

## Connaissances de Base

### Instruction AirFrance Virtuel

AFR VIRTUEL 

**/!\ AVERTISSEMENT /!\**

**Ce présent manuel est strictement réservé à la Simulation de vol et ne peut en aucun cas servir de support à une quelconque formation dans la réalité.**

## Cadre réglementaire

Les licences sont définies par l'arrêté du 29 mars 1999 modifié par l'arrêté du 20 décembre 1999 relatif aux licences et qualifications de membres d'équipage de conduite d'avions (FCL1), lui-même basé sur le JAR-FCL1 européen. Cet arrêté définit les licences, au nombre de 3 :

- Le PPL (A): Private Pilot License (Aéroplanes) ou Licence de Pilote Privé Avion.
- Le CPL (A): Commercial Pilot License (Aéroplanes) ou Licence de Pilote Professionnel Avion.
- l'ATPL (A): Airline Transport Pilot License (Aéroplanes) ou Licence de Pilote de Ligne Avion.

## Ce document ne concerne que le PPL(A)

**Âge minimal:** 17 ans pour l'obtention de la licence, 16 ans pour le premier vol solo.

**Aptitude physique et mentale:** certificat médical de classe 1 ou 2.

**Privilèges et conditions:** exercer sans rémunération les fonctions de Commandant de Bord ou de copilote d'un avion qui n'est pas exploité à titre onéreux.

## Expérience

- Total: 45 HdV dont 5 h max sur simulateur agréé.
- Double commande : au moins 25 HdV
- Solo : au moins 10 HdV

Dont au moins 5 h de vol en campagne (navigation)

Dont un vol de 150 NM avec atterrissage complet sur 2 aérodromes différent de l'aérodrome de départ.

Note : la longueur des branches est libre, ce n'est pas forcément un triangle équilatéral ; il n'y a aucune obligation de faire cette navigation en une seule journée, vous pouvez faire une branche par jour si ça vous chante.

## Prise en compte d'une expérience précédente

Si vous êtes titulaire d'un Brevet de Base, d'un PPL(H) ou d'une licence planeur, vous pouvez déduire 10% des HdV en CdB avec cette licence avec un maximum de 10 heures. Exemple : vous avez 60 heures de vol en CdB avec votre BB, vous pouvez déduire 6 h des heures totales pour le PPL(A), soit 39 heures au lieu 45.

## Examens

Un examen théorique (mais a priori vous êtes déjà au courant) et une épreuve pratique en vol avec un examinateur.

L'examen théorique se découpe en 5 modules. Si vous échouez à un module vous ne repassez que celui-ci.

Le certificat d'aptitude théorique est valable 2 ans. Si au bout de 2 ans vous n'avez toujours pas passé l'épreuve pratique, vous devez repasser le théorique.

L'examen pratique est composé de plusieurs sections. Si vous échouez à une section, vous ne repasserez que cette section. Si vous échouez à plus d'une section, vous repassez l'épreuve au complet. Au cours du test en vol, la navigation doit durer au moins 1 heure.

En cas de réussite, l'examineur vous délivre un certificat provisoire qui vous permet de voler en attendant votre licence PPL(A). Ce certificat est valable 2 mois et est limité à la France : pas de vols à l'étranger avec ce certificat.

## La Licence

Le PPL(A) se présente sous la forme d'un bout de carton en triptyque, sur lequel figure votre pedigree, la validité de la licence et la liste des qualifications.

## Le pedigree

Il y a vos noms, prénoms, adresse, etc. mais pas de photo. Pour prouver que c'est bien votre licence, vous devez avoir avec vous une pièce d'identité officielle (CNI, passeport, permis de conduire, etc.)

**La validité**

Une licence PPL(A) est délivrée à vie, mais :

- la licence elle-même (le carton) doit être ré-édité tous les 5 ans maxi,
- la validité de la licence dépend des qualifications associées et du certificat médical. En clair, vous ne pouvez pas voler avec votre licence si vous n'avez pas de qualification valide pour l'avion que vous voulez utiliser et/ou que votre certificat médical n'est pas valide.

**Les qualifications**

Les qualifications sont des compétences supplémentaires que vous pouvez obtenir et qui sont associées à votre licence. La toute première qualification vient en même temps que le PPL(A) : la qualification de classe SEP (Single Engine Piston ou Monomoteurs à Pistons), normalement la classe d'avion sur lequel vous avez passé le test en vol. On peut citer aussi :

MEP = qualification de classe multi-moteur à pistons.

IR = qualification de vol aux instruments, indispensable pour voler en IFR

QT = qualifications de types pour certains aéronefs qui ne rentrent pas dans une classe ou qui sont trop gros (Airbus A320, etc.)

FI = qualification d'instructeur.

D'autres compétences ne font pas l'objet d'une qualification : voltige, train rentrant, hélice à calage variable, train classique. Ce sont des aptitudes notées sur le carnet de vol, ou qui nécessitent une formation aux différences.

**Prorogation et Renouvellement**

Prorogation : prolongation de la validité avant la date d'expiration.

Renouvellement : rétablissement de la validité après la date d'expiration.

Les dates de validité sont toujours le dernier jour du mois.

La validité du certificat médical de classe 2 a été modifiée récemment (19 mai 2008). Auparavant, la durée de validité était de 2 ans pour les moins de 40 ans, 1 an à partir de 40 ans. Désormais, elle est de 60 mois pour les moins de 40 ans, et 24 mois à partir de 40 ans.

Pour proroger ou renouveler le certificat médical, il suffit de passer une visite d'aptitude chez un médecin agréé. Lorsque cette visite est faite dans les 45 jours qui précèdent l'expiration, la validité repart de la date d'expiration initiale. Exemple : votre certificat expire le 31 décembre, si vous passez votre visite entre le 17 novembre et le 31 décembre, la nouvelle date de validité sera le 31 décembre 60 mois ou 24 mois plus tard en fonction de votre âge.

En gros, toutes les qualifications sont valides 12 mois, sauf la qualification de classe SEP qui est valide 24 mois. Pour proroger la SEP, il faut dans les 12 mois qui précèdent l'expiration, avoir effectué 12 HdV, dont au moins 6 en CdB, et dont au moins une heure avec instructeur. Pendant ces 12 heures, il faut avoir fait 12 décollages et 12 atterrissages. Si vous ne remplissez pas ces conditions, il faut faire un vol de contrôle avec un examinateur dans les 3 mois qui précèdent l'expiration.

Pour renouveler la SEP, il faut faire un vol de contrôle avec un examinateur.

## Divisions de l'espace aérien

L'espace aérien est subdivisé horizontalement en :

- Espace aérien inférieur : du sol au FL 195, il contient les FIR (Flight Information Region ou Régions d'Information de Vol) ;
- Espace aérien supérieur : à partir du FL 195, appelé UIR (Upper Information Region).

**Les Régions d' information de vol (FIR)** sont les portions d' espace aérien dans lesquelles il est décidé d' établir un service d' information de vol et un service d' alerte. Les FIR sont au nombre de 5 en France : Paris, Brest, Bordeaux, Reims, Marseille. Chaque FIR est munie d'un Centre d'Information de Vol, ou est subdivisée en Secteurs d'Information de Vol (SIV) dans lesquels le service d'information de vol est assuré par des organismes de contrôle. Les FIR couvrent la totalité du territoire.

**Les Régions de contrôle (TMA et CTA) et zones de contrôle (CTR)** sont les portions d' espace aérien dans lesquelles il est décidé d' établir un service du contrôle de la circulation aérienne pour les vols IFR.

**Les Régions de contrôle** ont leur base à une hauteur d'au moins 200 m (700 ft) et s'élèvent jusqu'à une hauteur définie. Elles peuvent desservir plusieurs aérodromes et servent à faire la transition entre la phase de croisière des avions et la phase d'approche. Les TMA sont gérées par le contrôle d'approche (APP).

**Les Zones de contrôle** commencent au sol et s'élèvent jusqu'à une hauteur définie. Une CTR est associée à un aérodrome, lorsque celui-ci est pourvu d'approches et/ou de départs aux instruments. Les aérodromes purement VFR n'ont pas de CTR, mais peuvent bien évidemment avoir une Tour de contrôle, qui est chargé du contrôle d'aérodrome. Les CTR sont gérées par le contrôle d'aérodrome (TWR).

### Les zones à statut particulier

**Les Zones Dangereuses (D)** : la pénétration n'est pas interdite, mais les activités qui s'y déroulent peuvent présenter un danger pour les aéronefs. Logique, non ?

**Les Zones Réglementées (R)** : la pénétration est soumise à certaines conditions, voire est interdite. Il n'y a pas de règle générale, ces zones sont à étudier au cas par cas.

**Les Zones interdites (P)** : la pénétration est interdite.

**Les Zones de ségrégation temporaire (TSA) et Zones de ségrégation temporaire transfrontalières (CBA)** : des portions d'espace aérien réservées à des usagers spécifiques (zones d'essai en vol civils, par exemple).

## Les Classes d'espace aérien

Il existe 7 classes d'espace aérien, identifiés par les lettres A à G. Chaque classe d'espace aérien correspond à un service rendu aux usagers.

### Définitions

Séparation : le contrôle donne des instructions afin d'assurer la séparation entre les aéronefs.

Information de trafic : le contrôle vous informe de la position des autres aéronefs, à vous de les voir et de les éviter.

### Les espaces aériens contrôlés

#### Classe A :

interdit aux VFR, ça simplifie les choses. La seule classe A en France est au-dessus de la région parisienne.

#### Classe B :

VFR et IFR acceptés.

Tous les aéronefs sont séparés.

Contact radio et clairance obligatoire.

Pas de limitation de vitesse.

#### Classe C :

VFR et IFR acceptés.

Les IFR sont séparés entre eux et avec les VFR. Les VFR reçoivent l'information de trafic sur les autres VFR.

Contact radio et clairance obligatoire.

Limitation de vitesse à 250 kt IAS en-dessous du FL 100 uniquement pour les VFR.

#### Classe D :

VFR et IFR acceptés.

En VFR spécial, l'espacement est assuré.

Les IFR sont séparés entre eux et reçoivent l'information de trafic sur les VFR. Les VFR reçoivent l'information de trafic sur les autres VFR.

Contact radio et clairance obligatoire.

Limitation de vitesse à 250 kt IAS en-dessous du FL 100 pour tout le monde.

#### Classe E :

VFR et IFR acceptés.

Les IFR sont séparés entre eux et reçoivent l'information de trafic sur les VFR autant que possible. Les VFR reçoivent l'information de trafic sur les autres VFR autant que possible.

Contact radio et clairance non obligatoires pour les VFR.

Limitation de vitesse à 250 kt IAS en-dessous du FL 100 pour tout le monde.

### Les espaces aériens non contrôlés

**Classe F** : espace consultatif pour les IFR. Le contrôle donne des avis et des suggestions, mais pas de clairances.

VFR et IFR acceptés.

Limitation de vitesse à 250 kt IAS en-dessous du FL 100 pour tout le monde.

Contact radio obligatoire pour les IFR.

#### Classe G :

VFR et IFR acceptés.

Limitation de vitesse à 250 kt IAS en-dessous du FL 100 pour tout le monde.

Contact radio obligatoire pour les IFR.

## Conditions météorologiques

Les VMC sont :

- visibilité 5 km en dessous du FL 100, 8 km au-dessus;
- espacement des nuages : 1500 m horizontalement et 300 m verticalement.

Sauf en espace aérien non contrôlé, en dessous de 3000 ft AMSL ou 1000 ft AGL (la plus haute des 2 surfaces) :

- visibilité 1,5 km ou 30 secondes de vol;
- hors des nuages;
- en vue de la surface.

### Le VFR spécial

C'est une autorisation de pénétrer un espace aérien contrôlé en dessous des VMC, mais sans que les conditions soient inférieures aux VMC de l'EANC en dessous de 3000 ft AMSL ou 1000 ft AGL.

Le VFR spécial ne peut se faire qu'en CTR.

## Informations diverses

En France, il n'y a pas d'espace aérien de classe B et F.

La classification des espaces aériens est prévue de changer vers 2010 - 2012. C'est censé se simplifier.

