

SYSTEME D'ATERRISSAGE TOUT TEMPS

| |
|--|
| <p style="text-align: center;">DOSSIER DE PRESENTATION DU SYSTEME D'ATERRISSAGE TOUT TEMPS ET DE L'OBJET : « RADIOALTIMETRE »</p> |
|--|

Ce dossier comporte les présentations suivantes :

Sommaire :

- Système d'atterrissage tout temps..... 2 pages.
DP1 – DP2.
- Radioaltimètre.....8 pages.
DP3 – DP10.
- Organisation du premier degrés.....2 pages.
DP11 – DP12.
- Organisation fonctionnelle **FP1**2 pages.
DP13 – DP14.
- Organisation fonctionnelle **FP2**2 pages.
DP15 –DP16.
- Organisation fonctionnelle **FP3**1 page.
DP17.
- Organisation fonctionnelle **FP4**.....1 page.
DP18.
- Schémas structurels **FS22** et **FS24**.....2 pages.
DP19 –DP20.

SYSTEME D'ATTERRISSAGE TOUT TEMPS

| |
|--|
| DOSSIER DE QUESTIONNEMENT DE L'OBJET : « RADIOALTIMETRE » |
|--|

Ce dossier comporte 6 parties indépendantes :

Sommaire :

- **Partie A** : Principes généraux mis en œuvre..... 3 pages.
DQ1 – DQ3.
- **Partie B** : Bilan de liaison.....4 pages.
DQ4 – DQ7.
- **Partie C** : Amplificateur à gain variable **FS22**..... 7 pages.
DQ8 – DQ14.
- **Partie D** : Etude du discriminateur **FS24**.....6 pages.
DQ15 – DQ20.
- **Partie E** : Synthèse de **FP3** Génération de « dent de scie »2 pages.
DQ21 – DQ22.
- **Partie F** : Traitement numérique **FP4**.....4 pages.
DQ23 – DQ26.
- **Documents réponses**.....5 pages.
DQ27 – DQ31.

SYSTEME D'ATTERRISSAGE TOUT TEMPS

DOSSIER DE DOCUMENTATION TECHNIQUE DE L'OBJET : « RADIOALTIMETRE »

Ce dossier comporte les documentations suivantes :

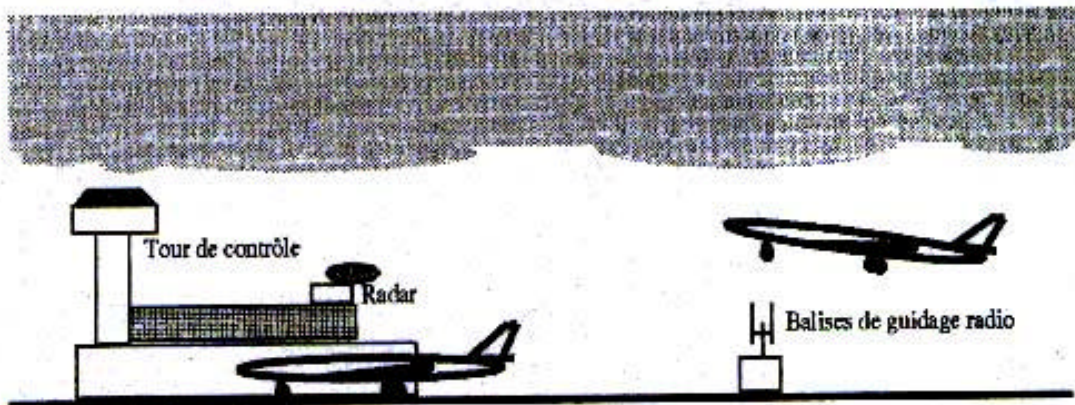
Sommaire :

| | | |
|---|-------------------|-----------|
| • Tableau des fonctions de Bessel : | DT1 | 1 page. |
| • Multiplieur IAM 81008 : | DT2..... | 3 pages. |
| • CNA AD7524 : | DT3 - DT7..... | 6 pages. |
| • Buffer sortie 3 état 74VHC244 : | DT8..... | 2 pages. |
| • Monostable 74VHC123A : | DT9 - DT11..... | 4 pages. |
| • Comparateur LM 193 : | DT12 - DT15 | 4 pages. |
| • Amplificateur opérationnel TL082 : | DT16..... | 1 page. |
| • Commutateur JFET 2N4391 : | DT17 - DT18..... | 2 pages. |
| • Commutateur JFET J177 : | DT19 - DT20..... | 2 pages. |
| • Varactor VTO 8000 : | DT21 - DT23..... | 8 pages. |
| • MC68HC811E2 (extrait) : | DT24 - DT44..... | 20 pages. |

Note importante : Les documentations techniques ne sont pas fournies dans leur intégralité. Seules les pages comportant des informations utiles sont présentes.

SYSTEME D'ATTERRISSAGE TOUT TEMPS

PRESENTATION SIMPLIFIEE



Ce système d'atterrissage *utilisable quelles que soient les conditions météo* permet :

- d'amener l'avion sur une trajectoire d'atterrissage précise,
- de lui conserver une assiette correcte,
- de prévoir l'instant où les roues vont toucher la piste.

Le **radar** permet la localisation des appareils dans leur phase d'approche, et le suivi de leur trajectoire.

Les **balises de guidage radio** permettent aux appareils de suivre les trajectoires précises qui leur sont assignées: certaines d'entre elles permettent de faire le point, tandis que d'autres assurent le guidage lors de la descente vers l'entrée de la piste.

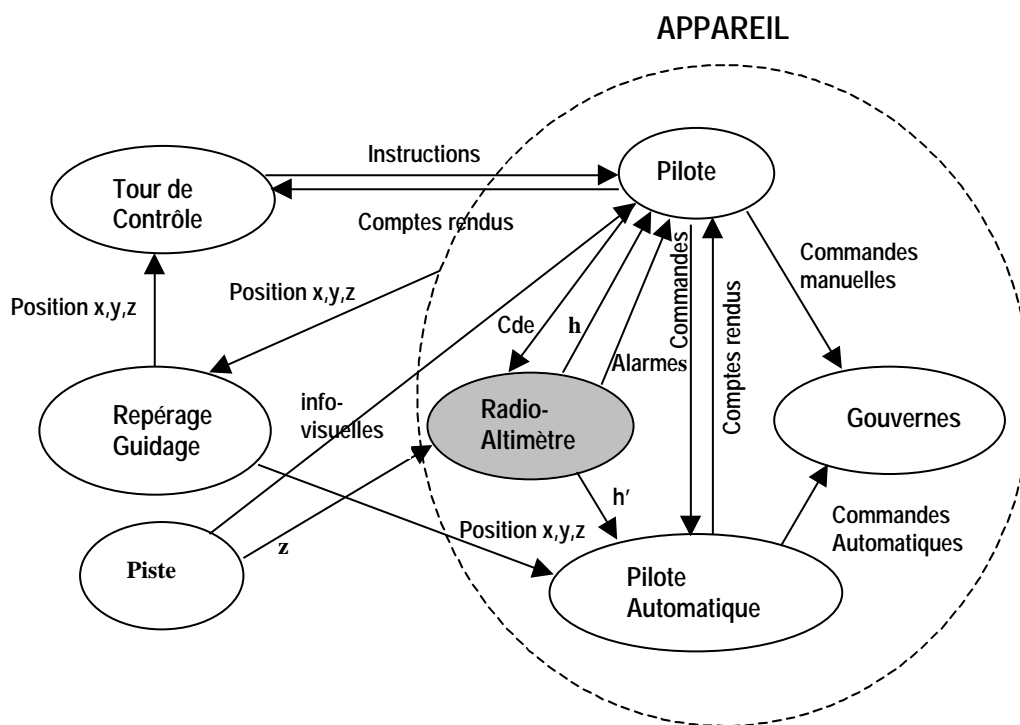
Un **balisage lumineux** permet un guidage visuel au niveau du sol.

