

L'ILS (Instrument Landing System)

Généralités

L' ILS (Instrument Landing System) est un système automatique d'aide à l'atterrissage, utilisé dans l'aviation civile. Il permet des approches par conditions météorologiques dégradées, en offrant un guidage de précision dans les plans verticaux et horizontaux jusqu'au seuil. L'ILS comprend :

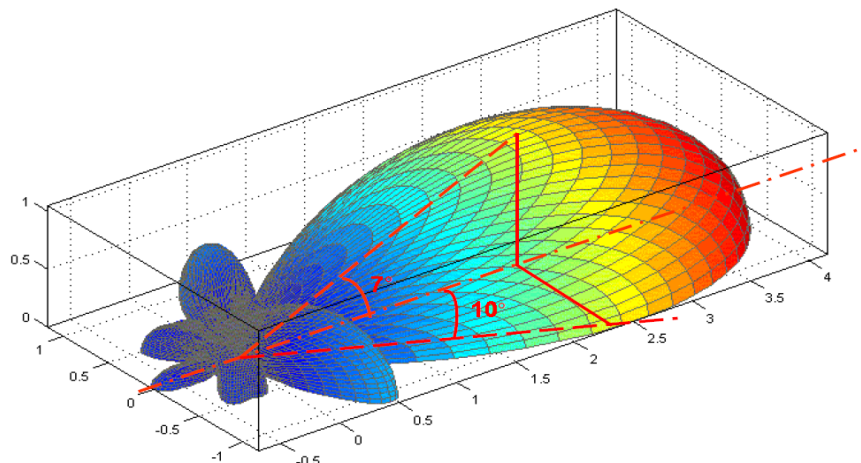
- Un système de guidage horizontal appelé **LOCALIZER**
- Un système de guidage vertical appelé **GLIDESLOPE**
- Des radiobalises d'alignement appelées **MARKER BEACONS**
- Un équipement de contrôle et de surveillance
- Un balisage et un marquage au sol spécifique.

Le localizer fournit les informations de guidage dans le plan horizontal. Ce dernier émet, grâce à un ensemble d'antennes situées dans le prolongement de la piste, un double faisceau radioélectrique permettant de fournir au pilote une indication d'écart horizontal par rapport à l'axe de piste.



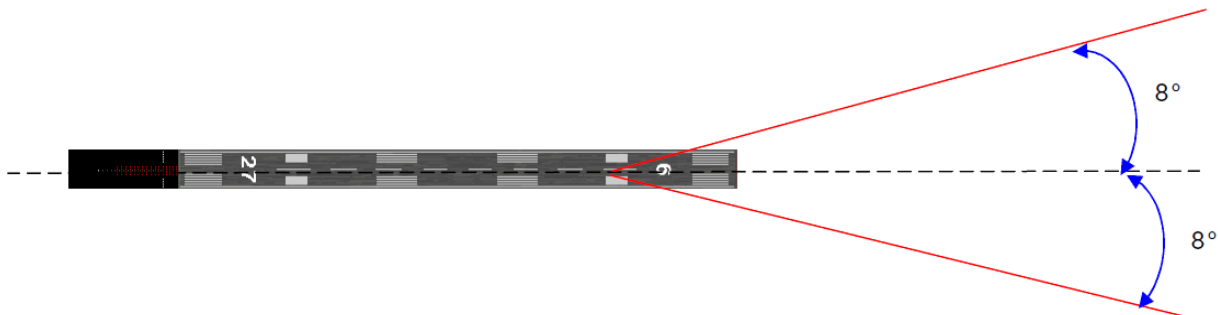
Réseau d'antennes de type « log périodique » d'un LOCALIZER

La portée de ce faisceau est d'environ 25 nm par rapport à l'antenne émettrice avec un angle d'ouverture de plus ou moins 10° en azimut (par rapport à l'axe de piste) et de 7° en site (par rapport à l'horizontale).

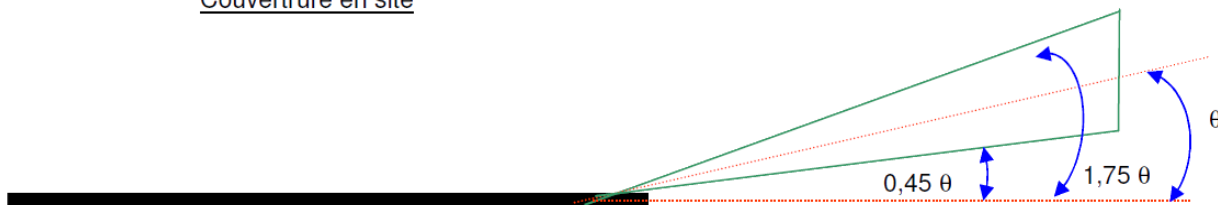


Le **glideslope** fournit au pilote une information d'écart par rapport au plan de descente. Il émet des faisceaux radioélectriques dans le prolongement de l'axe de piste qui assurent une couverture en azimut de 8° de part et d'autre de l'axe ainsi qu'une couverture en site comprise entre $0,45$ et $1,75$ de l'angle de site de l'alignement de descente et varie entre 2 et 4° .

Couverture en azimut



Couverture en site



Couverture des faisceaux du glideslope

Deux ou trois antennes (en fonction du terrain et du système utilisé) polarisées horizontalement, disposées verticalement sur un pylône situé sur l'un des côtés de la piste.



Glideslope standard : Système « Nul référence »



Système « Capture Effect »

Les **marker beacons** sont des radiobalises à rayonnement vertical, implantées tout le long de l'axe d'approche, à des distances variables du seuil. Leur rôle est de renseigner le pilote du passage de l'appareil à leur verticale et ainsi de corrélérer le plan de descente fourni par le **glideslope**. Ces balises émettent verticalement un signal unique de 75 MHz. Elles tendent à disparaître au profit des **DME** et la première est souvent remplacées par un **NDB** de faible puissance.



Installation au sol d'un OUT MARKER

La première balise, appelée **OM** (Outer Marker) est généralement située à 3,9 Nm du seuil de piste. Cependant cette distance peut varier, en fonction des configurations des terrains, entre 3,5 et 6 Nm. Au passage de la verticale, un voyant de couleur bleu s'allume au tableau de bord et une tonalité de 400 Hz, pulsée en code Morse, se fait entendre dans le cockpit : Deux traits par seconde.



La seconde balise, appelée **MM** (Middle Marker) est idéalement placée à 3500 ft du seuil. Au passage de la verticale, un voyant de couleur ambre s'allume au tableau de bord et une tonalité de 1,3 KHz, pulsée en code Morse, se fait entendre dans le cockpit : Un point et un trait par seconde.



La troisième balise, appelée **IM** (Inner Marker) est située à environ 1000 ft du seuil de la piste et en indique l'imminence d'arrivée. C'est typiquement la position du minimum de décision pour une approche ILS de catégorie II. Au passage à la verticale, un voyant de couleur blanche s'allume au tableau de bord et une tonalité de 3KHz, pulsée en code Morse, se fait entendre : Points en continu.



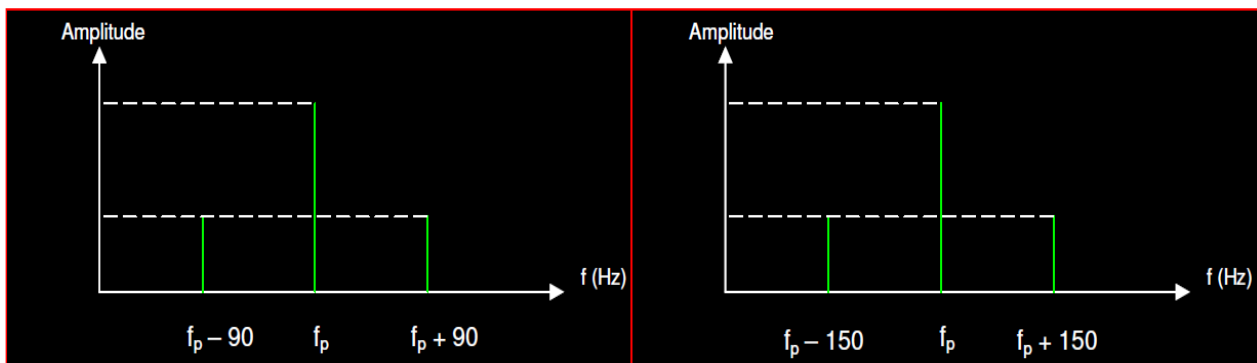
Fréquences utilisées

Le **localizer** émet presque dans la même bande VHF que les **T-VOR**. Plus précisément entre 108,10 et 111,95 MHz, mais alors avec décimale impaire (Ex: 108,10 – 108,15 – 108,30 – 108,35 etc...). Quant à lui, le **glideslope** utilise des fréquences UHF comprises entre 328.65 et 335.40 MHz. Ces dernières sont appairées aux fréquences des localizer et sont donc automatiquement syntonisées, de façon transparente, quand la fréquence du localizer l'est elle même sur le récepteur de NAV. Enfin, les **Markers** émettent sur une fréquence unique de 75 MHz.

