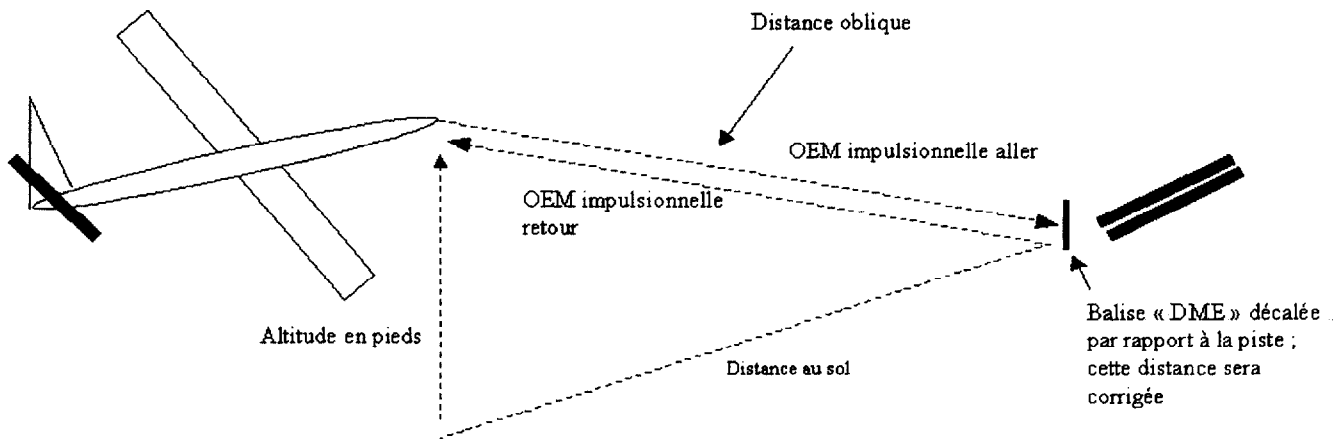


- Balise « DME » (**Distance Measuring Equipment**) : cet émetteur-récepteur, situé à proximité de l'émetteur « localizer », transmet à l'aéronef par voie hertzienne une information qui lui permet de calculer en mille marin (nautic mile, NM) la distance oblique qui le sépare de la piste .

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

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, ce qui, associées aux informations de cap et de pente permettront au pilote de poursuivre ou non la procédure d'atterrissage. (cf. page DT6 et figure 3 ci-dessous)

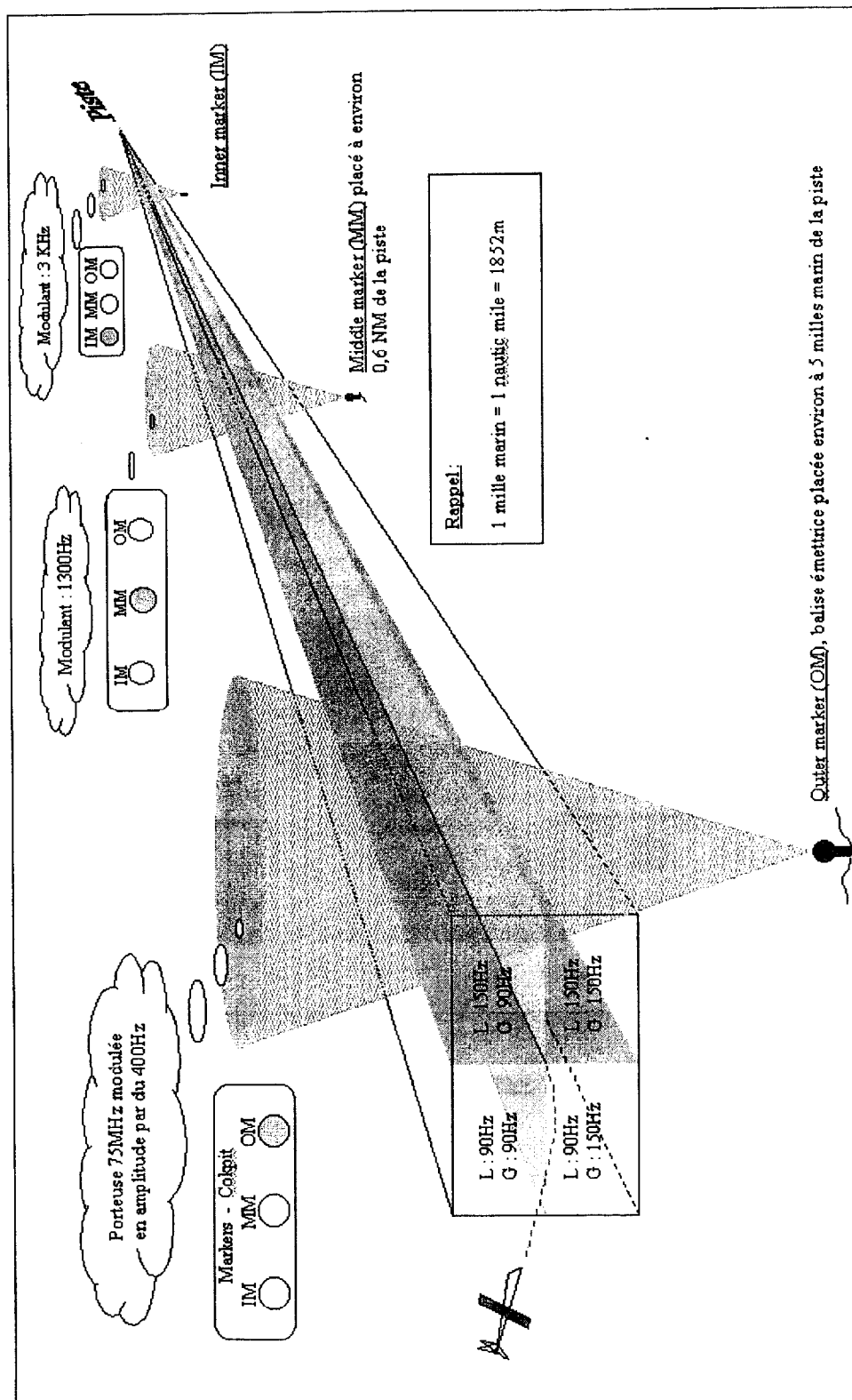


Figure 3 : balises de positionnement (markers)

