

CHAPITRE V: FONCTIONNEMENT DES ELEMENTS (ILS)

V.1 Localizer

Le système équivaut à deux antennes directives, présentant des faisceaux très étroits, situées de part et d'autre de la piste et qui émettent, dans le prolongement de son axe, 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. ^[37]

Ce plan est défini par le rayonnement de deux types de signaux :

- ❖ Signal porteuse : appelé CSB (Carrier Side Bande) ou P+BL ;
- ❖ Signal à 2 bandes latérales seules : appelé SBO (Side Bande Only).

Les deux types de rayonnement sont reliés en pratique par la formule suivante :

$$DDM = 2 * \frac{SBO}{CSB} \quad (15)$$

Pour un réseau pair, le signal SBO et signal CSB s'écrivent sous la forme suivante :

$$CSB(\alpha) = f(\alpha) * [\sum_{i=1}^n 2 * K_i * \cos(\frac{2\pi d}{\lambda}) * \sin(\alpha)] \quad (16)$$

$$SBO(\alpha) = f(\alpha) * [\sum_{i=1}^n 2 * K'_i * \sin(\frac{2\pi d}{\lambda}) * \sin(\alpha)] \quad (17)$$

Avec : $f(\alpha)$: Diagramme propre d'une antenne ;

K_i, K'_i : Les antennes ;

d : Distance séparant chacune des antennes ;

α : L'angle entre l'axe de piste et la position de l'avion ;

λ : La longueur d'onde.

Le plan du localizer est défini par l'égalité des taux de modulation c'est-à-dire la DDM=0. La variation de la DDM est linéaire à l'intérieur du secteur d'alignement et est symétrique de part et d'autre du plan LOCALIZER ^[38]. Le diagramme de rayonnement est ouvert d'environ 35° dans le plan horizontal et 7° dans le plan vertical. La zone de guidage linéaire ne couvre quant à elle qu'une ouverture maximum de +/-3° autour de la position d'axe. ^[39]

Remarque:

DDM = différence du taux de modulation (entre les signaux à 90Hz et 150Hz)

TM = taux de modulation (de chaque signal) par rapport à l'amplitude de la porteuse.

Nous avons $DDM = TM\ 90 - TM\ 150$

Tableau 8: Caractéristiques techniques d'un Localizer

Source : Auteur

Paramètres	Caractéristiques
Fréquences	entre 108 Mhz et 112 Mhz
Portée	25 NM (1 nautique mile= 1.85200 Km)
Implantation	situé à 300 m de l'extrémité de fin de piste
Nombre d'antennes	13
Puissance de l'émetteur	25 W
Puissance absorbée	660 W
Alimentation électrique de secours	Batteries 48 V

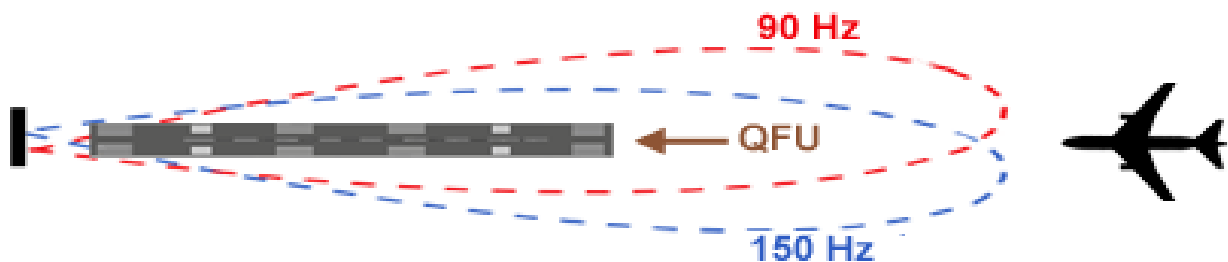


Figure 60: Schéma de principe du localizer (1)

Source : <https://www.lavionnaire.fr/RadioNavILS.php>

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.

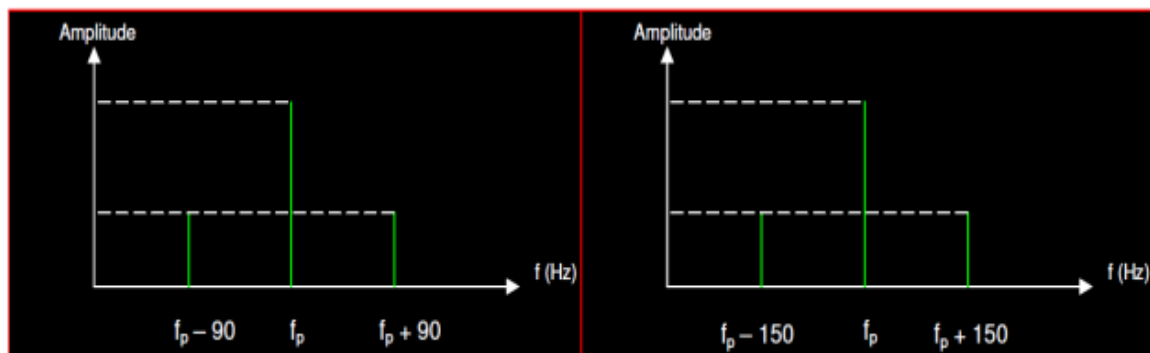


Figure 61: Spectre rayonné par chaque antenne

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

En réalité l'émission est réalisée par un réseau d'antennes qui génère une modulation d'espace. Chaque antenne émet une partie des 90Hz et des 150Hz afin de générer un faisceau de guidage latéral dans l'espace. Le récepteur reçoit ainsi de l'énergie des deux antennes et le champ électromagnétique combiné par l'aéronef possède les deux amplitudes de modulation des 150Hz et des 90Hz. ^[40]