Fonctionnement

Afin de simplifier l'étude du système, on considère deux antennes directives, présentant des faisceaux très étroits, situées de part et d'autre de la piste et qui émettent, dans le prolongement de l'axe de cette dernière, des signaux modulés en amplitude à des fréquences différentes. L'antenne située sur le côté droit de la piste rayonne une porteuse modulée par un signal AM de 150 Hz et l'antenne située sur le côté gauche, émet une autre porteuse, modulée par un signal AM de 90 Hz.

Les fréquences et les amplitudes des deux porteuses sont identiques et chacune est modulée à 40 % par son signal défini. Le spectre rayonné par chaque antenne présente donc un pic central qui est la porteuse et deux petites bandes latérales correspondant aux enveloppes des deux modulations.



Antenne gauche

Antenne droite

Spectre de rayonnement des deux antennes

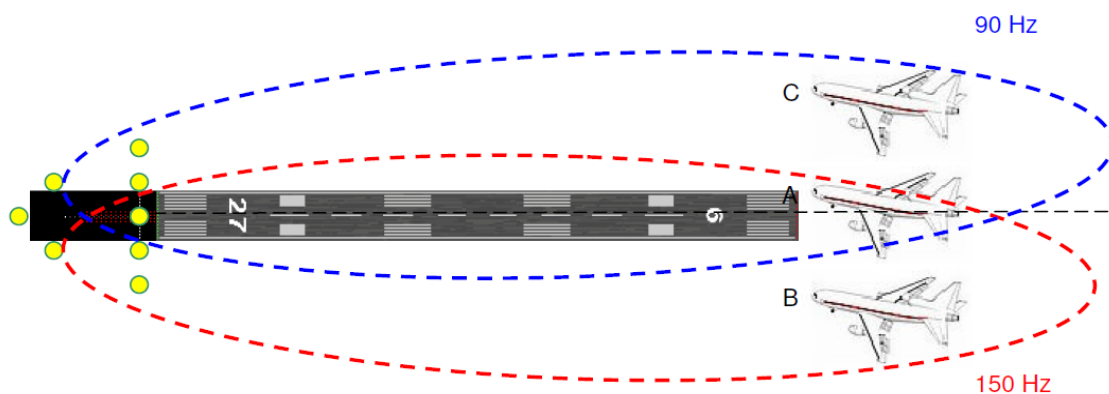
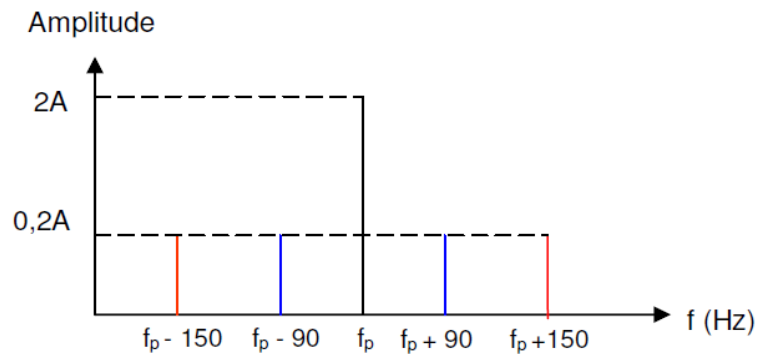


Schéma de principe du localizer

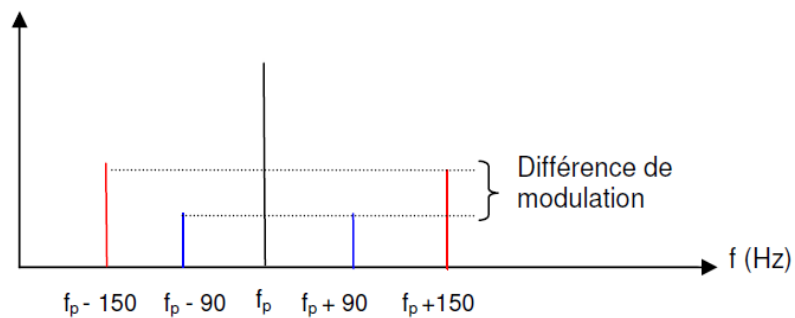
Au point A (axe de la piste), le récepteur reçoit autant d'énergie des deux antennes à cause de la symétrie. Les deux porteuses étant en phase, leurs signaux s'additionnent. Mais pas les bandes latérales, puisque leurs fréquences sont différentes.



Spectre reçu par le récepteur au point A

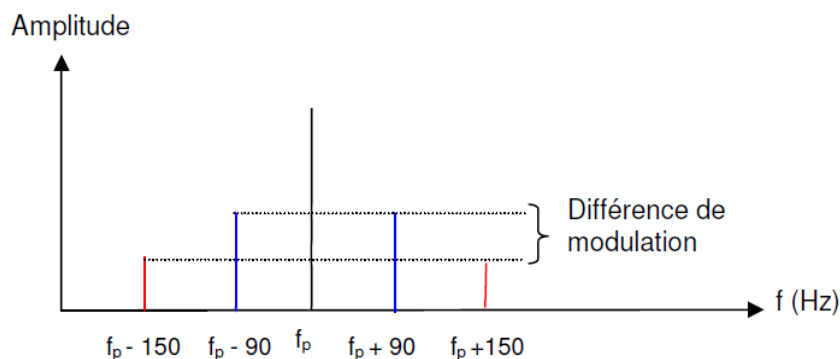
L'amplitude de la porteuse ayant doublé, mais celle des bandes latérales restant constante, son taux de modulation initiale (M_i) de 0,4 (40%) passe logiquement à une modulation résultante (M_r) de 0,2 (20 %) selon la relation : $M_i \times A / 2 = M_r \times 2A / 2$ d'où $M_r = M_i/2$

Au point B, le récepteur reçoit plus d'énergie de la porteuse modulée en 150 Hz que de la porteuse modulée en 90 Hz. L'amplitude de la porteuse est légèrement inférieure à $2A$, mais, cela n'a aucune importance, puisque c'est la différence de modulation (DDM) qui est mesurée. Cette DDM n'étant pas nulle, une indication de déviation vers la gauche est alors transmise à l'afficheur.



Spectre reçu par le récepteur au point B

Au point C, l'énergie de la porteuse modulée à 150 Hz est moindre que celle modulée à 90Hz. La DDM mesurée et transmise à l'afficheur indiquera alors la déviation vers la droite



Spectre reçu par le récepteur au point C

Le principe pour la réception est extrêmement simple. Il s'agit de comparer deux amplitudes de deux signaux de fréquences différentes. Pour cela, après détection, les signaux sont appliqués à des filtres passe bande de 90 Hz et 150 Hz qui vont en effectuer la séparation. Une fois redressées les tensions résultantes sont envoyées à l'afficheur.