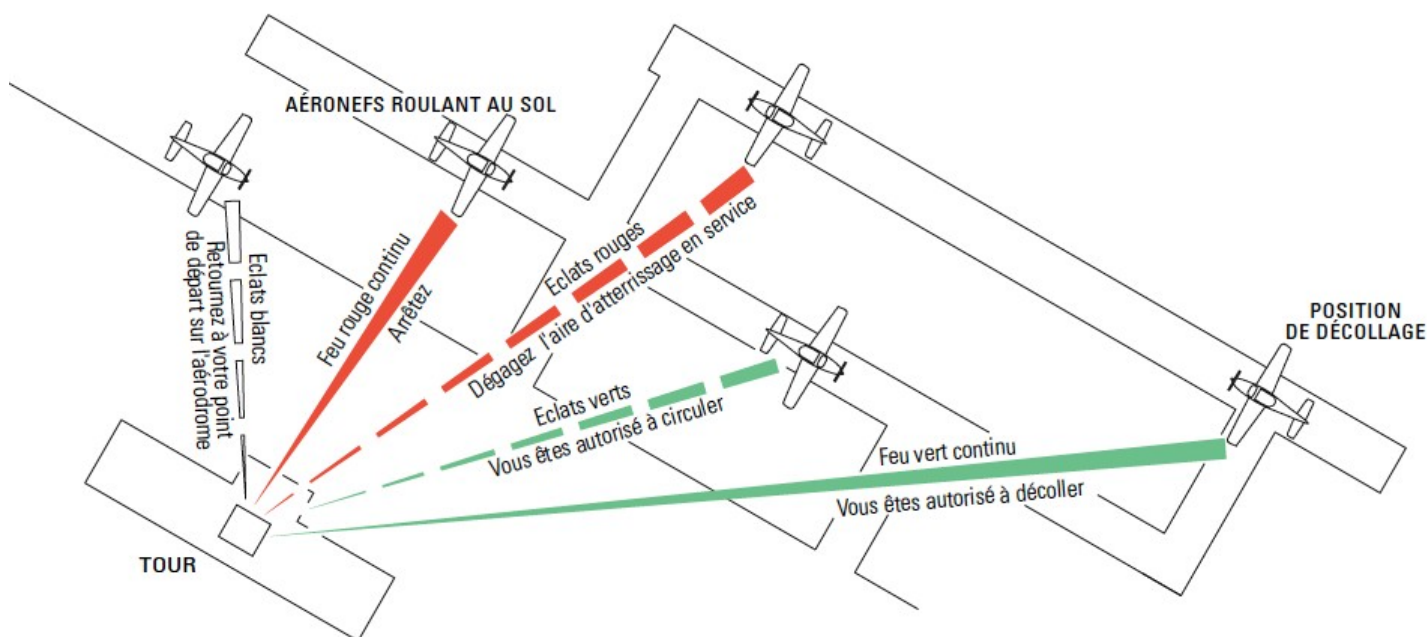
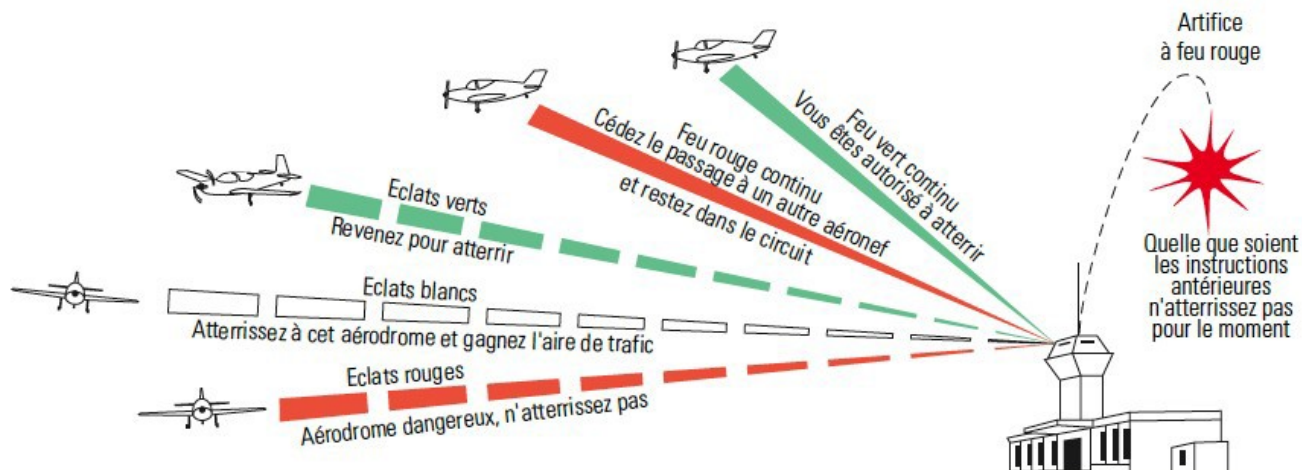
Depuis peu, il n'y a plus de CTR de classe E en France, c'est au minimum de la classe D.

Le VFR est limité théoriquement au FL 195. Cependant, on peut monter en VFR plus haut à condition d'avoir l'autorisation des organismes de la circulation aérienne, et l'avion qui le permet (performances et oxygène).

Au-dessus du FL115, c'est de la classe D partout. En théorie, les VFR peuvent demander une clairance pour voler au-dessus du FL 115 ; en pratique le contrôle refuse les VFR.

Dans les EAC, tout changement de votre altitude ou de votre route doit faire l'objet d'une autorisation du contrôle.

## SIGNAUX POUR LA CIRCULATION D'AÉRODROME



## Accusé de réception des aéronefs

## a) En vol :

1) de jour : en balançant les ailes ;

*Note.*— Ce signal n'est pas utilisé sur le parcours de base et sur le parcours final de l'approche.

2) de nuit : en éteignant et en allumant deux fois les projecteurs d'atterrissage ou, s'il n'en est pas équipé, ses feux de position.

## b) Au sol :

1) de jour : en remuant les ailerons ou la gouverne de direction ;

2) de nuit : en éteignant et en allumant deux fois les projecteurs d'atterrissage ou, s'il n'en est pas équipé, ses feux de position.

## SIGNAUX VISUELS AU SOL

### Interdiction d'atterrir



Un panneau carré rouge horizontal à diagonales jaunes indique, lorsqu'il est disposé sur l'aire à signaux, que les atterrissages sont interdits et que l'interdiction peut se prolonger.

### Précautions spéciales à prendre au cours de l'approche ou de l'atterrissage



Un panneau carré rouge horizontal avec une seule diagonale jaune indique, lorsqu'il est disposé sur l'aire à signaux, qu'en raison du mauvais état de l'aire de manoeuvre ou pour toute autre raison, des précautions spéciales doivent être prises au cours de l'approche ou au cours de l'atterrissage.

### Utilisation des pistes et voies de circulation



Un panneau horizontal blanc en forme d'haltère indique, lorsqu'il est disposé sur l'aire à signaux, qu'il est prescrit aux aéronefs d'atterrir, de décoller et de circuler exclusivement sur les pistes et voies de circulation.



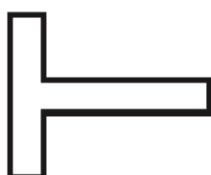
Le même signal mais comportant une bande noire perpendiculaire à la barre transversale dans chacune des extrémités circulaires de l'haltère indique, lorsqu'il est disposé sur l'aire à signaux, qu'il est prescrit aux aéronefs d'atterrir et de décoller sur les pistes seulement, mais que les autres manoeuvres peuvent être effectuées ailleurs que sur les pistes et voies de circulation.

### Pistes ou voies de circulation fermées



Des croix d'une couleur uniforme contrastante, jaune ou blanche, disposées horizontalement sur des pistes ou des voies de circulation ou sur des parties de piste ou de voie de circulation indiquent des zones impropres aux manoeuvres des aéronefs.

### Directions d'atterrissage et de décollage

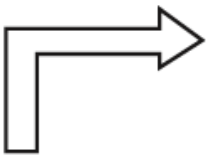


Un T d'atterrissage horizontal blanc ou orange indique aux aéronefs la direction à utiliser pour l'atterrissage et le décollage, ceux-ci s'effectuant dans une direction parallèle à la barre verticale du T, vers la barre transversale du T.



**09**

Un groupe de deux chiffres, placés verticalement sur la tour de contrôle d'aérodrome ou près de celle-ci, indique aux aéronefs sur l'aire de manoeuvre la direction du décollage, exprimée en dizaines de degrés du compas magnétique, arrondie à la dizaine la plus proche.

**Circulation à droite**

Une flèche de couleur voyante, dirigée vers la droite, placée sur l'aire à signaux ou disposée horizontalement à l'extrémité de la piste ou de la bande en service, indique que les virages doivent être exécutés à droite avant l'atterrissage et après le décollage.

**Bureau de piste des services de la circulation aérienne**

La lettre C, noire sur fond jaune, placée verticalement, indique l'emplacement du bureau de piste des services de la circulation aérienne.

**Vols de planeurs en cours**

Une double croix blanche, disposée horizontalement dans l'aire à signaux, indique que l'aérodrome est utilisé par des planeurs et que des vols sont en cours.

**SIGNAUX DE CIRCULATION AU SOL****Continuez en vous conformant aux indications du signaleur**

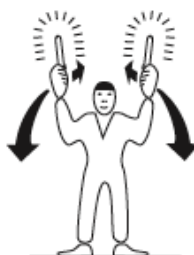
Le signaleur guide le pilote lorsque les conditions de la circulation sur l'aérodrome le nécessitent.

**Placez-vous devant moi**

Les bras tendus en position verticale au-dessus de la tête, les paumes se faisant face à l'intérieur.

**Dirigez-vous vers le signaleur suivant**

Bras droit ou gauche étendu vers le bas, balancer l'autre avant-bras verticalement devant le corps pour indiquer la direction dans laquelle se trouve le signaleur suivant.

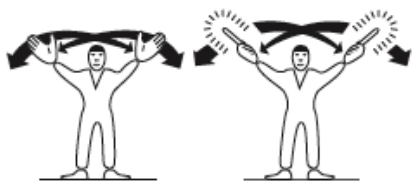
**Avancez**

Les bras légèrement écartés, paumes tournées vers l'arrière, se déplacent d'un mouvement répété vers le haut et l'arrière, à partir de la hauteur des épaules.

**Virez**

a) Virez à gauche : le bras droit vers le bas, le bras gauche se déplace d'un mouvement répété vers le haut et l'arrière. La vitesse du mouvement du bras indique le rayon du virage.

b) Virez à droite : le bras gauche vers le bas, le bras droit se déplace d'un mouvement répété vers le haut et l'arrière. La vitesse du mouvement du bras indique le rayon du virage.

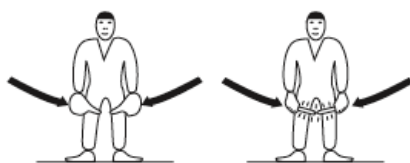
**Halte**

Les bras sont croisés au-dessus de la tête d' un mouvement répété. (La rapidité du mouvement doit être fonction de l' urgence de l' arrêt, autrement dit, plus le mouvement est rapide, plus l' arrêt doit être brusque).

**Freins**

a) Serrez les freins : lever l' avant-bras horizontalement en travers du corps, les doigts allongés, puis fermer le poing.

b) Desserrez les freins : lever l' avant-bras horizontalement en travers du corps, le poing fermé, puis allonger les doigts.

**Cales**

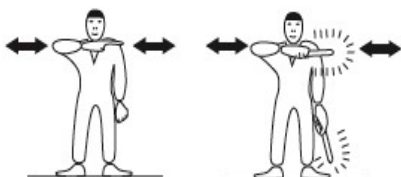
a) Cales mises : les bras vers le bas, les paumes tournées vers l' intérieur, les pouces allongés, les bras tendus en oblique vers le bas se déplacent vers l' intérieur.



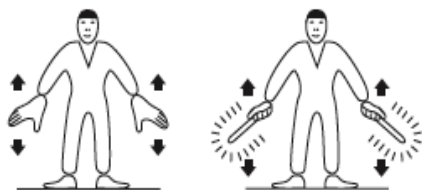
b) Cales enlevées : les bras vers le bas, les paumes tournées vers l' extérieur, les pouces allongés, les bras se déplacent vers l' extérieur.

**Démarrez le(s) moteur(s)**

La main gauche levée au-dessus de la tête et le nombre approprié de doigts allongés, pour indiquer le numéro du moteur à démarrer, la main droite se déplace d' un mouvement circulaire à hauteur de la tête.

**Coupez les moteurs**

Bras et main à hauteur des épaules, main devant le cou, la paume tournée vers le bas. La main se déplace horizontalement, le bras restant plié.

**Ralentissez**

Les bras vers le bas, les paumes tournées vers le sol, se déplacent à plusieurs reprises vers le haut puis vers le bas.

**SIGNAUX VISUELS EMPLOYÉS POUR AVERTIR UN AÉRONEF QU'IL VOLE, SANS AUTORISATION, DANS UNE ZONE RÉGLEMENTÉE, INTERDITE OU DANGEREUSE, OU QU'IL EST SUR LE POINT DE PÉNÉTRER DANS UNE TELLE ZONE**

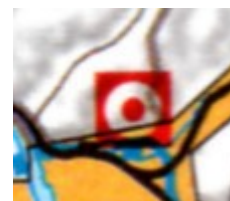
De jour ou de nuit, une série de projectiles tirés du sol à des intervalles de dix secondes, et produisant à l'éclatement des étoiles ou des feux rouges et verts, indique à un aéronef qu'il vole sans autorisation dans une zone interdite, réglementée ou dangereuse ou qu'il est sur le point de pénétrer dans une telle zone et qu'il doit prendre les dispositions qui s'imposent.

