

# BASES DE METEOROLOGIE

Les phénomènes météorologiques sont dus à différents mécanismes, qu'on peut regrouper, en simplifiant énormément, en:

- **Phénomènes permanents et quasi-prévisibles**; ils reposent sur des mécanismes permanents, presque immuables, en particulier la "circulation générale de l'atmosphère", et tiennent sous leur dépendance les phénomènes à l'échelle mondiale: alizés, moussons... Ils regroupent des phénomènes de survenue récurrente et grossièrement périodique; toutefois des incertitudes planent sur l'importance et la date exacte de ces phénomènes;
- **Phénomènes locaux** (échelle: plusieurs centaines, voire un millier de kilomètres). Ils sont sous l'influence de modifications de la pression atmosphérique, elles-mêmes en rapport étroit avec la circulation générale et au conflit des masses d'air, au sein desquelles l'existence de variations de pression entraîne l'apparition de divers phénomènes.

L'interaction entre ces groupes de mécanismes est extrêmement complexe: la création, le maintien et les modifications des masses d'air sont sous la dépendance de la circulation générale; les conflits entre celles-ci dépendent également de cette circulation, mais aussi de modifications locales de pression, du relief et de la constitution des zones terrestres. De plus, les courants d'altitude (jet streams) ont une influence importante sur les transferts de pression.

En pratique, l'exposé ci-dessous expose sommairement ces divers mécanismes, mais de manière trop exhaustive pour les connaissances exigées en vue du permis hauturier. En particulier, la partie concernant la circulation générale de l'atmosphère est uniquement proposée pour éclaircir certains mécanismes, mais ne fait pas partie du programme du pH.

## Circulation générale de l'atmosphère

Du fait de l'ensoleillement et de la rotation de la Terre, l'atmosphère terrestre est le siège de mouvements, eux-mêmes dépendant en grande partie de la variation de la pression atmosphérique. Ces mouvements d'une part déterminent des vents "réguliers" (alizés...) et d'autre part expliquent la répartition de l'air en "masses" homogènes. La répartition, inégale, de l'ensoleillement à la surface de la planète oblige à des transferts d'énergie de l'équateur vers les pôles, réalisés par des "cellules" et explique les variations de pression à la surface du globe.

La circulation générale atmosphérique ainsi définie assure 70% à 80% du transfert de l'énergie entre les régions à bilan radiatif positif et celles à bilan radiatif négatif. Elle joue un rôle considérable dans le cycle de l'eau, assurant le transport d'énormes quantités de vapeur d'eau. Le déplacement des masses d'air conditionne le climat des diverses régions de la planète.

## Masses d'air

### Nature et formation des masses d'air

L'air qui stagne ou se déplace très lentement sur une région géographique à caractéristiques constantes, tend à devenir homogène dans le plan horizontal et à acquérir les caractéristiques thermiques et hygrométriques de cette région pour peu que la durée de contact soit suffisante. Ainsi, de l'air qui stagne sur un continent froid et sec devient lui-même froid et sec; de même, de l'air qui stagne sur un océan chaud devient chaud et humide. Ces blocs d'air ainsi homogénéisés sont appelés des "masses d'air". Les régions où elles prennent naissance sont appelées les "sources".

Une masse d'air théorique peut être définie comme une portion de l'air troposphérique dont les caractéristiques (température et humidité) sont constantes dans le sens horizontal et ceci à tous les niveaux.

Les caractéristiques d'une masse d'air théorique sont donc :

- température constante dans n'importe quel plan horizontal
- humidité constante dans n'importe quel plan horizontal

d'où il découle une même structure verticale (température et humidité) en tout point de la masse d'air.

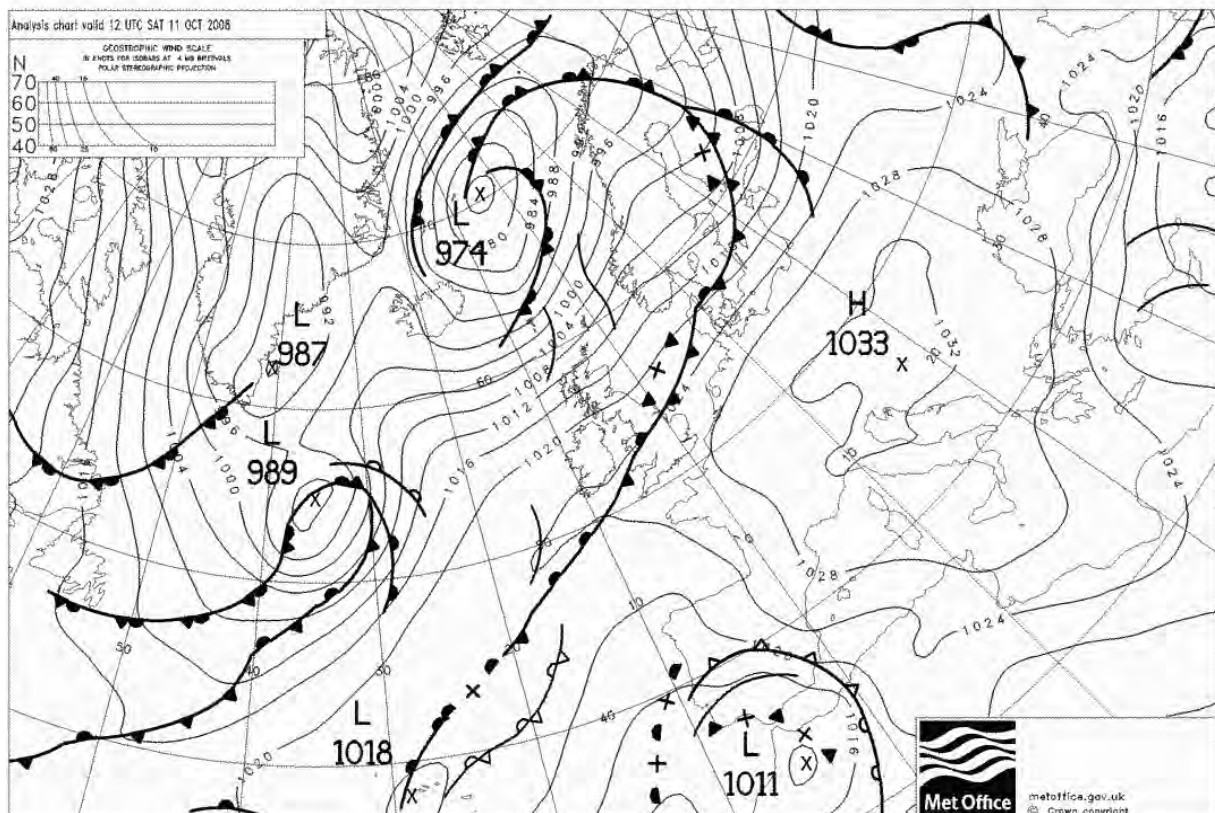
## Définitions et symbolique

### Hautes pressions, basses pressions

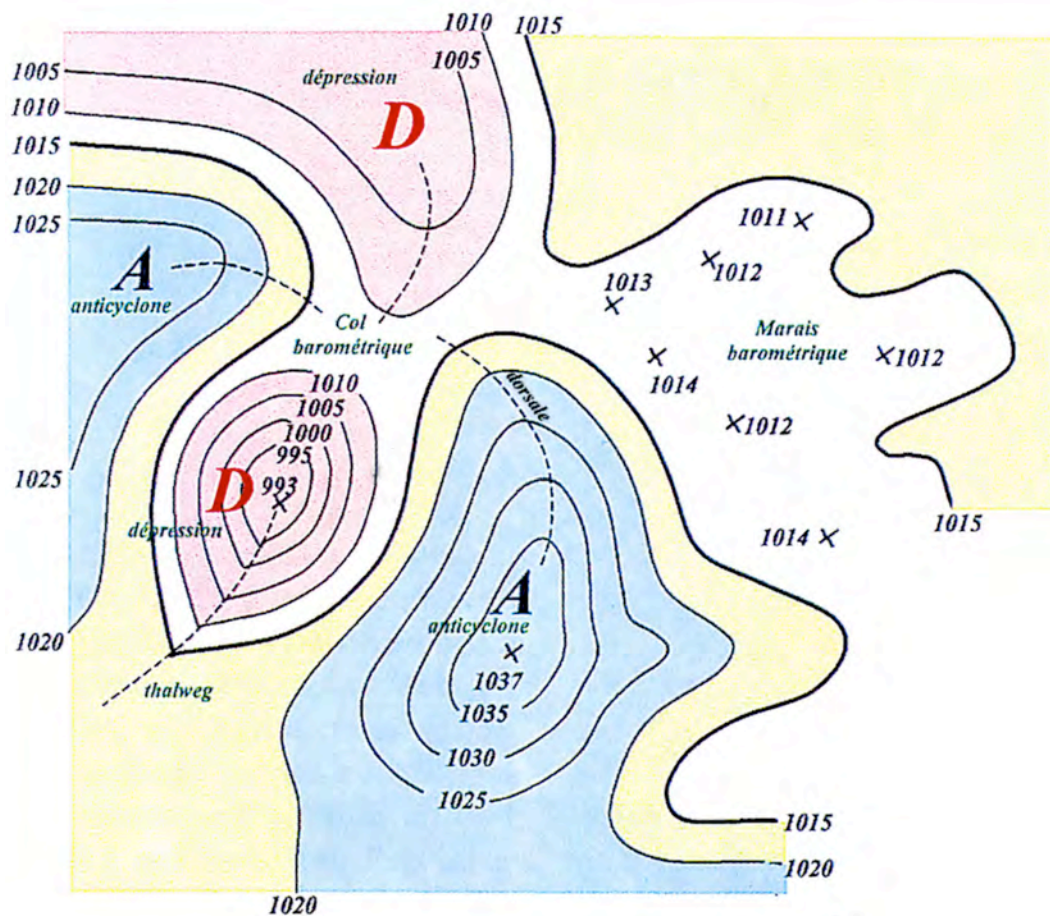
La pression atmosphérique qui règne en un point du globe est due à la hauteur de la colonne d'air au dessus de ce point. Pour éviter l'influence de l'altitude, les météorologues ramènent la pression atmosphérique à celle qui serait mesurée à une altitude 0 (en navigation, cela a peu d'intérêt!). La pression atmosphérique moyenne est de 101 325 Pa, soit 10,1315 hPa, mais on l'exprime plus souvent en millibar; elle vaut 1013 mBar.

