

Illustration des effets de la force d'inertie de Coriolis dans la dynamique
des climats : **ELEMENTS DE METEOROLOGIE**



Arcs en ciel primaire et secondaire

Remerciements à toute l'équipe Météo France de VANNES, et tout particulièrement à Jean-Paul BENECH pour son aide précieuse...

ELEMENTS DE METEOROLOGIE

Introduction : Cet exposé a pour objectif la présentation de notions élémentaires de météorologie. Après une présentation générale de la dynamique du climat, nous développerons les modèles de front chaud et front froid dans le but de définir les perturbations dépressionnaires et les fronts occlus. Nous terminerons cet exposé par une présentation de l'information météorologique.

I : Dynamique générale du climat

I.1 : La force d'inertie de Coriolis

Référentiel galiléen :

"Le mouvement est comme rien..." Galilée (1564-1642). Pour illustrer ses propos, Galilée pris l'image d'un navire en mouvement rectiligne et uniforme (uniforme : à vitesse constante) par rapport à la jetée. Un marin ne peut mettre en évidence le mouvement du bateau par rapport à la jetée par des expériences dynamiques. On peut imaginer par exemple qu'un marin lâche un boulet depuis le haut du mât du bateau, à une distance de un mètre. Le boulet tombe au sol à une distance de un mètre du mât... Si le bateau est dans la brume, rien à bord ne permet de dire si le bateau est en mouvement ! S'il est en mouvement, l'observateur dira que son navire est galiléen. En physique, les phénomènes sont observés par rapport à un référentiel (défini par un repère et un observateur). Nous pouvons dire que le référentiel attaché au bateau est un référentiel galiléen.

Si on remplace le bateau de Galilée par une voiture, ceci est toujours vérifié pourvu que la voiture décrive une trajectoire rectiligne et uniforme par rapport au référentiel terrestre. Les caractéristiques sont les mêmes, rien dans la voiture ne permet de dire si elle est en mouvement ou non...! Si par contre la voiture effectue le tour d'un rond-point, on se sent poussé vers l'extérieur du virage. Pour peu que la vitesse soit suffisante, tout bouge et glisse dans la voiture. Le référentiel attaché à la voiture n'est plus galiléen.

Nous sommes en mesure de définir les référentiels galiléens : **Un référentiel est galiléen tant que rien ne prouve qu'il est en mouvement⁽¹⁾.**

Référentiel non galiléen et forces d'inerties :

Dans un référentiel non galiléen, nous ressentons des forces d'inertie (exemple : voiture autour d'un rond-point...). On définit deux forces d'inerties : la force d'inertie d'entraînement et la force d'inertie de Coriolis. A l'échelle atmosphérique, le référentiel terrestre n'est pas galiléen. La force d'inertie de Coriolis joue un rôle essentiel dans la dynamique du climat. On montre que la force d'inertie de Coriolis ressentie par un point matériel M de masse m, animé d'une vitesse $\vec{v}(M)_R$ dans le référentiel terrestre a pour expression :

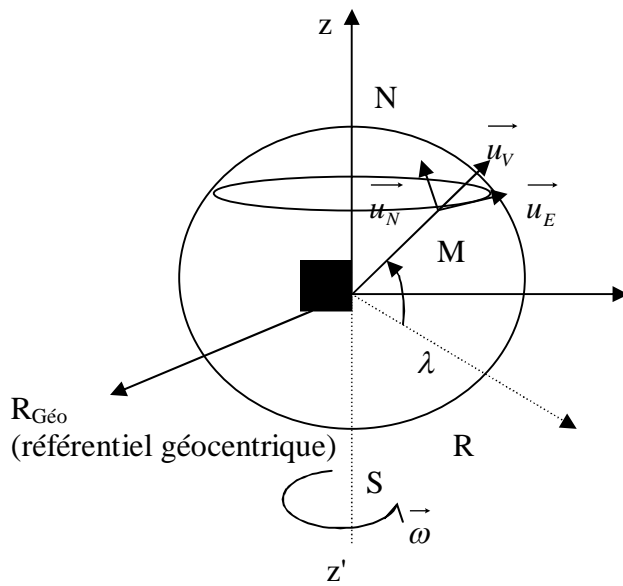
$$\vec{F}_{iC} = -2m\vec{\omega} \wedge \vec{v}(M)_R$$

avec $\vec{\omega} = \omega \vec{u}_z$, $\omega = \frac{2\pi}{T}$ est la pulsation associée à la rotation du référentiel terrestre par rapport au référentiel géocentrique supposé galiléen.

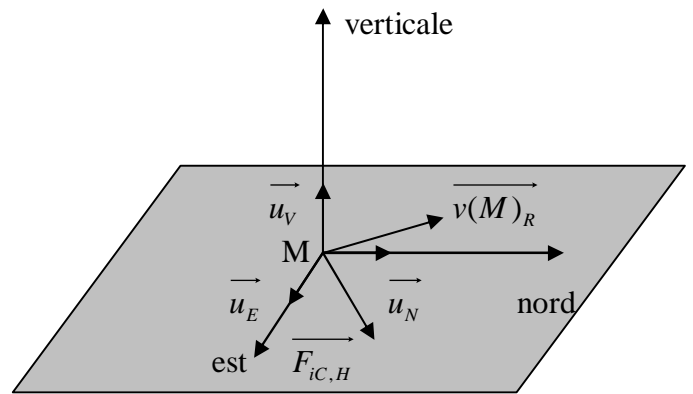
La contribution de la force d'inertie de Coriolis dans le plan horizontal est donnée par :

$$\vec{F}_{iC,H} = -2m \sin \lambda. (\vec{u}_V \wedge \vec{v}(M)_R)$$

Présentation générale :



Dans le plan horizontal :



Le produit vectoriel dans l'expression de $\vec{F}_{ic,H}$ impose une force perpendiculaire au vecteur vitesse dans le plan horizontal. Dans l'hémisphère nord, la latitude λ est comprise entre 0 et $\frac{\pi}{2}$, donc $\sin \lambda \neq 0$.

Ceci implique⁽²⁾ que **la force d'inertie de Coriolis horizontale est orientée vers la droite** du vecteur vitesse dans l'hémisphère nord (vers la gauche ($\sin \lambda < 0$) dans l'hémisphère sud).

Mise en évidence de la force d'inertie de Coriolis horizontale :

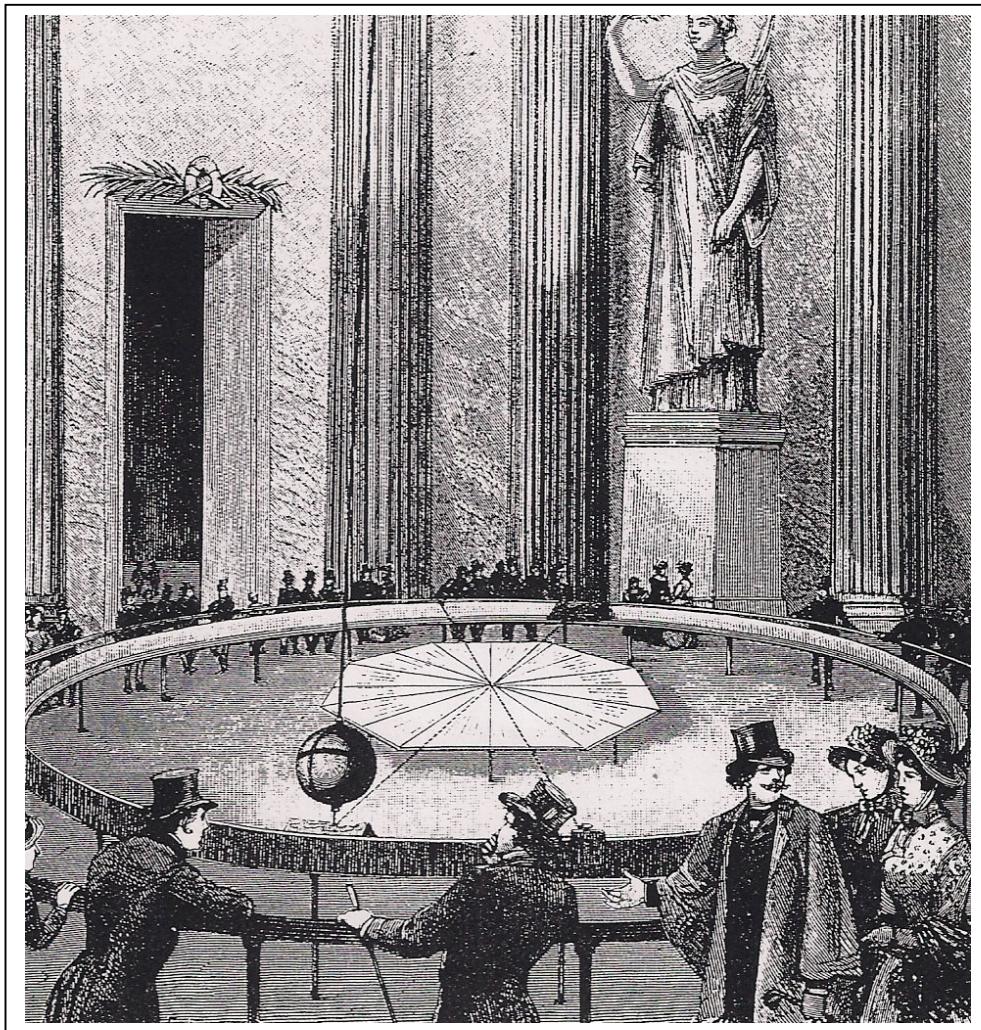
Cette force a été mise en évidence au cours du XIX^{ème} siècle par des expériences restées célèbres. La plus connue est certainement celle que réalisa L. Foucault au Panthéon en 1851.

Léon Foucault
(1819-1868)



Léon Foucault fixa un pendule de longueur 67 mètres et de masse 28 kilogrammes sous la coupole du Panthéon. Au lieu d'osciller librement dans le plan vertical, le pendule de Foucault

voit son plan d'oscillation tourner autour de l'axe vertical avec une période de 31 heures 52 minutes. Ceci est une illustration de la force d'inertie de Coriolis horizontale.