**Aéronefs motopropulsés, à l'exclusion des hélicoptères**

Sauf pour les besoins du décollage ou de l'atterrissage et des manoeuvres qui s'y rattachent, les aéronefs motopropulsés, à l'exclusion des hélicoptères, doivent se maintenir à une hauteur minima au-dessus du sol définie comme suit :

A. - Pour le survol :

- D'usines isolées ;
- De toutes autres installations à caractère industriel ;
- D'hôpitaux, de centres de repos ou de tout autre établissement ou exploitation portant une marque distincte ;



1000 ft

- Ainsi que pour les vols suivant une direction parallèle à une autoroute et à proximité de celle-ci :

**300 mètres (1000 ft) pour les aéronefs équipés d'un moteurs à pistons;**

**1000 mètres (3300 ft) pour les aéronefs équipés de plusieurs moteurs à pistons ou d'une ou plusieurs turbomachines.**

B.- Pour le survol de toute agglomération dont la largeur moyenne ne dépasse pas 1 200 mètres, ainsi que pour le survol de tout rassemblement de personnes ou d'animaux (plages, stades, réunions publiques, hippodromes, parcs à bestiaux, etc.) :

**500 mètres (1650 ft) pour les aéronefs équipés d'un moteur à pistons ;**

**1 000 mètres (3300 ft) pour les aéronefs équipés de plusieurs moteurs à pistons ou d'une ou plusieurs turbomachines.**

C. - Pour le survol de toute ville dont la largeur moyenne est comprise entre 1 200 et 3 600 mètres, ainsi que pour le survol de tout rassemblement supérieur à 10 000 personnes environ :

**1 000 mètres (3300 ft) pour tous les aéronefs motopropulsés (sauf les hélicoptères).**

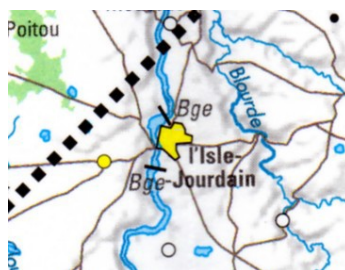
D. - Pour le survol de toute ville (Paris excepté) dont la largeur moyenne est supérieure à 3 600 mètres, ainsi que pour le survol de tout rassemblement supérieur à 100 000 personnes environ :

**1 500 mètres pour les aéronefs motopropulsés (sauf les hélicoptères).**

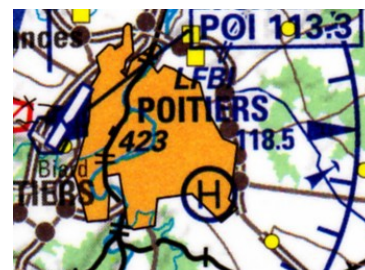
La largeur moyenne des agglomérations est celle qui figure sur la carte au 1/500 000 publiée par l'institut géographique national :



1650 ft



3300 ft



5000 ft

## Règles de vol à vue

Sauf pour les besoins du décollage et de l'atterrissage, ou sauf autorisation des autorités compétentes, aucun vol VFR n'est effectué :

a) au-dessus des zones à forte densité des villes ou autres agglomérations ou de rassemblements de personnes en plein air à moins de **300 m (1 000 ft) au-dessus de l'obstacle le plus élevé situé dans un rayon de 600 m autour de l'aéronef** ;



1000 ft

b) ailleurs qu'aux endroits spécifiés en a), à une hauteur inférieure à **150 m (500 ft) au-dessus du sol ou de l'eau** ; toutefois :

- les planeurs effectuant des vols de pente ainsi que les ballons et les PUL peuvent faire exception à cette règle sous réserve de n'entraîner aucun risque pour les personnes ou les biens à la surface ;

- dans le cadre d'un vol d'instruction en avion, cette hauteur est ramenée à 50 m (150 ft) pour les entraînements aux atterrissages forcés ;

d' autre part, une **distance de 150 m (500 ft) par rapport à toute personne, tout véhicule, tout navire à la surface et tout obstacle artificiel** est respectée en permanence.

## **RESUME**

De base : 500 ft

Agglomérations et rassemblement de personnes : 1000 ft dans un rayon de 600 mètres

Agglomération de moins de 1200 m de largeur : 1650 ft

Agglomération entre 1200 m et 3600 m de largeur ou +10 000 personnes : 3300 ft

Agglomération de plus de 3600 m de largeur ou +100 000 personnes : 5000 ft

### **Exceptions**

Paris : 6600 ft (zone P)

Planeurs en vol de pente : moins de 500 ft

Vol d'instruction en entraînement de panne en campagne : 150 ft

## La pression statique

La pression statique est la pression ambiante de l'air. Elle est mesurée par les prises de pression statique, qui sont placées sur le fuselage de l'avion, sous la forme d'un petit trou, à un endroit où l'écoulement de l'air n'est pas perturbé par la structure de l'avion. Souvent, il y a deux prises de pression statique, de part et d'autre du fuselage, de façon à compenser les erreurs de lecture dues à un éventuel dérapage de l'avion.

Sur certains avions, notamment les avions certifiés pour voler aux instruments, on trouve une statique de secours. Cette prise de pression statique de secours se situe souvent dans le cockpit. Elle est utilisée lorsque les prises extérieures sont bouchées ou inutilisables. La pression à l'intérieur du cockpit étant légèrement différente de la pression extérieure, cette mesure est entachée d'erreur, mais c'est toujours mieux que rien.



Les instruments qui utilisent la pression statique sont l'anémomètre, le variomètre et l'altimètre.

## La pression totale

La pression totale est la somme des pressions dynamique et statique. La pression statique s'applique à tout l'avion tout le temps. La pression dynamique est celle due à l'avancement de l'avion, et donc représentative de la vitesse.

La pression totale est mesurée par le tube Pitot, très souvent situé sous l'aile des avions légers, hors de l'influence du souffle de l'hélice.

Pour que la mesure soit correcte, il faudrait que le tube Pitot soit toujours parallèle au vent relatif. Or, ceci n'est possible qu'à une incidence donnée. La mesure de la pression totale est donc presque toujours fautive. Sur les avions légers, le calage du tube Pitot est un compromis par rapport aux plages de vitesses d'utilisation de l'avion. Dans le manuel de vol, vous trouverez un tableau donnant les corrections à apporter en fonction de la vitesse.

Les erreurs de mesure des pressions statique et totale dues aux positions des capteurs sont appelées erreurs de position.

Le tube Pitot recevant l'air quasiment à l'horizontale, il est soumis aux intempéries. Lorsqu'il pleut, le tube de Pitot peut se remplir d'eau et devenir inutilisable. Pour éviter ceci, un drain est placé dans le tube Pitot. Sur la plupart des tubes Pitot d'avions légers, ça se manifeste par un trou sur le bas du tube un peu avant le coude.

Sur les avions supposés voler en IFR, un système de chauffage du tube Pitot est installé afin d'éviter le givrage du Pitot. Le tube Pitot étant métallique, il suffit de l'utiliser comme une résistance en le faisant chauffer avec un courant électrique.



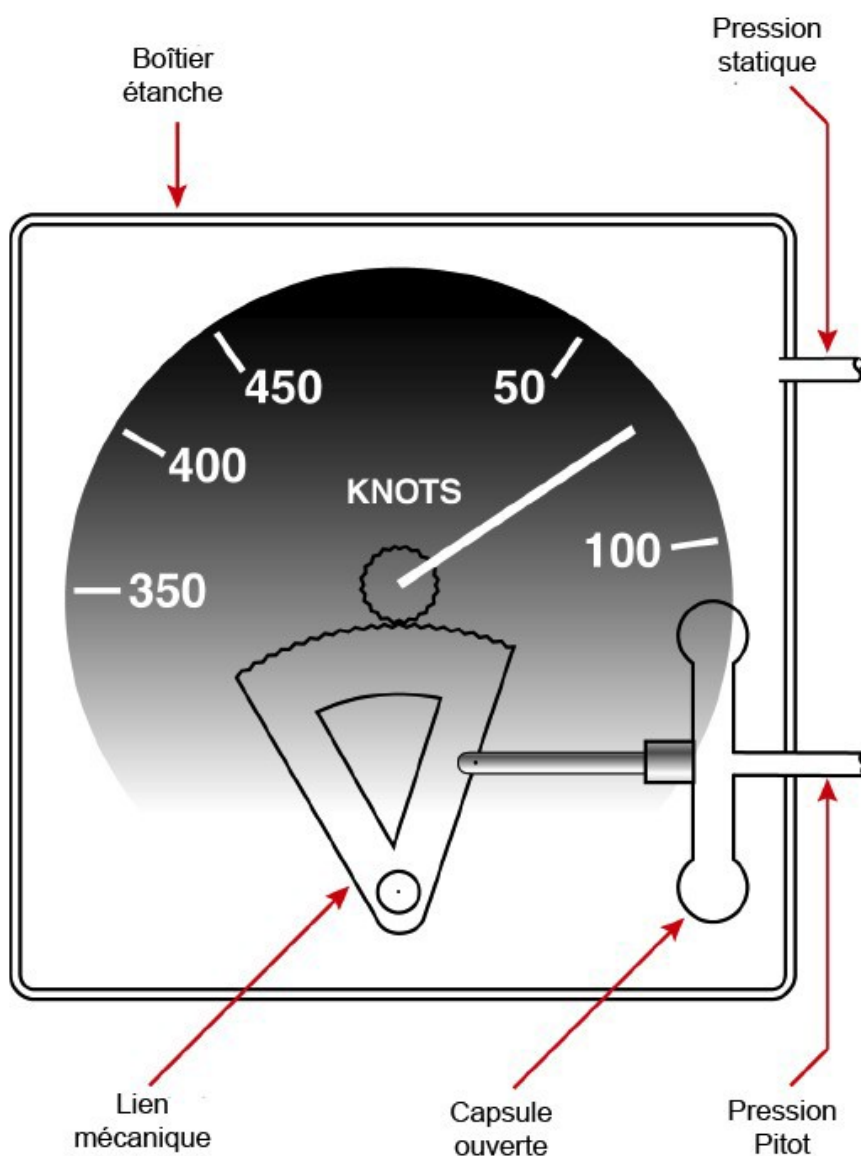


L'instrument qui utilise la pression totale est l'anémomètre.

## Principe

L'anémomètre mesure la différence entre la pression statique et la pression totale, ce qui donne la pression dynamique, représentative de la vitesse de l'avion.

Cette mesure de la différence est faite mécaniquement, illustré sur le schéma suivant :



La différence entre la pression mesurée par le Pitot et la pression statique fait se déformer la capsule, ce qui fait bouger le lien mécanique et l'aiguille sur le cadran.

### Inconvénient du système

La pression dynamique est égale à :  $\frac{1}{2} \rho V^2$

Que la pression dynamique soit proportionnelle à la vitesse  $V$ , c'est une bonne chose puisqu'on s'en sert pour établir la vitesse de l'avion, justement. En revanche, que la pression dynamique soit proportionnelle à la densité de l'air  $\rho$  pose un problème, car ça veut dire que pour une même vitesse de l'avion, l'anémomètre aura une indication différente selon l'altitude.

Par défaut, l'anémomètre est calibré par rapport à l'atmosphère standard. C'est à dire que l'indication de l'anémomètre n'est juste que lorsque il se trouve à une pression de 1013 hPa et à une température de +15°C. Dans toute autre condition, il faudra appliquer des corrections :

**Correction d'altitude** : Ajouter 1% pour toute tranche de 600 ft au-dessus de la surface 1013 hPa.

Exemple : vous volez au FL 65, avec une vitesse indiquée de 100 kt. Le FL 65 c'est 6500 ft au-dessus de 1013 hPa, soit à peu près 10 tranches de 600 ft. Il faudra donc ajouter 10% à la Vi pour obtenir la Vitesse Propre (Vp) : 110 kt.

**Correction de température** : +/- 1% par tranche de 4° d'écart à la température standard.

En reprenant l'exemple précédent, s'il fait +10°C au FL 65, nous sommes en ISA + 8 (la température standard au FL65 est +2°C, il fait +10°C, on est donc en ISA + 8).

La correction est donc de 100 kt + 10% + 2% = 112 kt.

## Les vitesses de l'anémomètre

### Vitesse indiquée (Vi)

C'est la vitesse... indiquée sur l'anémomètre, celle que vous montre l'aiguille.

### Vitesse conventionnelle (Vc)

C'est la Vi corrigée des erreurs instrumentales ou de mesure. On l'appelle conventionnelle parce que l'anémomètre est étalonné par convention en atmosphère standard.

### Vitesse équivalente ou Equivalent de vitesse (Ve)

C'est la Vc corrigée de la compressibilité. Les problèmes de compressibilité n'apparaissant qu'au delà de 300 kt, il est peu probable que le PPL moyen s'en soucie.

### Vitesse Propre (Vp) ou Vitesse Vraie (Vv)

C'est la vitesse réelle de l'avion par rapport à l'air, corrigée de la densité (voir plus haut).