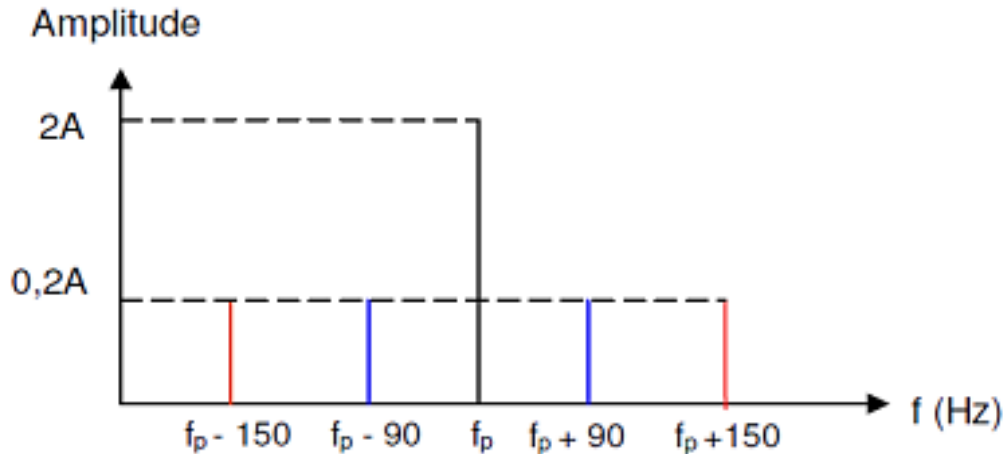


Figure 62: Exemple de spectre reçu par l'aéronef établi sur l'axe

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

V.1.1 Performances du localizer

La portée horizontale se situe aux environs de 25 milles nautiques NM (46 km) à $\pm 10^\circ$ de l'axe et à 17 NM à $\pm 3,5^\circ$ de l'axe. Les signaux doivent pouvoir être reçus aux distances horizontales spécifiées à une hauteur égale ou supérieure à la plus grande des deux hauteurs suivantes :

- 2000 ft au-dessus de l'altitude du seuil de piste ;
- 1000 ft au-dessus de l'obstacle le plus élevé à l'intérieur des aires d'approche intermédiaire et finale et jusqu'à une surface partant de l'antenne et inclinée de 7° .

La précision pour un localizer de catégorie II est $\pm 0.1^\circ$. L'information du localizer est sensible à la présence d'obstacles (problèmes de réflexion des signaux).

L'information reçue à bord est la résultante du champ direct et du champ réfléchi. On remédie à ce problème en plaçant des écrans supprimant ce phénomène de réflexion parasite. La puissance de l'émetteur sol est de 100 W. La déviation de l'aiguille du localizer en fonctionnement ILS est de $\pm 2.5^\circ$. ^[41]

V.2 Glide –path ^[42]

Le glide-path fonctionne quasiment sur le même principe mais dans le plan vertical. La bande de fréquence utilisée est différente (UHF), mais le diagramme de rayonnement est semblable.

- ✓ L'antenne basse 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.

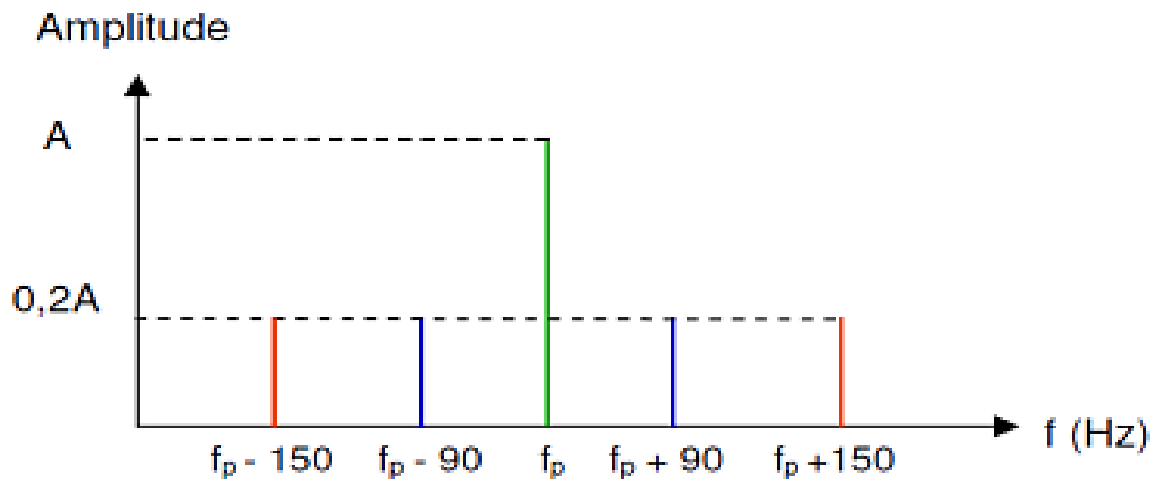


Figure 63: Spectre de rayonnement de l'antenne basse

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

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

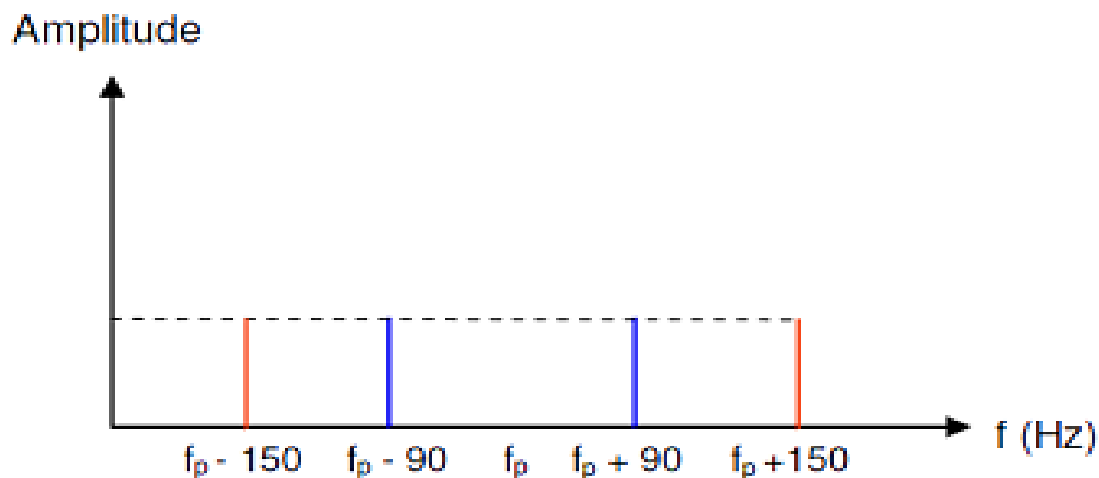


Figure 64: Spectre de rayonnement de l'antenne haute

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

V.3 Distance Measuring Equipment

Les markers fonctionnent dans la gamme de 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". ^[43]