Par définition, une haute pression ou anticyclone est une zone dont la pression atmosphérique est supérieure à 1013 mBar; une basse pression ou dépression est caractérisée par une pression atmosphérique inférieure à cette valeur. Les hautes pressions sont identifiées sur les cartes par la lettre A (français), H (allemand) ou H (anglais), les basses pressions respectivement par D, T et L. Les centres de ces anticyclones et dépressions sont souvent repérés sur la carte par une croix, une flèche peut indiquer le sens de son déplacement.

Les lignes qui joignent sur une carte météorologiques les points de même pression (ramenée au niveau de la mer) s'appellent des isobares; la plupart du temps, l'isobare 1013 (ou 1015) est plus marquée que les autres, espacées de 5 mBar en 5 mBar (ou de 4 en 4 sur les cartes anglo-saxonnes). La carte ci-dessous est issue du service météorologique anglais.



## Marais, thalwegs, dorsales et cols



### Marais

Une zone dans laquelle la pression atmosphérique reste à peu près constante sur une grande étendue constitue un marais barométrique. Les isobares sont espacés et désorganisés. Il s'agit d'une zone où les vents sont calmes ou faibles et très variables. La présence d'un marais barométrique dénote une zone de mauvais temps stagnante.

### Thalweg

Un thalweg (ou talweg) est une excroissance d'une dépression. Les isobares s'y emboîtent les uns dans les autres en formant une sorte de "V". Il est assimilable au grand axe de l'ellipse des isobares en basses pressions; la pression y décroît en allant vers la concavité. Le nom de thalweg (chemin de vallée) traduit géographiquement ce qui se passe en termes de pression. L'intérêt d'identifier sur la carte un thalweg est que, souvent, un front froid se trouve dans l'axe du thalweg. C'est pour cette raison que, lors du passage d'un thalweg, on observe souvent une saute de vent (passage du sud à l'ouest puis au nord-ouest).

### Dorsale

Une dorsale est l'opposé d'un thalweg: elle correspond au grand axe de l'ellipse des isobares, mais en hautes pressions. C'est l'excroissance d'un anticyclone; elle a l'aspect d'isobares disposés en forme de "U" inversé, la pression augmente en allant vers la concavité.

### Col

Un col est une région située entre deux dépressions.

## Fronts

Les masses d'air mises en jeu par la circulation générale conservent leurs caractéristiques au cours de leur déplacement, durant un temps plus ou moins long selon leur trajectoire. Au passage d'une masse d'air à une autre, on observe des variations rapides et importantes des diverses variables météorologiques (vent, température, humidité).

La couche de transition est si mince qu'on peut la considérer comme une surface appelée "surface frontale". Les masses d'air sont donc séparées les unes des autres par des surfaces frontales qui sont des surfaces de discontinuité pour les différentes grandeurs météorologiques. Ces surfaces ont une faible pente, l'air froid (et dense) étant présent en forme de coin sous l'air chaud (et léger); leur trace au sol est appelée "front". Ces fronts se retrouvent sur les cartes d'analyse synoptique.

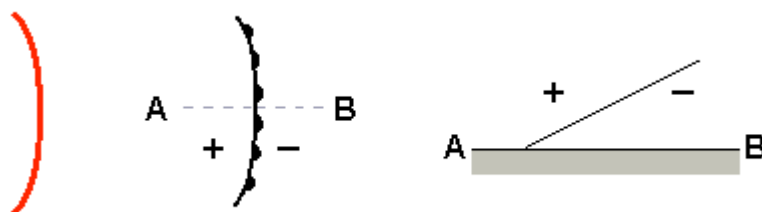
Sur les grandes surfaces frontales ainsi définies, dont le type est le front polaire qui intéresse fréquemment les régions tempérées, des ondes instables naissent, se développent et meurent. Elles sont accompagnées d'un tourbillon (dépression) qui évolue de même. Ces ondes constituent les perturbations frontales qui font l'objet du présent chapitre.

### Classification et symbolisme

La classification la plus simple et la plus intuitive est basée sur le mouvement relatif des masses d'air en jeu le long du front. On distingue ainsi :

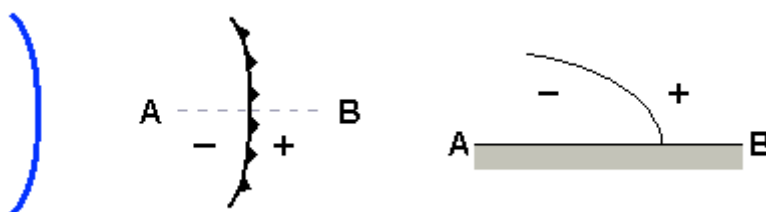
#### 1. Front chaud

Front le long duquel, lors de son déplacement, l'air chaud remplace l'air froid. Les fronts de ce type sont dessinés en rouge sur les cartes ou ornés de demi-cercles noirs placés du côté où se propage le front. Sa pente est généralement de 1/100 à 1/1000. Ils sont généralement plus courts que les fronts froids, et peuvent être parfois inexistant.



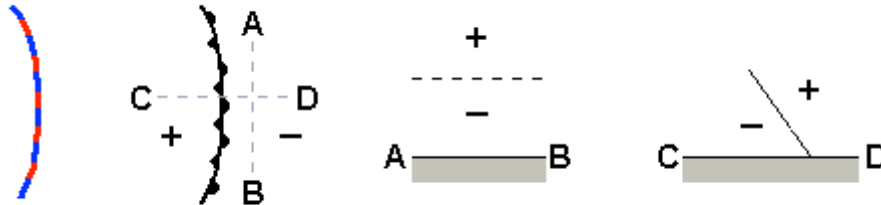
#### 2. Front froid

Front le long duquel, lors de son déplacement, l'air froid remplace l'air chaud. Les fronts de ce type sont dessinés en bleu sur les cartes ou ornés de petits triangles noirs orientés dans le sens du déplacement du front (ce que l'on peut traduire, en termes mnémotechniques, par un "froid piquant"). Sa pente est généralement de 1/10 à 1/200.



### 3. Front quasi-stationnaire

Front le long duquel on ne décèle pas - ou très peu - de mouvement relatif de l'air chaud par rapport à l'air froid ou inversement. Les fronts de ce type sont dessinés par des traits alternativement rouges et bleus ou ornés alternativement de demi-cercles et de triangles noirs, les premiers dirigés vers l'air froid, les seconds vers l'air chaud.



### 4. Occlusion

Une "occlusion" est la structure frontale qui se développe lorsqu'une masse d'air froid qui s'avance rejoint une autre masse d'air froid qui s'éloigne; c'est ce qui se produit lorsqu'un front froid rejoint un front chaud. La projection au sol de la vallée chaude se représente par un trait violet ou par des demi-cercles et des triangles blancs alternés et dirigés dans le sens du déplacement de l'occlusion. En pratique, la projection de la ligne des points triples est le plus souvent confondue avec le front chaud au sol.

Ces occlusions peuvent être subdivisées : elles sont dites à caractère de front chaud si l'air froid antérieur est plus froid que l'air froid postérieur, à caractère de front froid dans le cas inverse.

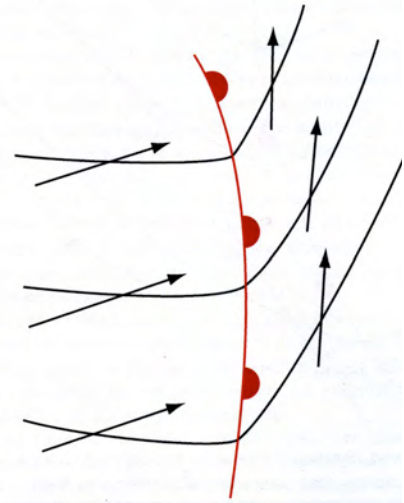
### Champs bariques au voisinage des fronts

On constate généralement une nette cassure des isobares au voisinage d'un front. Cette cassure s'explique aisément : en effet, la pression est égale au poids de la colonne d'air de section unitaire qui s'étend jusqu'à la limite de l'atmosphère. Lorsqu'on se déplace vers le front chaud à travers l'air froid antérieur, il est évident que l'épaisseur de l'air froid diminue de plus en plus; ce dernier étant plus dense que l'air chaud, le poids de la colonne d'air (et partant la pression) diminue jusqu'au passage du front, après quoi plus aucun changement n'intervient. De même, lorsqu'on se déplace vers l'arrière d'un front froid, le poids de la colonne d'air augmente pour la même raison : l'épaisseur de l'air froid augmentant progressivement. Cet effet de surpression frontale cesse brusquement si l'on passe dans l'air chaud. Il y a donc discontinuité dans la variation de la pression, qui se traduit par une variation brusque de l'orientation des isobares (cassure).