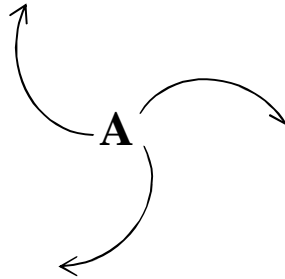
Expérience du Panthéon, mars 1851

Ordre de grandeur :

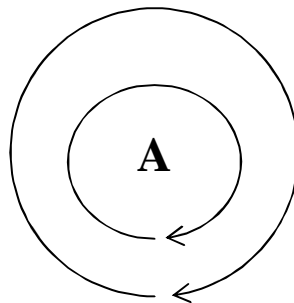
Pour apprécier l'intensité de la force d'inertie de Coriolis horizontale, considérons une voiture quittant Paris dans la direction de la Bretagne avec une vitesse de 180 km/h (soit 50 m/s). La période de rotation terrestre étant de 24 heures (on assimile ici la période sidérale à la période solaire), si la latitude de la voiture est $\lambda = 49^\circ$ et qu'elle pèse une tonne, l'intensité de la force d'inertie de Coriolis horizontale est de 5 newtons (orientée vers le nord). C'est à dire que cette force est équivalente à celle exercée par une masse de 500 g dans le plan vertical... De la même manière un randonneur de masse 70 kg évoluant à la même latitude ressent une force de 0,01 newton. L'intensité de cette force est très faible ! Nous la compensons naturellement de manière inconsciente. Ceci justifie la raison pour laquelle cette force n'est pas perceptible dans notre vie quotidienne. En fait nous ne ressentons pas cette force parce que nous avons la capacité de la compenser... Par contre les molécules atmosphériques ou océaniques n'ont pas cette capacité. Leur trajectoire dans le plan horizontal est fortement influencée par la force d'inertie de Coriolis horizontale qui impose à ces molécules une déviation vers la droite dans l'hémisphère nord.

Application aux anticyclones et dépressions :

Un anticyclone est une zone de haute pression. L'air a tendance à fuir cette zone. Ce faisant, il subit une déviation vers la droite dans l'hémisphère nord. Les mouvements d'air autour d'un anticyclone ont l'allure suivante :

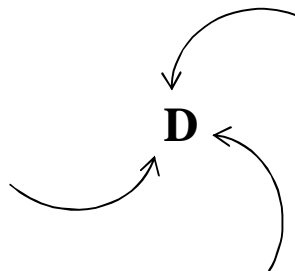


Dans le modèle géostrophique, nous négligeons la divergence de la masse d'air. L'allure des mouvements d'air autour d'un anticyclone en altitude est circulaire dans le sens horaire :

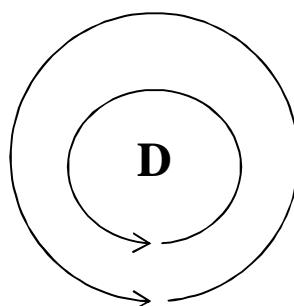


Dans l'hémisphère nord,
l'air tourne dans **le sens horaire**
autour d'un **anticyclone**

De la même manière, une dépression est une zone de basse pression. L'air a donc tendance à converger vers cette zone. Ce faisant, il subit une déviation vers la droite. Les mouvements d'air autour d'une dépression ont l'allure suivante :

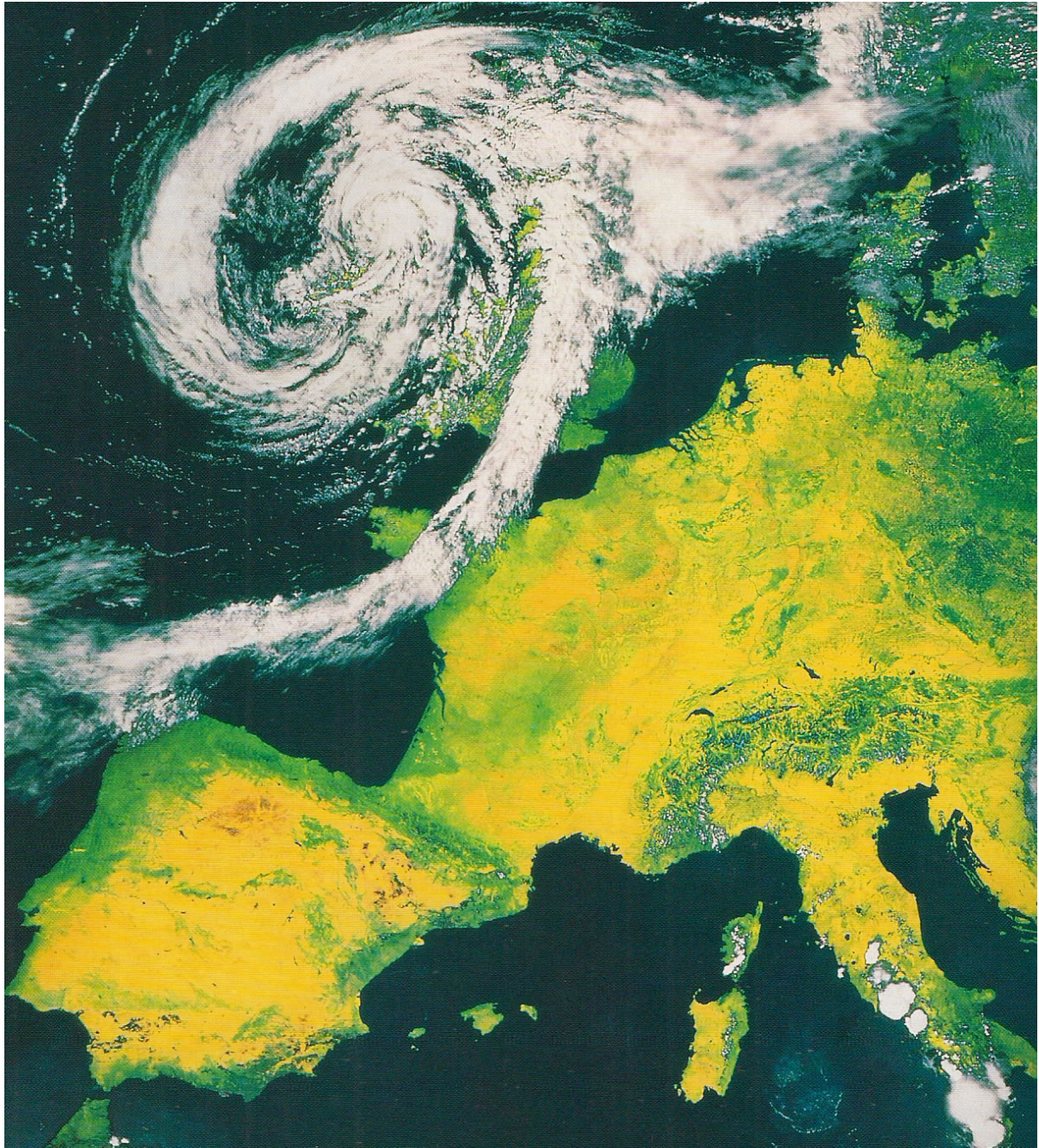


Dans le modèle géostrophique, l'allure des mouvements d'air autour d'une dépression en altitude est circulaire dans le sens antihoraire (ou sens trigonométrique) :



Dans l'hémisphère nord,
l'air tourne dans **le sens antihoraire**
autour d'une dépression

Le mouvement des masses d'air dans les zones dépressionnaires est visible sur les images satellites :

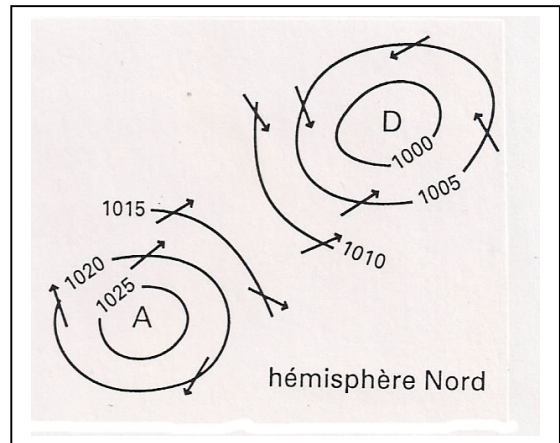


Le sens de rotation des masses d'air autour des anticyclones et dépression permet de justifier la loi de BUYS-BALLOT énoncée à la fin du XIX^{ème} siècle.

Loi de BUYS-BALLOT : dans l'hémisphère nord, face au vent, on laisse les **d**épressions à sa **d**roite et les anticyclones à sa gauche.

Les frottements au sol s'accompagnent d'un écart entre la direction du vent au sol et en altitude. Sur ce schéma, les flèches représentent les vents en surface.

Ceci implique que, face au vent, dans l'hémisphère nord, il faut se méfier des dépressions qui sont à droite du vent.....



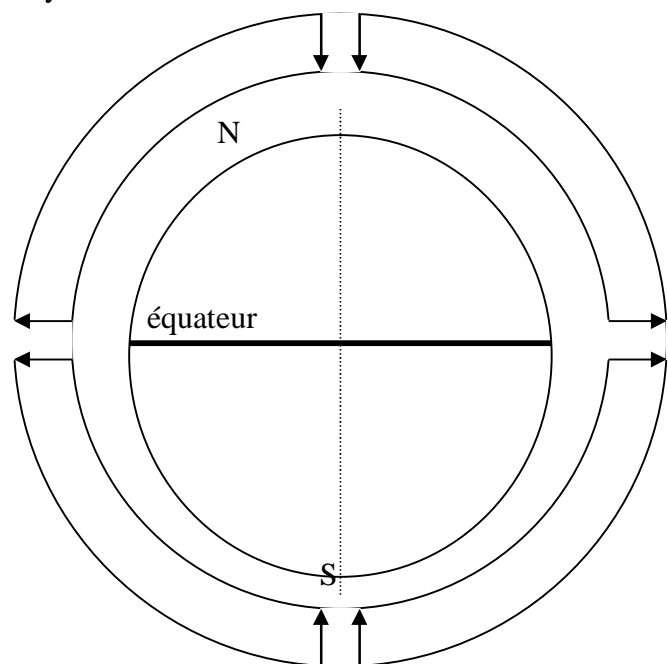
I.2 : Cellules atmosphériques et courants de surface

Modèle de Rossby et applications :

Compte tenu de sa forme sphérique, un faisceau incident de lumière parallèle émit par le soleil éclaire une plus grande surface aux pôles qu'à l'équateur géographique. Ceci implique que les pôles sud et nord sont plus froids que l'équateur. Prenons l'exemple de la lune, sa température varie de 200°C à -100°C entre les zones d'éclaircissement et les zones d'ombre. Si nous n'observons pas de tels écarts à la surface terrestre, c'est grâce aux courants atmosphériques et océaniques qui compensent partiellement les gradients thermiques.

