

## Systemes d'aide à l'atterrissage

### A. Introduction :

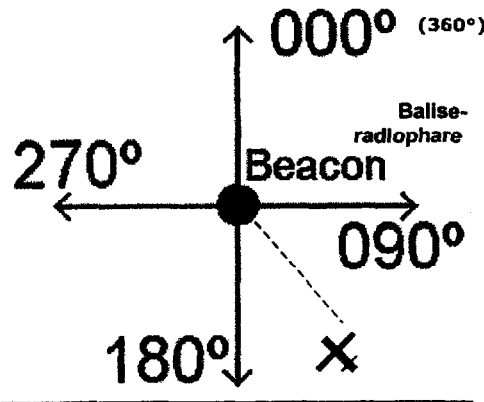
Lorsqu'un avion entame la phase d'approche finale de la piste d'atterrissage, le pilote doit gérer un certain nombre de paramètres ; ceux-ci dépendent du type de l'aéronef et des différentes installations de l'aéroport («ground facilities»).

Ces paramètres comportent :

- plan de l'aéroport et caractéristiques des pistes («approach final chart»-support papier).
- informations transmises par la tour de contrôle ( référence de la piste d'atterrissage, consignes d'atterrissage, attente éventuelle).
- consignes d'alignement vertical (pente) et horizontal (cap), distances, transmises par les installations au sol, par voie hertzienne.
- caractéristiques et performances de l'avion.
- conditions météorologiques.
- paramètres visuels.

### B. Description de quelques systèmes d'aide à l'atterrissage implantés au sol

#### B.1. VOR (« VHF omnidirectional range »)

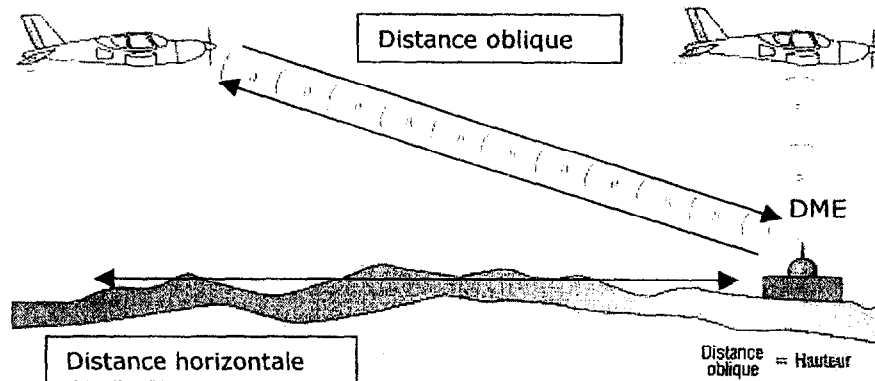


La balise est omnidirectionnelle ; elle émet sur 360° ; elle transmet à l'avion l'azimut (angle formé entre le nord magnétique (0°) et la droite reliant la balise à l'avion, ex. : 135° sur la figure ci-contre). Chaque piste possède une caractéristique en azimut : il suffit donc à l'avion de s'aligner sur celui-ci.

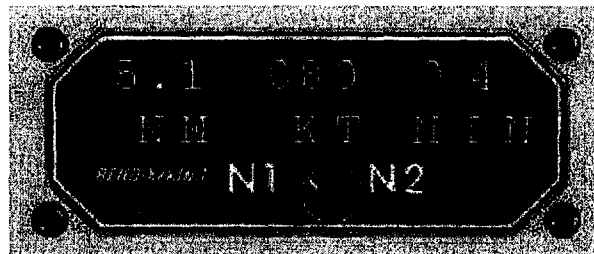
Les T VOR sont des VOR de navigation à courte distance et sont utilisés comme support à une procédure d'approche. Leur portée est de 25 NM («Nautic Mile = mille marin = 1852m, soit 25NM= 46.2 km). La puissance rayonnée par les balises T VOR est de 50 W. L'émetteur T VOR émet une porteuse VHF dans la bande 108 - 112 MHz. L'émetteur lui fait transporter deux modulants. Le signal de phase de référence émet dans toutes les directions. Un second signal de phase variable balaie dans un rayon de 360 degrés comme le faisceau d'un phare. Les deux signaux sont en phase chaque fois que le signal variable est à 000 degrés (par rapport au nord magnétique) ; ils sont déphasés de 180 degrés chaque fois que le signal rotatif est à 180 degrés. A bord de l'avion, un comparateur de phase mesure la différence de phase entre les deux signaux, nécessaire au calcul de l'azimut.

Toutes les 30 secondes, une modulation à 1020 Hz se superpose permettant la transmission de l'indicatif de la balise en morse (3 lettres).