La **tour de contrôle**, en liaison radiophonique avec l'équipage, assure la gestion du trafic:

- planification des atterrissages et des décollages,
- consignes de vol ...

SYSTEME D'ATTERRISSAGE TOUT TEMPS

Diagramme sagittal :



Le diagramme sagittal ci-dessus est limité à l'axe z. (Verticale de l'avion par rapport au sol). Les instruments de guidage xy (cap), d'indication d'assiette, de cap, de vitesse, l'ordinateur de bord, ... ne sont pas représentés.

La tour de contrôle informée en permanence de la position de l'appareil donne des instructions au pilote et reçoit des comptes rendus.

Le système de repérage et de guidage transmet à l'appareil embarqué et au pilote automatique en particulier, des informations de position et sur la trajectoire de la descente.

Le pilote automatique contrôle le cap, l'assiette et l'altitude h , en agissant sur les gouvernes.

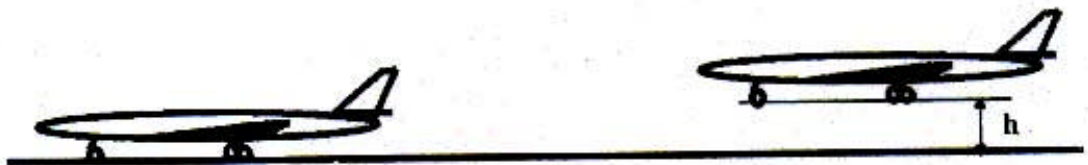
Le radio altimètre fournit au pilote et au pilote automatique des informations d'altitude h . En cas de défaut il génère une alarme.

RADIOALTIMETRE

1- FONCTION D'USAGE : Radioaltimètre d'atterrissage.

C'est un instrument d'aide à l'atterrissage sans visibilité :
Il indique l'altitude **h**, de l'appareil par rapport au sol, dans les phases d'approche et d'atterrissage.

L'altitude **0** correspond à la position de l'appareil au moment précis où, lors de l'atterrissage, les roues entrent en contact avec le sol.



2- CONTRAINTES

Plage de mesure de $0 < h < 30000$ pieds (1 pied = 30,48 cm)

Précision ± 1 pied sur la plage de 0 à 5000 pieds

Plage de température de -15 à $+ 71^{\circ}\text{C}$

Plage de fréquence de l'oscillateur du radio altimètre : de 4300 à 4500 MHz

Stabilité de la fréquence ± 20 MHz

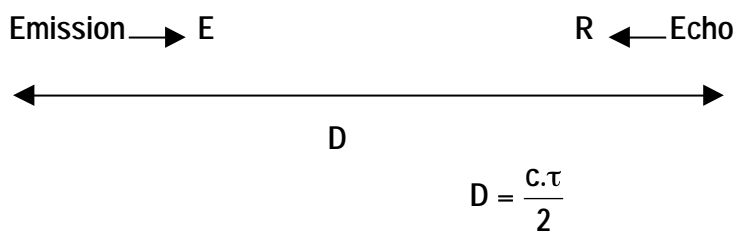
3 - PRINCIPE

Un radioaltimètre appartient à la classe des **RADARS**.

3.1 Les RADARS à impulsions

Une source **VHF** émet un signal pendant une durée brève (impulsion **E**).

La mesure du temps τ séparant cette impulsion (**E**) de la réception (**R**) de l'écho obtenu par réflexion sur l'objet, permet de calculer la distance **D** de ce dernier.



c étant la vitesse de la lumière

Ces radars ne permettent pas de mesurer des distances faibles. En pratique il faut $D > 5m$.

3.2 Les RADARS à effet Doppler

Ces radars sont des cinémomètres : ils sont sensibles à la vitesse **V** du mobile.

La fréquence reçue F_r est différente de la fréquence émise F_e .

α est l'angle que fait la trajectoire du mobile avec la direction de propagation de l'onde

$$F_r = \frac{(F_e - F_r)}{F_e} \cdot \frac{2 \cdot V \cdot \cos(\alpha)}{c}$$

On en déduit :

$$V = \frac{(F_e - F_r) \cdot c}{2F_e \cdot \cos(\alpha)}$$

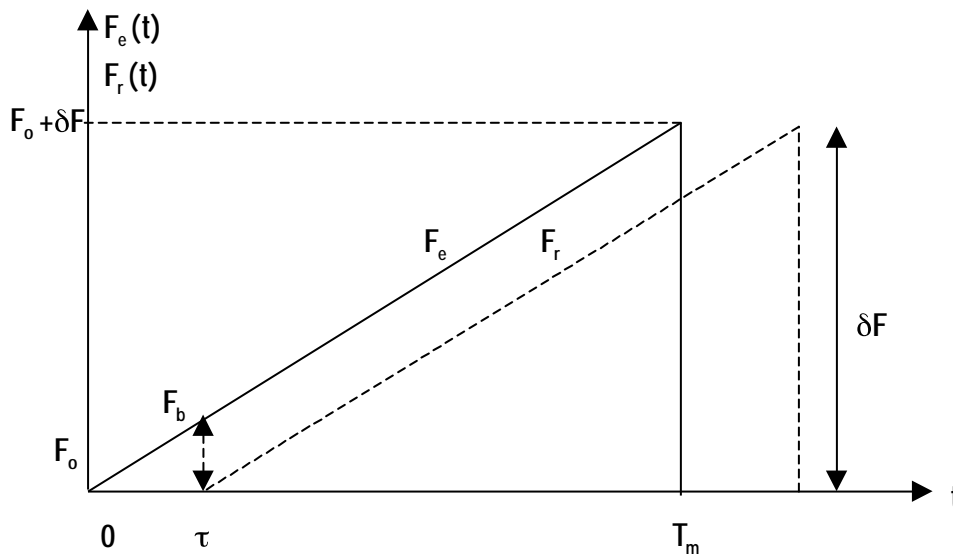
La mesure de $F_b = F_e - F_r$ permet de calculer **V**.