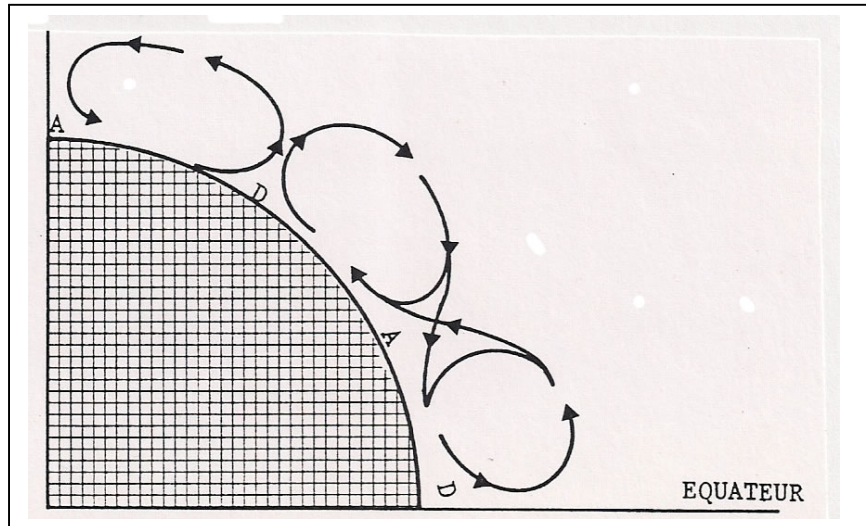
Hadley (1685-1768) imagina que chaque hémisphère est occupé par une cellule dans laquelle s'effectue des mouvements d'air de l'équateur vers un pôle. En effet, l'air à l'équateur étant plus chaud qu'au pôle, il est plus léger (nous savons que l'air chaud est plus léger que l'air froid, c'est pour cela que la fumée de cheminée monte...). L'air équatorial subit un mouvement ascendant ce qui crée une zone dépressionnaire. Cette dépression aspire l'air des pôles vers l'équateur. En altitude, l'air équatorial évolue vers le pôle. Ces mouvements imaginés par Hadley constituent une cellule dite de « Hadley ».

Cellule de Hadley dans l'hémisphère nord



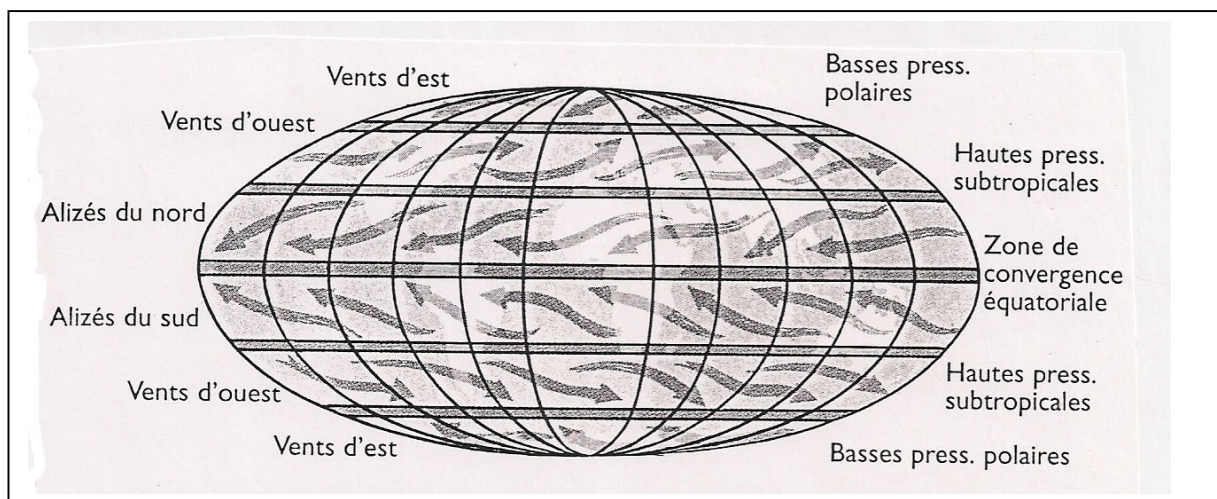
Cellule de Hadley dans l'hémisphère sud

Par la suite, ce modèle a été perfectionné par plusieurs météorologues. Citons notamment les travaux de Ferrel (1817-1891) qui imagina l'existence de trois cellules atmosphériques par hémisphère, appelées cellules de Ferrel. Ce modèle sera accepté à partir de 1870. Perfectionné par Rossby (1898-1957), il sera utilisé jusqu'en 1950.



Ce modèle permet de justifier l'existence des ceintures anticycloniques subtropicales au voisinage du 30^{ème} degré de latitude ainsi que les zones dépressionnaires du 60^{ème} degré observées en surface dans chaque hémisphère.

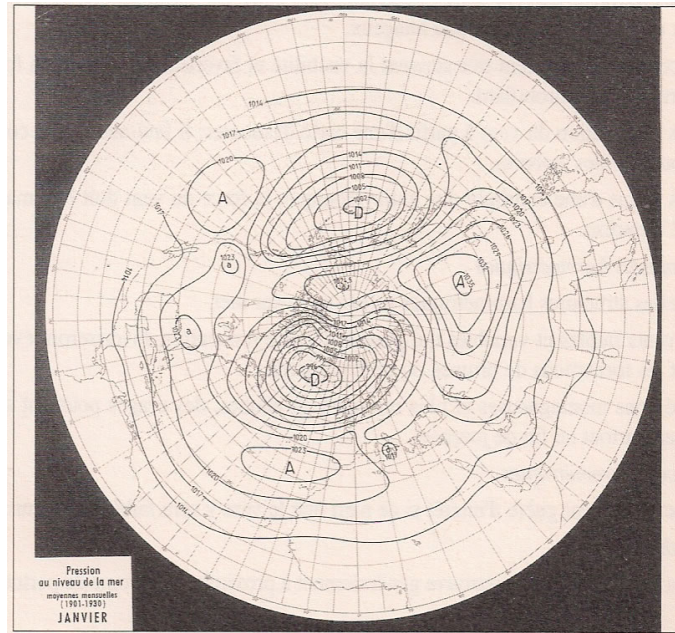
Les ceintures anticyclonique et dépressionnaire permettent de justifier les vents dominants observés en surface. En effet, l'air évolue des zones de haute pression (anticyclone) vers les zones de basse pression. Ce faisant, il subit dans son mouvement la force d'inertie de Coriolis horizontale qui impose une déviation vers la droite dans l'hémisphère nord. On peut ainsi interpréter les alizés du nord observés entre la zone de convergence intertropicale (Z.C.I.T. ou équateur météorologique) et le 30^{ème} degré nord. Les alizés du nord sont orientés au nord-est conformément au modèle proposé. On justifie également les vents dominants de sud-ouest observés sous nos latitudes (entre le 30^{ème} et le 60^{ème} degré nord). La configuration dans l'hémisphère sud est symétrique à celle proposée dans l'hémisphère nord par rapport à l'équateur météorologique.



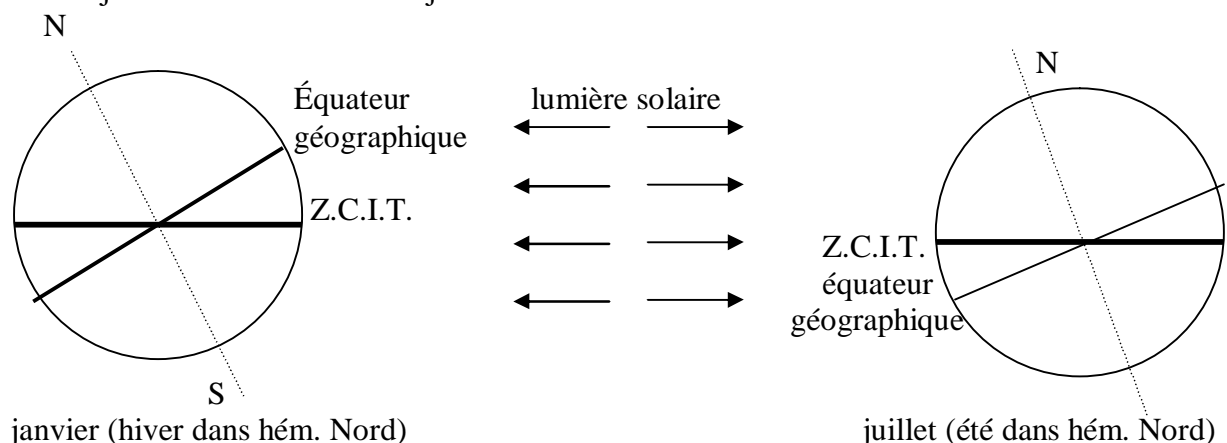
Influence des reliefs et continents : anticyclone des Açores et dépression d'Islande :

Ces zones anticyclonique et dépressionnaire sont perturbées par les continents, le relief (Rocheuses, Himalaya...) et les courants marins. Ces perturbations sont telles que les zones de haute et de basse pression ne sont pas des "ceintures" mais des foyers anticyclonique et dépressionnaire (notamment dans l'hémisphère nord...).

Le climat européen est fortement influencé par deux de ces foyers : l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande :



L'équateur météorologique est défini comme étant la zone de convergence intertropicale (Z.C.I.T.). Cette zone définit la limite entre les alizés du nord et les alizés du sud. Compte tenu de l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre par rapport au plan de l'écliptique, plan défini par la rotation de la terre autour du soleil, l'équateur météorologique se déplace vers le sud en janvier et vers le nord en juillet.

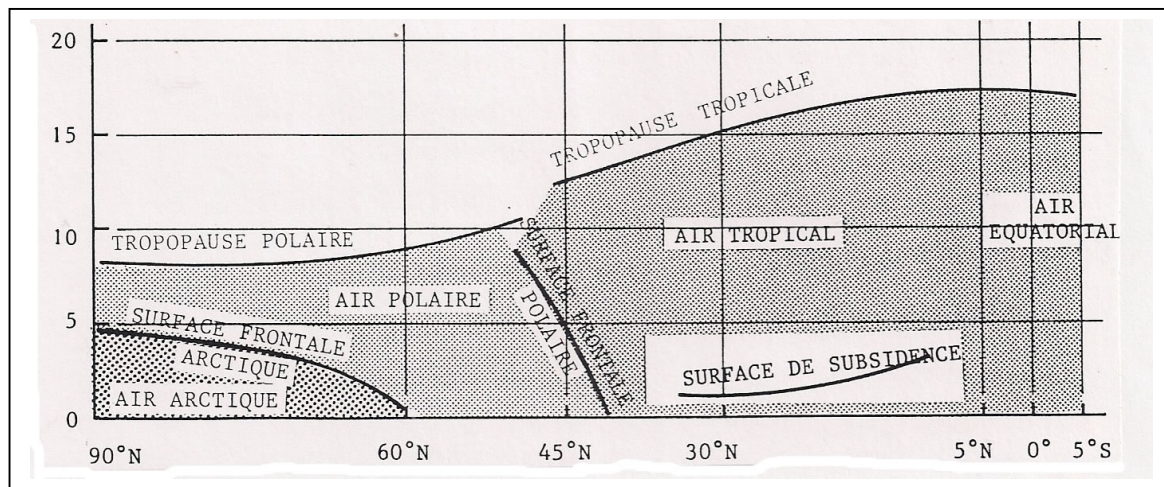


Cette oscillation de l'équateur météorologique au cours de l'année impose celle des foyers anticyclonique et dépressionnaire. Ainsi l'anticyclone des Açores et la dépression d'Islande se déplacent vers le sud en janvier (ce qui nous apporte des perturbations de l'ouest) et vers le nord en juillet (si l'anticyclone des Açores remonte suffisamment, c'est en général signe de beau temps).