V.3.1 Principe de fonctionnement

Un émetteur/récepteur à bord de l'aéronef envoie des paires impulsions codées vers la station au sol sur une fréquence UHF entre 962 et 1150 MHz pour l'interrogation et entre de 962 et 1213 MHz pour la réponse. Après un retard de 50 μ s pour le canal X et 56 μ s pour le canal Y la balise au sol transmet à son tour des paires impulsions sur une fréquence décalée de 63 MHz. Le temps nécessaire pour le voyage aller-retour de cet échange de signal est mesuré par l'instrument DME de l'aéronef puis est traduit et affiché en distance (miles nautiques).

Exemple : Si l'aéronef envoie à t_0 une interrogation et reçoit à t_1 la réponse, le temps mesuré de l'aller et retour est de :

$$t = t_0 - t_1 = \frac{2d}{c} + 50\mu s \quad (18)$$

Avec c =vitesse de la lumière

Et la distance oblique (DO) de l'aéronef à la balise sol est donnée par la formule suivante:

$$d = \frac{c(t-50\mu s)}{2} \quad (19)$$

Exemple : -l'interrogation se fait sur la fréquence 965 MHz

-la réponse se fera sur la fréquence 965+63= 1028 MHz

Ce couple de fréquences est appelé canal.

L'IFF (Identification friend or foe) ayant le même principe de fonctionnement utilise les fréquences 1030MHz pour l'interrogation et 1090 pour la réponse. Ces deux fréquences sont réservées et ne sont pas disponibles pour l'aviation.

V.4 Zone de couverture des éléments

V.4.1 Localizer

V.4.1.1 Couverture volumétrique

C'est le volume délimité dans l'espace où les signaux ILS sont normalement reçus. Le rayonnement arrière d'un ILS ne peut en aucun cas être utilisé comme un moyen de guidage ou de confirmation de position. En effet, quel que soit le type de matériel, ce rayonnement, lorsqu'il existe, n'est jamais surveillé et peut fournir des informations aberrantes.

V.4.1.2 Couverture en azimuth

La plage d'utilisation normale du radiophare d'alignement de piste est de $\pm 35^\circ$ sur 17NM, et $\pm 10^\circ$ sur 25NM. Dans certains cas le premier secteur peut même être plus étroit du fait de perturbations dues à l'environnement.

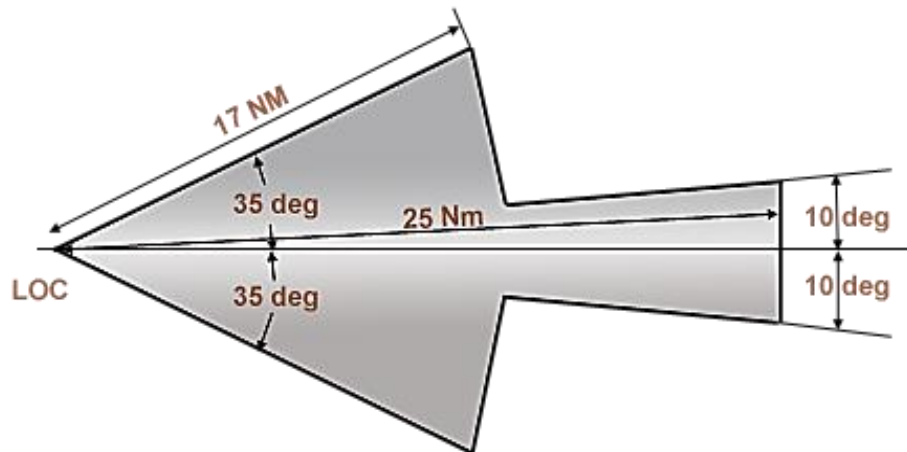


Figure 65: Couverture en azimuth du localizer
Source : <https://www.lavionnaire.fr/RadioNavILS.php>

V.4.1.3 Couverture du site

Les signaux du localizer doivent être normalement reçus à l'intérieur du volume délimité par un plan incliné de 7° sur l'horizontale. Le signal devra être également reçu au plus haut des deux points suivants :

- 600 m au-dessus du seuil ;
- 300 m au-dessus du niveau du point le plus élevé des aires d'approche intermédiaire ou final. ^[44]

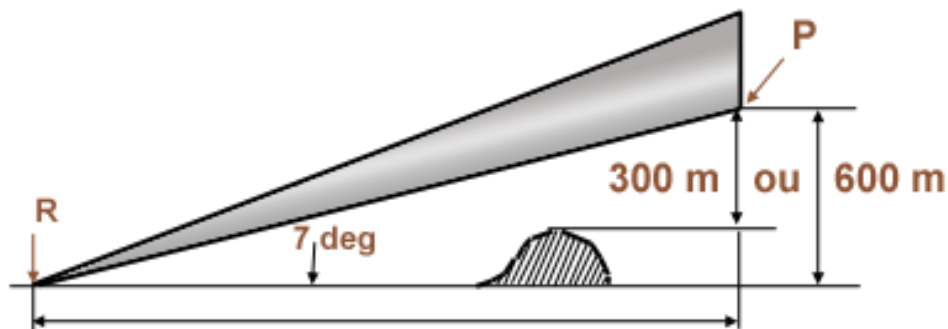


Figure 66: couverture en cite du localizer
Source : <https://www.lavionnaire.fr/RadioNavILS.php>

V.4.1.4 Zone de couverture

En pratique, les antennes sont moyennement directives, mais précisément espacées les unes des autres et couplées en réseau afin de créer un diagramme de rayonnement commun, suffisamment étroit. Cependant, même émis avec un diagramme étroit dans l'axe, les signaux du localizer présentés précédemment ne garantissent pas une sécurité suffisante.