## B.2. DME ( « distance measuring equipment » )



Le DME est un ensemble comprenant un élément interrogateur embarqué et, au sol, un élément répondeur généralement associé à un VOR ou à un ILS. Il donne une information de distance oblique (et non pas de distance réelle) en milles nautiques (NM) par rapport à la balise au sol grâce à la mesure du temps de réponse. Un calculateur intégré au DME embarqué permet également d'obtenir la vitesse sol de l'avion en nœuds (KT= 1 nœud = 1 mille marin / heure) et le temps en minutes pour rejoindre la station. En passant à la verticale d'une station DME, l'instrument indique une hauteur au-dessus de la station.



Pour cet exemple ci-contre:

Distance: 5,1 NM

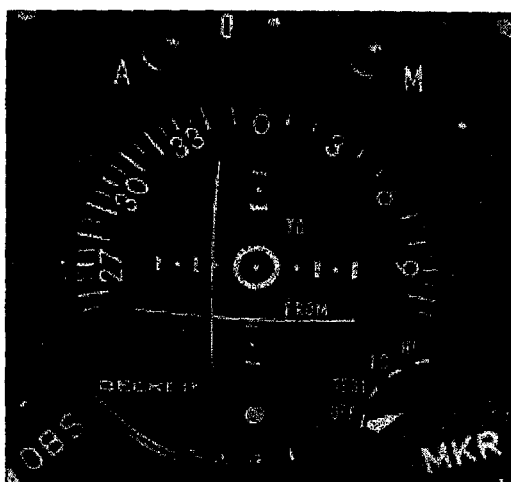
Vitesse: 80 KT

Temps estimé: 4 MINutes

Le DME fonctionne dans la gamme des ultra hautes fréquences (UHF de 962 MHz à 1213 MHz) et sa portée correspond à la portée optique, soit 200 NM (370 km) sur la plupart des appareils embarqués. Le principe du DME consiste à mesurer le temps qui s'écoule entre l'émission d'un signal radioélectrique codé en provenance de l'avion et la réponse émise par la balise au sol. Ces deux signaux utilisent un couple de fréquences différentes appelé canal. Le canal utilisable correspond à des fréquences UHF couplées selon les normes OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) à des fréquences VHF (108 MHz à 117.95 MHz) correspondant aux fréquences des balises VOR ou ILS affichables sur l'appareil. La fréquence du DME est appariée de façon automatique à la fréquence VHF du VOR ou de l'ILS auquel il est associé. L'avion émet des paires d'impulsions (12  $\mu$ s pour le mode X ou 36  $\mu$ s pour le mode Y) d'interrogation espacées de manière aléatoire sur une fréquence donnée. La balise au sol va renvoyer le signal sur une fréquence décalée de  $\pm 63$  MHz (selon la fréquence d'interrogation) ce qui permet d'éliminer les échos sol, les interrogations des autres avions et de régénérer le signal. Le récepteur de bord capte les impulsions de réponse (le temps écoulé entre l'envoi de l'impulsion d'interrogation et la réception de l'impulsion réponse est transformé en distance).

### B.3. ILS (« Instruments Landing System »)

L'ILS est un système d'aide à l'atterrissage aux instruments. Il permet de respecter une trajectoire de descente aboutissant à une piste. Les informations délivrées au pilote sont une information d'écart latéral par rapport à l'axe de la piste (*Localizer-cap*) et une information d'écart vertical par rapport au plan de descente idéal (*Glide Path-pente*) qui est généralement de l'ordre de 3°. Une information discontinue de distance par rapport au seuil de piste est donnée par les markers et permet également un contrôle de la trajectoire. Une information continue de distance peut être obtenue si l'ILS est couplé à un DME.



#### L'afficheur de l'ILS :

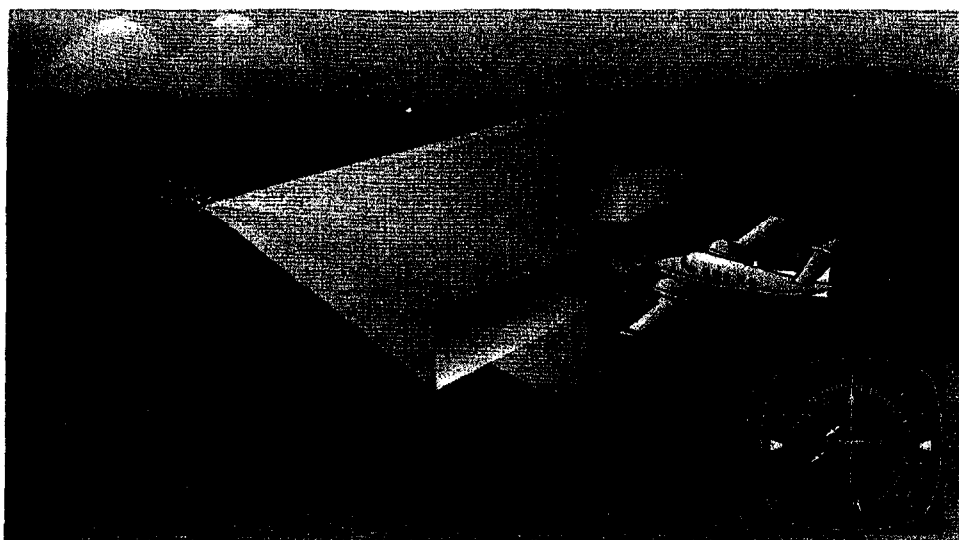
Le rond central représente la position de l'avion, l'aiguille verticale représente le localizer et l'aiguille horizontale représente le glide. Dans le cas représenté ici, l'avion est à droite de l'axe et au-dessus du plan de descente.