3.3 Les radars à modulation de fréquence

La fréquence F_e du signal émis est modulée suivant une loi en dents de scie entre les deux valeurs extrêmes F_0 et $F_0 + \delta F$. (Voir figure sur DP5).

L'écho de ce signal parvient avec un **retard** τ à l'antenne de réception. En mélangeant le signal reçu avec une partie du signal émis on fait apparaître une fréquence de battement :

$$F_b = F_e - F_r$$



τ = durée de l'aller retour

$$\frac{\delta F}{F_b} = \frac{T_m}{\tau}$$

δF = Variation maxi de fréquence

F_e = Fréquence émise

F_r = Fréquence reçue

On obtient la relation :

$$T_m = \frac{2.D.\delta F}{c.F_b}$$

D : Distance de l'antenne à l'objet.

On en déduit :

$$D = \frac{T_m \cdot c \cdot F_b}{2.\delta F}$$

Les radioaltimètres utilisent ce principe .

De plus si l'on peut maintenir δF et F_b constantes, la mesure de T_m permet de calculer l'altitude z dans le cas du radioaltimètre. La relation entre z et h sera précisée ultérieurement.

$$z = K.T_m$$

3-4 Le radioaltimètre à pente asservie

Il fonctionne selon le principe énoncé précédemment : **Radars à modulation de fréquence.**

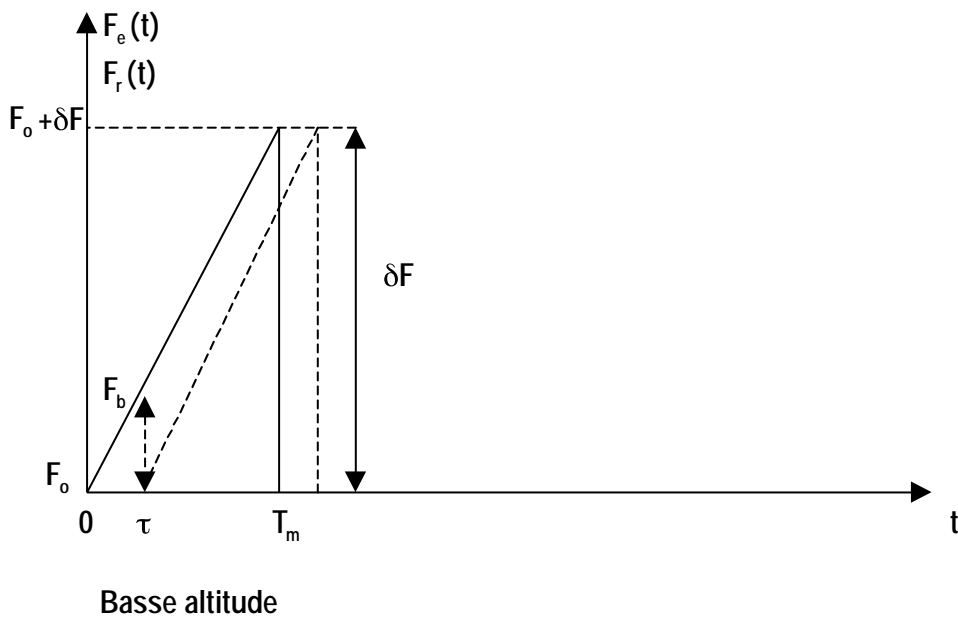
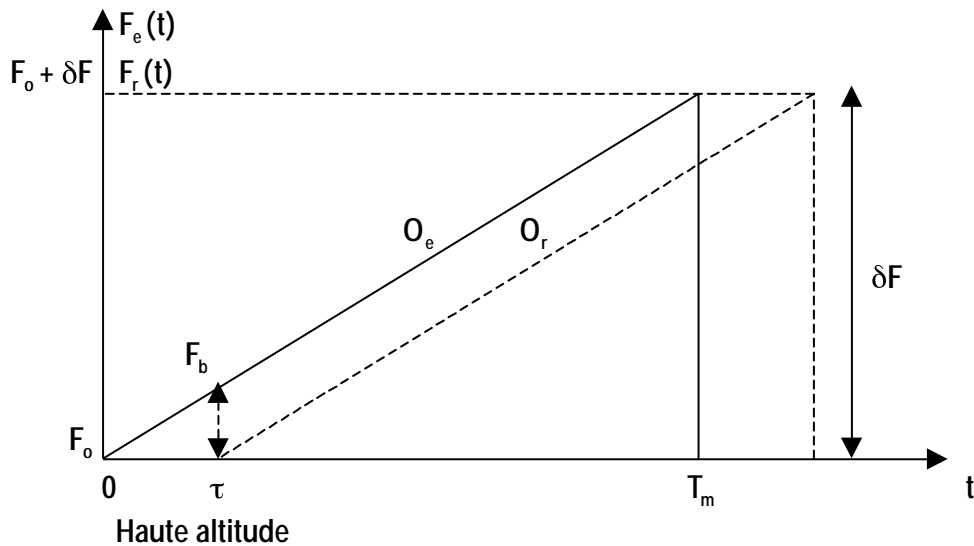
On sait que

$$T_m = \frac{2.h.\delta F}{c.F_b}$$

Et que δF et F_b sont constantes.

La pente du signal en dent de scie dépend donc de l'altitude :

- à haute altitude T_m est plus long.
- à basse altitude T_m est faible.



pour obtenir ces résultats, il faut réaliser deux asservissements :

- Le premier maintient la fréquence F_b à la valeur F_{b0} .
- Le second maintient l'excursion de fréquence δF constante.

Le calcul de l'altitude z sera alors réalisé à partir de la mesure de T_m .

Le radioaltimètre, support de l'épreuve est un radioaltimètre à pente asservie.

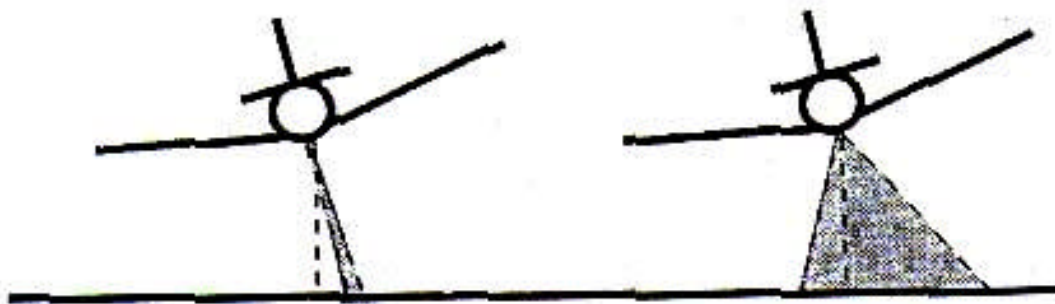
4 - LES PROBLEMES A RESOUDRE

4-1 Le roulis

L'altitude représente le plus court trajet entre l'appareil et le sol.

Lorsque l'appareil fait un angle avec le sol, si les antennes ont un diagramme de rayonnement étroit, et si le faisceau n'est plus dirigé verticalement, cela introduit une erreur de mesure.

