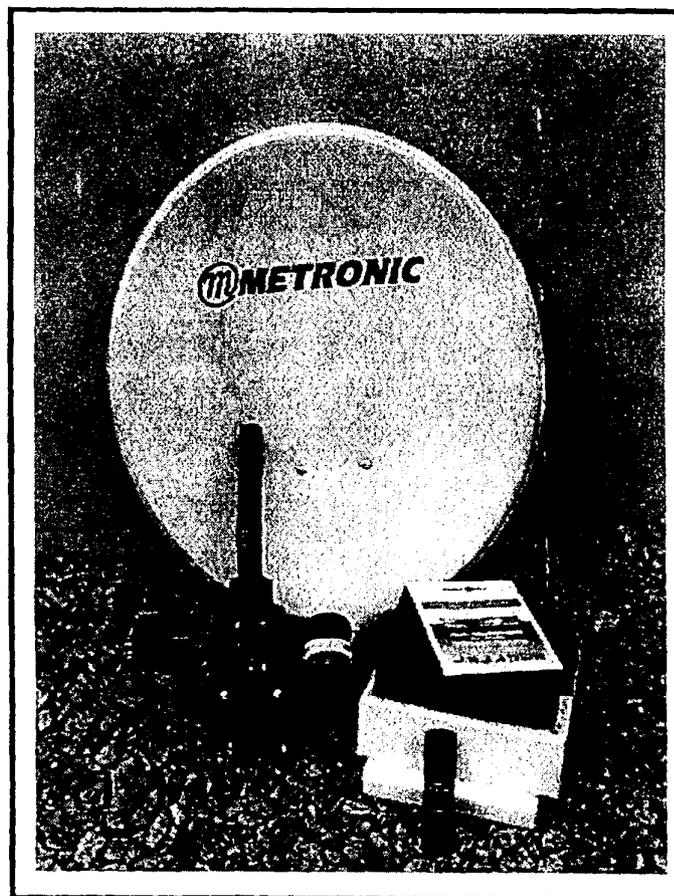


SYSTEME MOTORISE DE RECEPTION PAR SATELLITE

Dossier support



I- Mise en situation

Au début des années 80, recevoir les émissions de télévision retransmises par satellite nécessitait l'utilisation d'une antenne de grand diamètre (3 mètres environ).

Puis, très rapidement, et ce afin de répondre à une demande croissante des opérateurs de télévision, des satellites plus performants furent lancés. Les programmes étaient alors reçus par des antennes de diamètres moyens (environ 1,5 mètre).

Pour recevoir les programmes émis par des satellites de différentes positions orbitales, les antennes étaient équipées de moteurs alimentés par des câbles multi-conducteurs.

Huit fils (5 pour la commande des moteurs à potentiomètres et 3 pour contrôler la tête de réception) devaient être ajoutés au câble coaxial pour faire fonctionner de tels systèmes.

Dans le but de réduire les coûts de fabrication et d'améliorer les performances des équipements de réception, les fabricants de paraboles ont très vite fait évoluer leurs produits. La première tête de réception (fabriquée par Marconi) alimentée et commandée directement par le câble coaxial audio/vidéo permit d'utiliser seulement quatre fils en sus du câble coaxial pour commander les antennes motorisées.

Afin de développer les services et de nouveaux marchés, une simplification et une harmonisation au niveau européen du contrôle des équipements périphériques à partir du récepteur satellite (ou démodulateur) furent mises en place et adoptées par tous les fabricants de matériels de réception satellite dès 1994. Le protocole DiSEqC était né.

Le principe du protocole DiSEqC est de véhiculer les signaux de commande nécessaires à la réception multi-satellites (commande et alimentation de la tête de réception, motorisation de l'antenne) directement à travers le câble coaxial de réception du signal audio/vidéo.

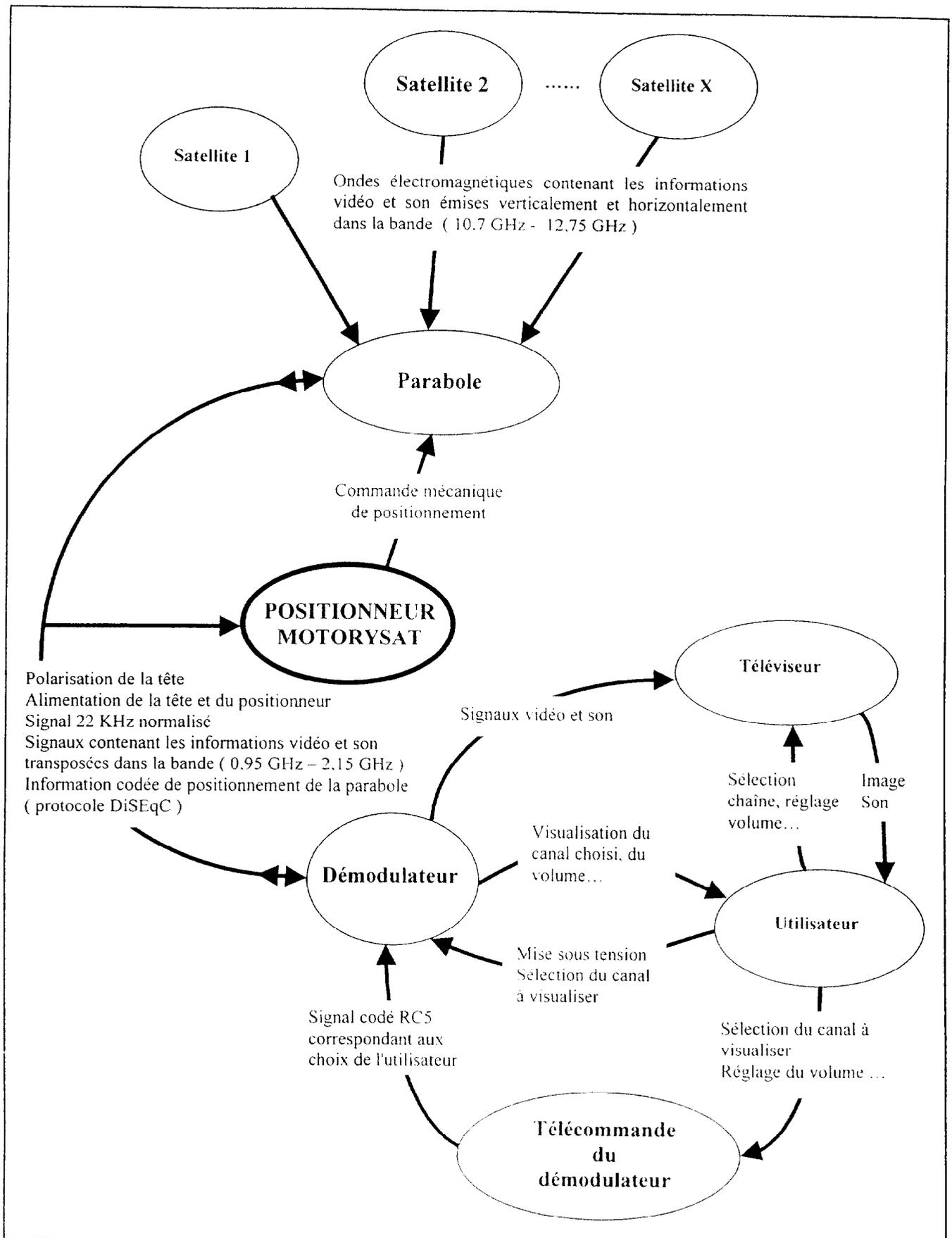
Ce protocole apporte les avantages suivants:

- Il est économique car il permet de n'utiliser qu'un seul câble entre le récepteur satellite et la parabole motorisée.
- Il est évolutif par ses possibilités d'adaptation aux nouvelles applications.
- Il est normalisé à l'échelle européenne.
- Il est utilisable pour commander l'ensemble des périphériques (tête de réception, commutateurs individuels et collectifs, moteurs, etc....)
- Il permet à tout utilisateur d'étendre ses possibilités de réception satellite sans modifier le câblage d'origine.
- En règle générale, la durée d'un message de commande DiSEqC est d'un dixième de seconde au maximum : ce qui ne perturbe pas la réception de l'image et du son.

C'est ce principe qui est utilisé dans le "**système motorisé de réception satellite**" présenté dans ce dossier support.

II- Description du "système motorisé de réception par satellite"

1- Diagramme sagittal



2- Présentation des objets techniques constituant le diagramme sagittal

- **Les satellites**

Les satellites utilisés pour la diffusion directe d'émissions de télévision ou de radio, ceux permettant les liaisons techniques entre deux continents ou ceux assurant le transport des images d'un événement sportif depuis son lieu de déroulement sont tous situés autour de la terre à une altitude d'environ 35800 km dans le plan de l'équateur.

Cette orbite unique permet aux satellites qui y sont situés de tourner à la même vitesse que la terre. Par conséquent, un observateur situé sur Terre regardant un satellite situé sur cette orbite le verra immobile.

Un satellite est connu par son nom (par exemple : Astra 1A, Hot Bird 2, Télécom 2B...) et par sa position sur l'orbite géostationnaire (19,2° Est, 13° Est, 5° Ouest pour les exemples précédents). Le graphique ci-dessous permet de comprendre ce que représentent ces valeurs.