L'ILS fonctionne dans la gamme très hautes fréquences VHF de 107,95 à 111,95 MHz par 1/10 de MHz impairs. Le *Glide Path* fonctionne lui dans la gamme ultra hautes fréquences UHF de 329 MHz à 335 MHz. Mais, les fréquences associées au *glide* sont appariées aux fréquences du *localizer*. Lors de l'utilisation, on affiche donc uniquement la fréquence du *localizer*, obtenant ainsi la réception du *glide* directement. Six fois par minute, une modulation à 1020 Hz en code morse est émise sur la fréquence VHF du *localizer* permettant la transmission de l'indicatif de l'ILS (codé en morse sur 3 lettres) et son identification par le pilote.

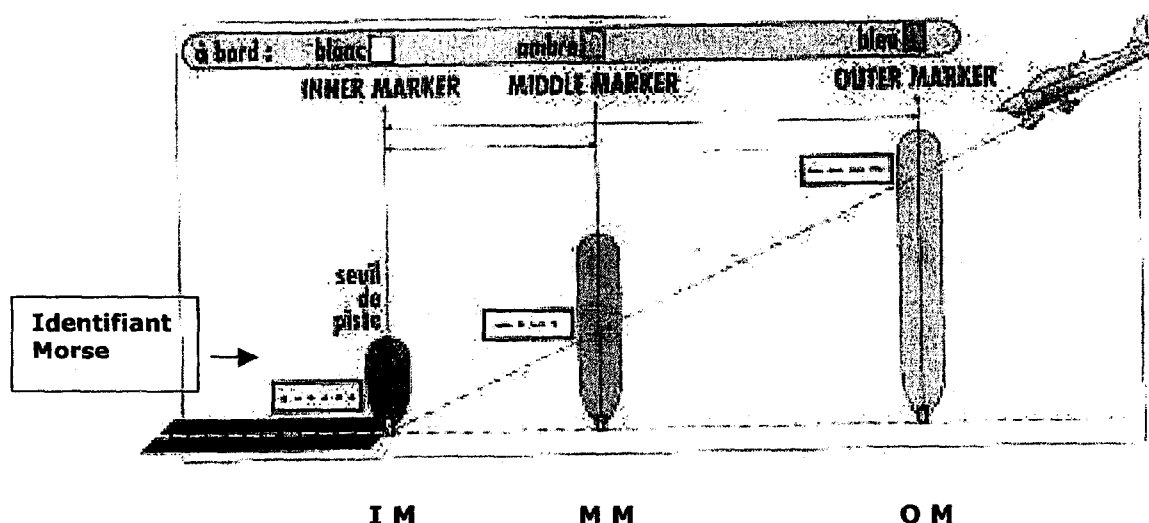
On distingue plusieurs catégories d'ILS selon la hauteur de décision (HD) permise (hauteur à laquelle le pilote remet les gaz s'il ne voit pas la piste) ainsi que la portée visuelle de piste (RVR) minimale autorisée :

- \* catégorie I (CAT I) : HD minimale de 200 feet (60,96 mètres) et **RVR** minimale de 550 mètres.
- \* catégorie II (CAT II) : HD minimale de 100 ft et RVR minimale de 300 mètres.
- \* catégorie III/A (CAT III/A) : HD inférieure à 100 ft et RVR minimale de 200 mètres.
- \* catégorie III/B (CAT III/B) : HD inférieure à 50 ft et RVR minimale de 75 mètres.