**Front chaud:**

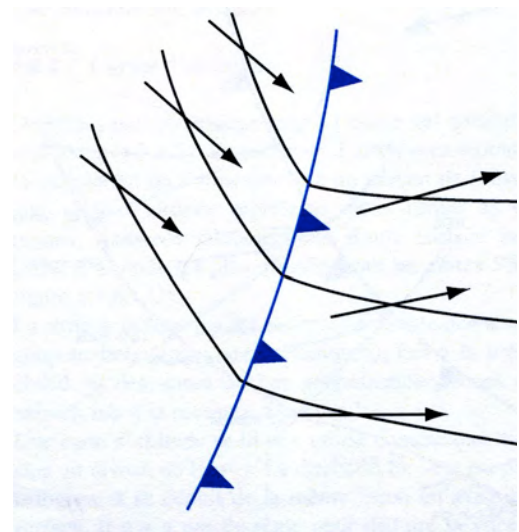
- Avant le passage du front, les vents sont établis du secteur sud-est ou sud;
- Le passage du front se caractérise par un renforcement du vent, qui tourne au sud puis, après le passage, au sud-ouest ou à l'ouest, avec nette sensation d'air plus chaud.
- Au passage du front chaud, les vents ont donc tendance à tourner vers la droite de l'observateur, placé face au vent initial.

Il n'y a pas de variation majeure de l'écart des isobares, la force du vent n'est pas modifiée.

**Front froid**

La situation est bien résumée par le dicton breton: "dans un coup de suroît, veille l'aube et la saute au noroît":

- Avant le passage du front, les vents sont établis du secteur sud-ouest, relativement forts;
- Le passage du front est caractérisé par un renforcement des vents, pouvant arriver jusqu'à la tempête (resserrement des isobares); en même temps, ces vents s'établissent de l'ouest à nord-ouest.
- Après le passage, les vents faiblissent et restent au nord-ouest ou s'orientent au nord.



En conclusion, un front est toujours caractérisé par une saute de vent cyclonique, correspondant à une cassure dans les isobares, dont la pointe est dirigée vers les hautes pressions.

**Temps associé aux fronts**

Il faut avant tout rappeler que toute description du temps associé aux fronts doit nécessairement se baser sur certains modèles plus ou moins idéalisés. En réalité, ces modèles présentent d'innombrables variantes. Il est cependant possible dans chaque cas particulier de reconnaître ces variantes et de les ramener aux modèles idéalisés.

Les différents types de formations nuageuses que l'on peut rencontrer le long des surfaces frontales, compte tenu du caractère de stabilité ou d'instabilité de l'air chaud sont repris ci-dessous. Les nuages associés aux occlusions résultent de l'interpénétration des nuages qui existaient initialement sur la surface frontale chaude et la surface frontale froide. Les nuages qui se développent éventuellement dans l'air froid antérieur et postérieur (nuage au sein d'une masse d'air) dépendent de l'humidité et du caractère de stabilité de ces masses d'air.

**Front chaud****A. Avant le passage du front**

L'arrivée d'un front chaud est signalée à des centaines de kilomètres par une couverture de cirrostratus s'épaississant progressivement. Ce voile de cirrostratus évolue en altostratus donnant de temps à autre une faible pluie (ou neige). La base des nuages s'abaisse, les précipitations deviennent uniformes et plus intenses et l'on observe 8/8 de nimbostratus. La

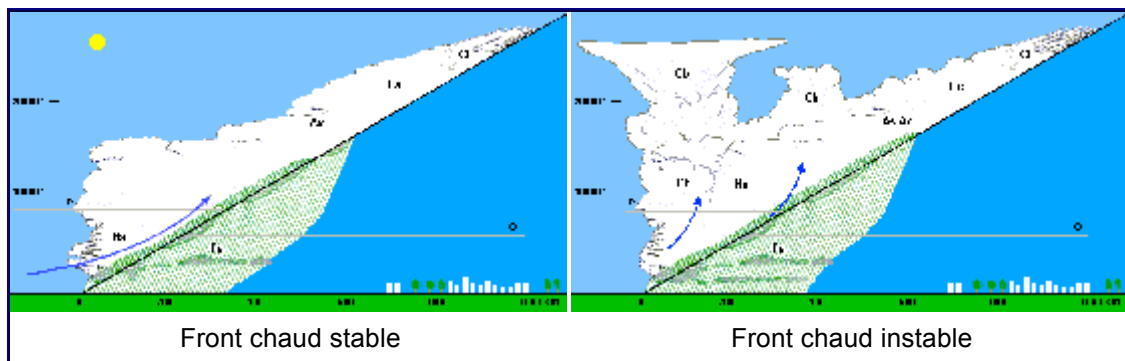
zone de pluie peut s'étendre sur une largeur de quelques centaines de kilomètres. La plus forte intensité de pluie - souvent un mélange de pluie et de bruine - est enregistrée dans une bande située immédiatement à l'avant du front (bien visible en hiver).

La visibilité diminue progressivement et atteint sa valeur la plus basse immédiatement à l'avant du front. La vitesse du vent augmente. La pression diminue rapidement.

Si l'air chaud est instable, des cumulonimbus se développent à l'intérieur de la couche de nimbostratus et leurs sommets la surmontent. Les précipitations sont alors irrégulières. La base de ces cumulonimbus se situe au niveau de déclenchement de l'instabilité qui peut coïncider avec la base du nimbostratus mais peut également se situer à un niveau plus élevé. Des orages peuvent éventuellement s'y développer.

### B. Au passage du front

Au passage du front, les conditions météorologiques atteignent leurs plus basses valeurs; bruine dense ou pluie (ou neige) modérée; nuages très bas du type stratus. La masse nuageuse stratiforme (Ns-As) peut avoir plus de 6 km (20000 pieds) d'épaisseur, tandis que des cumulonimbus peuvent y être cachés. La zone de givrage peut atteindre plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. La visibilité ne dépasse pas 1 à 2 km. La température augmente plus ou moins sensiblement.



### C. Après le passage du front

Conditions typiques d'une masse chaude : stratus bas et mauvaise visibilité. Souvent une bruine faible ou modérée continue à tomber pendant un certain temps après le passage du front.

Les belles éclaircies après le passage d'un front chaud sont exceptionnelles. L'extension verticale des nuages diminue cependant fortement et présente une structure en couches. Le vent effectue une rotation vers la droite (dans l'hémisphère nord). La température ne varie pratiquement plus.

La saison et la surface sous-jacente jouent un grand rôle dans les conditions du secteur chaud. Ce dernier est refroidi par le bas lorsqu'il arrive sur un continent en hiver; de ce fait, il conserve de mauvaises conditions de visibilité et de plafond. Ce refroidissement peut d'ailleurs entraîner une détérioration sensible de ces conditions.

En été au contraire, le secteur chaud est réchauffé par le bas; les nuages se dissipent rapidement et la visibilité s'améliore; de petits cumulus peuvent se former.

### Front froid

#### A. Avant le passage du front

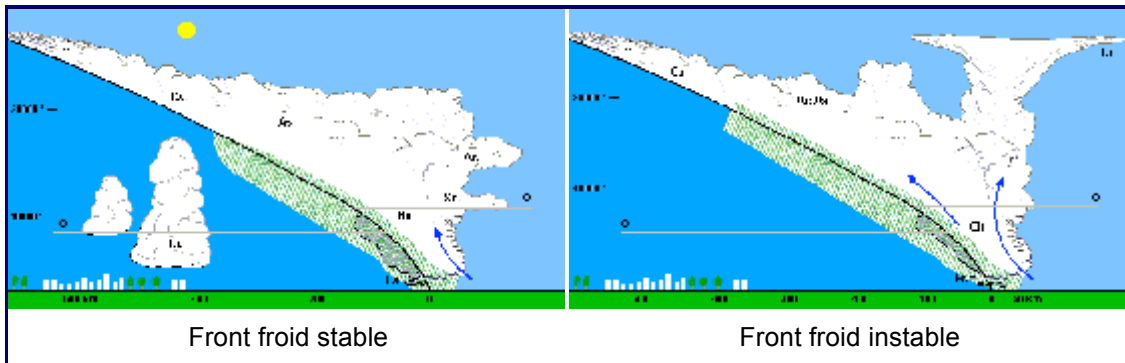
Le front froid est annoncé à courte distance par des cirrus épars et des bancs d'altocumulus. A mesure que le front s'approche, la nébulosité augmente. Les premières précipitations, le plus souvent sous forme de pluie (de neige), sont enregistrées de temps à autre à environ 100 km avant le front de surface. Bientôt la pluie devient continue, mais irrégulière par suite de la structure cumuliforme des nuages. Le nimbostratus est assez

fréquent, mais les cumulonimbus prédominent. Les précipitations les plus intenses s'observent peu avant et pendant le passage du front.