C.1.1.b. Interactions :

- **a** : l'identifiant de la piste et le cap (« localizez ») sont transmis par une porteuse modulée en amplitude située dans la bande VHF (108,1 MHz – 111,95 MHz) ; cette bande comporte 40 canaux ; de plus, un canal 0 « Self TEST » est réservé à 107,95 MHz (cf. tableau page DT37) ; à chaque canal « alignement » est apparié un canal « pente ». L'identifiant, codé en MORSE sur 3 lettres, (cf. tableau page DT33) permet à l'aéronef de reconnaître la piste sur laquelle il doit atterrir. Au modulant « alignement » sont associées deux fréquences, 90 Hz (« trop à gauche ») et 150 Hz (« trop à droite ») – (cf. page DT5 et figure 5 ci-dessous).

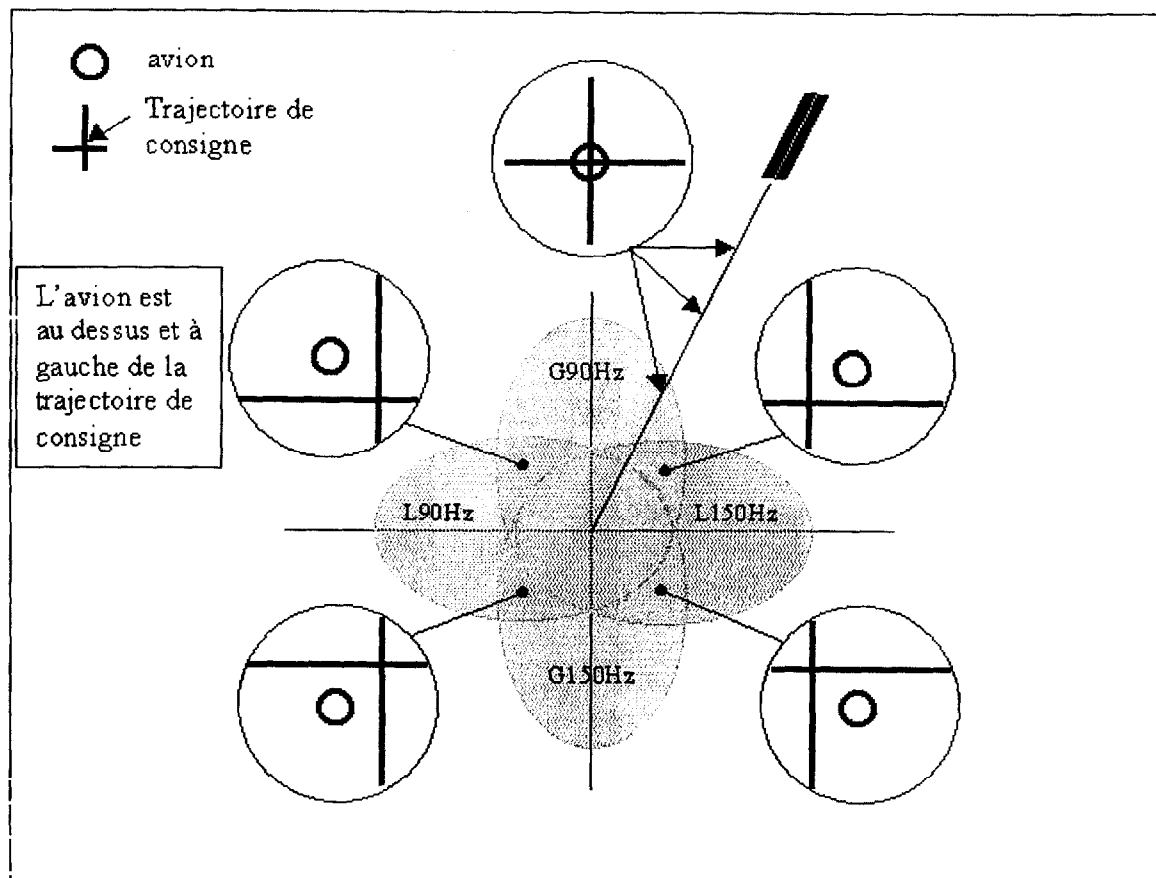


Figure 5 : affichage dans le cockpit de la position de l'avion

- **b** : la pente (« glide ») est une consigne qui est transmise par une porteuse modulée en amplitude dans la bande UHF (329,15 MHz – 335,15 MHz) ; cette bande comporte aussi 40 canaux (cf. tableau page DT37) ; au modulant « pente » sont associées deux fréquences, 90Hz (« trop haut ») et 150Hz (« trop bas ») .

- **f** : image en « visuel » de la piste.
- **g** : distance entre l'aéronef et la piste (DME) ; OEM déphasées (VOR)
- **h** : la balise reçoit en provenance de l'aéronef, une fréquence « d'interrogation » ; elle lui réexpédie une fréquence « réponse » décalée de 63 MHz ; le temps mis par l'onde pour faire l'aller-retour permet à l'aéronef de calculer la distance « oblique ».
- **i** : cf. figure 3. (page DT13)
- **j** : informations échangées oralement entre le pilote et le personnel de la tour de contrôle de l'aéroport .
- **k** : aéronefs, passagers et personnels.
- **l** : passagers, personnels.
- **X** : personnels.