Il faut utiliser des antennes avec un diagramme très ouvert : **45°** pour le lobe principal.



Dans ce dernier cas l'antenne de réception captera différents échos, ce qui se traduit par un élargissement du spectre vers les fréquences élevées.

L'électronique devra reconnaître le signal utile correspondant à τ_{\min} .

4 - 2 Le tangage

Les problèmes rencontrés lors du roulis apparaîtront lors du tangage, ainsi qu'à l'atterrissage et au décollage, du fait des angles d'inclinaisons que prend l'appareil par rapport au sol.

En outre compte tenu de la vitesse du déplacement par rapport au sol, l'effet Doppler se manifeste et il en résulte une variation de la fréquence du battement F_b qui peut atteindre **1 kHz**.

NB : Le relief entraîne des effets similaires à ceux constatés lors du tangage, car il modifie l'angle avion / sol.



4 - 3 Installation du radioaltimètre

Selon la géométrie de l'appareil, l'emplacement des antennes, la liaison entre les antennes et le boîtier électronique, il résulte un Délai d'installation dans l'appareil (**Aircraft Installation Delay**) qui sera désigné par **AID**.

L'altitude **h** du train d'atterrissage se calcule à partir de l'altitude **z** par la relation : $h = z - \text{AID}$

En pratique ce délai correspond à quelques dizaines de pieds.
Son réglage permet d'étalonner l'**altitude 0** correspondant au toucher des roues.

NB : L'emplacement et le diagramme des antennes doit être adapté à l'appareil pour que la mesure de l'altitude ne soit pas perturbée lors de la sortie du train d'atterrissage.

4 - 4 La variation du signal reçu

La propagation de l'onde, depuis l'antenne d'émission, jusqu'à l'antenne de réception, après une réflexion partielle par le sol suit la loi :

$$\frac{P_r}{P_e} = \frac{G_e \cdot G_r \cdot \lambda^2}{K_p \cdot 16 \cdot \pi^2 \cdot z^2}$$

P_e : puissance émise

P_r : puissance reçue

K_p : coefficient des pertes

G_e : gain de l'antenne émettrice : **Attention** : Dans cette formule $G_e = 10^{G_e \text{ dBi}}$

G_r : gain de l'antenne réceptrice : **Attention** : Dans cette formule $G_r = 10^{G_r \text{ dBi}}$

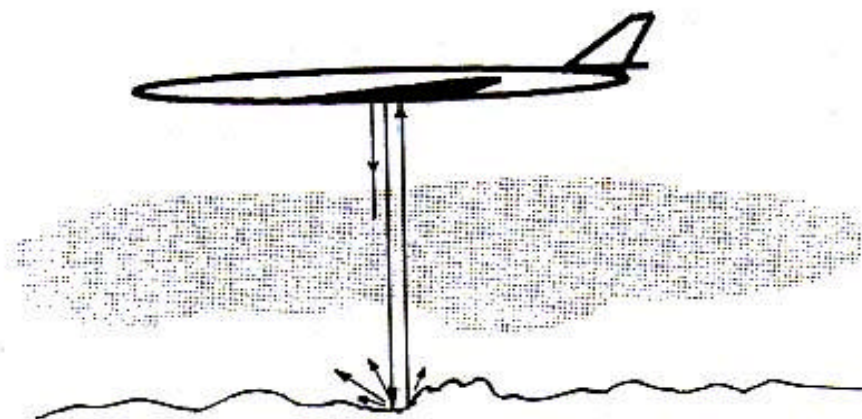
λ : longueur de l'onde émise

z : altitude en mètres

Le coefficient des pertes K_p tient compte de deux facteurs principaux :

- La *variation du milieu de propagation* du signal émis en fonction des conditions météorologiques (air sec, pluie, brouillard, neige ...)

- La *variation de la réflexion du sol* en fonction de sa nature (pleine, montagne, plan d'eau, roche, végétation, agglomération ...)



En résumé le rapport des puissances peut s'écrire :

$$\frac{P_r}{P_e} = \frac{K}{K_p \cdot z^2}$$

*Pour que le traitement soit effectué avec des signaux électriques de niveau sensiblement constant, il faut utiliser un amplificateur à gain variable en fonction de l'altitude (**Gain G**), dont la valeur sera fixée automatiquement à partir de la mesure de l'altitude.*

5 LES MODES DE FONCTIONNEMENT DU RADIOALTIMÈTRE

Dans le but de garantir des mesures fiables, ce radioaltimètre utilise 3 modes de fonctionnement :

- Le mode poursuite.
- Le mode recherche.
- Le mode contrôle d'intégrité.

5 - 1 Le mode poursuite

C'est le mode de fonctionnement courant du radioaltimètre. Lorsque la qualité du signal reçu par l'antenne de réception permet une mesure valide de l'altitude. La durée de la dent de scie est l'image de l'altitude.

5 - 2 Le mode recherche

Lorsque pour une raison quelconque, le signal reçu ne permet pas une mesure valide, le radioaltimètre entre automatiquement dans le mode recherche. Dans ce mode, il explore successivement les diverses altitudes, en partant de l'altitude zéro.

Lorsque la mesure devient valide, il retourne dans le mode poursuite. Si il ne parvient pas, au cours de cette exploration, à obtenir une mesure valide, alors il génère une alarme.

