

Aperçu du **contrôle de la circulation aérienne civile**

Le **contrôle du trafic aérien** (en anglais *Air Traffic Control* ou **ATC**), ou **contrôle de la circulation aérienne**, ou également appelé **contrôle aérien**, est un service rendu par les contrôleurs aériens aux aéronefs afin d'aider à l'exécution sûre, rapide et efficace des vols. Le contrôle du trafic aérien obéit à des règles définies par l'**Organisation de l'aviation civile internationale (OACI)**, transposées dans le droit national par chaque pays membre.

Le service de contrôle est assuré dans les buts suivants :

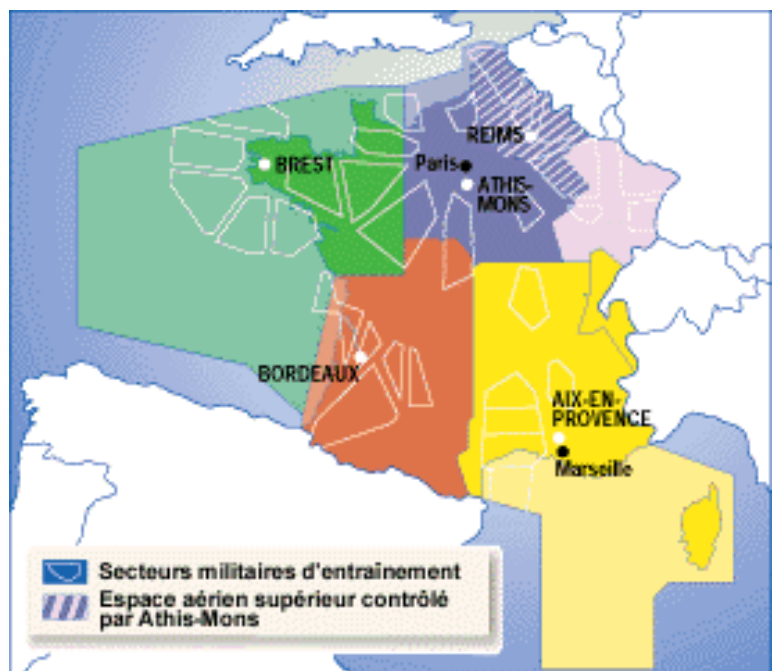
- * Prévenir les collisions entre aéronefs (techniquement "abordages") ou entre un aéronef et un obstacle
- * Accélérer et ordonner la circulation aérienne

Histoire

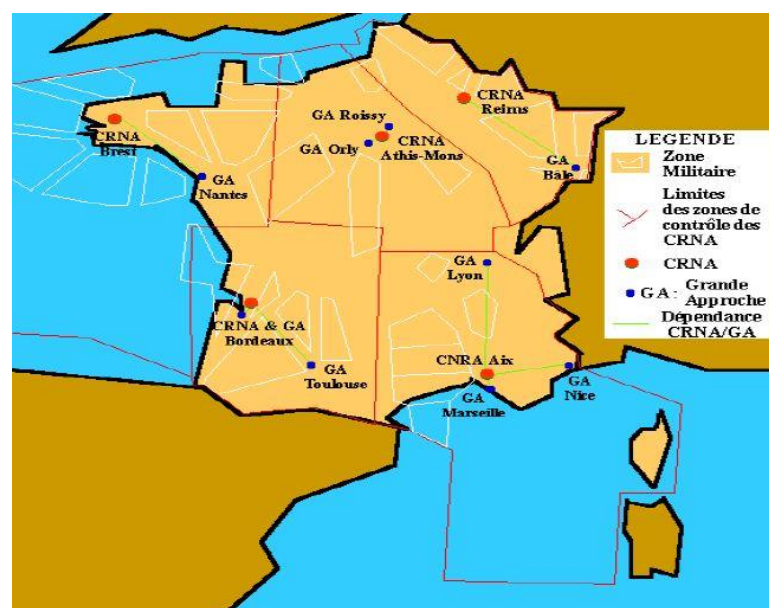
Le contrôle aérien a d'abord été visuel, avant l'invention de la radio et du radar. Par la suite, le radar a amélioré la possibilité d'assister les vols de nuit et les jours de brume,

Organismes du contrôle de la circulation aérienne (de la Direction générale de l'aviation civile (**DGAC**) rattachée au ministère de la Transition écologique et solidaire)

1 - Les **centres de contrôle régional (CCR)** sont chargés d'assurer les services de la circulation aérienne au bénéfice des aéronefs en croisière (en dehors de la proximité d'aérodrome). En France hexagonale, il en existe 5 : nommés "centres en route de la navigation aérienne" (**CRNA**) , ils se répartissent la fourniture du service de contrôle. Ils sont situés à Athis-Mons (région parisienne), Reims, **Brest**, Bordeaux et Aix-en-Provence.



2 - Les **centres de contrôle d'approche** sont chargés d'assurer les services de la circulation aérienne aux abords d'un aérodrome, dans une zone de contrôle dont la taille est variable. Les contrôleurs aériens sont situés soit dans la vigie d'une tour de contrôle, soit dans une salle radar dédiée.

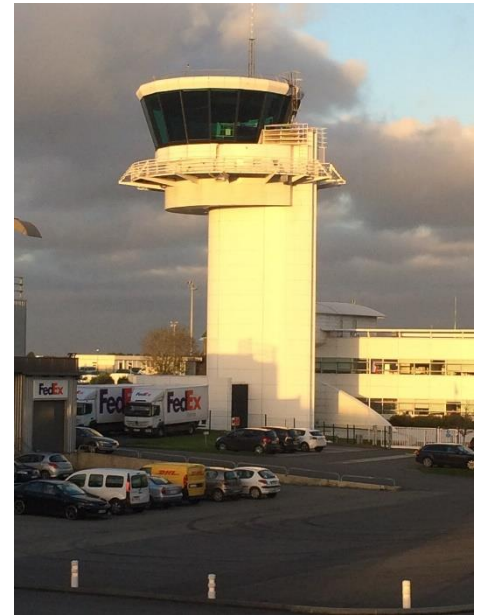




3 - Les **tours de contrôle d'aérodrome** sont chargées d'assurer les services de la circulation aérienne dans la

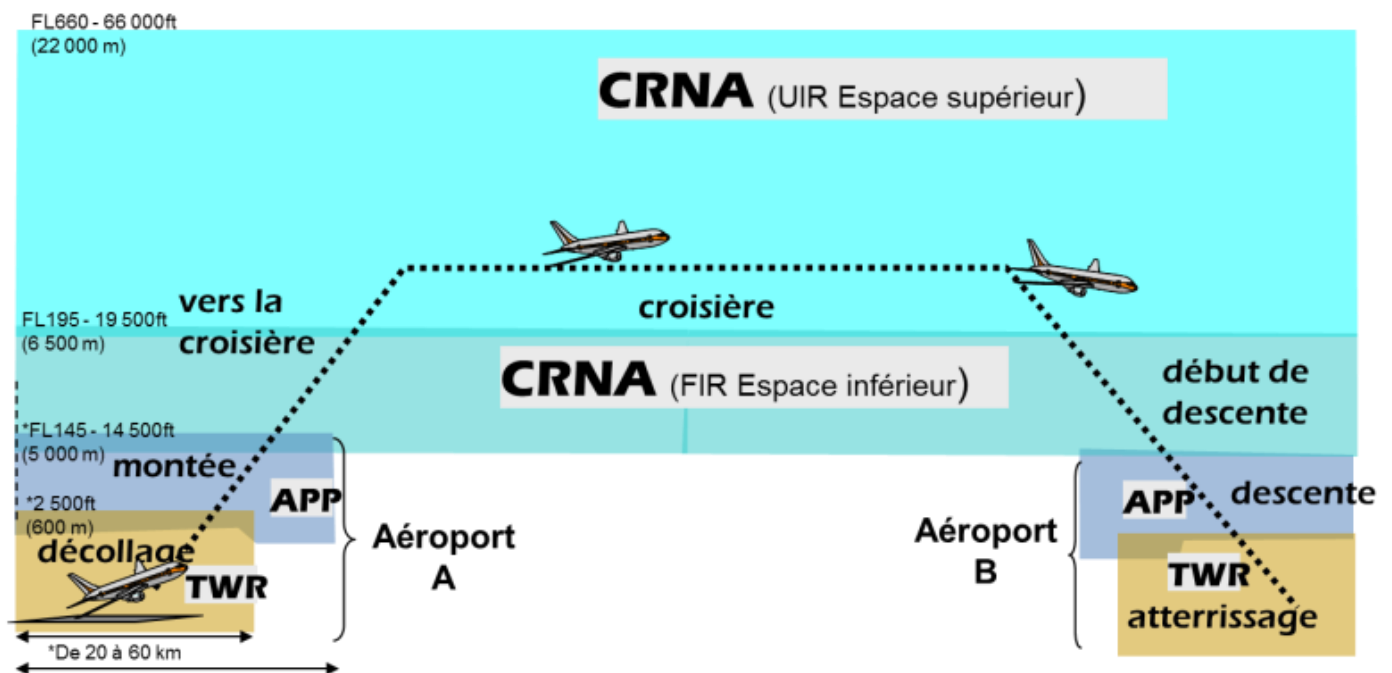
circulation d'aérodrome, c'est-à-dire dans une zone restreinte (de l'ordre d'une dizaine de kilomètres) autour d'un aérodrome.