C.1.1.c. Aéronef (descriptif partiel):

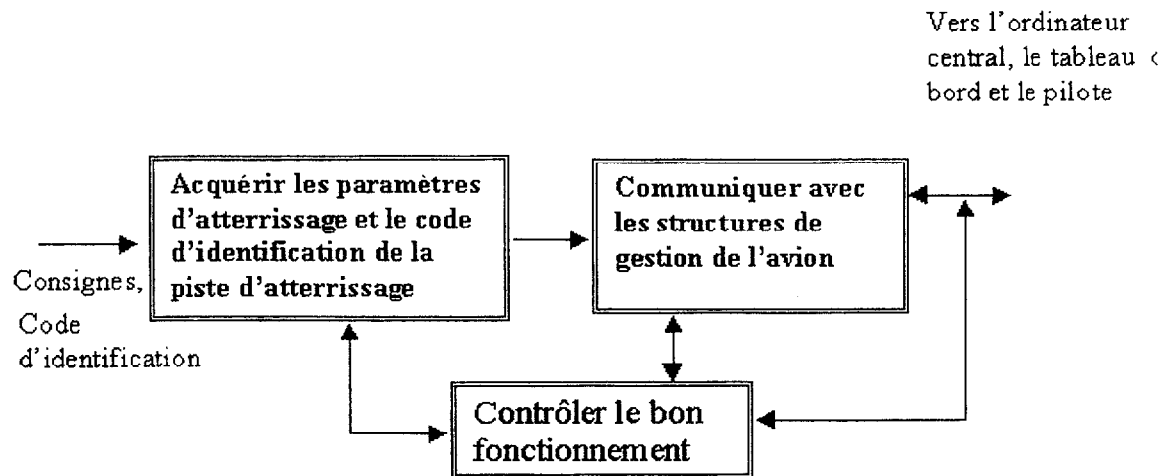
- Récepteur ILS : ce récepteur est accordé par le pilote sur les canaux « alignement » et « pente », via le tableau de bord et l'ordinateur de bord ; après avoir reçu les données « identifiant piste », « alignement » et « pente », le récepteur les identifie, les contrôle, les adapte en vue de les transmettre à l'ordinateur central puis de les afficher sur le tableau de bord ; ceci afin d'aider le pilote à caler sa trajectoire de descente sur la consigne émise par l'aéroport .
- Tableau de bord : c'est l'interface entre le pilote et les paramètres de pilotage, décrite ici de façon non exhaustive:
 - Il affiche les différents paramètres de vol ;
 - Il permet de sonoriser des informations spécifiques (*code morse caractérisant l'identifiant de la piste, ou tout autre code morse émis d'une balise tel que celle des « marker » survolés*) ;
 - il permet au pilote d'activer les différentes commandes et d'entrer les paramètres associés (ex. : canal de réception ILS, page DT37).
- Ordinateur de bord : il gère l'ensemble des tâches permettant d'amener l'aéronef d'un point A à un point B. Ces tâches regroupent la mesure des différents paramètres externes et internes , leur traitement et la commande des différents organes effecteurs.
- Pilote : il gère les différentes commandes de l'appareil et contrôle son bon fonctionnement . Pour ce qui est de l'atterrissage, il communique avec la tour de contrôle qui lui transmet le « nom » de la piste ; il accorde le récepteur ILS en sélectionnant le canal des fréquences associées à la piste ; il identifie le code morse (3 lettres) caractérisant l'identifiant de la piste ; il lie sur les instruments la position de l'appareil (cf. fig.5) par rapport à la consigne émise par l'aéroport et corrige les écarts éventuels (« alignement » et « pente ») en agissant sur les commandes appropriées.

- Capteurs et chaînes d'acquisition : ces structures mesurent les différents paramètres nécessaires au bon fonctionnement de l'appareil et donc à la sécurité des passagers ; citons en particulier les paramètres « air » (ex. : vitesse relative de l'avion / air permettant d'éviter le décrochage → absence de portance où l'avion chute comme une pierre).
- Emetteur-récepteur : il assure la communication entre la tour de contrôle et le pilote ; il assure l'émission et la réception des paramètres nécessaires au calcul de la distance de l'avion par rapport à la piste, DME ; il reçoit du VOR, deux OEM, dont le déphasage lui permet de calculer son azimut ; il assure la réception des distances de seuils de décision provenant des « markers ».
- Radar : il permet à l'aéronef de connaître son altitude par rapport au sol ; il lui permet aussi de « lire » son environnement et en particulier de connaître la position des autres aéronefs.