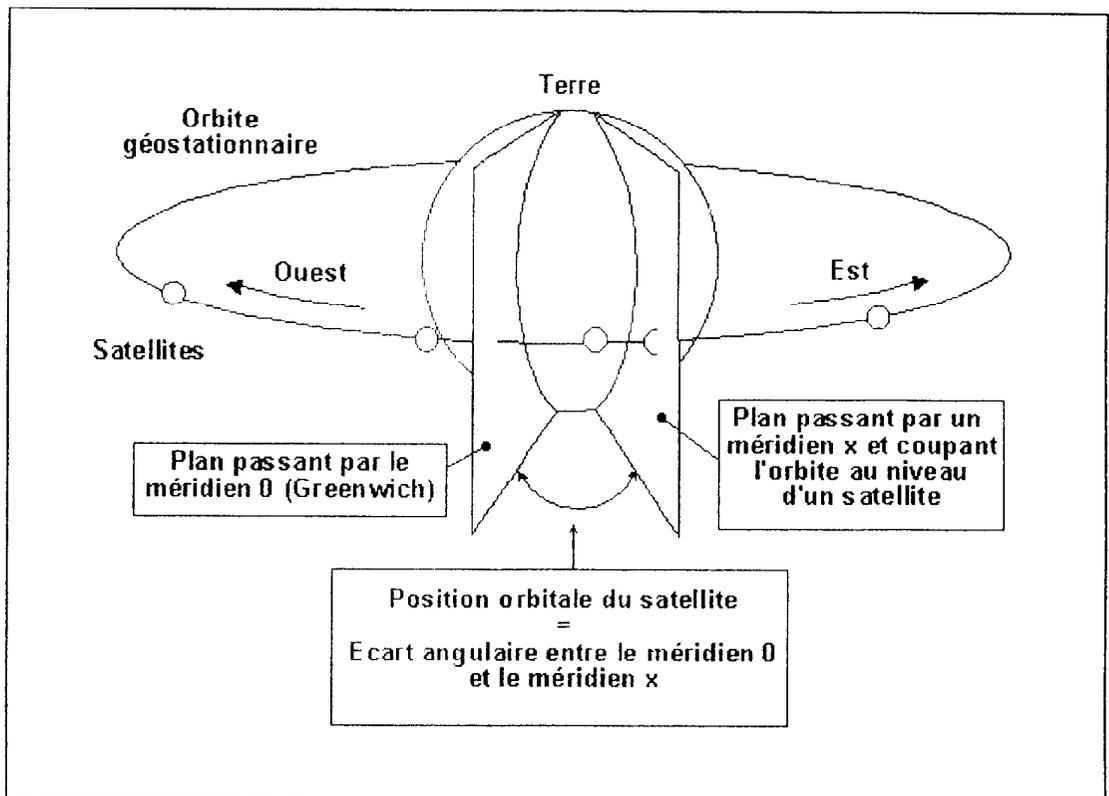


Figure 2 : Détermination de la position orbitale d'un satellite

- **La parabole**

La parabole est constituée de deux éléments : le réflecteur parabolique et la tête de réception plus communément appelée LNB pour Low Noise Blockconverter.

Les ondes électromagnétiques émises par les satellites sont concentrées par le réflecteur parabolique sur la tête de réception.

La tête est reliée au démodulateur par un câble coaxial d'impédance 75 ohms, dans lequel transitent différents signaux contenant les informations vidéo et son.

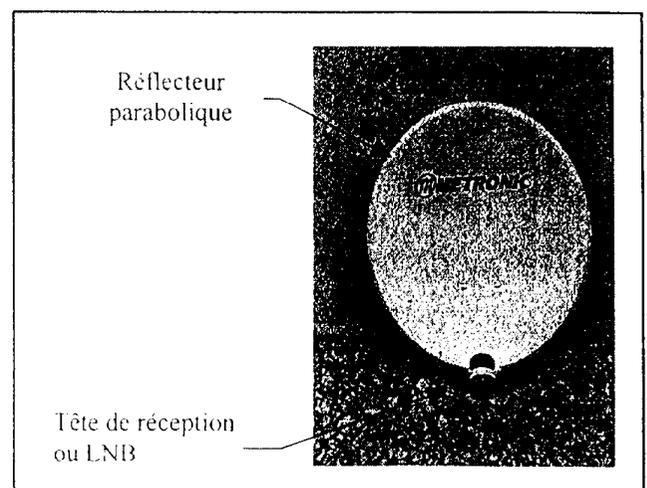


Figure 3 : La parabole

- **Le démodulateur**

Le démodulateur extrait les informations audio/vidéo transposées dans la bande (0,95 GHz – 2,15 GHz) par la tête de réception et les convertit en signaux vidéo et son exploitables par un téléviseur PAL/SECAM via une prise de type péritel ou quatre fiches RCA.

De plus, il alimente la tête de réception et le "positionneur Motorysat" et génère les différents signaux de commande de ces derniers à travers le même câble coaxial que celui utilisé pour la vidéo et le son.

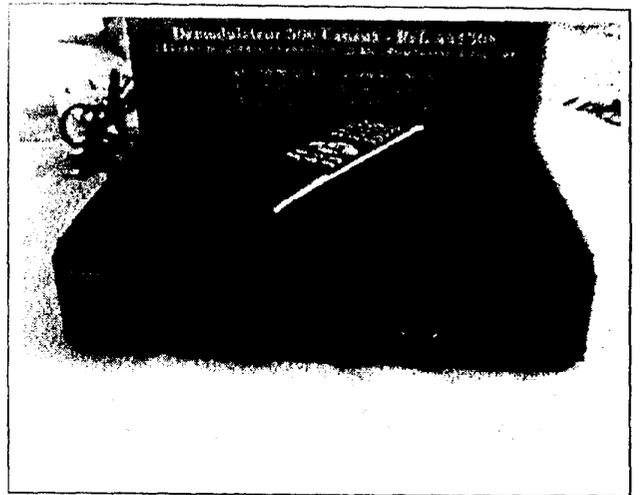


Figure 4 : Le démodulateur

- **La télécommande du démodulateur**

Elle génère différents signaux infra-rouge codés RC5 afin de commander à distance le démodulateur.

Toutes les touches ainsi que leurs différents modes d'utilisation sont détaillés dans la documentation du fabricant.

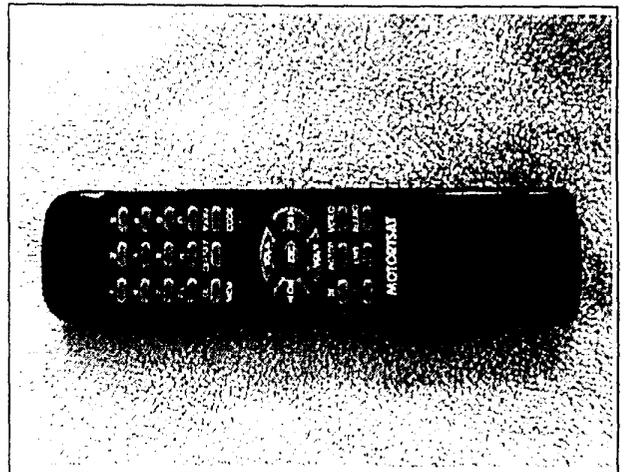


Figure 5 : La télécommande du démodulateur

- **Le positionneur Motorysat**

Il permet, à partir d'un code DiSEqC 1.2 généré par le démodulateur via le câble coaxial, d'orienter automatiquement la parabole vers le satellite correspondant à la chaîne sélectionnée par l'utilisateur.

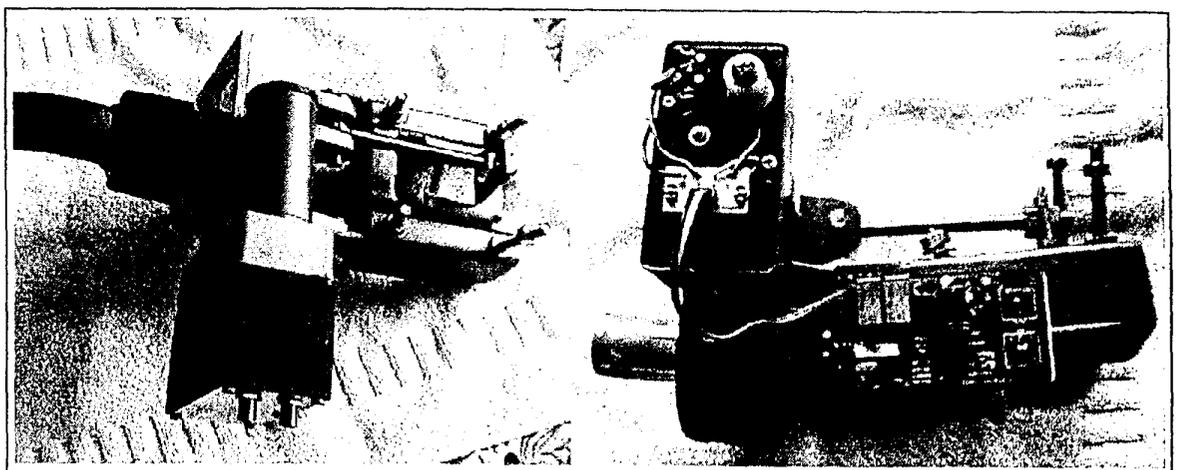


Figure 6 : Le positionneur Motorysat complet puis démonté

3- Description du cheminement des informations vidéo et son à travers le système

Dans le but de simplifier la description des différentes liaisons du diagramme sagittal, nous allons, dans un premier temps, procéder à la description du cheminement des informations vidéo et son des satellites jusqu'au téléviseur. Dans un second temps, nous procéderons à la description des différentes informations concernant le positionnement automatique de la parabole.