Tour de contrôle de BREST-GUIPAVAS



Il existe donc trois types de contrôle aérien correspondant aux différentes phases de la trajectoire d'un avion : le contrôle d'aérodrome, le contrôle d'approche et le contrôle en route.

Les trois phases du contrôle aérien



** Les altitudes et distances sont notées à titre indicatif*

Source : direction des services de la navigation aérienne (DSNA)

Au décollage, les contrôleurs aériens de l'aéroport de départ, qui se trouvent dans la tour de contrôle, guident l'avion depuis son parking jusqu'à la piste (on parle de « contrôle au sol ») puis supervisent son envol (« contrôle d'aérodrome ») jusqu'à 600 mètres. **ToWeR**, abréviation du jargon aéronautique pour désigner la tour de contrôle de trafic aérien

Ils passent alors le relais aux contrôleurs aériens chargés du contrôle d'approche, qui vont accompagner la montée de l'avion jusqu'à 5 000 mètres.

L'avion est alors pris en charge par le contrôle en route, assuré par un centre en-route de la navigation aérienne (CRNA), pour terminer sa montée entre 5 000 et 6 500 mètres, puis pour la phase de croisière au cours duquel il va suivre sa trajectoire dans l'espace aérien supérieur.

Lorsqu'ils sont en croisière, les avions circulent à l'intérieur de couloirs larges de 18 kilomètres (10 milles nautiques) et sont séparés verticalement les uns des autres de 300 mètres (1.000 pieds) au minimum. Un niveau de vol est en aéronautique une altitude exprimée en centaines de pieds au-dessus de la surface isobare 1 013,25 hPa. Un niveau de vol est exprimé en centaines de pieds, et précédé de l'acronyme FL (Flight Level, niveau de vol). Ainsi une altitude de 30 000 pieds avec un calage de 1 013,25 hPa est notée FL 300.

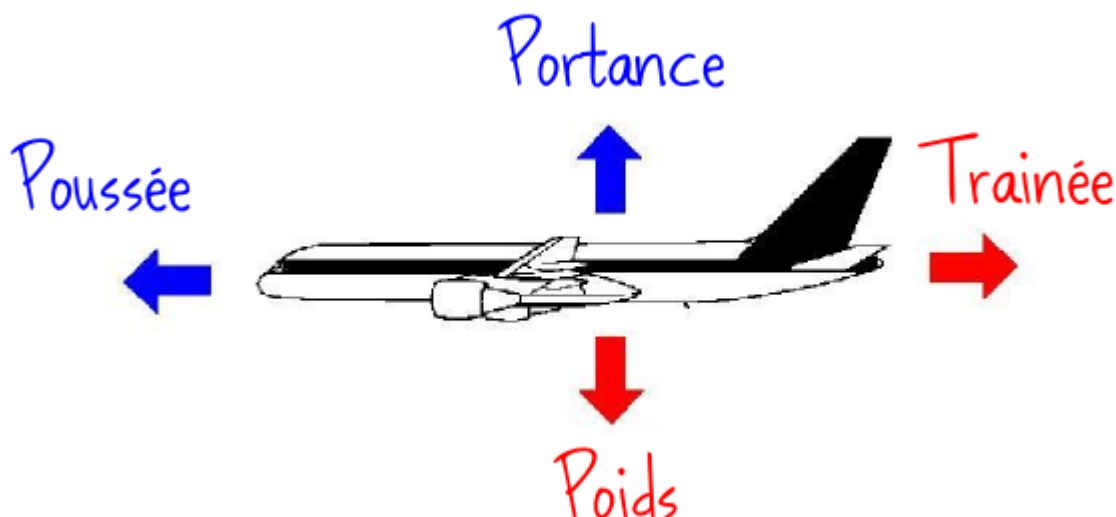
Si le contrôle en route va assurer le début de la descente de l'avion, c'est le centre d'approche situé à proximité de l'aéroport de destination qui va superviser cette descente jusqu'à une distance comprise entre 11 et 18 kilomètres de la piste (entre 6 et 10 milles nautiques) et organiser l'alignement des avions pour les préparer à l'atterrissage. À ce stade, l'espacement entre les avions se réduit à 5 kilomètres environ (soit 3 milles nautiques).

Contrairement au contrôle d'aérodrome, le contrôle d'approche peut être réalisé à distance et de plus en plus de centres d'approche d'importance régionale assurent l'approche de l'ensemble des aérodromes d'une région donnée et non plus seulement celui de leur aérodrome de rattachement, ce qui permet de réaliser des économies d'échelles.

Les contrôleurs aériens de l'aéroport de destination surveillent alors visuellement la phase d'atterrissage de l'avion puis, une fois, celui-ci effectué, guident le pilote jusqu'au parking.

Pourquoi les long-courriers volent-ils à 10 km d'altitude ?

Naïvement, on pourrait se dire que si un avion vole, c'est parce qu'il a des moteurs. Mais quand on y regarde un peu, la seule fonction des moteurs est de donner à l'avion un mouvement horizontal, parallèle au sol; la force responsable est ce qu'on appelle **la poussée**. Quand l'avion est en vol, la poussée est contrecarrée par **la traînée**, qui représente la force qui s'oppose au mouvement horizontal de l'avion.



Comme l'avion subit par ailleurs son **poids**, dirigé vers le bas, il faut une force pour expliquer sa capacité à se maintenir en l'air : c'est cette force qu'on appelle **la portance**.

Quand l'avion est en situation stationnaire, c'est-à-dire qu'il voyage à vitesse et altitude constante, la poussée compense exactement la traînée, et **la portance s'oppose exactement au poids**.

La portance décrit le fait que l'air passe plus vite en haut d'une aile qu'en bas de cette aile créant une force ascendante maintenant l'avion en l'air.

La portance verticale F_z en newtons (N) d'une aile vaut :

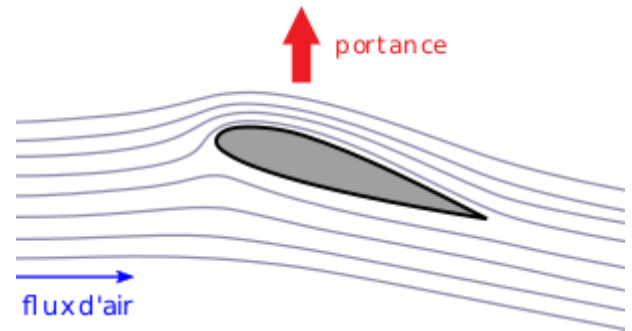
$$F_z = 1/2 \rho V^2 S C_z \quad \text{avec}$$

ρ : masse volumique du fluide en kg/m^3

V : vitesse en m/s

S : surface de référence en m^2

C_z = coefficient de portance (Nombre sans dimension) qui dépend de la forme de l'aile mais aussi de son incidence



10.000 m est l'altitude qui correspond au meilleur compromis entre vitesse et consommation de carburant. A cette hauteur, la densité de l'air est 4 fois plus faible qu'au niveau de la mer. Conséquences : la résistance à l'air diminue d'autant, ce qui autorise l'avion à doubler sa vitesse (environ 900 km/h). En même temps, cette vitesse plus élevée lui permet de conserver la même force de sustentation (qui le maintient en l'air) car on conserve la même valeur pour ρV^2 . Plus haut, l'air serait trop raréfié et obligerait l'avion à aller plus vite, donc à consommer plus de carburant pour garder une sustentation correcte. Autre avantage, le confort des passagers est amélioré puisque, à cette altitude, l'avion échappe aux turbulences, dites de relief, provoquées par les montagnes et les collines. Et à celles, dites convectives, qui naissent dans et sous les nuages, puisqu'il vole au-dessus.

Si l'avion vole trop haut le premier phénomène fâcheux qui pourrait se passer c'est une surconsommation qui ne compense pas le gain de temps par une plus grande vitesse. S'il monte bien trop haut ses réacteurs n'auront pas assez de puissance pour générer une vitesse air suffisante pour maintenir l'avion entraînant le **décrochage**.