C.1.1.d. Quelques interactions :

- **C** : paramètres « alignement » et « pente » sous forme numérique, destinés à commander l'affichage du tableau de bord ; ces paramètres sont transmis en série par un protocole ARINC 429 (*page DT28*) ; cette liaison véhicule aussi , codé en Morse (*page DT34*), l'identifiant de la piste destiné à être écouté et reconnu par le pilote.
- **d** : données destinées à contrôler la validité des données reçues et donc sécuriser le vol.
- **e** : paramètres de vol visuels et sonores.
- **n** : paramètres « air » (température, pression, vitesse et direction du vent).
- **Q** : paramètres nécessaires au calcul de la distance qui sépare l'aéronef de piste d'atterrissage ; paramètres nécessaires à la prise de décision d'atterrir.
- **W** : paramètres de contrôle et d'affichage transmis par un bus ARINC429.

c.2. Schéma fonctionnel de niveau 2



Fonction d'usage

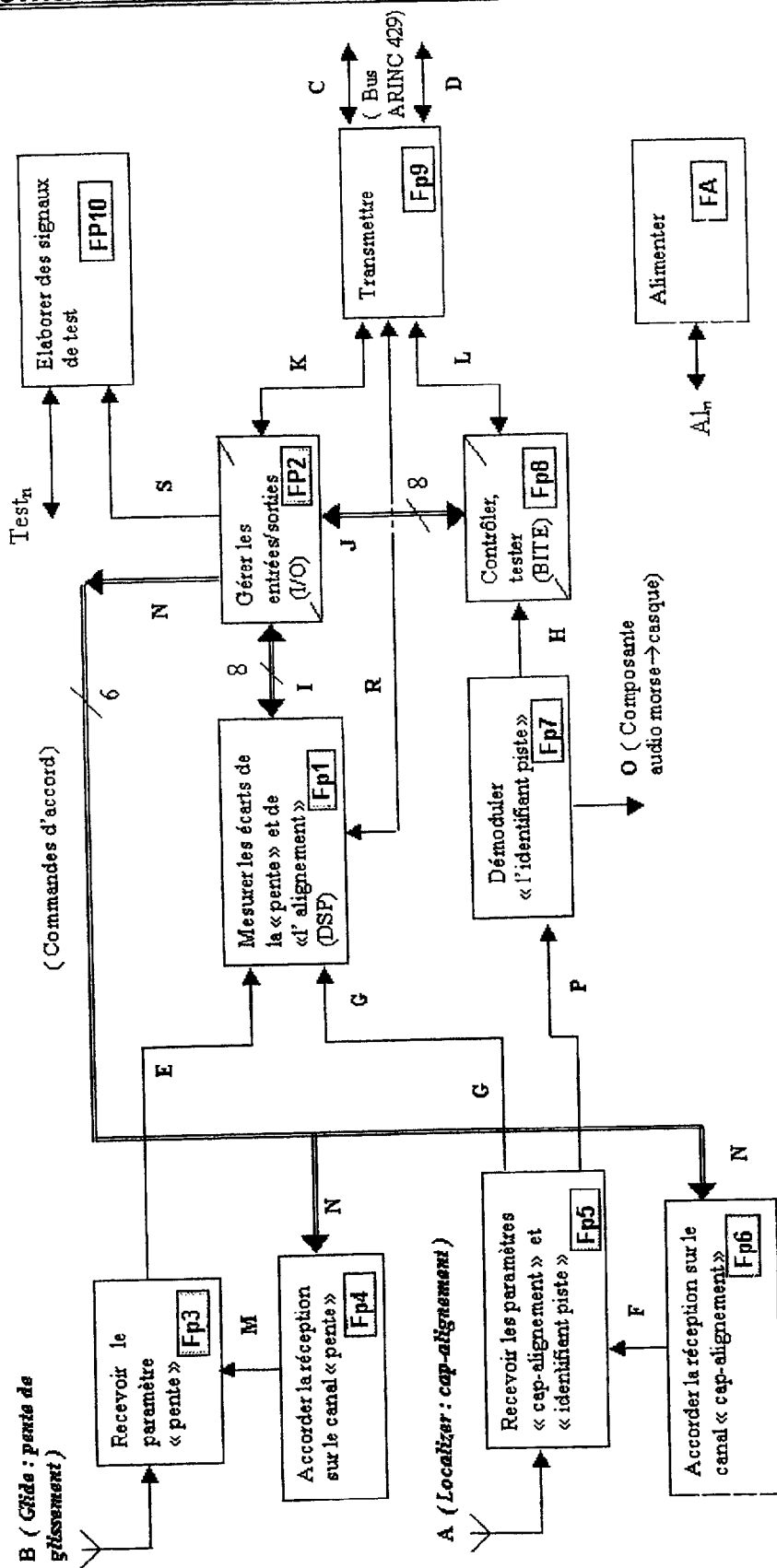
Le récepteur ILS placé dans l'aéronef permet :

- D'acquérir et d'identifier :
 - Les consignes de pente et d'alignement (cap) émises par l'aéroport ; ces consignes définissent la trajectoire idéale à suivre par l'aéronef lui permettant d'atterrir dans les meilleures conditions.
 - Le code d'identification de la piste d'atterrissage
- De communiquer les informations reçues à l'ordinateur de bord, aux instruments du tableau de bord et au pilote
- De sécuriser l'atterrissage en contrôlant le bon fonctionnement du récepteur.

Matière d'œuvre : INFORMATIONNELLE.

c.3. Schéma fonctionnel de degré 1 du récepteur ILS

Schéma fonctionnel du 1^{er} degré du récepteur ILS



Descriptif du schéma fonctionnel du 1^{er} degré

FP1 : Mesurer l'écart de « pente » et « d'alignement (cap) »

Cette fonction permet de quantifier les écarts respectifs de la pente et de l'alignement de la trajectoire d'atterrissage par rapport à une consigne préétablie par l'aéroport - ceci, dans le but de pouvoir corriger cette trajectoire. Ce calcul d'écart, DDM (voir page DT38), est réalisé par une structure bâtie autour de « processeurs de signaux » (DSP 77C25).