**Rappel :** 1 ft = 1 feet = 1 pieds = 30,48 cm = 0,3048 mètres.



#### B.4. Markers (« beacons » - balises)

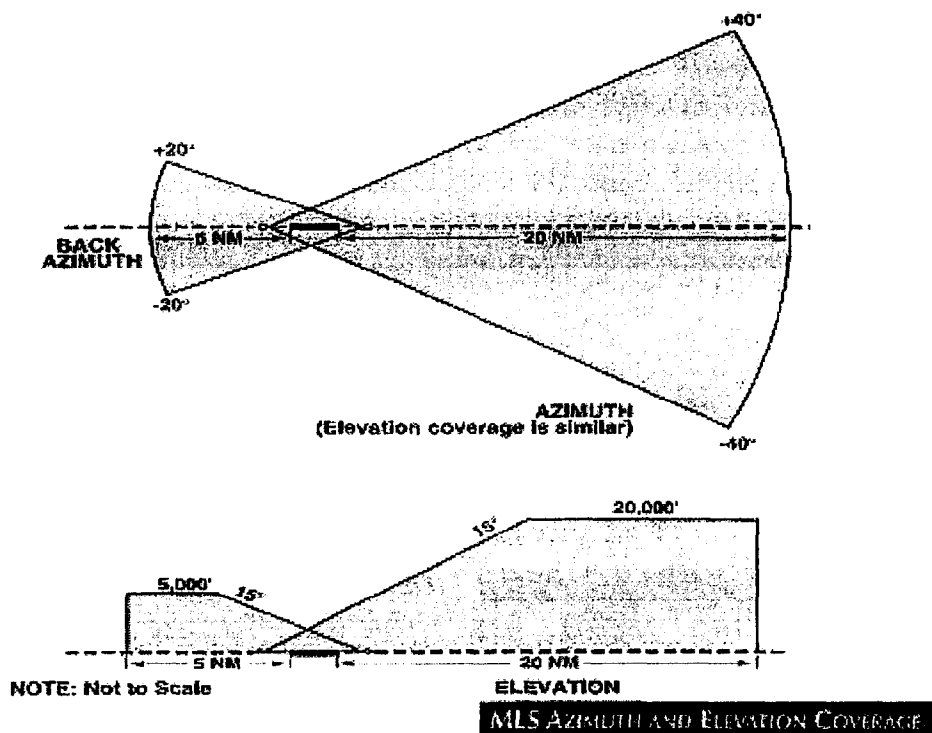


Les markers sont des radio-bornes à rayonnement vertical. Ils constituent une aide à la navigation à courte et moyenne distance. Les markers sont généralement placés sur l'axe d'approche finale. Toutefois, certains servent comme points de report en route (*fan markers*). Un ILS est presque toujours associé à des markers. Sur un axe de percée ILS, on distingue l'*Outer Marker* (balise extérieure), le *Middle Marker* (balise médiane) et l'*Inner Marker* (balise intérieure). Ces balises fournissent une information discontinue de distance par rapport au seuil de piste et jalonnent l'axe d'approche (parfois, seulement une ou deux balises sont implantées sur la trajectoire d'approche).

L'appareillage de bord est constitué d'un boîtier unique. Au passage à la verticale de la balise, la lampe du marker concerné clignote et un signal sonore émis en morse retentit. L'intensité lumineuse et sonore est maximale à la verticale de la balise. Les markers fonctionnent dans la gamme des très hautes fréquences VHF 75 MHz et ne diffèrent entre eux que par leur modulation. La puissance rayonnée est de 3 à 5 W. En finale, le pilote vérifie qu'étant bien aligné sur son plan (ILS), il passe les markers à la bonne hauteur, conformément à la fiche de percée («*approach final chart*»). Cela permet d'éviter d'intercepter des «*faux glides*».

### B.5. MLS (« Microwave landing system »)

C'est un système d'aide à l'atterrissage censé prochainement remplacer l'ILS et fournissant des informations d'azimut, d'élévation et de distance. Comme l'ILS, il permet au pilote de maintenir son aéronef dans la trajectoire idéale de descente. Le principe utilisé repose sur le balayage de 2 faisceaux en site et en azimut. Ce balayage s'effectue à l'intérieur de 2 secteurs déterminés. Le récepteur de bord reçoit 2 impulsions par balayage aller-retour. L'intervalle de temps mesuré entre ces deux impulsions est proportionnel à l'azimut ou au site de l'avion. Le MLS assure aussi un guidage en *Back Beam* (axe inverse, approche interrompue ou décollage). Le battement des 2 faisceaux s'effectue à vitesse angulaire constante. Le MLS permet d'effectuer des approches courbes et segmentées. Il fonctionne dans la bande C (5 GHz avec 200 canaux utilisables).



### B.6. GPS (« Global Positioning system »)

Ce système permet de fournir au pilote la position, la vitesse sol et l'altitude de l'aéronef. L'installation GPS aéroportée comprend une antenne et un récepteur. Celui-ci reçoit les signaux transmis par une constellation de vingt-quatre satellites (un signal L1 de 1575,42MHz avec codes d'acquisition et de précision, un signal L2 de 1227,6MHz avec code de précision), les traite et par triangulation détermine la position de l'aéronef dans l'espace (donc sa position géographique et son altitude). Ayant mémorisé les positions précédentes et disposant d'une horloge interne, il calcule et fournit la vitesse. Pour éviter toutes erreurs provenant des satellites, les signaux transmis sont surveillés et peuvent être corrigés par des stations terrestres.