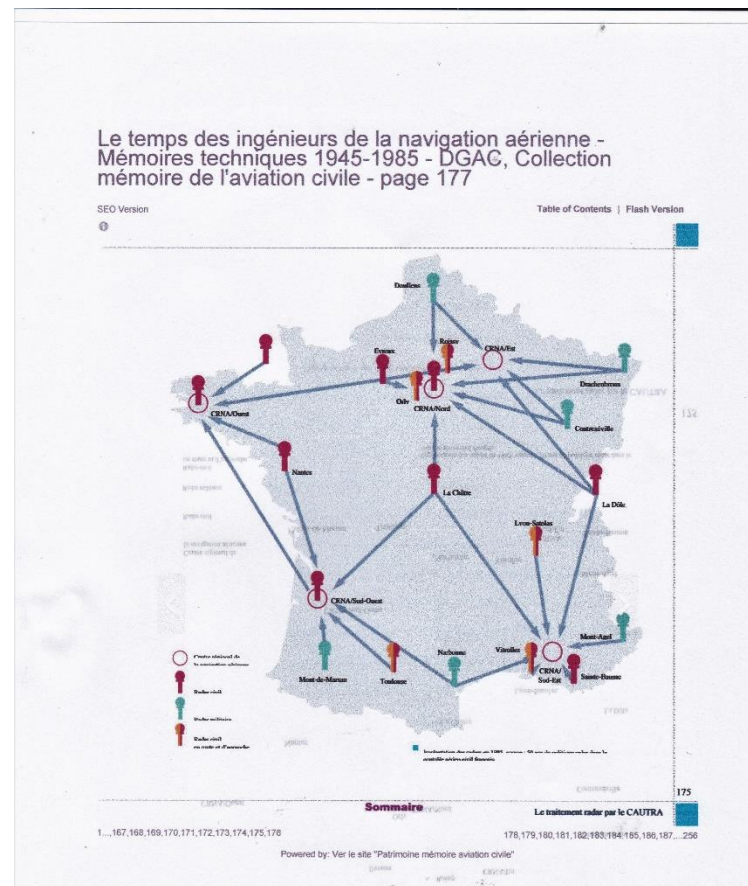
Le « Radar de Bretagne »

Construit en 1968 et situé sur les hauteurs de Loperhet, le « Radar de Bretagne » regroupe quatre administrations, civiles ou militaires, dans les domaines du contrôle aérien et de la défense nationale :

- le **Centre Militaire de Coordination et de Contrôle (CMCC)** assure le contrôle aérien militaire dans le quart ouest de la France ;
- la **section de contrôle de la circulation aérienne générale (CNAR)** : le Centre régional de navigation aérienne (CRNA) Ouest est l'une des cinq antennes françaises du contrôle aérien civil. Il gère toute la partie grand ouest de la France, soit 400 000 km^2 environ, ainsi qu'une partie de l'espace atlantique qui s'étend sur 300 km au large d'Ouessant ;
- le **centre de contrôle et de coordination marine pour l'atlantique (CCMAR)** ;
- le **centre de contrôle de la circulation d'essais et de réception (CCER)**.



En 2017, le trafic a dépassé pour la première fois de son histoire le seuil du million de vols. (trafic journalier record de 3 914 vols gérés le 22/07). 490 personnes travaillent au CRNA de Loperhet, dont 342 ingénieurs du contrôle de la navigation aérienne. Ils assurent un service public (c'est une administration), 24 heures sur 24 et 365 jours sur 365.



de l'horizon radar est donnée par la relation $4.12 \sqrt{h}$ en km en exprimant l'altitude h en m. Ce qui donne pour l'avion : $4.12 \sqrt{30.000 \times 0.3048} = 394 \text{ km}$

Radars de surveillance aérienne (RSA) (photo ci-contre prise à l'aéroport de Nice).

Les radars de surveillance aérienne ont une courte portée et servent à coordonner les décollages, atterrissages et déplacement autour d'un aéroport. Utilisant généralement la bande S (2.700 à 2.900 MHz), ils doivent surveiller une zone de 40 à 60 milles (**environ 100 km**) nautiques de rayon allant du sol à 7 620 mètres (25 000 pieds). L'antenne (6 m de largeur et 4 m de hauteur) tourne à 15 tours/minute (1 tour toutes les 4 secondes).

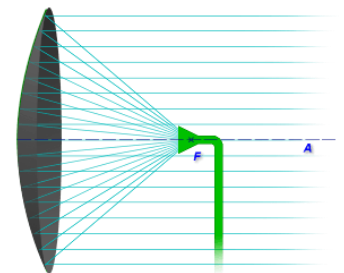


L'antenne est la partie visible d'un système radioélectrique qui sert à la transmission et la réception du signal dans l'espace libre. Elle sert à concentrer le signal produit par l'émetteur vers l'espace libre et/ou à percevoir les faibles signaux venant de l'extérieur pour les diriger vers le récepteur.

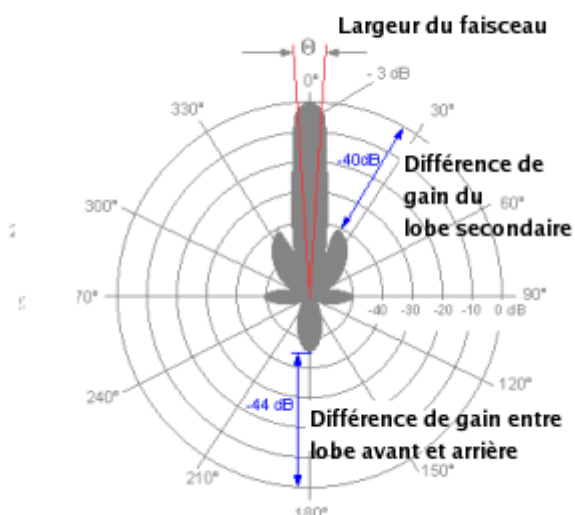
L'antenne parabolique est l'antenne la plus fréquemment utilisée en radar. La figure ci-contre montre les composantes de celle-ci : un réflecteur circulaire ayant la forme d'une parabole, un cône d'émission situé au foyer de la parabole et un guide d'onde qui amène le signal à ce cône depuis le transmetteur. Le réflecteur est formé d'un grillage dont l'espacement des lattes doit être inférieur à $\lambda/10$ (λ = longueur d'onde d'émission) soit 2,5 cm en bande L ou 1 cm en bande S, ce qui a pour effet de diminuer la prise au vent. **L'antenne**



Le réflecteur parabolique est chargé de concentrer les ondes reçues ou émises vers l'antenne-source, qui se situe au foyer de la parabole.



Patron d'émission d'une antenne parabolique

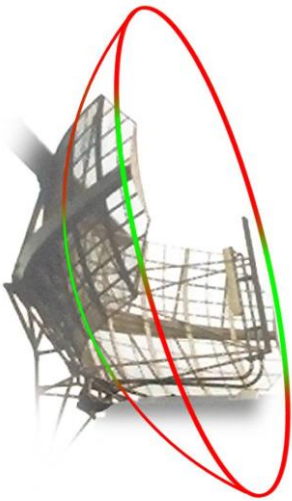


Le diagramme d'émission comporte un lobe principal dans la direction d'émission et des lobes secondaires tout autour de la sphère centrée sur l'antenne et qu'on tente de minimiser.

On considère la largeur du faisceau comme l'angle sous-tendu entre chaque côté du lobe principal où la valeur de l'intensité du signal ne descend pas sous 0,5 la valeur de celle du pic, soit -3 dB dans l'échelle logarithmique (en décibel ou dB). Cette largeur dépend de la longueur d'onde utilisée (λ) et du diamètre de l'antenne (D) selon

$$\theta = 70 \frac{\lambda}{D} \text{ soit pour l'antenne du RSA : } 70 \frac{10}{600} = 1.2^\circ$$

En tronquant une partie de la parabole comme sur la figure de gauche, le faisceau reste concentré dans la direction perpendiculaire (azimut) et s'élargit dans celle de la partie manquante (élévation). En ne gardant qu'un secteur, il est donc possible d'obtenir un faisceau très mince dans une direction (en azimut) (b) et très large dans l'autre (en élévation) (a).



Radar secondaire

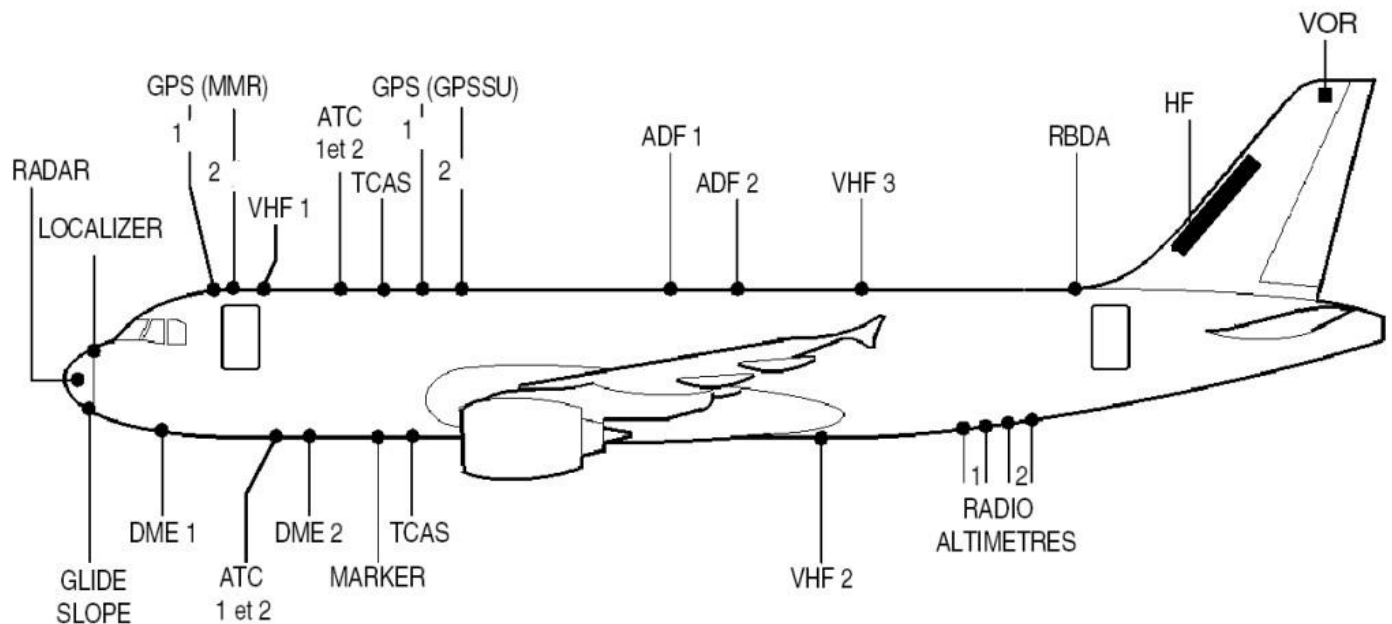
Un radar secondaire, ou **SSR (Secondary Surveillance RADAR)**, est un dispositif radar de contrôle aérien qui « interroge » le ciel. Le sigle **IFF**, pour **Identification Friend or Foe** (Identification Ami-Ennemi), désigne un dispositif électronique embarqué développé par les Alliés pendant la Seconde Guerre mondiale permettant, par interrogation radar, d'identifier les aéronefs « amis » ou « ennemis ».