En effet, il est toujours possible de voir un aéronef se diriger vers le seuil de la piste en suivant une direction différente de celle de son axe. Ceci est dû à la présence des lobes secondaires sur les diagrammes de rayonnement des antennes directives (phénomène physique inévitable).

Ces lobes se situent de part et d'autre de l'axe de piste et sortent largement de l'enveloppe $[-20^{\circ}, +20^{\circ}]$ souhaitée. Un pilote pourrait donc suivre un faisceau secondaire qui, en apparence, semble tout à fait normal.

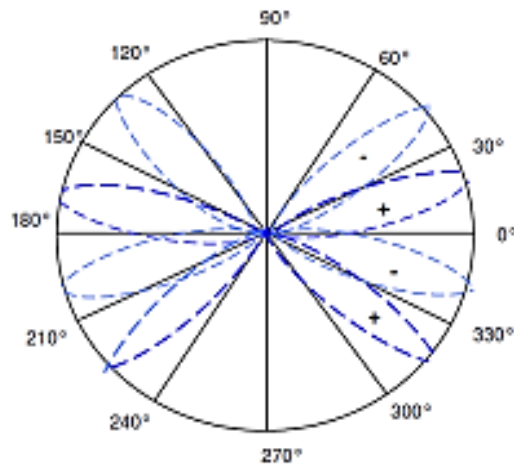


Figure 67: Aide d'un ensemble d'antennes directives

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

Pour remédier ce problème avec l'aide d'un ensemble d'antennes directionnelles, une zone de couverture 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, ils s'ajouteraient et accentueraient le phénomène).

Cette émission supplémentaire 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 couvrir une fréquence de 4,75 kHz encore en dessous. ^[45]

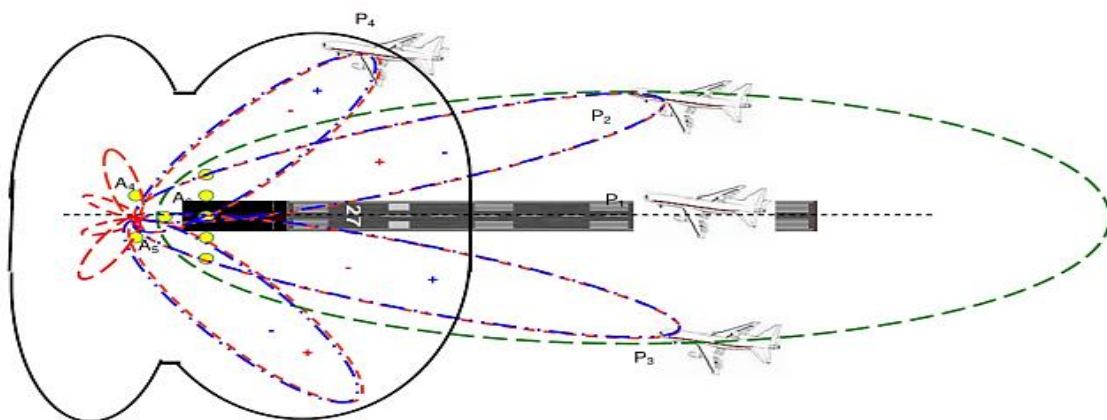


Figure 68: Représentation du spectre global d'un localizer, avec sa zone de couverture (ligne noire)

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

V.4.2 Glide-Path

V.4.2.1 Couverture en azimuth

Le même découpage de l'espace est utilisé dans le plan vertical pour assurer le guidage en site. Un secteur où les indications sont proportionnelles à l'écart angulaire par rapport à l'axe de descente complété par une zone de couverture où les signaux indiquent au pilote sa position par rapport à l'axe de descente. La couverture en azimuth de l'alignement de descente est limitée à 8° de part et d'autre de l'axe de la piste, ce qui est bien inférieur à la couverture de l'alignement de piste en azimuth.

Il émet des faisceaux radioélectriques dans le prolongement de l'axe de piste qui assurent une couverture en azimuth de 8° de part et d'autre de l'axe ainsi qu'une couverture en site comprise entre $0,45 \times \theta$ et $1,75 \times \theta$ de (θ étant l'angle de la pente nominale de descente et varie entre 2 et 6°).

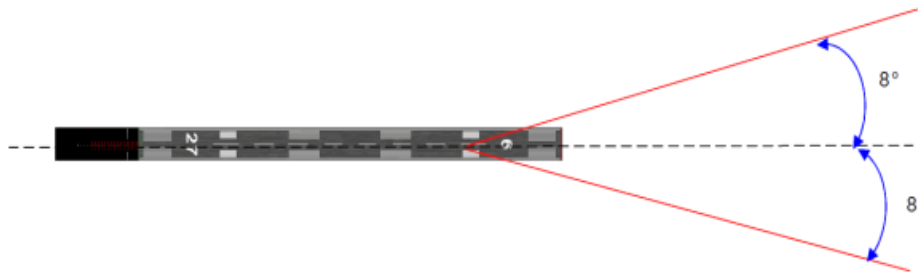


Figure 69: Couverture en azimuth (1)