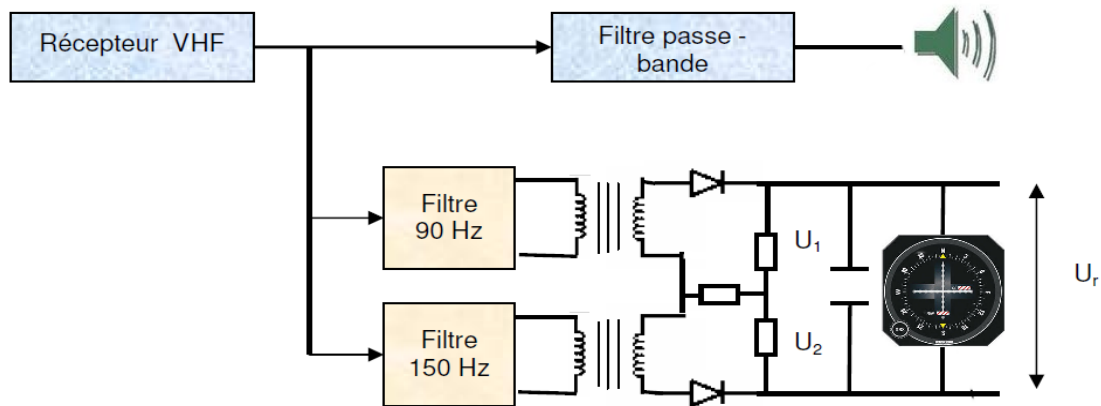
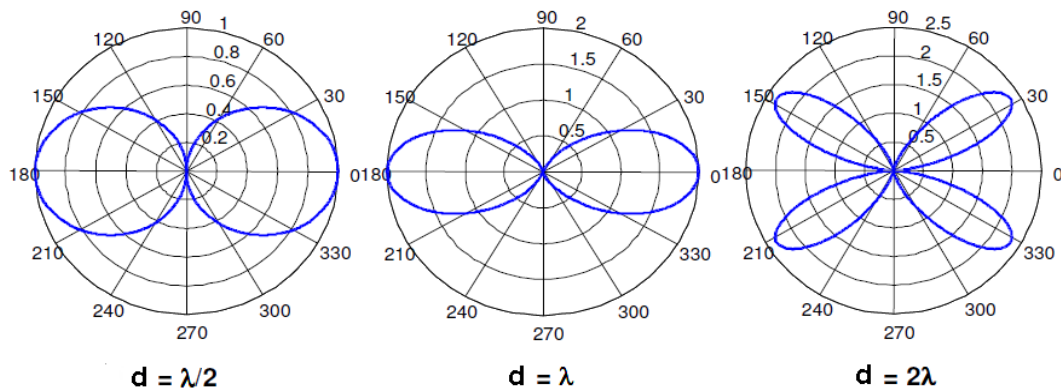


Schéma fonctionnel d'un récepteur LOC

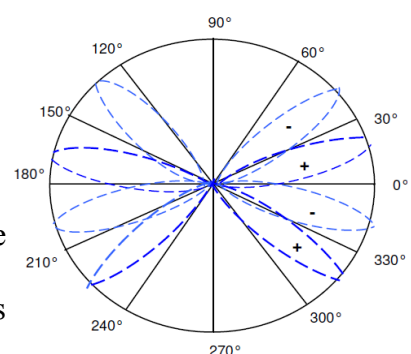
Par contre, pour en revenir au système au sol et bien que les principes exposés jusque là soient tout à fait conformes, c'est tout de même un peu plus compliqué. En effet, des antennes avec de pareilles caractéristiques directionnelles n'existent pas. Ou alors elles nécessiteraient des paraboles tellement gigantesques, que ce n'est pas envisageable. Aussi, utilise-t-on plutôt des antennes moyennement directives, mais précisément espacées les unes des autres et couplées en réseau afin de créer un diagramme de rayonnement commun, suffisamment étroit.



Diagrammes de rayonnement de deux antennes couplées en fonction de leur espacement

D'autre part, si on alimente deux antennes séparées avec des signaux opposés en phase, il n'y aura alors aucun rayonnement entre les antennes.

Nous n'irons pas plus loin dans le développement des détails mais sachez toutefois qu'une antenne ne présentant aucun rayonnement dans la direction de l'axe de piste s'appelle **antenne différence**, que celle qui, au contraire, présente un maximum de rayonnement dans l'axe, s'appelle **antenne somme** et que c'est la combinaison des ces qualités propres à chacune qui permet la réalisation d'un faisceau aussi étroit.



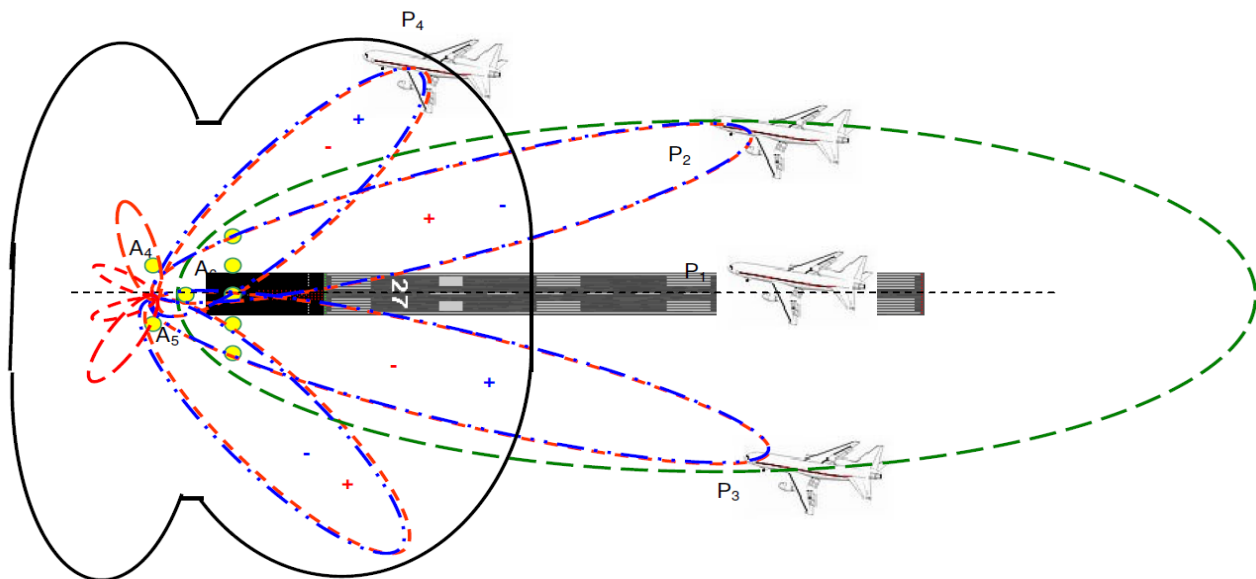
20° de part et d'autre de l'axe

Cependant, même émis avec un diagramme étroit dans l'axe, les signaux LOC ne garantissent pas une sécurité suffisante. En effet, il est toujours possible de voir un avion se diriger vers le seuil de la piste en suivant une direction différente de celle de son axe. Ceci est dû à l'inévitable présence des lobes secondaires sur les diagrammes de rayonnement des antennes différentielles. Ces lobes se situent de part et d'autre de l'axe de piste et sortent largement de l'enveloppe -20° - $+20^\circ$ souhaitée. Un pilote pourrait donc suivre un faisceau secondaire qui, en apparence, semble tout à fait normal.

Pour remédier à ce problème, une zone de couverture en forme de « haricot », créée par un ensemble d'antennes directionnelles, a été mise en place. Cette zone couvre les faisceaux incorrects (faisceaux latéraux et arrière) par l'émission d'un signal dont la fréquence est décalée (si ces signaux étaient à une fréquence identique, il s'ajouteraient et accentueraient le phénomène). Le signal est modulé à 40% en amplitude, à 90 Hz et à 150 Hz. Il ne fournit pas d'indication de guidage, mais uniquement une information du type « tout à gauche » ou « tout à droite ».

Le signal principal du localizer s'appelle le signal directionnel et le signal secondaire est le signal de couverture.

L'émetteur de guidage utilise une fréquence inférieure de 4,75 kHz à la fréquence nominale du canal (fréquence centrale) et l'émetteur de couverture une fréquence de 4,75 kHz encore en dessous. De plus, le localizer émet, tant sur les signaux directionnels que de couverture, une tonalité pour son identification en code morse, modulée à 1020 Hz.



Représentation du spectre global d'un localizer, avec sa zone de couverture

Les antennes utilisées actuellement permettent de réduire considérablement le gain des lobes arrière du système, mais pas totalement. Ces derniers sont éliminés par la zone de couverture. Les antennes des anciens localizer rayonnaient de l'énergie vers l'arrière, ce qui créait un faisceau semblable à celui émis vers l'avant, pouvant être utilisé pour le guidage lors des départs ou pour des approches de non-précision à contre QFU. Ces informations utiles de guidage sont restaurées sur les nouveaux systèmes LOC, grâce à des antennes permettant de reconstituer le faisceau arrière.

Il y a de grandes différences entre le faisceau avant et le faisceau arrière :

- Le gain n'est pas aussi élevé que celui du faisceau avant
- Il n'y ni glideslope, ni radiobornes, pour aider le pilote.

Les minima applicables doivent être impérativement augmentés pour utiliser ce faisceau arrière.