Le radar secondaire fonctionne selon un principe différent du radar primaire : *la cible qu'il éclaire génère (de façon active) les signaux de réponse*. Le radar secondaire transmet des impulsions hyperfréquences (appelées **interrogations**) à 1030 MHz. Celles-ci n'ont pas pour but d'être réfléchies, la cible étant équipée d'un transpondeur qui les reçoit et les traite. Ensuite, sur une fréquence différente à savoir 1090 MHz, le transpondeur met en forme et émet un message de réponse qui peut être reçu et décodé par notre radar secondaire.

Grâce au radar primaire, on obtiendra des informations fiables de direction, de hauteur et de distance de la cible, mais le radar secondaire pourra apporter des informations supplémentaires telles son **identification** ou encore son **altitude**.





Voici l'image présentée par le radar secondaire au contrôleur d'approche de Roissy

Vous voyez ici un plot radar secondaire d'un avion de ligne en approche à Roissy. Le rond rose plein représente la position actuelle de l'avion. Les petits ronds vides représentent les positions précédentes. Le contrôleur voit ainsi la trajectoire parcourue par l'avion. Les informations affichées sont :

- AFR027 : vol Air France 027
- 029 : 2900 pieds
- Flèche descendante : avion en descente
- H : Heavy (avion lourd), M pour Medium, L pour Light, S pour Super (cas particulier de l'Airbus A380)
- 18 : vitesse sol 180 kt
- -10 : en descente 1000 pieds par minute



Salle de contrôle de Loperhet



Le **nœud** (symbole **kt**) est une unité de mesure de la vitesse utilisée en navigation maritime et aérienne. Un nœud correspond à un mille marin par heure, soit 1 852 mètres par heure ou 0,514 mètre par seconde.

Tube de Pitot

Un tube de Pitot-statique est constitué de deux tubes coudés concentriques dont les orifices, en communication avec le fluide dont on veut mesurer la vitesse, sont disposés de façon particulière :



- Le tube extérieur s'ouvre perpendiculairement à l'écoulement du fluide. La pression à l'intérieur de ce tube est donc égale à la pression ambiante ou pression statique **Ps** qui permet de calculer l'altitude de l'avion ;
- Le tube intérieur est parallèle à l'écoulement du fluide, et est ouvert en son bout, face au flux. La pression à l'intérieur de celui-ci est donc la pression totale, somme de la pression statique et de la pression dynamique **Pt = Ps + Pd**.

$$Pd = \frac{1}{2} \rho V^2 \text{ avec :}$$

Pd = pression dynamique du fluide en **Pa** ;

ρ (rho) = masse volumique du fluide en **kg/m³** ;

V = vitesse de déplacement relative au fluide en **m/s**.

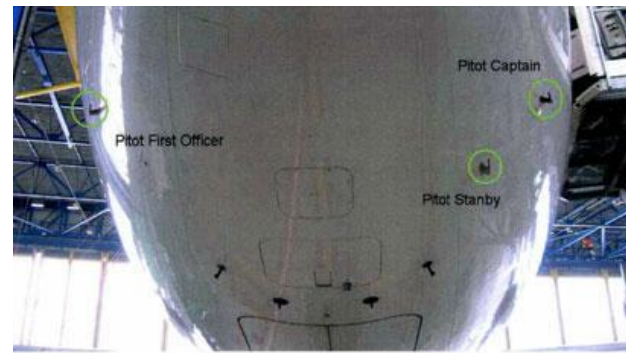
Un manomètre mesure la différence de pression entre les deux tubes, c'est-à-dire **la pression dynamique**, et permet donc de calculer **la vitesse d'écoulement du fluide autour du tube**. Cette vitesse correspond au vent relatif et est, en aéronautique, **une des informations primordiales pour le pilote** qui doit toujours maintenir son appareil **au-dessus de sa vitesse de décrochage**, (**l'information importante est l'incidence de l'aile** mais par simplification la vitesse est prise en compte en aviation civile) et **au-dessous de sa vitesse maximale**. Elle permet en outre, connaissant la vitesse du vent, de calculer la vitesse par rapport au sol et la consommation de l'aéronef.

Un avion est limité en basse vitesse par l'incidence de décrochage, et en haute vitesse par sa résistance structurale. Il est aussi limité en facteur de charge. Le pilote doit donc évoluer entre ces limites.

La vitesse du son dépend fortement de la température ; la formule $c = 20,05 \sqrt{T}$ en donne une approximation dans l'air en m/s, avec T la température en kelvins.

La vitesse du son dans l'air à 15 °C au niveau de la mer est d'environ 340 m/s ($20 \times \sqrt{(273 + 15)} = 340$) et à 10.000 m (air à -50°C) elle n'est plus que de 300 m/s.

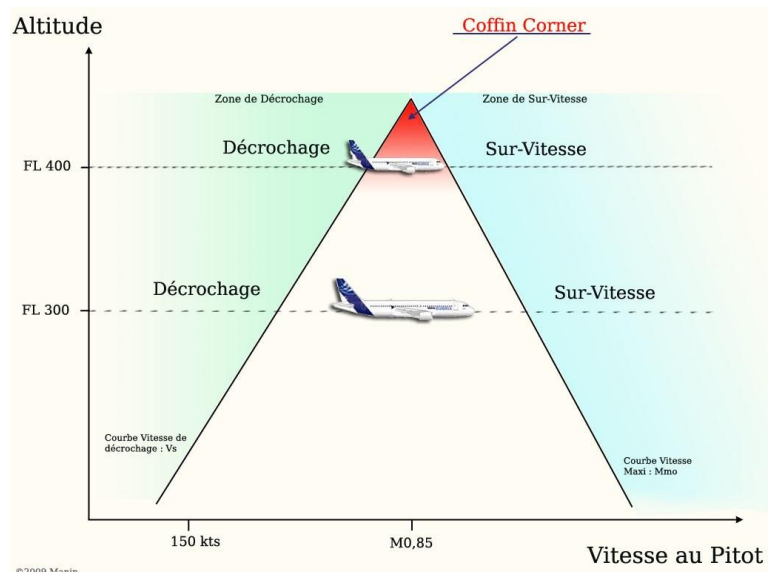
Cela signifie que sans aller plus vite, plus un avion vole haut, plus il se rapproche de la vitesse du son et plus il se rapproche de sa limite structurale.



Position des sondes Pitot sur l'Airbus A330



Sonde Pitot (avec caches)

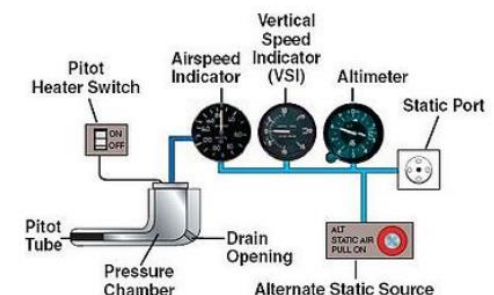
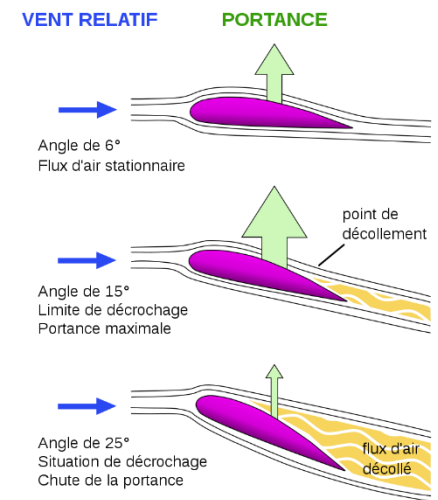


Le **décrochage** d'un avion en palier survient lorsque la vitesse est trop basse, d'où le nom de « perte de vitesse » qui lui était donné aux débuts de l'aéronautique ; mais il peut se produire à n'importe quelle vitesse, lorsque l'angle d'incidence dépasse l'incidence de décrochage, notamment sous facteur de charge en virage (décrochage dynamique).