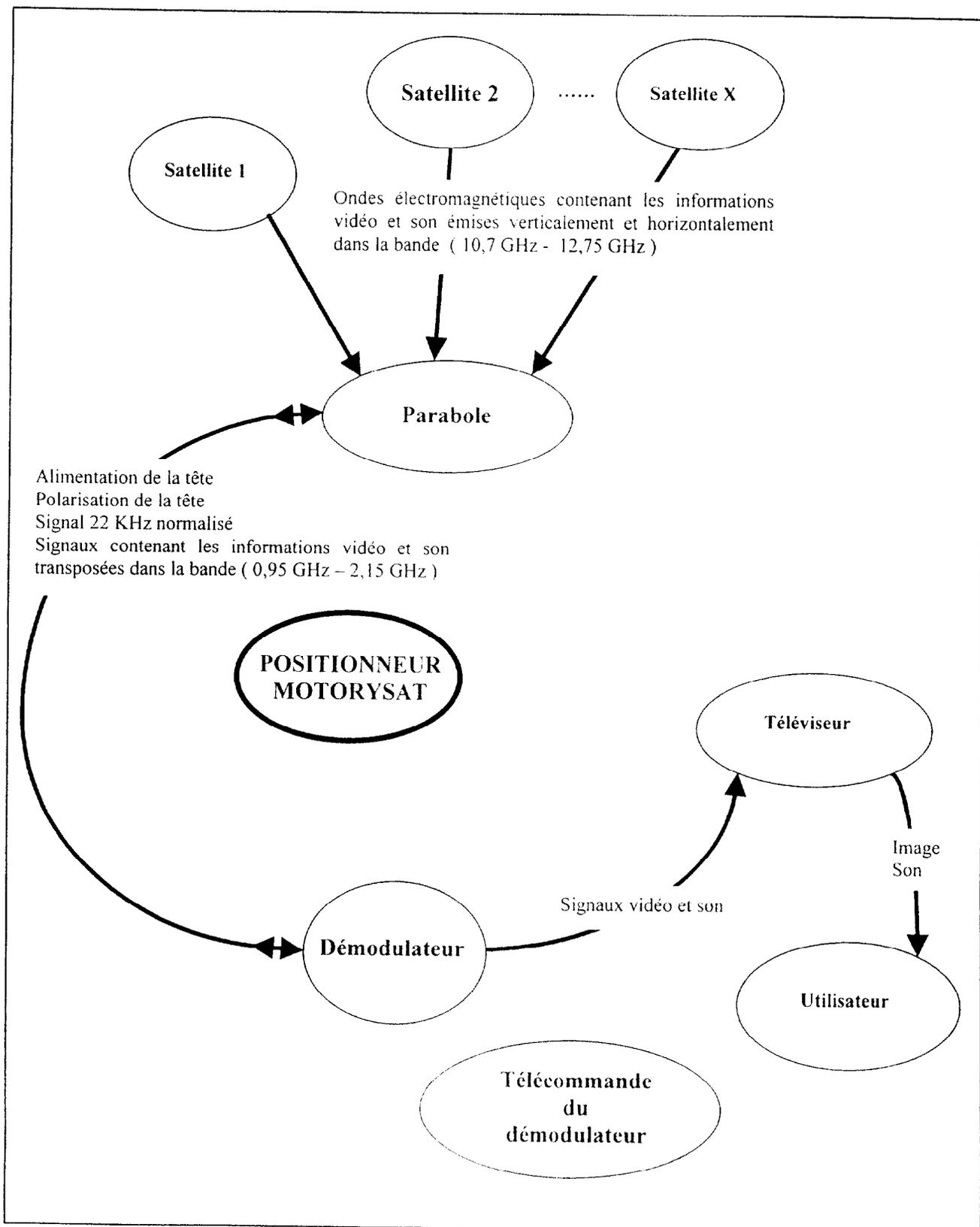


Figure 7 : Mise en évidence du cheminement des informations vidéo et son à travers le système

- **Informations vidéo et son reçues par la parabole**

Les satellites émettent les informations vidéo et son dans la bande (10,7 GHz – 12,75 GHz). Les porteuses vidéos sont plus ou moins espacées en fonction du nombre de chaînes émises par le satellite. Le standard PAL impose le placement de la porteuse son de chaque chaîne 5,5 MHz à 9 MHz après la porteuse vidéo concernée. Le spectre ci-dessous représente les fréquences des porteuses vidéo et son de quelques chaînes françaises émises par le satellite Télécom 2B.

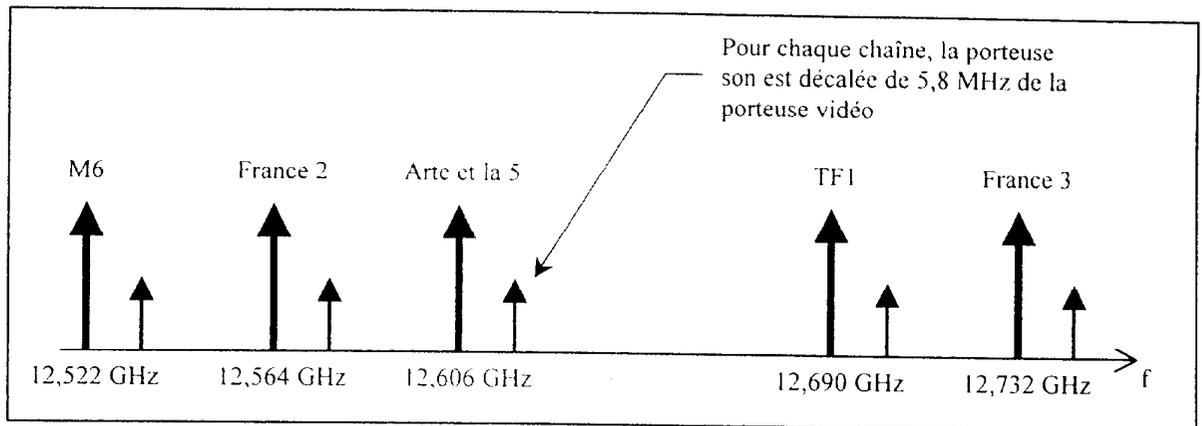


Figure 8 : Représentation partielle des porteuses des ondes émises par le satellite Télécom 2B

- **Informations circulant dans le câble coaxial entre la parabole et le démodulateur**

La description des différentes informations circulant dans le câble coaxial nécessite de détailler le fonctionnement et la conception d'une tête de réception ou LNB. La tête de réception est un objet technique complexe qui assure les fonctions suivantes :

- Collecte des ondes électromagnétiques émises par le satellite puis réfléchies et concentrées par la parabole.
- Réception des ondes émises horizontalement ou verticalement à l'aide d'un commutateur interne commandé par la tension d'alimentation fournie par le démodulateur via le câble coaxial. Lorsque la tête est alimentée sous 13 volts, les fréquences émises verticalement sont reçues ; tandis que lorsque la tête est alimentée sous 18 volts, les fréquences émises horizontalement sont reçues. On appelle ceci la polarisation de la tête.

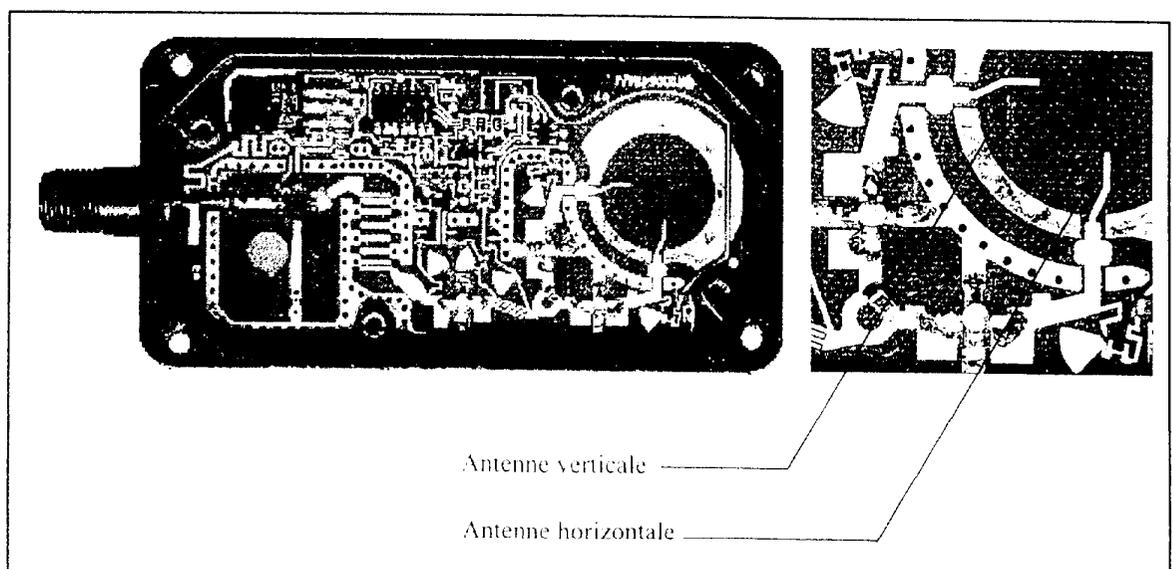


Figure 9 : Vue d'une "LNB" démontée

- Transposition des fréquences des ondes reçues dans la bande (0,95 GHz – 2,15 GHz). Ceci dans le seul but de permettre l'utilisation de câbles coaxiaux 75 Ω standards. Un câble dont la bande passante permet de transmettre des signaux de plusieurs giga hertz coûte actuellement environ 1000 francs le mètre contre quelques francs pour un câble standard.

Les fréquences basses (10,7 GHz – 11,7 GHz) sont ramenées dans la plage (950 MHz – 1950 MHz) à l'aide d'un oscillateur local fonctionnant à 9,75 GHz ; tandis que les fréquences hautes (11,7 GHz – 12,75 GHz) sont ramenées dans la plage (1100 MHz – 2150 MHz) à l'aide d'un oscillateur local fonctionnant à 10,6 GHz.