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

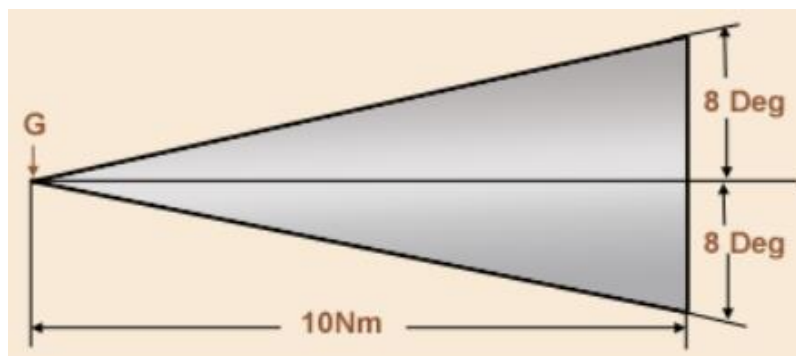


Figure 70: Couverture en azimuth (2)

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

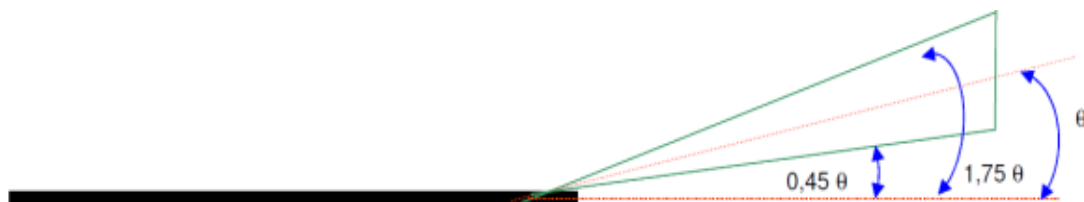


Figure 71: Vue de profile de la Couverture en site des faisceaux du glide

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

V.4.2.2 Couverture en site

G est le point où le prolongement en ligne droite de l'alignement de descente I.L.S coupe l'axe de piste. A est l'angle de site d'alignement de descente ILS (généralement 3°). Soit une limite de couverture basse de $3 \times 0.45^\circ = 1.35^\circ$ et une limite de couverture haute de $3 \times 1.15^\circ = 5.25^\circ$. [46]

V.5 Fonctionnement de la détection

V.5.1 Principe du récepteur

Le principe pour la réception est extrêmement simple. Il s'agit de comparer les 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.

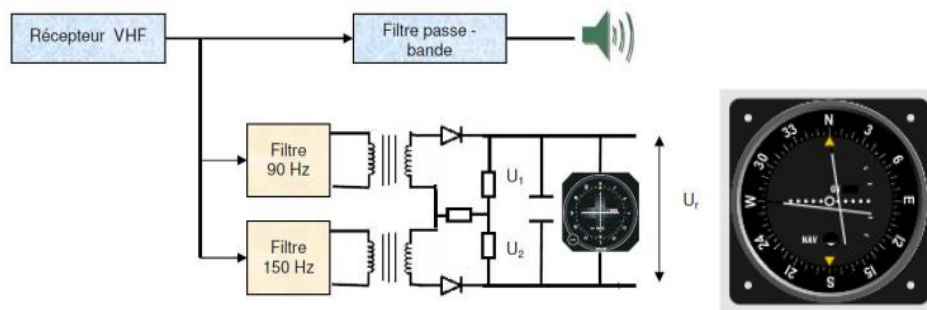


Figure 72: **Schéma fonctionnel d'un localizer**

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

Le pilote n'a plus qu'à regarder la position des aiguilles sur l'instrument pour voir sa position par rapport à l'axe d'approche idéal représenté par le centre de l'instrument (voir instrument ci-dessus). ^[47]

V.5.1.1 Localisation avec le `localizer`

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. ^[48]

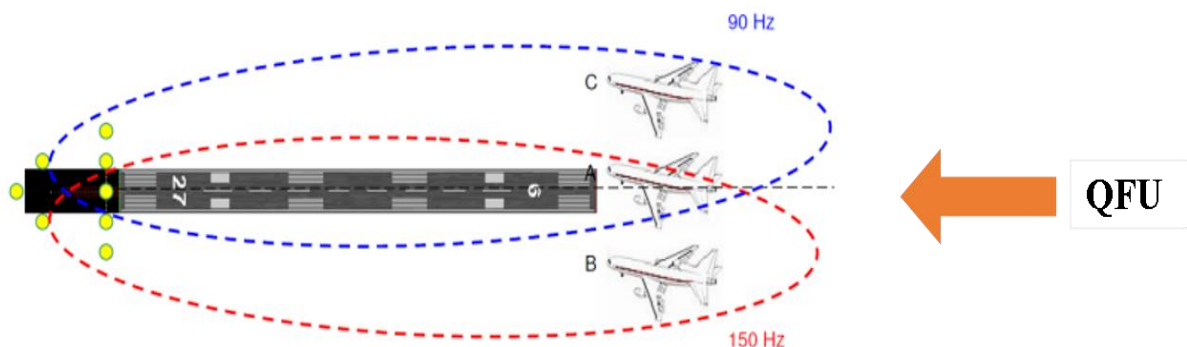


Figure 73: **Schéma de principe du localizer (2)**

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

V.5.1.2 Sur l'axe de la piste

Le récepteur reçoit autant d'énergie des deux antennes à cause de la symétrie. L'amplitude de modulation des 150Hz est égale à l'amplitude des 90Hz. ^[49]

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.