À facteur de charge constant, une diminution de vitesse implique l'augmentation d'angle d'incidence pour conserver une portance équivalente (augmentation du coefficient de portance (C_z) pour compenser la baisse de vitesse). En effet, plus la vitesse de vol est basse et plus il faut augmenter l'angle d'incidence en tirant sur le manche. Pour une même configuration de vol (par exemple, en palier avec les volets rentrés), il y a donc une vitesse en dessous de laquelle l'angle d'incidence sera tellement important que l'avion décrochera.

$$F_z = 1/2 \rho V^2 S C_z$$

Vol 447 Air France (2009) : décrochage en haute altitude, initié par le copilote (trompé par des informations de vitesse erronées dues à un givrage des sondes pitot) et entretenu jusqu'à l'impact avec la mer sans que les deux pilotes aux commandes ni le commandant de bord ne l'aient détecté (**228 morts**).



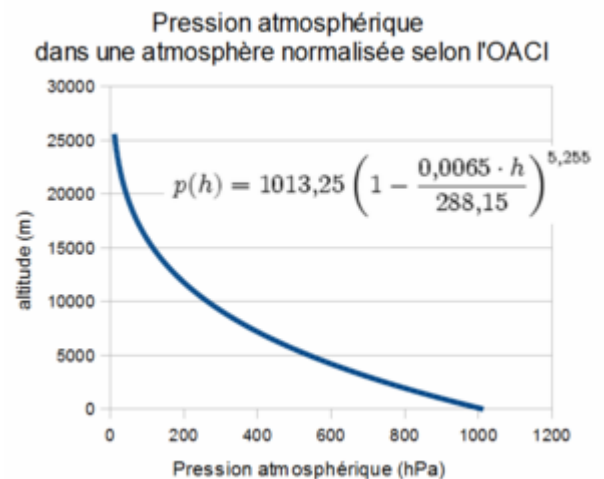
Altimètre barométrique

L'altimètre barométrique mesure une différence de pression atmosphérique entre le niveau de référence, fixé par l'utilisateur, et le niveau de l'altimètre. Le niveau de référence choisi, correspondant à celui du niveau de la mer.

L'altimètre barométrique est étalonné suivant la variation de la pression atmosphérique selon l'altitude dans une atmosphère standard (normalisée).

En prenant le niveau de la mer comme altitude de référence h_0 , et en prenant pour l'atmosphère un état moyen défini par l'atmosphère normalisée type OACI (Température 15 °C = 288,15 K, pression 1013,25 hPa, gradient vertical de température 0,65 K pour 100 m), on obtient la formule internationale du nivellement barométrique

$$p(h) = 1013,25 \left(1 - \frac{0,0065 \cdot h}{288,15} \right)^{5,255} \text{ hPa}$$



Henri Pitot (1695-1771) est un ingénieur en hydraulique français, inventeur du tube de Pitot qui sert à mesurer la vitesse des fluides.

Pitot s'intéresse aux problèmes de fluides, notamment à l'écoulement de l'eau dans les rivières, et découvre que beaucoup de théories de son époque sont infondées. Il invente ainsi un instrument destiné à la mesure de la vitesse des fluides connu aujourd'hui sous le nom de tube de Pitot et employé dans de nombreux domaines, notamment en aéronautique pour les anémomètres. Le tube de Pitot permet de mesurer la différence entre la pression totale et la pression statique d'un fluide en mouvement, différence qui est la **pression dynamique** et est **proportionnelle au carré de la vitesse de l'écoulement**. Cette relation a été découverte intuitivement par Henri Pitot en **1732**, quand on lui a confié la tâche de mesurer l'écoulement de la Seine. Muni de cet instrument, il réalisa les premières mesures fiables de la vitesse de l'eau dans les rivières (à différentes profondeurs), ce qui lui fit pressentir l'existence, dans ces courants d'eau, de ce que

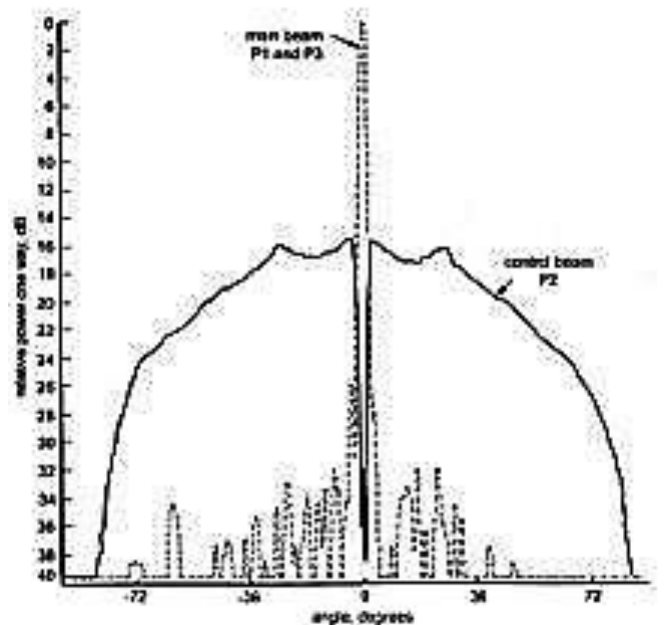
l'on appellera plus tard la Couche Limite. Le tube de Pitot sera par la suite perfectionné en 1858 par **Henry Darcy** (1803-1858).

Revenons au fonctionnement du radar secondaire !

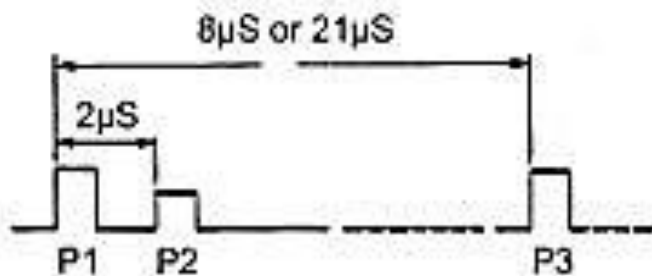
Élimination des fausses réponses

Les impulsions envoyées par le radar se retrouvent non seulement dans la direction du faisceau principal, mais également à un degré moindre tout autour du radar selon le diagramme de rayonnement de l'antenne. Le signal d'interrogation d'un ou plusieurs lobes secondaires a de bonnes chances d'être perçu par l'antenne d'un aéronef en vol et de déclencher l'opération du transpondeur.

L'antenne du radar secondaires a deux entrées distinctes et donc 2 diagrammes de rayonnement : un diagramme directionnel Σ et un diagramme Δ présentant un creux dans l'axe et couvrant les lobes secondaires du diagramme Σ .



L'émetteur du radar secondaire émet 3 impulsions P1, P2 et P3 selon le chronogramme ci-dessous :



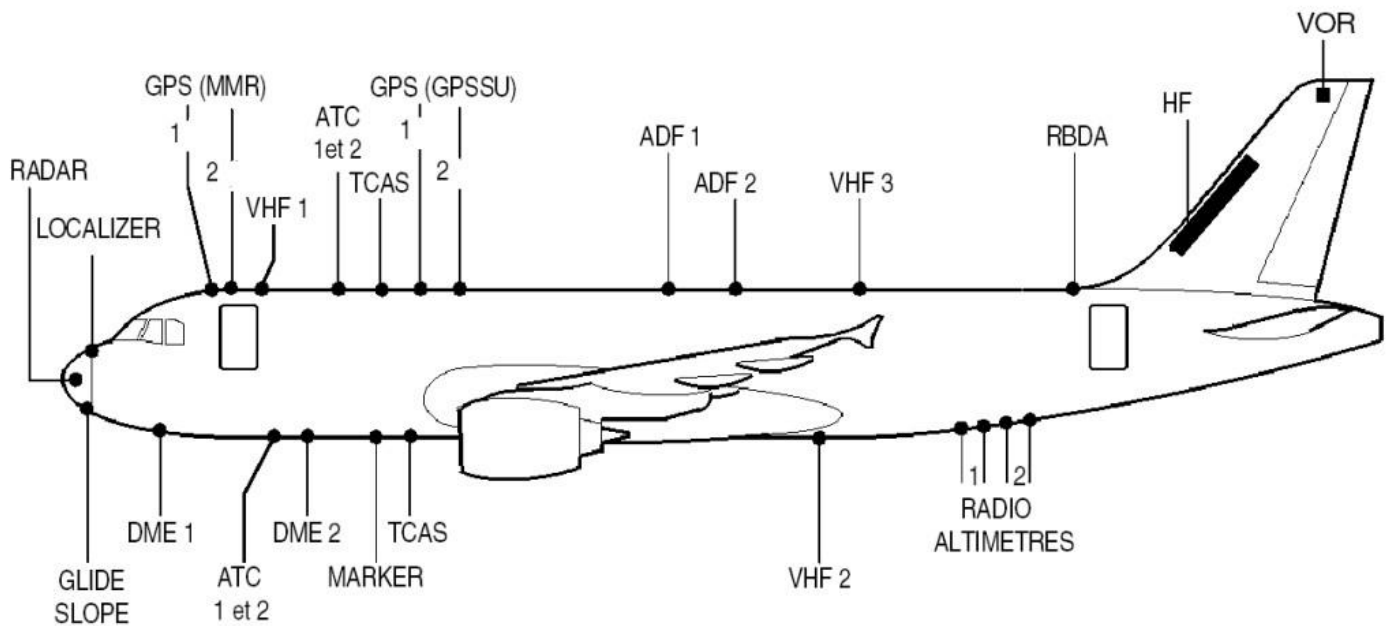
P1 est aiguillée sur Σ qui présente un faisceau principal mince de l'ordre de 2° et P2 sur Δ .