Le **glideslope** fonctionne quasiment sur le même principe. Virtuellement, c'est un localizer pivoté à 90°. La bande de fréquence utilisée est différente (UHF), mais le diagramme de rayonnement est semblable.

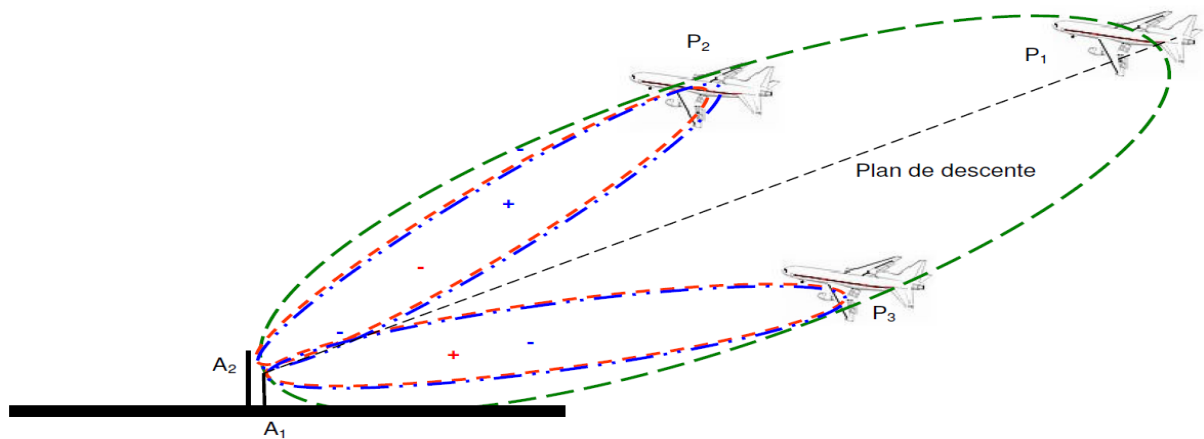
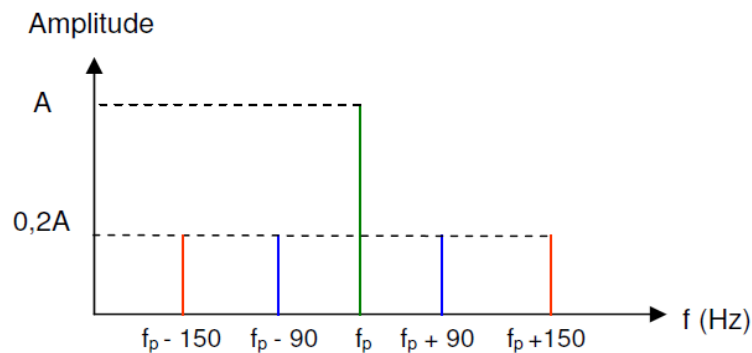


Diagramme de rayonnement du glideslope

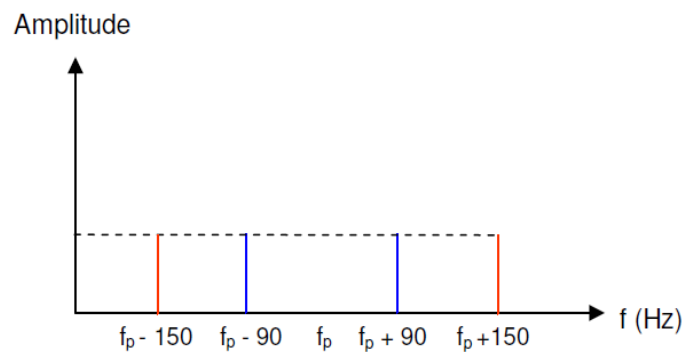
Le système le plus utilisé (standard) est le « null reference ». Il est constitué de deux antennes.

L'antenne basse (A1) se situe à 4,25 m au dessus du sol et rayonne la porteuse de fréquence (f_p) et les bandes latérales correspondant aux modulations 90 et 150 Hz. Elle est modulée en amplitude.



Spectre de rayonnement de l'antenne basse

L'antenne haute (A2) est situé à 8,5 m du sol et rayonne uniquement les bandes latérales des deux modulations 90 et 150 Hz. On utilise une modulation d'amplitude avec porteuse supprimée



Spectre de rayonnement de l'antenne haute

La réflexion du sol est nécessaire afin de constituer son diagramme de rayonnement.

Si le terrain environnant l'aérodrome est trop dénivélé, on utilisera des variantes permettant de compenser ce défaut. Par exemple, si le terrain descend en bout de piste, un système « sideband-reference » sera préféré et si le terrain remonte, ce sera plutôt un système « capture-effect » qui sera employé.

Il existe cinq systèmes homologués qui sont :

- Null-reference,
- sideband-reference
- Capture-effect
- Endfire
- Waveguide

Les trois premiers sont appelés des systèmes à effet d'image (image glideslope system) car ils utilisent effectivement la réflexion du sol pour générer leur diagramme de rayonnement dans l'espace. La stabilité de leur diagramme dépend beaucoup des conditions météo. Un terrain enneigé ou abondamment mouillé, va quelque peu modifier le path du glideslope.

Les deux derniers sont référencés comme systèmes sans image (non image glideslope system) car ils n'utilisent pas le terrain. Ils sont employés lorsque les conditions du terrain sont telles qu'un système image est inopérable. Leurs antennes sont radicalement différentes et ne dépassent pas 1,5 mètre de hauteur.



Installation d'un glideslope endfire system à Vigra, en Norvège.



Détail des « lignes à fente » du système endfire

Sécurité du système

Les diagrammes de rayonnement du localizer et du glideslope sont monitorés en permanence de façon à détecter la moindre variation de fonctionnement. Au delà de certaines limites, le système s'arrête automatiquement.

Mieux vaut pas d'information qu'une information erronée !

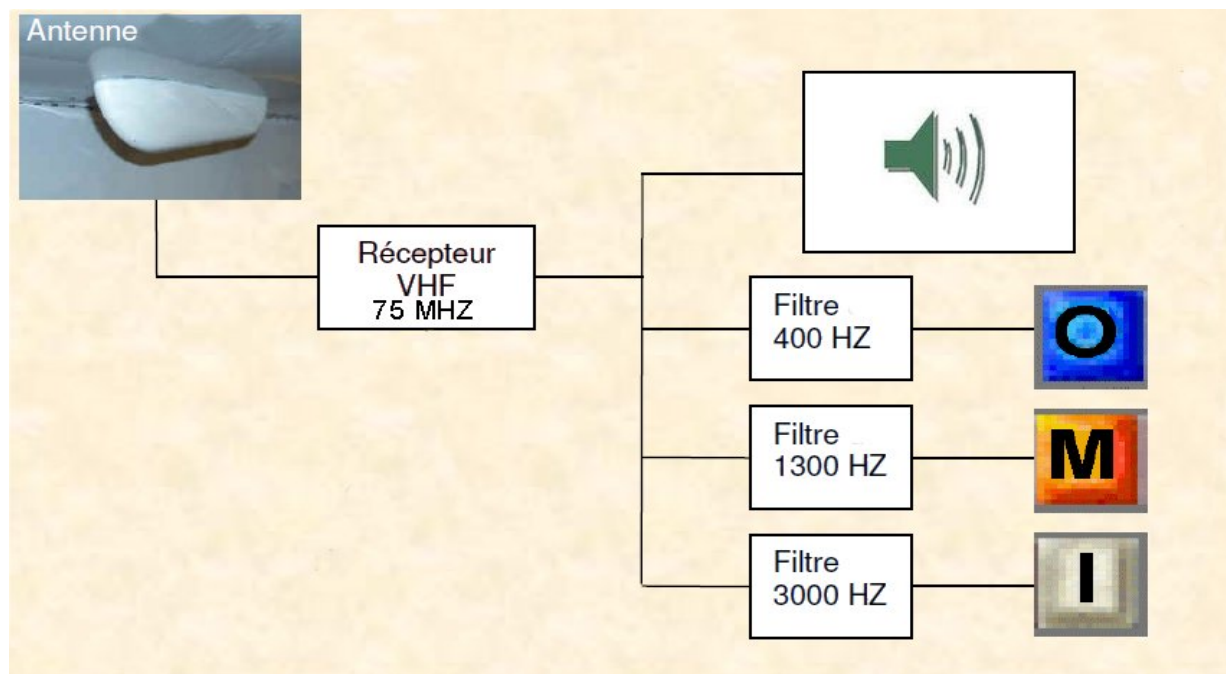
L'écoute de l'identification morse en est donc un moyen infaillible de s'assurer du bon fonctionnement de l'ILS.