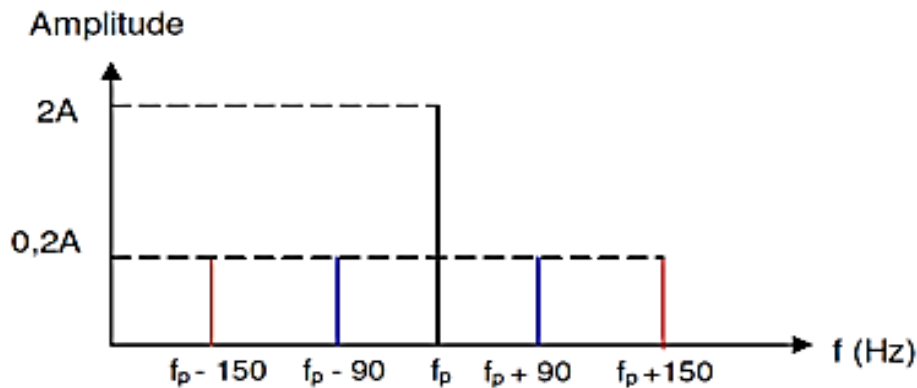


Figure 74: Spectre reçu par le récepteur au point A
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

$$DDM = TM_{90} - TM_{150} = 0\mu A \quad (20)$$

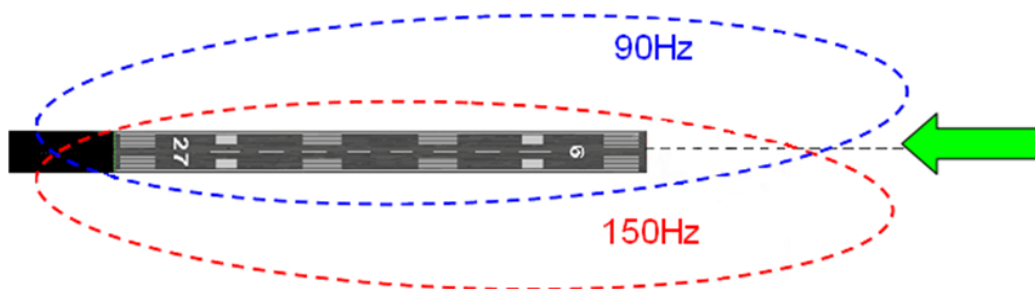


Figure 75: Différence de taux de modulation lorsque $TM_{90} - TM_{150} = 0\mu A$
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS



Figure 76: Représentation de l'axe est centrée sur l'instrument
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

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 :

$$M_i \cdot \frac{A}{2} = M_r \cdot 2 \cdot \frac{A}{2} \quad (21)$$

$$\text{D'où } M_r = \frac{M_i}{2} \quad (22)$$

Remarque : L'aéronef est sur l'axe d'approche face à la piste. La représentation de l'axe est centrée sur l'instrument. ^[50]

V.5.1.3 Sur la gauche de la piste

L'énergie reçue du rayonnement des 150Hz est plus grande que celle reçue du rayonnement du 90Hz. L'amplitude de modulation du 150 Hz est supérieure à l'amplitude de modulation du 90 Hz. La DDM n'étant pas nulle, une indication de déviation vers la gauche est alors transmise à l'afficheur. ^[51]

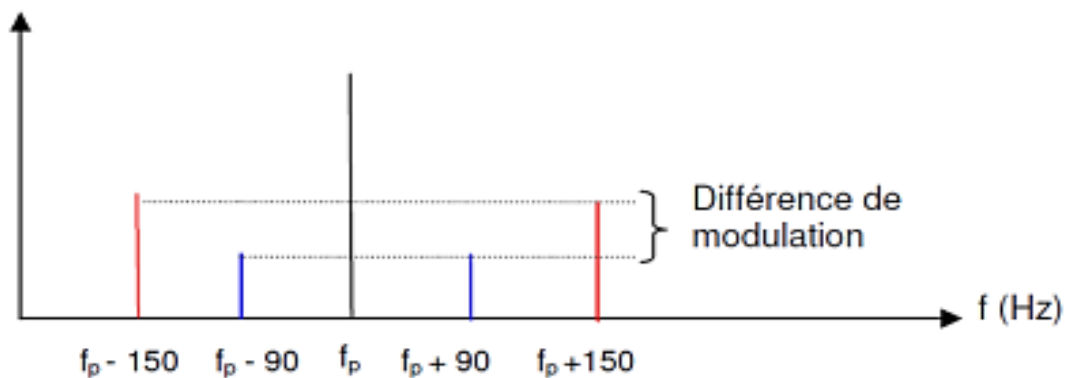


Figure 77: Spectre reçu par le récepteur au point B
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

$$DDM = TM_{90} - TM_{150} < 0\mu A \quad (23)$$

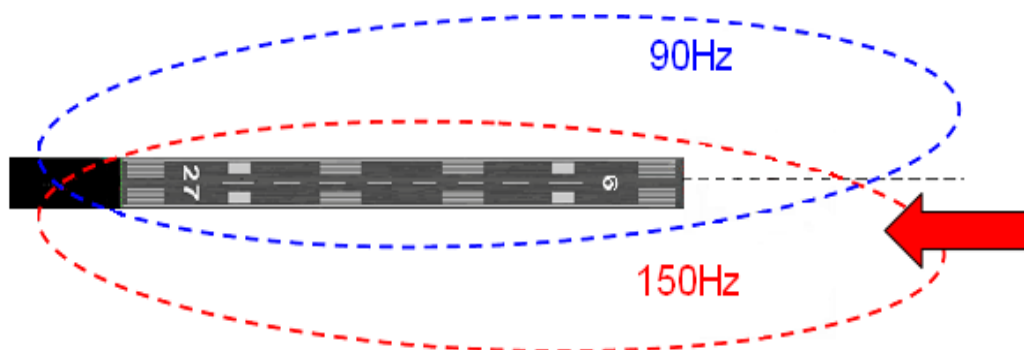


Figure 78: Différence de taux de modulation lorsque $TM_{90} - TM_{150} < 0\mu A$
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS



Figure 79: **Approche sur le côté droit de l'instrument**
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

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.

Remarque: L'aéronef est à gauche de l'axe d'approche face à la piste. L'axe d'approche est représenté sur le côté droit de l'instrument. ^[52]

V.5.1.4 Sur la droite de la piste

L'énergie reçue du rayonnement du 150Hz est plus petite que celle reçue du rayonnement du 90Hz. L'amplitude de modulation du 150 Hz est inférieure à l'amplitude de modulation du 90 Hz. La DDM n'étant pas nulle, une indication de déviation vers la droite est alors transmise à l'afficheur.