Par exemple, une chaîne émise à 11 GHz sera transposée à la fréquence de 1,25 GHz ($11 - 9,75 = 1,25$) alors qu'une chaîne émise à 12 GHz sera transposée à la fréquence de 1,4 GHz ($12 - 10,6 = 1,4$).

Le choix de transmission des fréquences hautes ou basses est effectué grâce au démodulateur qui génère ou non un signal normalisé de fréquence 22 KHz et le transmet à la tête de réception via le câble coaxial. La présence de ce dernier donne accès aux fréquences hautes.

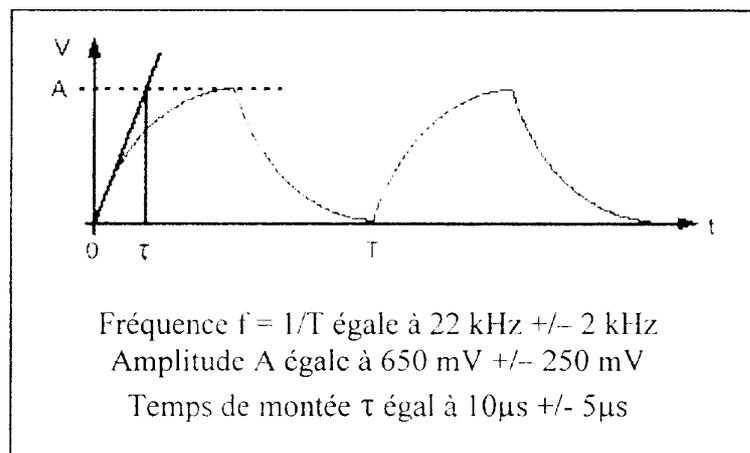


Figure 10 : Forme normalisée du signal 22 kHz

4- Description du cheminement des informations de positionnement de la parabole

Le diagramme sagittal partiel représenté figure 11 permet de visualiser très rapidement le cheminement des informations de positionnement de la parabole.

- **Informations codées reçues par le démodulateur**

Lorsque l'utilisateur actionne une touche de la télécommande, cette dernière génère un code (protocole RC5) reconnu par le démodulateur.

Le démodulateur analyse le code reçu et exécute l'opération demandée par l'utilisateur (changement de chaîne, modification du volume ...)

Toutes les commandes disponibles sont largement détaillées dans la notice d'utilisation fournie par le fabricant.

- **Informations codées reçues par le "positionneur Motorysat"**

Lors d'une demande de changement de canal par l'utilisateur, le démodulateur génère via le câble coaxial, un signal codé (protocole DiSEqC) de commande du positionneur Motorysat. Ceci entraîne automatiquement, si cela est nécessaire, le déplacement de la parabole face au satellite concerné. De plus, grâce à la télécommande, l'utilisateur a la possibilité de déplacer la parabole pas par pas (300 pas pour une rotation de 90°).

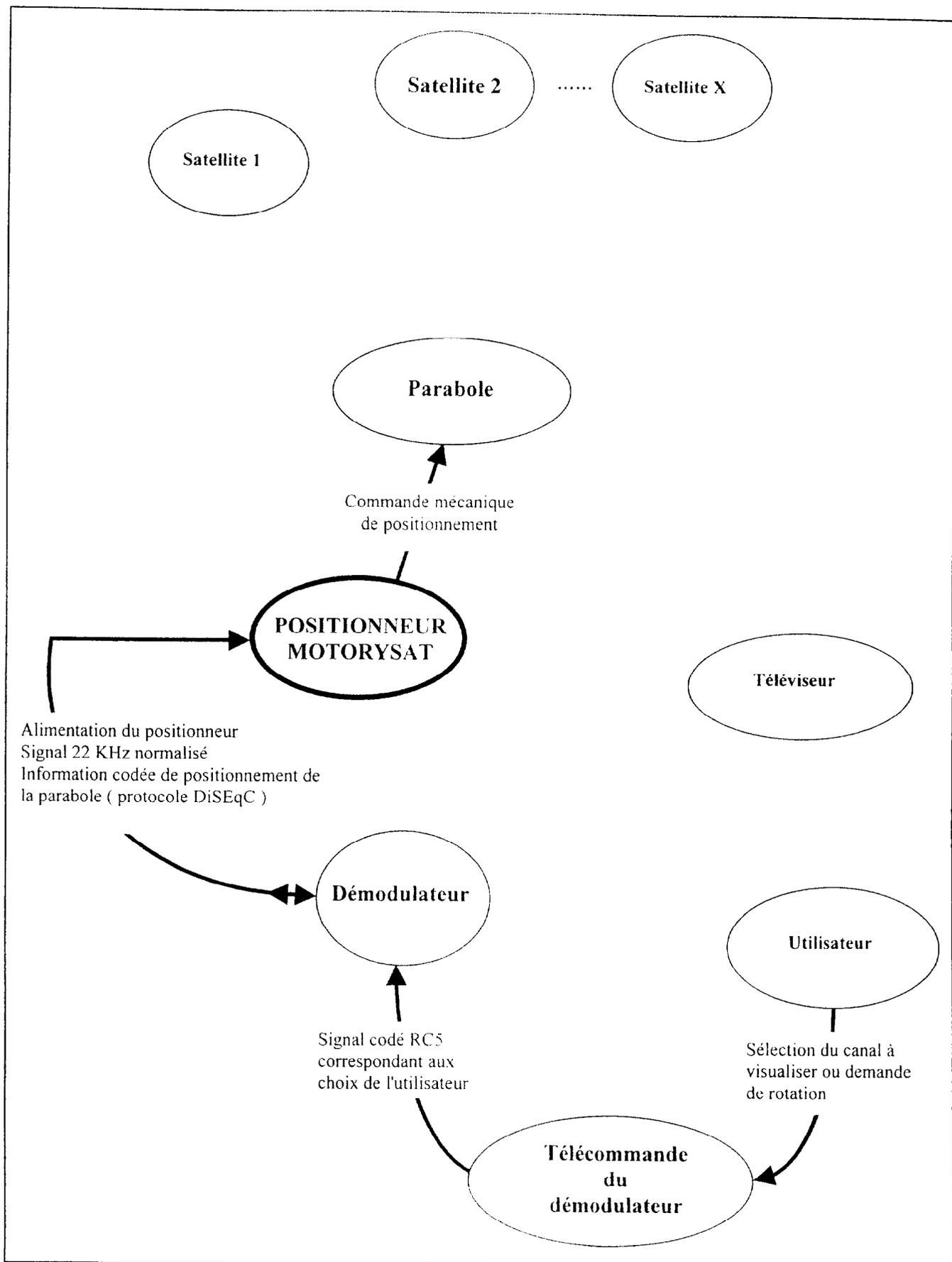


Figure 11 : Mise en évidence du cheminement de informations de positionnement de la parabole

III- Analyse fonctionnelle de l'objet technique "positionneur Motorysat"

1- Fonction d'usage de l'objet technique

A partir d'un seul câble coaxial véhiculant les informations codées de positionnement de la parabole (protocole DiSEqC) générées par le démodulateur, des informations audio/vidéo reçues par la tête de réception, des informations de commande et l'alimentation de cette dernière, l'objet technique "positionneur Motorysat" extrait, démodule et traite uniquement les informations de consignes définies par l'utilisateur (un changement de chaîne par exemple). Ceci pour élaborer des signaux de commande permettant de positionner automatiquement la parabole.