**C. Présentation fonctionnelle : Systèmes d'aide à l'atterrissage.**

*Le système retenu associe un avion et l'aéroport où il doit atterrir ; l'étude portera principalement sur les structures de réception de l'aéronef qui participent à la procédure d'atterrissage.*

**Conseils spécifiques pour la préparation :**

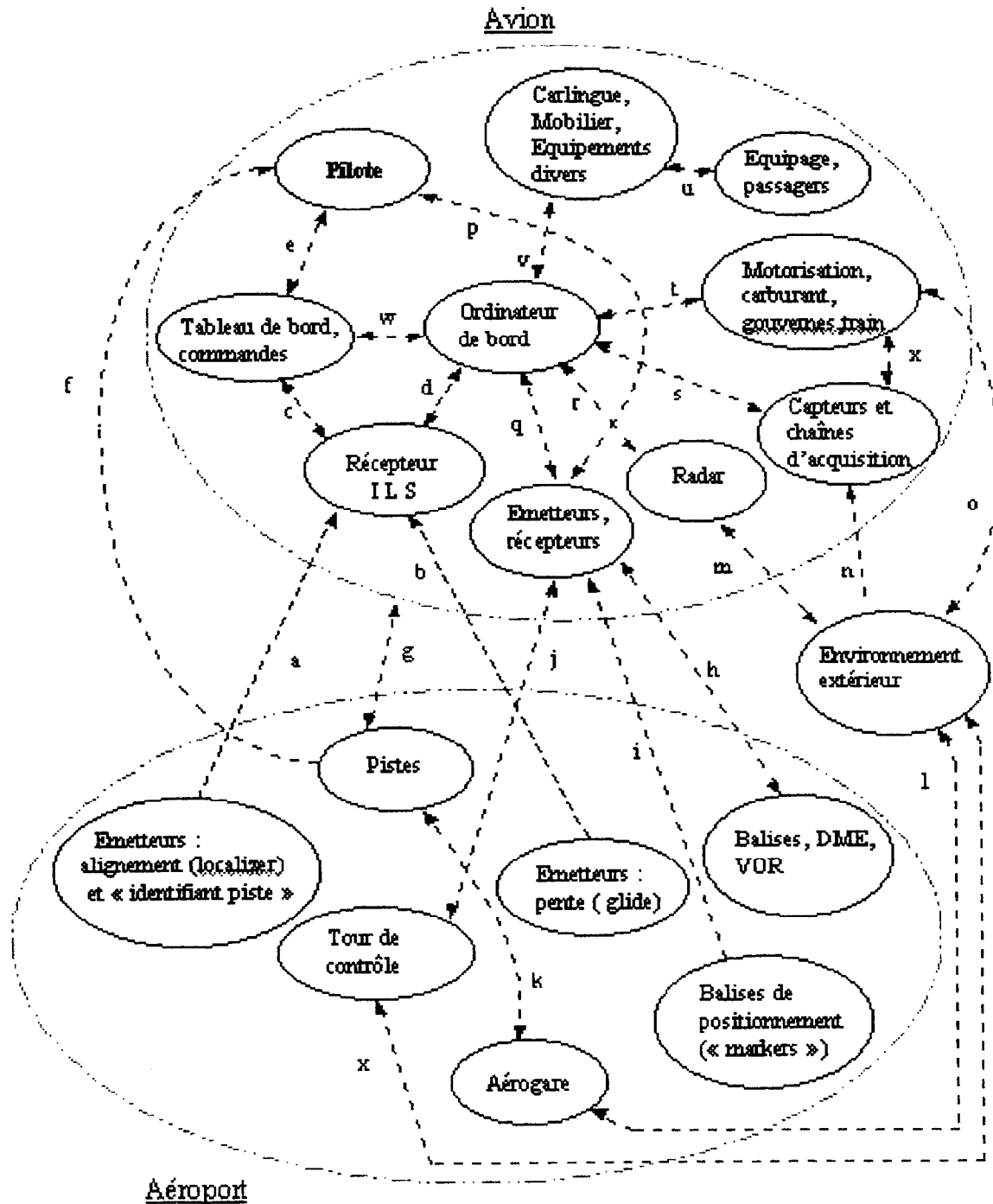
- **EST :** - Réception hétérodyne VHF et UHF ; bus avioniques ARINC ; différentes unités utilisées en aéronautique.
- **PHYSIQUE APPLIQUEE :** les notions abordées dans le cadre de l'épreuve font partie des thèmes étudiés au cours des deux années de formation.

( Diagramme sagittal à suivre )