5 - 3 Le mode contrôle d'intégrité

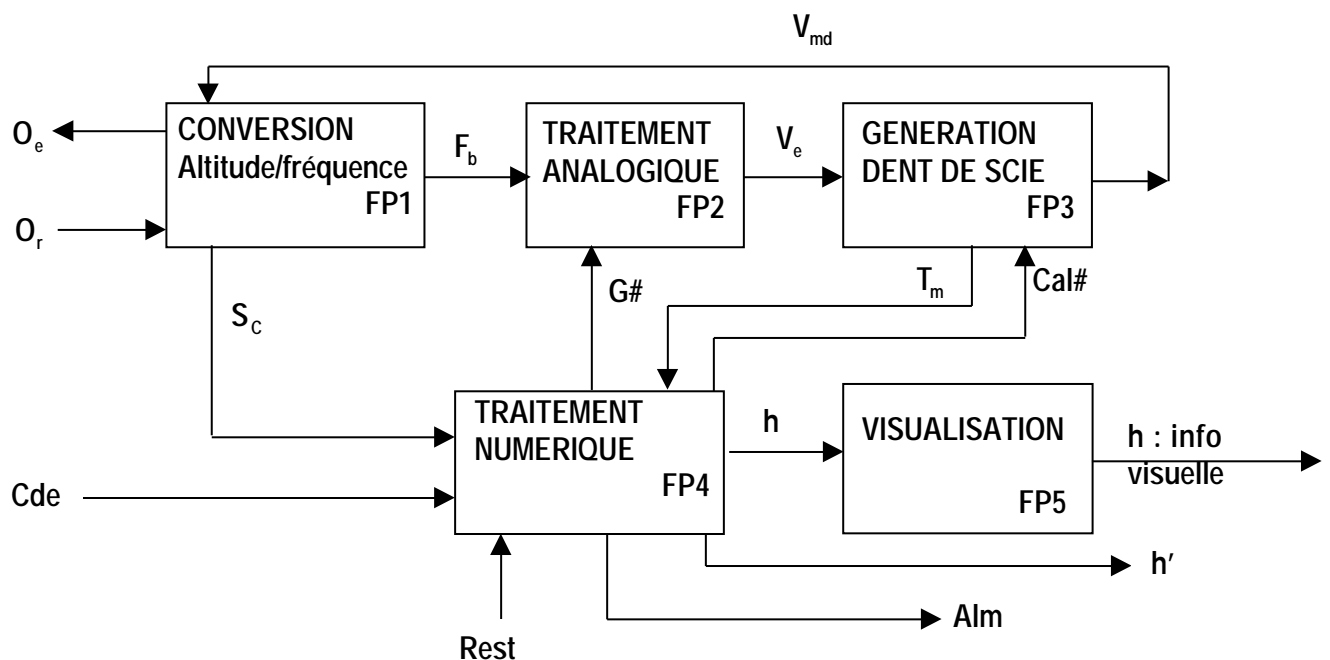
En vue de garantir l'intégrité de son fonctionnement, le radioaltimètre, teste périodiquement les fonctions qui constituent les chaînes de mesure utilisées dans les modes précédents. Pour cela, il injecte des signaux de test, puis contrôle les résultats obtenus. En cas de défaut il génère une alarme.

5 - 4 Remarque concernant les schémas

Afin de simplifier les divers schémas, les fonctions et les structures spécifiques des modes recherche et contrôle ne sont pas représentés.

ORGANISATION FONCTIONNELLE DU PREMIER DEGRE

Schéma fonctionnel du premier degré



FP1 : CONVERSION altitude / fréquence

- Réalise la conversion O_e / O_r en information contenant l'altitude z en élaborant la fréquence de battement F_b entre l'onde émise et l'onde reçue.
- Délivre un signal S_c de contrôle de la modulation.

FP2 : TRAITEMENT ANALOGIQUE

- Réalise une amplification variable en fonction de l'altitude.
- $G\#$: commande de l'amplificateur. C'est un mot numérique.
- Elabore une tension d'erreur V_e proportionnelle à F_b .
- Assure la stabilité de la boucle d'asservissement, constituée des fonctions **FP1**, **FP2**, **FP3**, notamment en adaptant son amplification en fonction de l'altitude en vue de maintenir la pente $\frac{\delta F}{T_m}$ constante. (Voir présentation générale 3.3)

FP3 : GENERATION DENT DE SCIE

- Elabore une tension V_{md} en dent de scie, dont la pente varie en fonction du signal de commande V_e .

FP4 : TRAITEMENT NUMERIQUE

- A partir de la mesure de T_m et du contrôle S_c , cette fonction détermine l'altitude h , et élabore les commandes de gain $G\#$ et de calibrage de la « dent de scie » $Cal\#$.
- Interprète les commandes et réglages Cde , et le cas échéant génère les alarmes Alm .
- Elabore l'information altitude h' pour le pilote automatique.

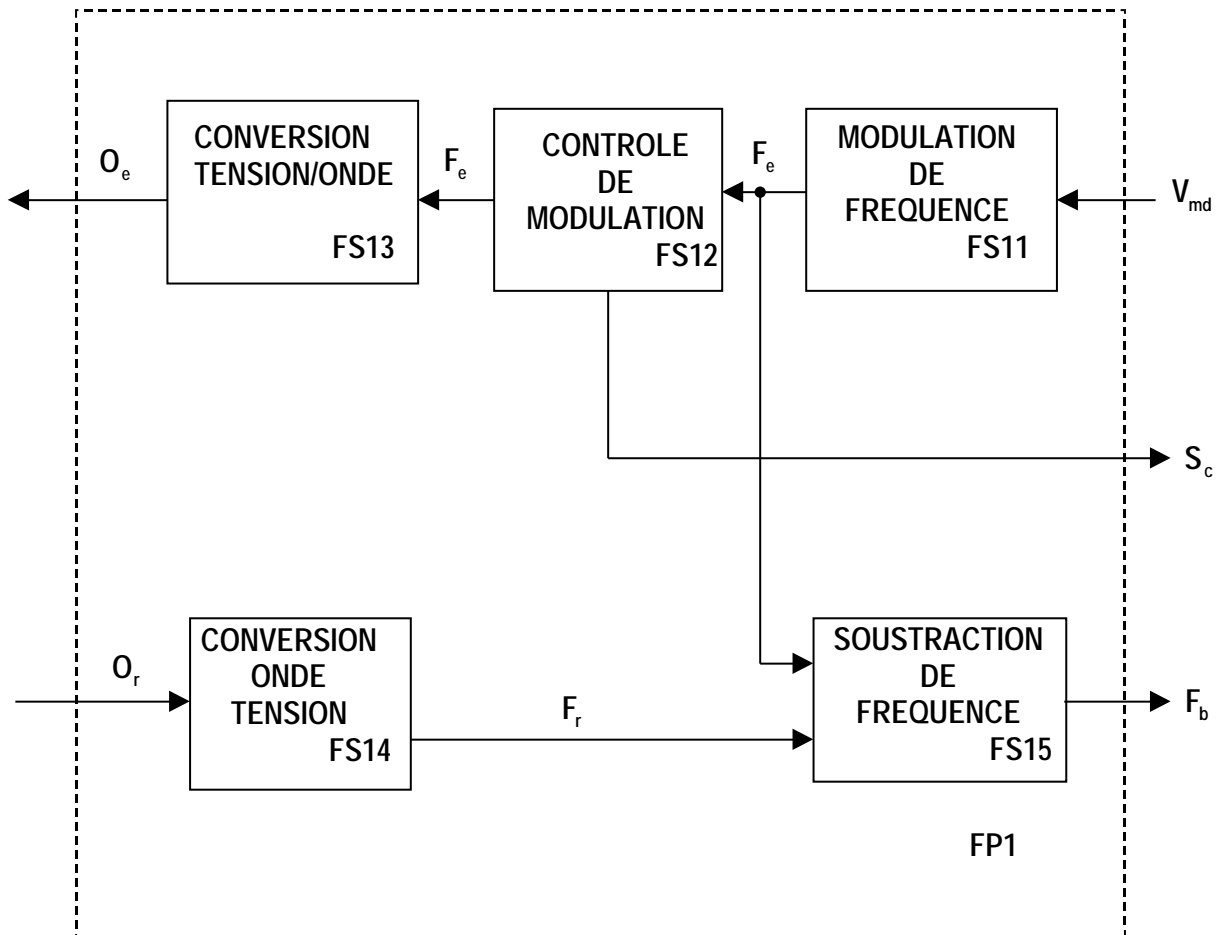
FP5 : VISUALISATION

Donne l'information d'altitude h sous forme lisible par le pilote.