Les **marker beacons** complètent l'installation radioélectrique. Leur principe est simple. Chaque station sol émet un signal modulé en amplitude sur une unique fréquence de 75 MHz avec une puissance variant de 3 à 5 W. Les faisceaux d'émission sont à rayonnement vertical et ils forment des cônes verticaux étroits. La puissance de sortie est progressivement diminuée pour les Middle Marker et Inner Marker, car l'altitude de l'avion est plus basse.

Comme précédemment expliqué au paragraphe des généralités du système, chaque MARKER a sa propre particularité en ce qui concerne, la couleur des lampes témoins et la tonalité du signal auditif.

La première balise module son code morse spécifique en amplitude avec un signal de 400 Hz, la seconde module le sien avec un signal de 1300 Hz et enfin la troisième en fait autant avec un signal de 3000 Hz.

Le récepteur de bord est composé d'un boîtier comportant simplement trois filtres passe bande. Il génère les signaux auditifs et visuels lors du passage à la verticale de chaque balise.



Synoptique du récepteur des marker beacons

Ces radiobornes sont de plus en plus souvent abandonnées au profit des systèmes **DME**. Parfois l'**OM** est remplacé par un **NDB** de faible puissance. Quand l'**OM** (ou le **NDB**) est physiquement présent c'est le passage de cette balise qui détermine alors le seuil de décision pour la poursuite de l'approche en fonction des minima RVR.

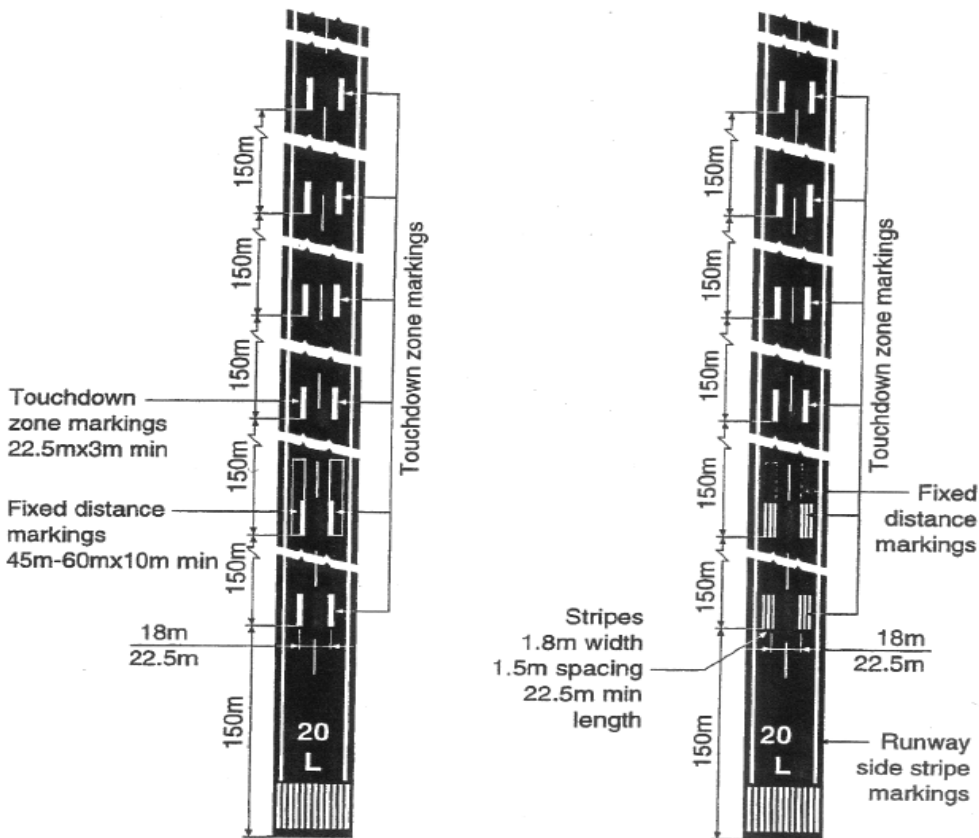
Identification et signaux annexes

Des espaces de bande passante sont également ménagés dans la porteuse du **localizer**, pour l'**ID** en code morse ainsi que de la phonie de secours pour l'**ATC**.

Balisage et marquage au sol

Le marquage au sol et le balisage lumineux tant de la piste que des taxiways font partie intégrante du système et doivent répondre à des normes précises en relation avec les différentes catégories d'opération. Les figures suivantes en décrivent les grandes lignes.