### Vitesse Sol (Vs)

C'est la vitesse de l'avion par rapport au sol : la Vp +/- la composante de vent arrière ou avant.

En pratique, sur les avions légers, on peut ignorer la différence entre Vi et Vc, ainsi que les problèmes de compressibilité. Vous n'aurez qu'à appliquer les corrections de température et d'altitude à votre Vi pour avoir une estimation correcte de votre Vp.

## Les vitesses caractéristiques de l'avion

**Vs0** : vitesse de décrochage en configuration atterrissage. La Vs0 indiquée dans le manuel de vol et sur l'anémomètre est celle correspondant à la masse maximale en vol horizontal stabilisé. Souvenez-vous que le décrochage est d'abord une incidence max plutôt qu'une vitesse.

**Vs1** : vitesse de décrochage en configuration autre que l'atterrissage.

**VFE** : vitesse maximale d'utilisation des volets.

**VLE** : vitesse maximale d'utilisation du train d'atterrissage (avion à train rentrant)

**VLO** : vitesse maximale de sortie ou de rentrée du train d'atterrissage. Cette vitesse peut être différente de VLE.

**VNO** : vitesse maximale en air calme. On peut voler à une vitesse supérieure, mais seulement en air calme, et sans manoeuvre brusque aux commandes. Les efforts sur la structure de la vitesse sont importants et on en doit pas en rajouter avec un facteur de charge.

**VNE** : vitesse maximale à ne jamais dépasser. Au-delà de cette vitesse, le constructeur ne garantit pas que l'avion reste en un seul morceau.

## L'instrument

Certaines vitesses caractéristique sont indiquées par un code couleur sur l'instrument.

**Arc blanc** : plage d'utilisation des volets ; commence à  $V_{s0}$  et finit à  $V_{FE}$ .

**Arc vert** : plage d'utilisation de l'avion en lisse ; commence à  $V_{s1}$  et finit à  $V_{NO}$ . Notez que l'arc blanc et l'arc vert se chevauchent partiellement.

**Arc jaune** : plage des vitesses à utiliser avec précaution en air calme ; commence à  $V_{NO}$  et finit à  $V_{NE}$

**Trait rouge** :  $V_{NE}$ .



## Pannes possibles

En dehors de la panne mécanique de l'instrument lui-même, l'anémomètre dépend de la bonne mesure des pressions totale et statique.

En été, les prises statiques et le Pitot peuvent se boucher car de nombreuses bestioles apprécient l'abri des petits trous. Pour comprendre la panne, il faut savoir que lorsque qu'une des prises de pression est bouchée, la pression qui régnait à l'intérieur du circuit est maintenue.

Si le Pitot est bouché, la vitesse restera bloquée à la même valeur à altitude constante. En montant, la pression statique diminue, donc la différence entre la pression totale bloquée et la pression statique augmente et la  $V_i$  augmente. En descente, l'inverse se produit, la  $V_i$  diminue.

Si la prise statique est bouchée, en palier, les indications de vitesse resteront à peu près correctes. En effet, une pression statique constante est synonyme d'altitude constante. Comme la pression totale va varier, l'anémomètre fonctionnera correctement.

En montée à vitesse constante ou à une altitude supérieure, la pression totale va diminuer, mais pas la pression statique bloquée. La différence sera donc plus faible, et la Vi sera inférieure à la valeur réelle.

En descente à vitesse constante ou à une altitude inférieure, la pression totale va augmenter. La différence sera donc plus élevée, et la Vi sera supérieure à la valeur réelle.

### Comment s'en sortir ?

Une vitesse est obtenue avec une incidence et un régime moteur. Si vous avez l'assiette de palier avec le régime de croisière, vous aurez la vitesse de croisière. Si vous affichez l'assiette de descente et le régime de descente, vous aurez la vitesse de descente. Connaissez vos paramètres et la panne de badin sera presque un non-événement.

### Divers

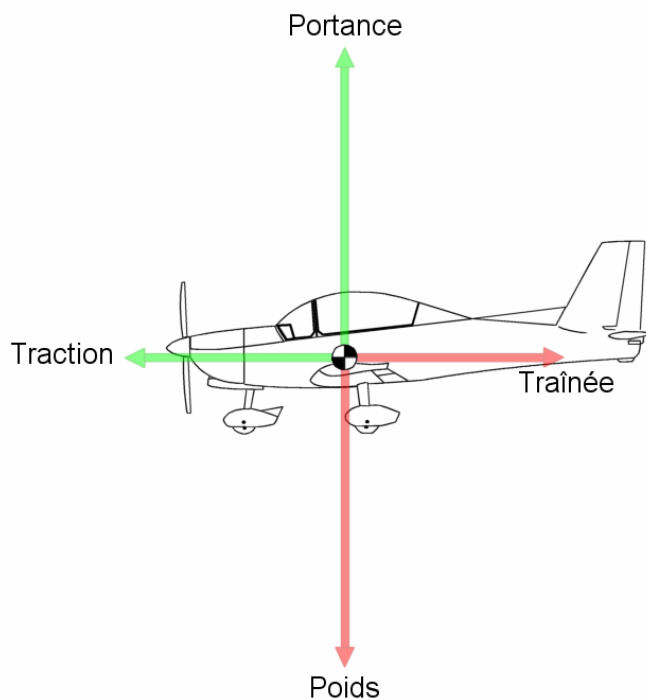
L'anémomètre est appelé très communément « badin », qui était une marque d'instruments d'aviation. Ils ne fabriquaient pas seulement des anémomètres, mais ce nom est devenu commun pour cet instrument.

Certains anémomètres ont une double échelle de lecture. La photo ci-dessus vous montre un anémomètre gradué principalement en km/h et l'échelle secondaire sépia est graduée en kt.

## La résultante aérodynamique

L'écoulement de l'air autour du fuselage crée une force appelée Résultante Aérodynamique (Ra), que l'on décompose en ses composantes parallèle et perpendiculaire au vent relatif : la traînée et la portance. Les autres forces agissant sur l'avion sont la traction et le poids.

Sur les schémas suivants, les ordres de grandeur entre la portance et la traînée sont disproportionnés, pour des raisons de facilité de lecture. Le rapport portance / traînée (la finesse) est de l'ordre de 10 sur les avions légers, c'est à dire que la portance est 10 fois plus importante que la traînée.



## Le vol en palier

La portance équilibre le poids, la traction équilibre la traînée. Le système entier est en équilibre.

### Equation de la portance

$$F_z = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_z$$

#### **$\rho$ : densité de l'air**

La densité dépend de l'altitude, de la température et de l'humidité de l'atmosphère.

#### **S : surface alaire**

La surface alaire peut varier en fonction de la sortie des volets et/ou des becs de bord d'attaque. On considérera cependant que c'est une valeur constante.

#### **V : vitesse air de l'avion**

#### **$C_z$ : coefficient de portance**

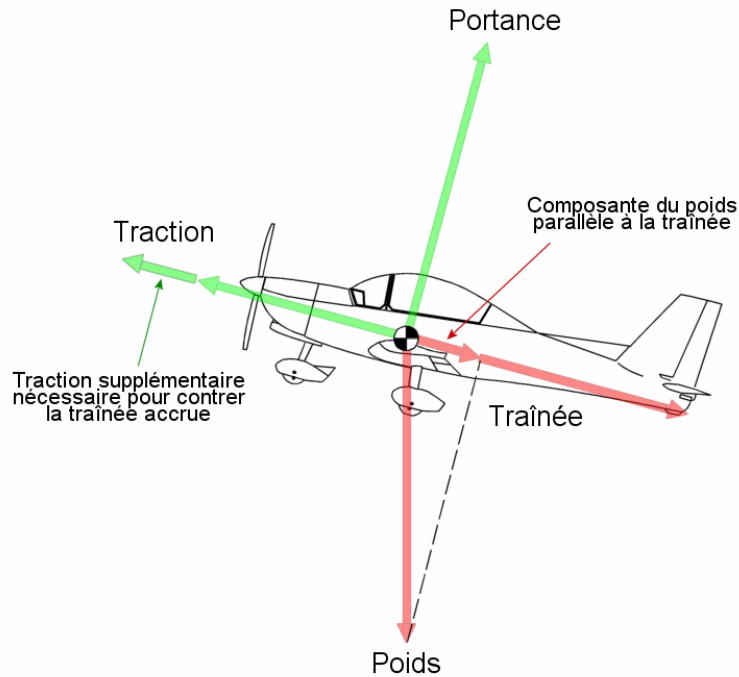
Nombre sans dimension qui représente essentiellement l'incidence de l'aile.

## Equation de la traînée

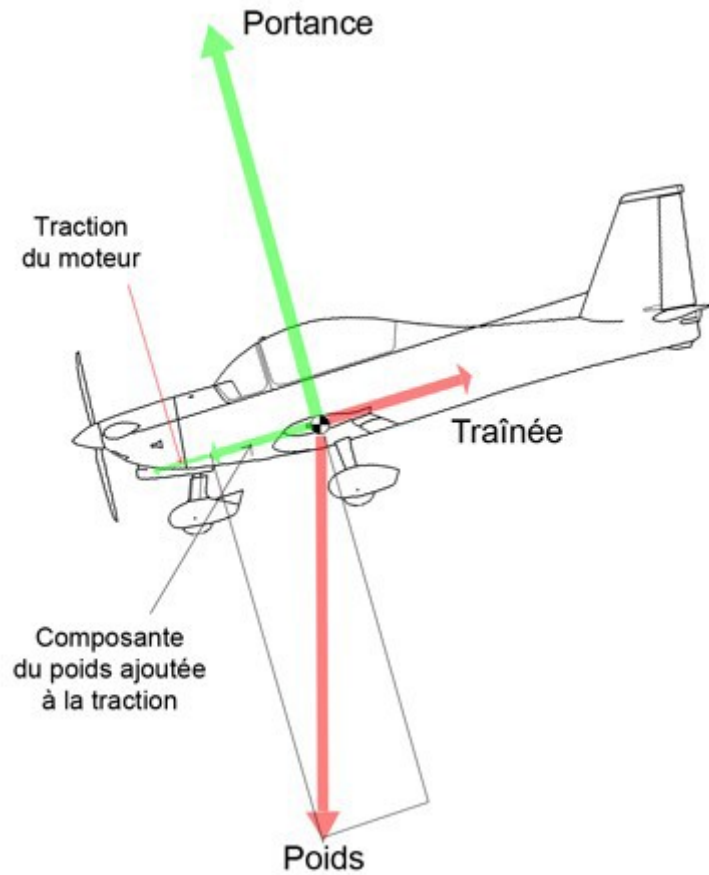
$$F_x = \frac{1}{2} \rho S V^2 C_x$$

**C<sub>x</sub> : coefficient de traînée**

Nombre sans dimension qui tout ce qui s'oppose à l'avancement (traînée de profil, traînée induite, etc.)

**Le vol en montée**

La portance reste perpendiculaire au vent relatif, alors que le poids reste vertical. Il se crée donc une composante du poids parallèle au vent relatif qui s'ajoute à la traînée. Pour compenser cette accroissement de traînée, il faut ajouter de la puissance. Si vous êtes déjà à fond, vous ne pouvez plus monter, vous avez atteint le plafond de propulsion.

**Le vol en descente**

Le poids comprend dans ce cas une composante parallèle au vent relatif mais qui s'ajoute à la traction, ou qui remplace la traction dans le cas du vol en plané sans moteur ou moteur réduit.

**Facteur de charge**

Le facteur de charge est le rapport portance / poids.

En palier, la portance est égale au poids, le facteur de charge est égal à 1.

En montée et en descente, pour équilibrer le poids qui est vertical, la composante de la portance opposée au poids doit être de même force. Cela signifie que la portance elle-même est inférieure au poids : le facteur de charge est légèrement inférieur à 1.