L'avion situé dans le lobe principal de Σ recevra donc une impulsion P1 puis 2 µs après une impulsion P2 d'amplitude nettement plus faible : $P1 > P2$. Son transpondeur devient opérationnel et prêt à recevoir P3 et à y répondre.

Par contre les avions situés en dehors du lobe principal de Σ recevront $P1 < P2$ et vont bloquer leur transpondeur.

Seul l'avion situé dans le lobe principal va répondre.

Lorsqu'on fait le tour d'un A320, A319 ou autre au parking, on se trouve en présence d'un animal proche du hérisson au niveau antennes.



VOR pour VHF Omnidirectionnel Range

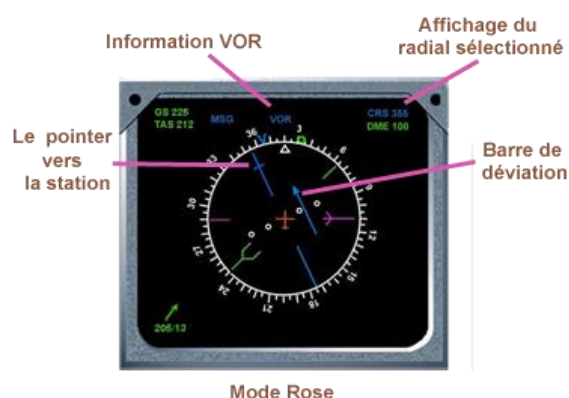
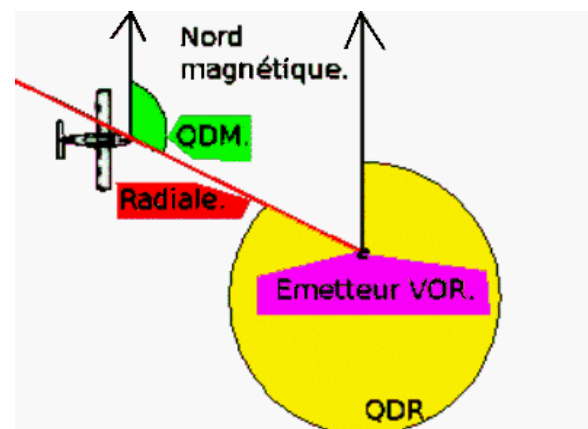
Le **VOR** est un système de positionnement radioélectrique utilisé en navigation aérienne, depuis **1947** (1953 en France) et fonctionnant, comme son nom l'indique, avec les fréquences de la bande VHF (**108 à 117.95MHz**).

L'émetteur VOR est constitué d'une antenne omnidirectionnelle entourée de plusieurs antennes émettant un signal directionnel rotatif (balayage électronique et non mécanique).

Le VOR émet donc un signal directionnel rotatif tournant dans le sens des aiguilles d'une montre, et balayant toutes les directions (tour complet) en un trentième de seconde, donc 360° en $1/30^{\text{ème}}$ de seconde.

Chaque fois que le signal directionnel passe par le nord magnétique, l'antenne omnidirectionnelle située au centre du système émet un "bip". Le temps qui sépare ce "bip" de la réception du signal directionnel permet de connaître l'angle entre la direction du nord magnétique, et la direction de l'avion à partir de l'émetteur.

Si, par exemple, l'avion reçoit le signal directionnel rotatif $1/36^{\text{ème}}$ de seconde après le bip, cela correspond à 300° (figure ci-contre).



Mode Rose

Il y a une soixantaine de VOR/DME en France. Par exemple pour les vols Paris-Brest les pilotes se calent successivement sur les fréquences des 2 émetteurs suivants :

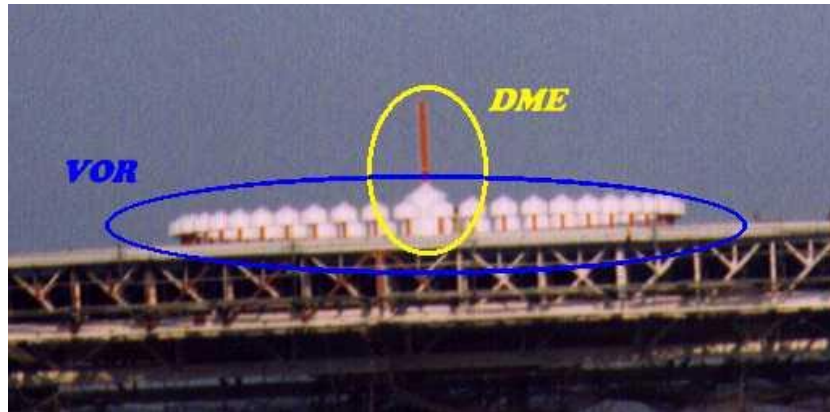
DINARD PLEURTUIT ST MALO

QUIMPER PLUGUFFAN

Avec le VOR le pilote connaît la radiale (demi droite émetteur Vor – avion) sur laquelle il se trouve. Le DME permettant de calculer la distance, l'ensemble VOR/DME donne la position exacte de l'aéronef.

DME pour Distance Measuring Equipment

Le **DME** est un radio-transpondeur qui permet de connaître la distance qui sépare un avion d'une station au sol en mesurant le temps que met une impulsion radioélectrique UHF (Ultra Haute Fréquence : gamme de fréquences de **962 à 1 213 MHz**) pour faire un aller-retour. Le système DME fonctionne sur base d'un interrogateur dans l'avion et d'un transpondeur dans la station au sol (c'est l'inverse du radar secondaire).



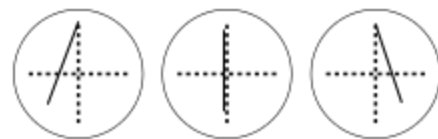
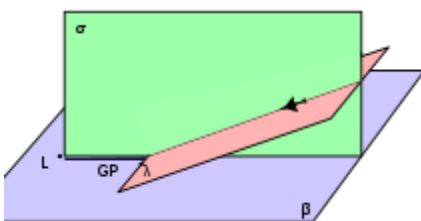
Le **TACAN** (pour **TACTical Air Navigation**) désigne un système de navigation aérienne militaire. C'est un système regroupant les fonctions utilisées dans le domaine civil par l'association DME et VOR. Il y a une vingtaine de stations TACAN en France (LANVEOC POULMIC-LANDIVISIAU-LORIENT LANN BIHOUE).

ILS pour Instrument Landing System

L'**Instrument Landing System** (ILS) ou *Système d'atterrissage aux instruments* est le moyen de radio-navigation le plus précis utilisé pour l'atterrissage IFR (Instrument Flight Rules en opposition à VFR pour Visual Flight Rules) des aéronefs.

Il comprend deux éléments :

- un *localizer* (LOC) qui fournit l'écart de l'avion par rapport à l'axe de la piste ;
- un *glide path* qui fournit l'écart de l'avion par rapport à la pente nominale d'approche (le plus souvent 3 degrés).



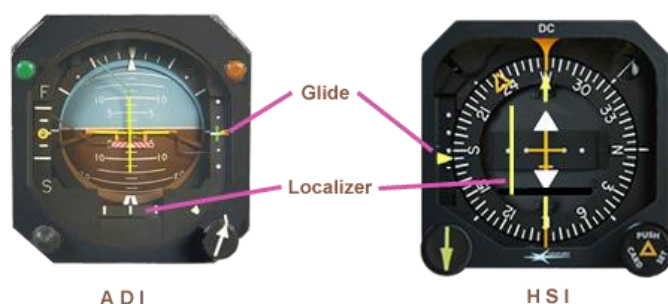
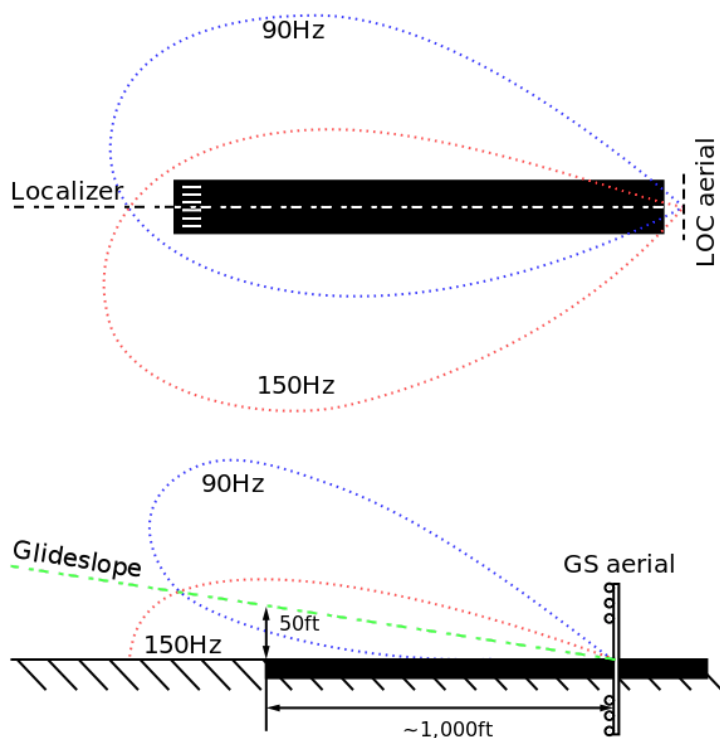
Indicateur CDI : (de gauche à droite) trop à droite, bien centré, trop à gauche

Le **localizer** est constitué par un ensemble d'antennes situées après le bout de la piste qui émettent une porteuse VHF entre 108 et 111,975 MHz. Elle est modulée par 2 basses fréquences, l'une à 90 Hz et l'autre à 150 Hz. À droite de l'axe de la piste, le taux de modulation du 150 Hz est supérieur à celui du 90 Hz et inversement à gauche de l'axe. La différence de taux permet d'en déduire un écart qui est affiché sur le récepteur de bord.