Rq : A partir de 1950, le modèle de Rossby est perfectionné par Palmen et Newton. Ce modèle prend en compte des données plus récentes comme l'existence des cellules jet-subtropicale ou jet-polaire. La vitesse du vent dans ces courants d'altitude (plus de 6 km) varie de 100 à 200 km/h. Les courants jets ne sont pas réguliers. Leurs variations ont des répercussions importantes sur le temps à la surface de la terre...

I.3 : Masses d'air :

Les caractéristiques de l'air dépendent beaucoup de la surface au-dessus de laquelle il séjourne. Quand l'air repose un certain temps au-dessus d'une surface étendue et uniforme, on peut définir ce que l'on appelle « une masse d'air ». Une masse d'air est caractérisée par sa température, sa pression et son humidité (taux hygrométrique). Les principales masses d'air sont les masses d'air arctique, polaire, tropicale et équatoriale.



Celles que nous ressentons le plus sous nos latitudes sont les masses d'air polaire et tropicale. Les caractéristiques de l'air en un lieu donné dépendent de l'origine de la masse d'air mais également de la surface terrestre balayée par cette masse d'air pour arriver jusqu'à ce lieu. Ainsi, l'air polaire n'aura pas les mêmes caractéristiques au-dessus de la France selon qu'il soit passé au-dessus d'un océan ou d'un continent. On parle d'air polaire continental ou maritime. Il est bon de savoir qu'une masse d'air refroidie à sa base est stabilisée (exemple : air polaire passant au-dessus de la Russie en hiver) alors qu'une masse d'air réchauffée à sa base est moins stable (exemple : air polaire au-dessus de l'océan atlantique. Ce phénomène est accentué par les courants marins chauds tel que le Gulf-stream).

Masse d'air polaire :

L'air polaire maritime est instable. Il est caractérisé par un ciel nuageux à développement cumuliformes pouvant donner des averses. La visibilité est bonne. L'air polaire continental est stable en hiver, caractérisé par un temps froid et sec. Il est relativement instable l'été. Ceci dépend, entre autre, de l'ensoleillement.

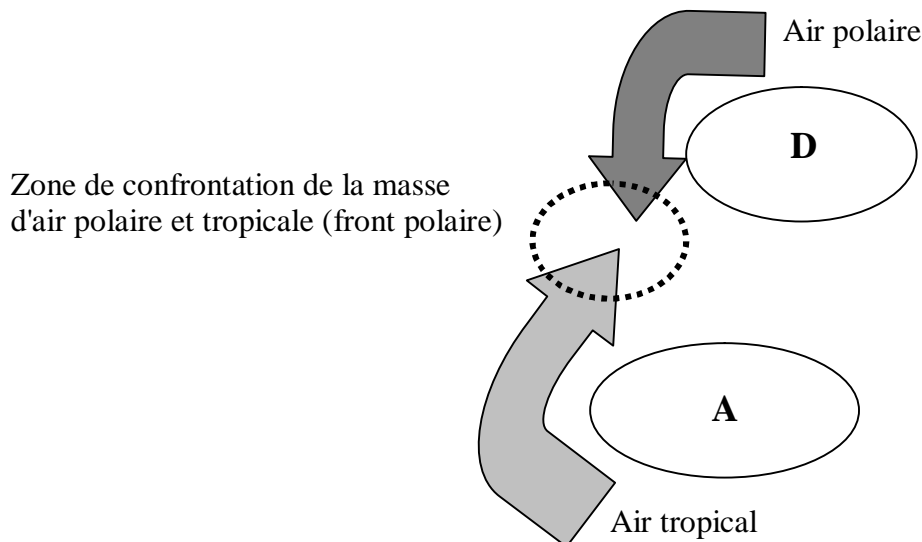
Masse d'air tropicale :

L'air tropical peut avoir des origines maritime ou continentale. D'origine maritime, il est chaud et humide. C'est de l'air instable. D'origine continentale (air originaire d'Afrique du nord ou du proche orient), il est chaud et sec. C'est de l'air très stable.

L'air tropical d'origine maritime se stabilise en progressant vers le nord (refroidissement à la base). Il reste néanmoins chargé d'humidité. Cette masse d'air est caractérisée à son arrivée sous nos latitudes par des développements stratiformes (inversion thermique marquée ⁽³⁾).

L'air tropical d'origine continentale se charge en humidité en progressant au dessus de la Méditerranée ou de l'Atlantique. Il peut donner des orages très violents.

En général la dépression d'Islande apporte de l'air polaire du nord alors que l'anticyclone des Açores apporte de l'air tropical du sud. La confrontation de ces deux masses d'air est analogue au mélange eau-huile. Leurs caractéristiques (température, pression et humidité) étant différentes, ces masses d'air ne se « mélangent pas ». L'interface constitue un front. Le front résultant de la rencontre de la masse d'air polaire et de la masse d'air tropicale s'appelle **le front polaire**.



II : Frontologie

II.1 : Les nuages

Présentation de l'atmosphère standard :

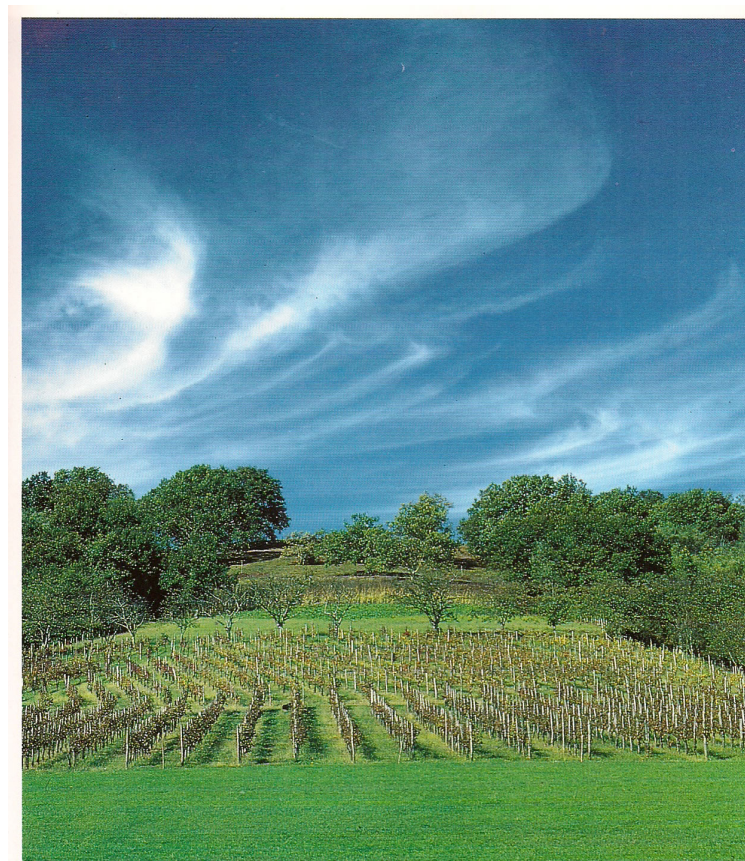
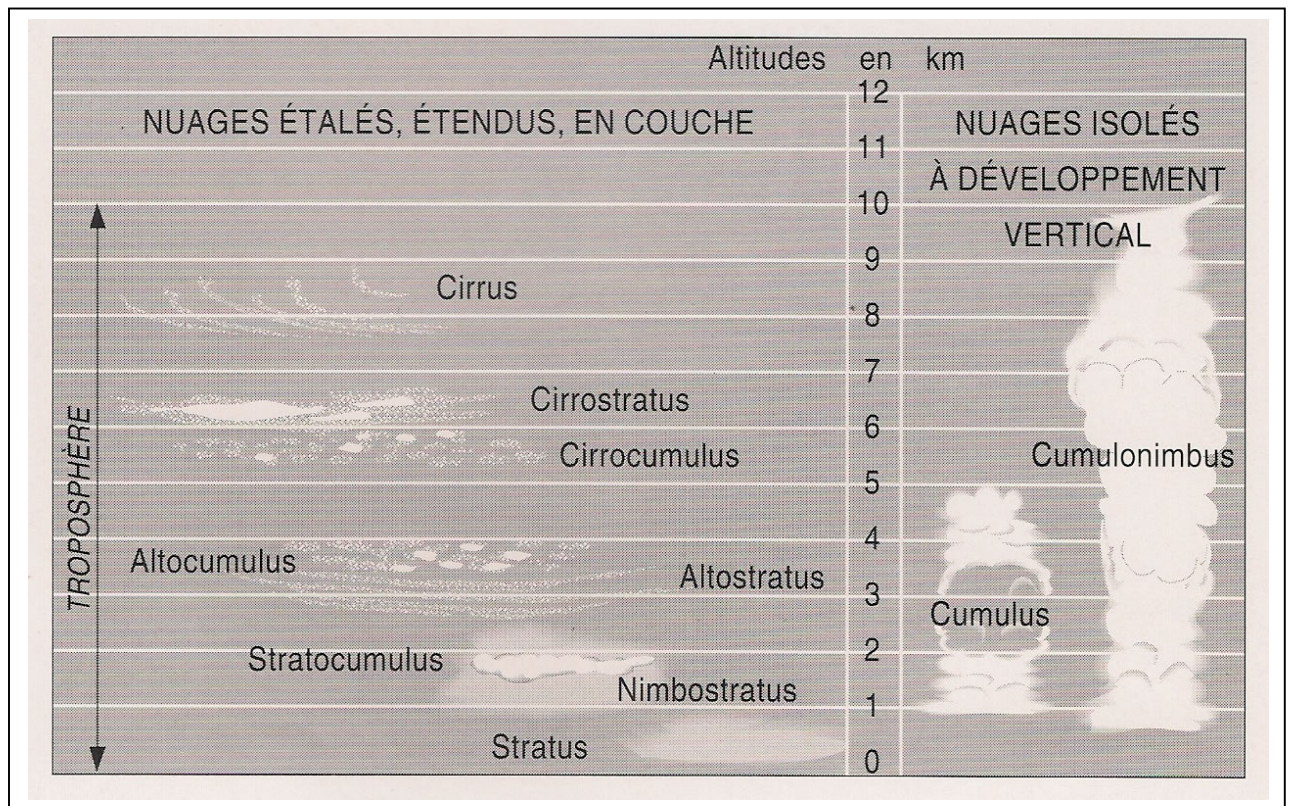
Les nuages se forment et évoluent dans la troposphère dont l'altitude maximale varie de 7 à 8 km aux pôles, jusqu'à 12 à 13 km à l'équateur. La limite supérieure de la troposphère s'appelle la tropopause. Les nuages ne peuvent se former au dessus de cette limite.