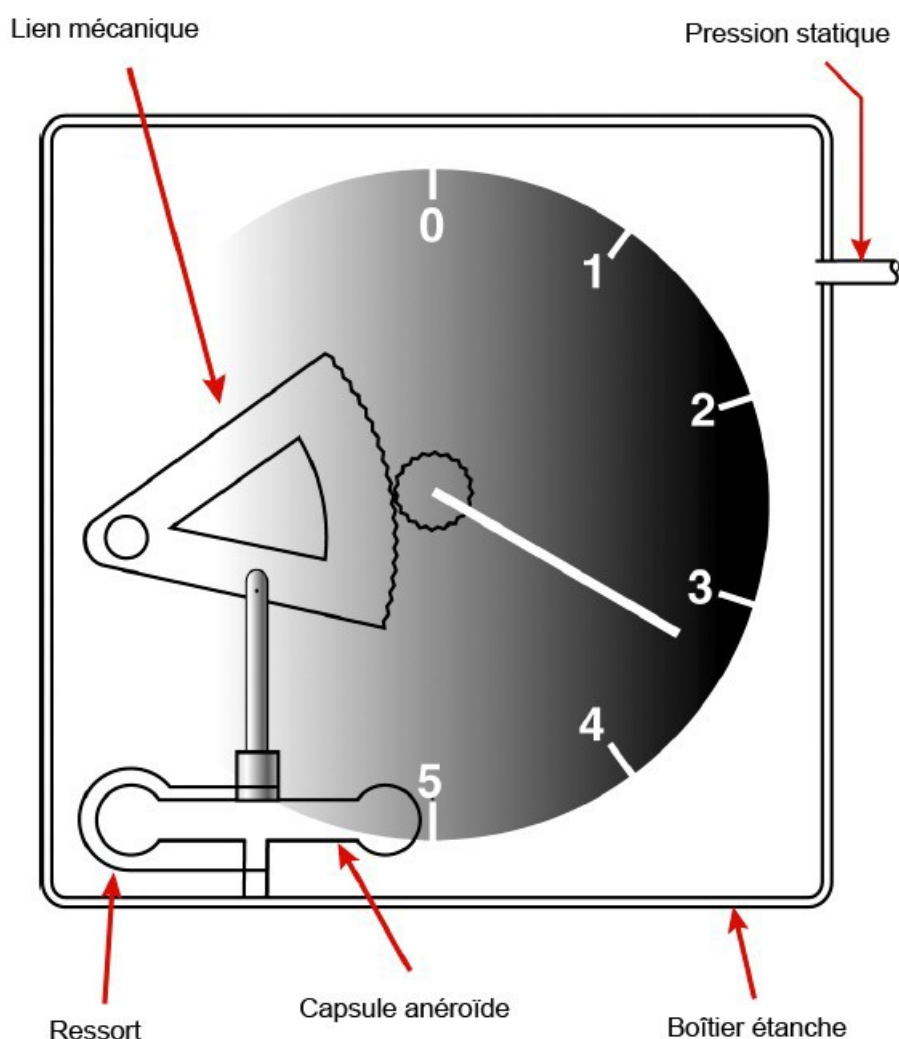


## Principe

L'altimètre est un baromètre qui mesure la pression statique. Il en déduit une distance verticale par rapport au niveau de référence pour lequel il est réglé : la pression affichée dans la fenêtre à l'aide de la molette, choisie par le pilote (QFE, QNH, 1013). Voler à altitude constante consiste donc à suivre une surface isobare. Sur de longs trajets, il est nécessaire de recalibrer son altimètre en fonction du QNH local.

L'altimètre est étalonné en fonction de l'atmosphère type OACI :

- pression au niveau de la mer : 1013,25 hPa
- température au niveau de la mer : +15°C
- décroissance de température : -2°C par 1000 ft



Dans un boîtier étanche se trouve une capsule anéroïde. La pression à l'intérieur du boîtier est la pression statique, mesurée par les prises de pression statique. La capsule se déforme donc en fonction de la pression ambiante. Cette déformation est transmise à l'aiguille par le lien mécanique.

Note : le schéma ci-dessus représente le principe de fonctionnement d'un altimètre simple. Les altimètres sensibles comme ceux que vous avez dans vos avions sont un peu différents. Ils possèdent plusieurs capsules anéroïdes, et ont 3 aiguilles.

## Inconvénients

### Gradient de pression

L'altimètre mesure une différence de pression par rapport à une référence, en se basant sur les gradients de pression de l'atmosphère type. Or, dans la vie réelle, il est rare que le gradient de pression soit le gradient type.

Par exemple : si entre 0 ft et 5000 ft, le gradient de pression moyen est inférieur au gradient type, mettons 25 ft / hPa au lieu de environ 30 ft / hPa, l'altitude indiquée par l'altimètre sera supérieure à l'altitude réelle. En effet, en mesurant une différence de 1 hPa, l'altimètre croit qu'il est monté de 30 ft alors qu'en fait il n'est monté que de 25 ft.

Pour corriger cette erreur, il faudrait connaître précisément le gradient de pression en permanence dans la tranche d'atmosphère dans laquelle on vole, ce qui est impossible.

### Température

Une masse d'air chaude sera plus volumineuse qu'une masse d'air froid. L'altimètre affichera donc une altitude erronée si l'atmosphère n'est pas à la température standard.

Lorsque la température moyenne de la masse d'air entre le sol et l'avion est plus froide qu'en atmosphère type, l'altimètre indiquera une altitude supérieure à l'altitude réelle. C'est une situation dangereuse car vous êtes plus bas que ce que vous pensez. En VFR, le danger est minime, car vous avez toujours la vue du relief.

### Correction simplifiée

Corriger l'altitude indiquée de 4 ft par 1000 ft d'altitude et par 1°C d'écart par rapport à la température standard.

Exemple :

Votre altimètre indique 3500 ft, la température extérieure est de -10°C.

Nombre de tranches de 1000 ft :  $3500 / 1000 = 3,5$

Température standard à 3500 ft :  $15 - (3,5 \times 2) = 8^\circ\text{C}$

Ecart :  $18^\circ\text{C}$

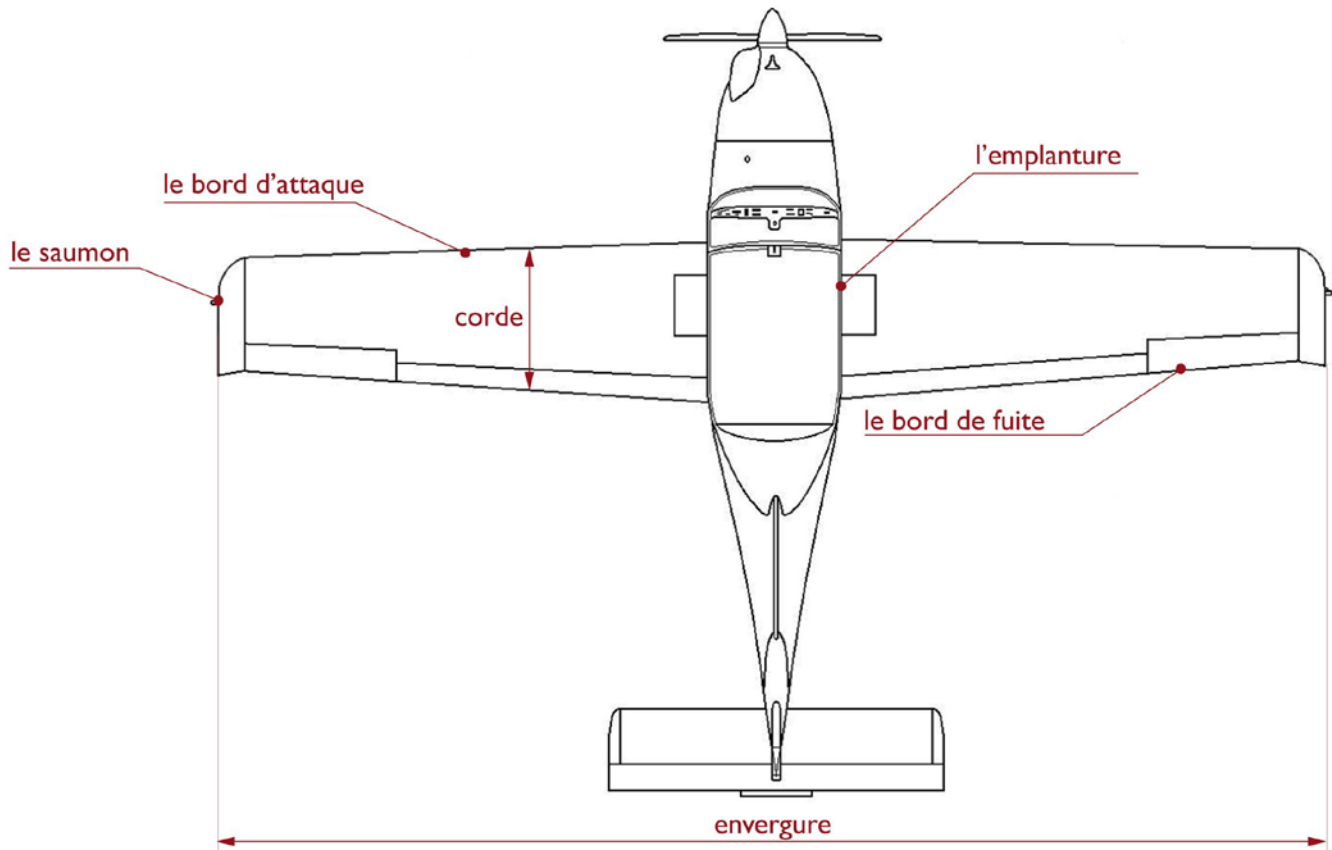
Correction :  $4 \times 3,5 \times 18 = 252 \text{ ft}$

L'altitude réelle est  $3500 - 252 = 3248 \text{ ft}$

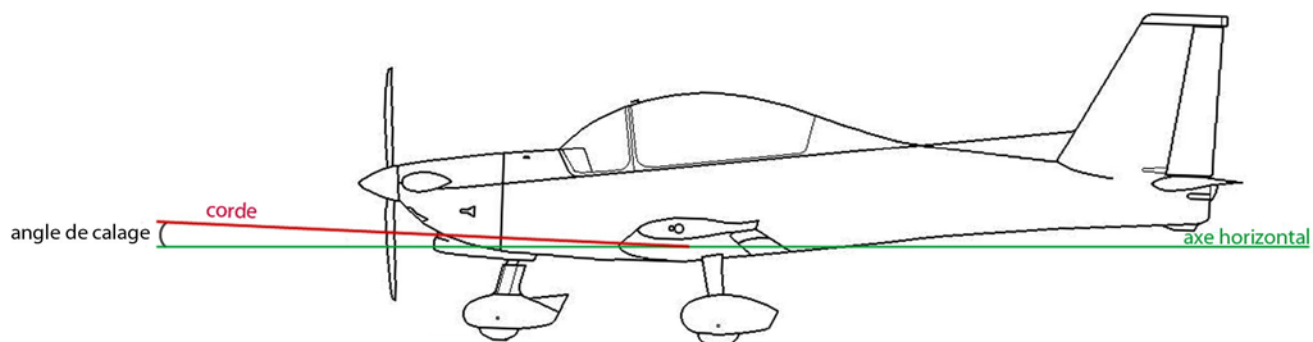
## Pannes possibles

En dehors de la panne mécanique de l'instrument lui-même, la panne la plus fréquente que vous pourrez rencontrer est l'obstruction des prises statiques. La pression ainsi emprisonnée dans le boîtier de l'altimètre reste constante, et si cette obstruction est étanche, l'altitude indiquée ne bougera plus. En pratique, les obstructions des prises statiques sont souvent partielles, et l'altimètre connaît alors du retard à l'affichage.

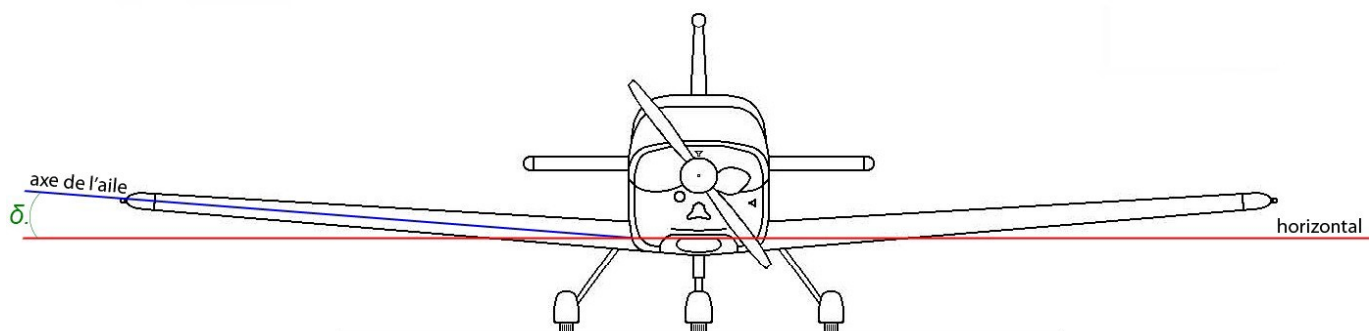




- Bord d'attaque** : partie avant de l'aile  
**Bord de fuite** : partie arrière de l'aile  
**Saumon** : extrémité de l'aile  
**Corde** : droite reliant le bord d'attaque au bord de fuite  
**Emplanture** : jonction entre l'aile et le fuselage  
**Envergure** : distance entre les extrémités de l'aile  
**Extrados** : surface supérieure de l'aile (le dessus)  
**Intrados** : surface inférieure de l'aile (le dessous)  
**Allongement** : rapport de l'envergure sur la corde



**Angle de calage** : angle entre la corde de l'aile et l'horizontale. Ne pas confondre avec l'incidence.



**Dièdre** : angle entre l'axe de l'aile et l'horizontale.

## Définitions

**Masse maximale de structure au décollage (MMSC ou MTOW)** : c'est la masse maximale à laquelle le décollage est autorisé. Au-delà de cette masse, le constructeur ne garantit pas la résistance de l'avion aux efforts normaux, ni les performances minimales requises.