2- Schéma fonctionnel associé à la fonction d'usage

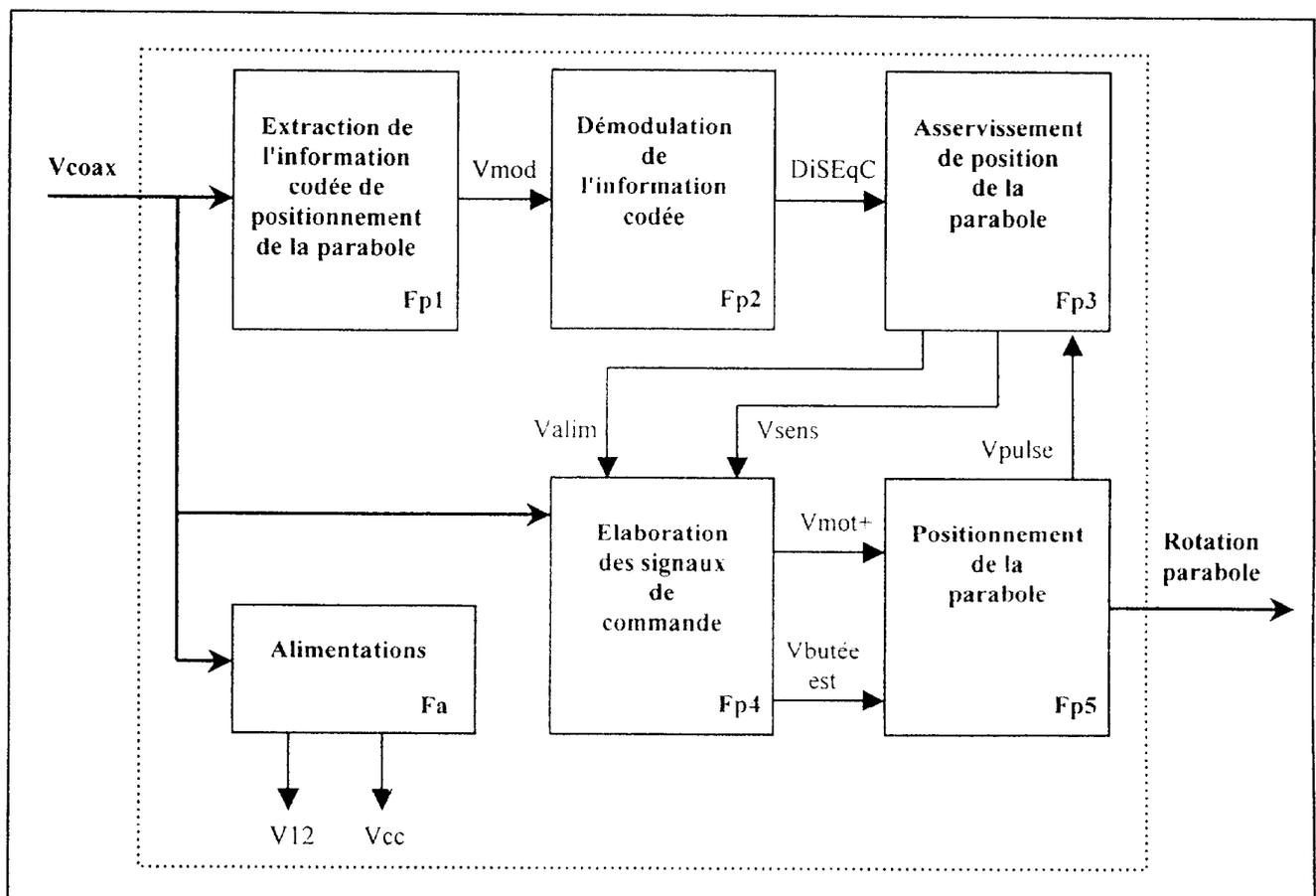


Figure 12 : Schéma fonctionnel associé à la fonction d'usage de l'objet technique "Positionneur Motorysat"

2.1- Description détaillée des informations présentes sur l'entrée "Vcoax" de l'objet technique

Avant toute description fonctionnelle de l'objet technique, un regard détaillé sur les informations présentes sur l'entrée "Vcoax" de ce dernier s'impose.

En effet, comme cela a été décrit lors de l'analyse du diagramme sagittal, un seul câble coaxial sert de support aux informations circulant entre les trois objets techniques : parabole, démodulateur et positionneur Motorysat.

Lorsque l'utilisateur visualise un programme émis par un satellite, diverses informations circulent dans le câble coaxial. La figure 13 représente le spectre du signal présent dans le câble coaxial lorsque la parabole est déjà orientée vers un satellite.

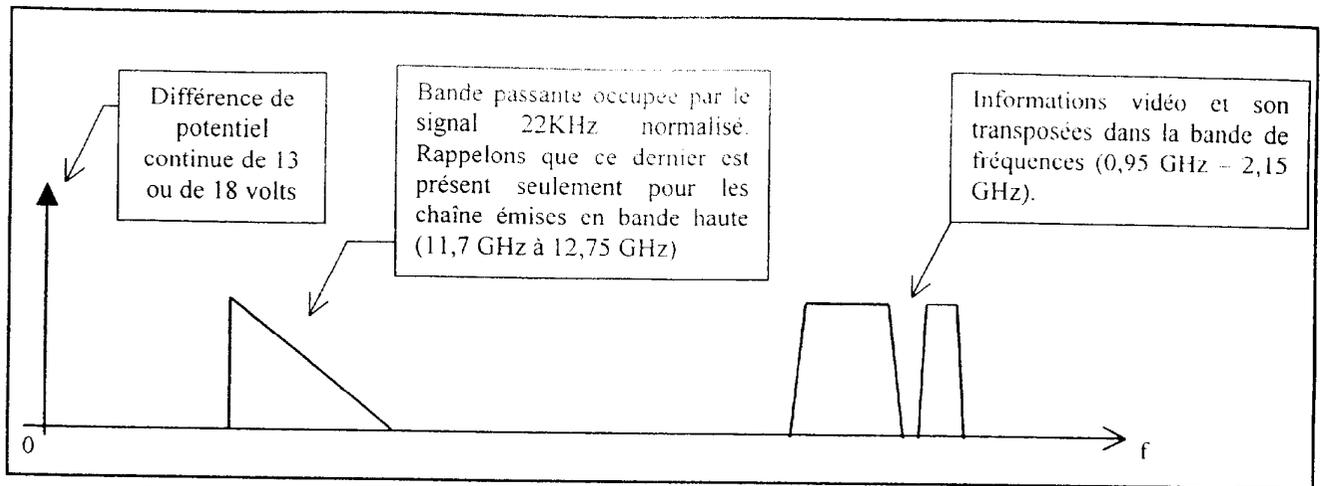


Figure 13 : Spectre du signal transporté par le câble coaxial lors de la visualisation d'un programme

2.2- Le protocole DiSEqC

Lorsque l'utilisateur change de chaîne, le démodulateur génère, via le câble coaxial, un signal codé de positionnement selon le protocole DiSEqC.

Avant de détailler le rôle de chaque fonction principale de l'objet technique, nous allons effectuer une description du protocole DiSEqC.

Le protocole DiSEqC a été conçu par Eutelsat dans le but de simplifier et de standardiser la fabrication des démodulateurs utilisés en Europe, mais surtout de permettre aux utilisateurs de systèmes de réception par satellite de n'utiliser qu'un seul câble.

A l'instant précis du changement de canal, le signal codé de positionnement de la parabole se superpose aux composantes continues, vidéo et son représentées à la figure 13. L'ordre de positionnement est généré selon le protocole représenté à la figure 14.

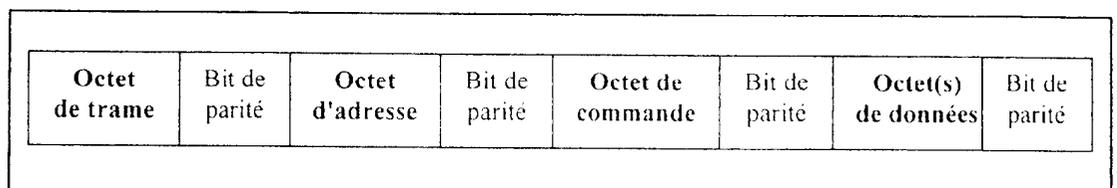


Figure 14 : Liste chronologique des composants d'un ordre de positionnement DiSEqC

- Les bits de parité permettent de séparer les différents octets composant le code. Ils sont au niveau logique bas lorsque le nombre de bits à l'état logique haut contenu dans l'octet précédent est impair et au niveau logique haut lorsqu'il est pair.
- L'octet de trame identifie l'auteur du message (par exemple, le démodulateur)
- L'octet d'adresse identifie le destinataire du message (par exemple, le positionneur)
- L'octet de commande indique l'action à effectuer (par exemple, déplacer la parabole face à un satellite)
- Le (ou les) octet(s) de données (entre 1 et 3) apporte(nt) des précisions supplémentaires à la commande (par exemple, le numéro mémoire du satellite face auquel se positionner)

L'impossibilité de superposer un signal numérique de type TTL/CMOS aux informations déjà présentes dans le câble coaxial impose l'utilisation d'une modulation.

Les niveaux logiques haut et bas sont construits à l'aide d'une modulation tout ou rien (ou ASK pour Amplitude Shift Keying) sur le signal 22 KHz normalisé (voir figure 15).

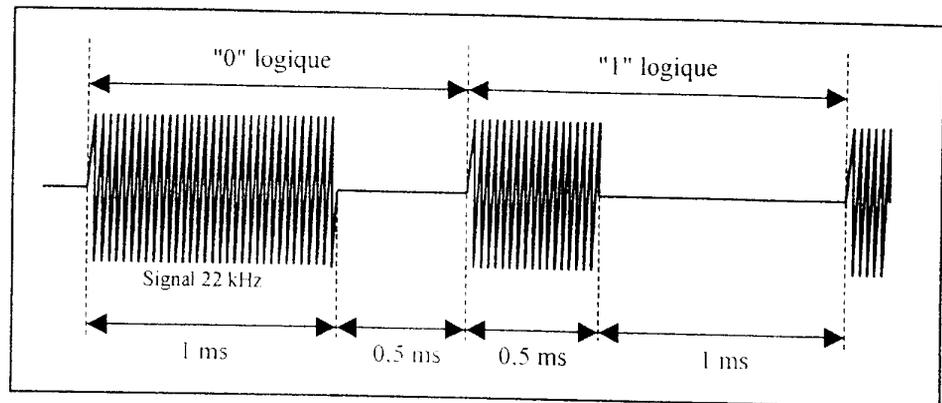


Figure 15 : Etats logiques "0" et "1" du protocole DiSEqC

Lorsque l'utilisateur provoque la génération d'un code DiSEqC par le démodulateur (changement de chaîne par exemple), si le signal 22KHz normalisé est déjà présent dans le câble coaxial (visualisation d'une chaîne émise dans la bande haute), le démodulateur arrête automatiquement de le générer durant au moins 15 ms avant et après l'émission du code de positionnement de la parabole (voir figure 16).