La pression baisse fortement, le vent tourne à gauche (dans l'hémisphère nord), augmente et présente souvent des bourrasques. La visibilité ne change que très peu, ainsi que la température (bien visible en été).

**B. Au passage du front**

Les conditions atmosphériques sont généralement très mauvaises : averses de pluie (de neige ou de grêle), accompagnées de coups de vent violents. La base des nuages descend fortement suite à l'augmentation des fragments bas, la visibilité se détériore temporairement. Un front froid passe parfois remarquablement vite, si bien que pour un lieu d'observation les phénomènes frontaux peuvent être de courte durée.



**C. Après le passage du front**

L'amélioration du temps est généralement très nette : le ciel se dégage, la base des nuages s'élève, les précipitations cessent et la visibilité augmente très rapidement.

Le vent subit une rotation importante vers la droite (dans l'hémisphère nord), souvent de plusieurs dizaines de degrés. La pression augmente régulièrement.

La différence de température entre les deux masses d'air se manifeste plus clairement au passage du front froid qu'au passage du front chaud.

L'amélioration sensible du temps après le passage du front froid n'est, dans certains cas, que de courte durée. Une nouvelle détérioration peut intervenir par :

- le développement rapide d'une vague (en général du type stable) sur le front froid
- l'approche rapide d'un creux ou d'un front froid secondaire (souvent observé à l'arrière d'un front froid).

**Les perturbations**

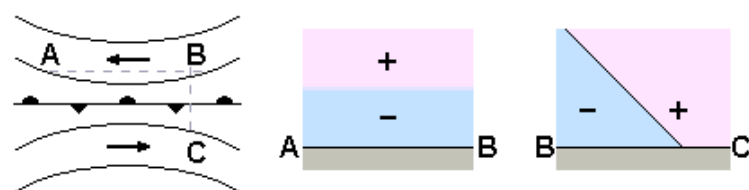
Les perturbations atmosphériques sont des phénomènes ondulatoires qui prennent naissance sur les grandes surfaces de discontinuité atmosphériques telles que le front polaire.

Nous allons décrire schématiquement l'évolution complète d'une telle perturbation sans entrer dans l'explication des causes de transformations subies; ces causes ne sont d'ailleurs pas toutes connues actuellement.

**Evolution type d'une perturbation cyclonique**

**Premier stade**

Un front quasi-stationnaire est situé dans une région de pressions relativement basses entre deux zones de hautes pressions. Les coupes montrent la disposition relative des masses d'air

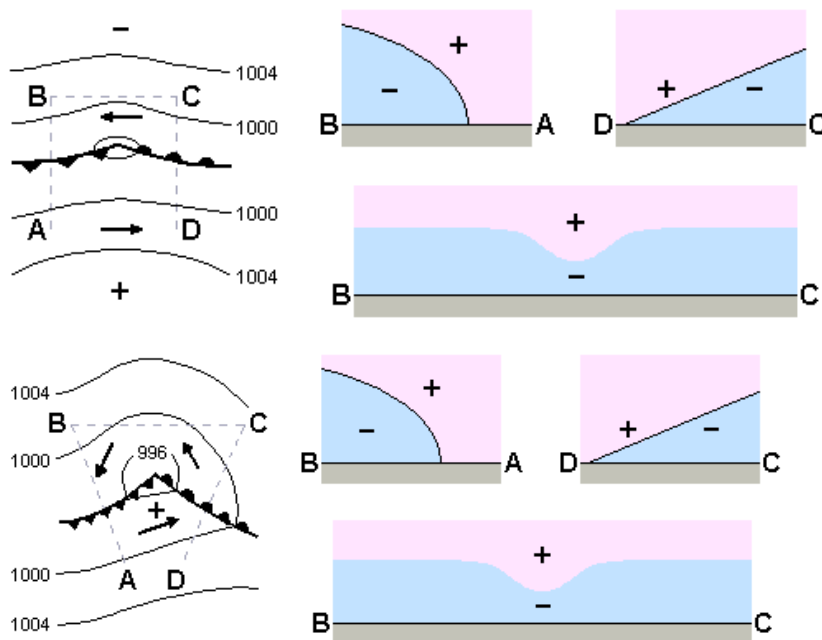




de part et d'autre de ce front.

**Deuxième stade**

Pour une raison inconnue à ce jour, on constate la formation d'une onde instable sur le front quasi-stationnaire initial. En même temps que cette ondulation, apparaît une petite zone de basses pressions; de ce fait, les trajectoires de l'air froid et de l'air chaud, parallèles au front dans le premier stade, s'incurvent autour de la dépression formée. Il en résulte un accroissement de vitesse de l'air chaud et une diminution dans l'air froid. Au nord de la dépression l'air chaud est repoussé en altitude.

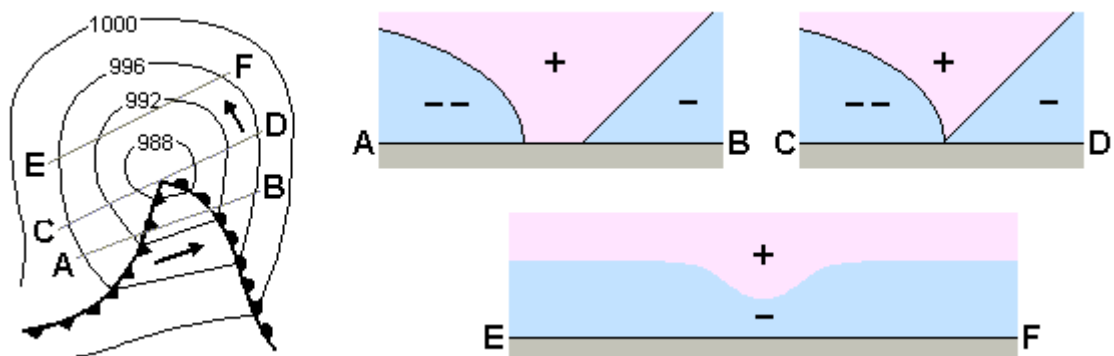


Dans les stades suivants, l'onde continue à s'amplifier tandis que la dépression se creuse de plus en plus. L'ondulation s'amplifie de plus en plus et la zone de basses pressions se creuse progressivement.

*La coupe BC montre la poussée d'air chaud en altitude au nord du sommet de la perturbation.*

**Quatrième stade**

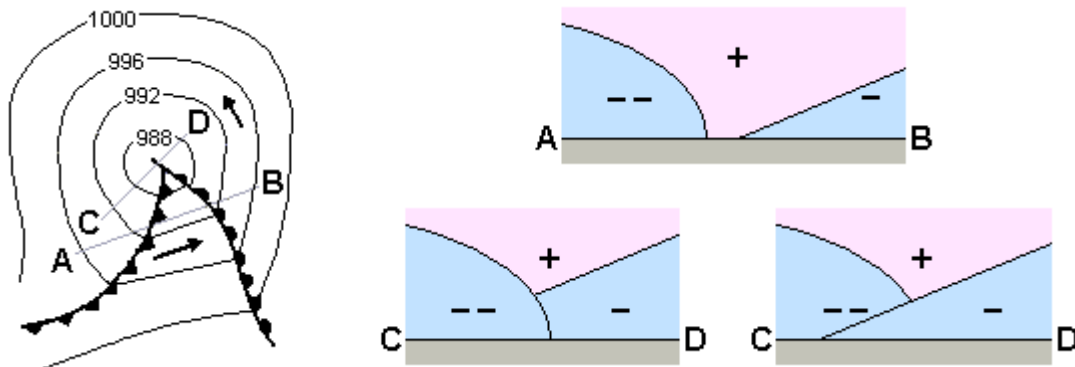
La perturbation est complètement développée.



**Cinquième stade**

Le front froid rejoint progressivement le front chaud et l'air chaud est rejeté en altitude; la perturbation commence à s'occlure.

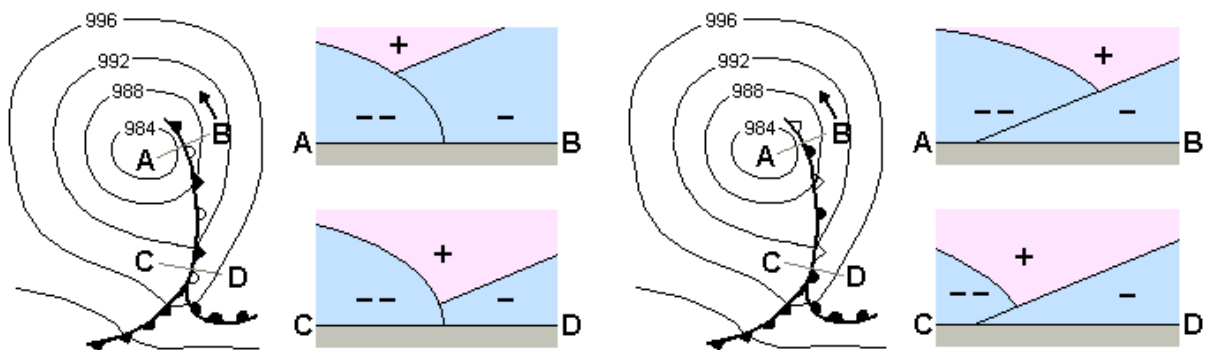
On aura occlusion à caractère de front froid ou de front chaud en fonction des températures relatives de l'air froid antérieur et postérieur.