**Masse maximale de structure à l'atterrissage (MMSA ou MLW)** : c'est la masse maximale à laquelle l'atterrissage est autorisé. Au-delà de cette masse, la structure de l'avion n'est pas censé résister aux efforts de l'atterrissage. A cette masse, le train d'atterrissage est censé supporter un toucher à 600 ft/min.

**Masse à vide** : masse de l'avion sans le carburant utilisable, sans pilotes ni passagers. La masse à vide comprend l'huile et le carburant inutilisable.

**Centre de gravité** : le point d'application du poids de l'avion. La position du centre de gravité de l'avion dépend des masses chargées à bord. Il doit cependant rester entre certaines limites.

**Foyer** : le point d'application des variations de portance. En fait, le foyer est le point auquel s'applique la portance de l'aile, mais comme on considère un avion complet, il faut prendre en compte l'empennage horizontal pour déterminer le point d'application de la portance de l'avion total. Le foyer étant souvent difficilement identifiable sur un avion, on prendra une autre référence plus facilement accessible pour les mesures. Sur les avions légers, c'est très souvent la cloison pare-feu.

**Masse** : mesure de la quantité de matière qui constitue un corps, un objet. La masse s'exprime en kilogrammes (kg).

**Poids** : Le poids est la force exercée sur un corps par la gravité ou l'accélération.  $Poids = Masse \times g$ . Le poids est exprimé en Newtons (N). Dans le langage courant, on confond très souvent poids et masse.

**Marge statique** : distance entre le centre de gravité et le foyer.

**Bras de levier** : distance entre l'endroit où est appliqué une force et l'axe de rotation. Dans l'avion, le poids d'une masse ajoutée est la force, et le centre de gravité est le point de rotation.

## Limitations du centrage

Le centre de gravité doit toujours se situer en avant du foyer, pour des raisons de stabilité :

Si une rafale augmente temporairement l'incidence de l'aile, la portance va augmenter. Cette variation de portance va s'appliquer au foyer. Nous allons donc avoir un moment piqueur qui va automatiquement réduire l'incidence : l'avion est stable.

### Un centrage avant :

- rend l'avion plus stable, mais moins maniable (efficacité réduite de la gouverne de profondeur),
- augmente la consommation de carburant,
- augmente la vitesse de décrochage.

### Un centrage trop en avant :

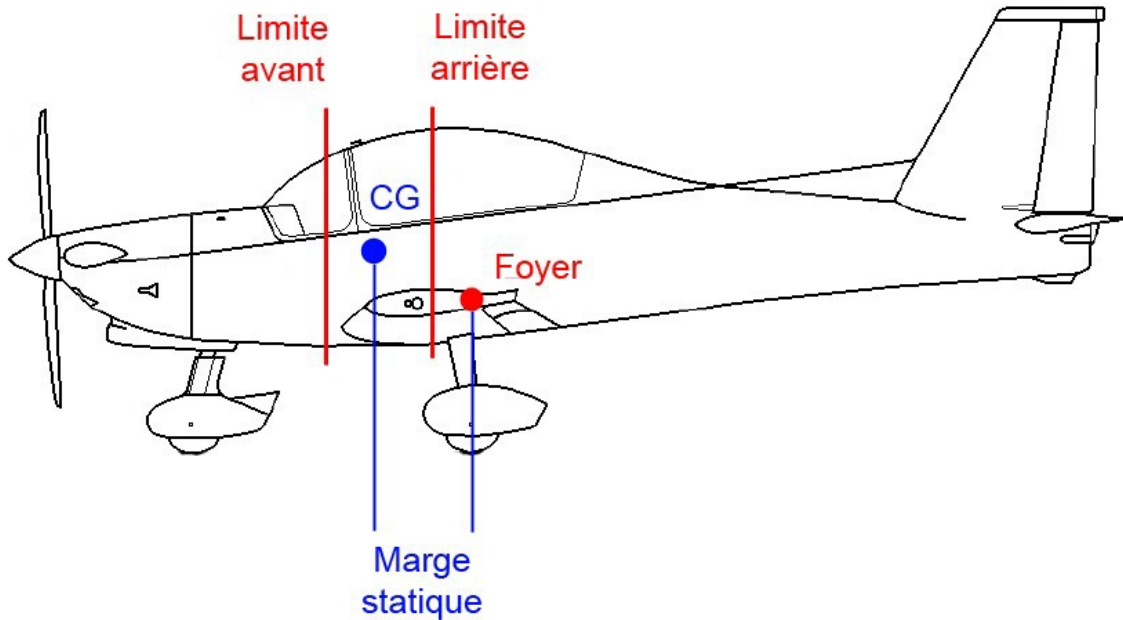
- peut empêcher la rotation ou l'arrondi (efficacité insuffisante de la gouverne de profondeur),
- peut endommager le train avant (répartition du poids trop en avant).

### Un centrage arrière :

- rend l'avion plus maniable, mais moins stable (efficacité accrue de la gouverne de profondeur),
- diminue la consommation de carburant,
- diminue la vitesse de décrochage.

### Un centrage trop en arrière :

- rend l'avion difficilement contrôlable (maniabilité trop importante).



### Devis de masse et centrage

En multipliant la masse par le bras de levier, vous obtenez un moment. La somme des moments divisée par la somme des masses vous donne le bras de levier de l'avion complet, c'est à dire la distance du CG par rapport à la référence.

Ce bras de levier peut être exprimé en distance (mètre, pouces, etc.) ou en pourcentage de la corde moyenne de l'aile (%MAC).

<i>Exemple : chargement au départ</i>	Masse kg	BL m	Moment Masse x BL
Avion vide	410	0,215	88,15
Equipage place gauche	61,5	0,226	13,9
Equipage place droite	95	0,202	19,19
Passager arrière	30	1,033	30,99
Essence (51 litres)	36		28
Bagages	4	1,02	4,08
Masse totale M	656,5	0,28	184,31
Centrage		<b>25,4 %</b>	

## Surfaces de référence

Pour déterminer la position verticale d'un aéronef, il faut avant tout choisir une référence. En aviation, il y a de nombreuses références, dont 3 sont couramment utilisées :

### Le QFE

C'est la pression atmosphérique qui règne au niveau de l'aérodrome. Le QFE a longtemps été utilisé par les pilotes pour décoller et atterrir, mais les erreurs de passage du QFE au QNH et vice versa ont conduit à instaurer l'utilisation du QNH. Cependant, de nombreux pilotes volent encore aujourd'hui au QFE : méfiance aux abords des aérodromes ! Lorsque vous êtes calé au QFE, on parle de *hauteur*.

### Le QNH

C'est la pression atmosphérique ramenée au niveau de la mer. On la détermine en mesurant d'abord le QFE, puis en ajoutant le nombre d'hectopascals correspondant à l'altitude de l'aérodrome en conditions standard. Ce n'est donc pas la pression atmosphérique qu'on trouverait en creusant un trou jusqu'au niveau de la mer. Ca dépend de l'atmosphère du jour. Cependant, pour les besoins aéronautiques, le QNH remplit très bien son office. Lorsque vous êtes calé au QNH, on parle d'*altitude*.

### 1013,25 hPa

C'est la pression standard, celle qui régnerait au niveau de la mer en atmosphère standard. Elle est utilisée lorsqu'on vole en *niveau de vol (FL)* car cela permet aux avions d'avoir tous la même référence, même en venant de l'autre bout du monde.

Lorsque vous êtes calé à 1013, on parle d'*altitude pression*. Les FL sont des altitudes pression particulières.

## Changement de calage

Lorsqu'on décolle d'un aérodrome, on cale son altimètre au QNH. En affichant l'altitude de l'aérodrome sur l'altimètre, vous devez lire dans la fenêtre des pressions le QNH. Si ce n'est pas le cas, vous avez « droit » à 3 hPa de tolérance. Au-delà de 3 hPa, l'altimètre doit être considéré comme non fiable et doit être réparé ou recalibré.

### En montée

On passe du QNH à 1013,25 hPa au passage de l'altitude de transition (TA) en espace aérien contrôlé (classes A à E), ou au passage de la surface 3000 ft AGL en espace aérien non contrôlé.

L'altitude de transition est définie pour un espace aérien. Sauf indication contraire sur la carte SIA 1/1 000 000, elle est de 5000 ft AMSL en France. Certaines TMA proches de Paris ont une altitude de transition inférieure.

### En descente

On passe de 1013,25 hPa au QNH en passant le niveau de transition (TL). Le niveau de transition est le premier FL utilisable qui est au moins à 500 ft au-dessus de la TA ou de la surface 3000 ft AGL

En espace aérien contrôlé, le TL est donné par le contrôle, qui se charge de le calculer. En espace aérien non contrôlé, il vous faudra le déterminer en fonction du QNH, ce qui nécessite un petit calcul.

Exemple :

Le QNH local est de 1000 hPa, l'altitude du sol est de 500 ft. Quelle est la valeur du niveau de transition ?  
Nous avons vu que le TL est au moins 500 ft au-dessus de la surface 3000 ft AGL. Il faut tout d'abord convertir cette surface en altitude-pression :

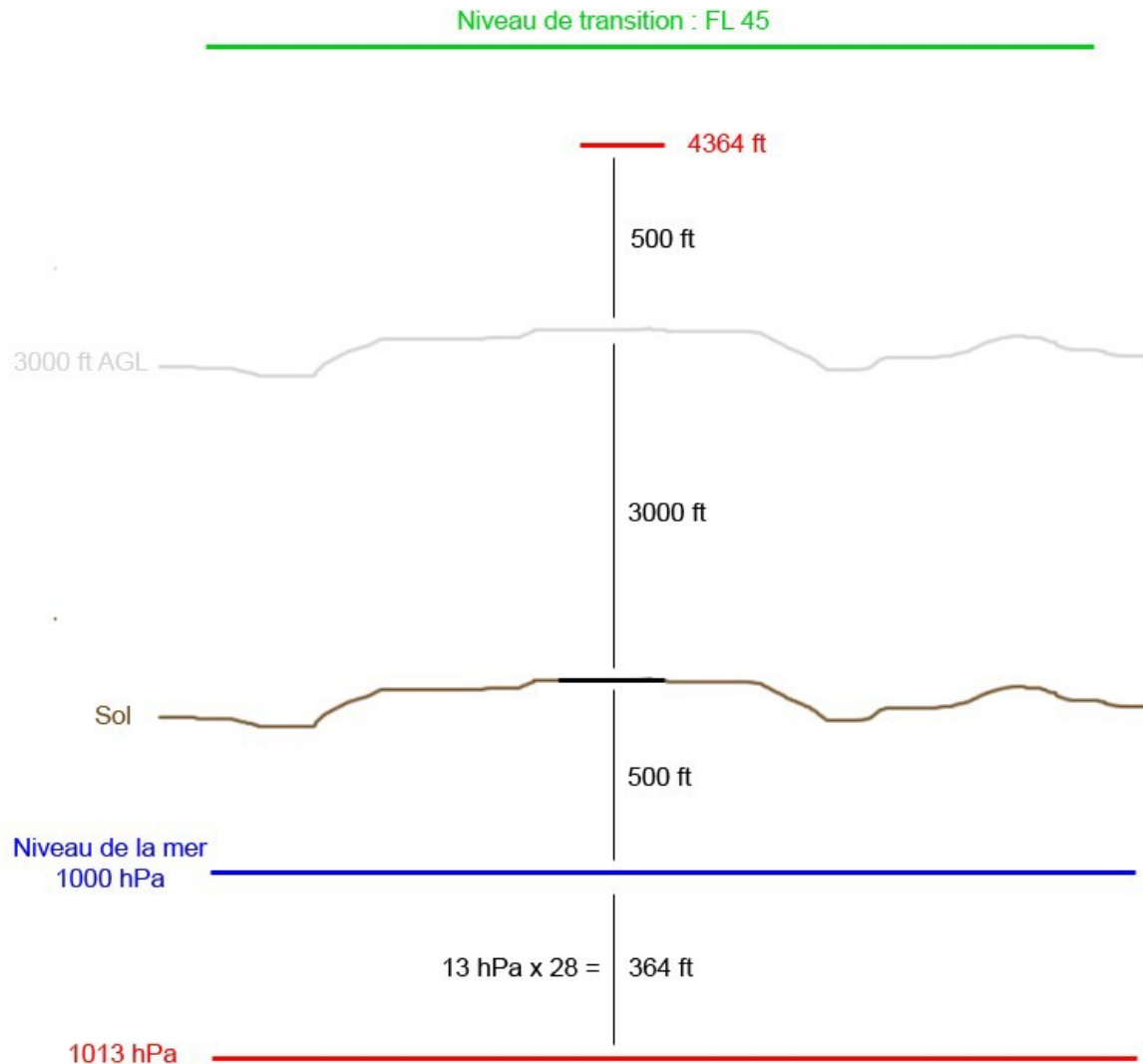
$3000 \text{ ft au-dessus du sol} + \text{hauteur du sol } 500 \text{ ft} = 3500 \text{ ft AMSL}$

La surface 1000 hPa se trouve au dessus de la surface 1013 hPa :  $13 \text{ hPa} \times 28 \text{ ft} = 364 \text{ ft}$ .