Le **glide path** est constitué par un ensemble d'antennes situées généralement entre 120 m et 150 m sur le côté de la piste, près du seuil, qui émettent une porteuse UHF entre 328,6 et 335,4 MHz. Elle est modulée par 2 basses fréquences l'une à 90 Hz et l'autre à 150 Hz. Au-dessous du plan de descente, le taux de modulation du 150 Hz est supérieur à celui du 90 Hz et inversement au-dessus du plan. La différence de taux permet d'en déduire un écart qui est affiché sur le récepteur de bord.

Ils assurent un plan de descente réglable et généralement de l'ordre de 3° (entre 2,5 et 3,5).



L'aéroport Brest Bretagne retrouve la catégorie 3 de son système atterrissage tout temps

A l'issue des essais de calibration effectués par la Direction des services de la navigation aérienne (DSNA), l'aéroport Brest Bretagne a retrouvé le 26 octobre 2011 la catégorie 3 de son ILS (Instrument landing system, système d'atterrissage aux instruments), niveau le plus performant en cas de très mauvaises conditions météo. Une fois la calibration effectuée et après 300 heures de bon fonctionnement, le système a été homologué pour la catégorie 3. Rappelons qu'il permet aux pilotes d'atterrir lorsque les conditions météo se dégradent fortement (brouillard, crachin et baisse du plafond nuageux essentiellement). Le système datant d'une vingtaine d'années, la DSNA avait décidé de procéder à son remplacement afin de doter Brest du meilleur matériel existant. Brest Bretagne est le seul aéroport de l'Ouest de la France avec Nantes à bénéficier de la catégorie 3.



Radar

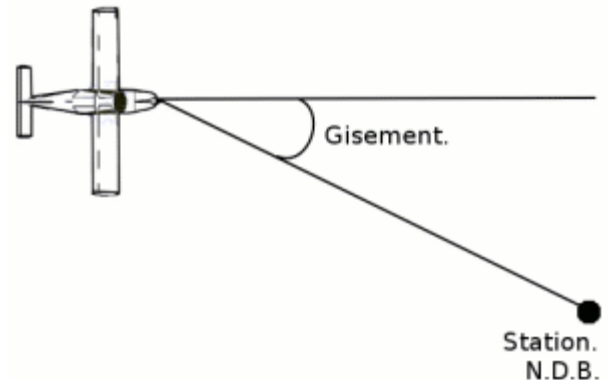
Le radar météo permet au pilote de suivre les précipitations et le cisaillement des vents. Les longueurs d'onde utilisées se trouvent généralement dans la bande X (autour de 3 cm soit des fréquences de 8 000 à 12 500 MHz) ce qui permet d'utiliser de petites antennes ayant quand même une bonne résolution.

Logée à l'avant, protégée dans le **radôme**, cette antenne est mobile. En effectuant un va-et-vient de gauche à droite le radar balaye ainsi l'environnement devant l'avion couvrant un angle de 180°. L'antenne bouge aussi verticalement lors de certaines phases de vol (montée, descente) et lors de phénomènes météo spécifiques (formation rapide de cumulonimbus par exemple). Sa portée maximale avoisine les 600 km.



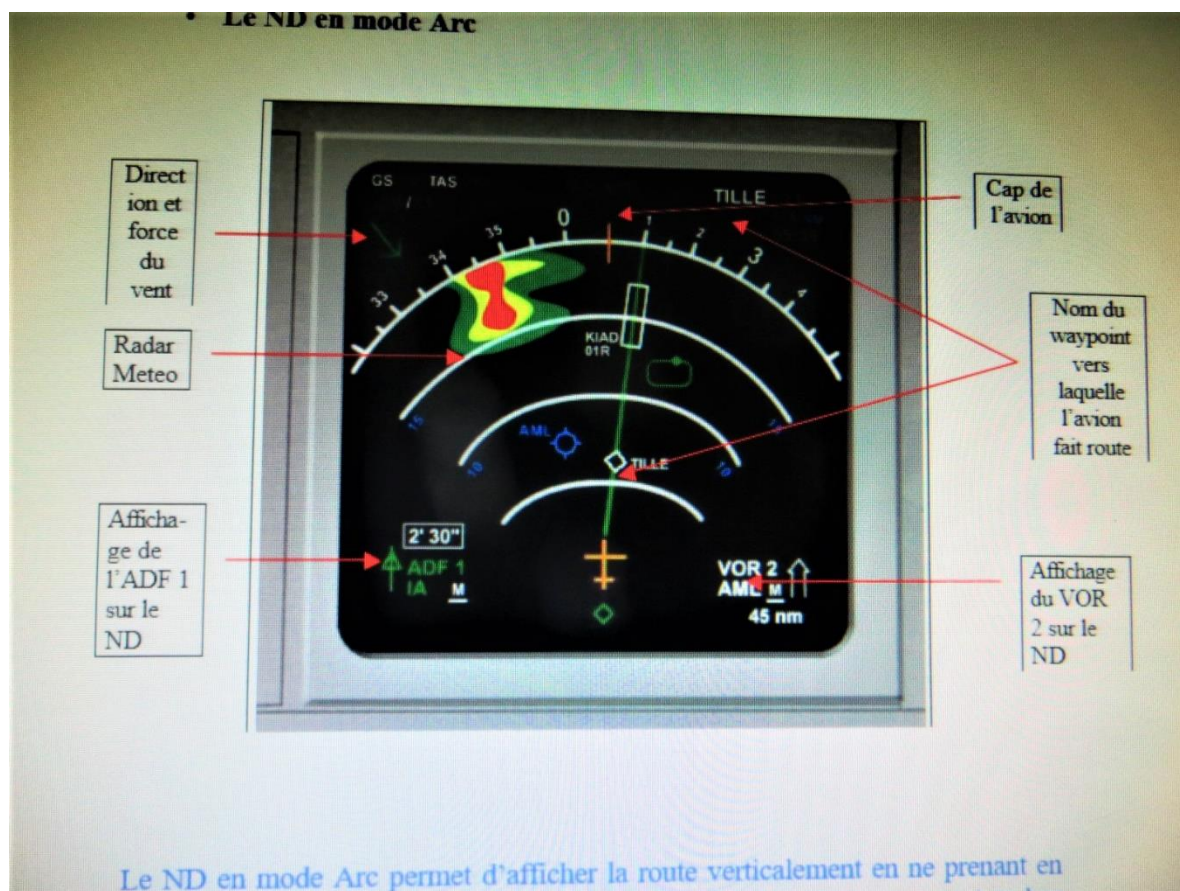
ADF

L'Automatic Direction Finder (ADF) est un instrument de navigation qui permet à un avion de se repérer par rapport à une antenne émettrice, comme le bateau se repère par rapport à un phare. Ce radiophare, c'est le NDB, ou Non Directional Beacon. Il émet des ondes radios sur des fréquences comprises entre 200 et 1750 KHz. Cette longueur d'onde possède l'avantage particulier de permettre au signal de suivre la courbure terrestre et ainsi, d'offrir un rayon d'action relativement étendu.



Le ND signifie tout d'abord en anglais Navigation Display. Comme son nom l'indique, il a pour but de nous aiguiller, dans notre navigation en faisant apparaître les différents VOR, ADF, Waypoints que l'on survolera lors de notre vol ainsi que notre cap. Il reflète avec exactitude les données rentrées dans le FMGS (Flight Management and Guidance System). Cet outil est très précieux. Il schématise la trajectoire suivie par l'avion en n'importe quel mode : arc, rose ou plan. Il peut afficher en surimpression les données du radar météo afin qu'il nous soit plus facile de visualiser certaines mauvaises conditions comme les zones pluvieuses ou orageuse. De plus, apparaît en haut à gauche la vitesse de l'avion par rapport au sol : GS (Ground Speed) ainsi que la TAS (True Air Speed), vitesse de l'avion dans la masse d'air.

Un **point de cheminement**, ou **point de virage**, en anglais *waypoint*, désigne, en navigation, un point de la route à atteindre où doit avoir lieu un changement de cap. Il peut être matérialisé par des relèvements sur des amers particuliers, des balises radio, des relevés de position GPS



RBDA

Une **radiobalise de localisation des sinistres** ou **RLS** est un transmetteur qui émet un signal dans la bande de fréquence 406 MHz en numérique en cas de détresse, d'urgence pour donner l'emplacement d'un navire, d'un avion ou d'une personne en détresse. Ce signal est ensuite reçu par un ou des satellites du réseau Cospas-Sarsat et GEOSAR qui déterminent la localisation et transmettent les coordonnées au bureau de recherche le plus proche. Le signal peut contenir l'information de la position prise par GPS ce qui rend la localisation plus aisée.