- Entrées **E** : voir FP3
G : voir FP5
- Sorties **I** : trame de 8 octets (bytes) transmis sur un bus parallèle (8 fils) respectant la chronologie indiquée dans le document intitulé « trame numérique », page DT31. Ces octets quantifient la déviation de trajectoire (aéronef / consigne) par rapport à la consigne **pente** (*glide slope*) et la consigne **d'alignement** (*cap - localizer*). Les niveaux électriques sont compatibles avec la famille « 74HC » alimentée en 5v.
- Entrée/sortie **R** : signaux logiques de contrôle (« 74HC » alimenté en 5v) permettant :
 - de gérer le transfert de données (DMA request handshaking) vers FP2 (gérer les E/S) et cadencer la transmission (Clock).
 - d'autoriser ou d'inhiber la transmission des données par le bus « ARINC » vers la périphérie de l'objet technique « récepteur ILS ».

FP2 : Gérer les entrées/sorties

Cette fonction gère les échanges entre les objets techniques périphériques (ordinateur de bord, tableau de bord) et la structure à base de DSP qui calcule les écarts de trajectoire. Elle transmet à la chaîne de réception des paramètres, pente et alignement, ainsi que le canal de réception sélectionné par le pilote.

- Entrées **I** : voir FP1
J : données numériques (bus 8 bits) caractérisant :
 - le code d'identification de la piste
 - les commandes de test .**K** : données numériques caractérisant la fréquence d'accord ; format 32 bits, mode de transmission série (cf. document intitulé « Codage des mots 32 bits » page DT30).
- Sorties **J** : données numériques caractérisant des erreurs (ex. : données non valides) ou des données de contrôle.
N : commande d'accord ; voir fonction FP4
K : données numériques caractérisant l'écart de « pente » ou « d'alignement » ; format 32 bits, mode série .
S : signal de contrôle du mode Self TEST du récepteur ILS ; voir fonction FP10.

FP3 : Recevoir le paramètre « pente de glissement » - glide slope -

Lorsque la structure réalisant cette fonction est accordée sur le canal de réception correspondant à la piste d'atterrissage, elle reçoit dans la bande UHF un signal modulé en amplitude par les paramètres « trop haut » (90Hz) et « trop bas » (150Hz) dont les niveaux respectifs permettront de quantifier ultérieurement l'écart par rapport à la consigne « pente » (DDM : *difference depth of modulation*, page DT38).

- Entrées **B** : OEM (onde électromagnétique) modulée en amplitude par deux modulateurs à 90Hz (haut) et 150Hz (bas) - taux de modulation : 40% pour chaque modulateur sur le plan de consigne. Taux maximum 80%. Porteuse comprise dans la bande UHF, 329 MHz - 336 MHz . Sensibilité : - 89 dBm.

M : fréquence hétérodyne générée par un synthétiseur de fréquences : plage de fréquence de 352,35 MHz à 356,55 MHz ;

Ce signal est mélangé (récepteur superhétérodyne) au signal reçu en **B** en vue d'effectuer une transposition fréquentielle à 21,4 MHz (1^{ère} fréquence intermédiaire Fi1).

- Sortie **E** : signal BF démodulé (enveloppe) comportant les composantes 90Hz et 150Hz, images de l'écart entre la pente de la trajectoire de consigne et la pente réelle.

FP4 : Accorder la réception sur le canal « pente »

Cette fonction permet d'accorder la réception sur un canal fréquentiel compatible avec l'émetteur du paramètre « pente » installé au sol, à proximité de la piste d'atterrissage. La fonction est réalisée par un synthétiseur de fréquences bâti autour d'un OCT (VCO) .

- Entrée **N** : mot binaire de 6 bits permettant de régler le rapport de division du synthétiseur de fréquences afin d'accorder le récepteur sur un canal parmi 40 (cf. document intitulé «canaux d'accord » page DT37).
- Sortie **M** : fréquence hétérodyne destinée à être mélangée au signal reçu sur l'antenne UHF ; gamme de fréquences : 352,35 MHz - 356,55 MHz.

FP5 : Recevoir les paramètres « cap-alignement » et « identifiant piste » - Localizer -

Lorsque la structure réalisant cette fonction est accordée sur le canal de réception correspondant à la piste d'atterrissage, elle reçoit dans la bande **VHF** un signal modulé en amplitude par les paramètres « trop à gauche » (**90Hz**) et « trop à droite » (**150Hz**) dont les niveaux respectifs permettront de quantifier ultérieurement l'écart par rapport à la consigne « alignement ».

- Entrées **A** : OEM (onde électromagnétique) modulée en amplitude par :
 - deux modulateurs à 90Hz (gauche) et à 150Hz (droite) avec un taux de **modulation AM de 20%** sur le plan de consigne pour chacun des 2 modulateurs. La variation du taux de modulation 90Hz et 150Hz est **symétrique de part et d'autre du plan de la piste** . Le 90 Hz est prédominant à gauche, le 150 Hz à droite. Taux maximum 40%.(page DT38)
 - un modulateur à 1020Hz (modulation ASK : 1020 Hz et « silence ») permettant de coder l'identifiant de la piste en **MORSE**.
Taux de modulation 10%.
 - Porteuse comprise dans la bande VHF, 108MHz – 112MHz .
 - **Sensibilité : - 99 dBm.**

F : signal généré par un synthétiseur de fréquences dans la plage 86,55 MHz- 90,55 MHz ; ce signal est mélangé au signal reçu en **A**, puis filtré, en vue d'effectuer une transposition fréquentielle à 21,4MHz (1^{ère} fréquence intermédiaire Fi1). Récepteur Superhétérodyne (*double changement de fréquence*).

- Sorties **G** : signal BF démodulé (enveloppe) comportant les modulateurs 90Hz et 150Hz, images de l'écart d'alignement (cap) entre la trajectoire de consigne et la trajectoire de l'aéronef.

P : signal BF filtré (enveloppe) comportant le modulateur à 1020Hz véhiculant le code morse de l'identifiant de la piste (cf. document intitulé «Identifiant piste » page DT33).