En bas à droite: occlusion qui peut prendre le caractère de front froid (coupe CD à gauche) ou de front chaud (coupe CD à droite)

**Sixième stade**

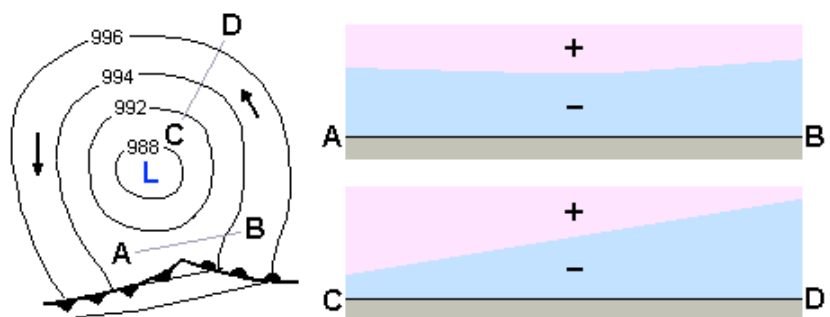
Le phénomène d'occlusion se poursuit et l'occlusion s'enroule autour de la zone de basses pressions; les surfaces de discontinuité se frontolysent tandis que la dépression commence à se combler.



Ces deux illustrations permettent de comparer une occlusion à caractère de front froid (à gauche) à une occlusion à caractère de front chaud (à droite). On constate dans les deux cas que l'air chaud est rejeté en altitude.

**Septième stade**

L'occlusion disparaît et le front quasi stationnaire initial reprend progressivement ses caractéristiques d'origine. La masse d'air inférieur est formée d'un mélange d'air froid et d'air chaud.



Remarque.

L'évolution d'une perturbation telle que décrite ci-dessus se produit au cours du déplacement. Pour fixer les idées, disons que l'ondulation prend naissance sur l'Atlantique Ouest et atteint les côtes d'Europe au cinquième ou au sixième stade.

Le processus qui conduit à la formation ou à l'augmentation d'intensité d'un front est appelé "frontogénèse"; le processus inverse est la "frontolyse".

**Front froid secondaire**

Une invasion d'air très froid à l'arrière d'une perturbation peut entraîner la formation d'un nouveau front froid dont les caractéristiques sont identiques à celles d'un front froid ordinaire.

Cette invasion d'air très froid provient en général d'une descente d'air arctique entraîné dans la circulation autour de la zone de basses pressions.

**Phénomènes associés à une perturbation**

La figure présentée ci-dessous donne une représentation graphique de la configuration verticale et horizontale des phénomènes associés à une perturbation classique. Ce schéma est bien sûr théorique.

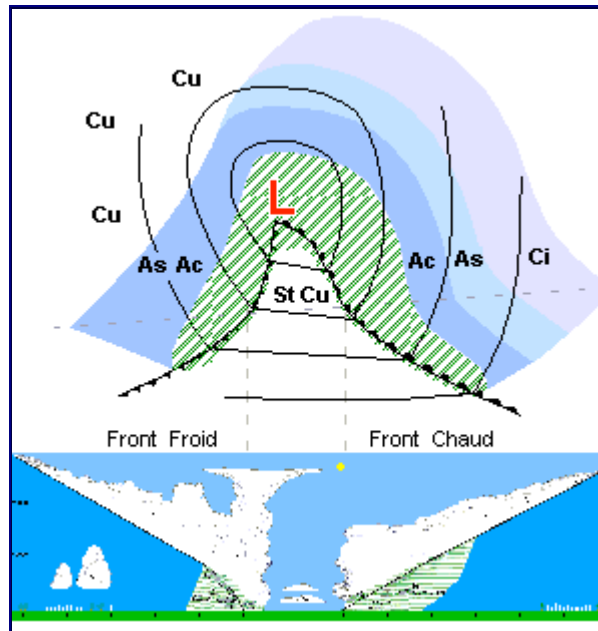


Tableau récapitulatif

Phénomènes	Devant le front chaud	Sur le front chaud	Dans le secteur chaud	Sur le front froid	Derrière le front froid
<b>Pression</b>	Chute constante	Chute interrompue	Stationnaire ou chute lente	Hausse brusque	Hausse lente et régulière.
<b>Vent</b>	Direction S-O tournant lentement vers le SSO (parfois SSE). Vitesse augmentante	Vent devient irrégulier en direction et vitesse. Veering au passage du front vers SO à O	Direction plus ou moins constante (SO à O)	Tourne brusquement au NO. Souffle en rafales	Tourne progressivement vers le N puis retourne vers le NO
<b>Température</b>	Hausse lente	Hausse sensible mais pas très brusque	Constante	Baisse brusque.	Constante ou en baisse très lente.
<b>Humidité relative et point de rosée</b>	Augmentation lente	Augmentation rapide	Change peu, l'air peut être saturé	Diminue brusquement	Variable d'après les conditions synoptiques à l'arrière du front froid
<b>Nuages</b>	Successivement Ci, Cs, As avec Fs dans les précipitations	Ns et Fs	Brouillard ou stratus bas	Cb et gros Cu avec Ns et Fs	Bancs d'Ac, Cu et Cb ensuite
<b>Précipitations</b>	Successivement précipitations en altitude puis pluie ou neige (selon température)	Forte pluie ou neige (sleet) qui s'arrête peu après le passage du front	Parfois bruine (aiguilles de glace en hiver)	Fortes averses, de pluie, neige, grêle ou grésil	Averse de pluie ou de neige et éclaircies
<b>Visibilité</b>	Bonne mais diminue à l'approche du front	Médiocre	Médiocre ou mauvaise	Médiocre	Très bonne sauf dans les averses

**Conditions associées à une perturbation réelle**

Dans la réalité, la configuration d'une perturbation présente presque toujours des différences, parfois très sensibles, par rapport au schéma classique. Ces différences sont dues aux interférences entre divers phénomènes qui s'additionnent ou se contrecarrent.

Les variables météorologiques obéissant aux lois de la thermodynamique, il est aisé de comprendre qu'une prévision précise à 100% pour un instant et un lieu donné est impossible à obtenir car il est impossible de connaître totalement l'état de l'atmosphère à un instant donné, certainement pas pour l'ensemble de la Terre et pas même pour un continent, les protocoles de mesures étant incomplets par la force des choses.

## **Le vent**

### **Ventogénèse**

Le vent est dû à la mise en mouvement de particules d'air. Les mécanismes qui président à la ventogénèse sont de différents types:

#### **Différence de pression**

On a vu plus haut que l'ensemble de la surface terrestre présente des alternances de basses et de hautes pressions, qui peuvent être d'origine "locale" (perturbations...) ou générale (circulation générale de l'atmosphère). Cette différence de pression va mettre en mouvement les particules d'air, et ainsi être la cause des vents. Les vents ainsi générés portent le nom de vents géostrophiques ou synoptiques.

#### **Différences de température**

Elles sont à la base de vents dits thermiques, ou brises; sans entrer dans les détails, la brise de mer

#### **Ecoulement par densité**

L'air froid est plus dense que l'air chaud, et, dans certaines conditions, il peut "couler" d'une montagne dans la vallée. Ces vents sont appelés catabatiques; ils sont fréquents dans la région du pôle sud, où ils peuvent atteindre 250 km/h; ils sont également retrouvés sur les côtes yougoslaves (c'est la bora).

### **La force de Coriolis**

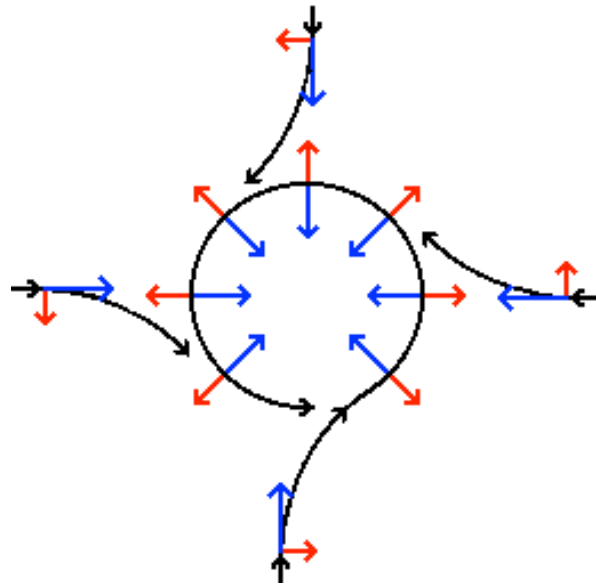
Si tout était simple, le vent ne poserait pas de problèmes quant à la détermination de sa direction; il semble en effet tout à fait logique de penser que, se déplaçant des zones de haute pression vers celles de basse pression, sa trajectoire serait la ligne droite qui joint ces deux lieux.

Oui, mais... La Terre tourne! et cette rotation de la Terre autour de son axe influence les déplacements à sa surface. C'est ainsi qu'un déplacement à une vitesse déterminée vers le nord (ou la composante vers le nord d'une vitesse) entraîne l'apparition d'une force (et donc d'une accélération) dirigée vers l'est dans l'hémisphère nord, dépendant:

- de la latitude à laquelle on observe le phénomène;
- de la vitesse du déplacement.