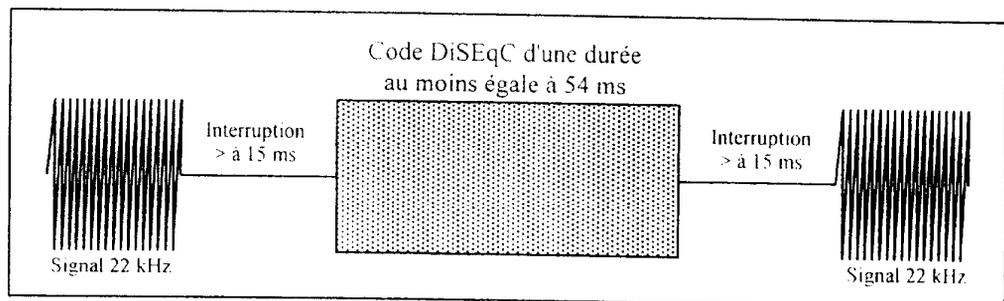


Figure 16 : Diagramme temporel du protocole DiSEqC

2.3- Précisions complémentaires préliminaires à la description fonctionnelle de l'objet technique

Le "système motorisé de réception par satellite" peut être utilisé de plusieurs manières dont voici la description de trois exemples :

- L'utilisateur regarde un programme émis par un satellite dans la bande de fréquences basses et utilise la télécommande pour effectuer des réglages concernant seulement le démodulateur (réglage du volume par exemple). Dans ce cas, le câble coaxial transporte seulement la composante continue (13 ou 18 volts) d'alimentation de la tête de réception et du positionneur Motorysat et les informations audio/vidéo.
- L'utilisateur regarde un programme émis par un satellite dans la bande de fréquences hautes et utilise la télécommande pour effectuer des réglages concernant seulement le démodulateur (réglage du volume par exemple). Dans ce cas, le câble coaxial transporte la composante continue (13 ou 18 volts) d'alimentation de la tête de réception et du positionneur Motorysat, les informations audio/vidéo ainsi que le fondamental et les harmoniques du signal 22 KHz normalisé.

- L'utilisateur regarde un programme émis par un satellite dans la bande basse et décide d'utiliser la télécommande pour émettre des signaux de commande du positionneur Motorysat (un changement de chaîne toujours émise dans la bande basse mais par un autre satellite par exemple). Dans ce cas, le câble coaxial transporte la composante continue (13 ou 18 volts) d'alimentation de la tête de réception et du positionneur Motorysat, les informations audio/vidéo et les ordres de positionnement de la parabole codés et modulés selon le protocole DiSEqC.

Durant toute l'étude fonctionnelle de l'objet technique, nous allons considérer le système utilisé selon ce mode de fonctionnement.

2.4- Fonction principale Fp1 "Extraction de l'information codée de positionnement de la parabole"

La fonction principale Fp1 permet d'extraire du signal véhiculé par le câble coaxial, l'information codée (selon le protocole DiSEqC) de commande de déplacement de la parabole, générée par le démodulateur en fonction des choix de l'utilisateur (un changement de chaîne par exemple).

Entrée :

Vcoax est un signal constitué de la composante continue (13 ou 18 volts) d'alimentation de la tête de réception et du positionneur Motorysat, des informations audio/vidéo et des ordres de positionnement de la parabole codés et modulés selon le protocole DiSEqC.

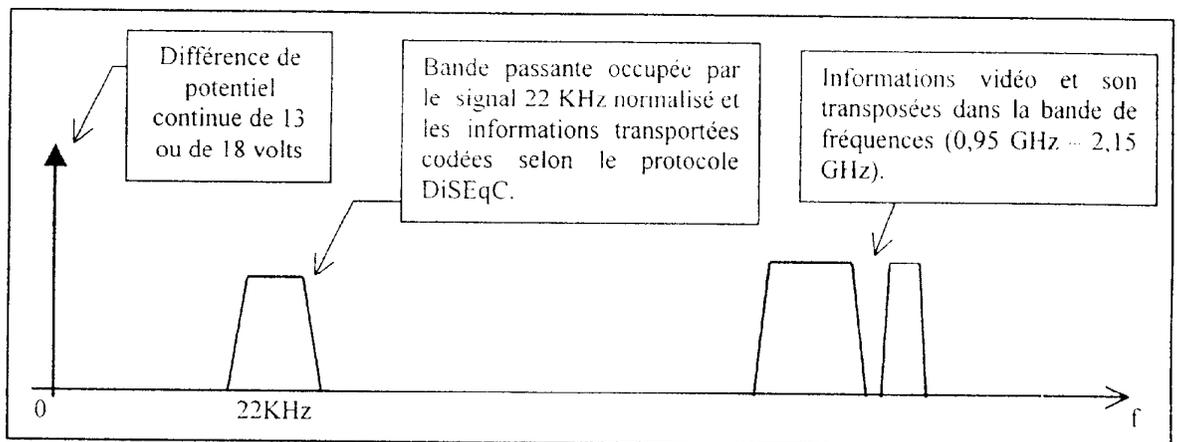


Figure 17 : Spectre du signal transporté par le câble coaxial lors de l'émission d'un code DiSEqC

Sortie :

Vmod est un signal constitué d'une composante continue égale à 5 volts sur laquelle sont superposés les ordres de positionnement de la parabole codés et modulés selon le protocole DiSEqC. On écrira : $V_{mod} = V_{mod} + V_{cc}$.

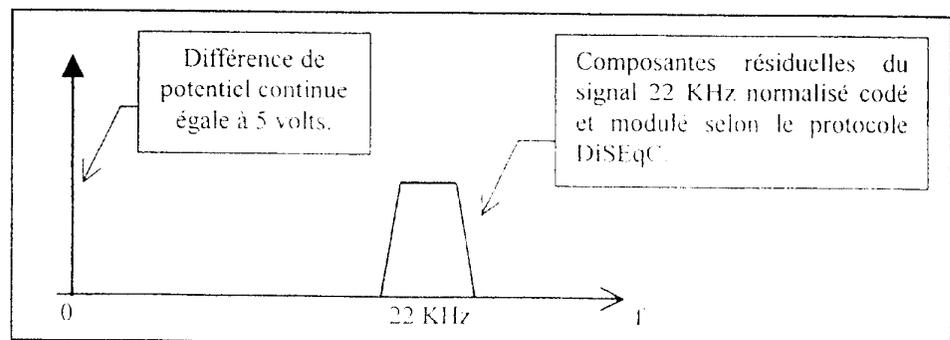


Figure 18 : Représentation spectrale du signal Vmod

2.5- Fonction principale Fp2 "Démodulation de l'information codée"

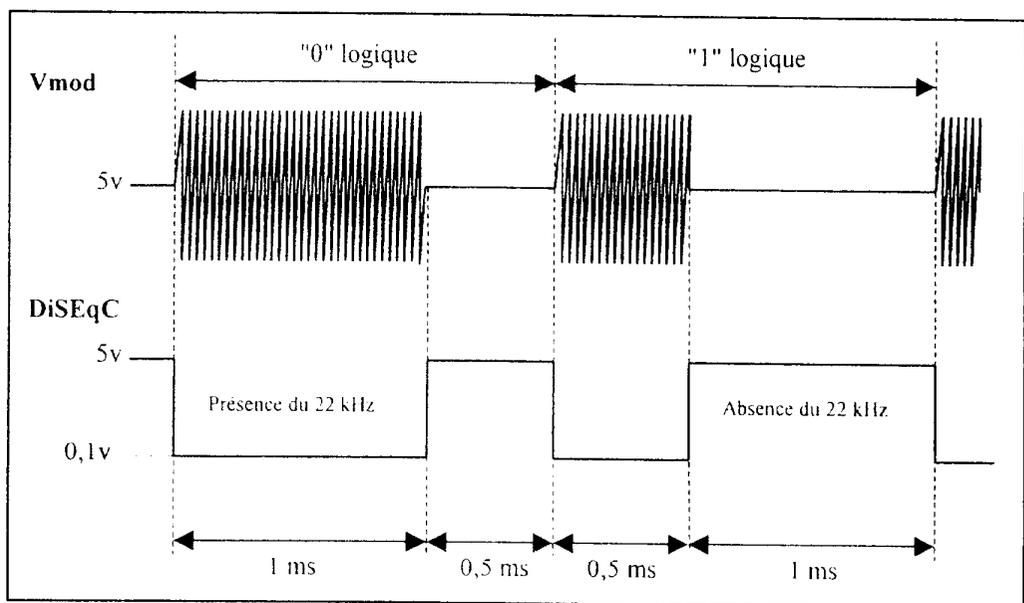
La fonction principale Fp2 permet de démoduler le signal représentatif de la commande de déplacement de la parabole.

Entrée :

Vmod est un signal constitué d'une composante continue égale à 5 volts sur laquelle sont superposés les ordres de positionnement de la parabole, codés et modulés selon le protocole DiSEqC. On écrira : $V_{mod} = v_{mod} + V_{cc}$.

Sortie :

DiSEqC est un signal numérique, représentatif du code de positionnement de la parabole, généré par le démodulateur en fonction des choix de l'utilisateur, dont les caractéristiques sont détaillées à la figure 19.



2.6- Fonction principale Fp3 "Asservissement de position de la parabole"

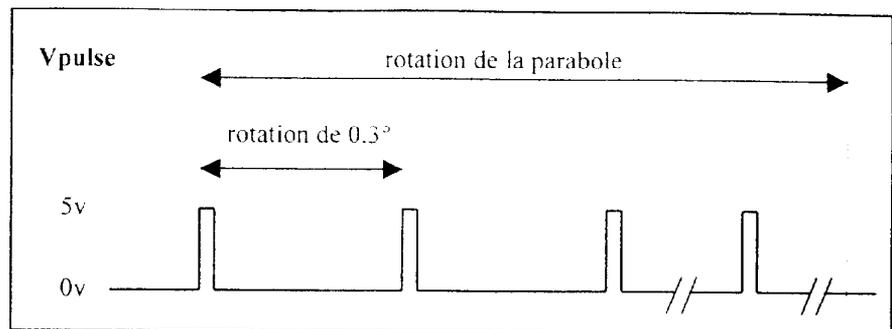
En fonction du signal DiSEqC et du signal numérique Vpulse (généré durant la rotation de la parabole), la fonction principale Fp3 élabore deux différences de potentiels continues de durées limitées (V_{lim} et V_{sens}) permettant de commander la fonction principale Fp4.