Runway marking



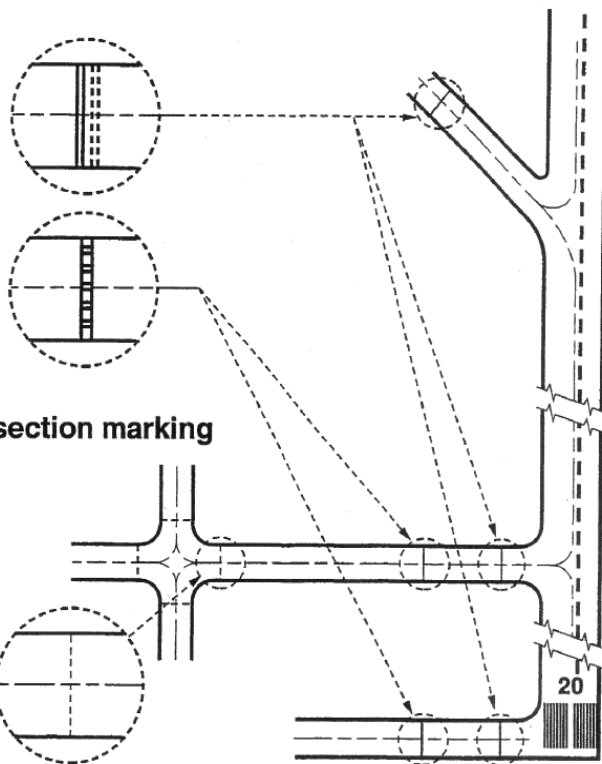
Basic pattern

With distance coding

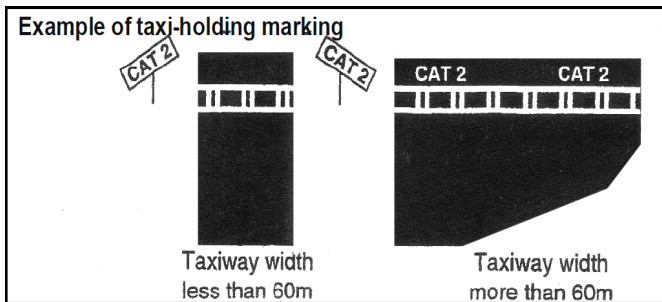
Taxi-holding position marking

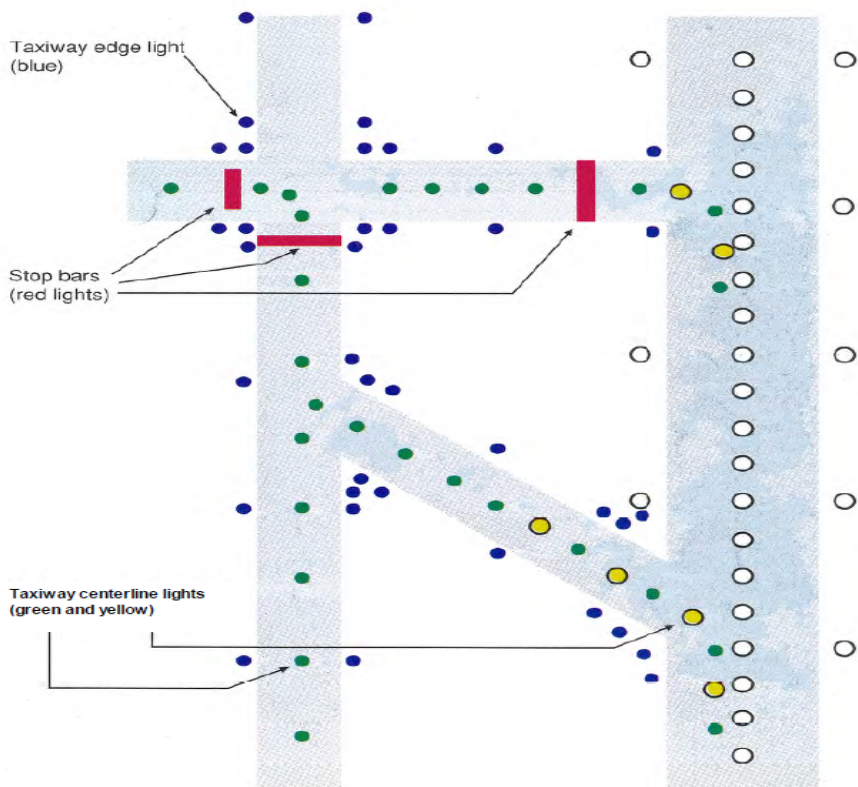
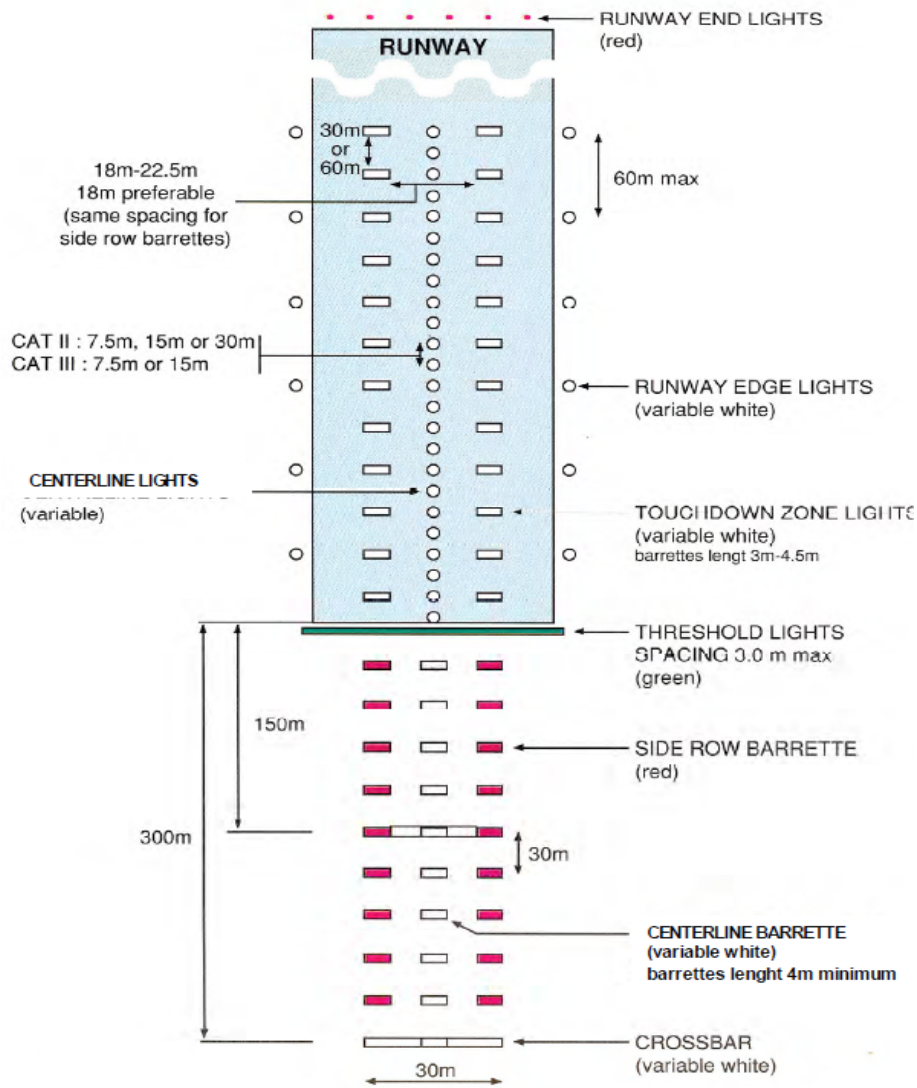
Pattern A :
4 lines and
3 spaces at
0.15m each

Pattern B :
2 lines and
0.3m each
1 space at 0.6m



Taxiway intersection marking

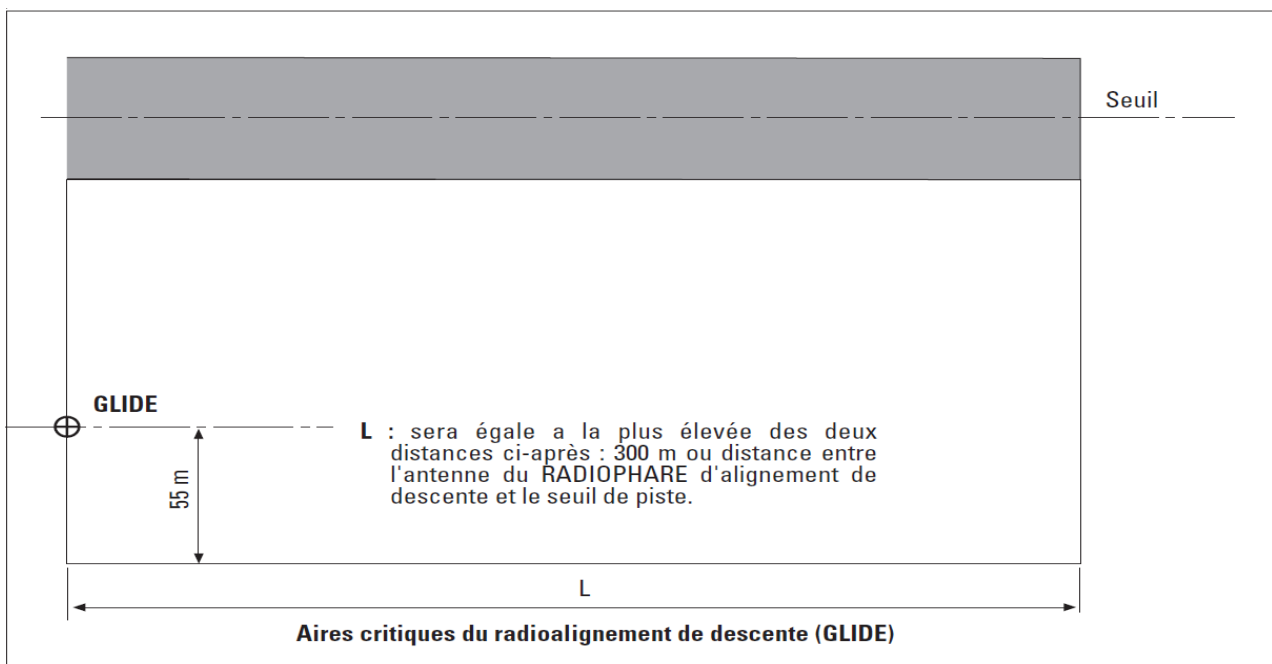
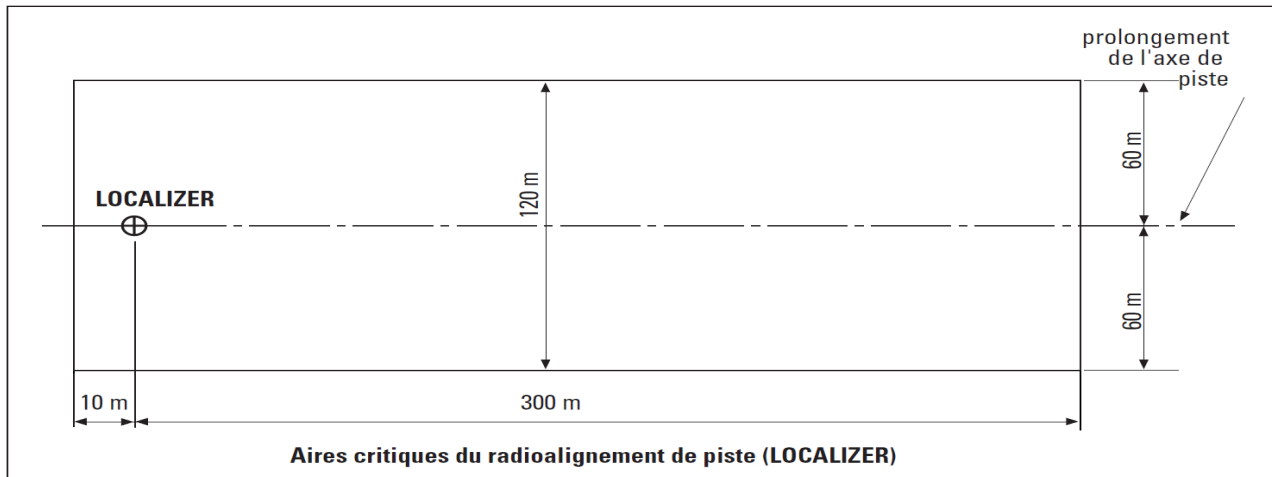




Aires critiques et sensibles

Pour prévenir le risque d'affectation de la directivité des signaux par une propagation à trajets multiples provenant de réflexions sur des objets mobiles de grandes dimensions, la circulation au sol est limitée à l'intérieur d'aires de protections radioélectriques, qui sont de deux types : Critique et sensible.