Cette force, dite force de Coriolis (du nom du savant français qui l'a mise en évidence) est une force qui ne concerne pas que la météorologie: la déviation des obus, l'usure des rails prédominant sur celui de droite,... relèvent de cette force. Mais pas les tourbillons de la baignoire ou du lavabo!

Cette force modifie donc les trajectoires des particules d'air, essentiellement en ce qui concerne les vents géostrophiques. Ces trajectoires vont tendre vers un équilibre entre la force entraînée par la variation de pression et celle due à ce phénomène, débouchant sur:



Bleu: force de pression; rouge: force de Coriolis; noir: trajet.

### La loi de Buys-Ballot

Celle loi, formalisée par un météorologue hollandais, précise que:

Dans l'hémisphère Nord, à des latitudes supérieures à 20°, les vents sont parallèles aux isobares; ils s'enroulent autour des centres dépressionnaires dans le sens inverse des aiguilles d'une montre; de cette façon, si un observateur se place face au vent, le centre dépressionnaire se trouve à sa droite. Le phénomène est opposé si on considère un centre anticyclonique: le vent s'en échappe, tangentiellement aux isobares, dans le sens des aiguilles d'une montre.

En fait, cette loi s'applique sans retenue aux vents géostrophiques en altitude, pour lesquels il n'y a pas d'autres forces mises en jeu que la différence de pression et la force de Coriolis. Il en est autrement à la surface de la Terre, où les forces apportées par le frottement des particules d'air sur cette surface modifient quelque peu la loi de Buys-Ballot: le vent fait avec les isobares un angle (20° sur la mer, 40° sur la terre) vers l'intérieur de la dépression ou l'extérieur de l'anti-cyclone.

De même, le relief modifie considérablement la direction du vent; c'est en particulier le cas pour le mistral ou la tramontane, que le relief "oblige" à suivre la ligne qui joint les centres de pression et donc à être perpendiculaire aux isobares, ce qui augmente énormément la vitesse de ce vent.

### Force du vent

La vitesse du vent s'exprime en mètres par seconde, en kilomètres par heure, en nœuds, mais surtout selon une échelle spécifique, inventée par l'Amiral britannique Beaufort. Initialement basée sur des appréciations naturelles, cette échelle a été mise en parallèle avec la vitesse du vent, et une formule relie la force Beaufort (B) à la vitesse (V) du vent en nœuds:  $V=1,62B^{3/2}$

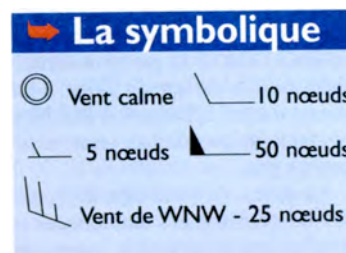
Le tableau donné en annexe répertorie ces différentes données. Le plus important est de connaître la correspondance entre la force du vent exprimée en Beaufort, sa dénomination et sa vitesse. Grossièrement la force Beaufort est égale au cinquième de la vitesse en nœuds, auquel on ajoute la valeur 1 en dessous de force 8.

Ces bulletins météorologiques donnent un vent moyen sur 10 minutes, mesuré à 10m de hauteur; l'existence de rafales traduit un vent instantané plus important (voir page 15).

**Transcription graphique**

Sur les cartes météorologiques, la direction du vent et sa force sont symbolisés par des flèches:

- dont la hampe indique la direction d'où souffle le vent;
- portant des symboles traduisant la force du vent en nœuds: une grande barbule correspond à 10 nœuds, une petite à 5 nœuds et un triangle noir à 50 nœuds.



Météo-France exprime également la vitesse du vent de la manière suivante: Faible entre 0 et 2 Beaufort; modéré 3 ou 4; assez fort: 5 ou 6; fort: 7 ou 8; très fort: 9; violent: 10 et au dessus.

**Déterminants de la force du vent**

Outre les modifications déjà envisagées (canalisation par le relief), la force du vent dépend de plusieurs paramètres: la différence de pression; la latitude de l'observation; la forme des isobares.

**Différence de pression**

Elle peut être envisagée sous deux aspects: la variation de la pression en un même lieu en fonction du temps, ou la différence des pressions mesurées au même moment en deux lieux espacés d'une distance connue, et situés grossièrement dans l'axe des centres de pression.

**Variation de pression en un lieu déterminé**

La baisse de pression par heure peut faire augurer de la force du vent: Si on considère une période de trois heures, une baisse de pression:

- De deux à trois hPa signifie une dégradation imminente de la situation;
- De trois à cinq hPa annonce l'arrivée d'une importante perturbation (une chute de 3 hPa correspond à un vent de 24 nœuds);
- Supérieure à 5 hPa traduit un coup de vent en préparation: 3hPa en une heure annonce un vent de 40 nœuds, 5 hPa à un vent de plus de 50 nœuds.

**Différence de pression entre deux points**

La différence de pression entre deux points, mesurée au même moment est un déterminant important de la force du vent, sous la réserve qu'il faut que la ligne qui joint ces deux points soit à peu près perpendiculaire aux isobares. Dans ces conditions, on peut donner des valeurs "repère", qui doivent toutefois être corrigées, comme on l'envisagera dans la partie suivante:

5hPa en	0,5°	0,75°	1°	1,25°	1,5°	2°	2,5°	3°	4,5°
Vent(Nd)	55	50	42	34	28	21	17	14	9

Vitesse du vent pour une latitude de 50° correspondant à divers gradients (5hPa pour distance variable)

**Latitude**

L'influence de la latitude s'exerce au niveau de la force de Coriolis, d'autant plus importante que la latitude est élevée. Cette influence de la latitude se traduit par l'introduction d'un facteur de correction à la vitesse du vent trouvée ci-dessus:

80°	70°	60°	50°	45°	40°	35°	30°	25°	20°	15°
0,75	0,80	0,90	1	1,10	1,20	1,40	1,60	1,80	2,20	2,90

**Rayon de courbure des isobares**

La courbure des isobares influence la force du vent, de façon différente selon qu'on se trouve au voisinage d'une dépression ou d'un anticyclone:

Au voisinage d'une dépression, si la courbure des isobares est marquée, on retranche au vent calculé 1 Beaufort (ou 5 nœuds)

Au voisinage d'un anticyclone, en fonction de l'importance de la courbure des isobares, on ajoute 1 (courbure importante) ou 2 Beaufort (courbure très marquée), soit 5 ou 10 nœuds.

### Stabilité et instabilité atmosphérique

Pour être exhaustif, il faut enfin signaler que la stabilité de l'atmosphère (comme dans le secteur chaud d'une perturbation) fait retirer 5 nœuds au vent prévu, alors que l'instabilité (arrière d'un fond froid, air froid sur mer chaude...) fait ajouter 5 nœuds.

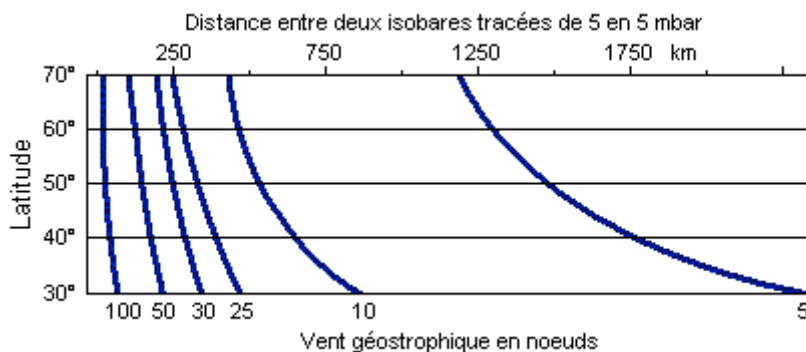
### Synthèse technico-mathématico-physique:

La résolution des équations traduisant le comportement d'une particule élémentaire d'air sous l'influence de toutes les forces auxquelles elle est soumise donne, comme résultats à l'équilibre, en appelant R le rayon de courbure des isobares; G le gradient de pression;  $\omega$  le vecteur traduisant la rotation de la Terre ( $2\pi/86400$ ),  $\varphi$  la latitude:

$$\text{Autour d'un anticyclone: } V = R \cdot \left( \omega \sin \varphi - \sqrt{\omega^2 \sin^2 \varphi - \frac{G}{\rho R}} \right)$$

$$\text{Autour d'une dépression: } V = R \cdot \left( \omega \sin \varphi + \sqrt{\omega^2 \sin^2 \varphi + \frac{G}{\rho R}} \right)$$

En ne tenant pas compte, initialement, du terme sous la racine carrée, cette formule peut être traduite par un abaque: connaissant le gradient (correspondant dans le schéma ci-dessous à la distance entre deux isobares espacés de 5mBar) et la latitude, on peut atteindre la valeur du vent géostrophique, qu'on corrigera par la suite comme exposé avec le rayon de courbure et le type: anti-cyclone ou dépression.



Enfin, il faut faire attention à la différence entre vent moyen (mesuré sur une période de 10 minutes) et le vent instantané, générateur de rafales, qui peuvent être supérieures de 10 nœuds (rafales), 15 à 25 nœuds (fortes rafales) ou de plus de 25 nœuds (violentes rafales)

## La prévision météorologique

### Bases de la prévision

La prévision météorologique est basée essentiellement sur les observations, en provenance de très nombreux points, qui intègrent pression, vent, état de la couche nuageuse, humidité... Ces données sont reportées sur des cartes d'observation, avec une symbolique internationale.