En effet, dans le modèle standard, l'air se refroidit de 6° C par 1000 m dans la troposphère. Pour qu'une masse d'air humide puisse s'élever dans la troposphère, il faut qu'elle soit plus légère et donc plus chaude que l'air avoisinant. En s'élevant, cette masse d'air humide subit une détente qui s'accompagne d'un refroidissement (un petit peu comme l'air qui s'échappe d'une chambre à air....) et d'une transition de phase (liquéfaction ou condensation) exoénergétique.

- Si la masse d'air reste plus légère que l'air extérieur, elle poursuit son ascension. L'air est instable et se traduit par l'apparition de développements cumuliformes.
- Si la masse d'air est plus lourde que l'air extérieur, l'air est stable. On observe des développements horizontaux dits « stratiformes ». C'est ce qui se produit au dessous des zones d'athermie ou d'inversion thermique.

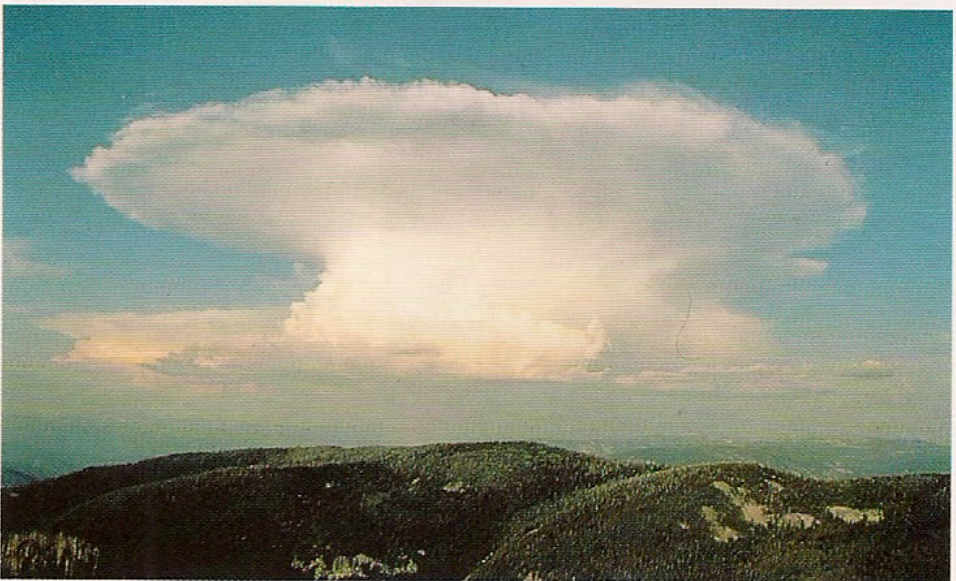
A partir de la tropopause, l'air subit une athermie donc les nuages ne peuvent se former au delà de cette limite. On peut observer la tropopause dans la partie supérieure des cumulonimbus.

En météorologie, les nuages sont classés par genres. On distingue dix genres de nuages : Cirrus (Ci), cirrostratus (Cs), cirrocumulus (Cc), altostratus (As), altocumulus (Ac), nimbostratus (Ns), stratocumulus (Sc), stratus (St), cumulus (Cu) et le cumulonimbus (Cb).









INTERPRÉTER LES NUAGES

Dans *Voiles et voiliers*, Eric Tabarly donnait ce résumé de la façon de reconnaître et d'interpréter les nuages.

Nuage	Description	Altitude	Interprétation probable
Cirrus	Filaments blancs, plus ou moins longs	6 à 12 km	Beau temps, mais annonce possible d'un coup de vent si le baromètre baisse.
Cirro-stratus	Voile blanchâtre et fibreux	6 à 12 km	Les cirrus se sont formés en voile. L'arrivée du mauvais temps se confirme.
Altostratus	Nappe fibreuse, grisâtre ou bleuâtre	2 à 6 km	Le temps se gâte.
Nimbo-stratus	Nuages sombres aux formes déchiquetées	Altitude variable (souvent basse)	Début du mauvais temps. Pluie ou averses et vent fort.
Strato-cumulus	Nuages bas, épais et gris, en forme de gros galets	Moins de 2 km	Cœur du mauvais temps. Pluie ou crachin intermittent.
Stratus	Brume nuageuse, épaisse, basse et grise	Moins de 2 km (souvent très bas)	Atmosphère saturée d'humidité. Bruine ou même neige, s'il fait très froid.
Cumulo-nimbus	La terreur des nuages. Boursoufflé vers le bas, en forme d'enclume au sommet	Développement vertical 0,5 à 12 km	Orages, vents violents. Averses de pluie ou de grêle.
Alto-cumulus	Ciel pommelé. Nuages blancs ou gris	2 à 6 km	Temps variable. Annoncent l'embellie ou dégèrent en orage.
Cirro-cumulus	Petits galets blancs et brillants en rangs serrés	6 à 12 km	Temps variable. Annoncent souvent la fin du mauvais temps.
Cumulus	Blancs, brillants, cotonneux, en forme de « choux-fleurs »	1 à 3 km	Beau temps, ou temps variable avec risque de grain, s'il fait très chaud.

Le préfixe des différents nuages dépend de leur altitude. Ainsi le préfixe "cirro" caractérise l'étage supérieur : altitude comprise entre 5 et 12 km (au maximum). Le préfixe "alto" correspond à l'étage moyen (entre 2 et 7 km) et "strato" à l'étage inférieur (du sol à 2 km). Le suffixe "strato" ou "cumulo" dépend de la stabilité⁽⁵⁾ du nuage. Les nuages instables subissent des développements verticaux. Ils sont caractérisés par le suffixe "cumulo". Les nuages stables subissent des développements horizontaux (inversion thermique). Ils sont caractérisés par le suffixe "strato".

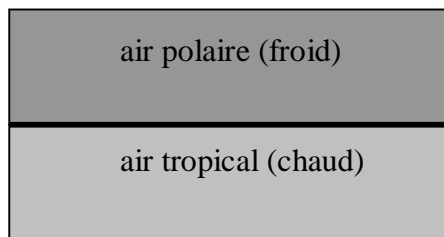
II.2 : Perturbation du front polaire, front chaud et front froid

Nous avons vu en I.3 que le front polaire résulte de la rencontre de l'air froid polaire et de l'air chaud tropical. Comme l'air chaud est plus léger que l'air froid, l'air chaud se glisse au dessus de l'air froid. Sans perturbation extérieure⁽⁶⁾, le front polaire est stationnaire (sans évolution). Cette situation est en général peu durable, rapidement le front polaire subit des oscillations et donne un front polaire perturbé.

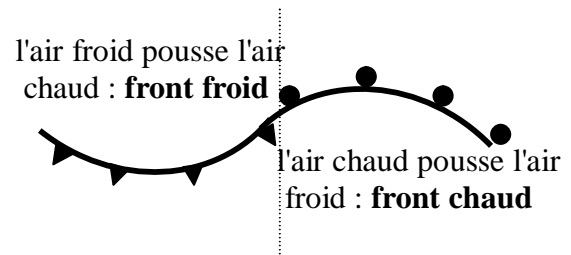
On appelle front chaud une partie du front polaire où l'air chaud pousse l'air froid, le front froid est une partie du front polaire où l'air froid pousse l'air chaud.

REPRESENTATIONS DANS LE PLAN HORIZONTAL :

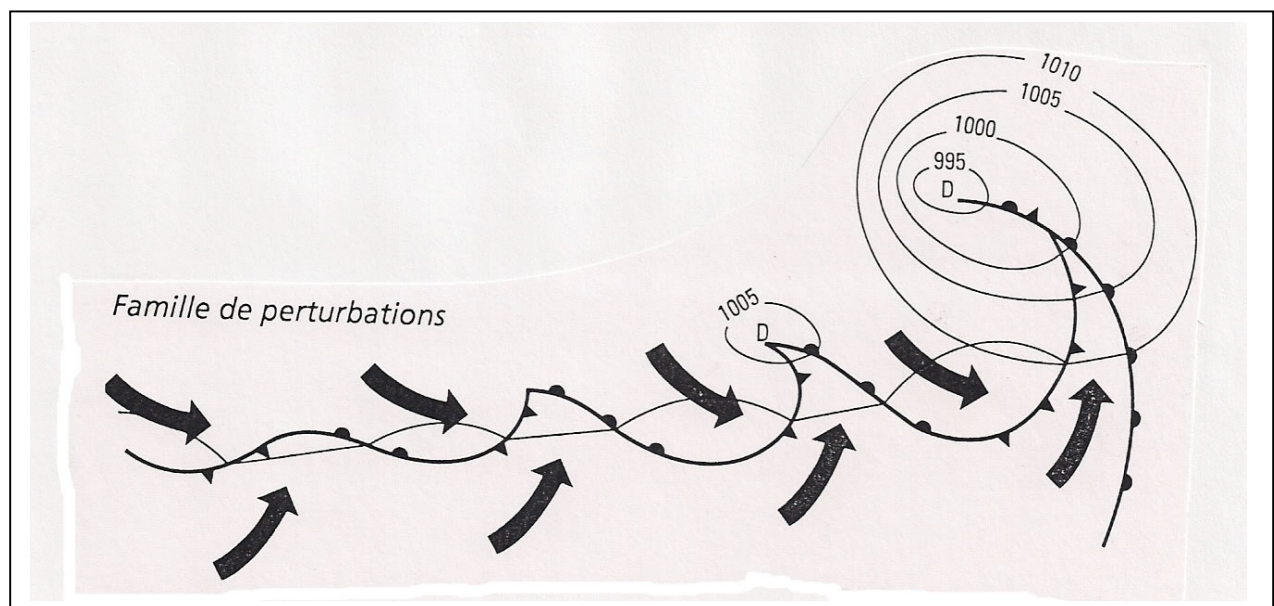
front polaire stationnaire :



front polaire perturbé :