FP6 : Accorder la réception sur le canal « cap-alignement »

Cette fonction permet d'accorder la réception sur un canal fréquentiel compatible avec l'émetteur du paramètre «cap-alignement» installé au sol, au bout de la piste sur laquelle l'aéronef doit atterrir. La fonction est réalisée par un synthétiseur de fréquences bâti autour d'un OCT (VCO) qui est contrôlé par la phase de deux signaux à « 50 kHz »

Il est à noter que chaque canal « cap-alignement » (parmi les 40 sélectionnables + 1 Self TEST) est apparié avec un canal « pente ». On dispose de plus d'une fréquence pour le test de l'équipement.

- Entrée **N** : voir FP4
- Sortie **F** : **fréquence hétérodyne** destinée à être mélangée au signal reçu sur l'antenne VHF ; gamme de fréquences : **86,55 MHz - 90,55 MHz**

FP7 : Démoduler l'identifiant de la piste d'atterrissage

Cette fonction permet d'extraire d'un signal modulé en « tout ou rien » (modulation ASK) par une porteuse à 1020Hz, l'identifiant de la piste, codé en morse (« *Identifiant de la piste* » page DT33).

- Entrée **P** : voir FP5
- Sorties **O** : signal audio, codé en morse, dirigé vers le casque du pilote ou un haut-parleur dans le cockpit.
H : signal numérique deux états (niveaux 0 - 5v) véhiculant le code morse de l'identifiant caractérisé en général par 3 lettres.

FP8 : Contrôler, tester : BITE (Build In Test Equipment)

Cette fonction permet de sécuriser l'atterrissage en contrôlant et testant le bon fonctionnement du récepteur. Elle contrôle aussi la validité des paramètres reçus. (*par exemple :contrôle de l'identifiant de la piste*).

- Entrées **H** : voir fonction FP7
- Entrées/sorties **J** : voir fonction FP2
L : données numériques série destinées à la maintenance .

FP9 : Transmettre : Driver de BUS ARINC.

Cette fonction permet d'assurer la communication du récepteur ILS avec les structures périphériques par une transmission série asynchrone respectant le protocole **ARINC 429**.

- Entrées/sorties **R** : voir FP1
K : voir FP2
L : voir FP8
C : données numériques véhiculant les paramètres mesurés « pente », « cap » et « fréquence d'accord » ; ces données, formatées en mots de 32 bits, sont transmises en série en respectant le protocole ARINC 429 ; **les signaux sont codés RZ (retour à 0) - cf. doc. Intitulé « Bus avioniques » page DT28.**
D : identiques à **C** à la différence que les données numériques véhiculent des paramètres de test.

FP10 : Elaborer les signaux de TEST : schéma structurel page DT47.

Cette fonction permet d'élaborer les signaux de test du récepteur, notamment le canal 0 :

- Entrées **S, S'** : voir fonction FP2, sélection et configuration du mode Self TEST.
- sorties **Test_n, Test_s** : Fréquences du **canal 0** générées dans l'avion pour le test du récepteur ILS, en mode **Self TEST**, modulés par un signal de référence (90Hz et 150Hz et leurs harmoniques impairs) pour émuler le signal Glide et Localiser. (*voir page DT47*)

c.4. Schémas fonctionnels de degré 2 :

*Schéma fonctionnel du 2nd degré de Fp 1
(Mesurer les informations « pente » et « cap »)*