### Modèles de prévision

Les modèles de prévision font appel à des supercalculateurs (ce sont les plus puissants qui existent!), et l'atmosphère terrestre est découpée en mailles, de pas variable suivant le lieu et l'importance ressentie de la prévision. A chaque période (actuellement, 15 minutes) la situation de l'atmosphère est recalculée pour chacune des cellules et ainsi de suite, permettant de générer la situation atmosphérique pour des durées assez longues (48 heures à plus d'une

semaine). De façon périodique, les données observationnelles sont réinjectées dans le système, de manière à affiner la prévision.

### Traitement et devenir de l'information

Les modèles "bruts de sortie" sont ensuite confiés à des prévisionnistes météorologues, qui identifient les perturbations et les divers accidents barométriques associés (fronts, thalwegs...). Ce sont ces cartes, commentées et pour certaines signées, qui sont mises à la disposition du public.

D'autres cartes peuvent être élaborées: carte des vents, des précipitations, des températures, de l'humidité, des pressions au sol, bien sur, mais aussi en altitude (permettant d'apprécier la vitesse de déplacement des perturbations), et bien d'autres. Ces cartes sont disponibles sous plusieurs formes, en particulier numériques; celles-ci peuvent être transmises par fax, radiofax, mais de plus en plus par internet (voie filaire ou radio). Les fichiers GRIB (fichiers de vent) sont ainsi élaborés, de façon à être rapidement transmis par voie hertzienne, satellitaire ou filaire, et être injectés dans les logiciels de navigation emportés à bord des bateaux.

### Les bulletins météorologiques

La consultation des données météorologiques est indispensable avant toute navigation, quelle qu'elle soit. Ces données météorologiques comportent des informations sur la situation actuelle et l'évolution prévisible. Elles sont disponibles pour une plusieurs zones, définies au niveau international; elles peuvent concerner la bande côtière, le large ou le grand large; dans ce dernier cas, les zones concernées sont définies au niveau international. Ces bulletins météorologiques peuvent ou non comporter des cartes, selon leur mode de diffusion. Enfin, ils sont réactualisés de une fois par jour (grand large) à 3 fois (côtier).

#### Composition des bulletins météorologiques de routine

De manière générale, ils comportent plusieurs parties. C'est ainsi que, dans le cas d'un **bulletin côtier**, on a successivement:

- ◆ L'en-tête, qui donne l'origine, le champ d'application géographique et la date du bulletin;
- ◆ Les avis de vent fort (BMS: voir ci-dessous)
- ◆ La situation générale à la date du bulletin et son évolution probable;
- ◆ La prévision météorologique pour les périodes suivantes;
- ◆ La tendance ultérieure;
- ◆ Les observations dans les ports et aux points importants de la zone
- ◆ Les phénomènes importants à venir
- ◆ L'évolution probable pour les jours suivants.

Les **bulletins pour le large** présentant la même structure.

Les **bulletins pour le grand large** donnent la situation générale puis, pour chacune des zones (voir la carte ci-dessous), les évènements majeurs.

#### Les BMS

Les bulletins météorologiques spéciaux sont diffusés dès que le vent observé ou prévu atteint force 7, pour les BMS côtiers, ou 8 pour les BMS large et grand large. Ils sont numérotés depuis le début de chaque année, et peuvent soit annoncer une situation nouvelle, soit compléter ou modifier un BMS antérieur.



### Acquisition des données météorologiques

Depuis l'essor des technologies nouvelles, les données météorologiques peuvent être consultées de différentes façons:

- ◆ L'affichage des bulletins météorologiques aux capitaineries, voire clubs de voile ou locaux de surveillance des plages. C'est la façon la plus rapide, au port, de consulter les bulletins et les cartes météo. Il faut, bien sûr, s'assurer de la date et de l'étendue de couverture de ces bulletins.
- ◆ Les moyens VHF: les bulletins sont transmis par la VHF à des heures déterminées, précisées sur les sites de Météo-France, voire en continu, de façon actuellement expérimentale. Les canaux sur lesquels les bulletins sont diffusés sont précisés par un appel préalable sur le canal 16.
- ◆ Les autres moyens radio: BLU et INMARSAT "C" permettent de diffuser les bulletins loin des côtes
- ◆ Les moyens téléphoniques: les numéros "courts" de Météo-France permettent d'accéder aux bulletins; il en est de même pour d'autres sources privées (Météoconsult)
- ◆ Le NAVTEX: il s'agit de transmission d'informations par voie télégraphique; les stations sont peu nombreuses, mais la couverture est de 300 milles nautiques.
- ◆ L'internet: il a révolutionné les transmissions, soit au port (clés USB) soit en pleine mer (INMARSAT, téléphones satellitaires). Les données concernent les bulletins météo, mais aussi les "champs de vent", sous forme de fichiers numérisés (GRIB), utilisables par les systèmes informatiques de cartographie, voire de routage.

#### Exemple de bulletin côtier:

Origine METEO-FRANCE Aix en Provence

Bulletin côtier pour la bande des 20 milles entre Cerbère et Port Camargue

le dimanche 22 février 2009 à 18:30 légales...

1 -Avis de grand frais à localement fort coup de vent N°84:EN COURS Pour Roussillon , Languedoc et Ouest de Provence.

Fin de Validité: Mardi 24 Février 2009 à 00 UTC au moins.

2 - Situation générale le dimanche 22 février à 1200 UTC et évolution :

Anticyclone de 1035 hPa sur proche Atlantique...

3 - Prévision pour la nuit du dimanche 22 février au lundi 23 février:

Vent :de Cerbère au cap d'Agde, ...

Mer :..., Houle : ..., Temps :..., Visibilité: ...

4 - Prévision pour la journée du lundi 23 février :...

5- Tendances pour la journée du mardi 24 février...

6 - A 16h légales, on observait : ...

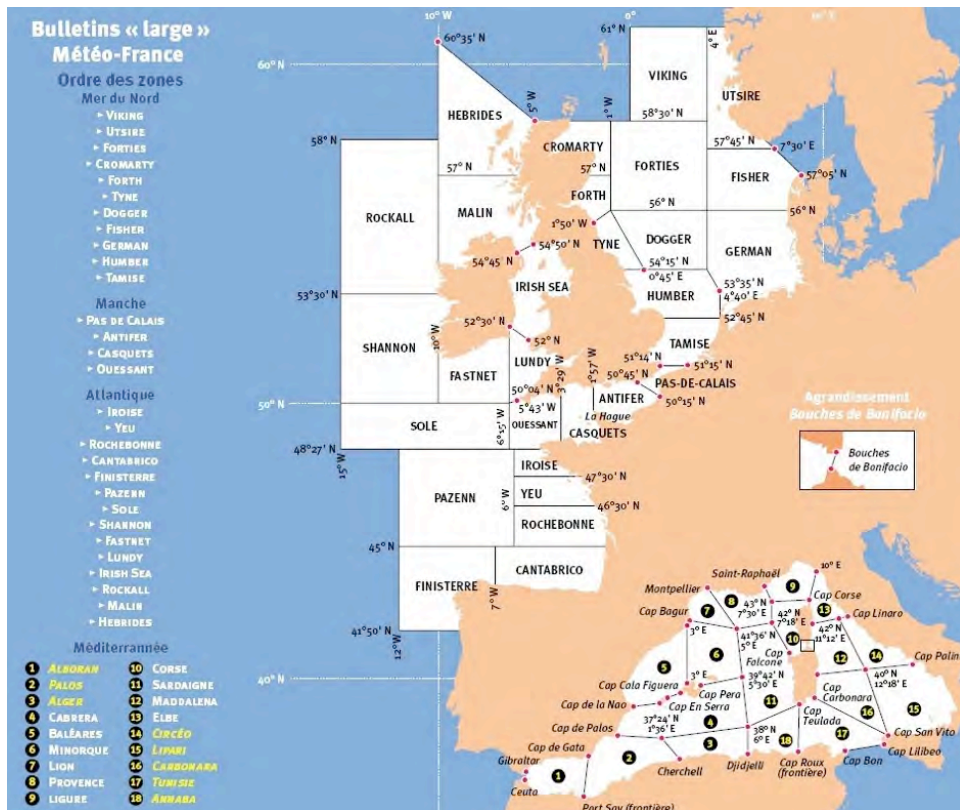
7- Phénomènes importants du mercredi 25 février au jeudi 26 février: ...mercredi 25 février ... jeudi 26 février à vendredi 27 février ...

Indice de confiance :Pour la période du jeudi 26 au vendredi 27, l'indice de confiance est de 4 sur 5; Pour la période du samedi 28 au dimanche 1, l'indice de confiance est de 4 sur 5, 5 étant le niveau le plus élevé.

#### Exemple de bulletin LARGE

1/Situation générale le dimanche 22 février 2009 à 12h UTC et évolution:Dépression 1019 hPa près de Toulon, se décalant vers le sud, prévue à 1012 hPa à l'ouest de la Sardaigne le matin, puis à 1009 hPa au sud de la Sardaigne l'après-midi. Dorsale 1030 hPa sur la France et l'Espagne, s'affaiblissant progressivement à 1025 hPa.