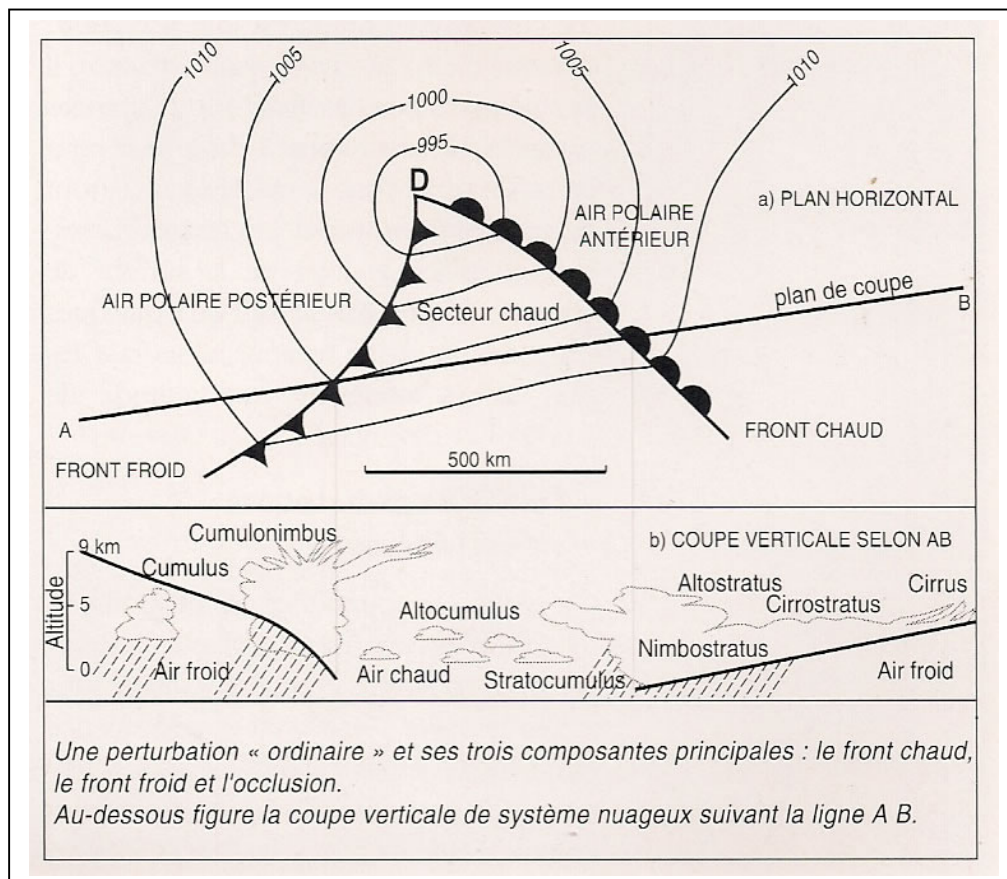
Le front chaud et le front froid ont des caractéristiques différentes. Quand le front polaire subit des oscillations, il donne naissance à une famille de perturbations (4 à 5 en général) :



Dans un flux général est-ouest sous nos latitudes, la déformation du front polaire s'accroît. Une masse d'air chaud s'enfonce au-dessus de l'air froid créant ainsi un foyer dépressionnaire (plus chaud, il est plus léger que l'air froid). Sous l'effet de cette zone dépressionnaire, un mouvement tourbillonnaire dans le sens antihoraire s'amorce, c'est la cyclogénèse.

II.3 : Perturbation dépressionnaire

Une perturbation dépressionnaire est caractérisée au sol par une série : air froid, front chaud, air chaud, front froid et air froid.



Les caractéristiques du ciel au cours du passage d'une perturbation « ordinaire » :

- A l'approche du front chaud, la couverture nuageuse s'abaisse (Ci, Cs, As, Ns et S ou Ci, Cc, Ac, Ns et Cu). Les vents réguliers sont orientés au sud (voir sud-est). La visibilité baisse.... Ainsi que le baromètre.
- Au passage du front chaud, la température augmente⁽⁷⁾ et les vents s'orientent au sud-ouest.
- Dans le secteur chaud, le ciel est couvert mais peut donner des éclaircies (nuages types Ac, Sc ou St), les vents réguliers sont au sud-ouest et la visibilité est mauvaise. L'apparition de ces éclaircies peut faire penser au retour du beau temps mais attention :

"Dans un coup de vent de suroît, veille l'aube et la saute au noroît"

- Contrairement au front chaud, l'arrivée du front froid ne se fait pas prévenir. Ceci est dû au fait que les pentes du front chaud et du front froid sont inversées. C'est bien souvent dans les fronts froids qu'on lieue les accidents en mer comme en montagne !....
- Le passage du front froid est caractérisé par une couverture nuageuse instable (St, Ns, Cs, Cb). Les vents sont irréguliers. Ils tournent à l'ouest puis au nord-ouest. La température baisse alors que la pression monte. Les cumulonimbus sont accompagnés de rafales et de grains. Ils peuvent également donner des orages (risques de foudre) par forte instabilité (plus fréquent en été). La visibilité est bonne.
- Après le passage du front froid, on peut encore observer des cumulonimbus, puis des cumulus plus ou moins actifs. C'est le temps à arc-en-ciel. La pression poursuit sa remontée alors que les vents faiblissent. On peut apercevoir des cumulus de beau temps. C'est le ciel de traîne.

"vent de noroît, balai du ciel, beau temps après arc-en-ciel"

Occlusion (ou front occlus) :

Le front froid se déplace plus rapidement que le front chaud, il finit donc par le rattraper. Comme l'air chaud est plus léger que l'air froid, il est repoussé en hauteur au dessus des masses d'air froides. C'est la dernière étape d'une perturbation dépressionnaire : l'occlusion. L'arrivée d'un front occlus est identique à celle d'un front chaud. A son passage, les effets des deux fronts se succèdent et sont marqués par une instabilité (vents et pluies irrégulières). Ceci est dû au fait que la partie "basse" du front chaud est surmontée du front froid instable. Beaucoup de perturbations arrivant sur nos côtes sont dans leur phase d'occlusion...

III : Informations météorologiques

III.1 : Elaboration d'un bulletin météorologique

L'organisation météorologique mondiale (O.M.M.) a vu le jour en 1950. C'est une institution spécialisée de l'organisation des nations unies qui compte 161 états et territoires membres. Le rôle de l'O.M.M est d'observer, rassembler et diffuser les informations météorologiques. Pour cela, elle dispose d'un réseau d'observation météorologique composé de 9500 stations terrestres (dont mille sont en mesure d'effectuer des observations verticales à l'aide de ballons sondes), 7000 navires, de radars météorologiques et de satellites polaires et géostationnaires. Les données météorologiques sont rapidement diffusées et analysées dans différents centres (service central de Toulouse pour la métropole, centre européen de prévision météorologique de Reading près de Londres pour l'Europe). Ces informations sont ensuite diffusées aux différents usagers.

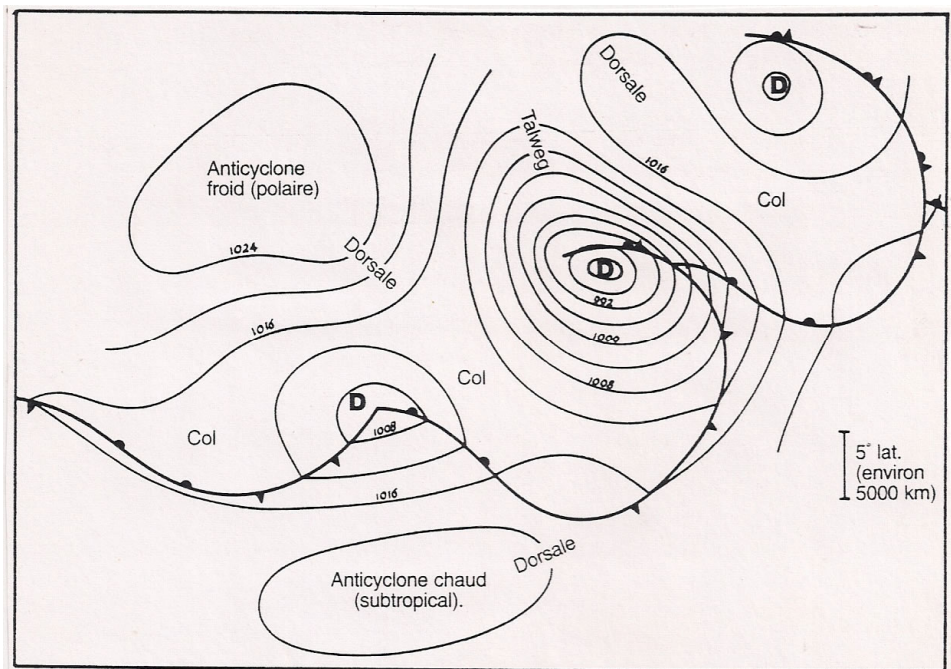
III.2 : Diffusion de l'information météorologique

En France, les principales sources d'informations météorologiques sont la télévision, les radios, la presse périodique et les réponders téléphoniques de météoFrance. Il est difficile de faire un exposé exhaustif de toutes les sources d'information. Nous ne donnerons ici que quelques éléments permettant de mieux comprendre ces bulletins.

Bien souvent, l'information écrite est accompagnée de cartes isobares réalisée à une altitude donnée (exemple : cartes isobares de surface). Sont représentées sur ces cartes, les isobares, ou lignes d'égalles pressions. Les isobares sont représentées de 5 en 5 hectopascals⁽⁶⁾. Sont

également indiqués sur ces cartes, les foyers anticycloniques et dépressionnaires, les perturbations dépressionnaires, les fronts chauds, fronts froids et fronts occlus.

Exemple : présentation d'une famille de perturbation sur une carte isobare de surface



Pour lire ces cartes, il est nécessaire de connaître la signification des différents symboles (anticyclones, dépressions, front chaud, front froid, front occlus...). Il est bon également de savoir que dans le modèle géostrophique, l'intensité du vent est proportionnel au gradient de pression et qu'il est tangent aux isobares en altitude.