Désignation des Entrées/Sorties

- z altitude de l'appareil.
- h altitude des roues.
- h' altitude pour le pilote automatique.
- $Cal\#$ Commande de calibrage de la dent de scie.
- F_b Fréquence de battement.
- $G\#$ Commande du gain en fonction de l'altitude.
- V_e Tension de commande de la pente de la dent de scie.
- V_{md} Tension en dent de scie modulant l'émetteur.
- S_c Signal de contrôle de la modulation.
- T_m Durée de la dent de scie.

Schéma fonctionnel de deuxième degré relatif à FP1 : Conversion altitude fréquence.



FS11 : MODULATION DE FREQUENCE

- Cette fonction secondaire est réalisée par un oscillateur à varactor dont la fréquence F_e est modulée par la tension V_{md} .

FS12 : CONTROLE DE LA MODULATION

- Délivre une information S_c lorsque, au cours de la modulation, la fréquence F_e est égale à une des valeurs de référence F_1 ou F_2 .

FS13 : CONVERSION TENSION /ONDE

- Cette fonction est réalisée par l'antenne d'émission qui rayonne une onde O_e de fréquence F_e .

FS14 : CONVERSION ONDE / TENSION

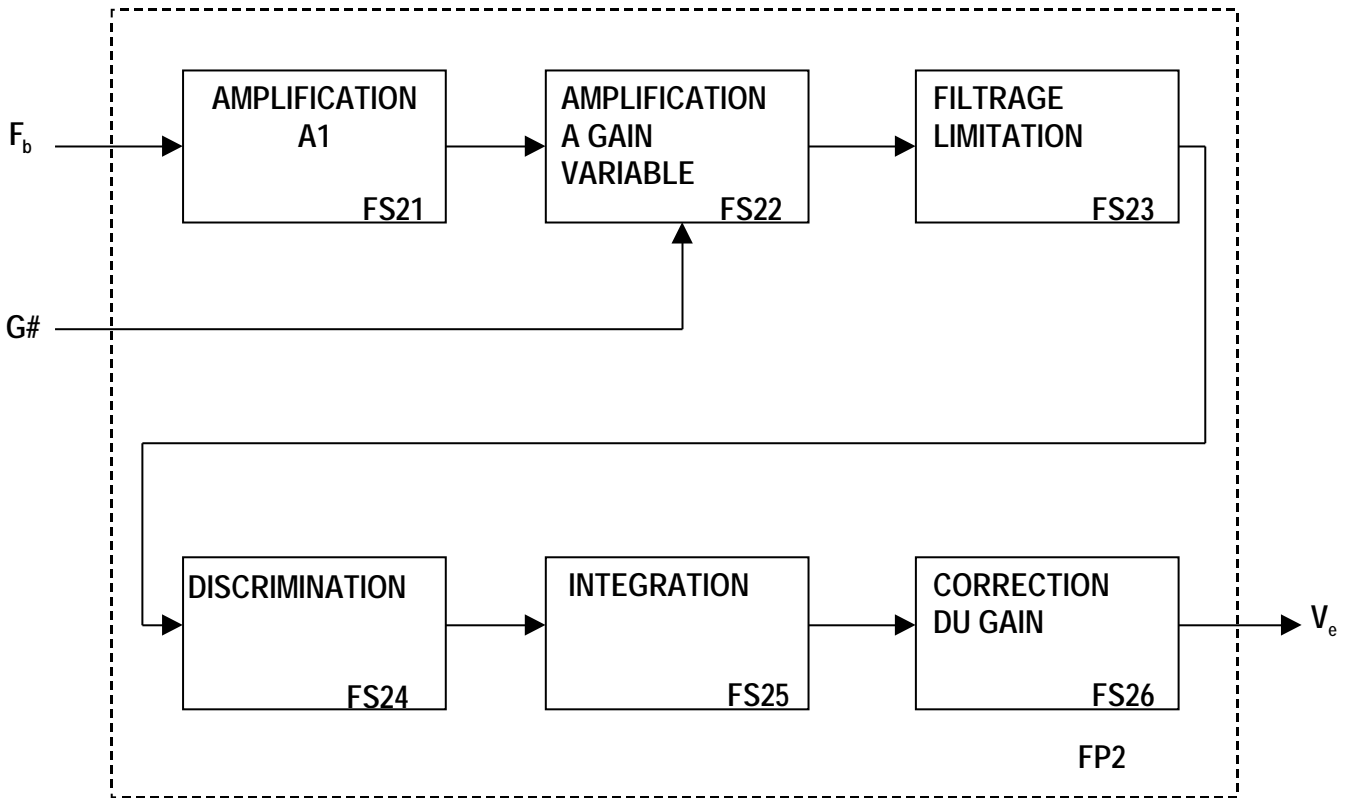
- Cette fonction est réalisée par l'antenne de réception qui capte l'onde réfléchie O_r et la transforme en un signal électrique de fréquence F_r .

FS15 : SOUSTRACON DE FREQUENCE

- Cette fonction est réalisée par un mélangeur :

$$F_b = F_e - F_r$$

Schéma fonctionnel de deuxième degré relatif à FP2 : Traitement analogique.



FS21 : AMPLIFICATION A1

- Amplification de valeur constante **A1 = 48**

FS22 : AMPLIFICATION VARIABLE A2

- La commande **G** permet de régler l'amplification en fonction de l'altitude mesurée, afin de maintenir l'amplitude de la tension d'entrée du discriminateur sensiblement constante.

FS23 : FILTRAGE/LIMITATION

- Cette fonction limite le spectre du signal transmis dans une bande étroite, centrée sur **25 kHz** en vue de s'affranchir des ondes multiples réfléchies par le sol et reçues par l'antenne de réception. De plus elle amplifie par 256 le signal transmis.

- La variation du coefficient de pertes peut faire varier le niveau du signal reçu de façon relativement importante (Hangar en tôles survolés à basse altitude par exemple). Cette fonction a aussi pour effet d'empêcher une variation brutale de l'amplitude appliquée à l'entrée du discriminateur ce qui risquerait d'entraîner des perturbations.

FS24 : DISCRIMINATION

- Cette fonction réalise l'opération

$$V_e = K.(F_b - F_{bo})$$

- Dans laquelle F_b est la fréquence de battement et $F_{bo} = 25 \text{ kHz}$,

- V_e est la tension d'erreur (continue) et K est le rapport de conversion.