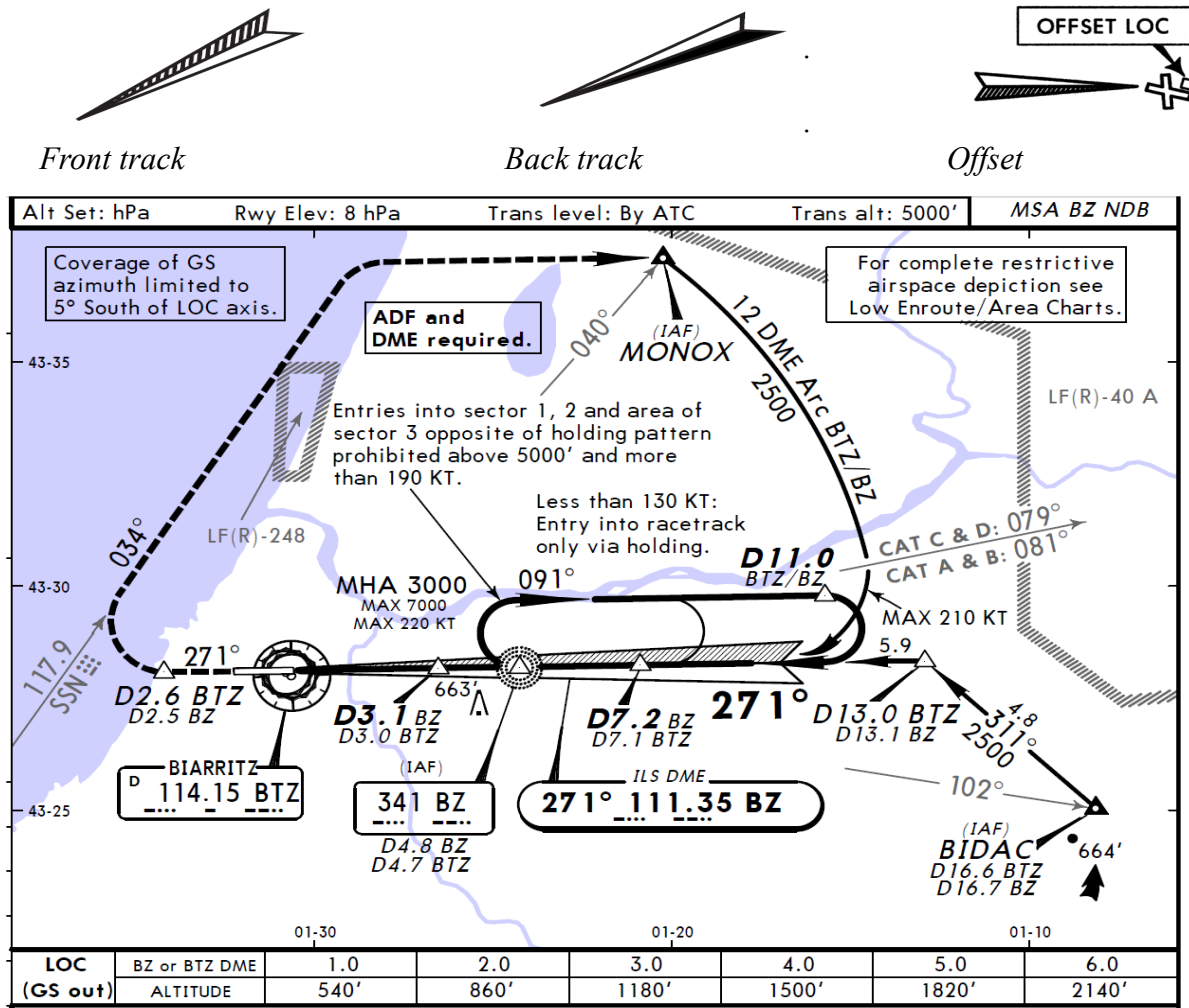
Les **aires critiques** sont des zones qui entourent les antennes du **Localizer** et du **Glideslope** et dans lesquelles l'accès des véhicules ou des aéronefs peuvent causer des perturbations inacceptables. Elles sont un des facteurs pour la détermination de la position des points d'arrêt avant piste. Leurs dimensions sont précisées sur la figure ci dessous.



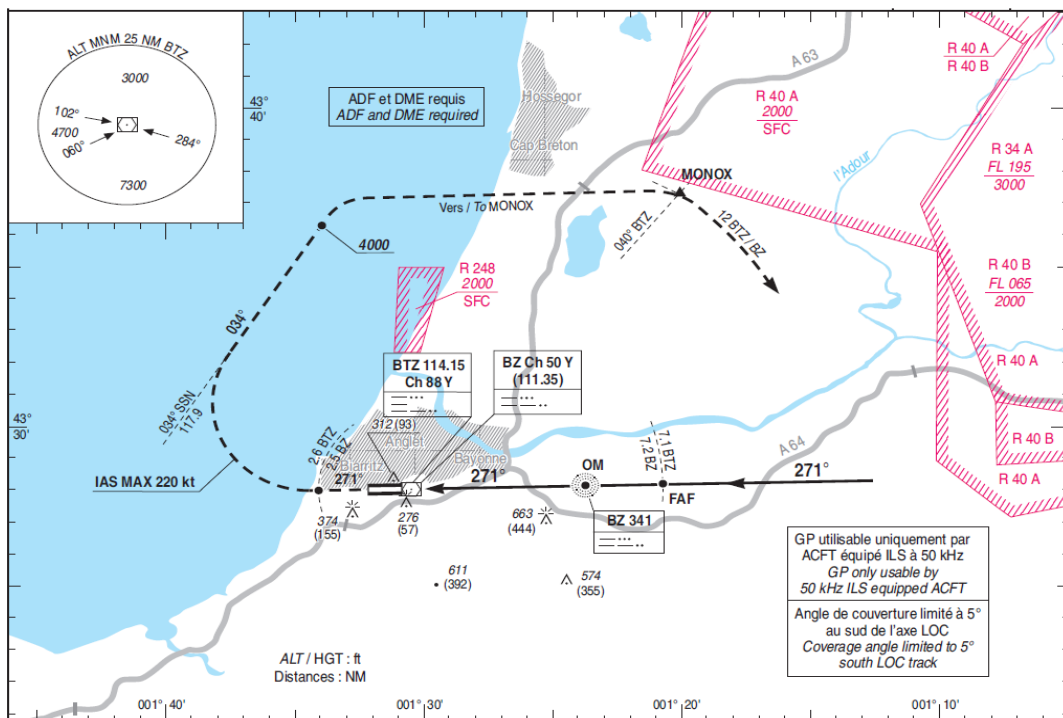
Les **aires sensibles** sont des zones qui s'étendent au-delà des aires critiques et dans lesquelles les véhicules et les aéronefs, en stationnement ou en mouvement, peuvent affecter les performances de l'ILS. Elles déterminent la position des points d'arrêt avant piste et des points de sortie de piste. Le prestataire de services de navigation aérienne définit la dimension des aires sensibles en fonction de plusieurs facteurs (type d'installation radioélectrique, bâtiments, catégories d'approche envisagées) et doit démontrer l'absence de perturbations affectant le radio guidage.

Représentation sur les cartes

Les ILS ne sont pas graphiquement représentés par un symbole spécifique sur les cartes du SIA. Par contre, ils le sont sur les cartes Jeppesen :



Approche ILS 27 à Biarritz. Ci dessus, carte Jeppesen et dessous, carte du SIA.



Utilisation pratique

L'étude sommaire qui précède a mis en lumière les difficultés imposées par le terrain et l'existence de réponses techniques variées. L'OACI a donc décidé de classer ces systèmes en trois catégories distinctes, ceci en fonction des infrastructures aéroportuaires et de leurs capacités techniques.