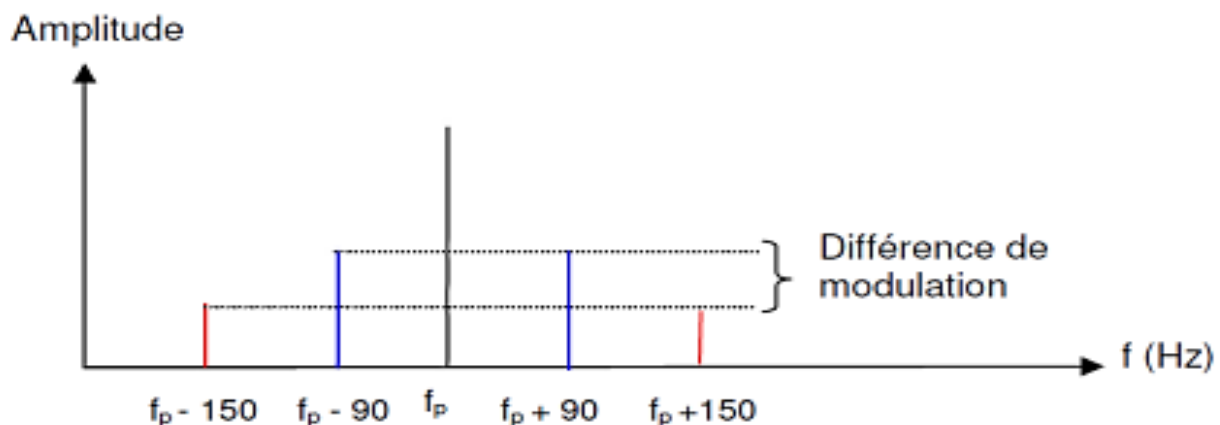


Figure 80: **Spectre reçu par le récepteur au point c**
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

$$DDM = TM_{90} - TM_{150} > 0\mu A \quad (24)$$

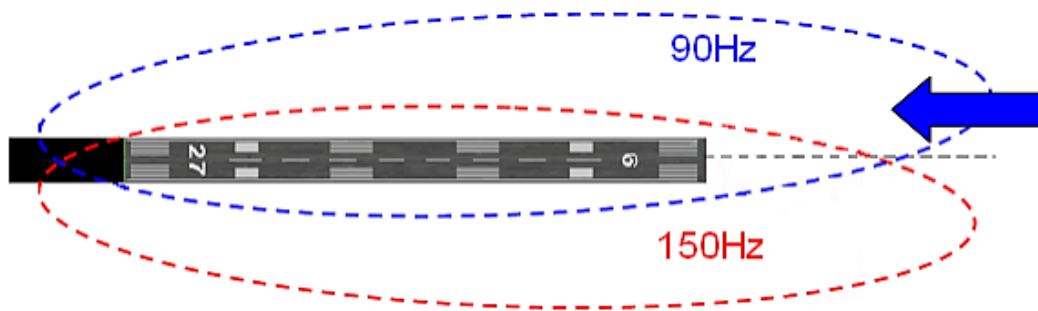


Figure 81: Différence de taux de modulation lorsque $TM_{90} - TM_{150} > 0\mu A$
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS



Figure 82: Approche sur le côté gauche de l'instrument
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

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

Remarque : L'aéronef est à droite de l'axe d'approche face à la piste. L'axe d'approche est représenté sur le côté gauche de l'instrument. ^[53]

V.5.2 Localisation avec le Glide-Path

La même réflexion est à apporter pour le plan de descente. Nous ne rappellerons pas les calculs qui suivent le même principe. Nous ne présenterons que les images. ^[54]

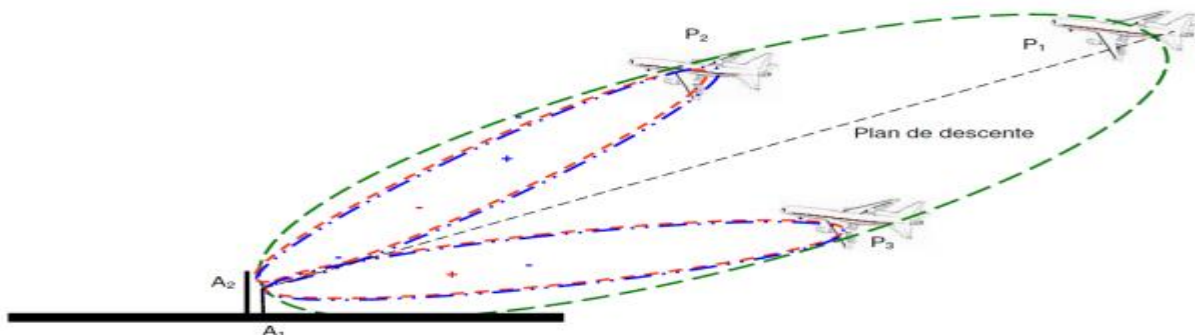


Figure 83: Représentation du spectre global d'un localizer, avec sa zone de couverture
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

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.

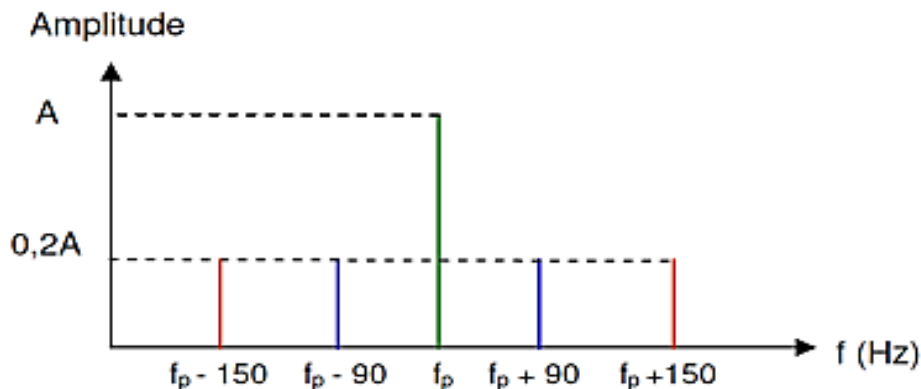


Figure 84: Spectre de rayonnement de l'antenne basse
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

L'antenne haute (A2) est située 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.