2/ Prévisions par zones valables jusqu'au lundi 23 février à 18h UTC:LION Nord à Nord-Ouest 8 à 9. Fortes rafales. Mer forte à très forte, localement grosse sur l'extrême sud.



## RÉSUMÉ : CONNAISSANCES INDISPENSABLES

### Les masses d'air

Elles sont créées par des phénomènes à l'échelle mondiale (CGA), qui déterminent ainsi des masses d'air chaudes ou froides, humides ou sèches. La température de ces masses, et leur hygrométrie, déterminent des différences de pression entre ces masses.

Les frontières entre ces masses d'air sont en perpétuel mouvement; ces déplacements sont extrêmement complexes, et soumis à plusieurs déterminants, dont un est lié à la rotation de la Terre, et à la modification des trajectoires par celle-ci.

### Définitions

#### Hautes pressions, ou anticyclone:

Ce sont des régions où la pression atmosphérique est supérieure à la pression "normale" de 1013 (ou 1015 pour simplifier) mBar.

#### Basses pressions, ou dépressions:

Ce sont des régions où la pression atmosphérique est inférieure à 1013 mBar.

#### Deux remarques:

- Ces champs de hautes pressions ou de basses pressions présentent un point où cette pression est extrême: c'est le centre d'action, repéré la plupart du temps par une croix, et un symbole (A, H...), voire une lettre ou un numéro d'ordre.
- Ces pressions peuvent parfois faire référence à l'environnement: un centre d'action à 1016 mBar dans un champ de hautes pressions de 1025 mBar peut être considéré comme une dépression relative.

### Les isobares

sont des lignes, reliant les points où la pression est la même. Ces isobares sont échelonnés par 4 ou 5 mBar.

Les déformations des isobares peuvent conduire à individualiser des zones particulières, placées entre deux structures de même type:

#### Les dorsales

sont des zones qui relient deux anticyclones; si on se ramène à une traduction géographique où les anticyclones sont des sommets et les dépressions des points de faible altitude, les dorsales correspondent aux lignes de crête. On peut les repérer sur une carte barométrique par une déformation des isobares, qui prennent une allure de "U"

#### Les thalwege

relient deux dépressions. Littéralement "chemin de vallée", c'est, en équivalence géographique, le chemin qui serpente au fond d'une vallée. Ils se caractérisent, sur une carte isobarique, par des isobares déformés "en V".

#### Un marais barométrique

C'est une étendue, relativement vaste, où la pression atmosphérique varie peu.

#### Les fronts

Ce sont des surfaces qui séparent des masses d'air froid (denses) et chaudes (légères).

##### Un front chaud

est caractérisé par un envahissement d'air chaud (léger et humide) qui repousse une masse d'air froid;

##### Un front froid

est caractérisé par une masse d'air froid, qui passe en dessous ("en coin") d'une masse d'air chaud.

**Une occlusion**

est la rencontre de ces deux fronts, isolant une "bulle" d'air chaud qui flotte au dessus d'air froid

**Le Vent****Trajectoire du vent:**

Il est logique de penser que le vent va se diriger des hautes pressions vers les basses pressions. C'est effectivement ce qui se produit, mais la direction du vent n'est pas la ligne qui relie les deux centres. En effet, si ce trajet est effectivement celui suivi par les molécules d'air au tout début de leur déplacement, la rotation de la Terre modifie rapidement cette trajectoire, tant et si bien que le vent prend une direction tangente aux isobares, du moins s'il n'y a pas de phénomènes de canalisation dus à des obstacles géographiques.

Cette modification de trajectoire est due à l'**accélération de Coriolis**: dans l'hémisphère nord, la trajectoire vers le nord d'une particule est déviée vers sa droite; une trajectoire vers le sud sera déviée vers sa gauche.

Cette force de Coriolis, dont les effets sont nombreux, s'applique également au mouvement des particules d'air des hautes pressions vers les basses pressions, et se traduit par la:

**Loi de Buys-Ballot:**

Dans l'hémisphère nord, les vents sont parallèles aux isobares, et s'enroulent autour d'une dépression dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Quand un observateur est placé face au vent, le centre dépressionnaire est à sa droite.

**Comment connaître la météo?****Sur la côte:**

Bulletins affichés par les capitaineries (routine ou BMS)

Téléphone: Météofrance ou autres

Sites internet divers et variés

**En mer:**

VHF: Bulletins météo "routine" et BMS; sémaphores éventuellement

NAVTEX

Internet satellitaire

## TABLE DES MATIERES

BASES DE METEOROLOGIE .....	1
Circulation générale de l'atmosphère .....	1
Masses d'air .....	1
Nature et formation des masses d'air .....	1
Définitions et symbolique .....	2
Hautes pressions, basses pressions .....	2
Marais, thalwegs, dorsales et cols .....	3
Marais .....	3
Thalweg .....	3
Dorsale .....	3
Col .....	3
Fronts .....	4
Classification et symbolisme .....	4
1. Front chaud .....	4
2. Front froid .....	4
3. Front quasi-stationnaire .....	5
4. Occlusion .....	5
Champs bariques au voisinage des fronts .....	5
Front chaud: .....	6
Front froid .....	6
Temps associé aux fronts .....	6
Front chaud .....	6
A. Avant le passage du front .....	6
B. Au passage du front .....	7
C. Après le passage du front .....	7
Front froid .....	7
A. Avant le passage du front .....	7
B. Au passage du front .....	8
C. Après le passage du front .....	8
Les perturbations .....	8
Evolution type d'une perturbation cyclonique .....	8
Premier stade .....	8
Deuxième stade .....	9
Quatrième stade .....	9
Cinquième stade .....	9
Sixième stade .....	10
Septième stade .....	10
Front froid secondaire .....	10
Phénomènes associés à une perturbation .....	11
Conditions associées à une perturbation réelle .....	11
Le vent .....	12
Ventogenèse .....	12
Différence de pression .....	12
Différences de température .....	12
Ecoulement par densité .....	12
La force de Coriolis .....	12

La loi de Buys-Ballot .....	13
Force du vent.....	13
Transcription graphique .....	14
Déterminants de la force du vent .....	14
Différence de pression .....	14
Variation de pression en un lieu déterminé.....	14
Différence de pression entre deux points .....	14
Latitude .....	14
Rayon de courbure des isobares.....	14
Stabilité et instabilité atmosphérique .....	15
Synthèse technico-mathématico-physique:.....	15
La prévision météorologique .....	15
Bases de la prévision.....	15
Modèles de prévision .....	15
Traitement et devenir de l'information.....	16
Les bulletins météorologiques .....	16
Composition des bulletins météorologiques de routine .....	16
Les BMS .....	16
Acquisition des données météorologiques.....	17
RÉSUMÉ : CONNAISSANCES INDISPENSABLES .....	19
Les masses d'air.....	19
Définitions.....	19
Hautes pressions, ou anticyclone: .....	19
Basses pressions, ou dépressions: .....	19
Les isobares.....	19
Les dorsales.....	19
Les thalwege .....	19
Un marais barométrique.....	19
Les fronts .....	19
Un front chaud .....	19
Un front froid .....	19
Une occlusion.....	20
Le Vent.....	20
Trajectoire du vent: .....	20
Loi de Buys-Ballot:.....	20
Comment connaître la météo? .....	20
Sur la côte: .....	20
En mer:.....	20

alizés .....	1	frontogénèse .....	11
altocumulus .....	8	GRIB	
altostratus .....	7	fichier.....	18
anticyclone .....	2	fichiers .....	16
BLU.....	17	haute pression.....	2
bulletin		INMARSAT .....	17
côtier .....	17	jet streams.....	1
grand large .....	17	marais barométrique.....	4
large.....	17	masse d'air théorique .....	2
météorologique spécial .....	17	modèles de prévision.....	16
bulletins météorologiques .....	17	moussons .....	1
Buyss-Ballot		NAVTEX.....	17
(loï de).....	13	nimbostratus .....	7, 8
modification .....	13	occlusion.....	5
capitaineries .....	17	onde instable.....	9
cartes		ondulation.....	9
de prévision.....	16	orage .....	7
d'observation .....	16	perturbation .....	9
cellules météorologiques.....	1	perturbations frontales.....	4
circulation .....	1	rafales .....	16
cirrostratus.....	7	stratus.....	7
cirrus .....	8	surface frontale.....	4
col.....	4	thalweg .....	4
Coriolis (force de).....	13	vent	
couche de transition .....	4	catabatique.....	12
courants d'altitude .....	1	courbure des isobares .....	15
cumulonimbus.....	7, 8	échelle Beaufort.....	14
dépression .....	4	géostrophique .....	12, 13, 15
dorsale .....	4	gradient de pression.....	14
front		influence de la latitude .....	15
chaud .....	4, 6, 7	moyen .....	14, 16
passage .....	7	rotation vers la droite.....	7, 8
froid.....	5, 8	rotation vers la gauche.....	8
passage .....	8	stabilité de l'atmosphère .....	15
quasi-stationnaire .....	5	synoptique .....	12
front froid		vitesse .....	14
secondaire .....	8, 11	ventogénèse .....	12
front polaire.....	4	VHF .....	17
front quasi-stationnaire .....	9		