Entrées :

DiSEqC est un signal numérique, représentatif du code de positionnement de la parabole, généré par le démodulateur en fonction des choix de l'utilisateur, dont les caractéristiques sont détaillées à la figure 19.

Vpulse est un signal numérique généré durant la rotation de la parabole, dont le nombre d'impulsions est représentatif de l'angle parcouru par cette dernière. Une rotation de 0,3° de la parabole génère une impulsion.

La fréquence du signal V_{pulse} varie en fonction de la vitesse du moteur utilisé et donc de la différence de potentiel d'alimentation du positionneur Motorysat au moment où l'utilisateur change de canal (13 ou 18 volts)



Sorties :

V_{lim} est une différence de potentiel continue permettant à la fonction principale Fp4 "Elaboration des signaux de commande" de valider ou non l'alimentation de la fonction principale Fp5 "Positionnement de la parabole".

V_{sens} est une différence de potentiel continue permettant à la fonction principale Fp4 "Elaboration des signaux de commande" d'intervenir sur le sens de rotation de la fonction principale Fp5 "Positionnement de la parabole".

2.7- Fonction principale Fp4 "Elaboration des signaux de commande"

La fonction principale Fp4 permet de valider ou non l'alimentation de la fonction principale Fp5 "Positionnement de la parabole" et de fixer le sens de rotation de la parabole.

Entrées :

V_{coax} est un signal constitué de la composante continue (13 ou 18 volts) d'alimentation de la tête de réception et du positionneur Motorysat, des informations audio/vidéo et des ordres de positionnement de la parabole codés et modulés selon le protocole DiSEqC (Voir spectre figure 17).

Durant la rotation de la parabole, les informations audio/vidéo ne sont plus présentes dans le câble coaxial. Dans le cas décrit au troisième paragraphe du chapitre III-2-3, V_{coax} est tout simplement une différence de potentiel continue égale à 13 ou à 18 volts.

V_{coax} est utilisée par Fp4 comme entrée d'alimentation continue (13 ou 18 volts) pour la fonction principale Fp5.

V_{lim} est une différence de potentiel continue permettant à la fonction principale Fp4 "Elaboration des signaux de commande" de valider ou non l'alimentation de la fonction principale Fp5 "Positionnement de la parabole".

V_{sens} est une différence de potentiel continue permettant à la fonction principale Fp4 "Elaboration des signaux de commande" d'intervenir sur le sens de rotation de la fonction principale Fp5 "Positionnement de la parabole".

Sorties :

Vmot+ et **Vbutée est** forment la différence de potentiel continue d'alimentation de la fonction principale Fp5 (voir détails figure 21).

Entrées		Sorties		Etat de la parabole
Valim	Vsens	Vmot+	Vbutée est	
Etat bas	Etat haut	13/18 volts	0 volt	Rotation Ouest → Est
Etat bas	Etat bas	0 volt	13/18 volts	Rotation Est → Ouest
Etat haut	Etat haut	0 volt	0 volt	Parabole à l'arrêt
Etat haut	Etat bas	0 volt	0 volt	Parabole à l'arrêt

Figure 21 : Tableau de fonctionnement de Fp4 et de Fp5

2.8- Fonction principale Fp5 "Positionnement de la parabole"

La fonction principale Fp5 permet de faire tourner la parabole dans le sens imposé par la fonction principale Fp4 et de générer le signal numérique **Vpulse**.

Entrées :

Vmot+ et **Vbutée est** forment la différence de potentiel continue d'alimentation de la fonction principale Fp5 (voir détails figure 21).

Sorties :

Vpulse est un signal numérique généré durant la rotation de la parabole, dont le nombre d'impulsions est représentatif de l'angle parcouru par cette dernière. Une rotation de 0,3° de la parabole génère une impulsion (voir figure 20).

Rotation parabole correspond tout simplement à la rotation de la parabole dans le sens imposé par la fonction principale Fp4 via les entrées **Vmot+** et **Vbutée est** (voir colonne de droite du tableau représenté à la figure 21).

2.9- Fonction annexe Fa "Alimentation"

La fonction alimentation permet, à partir de la différence de potentiel continue présente dans le câble coaxial (13 ou 18 volts), de générer deux différences de potentiels continues régulées égales à 5 et à 12 volts afin d'alimenter les différentes fonctions principales de l'objet technique.

Entrée :

Vcoax est un signal constitué de la composante continue (13 ou 18 volts) d'alimentation de la tête de réception et du positionneur Motorysat, des informations audio/vidéo et des ordres de positionnement de la parabole codés et modulés selon le protocole DiSEqC.

Durant la rotation de la parabole, les informations audio/vidéo ne sont plus présentes dans le câble coaxial. Dans le cas décrit au troisième paragraphe du chapitre III-2-3, V_{coax} est tout simplement une différence de potentiel continue égale à 13 ou à 18 volts.

Sorties :

V_{cc} est une différence de potentiel continue et régulée égale à 5 volts.

V_{12} est une différence de potentiel continue et régulée égale à 12 volts.

3- Analyse fonctionnelle de la fonction principale Fp1

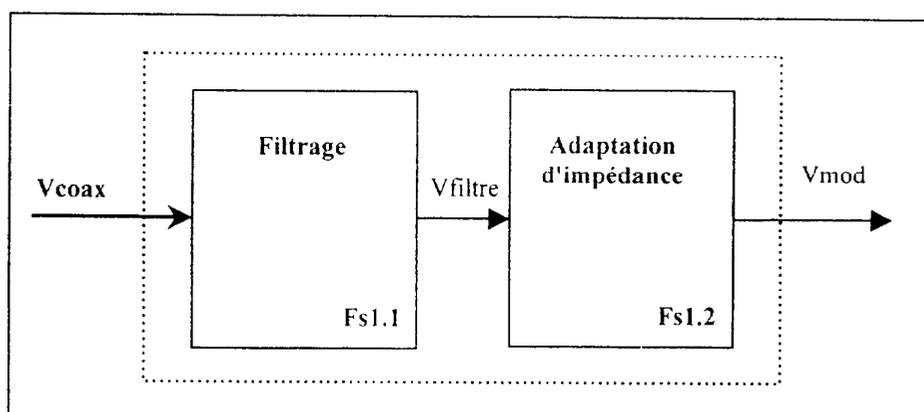


Figure 22 : Schéma fonctionnel de la fonction principale Fp1

3-1- Fonction "Filtrage"

La fonction "Filtrage" permet d'extraire du signal véhiculé par le câble coaxial, l'information codée de commande de déplacement de la parabole, générée par le démodulateur en fonction des choix de l'utilisateur. Elle est réalisée à l'aide d'une structure canonique passe-bande de Rauch.

Entrée :

V_{coax} est un signal constitué de la composante continue (13 ou 18 volts) d'alimentation de la tête de réception et du positionneur Motorysat, des informations audio/vidéo et des ordres de positionnement de la parabole codés et modulés selon le protocole DiSEqC. (Voir spectre figure 17).

Sortie :

V_{filtre} est un signal constitué d'une composante continue égale à 5 volts sur laquelle sont superposés les ordres de positionnement de la parabole, codés et modulés selon le protocole DiSEqC. On écrira : $V_{filtre} = v_{filtre} + V_{cc}$.

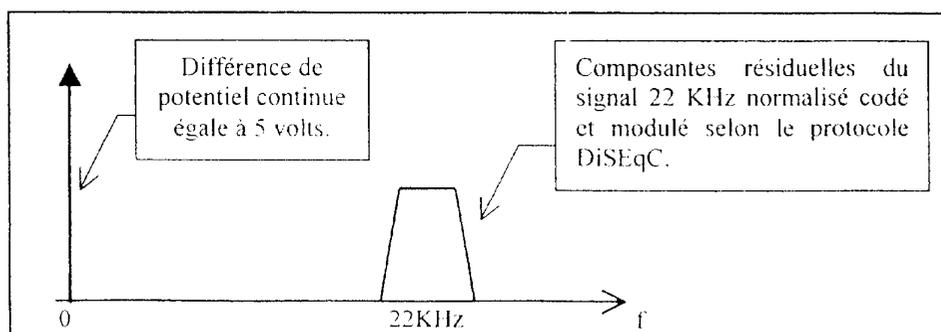


Figure 23 : Spectre du signal V_{filtre}

Le signal V_{filtre} dont le spectre est représenté figure 23, est obtenu à l'aide d'un filtre passe-bande dont les caractéristiques techniques sont données ci-dessous :

Fonction de transfert	$T = \frac{V_{\text{filtre}}}{V_{\text{coax}}} = A_0 \frac{2jm\omega}{1 + 2jm\frac{\omega}{\omega_0} + \left(\frac{j\omega}{\omega_0}\right)^2}$
Fréquence centrale	$f_0 = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{R_{12} + R_{13}}{R_{11} R_{12} R_{13}}} = 22,29 \text{ KHz}$
Amplification maximale à la fréquence centrale f_0	$A_0 = -\frac{R_{11}}{2R_{12}}$
Gain maximal à la fréquence centrale f_0	$G_0 = 20 \log A_0 = 20 \log \frac{R_{11}}{2R_{12}} = 0,851 \text{ dB}$
Coefficient d'amortissement	$m = \sqrt{\frac{R_{12} R_{13}}{R_{11} (R_{12} + R_{13})}} = 0,476$
Facteur de qualité	$q = \frac{1}{2m} = 1,05$
Bande passante à - 3 décibels	$\Delta f = 2m f_0 = 21,22 \text{ KHz}$