Ceci a deux conséquences :

- plus les isobares sont proches, plus le vent risque d'être fort. L'intensité du vent peut donc s'apprécier directement à l'aide d'un baromètre. Une montée ou une baisse brutale de pression (de 3 à 5 hPa par heure) annonce un vent fort.
- le changement d'orientation des isobares au passage d'un front (cf carte ci-dessus) annonce une rotation des vents en altitude. Ceci est également vérifié en surface⁽⁸⁾ bien que le vent de surface ne soit pas tangent aux isobares.

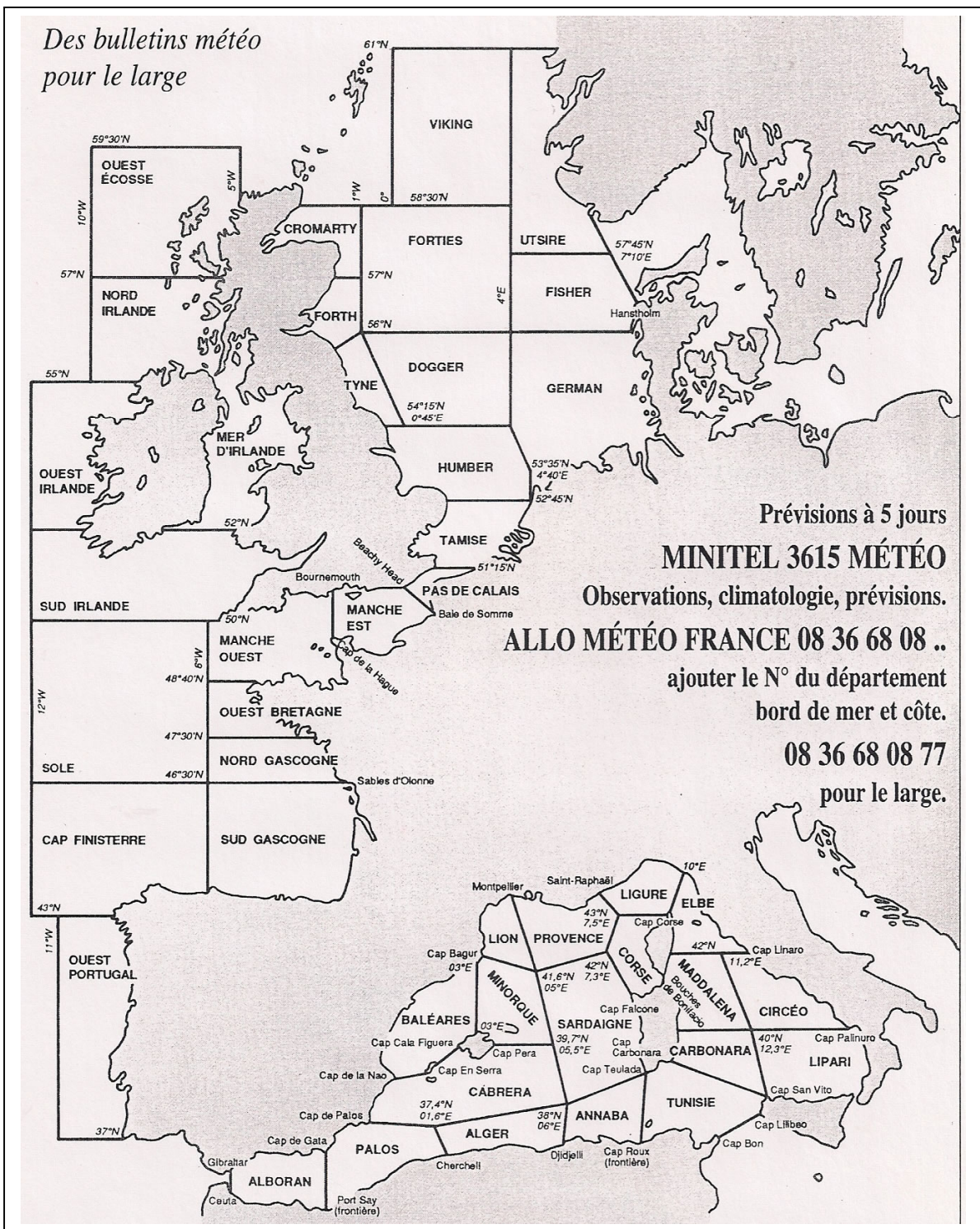
D'une manière générale, dans les bulletins, on parle également de dorsale anticyclonique, de talweg et de marais barométrique. Une dorsale est une excroissance (crête) anticyclonique. Un talweg est une ligne imaginaire reliant les minima de pressions. Un marais barométrique est une zone à faible gradient de pression horizontale (le baromètre varie peu).

Le vent est souvent exprimé dans l'échelle de Beaufort :

BEAUFORT (ÉCHELLE DE)				
Degré	Dénomination du vent	Vitesse (en km/h)	Manifestations à terre	Manifestations au large
0	Calme	0-1	La fumée s'élève verticalement.	La mer est comme un miroir.
1	Très légère brise	2-5	La fumée est inclinée mais les girouettes ne bougent pas.	La mer est ridée.
2	Légère brise	6-11	Le vent est perçu par le visage, les feuilles frémissent.	Il y a de courtes vaguelettes qui ne déferlent pas.
3	Petite brise	12-19	Les feuilles et les petites branches sont constamment agitées. Les drapeaux sont déployés.	Il y a de très petites vagues d'environ 60 cm de haut. Les crêtes commencent à déferler.
4	Jolie brise	20-28	Le vent soulève la poussière et les feuilles de papier.	Les vagues s'allongent. Des moutons apparaissent.
5	Bonne brise	29-38	Les arbustes se balancent. Sur les plans d'eau, il y a des vaguelettes.	Des vagues modérées (2 m de haut) se forment. Les embruns apparaissent.
6	Vent frais	39-49	Les grandes branches sont agitées. Les fils télégraphiques sifflent. Les parapluies se retournent.	Des lames apparaissent. Il y a des crêtes d'écume blanche.
7	Grand frais	50-61	Les arbres sont agités en entier. La marche est pénible.	La mer grossit. L'écume blanche est entraînée par le vent.
8	Coup de vent	62-74	Le vent casse les rameaux. La marche est difficile.	Les lames atteignent une hauteur de l'ordre de 5 m.
9	Fort coup de vent	75-88	Les maisons peuvent être légèrement endommagées (cheminées, ardoises).	De grosses lames déferlent en rouleaux. Les embruns réduisent la visibilité.
10	Tempête	89-102	Les arbres sont déracinés. Les maisons sont endommagées.	Les lames sont très grosses (9 m de haut) et l'écume forme des traînées blanches.
11	Violente tempête	103-117	Très rarement observé. Les ravages sont étendus.	Les lames sont exceptionnellement hautes (les navires disparaissent). La mer est couverte d'écume.
12	Ouragan	118 et plus		L'air est plein d'écume et d'embruns. La mer est entièrement blanche. La visibilité est très réduite. Les creux atteignent 14 m.

France Inter diffuse le bulletin de prévision météo marine deux fois par jours (à 6h45 le matin et 20h05 le soir). Ce bulletin est présenté par zone. Celles-ci sont présentées en dernière page avec également les numéros de répondeur de Météo France.

*Des bulletins météo
pour le large*



Prévisions à 5 jours
MINTEL 3615 MÉTÉO
 Observations, climatologie, prévisions.
ALLO MÉTÉO FRANCE 08 36 68 08 ..
 ajouter le N° du département
 bord de mer et côte.
08 36 68 08 77
 pour le large.

III.3 : Interprétation d'un bulletin météo

1) Site internet de météo-France : « meteo france » → « marine » → « bulletins côte » → « Penmarch-Anse de l'aiguillon »

Origine Météo-France .

Bulletin côtier pour la bande des 20 milles de la pointe de Penmarc'h à l'anse de l'Aiguillon.

Emis le lundi 21 janvier 2013 à 15H00 légales.

Vent moyen selon échelle Beaufort.

Mer selon échelle Douglas.

Heure légale = heure UTC+1 en hiver et heure UTC+2 en été.

Attention : en situation normale, les rafales peuvent être supérieures de 40 % au vent moyen et les vagues maximales atteindre 2 fois la hauteur significative.

1 - Avis de grand frais à fort coup de vent numéro 17 en cours.

2 - Situation générale lundi 21 janvier 2013 à 06H00 UTC et évolution
Dépression 987 hPa sur la pointe Bretagne se déplace vers le nord-est de la France.

Nouvelle dépression 987 hPa au sud-ouest de l'Irlande la nuit, se déplace vers le sud-est, elle est prévue 995 hPa sur la Bretagne demain en journée.

3 - Prévisions pour l'après-midi du lundi 21 janvier

VENT : secteur Nord-Ouest 7 à 8 avec fortes rafales, parfois 9 au début, mollissant progressivement 6 à 7 par le Nord, puis 4 à 6 ce soir.

MER : très forte à grosse, devenant forte entre Penmarc'h et Belle-Ile.

HOULE : Arrivée d'une grande houle d'Ouest de 4 à 6 m par le nord.

TEMPS : averses.

VISIBILITE : Moyenne sous précipitations.

4 - Prévisions pour la nuit du lundi 21 janvier au mardi 22 janvier

VENT : Secteur Sud dominant 3 à 5, s'orientant Sud-Ouest 5 à 6 en fin de nuit, mais devenant variable dépressionnaire 3 à 5 entre Belle-Ile et Penmarc'h.

Mer agitée, localement forte sur côte sud Vendée.

HOULE d'Ouest à Nord-Ouest 3 à 5 m.

TEMPS : pluie, suivie d'averses sur sud Bretagne.

VISIBILITE : Moyenne sous précipitations.