HF et VHF

Les **radiocommunications aéronautiques** sont dans des bandes de fréquences du spectre radioélectrique, réservée à l'aéronautique par des traités internationaux. Elles sont utilisées pour les communications entre les pilotes et le personnel des stations au sol. La bande décamétrique du service aéronautique est entre 3,4 MHz et 23,35 MHz. la bande aéronautique VHF s'étend de 108 MHz à 137 MHz.

RADIOALTIMETRE

Le **radioaltimètre** ou **sonde ou radar altimétrique** ou **altimètre radar** est un appareil à bord d'un aéronef (ou d'un satellite) destiné à mesurer sa hauteur par rapport au sol ou la surface de l'eau. En aéronautique c'est un instrument d'aide au pilotage en particulier en vol sans visibilité, ou vol aux instruments. Il indique la hauteur de l'aéronef au-dessus du sol et non l'altitude barométrique mesurée par un altimètre simple. Le « 0 » correspondant à la position de l'appareil au moment précis où, lors de l'atterrissage les roues entrent en contact avec le sol.

GPS

Pour l'OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale), le système de navigation par satellites (GNSS : Global Navigation Satellite System) est le système de radionavigation destiné à compléter ou remplacer dans un premier temps un certain nombre d'autres moyens de navigation comme les VOR, les radiobalises MF, et à plus long terme les ILS. La navigation de surface permet à un aéronef de suivre les itinéraires préférés par l'usager d'un point de cheminement à un autre, ces points de cheminement ne dépendant pas d'une infrastructure au sol. Le GPS et ses compléments visent aujourd'hui toutes les phases du vol. C'est particulièrement vrai dans les endroits où les aides à la navigation et l'équipement de surveillance au sol laissent à désirer.

20 février 2017. Aux États-Unis, les avions de ligne s'essayaient au guidage par GPS pour éviter les retards. La Federal Aviation Administration (FAA), l'agence gouvernementale en charge de l'aviation civile américaine, veut en finir avec les interminables tours aériens de l'aéroport souvent imposés aux voyageurs juste avant d'atterrir, un désagrément causé lorsque le pilote se trouve obligé de rester dans les airs le temps qu'une piste se libère. L'objectif : permettre, d'ici **2030**, d'assurer toutes les étapes d'un vol — du pré-décollage à l'atterrissage — grâce des outils de suivi numérisés et une localisation par GPS en remplacement du traditionnel radar. Leighton Quon, chef de projet à la Nasa, juge cette évolution indispensable : « *Le problème des radars tient à l'imprécision de leurs données et aux retards provoqués par la communication entre [le pilote et le contrôleur aérien] : un plus grand espacement entre les avions est nécessaires* ».

TCAS

Le **Traffic alert and Collision Avoidance System** (TCAS) (en français : « système d'alerte de trafic et d'évitement de collision ») également appelé ACAS ("Airborne alert and Collision Avoidance System") selon l'OACI, est un instrument de bord d'avion destiné à éviter les collisions en vol entre aéronefs.

L'Organisation de l'aviation civile internationale le prescrit pour les avions de plus de 5 700 kg ainsi que pour ceux qui sont autorisés à transporter plus de 19 passagers.

Son rôle est de détecter les aéronefs environnants s'ils sont équipés de transpondeur (ce n'est pas un radar, il ne détecte pas un avion sans transpondeur ou transpondeur coupé), d'alerter l'équipage d'un risque potentiel de collision (TCAS génération I et au-dessus) et de générer pour les modèles les plus sophistiqués (TCAS II et au-dessus) le cas échéant des alarmes et des ordres de manœuvre d'évitement dans le plan vertical (montée/descente: TCAS II et au-dessus) et/ou horizontal (TCAS III et au-dessus, non implémenté à l'heure actuelle).

Comment fonctionne le TCAS qui a permis d'éviter une collision en plein ciel belge ?

Publié le 18/01/2017 À 17H51

Le 1er janvier, une catastrophe aérienne a été évitée de justesse après qu'un Airbus A320 de la compagnie Air France et un avion-cargo A300 soient passés très près l'un de l'autre. C'est grâce au système anticollision, le TCAS, que les appareils ont pu dévier leur trajectoire et éviter l'incident.

La première catastrophe aérienne de l'année a bien failli avoir lieu dès le 1^{er} janvier. C'est au-dessus de la Belgique, au Nord de Gand, que l'incident s'est produit. Un airbus A320 de la compagnie Air France reliait Paris à Amsterdam lorsqu'un avion-cargo A300 d'Egyptair a failli le percuter quelques minutes après son décollage depuis Ostende, en Belgique. Il a fallu l'intervention du système anticollision, le TCAS, pour éviter l'impact. Le Bureau d'enquête et d'analyse (BEA) belge a ouvert une enquête pour découvrir les détails de l'incident.

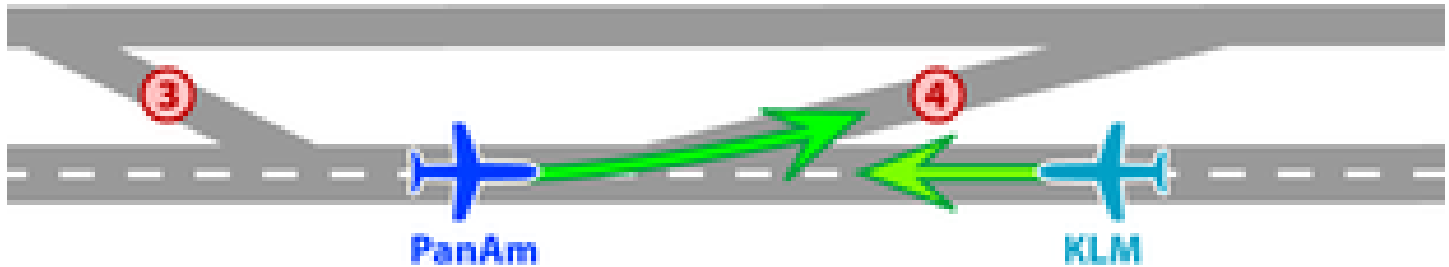
Le TCAS signifie Traffic alert and Collision Avoidance System (système d'alerte de trafic et d'évitement de collision). Equipé sur l'ensemble des avions de lignes, il fonctionne à partir du transpondeur de l'appareil, l'outil qui permet aux contrôleurs aériens de connaître sa position dans le ciel. "*Cela permet de savoir la position des autres avions par rapport à un trajet*", explique Véronique Damon, secrétaire au Syndicat national des pilotes de ligne (SNPL) et pilote sur [Boeing](#) 777 chez Air France.

Radar de surface ASDE

L'**accident aérien de Tenerife** est survenu le **27 mars 1977** : deux Boeing 747, l'un de la KLM et l'autre de la Pan Am, se percutent sur la piste de l'aéroport de Los Rodeos, situé sur l'île de Tenerife aux Canaries, entraînant la mort **de 583 personnes**. Alors que l'aéroport est plongé dans le brouillard, le pilote du 747-200

de la KLM entame son décollage et percute le 747-100 de la Pan Am qui est alors en train de remonter la piste. L'accident, également désigné « le crash du siècle », est à ce jour l'accident le plus meurtrier de l'histoire de l'aviation commerciale.

Los Rodeos



Le radar de surface **ASDE** (**A**irport **S**urface **D**etection **E**quipment) est un radar de haute performance pour balayer les pistes et le tarmac afin de coordonner les mouvements des avions et des véhicules de surface par le contrôleur aérien.

Le Raytheon ASDE utilise la bande Ku (16 GHz) ou X (9.5 GHz) et une polarisation circulaire pour suivre efficacement les cibles. Ses limites, comme pour tout radar primaire, sont les retours par réflexion multiple et l'identification des cibles. Il est installé dans les grands aéroports. L'antenne a une envergure de l'ordre de 4 m en Ku et 6 m en X ce qui conduit à une largeur de faisceau de l'ordre de 0.3° pour avoir une bonne résolution angulaire et elle tourne à 1 tour/seconde pour avoir une bonne position des avions qui atterrissent. Pour l'A320 d'Airbus que je pilote, la vitesse au toucher des roues est en moyenne de 120 à 140 nœuds (milles marins à l'heure) soit $130 \times 1.852 / 3600 = 70$ m/s. D'autre part la largeur des impulsions émises est de 40 ns pour avoir une excellente discrimination en distance ($40 \times 10^{-9} \times 3 \times 10^8 / 2 = 6$ m). Sa portée est de 7 à 8 km.

La mission d'un radar de surface est de donner de l'information sur la position de tous



La mission d'un radar de surface est de donner de l'information sur la position de tous les objets et les mouvements des véhicules au sol. Il permet de connaître en toutes conditions météorologiques ce qui se passe sur le tarmac, les pistes et toutes les surfaces adjacentes.

Le radar de détection des mouvements au sol ASTRE 2000 est, ou était, installés entres autres endroits dans les aéroports d'Athènes de Berlin-Tegel, de Dublin, d'Édinbourg, de Heathrow, de Milan, de Moscou, d'Orly, de Prague, de Stansted et de Vienne.