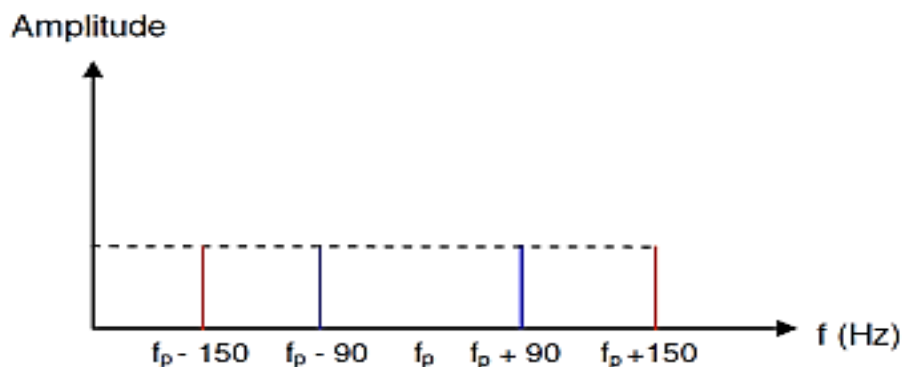


Figure 85: Spectre de rayonnement de l'antenne haute
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

V.5.2.1 Sur l'axe de descente

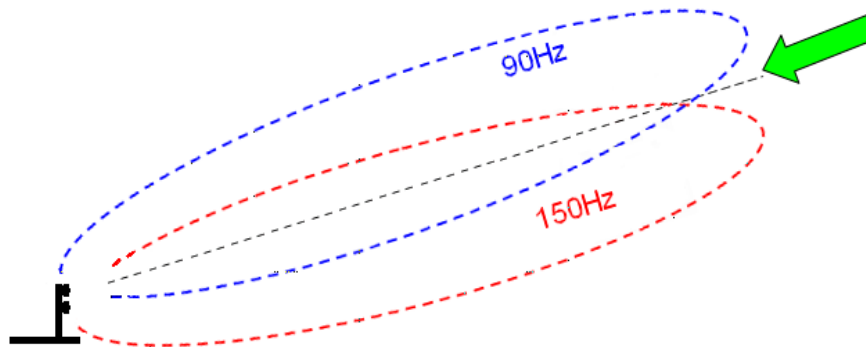


Figure 86: DDM normale
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS



Figure 87: Représentation de l'axe est centrée sur l'instrument
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

Remarque : L'aéronef est sur le plan de descente face à la piste. La représentation de l'axe est centrée sur l'instrument.

V.5.2.2 En dessous de l'axe de descente

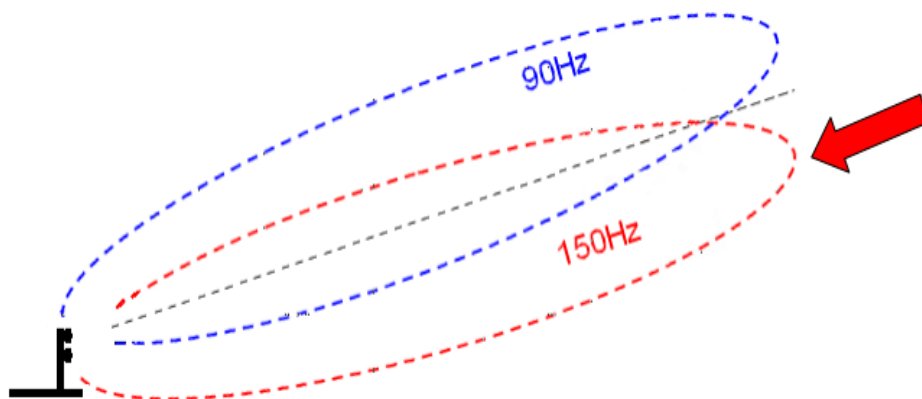


Figure 88: $DDM < 0\mu A$
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS



Figure 89: Approche sur le côté droit de l'instrument
Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS

Remarque : L'aéronef est au-dessous de l'axe théorique de descente face à la piste. La représentation de l'axe est représentée en haut de l'instrument.

V.5.2.3 Au-dessus de l'axe de la piste ^[55]

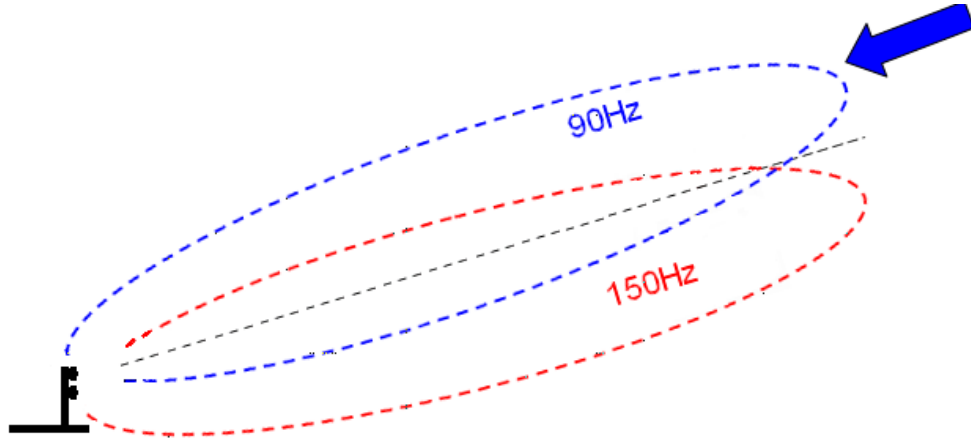


Figure 90: **DDM > 0 μ A**

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS



Figure 91: **Représentation de l'axe est représentée en haut de l'instrument**

Source : Section Instruction – IVAO TM division France , ILS