La surface 3000 ft AGL se trouve donc à  $3000 + 500 + 364 = 3864 \text{ ft}$  au-dessus de la surface 1013 hPa. Puisque le TL doit être au moins 500 ft au-dessus, ce sera le premier niveau de vol utilisable au-dessus de  $3864 + 500 = 4364 \text{ ft}$  : FL45.



N'hésitez pas à faire un dessin, c'est très utile pour bien visualiser les surfaces :



La même démarche peut être utilisée pour déterminer à quel FL passer une montagne, dont l'altitude du sommet est exprimée en altitude justement.

Notez que les TL donnés par le contrôle en espace aérien contrôlé se termineront toujours par zéro : FL50, FL60, etc.

**La couche de transition**

Entre l'altitude de transition et le niveau de transition, il existe une couche dans laquelle les aéronefs en montée sont calés à 1013 hPa et les aéronefs en descente au QNH. Il est donc interdit de voler en palier dans cette couche, car la sécurité est mise en jeu par des références altimétriques différentes.

## Divers

Avant le 1er janvier 2007 et le changement des Règles de l'Air, la surface S, qui correspondait à 3000 ft AMSL ou 1000 ft AGL (la plus haute des deux), était la surface de changement de calage en espace aérien non contrôlé. Désormais, cette surface, qui n'a plus de nom (S), ne sert plus qu'à déterminer les conditions VMC en espace aérien non contrôlé.

Un avion ne vole jamais à une altitude réelle constante, puisque l'altimètre est un baromètre : il suit une surface de pression. D'où l'importance de connaître les principes de l'altimétrie, et de recalcr le QNH au long de sa route.



## Caractéristiques du globe terrestre

La Terre n'est pas une sphère parfaite. Le diamètre de l'Equateur est légèrement plus grand que celui des pôles (6884 NM contre 6860 NM). Cette différence est ignorée en navigation, car elle est négligeable.



## Définitions

### Les Pôles

La Terre tourne sur elle-même autour d'un axe. Les points sur la Terre par lequel passe cet axe sont appelés les pôles, nord et sud. Le pôle Nord définit le Nord géographique, ou Nord vrai (Nv).

### Grand cercle

Un grand cercle est un cercle imaginaire sur la surface de la Terre dont le diamètre est égal au diamètre de la Terre. Un grand cercle est le plus grand cercle qu'on peut tracer sur la Terre.

### Petit cercle

Un petit cercle est tout cercle qui n'est pas un grand cercle.

### Orthodromie

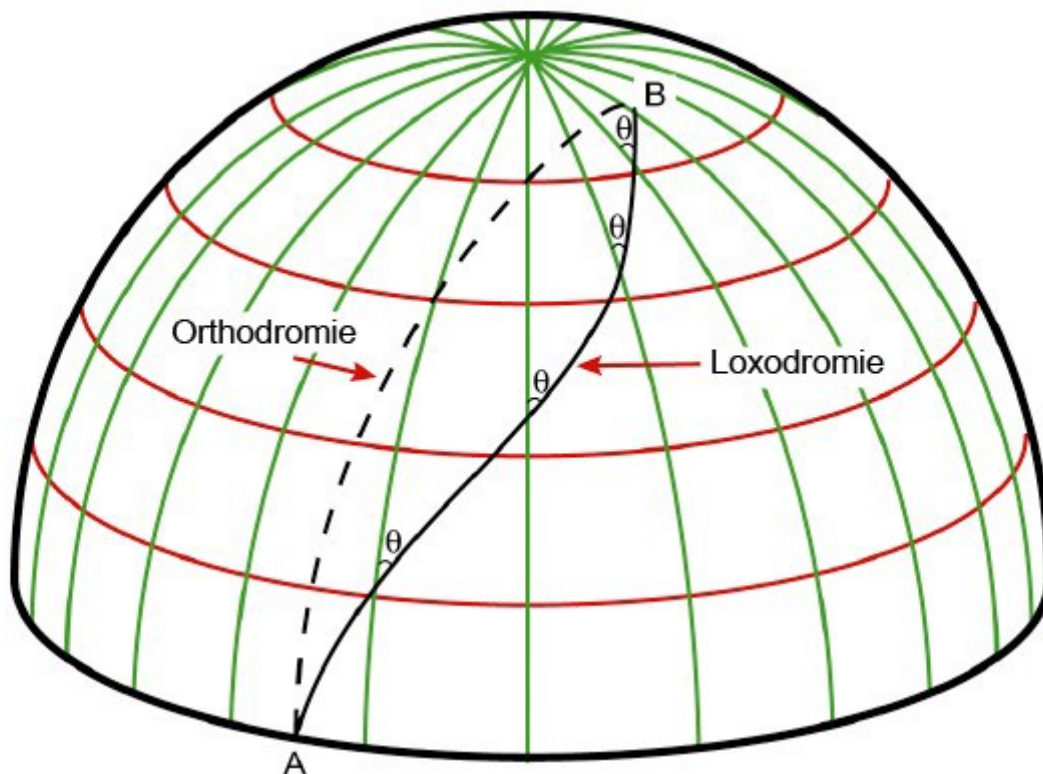
Lorsque deux points sont situés sur le même grand cercle, la portion de ce grand cercle qui les relie est le chemin le plus court entre ces deux points, appelé orthodromie. La particularité de l'orthodromie est que le cap vrai change constamment le long de cette route.

### Loxodromie

La loxodromie est une route à cap vrai constant entre deux points. Sur la Terre, c'est une ligne courbe. Ce n'est pas le chemin le plus court, mais l'avantage est le cap constant.

### Equateur

L'Equateur est le grand cercle dont le plan est perpendiculaire à l'axe de rotation de la Terre. Il se situe donc à mi-chemin entre les pôles.



## Coordonnées géographiques

Pour définir la position d'un point sur la Terre, on a créé un système de latitude et longitude.

La **Latitude** est définie comme l'angle à partir du centre de la Terre entre l'Equateur et ce point. L'Equateur est noté  $0^\circ$ , et les pôles  $90^\circ$  N ou S.

Les **parallèles** sont les petits cercles joignant les points de même latitude (en **rouge** sur le schéma ci-dessus).

Les **méridiens** sont des demi grands cercles passant par les pôles (en **vert** sur le schéma ci-dessus).

La **Longitude** d'un point est le méridien sur lequel se situe ce point. La référence des méridiens est le méridien de Greenwich (Angleterre), qui est aussi appelé méridien origine, noté  $0^\circ$ . Vers l'Est, les méridiens sont notés E, vers l'Ouest W ou E, jusqu'au méridien  $180^\circ$  (W ou E, peu importe c'est le même).

Les degrés peuvent être divisés en minutes et secondes d'angles. Un point est donc caractérisé par ses coordonnées géographiques.

Par exemple, l'auteur est actuellement assis approximativement à  $43^\circ 35' 42,35''$  N -  $001^\circ 28' 02,76''$  E.

## LES CARTES

L'expérience a montré qu'il était peu pratique d'utiliser un globe terrestre pour naviguer. Il a fallu réduire et aplatir la Terre afin de pouvoir naviguer et se repérer facilement. Malheureusement, il est impossible d'aplatir une sphère sans la déformer. Il existe donc plusieurs types de cartes.

### L'échelle

L'échelle est le rapport entre la distance sur la carte et la distance sur la Terre. Par exemple, sur la carte 1 / 500 000, 1 cm représente en vrai 5 km (500 000 cm).

### Conformité

Une projection conforme conserve les angles, et donc les formes. C'est une qualité recherchée pour les cartes aéronautiques.

## La projection Lambert conforme

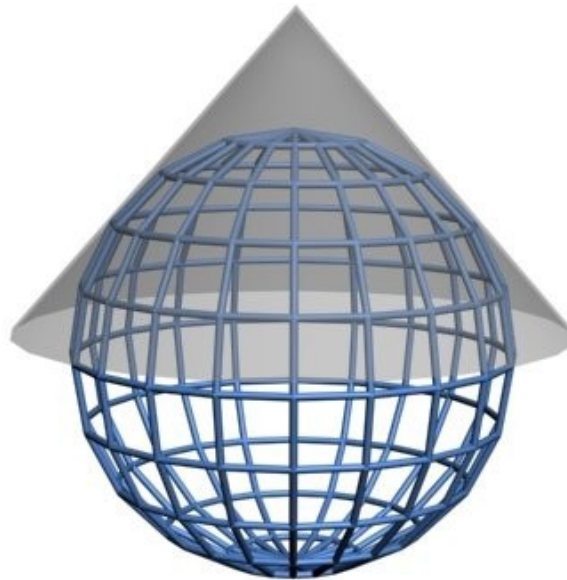


Image sous licence GNU : [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Projection\\_conique.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Projection_conique.jpg)

Imaginez un cône de papier posé sur la Terre, et un projecteur situé au centre de la Terre. La projection de l'image de la surface de la Terre sur le papier sera la carte.

La projection Lambert est utilisée pour les cartes aéronautiques.

### Propriétés

Les parallèles (latitude constante) sont des cercles concentriques autour du point P, projection du pôle Nord et sommet du cône.

Les méridiens (longitude constante) sont des droites concourantes en P.

Les angles sont conservés.

La taille des cartes 1/500 000 permet de considérer les méridiens comme quasi parallèles. De même, les petites distances que représente une carte 1/500 000 permet aussi de confondre orthodromie et loxodromie (l'écart est minime). Toutefois, du fait de la convergence des méridiens, l'orthodromie est quasiment une droite et la loxodromie n'est pas tout à fait une droite.

## Les unités de distance

Le diamètre terrestre est la base de toutes les unités de distance utilisées en aviation :

**Le mètre** fut officiellement défini pour la première fois en 1790 par l'Académie des sciences comme étant la dix-millionième partie d'un quart de méridien terrestre. La définition officielle aujourd'hui n'est plus celle-ci.

**Le Mille Nautique (NM)** est la longueur d'une minute d'angle sur un grand cercle ( $1' = 1 \text{ NM}$ ) et vaut 1852 mètres.

Pour mémoire, citons le **Mile Terrestre (SM)** qui valait 1609 mètres, et qui n'est plus utilisé, sauf dans les questions des examens aéronautiques.

Pour mesurer la distance entre deux points lorsque vous n'avez pas de règle graduée, il suffit de relever la distance sur la carte, la reporter le long d'un méridien et de compter le nombre de minutes, qui sera le nombre de NM.

## Définition

La pression atmosphérique représente le poids de la colonne d'air qui se situe au-dessus de l'endroit de la mesure. Cependant, la pression ne se mesure pas uniquement de haut en bas, mais dans toutes les directions.

## Unités de mesure

### Le MILLIBAR (mbar)

N'est plus utilisé de nos jours, remplacé par l'hectopascal. 1 mbar = 1 hPa.

### L'HECTOPASCAL (hPa)

L'unité du système international est le Pascal (Pa), mais on ne l'utilise pas directement car les pressions seraient de l'ordre de 100 000 Pa. On utilise un multiple, l'hectopascal, qui représente 100 Pa. Les pressions mesurées en hPa sont donc de l'ordre de 1000 hPa au niveau de la mer.

### Le MILLIMETRE DE MERCURE (mmHg)

L'instrument de base de la mesure de la pression est le baromètre à mercure. Le mmHg a donc été longtemps l'unité de la pression. 1000 hPa = 750 mmHg.

### Le POUCE DE MERCURE (inHg)

Les américains, qui ne font jamais rien comme le SI, utilisent le pouce de mercure. 1000 hPa = 29,54 inHg

## Variations de la pression

### Avec l'altitude

La pression étant le poids de l'air, plus on monte moins il y a d'air au dessus. Donc la pression diminue avec l'altitude. Cette diminution de pression n'est pas linéaire, car l'air est compressible.

Au niveau de la mer, on perd 1 hPa en montant de 28 ft, mais à 10 000 ft, il faut monter de 37 ft pour perdre 1 hPa.

### Avec le lieu

La pression n'est pas identique sur toute la surface de la Terre. Ainsi, quelques kilomètres de distance peuvent voir la pression diminuer ou augmenter.

### Avec l'heure du jour

La pression en un même lieu varie légèrement, de l'ordre de +/- 1 hPa, au cours de la journée. On appelle ceci la marée barométrique.

Les minimums se trouvent vers 6 h et 18 h, et les maximums vers 12 h et 24 h.