**c.1. Diagramme sagittal du système technique :**

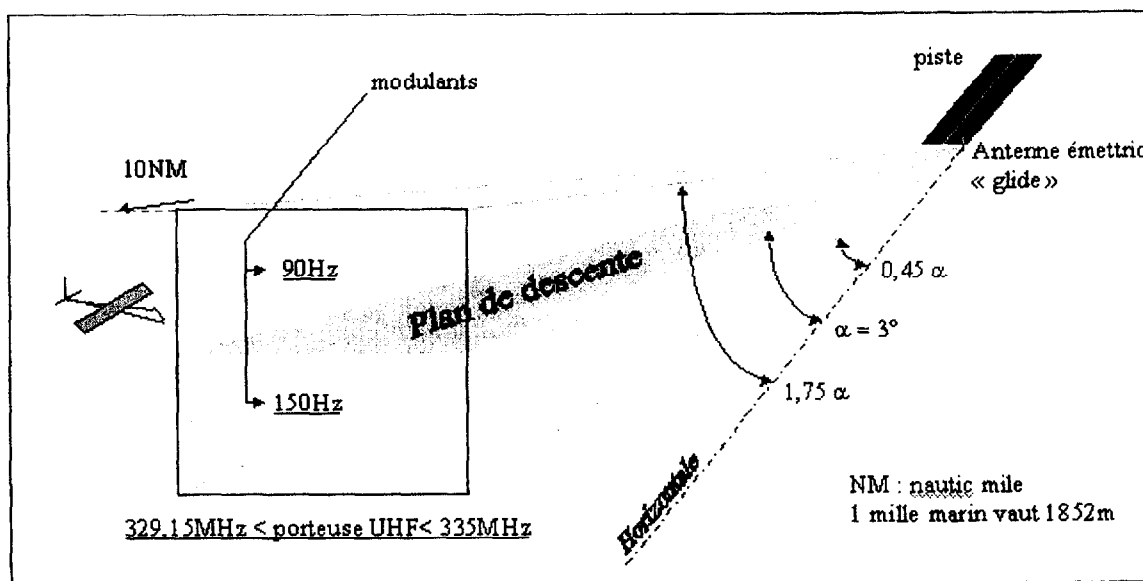
**SYSTEMES D'AIDE A L'ATTERRISSAGE**

**Diagramme sagittal**



**C.1.1. Descriptif****C.1.1.a. Aéroport :**

- Tour de contrôle : elle gère le trafic aérien (atterrissages, décollages, mouvements des aéronefs sur les pistes et dans l'espace aérien) .
- Aérogare : ensemble des bâtiments d'un aéroport réservés aux voyageurs et aux marchandises .
- Pistes : l'aéroport possède une ou plusieurs pistes, possédant chacune un code d'identification (identifiant) et un ensemble d'émetteurs des informations « cap, identifiant et pente »
- Emetteurs « alignement, identifiant piste et pente » : chaque piste possède deux émetteurs placés respectivement à chaque extrémité de la piste (cf. fig. 1 et 2) ; ils transmettent à l'aéronef, par voie hertzienne, des informations lui permettant d'identifier la piste et les consignes à suivre lui garantissant un atterrissage d'atterrir sans « casse ».



**Figure 1** : guidage vertical / plan de descente (« glide slope : pente de glissement »)



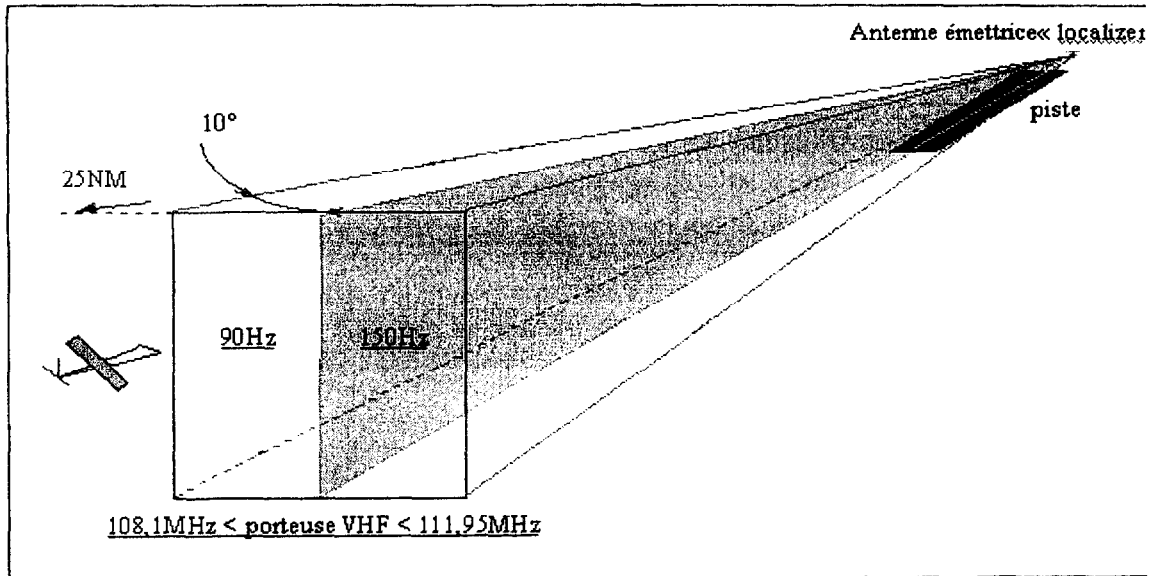


Figure 2 : guidage horizontal / axe de la piste (« localizer : alignement »)