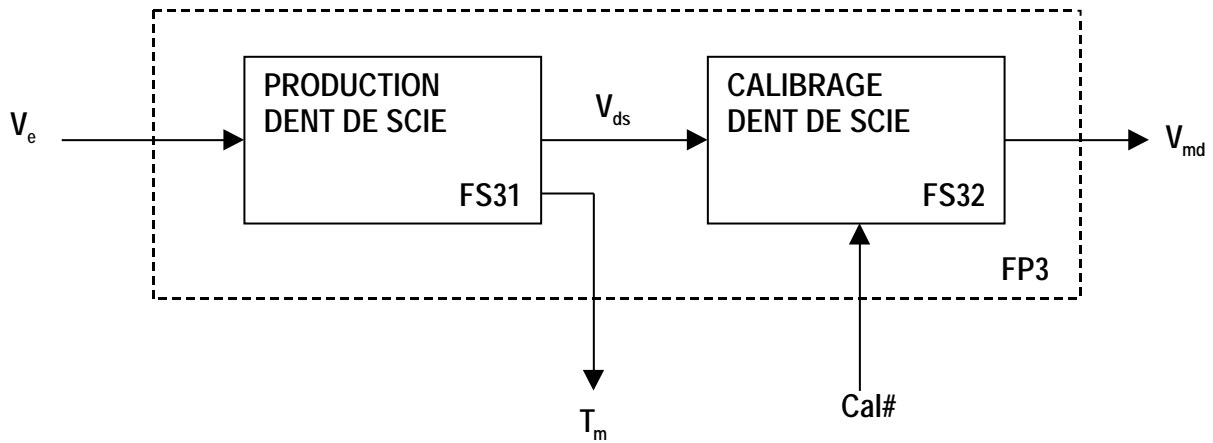
FS25 : INTEGRATION

- Cette fonction a pour but de corriger la réponse transitoire de façon à annuler l'erreur statique.

FS26 : CORRECTION DU GAIN

- Cette fonction contribue à la stabilité de l'asservissement de la fréquence de battement F_b . Elle limite automatiquement la valeur du terme proportionnel (l'amplification augmente avec l'altitude z , ce qui diminuerait la stabilité sans cette précaution).

Schéma fonctionnel de deuxième degré relatif à FP3 : Génération d'un signal en « dent de scie ».



FS31 : PRODUCTION DENT DE SCIE

- Délivre une tension V_{ds} en « dent de scie », d'amplitude maximale V_{md} constante, de pente proportionnelle à la valeur de la tension de commande V_e .
- L'information T_m , durée de la dent de scie est envoyé vers **FP4**.

FS32 : CALIBRAGE DENT DE SCIE

- La commande de calibration **Cal#** permet de régler les paramètres V_o et δV de la tension V_{md} suivant une relation de la forme :

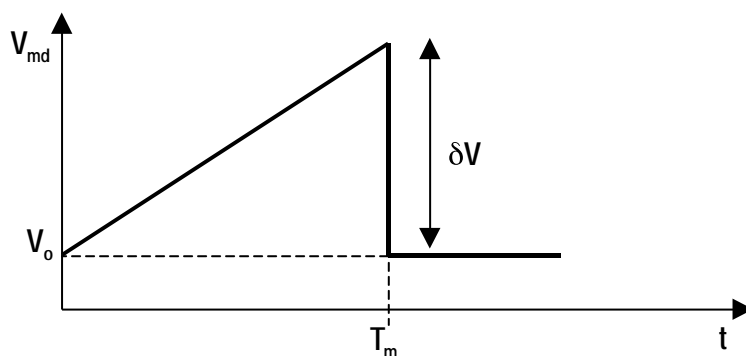
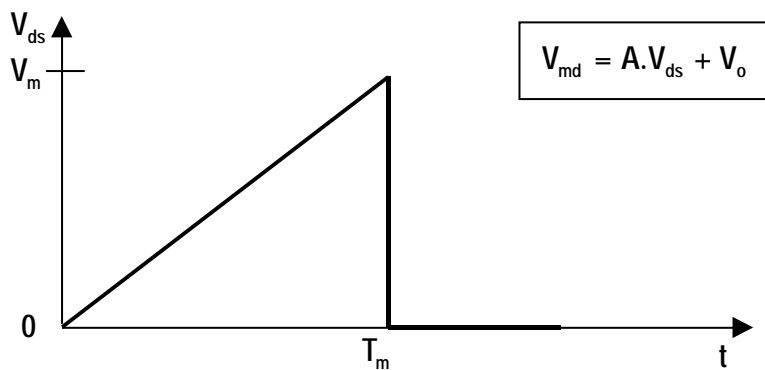
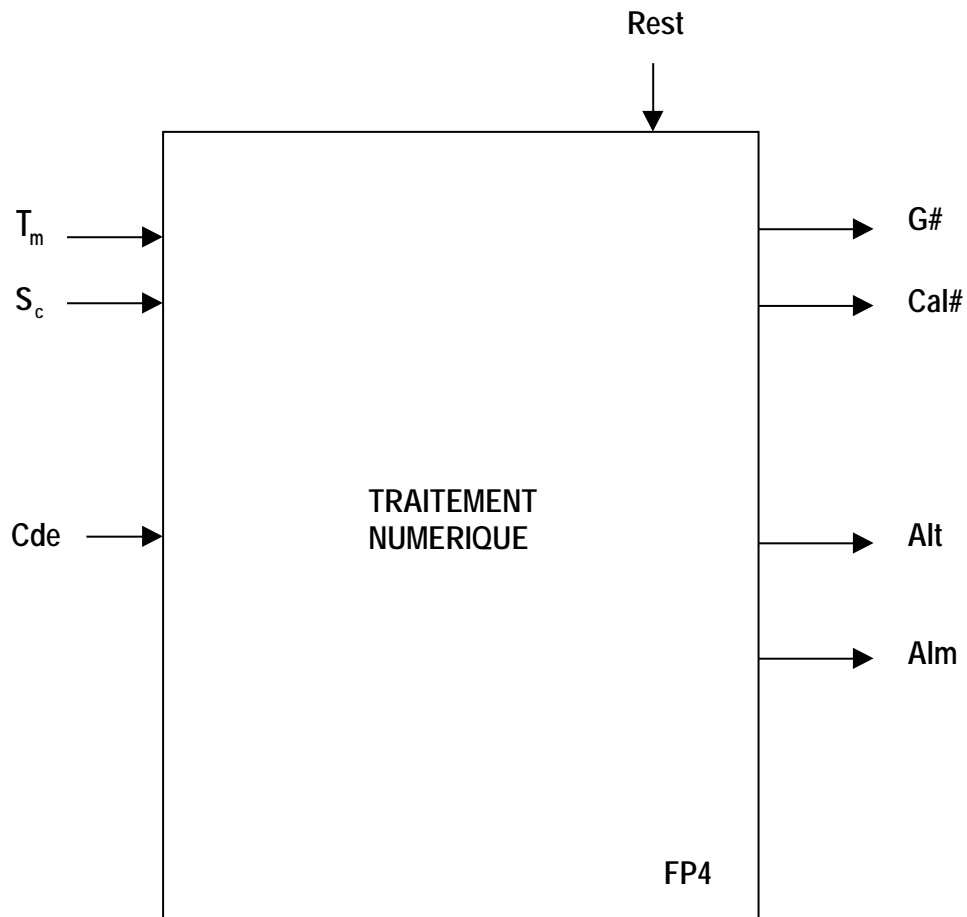


Schéma fonctionnel de deuxième degré relatif à FP4 : Traitement numérique.



