations. On peut le rencontrer en dehors des perturbations (zones de liaison) mais également dans le secteur chaud des systèmes nuageux, entre le passage du front chaud et celui du front froid.

Les strato-cumulus donnent rarement de la pluie, plutôt de la bruine, et se rencontrent surtout dans les ciels de traînent, à la fin d'une perturbation.

Ils se transforment souvent en nimbostratus lorsque sa base, généralement ondulée, devient uniforme.

### Altitude

Étage inférieur : Du sol à 2000 mètres

### Espèces

#### Castellanus

Nuages qui présentent dans leur partie supérieure des protubérances en forme de tours et qui leur donnent une apparence crénelées. Les tours sont issues de la même base et arrangées en ligne.

### Flocus

Chaque nuage est une touffe d'apparence cumuliforme dont la base est plus ou moins déchiquetée et qui s'accompagne souvent de virga.

### Stratiformis

Les nuages s'étendent en une vaste nappe ou couche horizontale.

### Lenticularis

Nuages en forme de lentilles ou d'amandes, souvent allongés et avec un pourtour bien défini montré par une irisation.

### Exemples



## Stratus (St)

### Description générale

Couche nuageuse, généralement grise, à base assez uniforme pouvant donner lieu à de la bruine, des cristaux de glace ou de la neige en grains.



Lorsque le soleil est visible à travers ces nuages, on distingue facilement son contour. Il se présente parfois en bandes déchiquetées.

On peut rencontrer le Stratus dans le secteur chaud des systèmes nuageux, mais aussi par situation anticyclonique, en hiver, en dehors de toute perturbation. Le Stratus est alors un brouillard qui ne touche pas (ou qui ne touche plus) le sol

### Altitude

Du sol à 2000 mètres

### Espèce

#### Nebulosus

Nuages en forme de voile ou couche, sans détail distinct.

#### Fractus

Nuages en forme de lambeaux irréguliers ayant une apparence nettement déchiquetée.

### Exemples



Cumulus (Cu)

### Description générale

Nuages détachés, normalement denses et aux contours bien délimités, se développant verticalement sous forme de mamelons, de dômes et de tours, dont la partie supérieure bourgeonnante a souvent l'aspect d'un chou-fleur. Les parties du nuage éclairées par le soleil sont d'un blanc éclatant; la base est relativement foncée et horizontale. Les cumulus n'empêchent pas le soleil de briller car ils sont dispersés et ne masquent donc jamais le soleil très longtemps.

Ils apparaissent souvent le matin dans un ciel bleu sous la forme "humilis", de petits nuages aux contours déchiquetés, puis grossissent dans la journée pour devenir "congestus". Ils sont alors plus gros, avec des contours arrondis et bourgeonnants. Ils se résorbent souvent en fin d'après-midi et permettent de retrouver un ciel dégagé au coucher du soleil. Dans le cas contraire, des averses sont possibles.

Les cumulus sont par définition des nuages de beau temps.

### Altitude

À développement vertical : 500 mètres

### Espèces

#### Humilis

Cumulus de faible extension verticale.

#### Mediocris

Cumulus d'extension verticale moyenne et dont le sommet montre de petites protubérances

#### Congestus

Cumulus bourgeonnant de grande extension verticale et dont la partie supérieure ressemble à un chou-fleur

### Exemples



## Cumulonimbus (Cb)

### Description générale

Nuage dense à extension verticale considérable en forme de montagne ou de tour immense. Une partie au moins de sa région supérieure est généralement lisse, fibreuse ou striée et presque toujours aplatie; cette partie cirriforme s'étale souvent en forme d'enclume ou de vaste panache".

Au-dessous de la base de ce nuage, très sombre, il existe fréquemment des nuages bas déchiquetés, soudés ou non avec elle, et des précipitations. Son aspect rappelle souvent celui d'un nimbostratus, pour un observateur placé au-dessous.

Les Cumulonimbus résultent de mouvements verticaux violents engendrés par le réchauffement de l'air au voisinage du sol, le jour, ou de la surface de la mer la nuit (convection thermique), le relief ou la rencontre de masses d'air d'origine et de structure thermique différentes ("fronts"), mouvements qui peuvent se propager et s'amplifier jusqu'à 10-12 km, voire 20 km d'altitude dans les régions tropicales (vitesses verticales de l'ordre de 5 à 30 m/s).

On peut donc rencontrer les Cumulonimbus de manière isolée, l'été, notamment en montagne, mais également en lignes de grains plus ou moins continues, le long des fronts froids, à nos latitudes ou le long de "tornades" en Afrique.

La base est située le plus souvent entre quelques centaines de mètres et 2 km d'altitude aux latitudes tempérées.

\* Les cumulonimbus sont parfois gigantesques. Ils peuvent atteindre plus de 10 kilomètres de diamètre et 18 kilomètres de haut, c'est-à-dire deux fois la hauteur du Mont Everest!

\* A l'intérieur d'un cumulonimbus, les vents atteignent parfois la vitesse de 200 km/h.

### Altitude

À développement vertical : A partir de 500 mètres et jusqu'à 12000 mètres.

### Espèces

#### Calvus

Le Cumulonimbus Calvus ressemble à un Cumulus congestus dans lequel certains bourgeonnements commencent à former une masse blanchâtre, avec des stries plus ou moins verticales, mais où aucune partie cirriforme ne peut être encore distinguée.

#### Capillatus

Le Cumulonimbus Capillatus, stade ultime du Cumulonimbus en pleine maturité présente toujours à sa partie supérieure une enclume un panache ou une vaste chevelure cirriforme plus ou moins désordonnée. Générateur d'averses de grains (coups de vent), d'orages et de grêle (une averse orageuse dans nos régions peut donner jusqu'à 30 à 100 mm de pluie en une heure, soit 30 à 100 litres au m<sup>2</sup>).

### Exemples