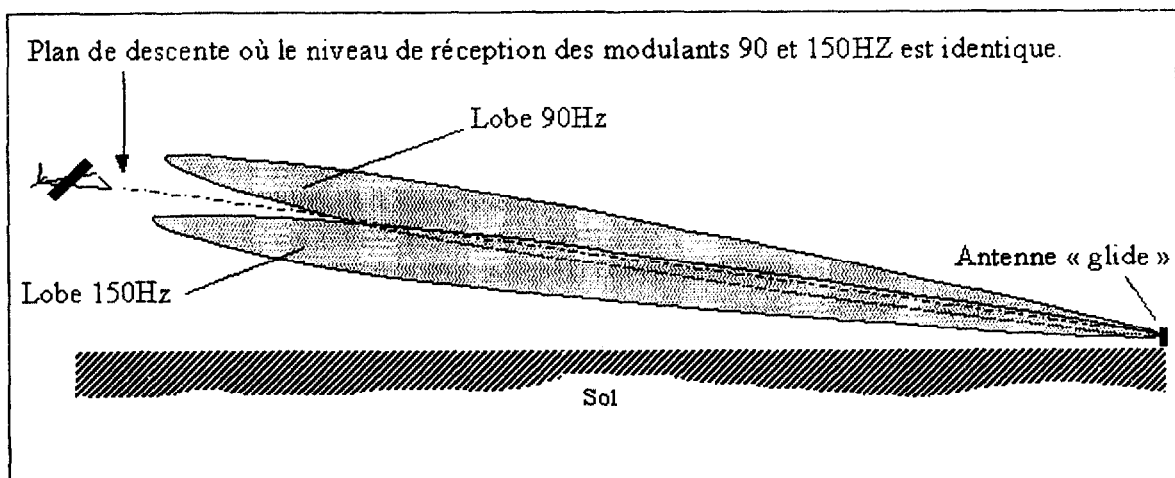
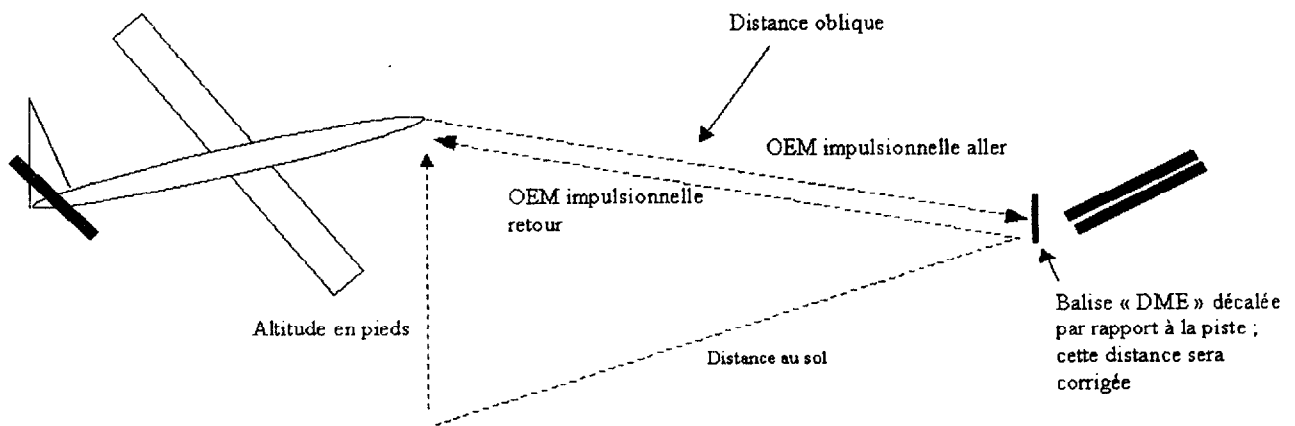


Figure 4 : directivité de l'antenne « glide »

- Balise « VOR » : cet émetteur omnidirectionnel transmet à l'aéronef deux OEM (ondes électromagnétique) lui permettant de calculer son azimuth , ceci de manière à ce qu'il puisse s'aligner dans l'axe de la piste d'atterrissage, de sa trajectoire de consigne.

- Balise « DME » (Distance Measuring Equipment) : cet émetteur-récepteur, situé à proximité de l'émetteur « localizer », transmet à l'aéronef par voie hertzienne une information qui lui permet de calculer en mille marin (nautic mile) la distance oblique qui le sépare de la piste .

**Figure 6 : mesurage de la distance oblique ( DME )**



Les OEM d'interrogation (aller) et de retour sont décalées de 63 MHz ; deux canaux sont donc nécessaires pour assurer la communication entre l'aéronef et la balise DME ; la bande de fréquences DME est 960MHz – 1215MHz ; les canaux sont espacés de 1MHz ; la mesure de la distance oblique se fait par la mesure du temps écoulé entre le moment où l'avion émet une impulsion et l'instant où il reçoit le retour de la balise au sol.

Lors d'une approche aux instruments **ILS**, l'angle  $\alpha$  de la pente de consigne est de 3 degrés par rapport au sol. La distance oblique **DO**, mesurée par le système **DME**, est sensiblement égale à la distance au sol **DS**.