FP4 : TRAITEMENT

- Cette fonction est organisée autour d'un micro contrôleur. Elle contrôle le séquençement des échanges de données et effectue les différents calculs.
- L'information **Rest** permet de réinitialiser cette fonction.

Schéma structurel relatif à FS22 : Amplificateur à gain variable

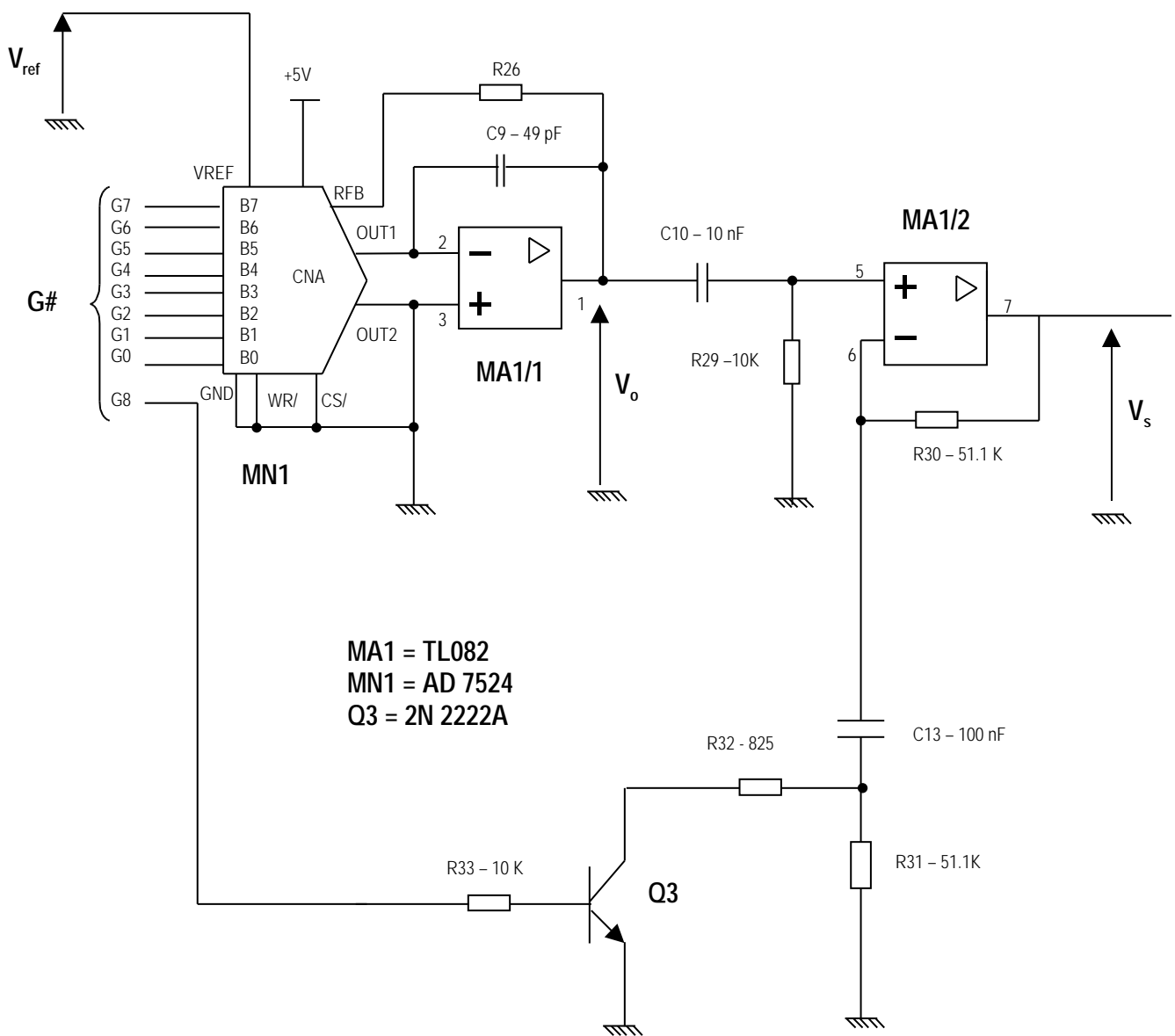
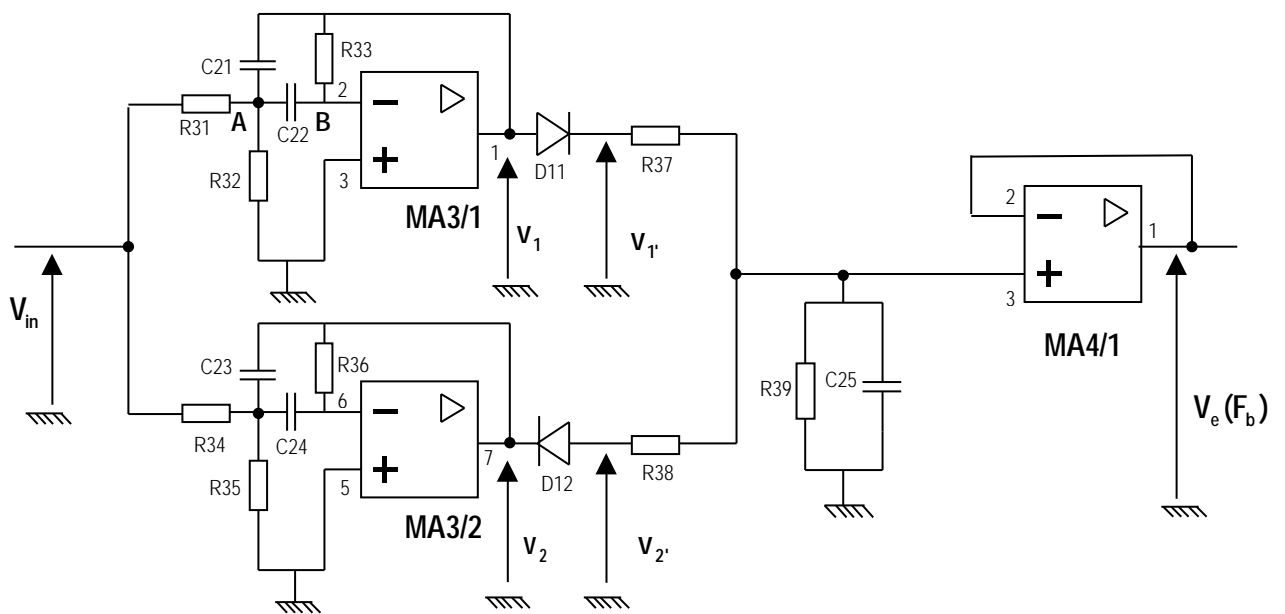


Schéma structurel relatif à FS24 : Discriminateur



MA3 = TL082
MA4 = TL082
D11 = D12 = 1N4148