5 - Prévisions pour la journée du mardi 22 janvier

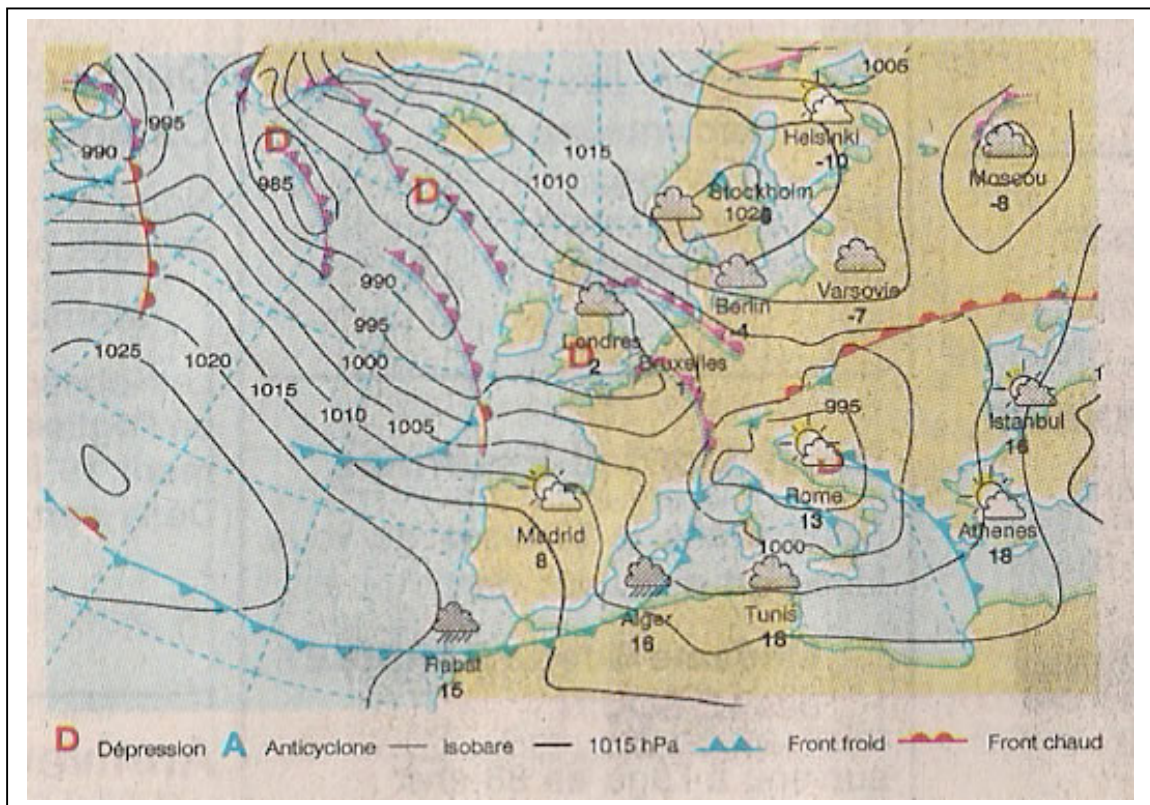
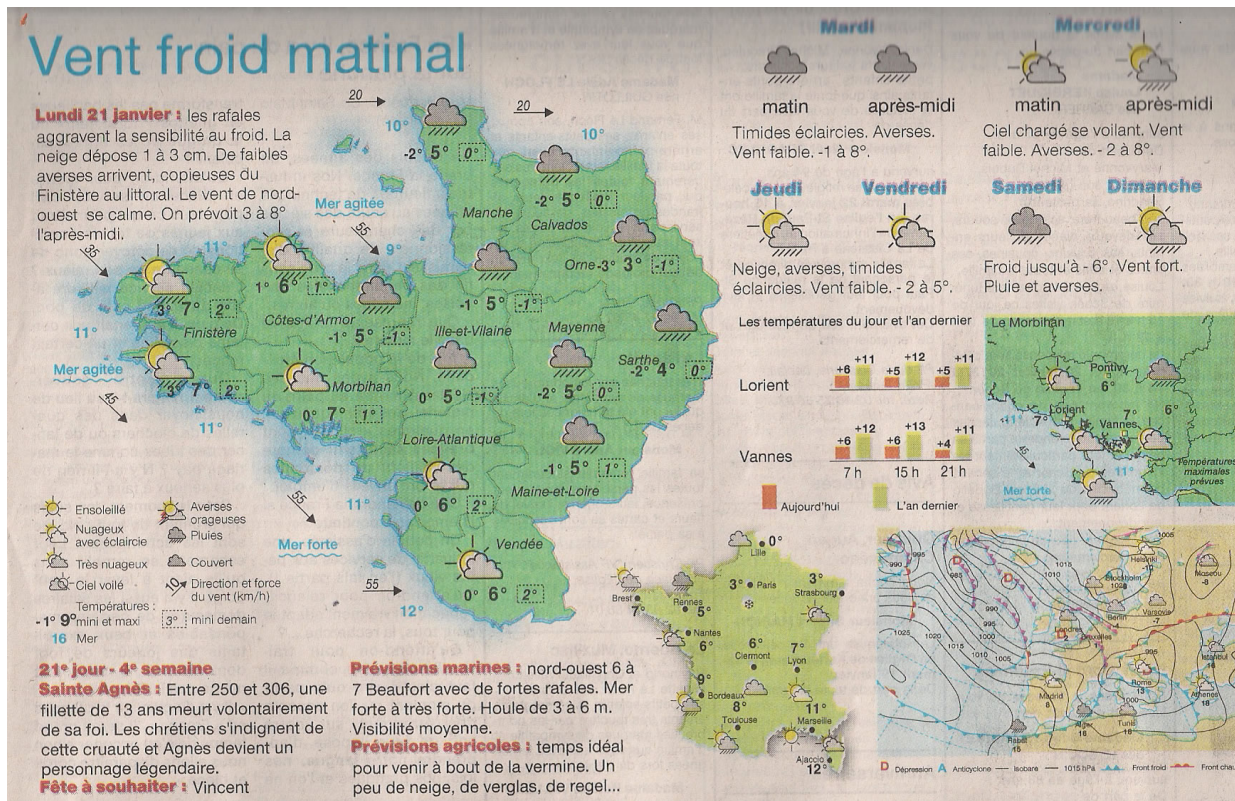
VENT : Sud à Sud-Ouest 4 à 5, localement 6 au sud de l'île d'Yeu, virant Nord-Ouest 6 par le nord en fin de journée.

Mer peu agitée à agitée, localement forte sur côte sud-Vendée.

HOULE d'Ouest 2 à 3.5 m, localement 4 m sur la pointe Bretagne. TEMPS : averses.

VISIBILITE : Moyenne sous précipitations.

2) Cartes d'isobares (presse locale)



Conclusion : A partir d'une présentation générale de la dynamique du climat, nous avons défini des notions élémentaires de météorologie permettant de mieux comprendre les bulletins météorologiques ainsi que l'évolution quotidienne de notre ciel.

De l'observation à la prévision, il faut beaucoup de patience et de pratique.

Dans tous les cas, il est nécessaire de prendre la météo et de lui faire confiance avant de s'exposer aux éléments.

(1) : La définition des référentiels galiléens est donnée par le principe d'inertie (ou première loi de Newton). Un point libéré de toute interaction décrit une trajectoire rectiligne et uniforme par rapport à un référentiel galiléen. Pour définir un référentiel galiléen, il suffit donc de "trouver" un point libéré de toute interaction...

(2) : La force d'inertie de Coriolis horizontale est définie par un produit vectoriel : $\vec{F}_{iC,H} = -2m \sin \lambda \cdot (\vec{u}_v \wedge v(\vec{M})_R)$. La règle des trois doigts de la main droite permet de donner le sens du vecteur résultant. En plaçant le pouce dans le sens de \vec{u}_v , l'index dans le sens du vecteur vitesse, le sens de la force d'inertie affectée du signe négatif est donné par le majeur.

(3) : Inversion thermique : la température augmente avec l'altitude (au lieu de diminuer).

(4) : athermie : la température ne varie pas avec l'altitude

(5) : Considérons une particule d'air subissant un mouvement vertical ascendant. En montant, il y a moins d'air à appuyer sur la particule donc la pression diminue. Si la pression diminue, la particule d'air se détend. Ce faisant, elle se refroidit.

On définit différents types de refroidissements : adiabatique sec et adiabatique saturé (adiabatique : pas de transferts thermiques). Pour comprendre ces différentes évolutions, il faut savoir que la quantité maximale d'eau que puisse contenir la particule d'air (caractérisée par sa pression de vapeur saturante... c'est à dire pression maximale en vapeur d'eau) à l'état gazeux dépend de sa température. Si la pression partielle en vapeur d'eau dans la particule d'air est inférieure à la pression de vapeur saturante, l'eau peut rester à l'état gazeux. Dès que la pression partielle en eau atteint la pression de vapeur saturante, l'eau excédentaire condense (elle passe sa phase liquide). La pression de vapeur saturante dépend de la température. Quand la température augmente, la pression de vapeur saturante augmente également (c'est pour cela que le linge sèche mieux les jours de beau temps...). Quand la particule d'air monte, elle se refroidit et sa pression de vapeur saturante diminue. Si la pression partielle en eau reste inférieure à la pression de vapeur saturante, l'eau reste à l'état gazeux. On parle d'évolution adiabatique sèche. La baisse de température due à la détente de l'air est de l'ordre de $10^\circ / \text{km}$. Si par contre la pression partielle en eau atteint la pression de vapeur saturante, il y a condensation. Quand l'eau passe de sa phase gazeuse vers sa phase liquide, elle libère de l'énergie (principe utilisé par les fluides caloporteurs dans les machines frigorifiques). Il s'agit ici d'une évolution adiabatique saturée. La baisse de température est moins importante que celle de l'adiabatique sèche : de 5 à $8^\circ / \text{km}$.

Si la particule d'air se refroidit plus rapidement que l'air avoisinant, il est plus lourd. Il a donc tendance à redescendre (air stable). Si par contre la particule d'air se refroidit moins vite que l'air ambiant, il est plus léger et peut poursuivre sa progression verticale (air instable).

(6) : Certaines théories établissent que les courants jets seraient responsables des oscillations du front polaire.

(7) : Il vaut mieux se fier à son thermomètre qu'à la sensation physiologique. L'air humide étant meilleur conducteur thermique que l'air sec, nous pouvons avoir une sensation de rafraîchissement dans une atmosphère humide plus chaude.

(8) : L'unité légale de pression est le Pascal. Un hectopascal (hPa) ou, ce qui est équivalent, un millibar (mb) correspond à mille Pascals.

Références bibliographiques :

- La météo marine, guides des Glénans. Ed. du seuil
- La météorologie à l'usage du marin, de Bétis. Ed. EDITMAR
- Météorologie générale, de Triplet et Roche. Ed. Météo France
- Cours de météorologie de l'Ecole Nationale d'Aviation Civile., météorologie générale : tome 1 de Besse, Fournié et Renaudin
- Météorologie marine, de Mayençon. Ed. maritimes et d'outre-mer
- La météo, question de temps de Chaboud. Ed. Nathan
- Guide de météorologie, théorie et pratique de Roth et Gillot-Pétre. Ed. delacaux et niestlé
- 100 orages faciles à prévoir de Hermant. Ed. Nathan.
- Manche-ouest, météo marine. A.J. paimpol
- Les oiseaux et la météo de Elkins. Ed. delachaux et niestlé.
- Dictionnaire de météorologie. Ed. Larousse.
- Pour la première partie, concernant la mécanique je conseil un ouvrage du supérieur : mécanique 1 de Gié et Sarmant aux éditions tec et doc.