## Champ de pression

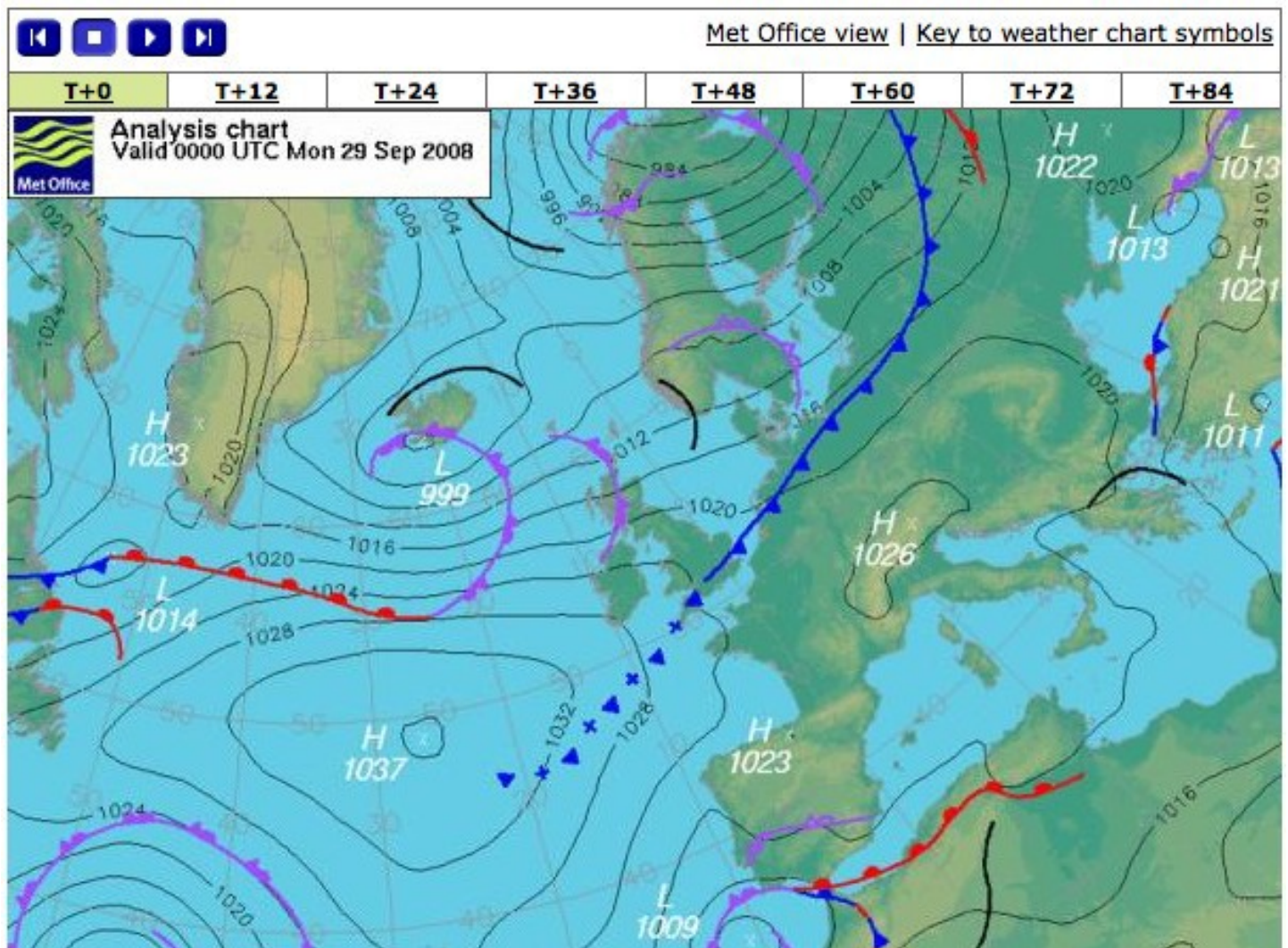
Le champ de pression est la répartition de la pression atmosphérique en fonction du lieu et/ou de l'altitude.

### Représentation

On représente le champ de pression de deux façons différentes :

#### *Avec les isobares*

Une surface isobare est une surface joignant les points de même pression. Les lignes isobares sont des lignes joignant les points de même pression pour une altitude donnée.



[http://www.metoffice.gov.uk/weather/europe/surface\\_pressure.html](http://www.metoffice.gov.uk/weather/europe/surface_pressure.html)

#### *Avec les isohypses*

Sur une surface isobare, une ligne isohypse rejoint les points de même altitude. En fait, on parle plutôt d'altitude géopotentielle, qui est une notion un peu plus compliquée. Les cartes d'isohypses ressemblent aux cartes isobares.



## Vocabulaire

Le tracé des lignes isobares, ainsi que le principe même, ressemble fortement aux courbes de niveau qu'on trouve sur les cartes topographiques. Le vocabulaire est donc identique.

### Anticyclone

Zone de haute pression.

### Dépression

Zone de basse pression

### Thalweg

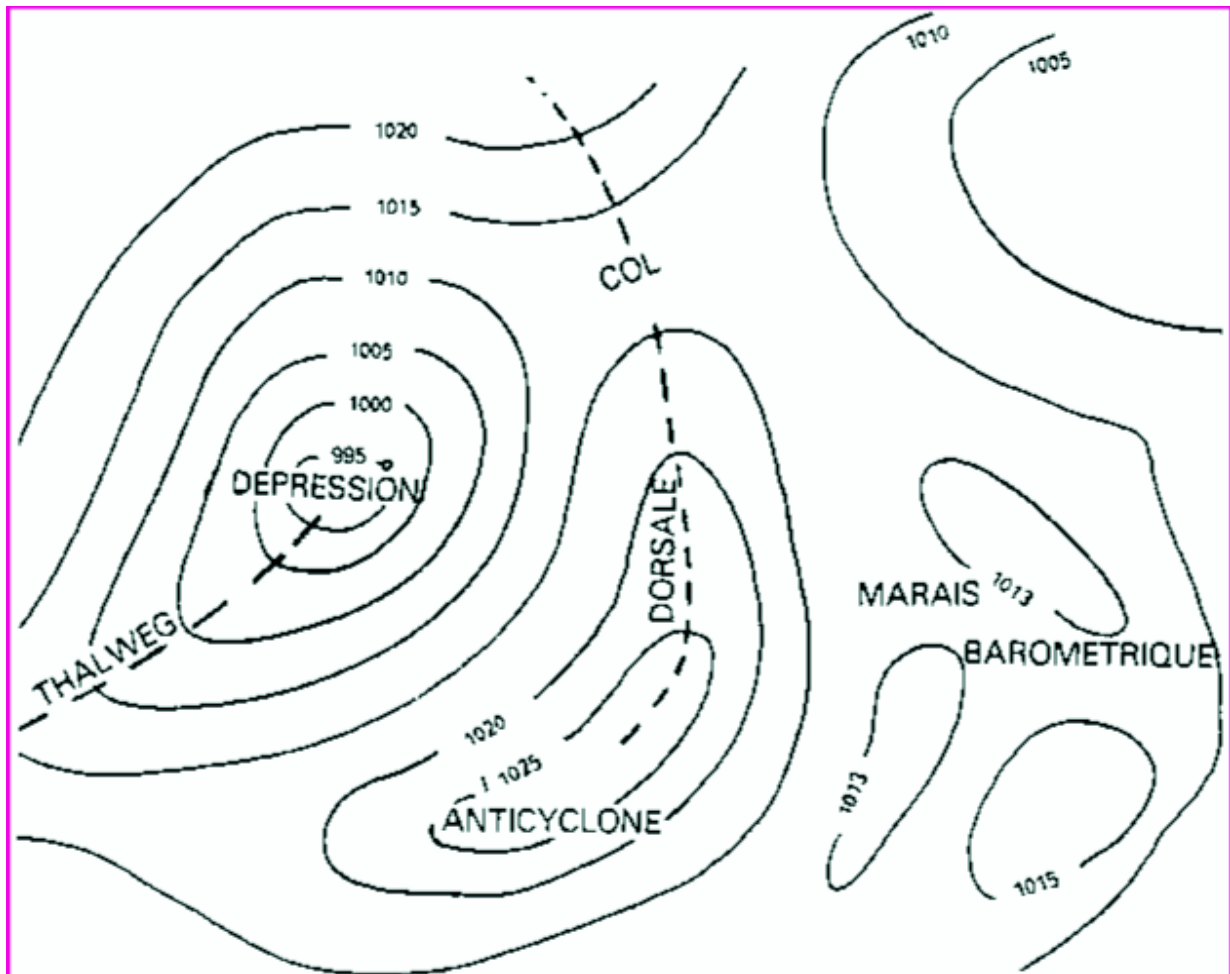
Axe de basses pressions (vallée)

### Dorsale

Axe de hautes pressions.

### Marais barométrique

Zone de vaste étendue dans laquelle la pression varie peu, et est autour de 1013 hPa.



## Température standard

Le modèle de l'atmosphère type définit la température standard et ses variations :

- +15°C au niveau de la mer ;
- Décroissance de 2°C par 1000 ft d'altitude ou 0,65°C / 100 m jusqu'à la tropopause située à 36000 ft (11000 mètres). Ensuite, isothermie à -56,5°C.

### Exemple

Quel température fait-il à 5000 ft en atmosphère standard ?

5000 ft = 5 x 1000 ft donc la température est inférieure de 5 x 2°C = 10°C. Il fait donc 15 - 10 = +5°C à 5000 ft en standard.

Souvent, on compare la température réelle à la température standard. Si vous volez à 5000 ft et que votre thermomètre extérieur indique une température de 0°C, on dit que vous êtes en ISA - 5, car il fait 5°C de moins qu'en atmosphère type.

## Définitions

Isothermie : température constante avec l'altitude.

Inversion de température : température augmentant avec l'altitude.

## Effets de la température sur les performances

La densité de l'air est inversement proportionnelle à la température. Un air chaud est moins dense qu'un air froid. Or, les performances de l'avion sont liées à la densité de l'air. Un avion sera donc moins performant dans un air chaud, à la fois du point de vue aérodynamique que du point de vue rendement du moteur.

## Température et altitude

L'altimètre est calibré en atmosphère type. Or, un air chaud est un air qui prend plus de place car il se dilate.

Inversement, un air froid contracte la masse d'air. L'altimètre ne va pas être conscient de l'effet de la température et il va donc y avoir une différence entre l'altitude indiquée par l'altimètre (Zi) et l'altitude vraie (Zv).

Le danger vient des atmosphères froides, car la Zv est plus basse que la Zi. L'altimètre pense qu'une certaine différence de pression correspond à une certaine altitude, mais la masse d'air est plus contractée : vous êtes donc plus bas que ce que dit l'altimètre.

## Comment le Soleil réchauffe la Terre et l'air

L'air n'est pas chauffé directement. Le Soleil réchauffe la Terre par **rayonnement** : ce sont les rayons solaires qui chauffent le sol. Ensuite, l'air qui est en contact avec le sol (basses couches) est réchauffé par **conduction** : la particule d'air qui touche le sol chaud se réchauffe de la même façon que votre main quand vous touchez le radiateur. Ensuite, cette particule d'air plus chaude qui est plus légère va s'élever dans l'atmosphère et être remplacée par de l'air plus froid qui va lui aussi être réchauffé : la **convection**.

## Refroidissement des particules d'air

Lorsqu'une particule d'air s'élève, elle va se refroidir au rythme de 3°C tous les 1000 ft en air sec, et environ 1,5°C tous les 1000 ft en air saturé (dans les nuages). ATTENTION : ne pas confondre ces refroidissements, qu'on appelle adiabatique et pseudo-adiabatique, avec la décroissance de température dans l'atmosphère type !

## Stabilité et instabilité

L'air froid est plus lourd que l'air chaud. Lorsqu'une particule d'air est soulevée, elle perd 3°C par 1000 ft. Si l'atmosphère est standard, elle va donc se refroidir plus vite que l'air ambiant (décroissance de température standard 2°C par 1000 ft). Elle est donc plus lourde et redescend à sa place : l'atmosphère est stable.

Inversement, si la décroissance de l'atmosphère ce jour-là est supérieure à 3°C par 1000 ft, notre particule sera toujours plus chaude que l'air ambiant et continuera de monter : l'atmosphère est instable.

## Température minimale et température maximale

Au cours de la journée, la température va connaître une valeur minimale et une valeur maximale.

La température minimale se trouve environ ½ heure après le lever du Soleil.

La température maximale se trouve environ 2 heures après le passage du Soleil au zénith.

Ceci est bien évidemment théorique, de nombreux autres facteurs influencent la température au cours d'une journée (ensoleillement, passage de front, pluie, etc.)

Un ciel nuageux va diminuer l'amplitude thermique en empêchant le Soleil de réchauffer la Terre le jour et en empêchant la chaleur de rayonner dans l'espace la nuit.

## Température et humidité

Une particule d'air froide peut contenir moins d'humidité qu'une particule d'air chaud.

### Point de rosée

La température du point de rosée est la température à laquelle il faut abaisser une particule d'air pour qu'elle arrive à saturation, c'est à dire 100% d'humidité. Si la température descend encore, il y aura condensation et formation de brume ou de brouillard.

### Point de condensation

Lorsqu'on soulève une particule d'air, elle se refroidit. Elle va donc pouvoir contenir de moins en moins d'humidité. La température à laquelle elle arrive à saturation après un soulèvement s'appelle le point de condensation. C'est à cette altitude que se formeront les nuages.