		INSTALLATION SOL		
		Ecart maximum toléré sur la trajectoire	Ecart maximum toléré sur les modulations	Durée maximale d'absence d'émission
L O C A L I Z E R	CAT 1	0,031 DDM à OM 0,015 DDM à MM 0,015 DDM après	± 2,5%	10 s
	CAT 2	0,031 DDM à OM 0,005 DDM à MM 0,005 DDM ensuite	± 1,5%	5 s
	CAT 3	0,031 DDM à OM 0,005 DDM à MM 0,005 DDM jusqu'au seuil 0,005 à 0,001 DDM après	± 1,0%	2 s
G L I D E	CAT 1	0,075 θ	± 2,5%	6 s
	CAT 2	0,075 θ	± 1,5%	2 s
	CAT 3	0,04 θ	± 1,0%	2 s

Catégories d'ILS selon l'OACI, avec indication des écarts de guidage et des tolérances techniques

Ces trois catégories d'ILS permettent des opérations d'approche de précision également classifiées en trois catégories différentes : CAT I, CAT II et CAT III (notez l'emploi des chiffres romains) qui tiennent compte, à leur tour, des équipements additionnels autres que radio-électriques (marquage, éclairage... etc) des capacités techniques de l'appareil, de la qualification des équipages et enfin des minimums spécifiques à chaque plateforme. La CAT III étant elle-même subdivisée en trois sous-catégories, désignées a, b et c.

- Une opération de CAT III ne pourra être menée que sur un ILS de Cat 3
- Une opération de CAT I pourra, par contre, être menée sur un ILS de Cat 3
- L'appareil et l'équipage doivent être certifiés pour la catégorie d'opération envisagée

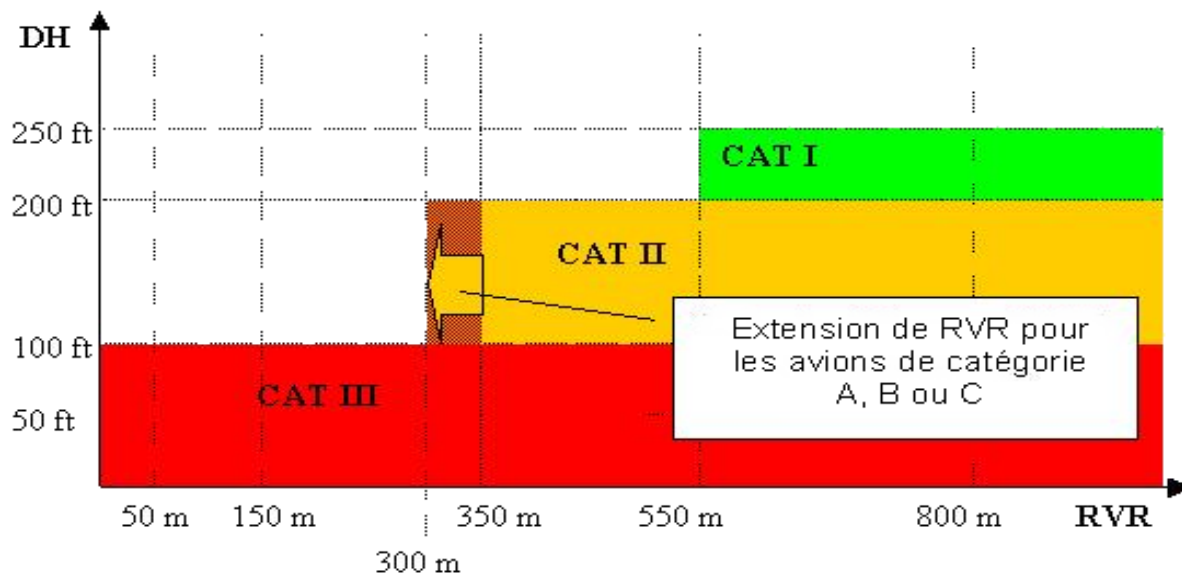
Les normes sont strictes. En France, toutes les installations radio-électriques sont de Cat 3. Mais toutes les plateformes ne sont pas, pour autant, certifiées pour des opérations de CAT III.

Les variables limitatives rencontrées seront la RVR et la DH. *Note : Il n'y a pas de MAPT.*

La RVR (Runway Visual Range) ou portée visuelle de piste est une mesure de la visibilité, effectuée par des appareils (transmissiomètres) disposés le long de la piste et qui indique la distance jusqu'à laquelle un pilote, placé sur l'axe de la piste, peut voir les marques ou les feux qui délimitent la piste, ou qui balisent son axe. La RVR est généralement mesurée en début, milieu et fin de piste.

La DH (Decision Height) ou hauteur de décision est la hauteur au-dessus du sol, déterminée par radio-altimètre et à laquelle la référence visuelle est indispensable pour la poursuite de l'approche.

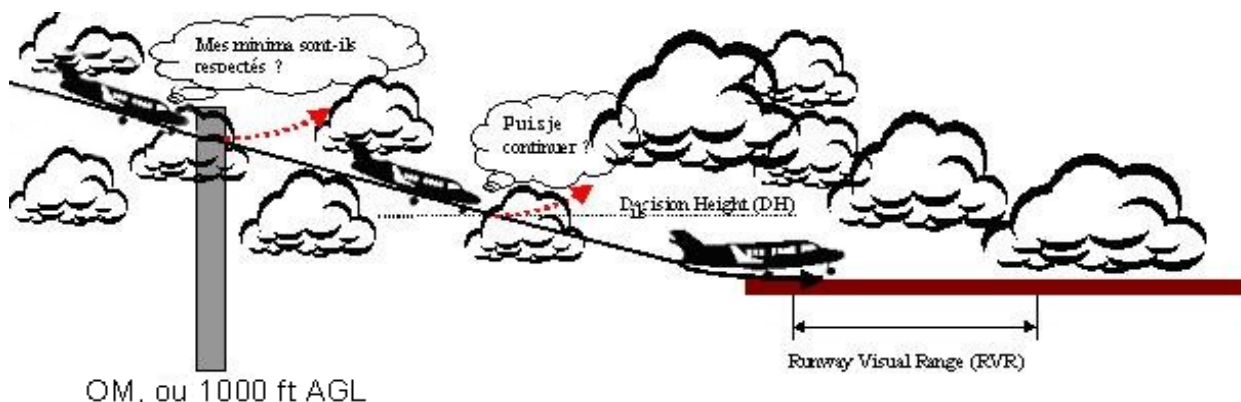
- **CAT I** : DH > 200 ft, avec RVR d'au moins 550 m.
- **CAT II** : DH < 200 ft > 100 ft. RVR 300 m (catégorie A, B, C) 350 m (catégorie D).
- **Catégorie III a** : DH < 100 ft et RVR égale ou supérieure à 200 m.
- **Catégorie III b** : DH < 50 ft ou pas de DH et RVR < 200 m > 75 m.
- **Catégorie III c** : Pas de DH ni de RVR. Non encore agréée par l'aviation civile française (implique des infrastructures très / trop coûteuses). Elle le sera peut-être dans le futur ?



Classification des catégories d'opération d'ILS

Un pilote peut commencer une approche aux instruments indépendamment de la RVR annoncée, mais il ne peut pas poursuivre au-delà de l'OM si la RVR transmise est inférieure aux minima applicables. Cette valeur de RVR doit être compatible avec la catégorie d'opération pour laquelle le vol est autorisé. Si ce n'est pas le cas, l'approche finale ne peut pas être entamée. Si l'OM n'est pas physiquement présent ou remplacé par un NDB, il faut alors considérer la hauteur de 1000 ft AGL comme point de décision.

Une fois l'OM dépassé, intervient l'autre facteur limitatif : la DH. Si à DH les références visuelles ne sont pas acquises, l'approche doit être interrompue.



Techniquement parlant, en termes de pilotage, il s'agit d'amener l'appareil au FAP, déjà aligné avec l'axe de piste et sous le plan de descente. Ceci afin de permettre l'interception de ce dernier. Généralement, on s'arrange pour faire un palier de trente secondes après interception du **localizer**, avant d'intercepter le **glideslope**.

Dans beaucoup de cas, l'approche initiale qui précède est conduite sous guidage radar. En l'absence on veillera à respecter la procédure publiée.

La figure ci-contre fait plutôt allusion à un pilotage manuel. Il n'est pas interdit, en effet, d'effectuer une approche ILS en suivant manuellement les instruments, mais pour les CAT II et III le PA commence à devenir utile et est même obligatoire pour certains appareils. Enfin, son usage est, par exemple, totalement imposé pour les opérations de CAT III b.



Trop haut, trop à gauche !