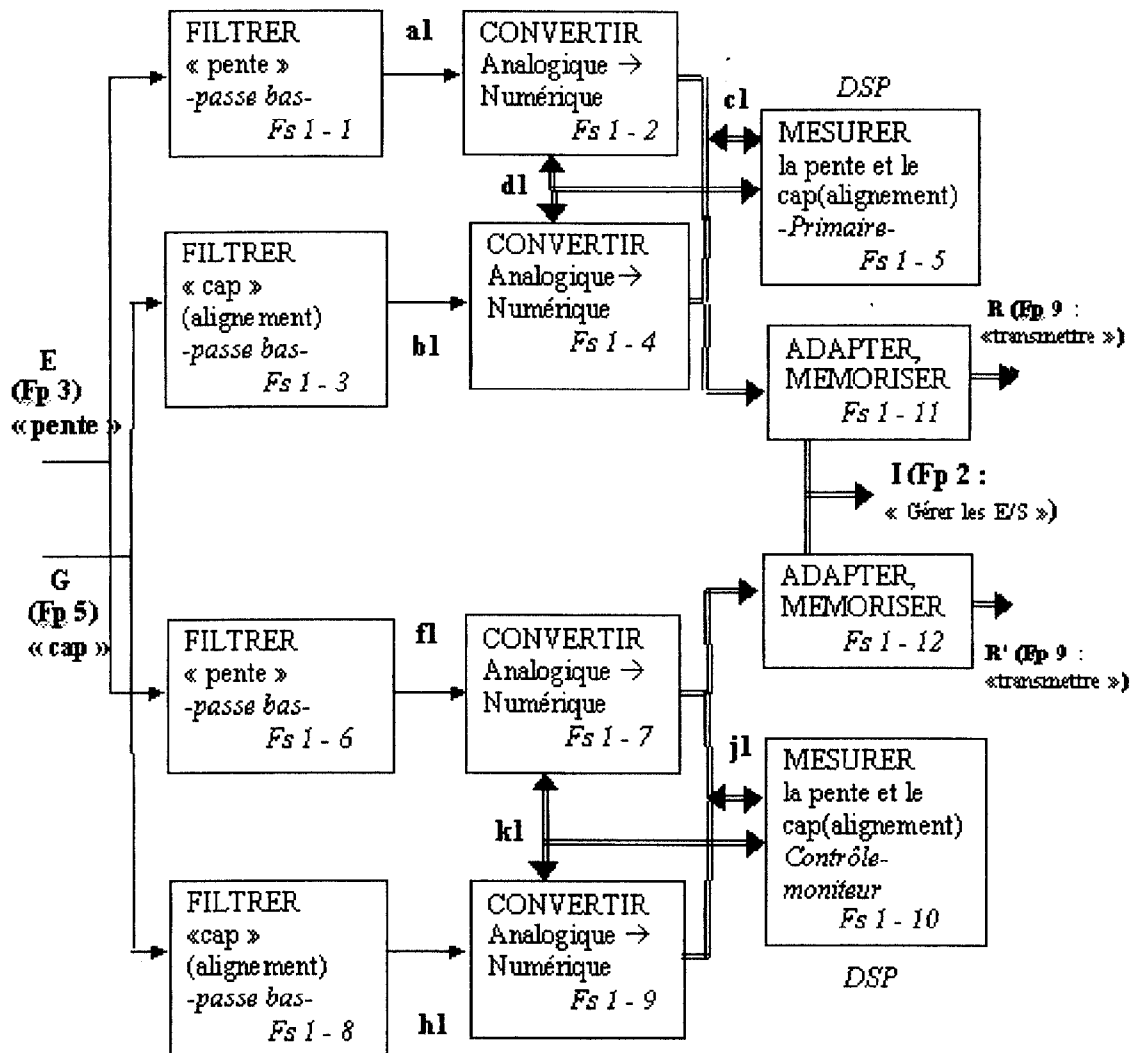


Schéma fonctionnel du 2nd degré de Fp 2 :
(Gérer les entrées / sorties)

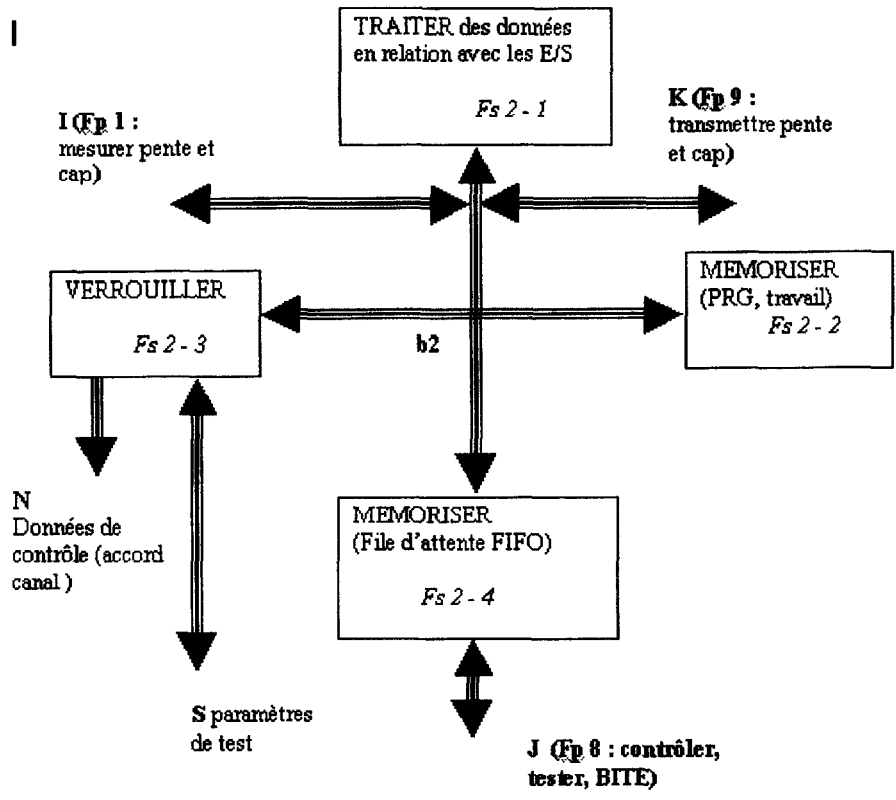


Schéma fonctionnel du 2nd degré de FP5
 (Recevoir les informations « cap-alignement et identifiant piste »)