Notons **H** l'altitude, perpendiculaire au sol. (généralement exprimée en pieds, « feet »).  
Exprimons **DO**, **DS** et **H** avec la même unité, par exemple en NM ( Nautic Mile, Mille marin)

Plan de descende, Glide,  $\alpha = 3^\circ$

On a une pente  $\text{tg } \alpha = H / DS \approx 5,24\%$

Alors (Pythagore) ,  $DS^2 + H^2 = DO^2$

et  $DS = DO \cos \alpha$        $H = DO \sin \alpha = DO$

donc,  $\cos \alpha = 0,998629$  et on a bien  $DO \approx DS$  à  $1 - \cos \alpha = (DO-DS)/DO = 0,137\%$  près.

- Balise « markers » : ces émetteurs placés au sol, indiquent à l'aéronef qu'il vient de franchir des distances de seuil de décision qui associées aux informations de cap et de pente permettront au pilote de poursuivre ou non la procédure d'atterrissage. (cf. figure 3)

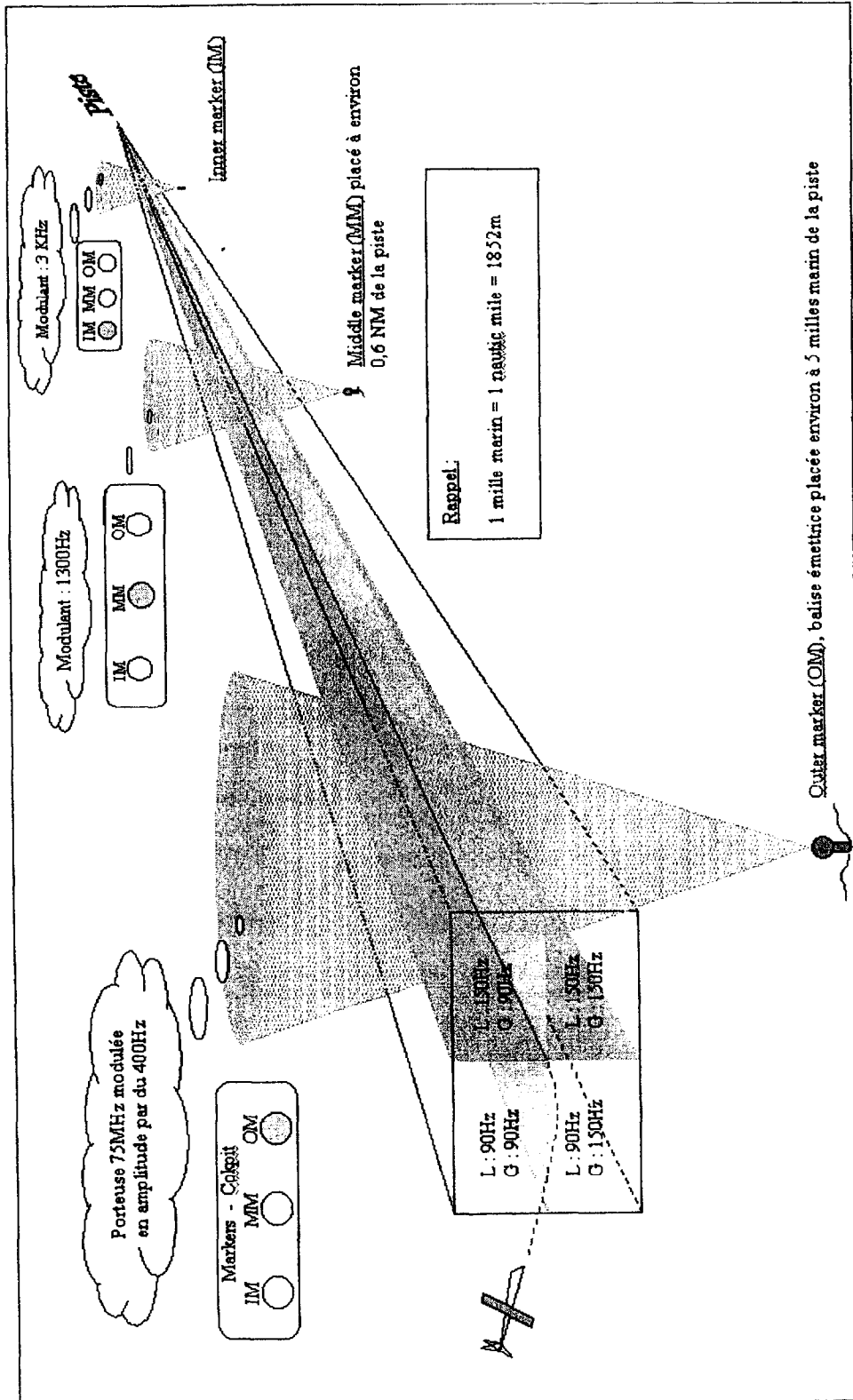


Figure 3 : balises de positionnement (markers)