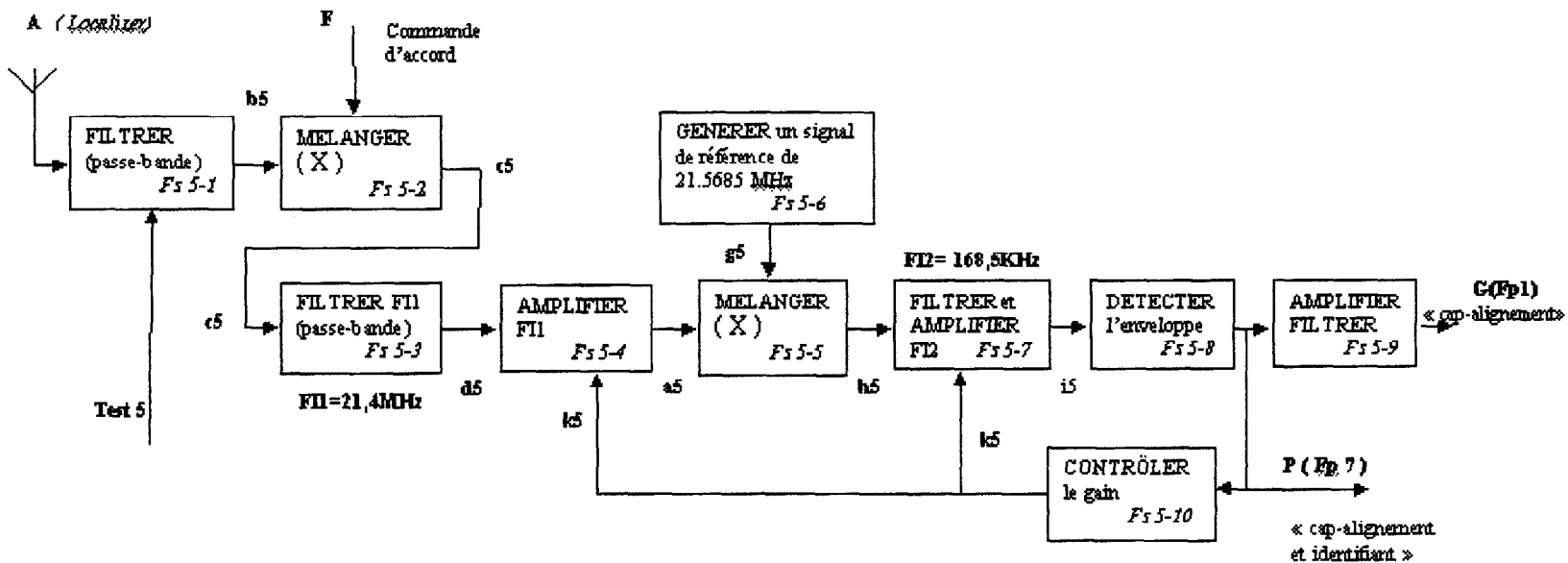


Schéma fonctionnel du 2nd degré de Fp 6
 (Accorder la réception sur le canal « cap-alignement »)

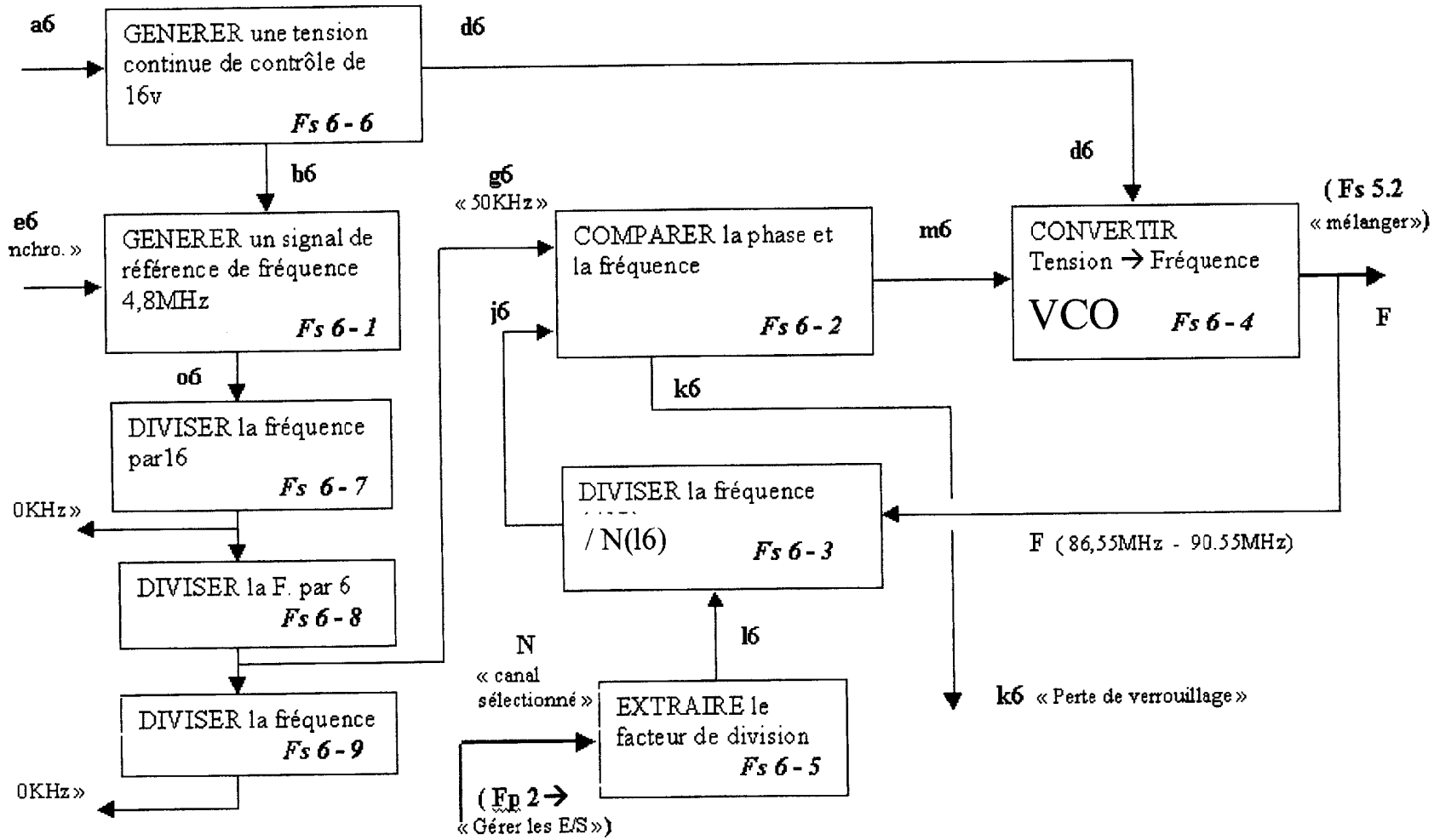


Schéma fonctionnel du 2nd degré de
Fp 7 : « Démoduler l'identifiant piste »