Figure 24 : Caractéristiques du filtre réalisant la fonction secondaire Fs1.1

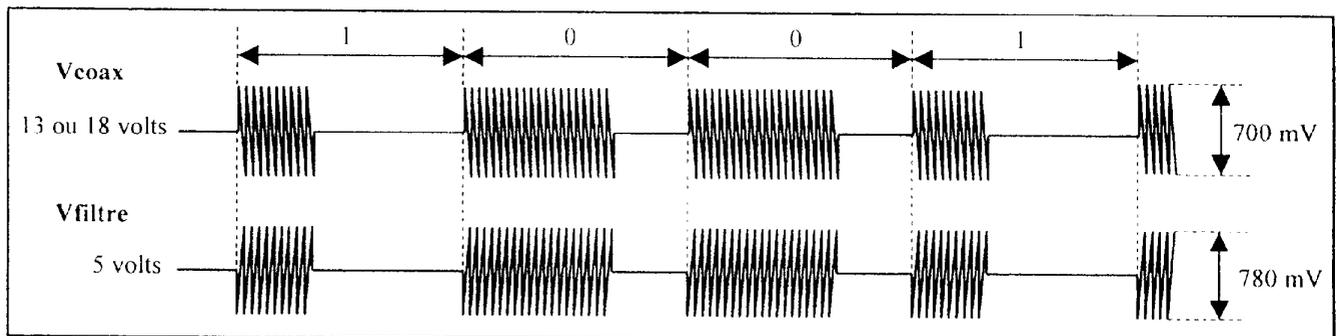


Figure 25 : V_{coax} et V_{filtre} lors de l'émission du chiffre hexadécimal \$9

3-2- Fonction "Adaptation d'impédance"

La fonction "Adaptation d'impédance", réalisée par un montage suiveur à amplificateur opérationnel permettrait d'éviter une déformation du signal V_{filtre} si la résistance d'entrée de la fonction suivante était trop faible.

Dans le cas présent, la résistance d'entrée de la fonction Fs2.1 est suffisamment grande devant la résistance de sortie de la fonction Fs1.2. L'utilisation d'un étage suiveur n'était donc pas indispensable, mais n'aurait fait réaliser aucune économie au concepteur dans la mesure où un amplificateur opérationnel intégré restait disponible dans un boîtier.

Entrée :

V_{filtre} est un signal constitué d'une composante continue égale à 5 volts sur laquelle sont superposés les ordres de positionnement de la parabole, codés et modulés selon le protocole DiSeqC. On écrira : $V_{\text{filtre}} = v_{\text{filtre}} + V_{\text{cc}}$.

Sortie :

V_{mod} est un signal constitué d'une composante continue égale à 5 volts sur laquelle sont superposés les ordres de positionnement de la parabole codés et modulés selon le protocole DiSEqC. On écrira : $V_{mod} = v_{mod} + V_{cc}$.

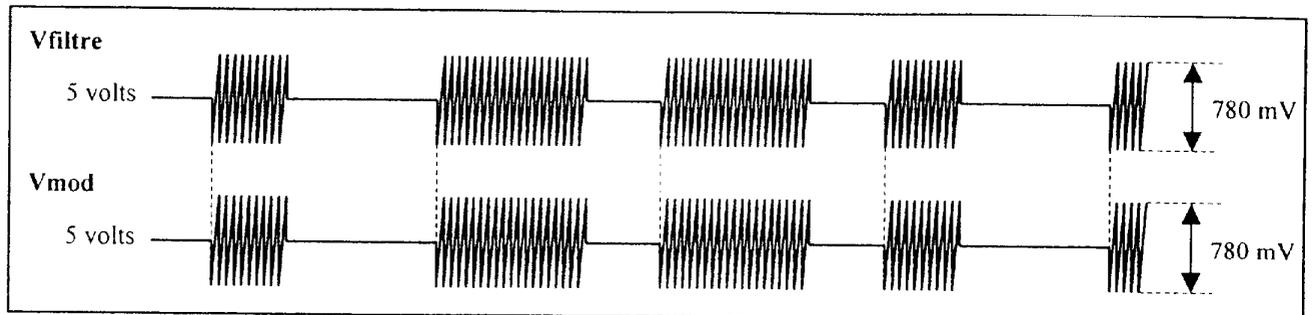


Figure 26 : V_{filtre} et V_{mod} lors de l'émission du chiffre hexadécimal \$9

4- Analyse fonctionnelle de la fonction principale Fp2

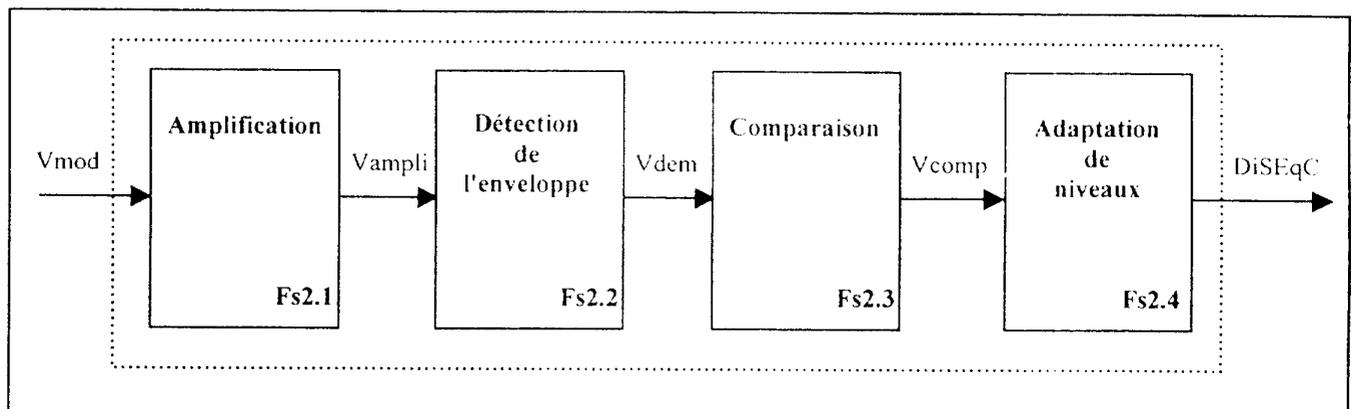


Figure 27 : Schéma fonctionnel de la fonction principale Fp2

4-1- Fonction "Amplification"

La fonction "Amplification" inverse et amplifie ($A = \frac{V_{ampli}}{V_{mod}} = -4,7$) le signal représentatif des ordres de positionnement de la parabole.

Entrée :

V_{mod} est un signal constitué d'une composante continue égale à 5 volts sur laquelle sont superposés les ordres de positionnement de la parabole, codés et modulés selon le protocole DiSEqC. On écrira : $V_{mod} = v_{mod} + V_{cc}$.

Sortie :

V_{ampli} est un signal constitué d'une composante continue égale à 5 volts sur laquelle sont superposés les ordres de positionnement de la parabole, codés, modulés, inversés et amplifiés. On écrira : $V_{ampli} = v_{ampli} + V_{cc}$.

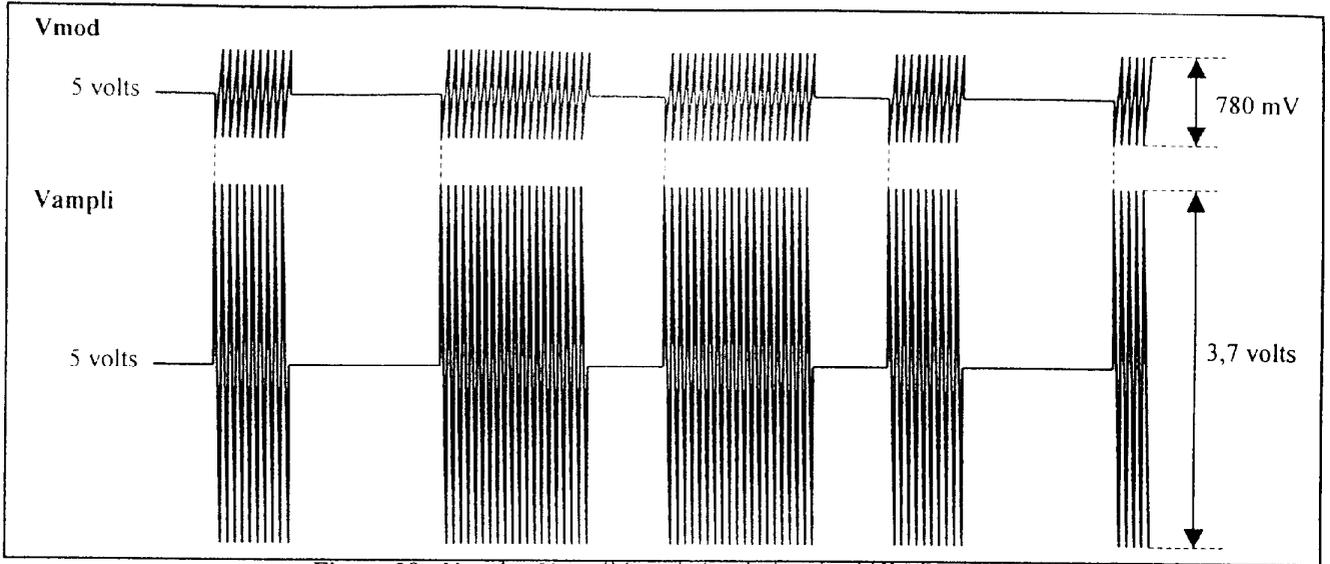


Figure 28 : Vmod et Vampli lors de l'émission du chiffre hexadécimal \$9

4-2- Fonction "Détection de l'enveloppe"

La fonction "Détection de l'enveloppe" réalise une démodulation d'amplitude (ou démodulation AM) du signal Vampli. Cette fonction est construite autour d'une structure canonique très classique réalisée avec une diode, un condensateur et une résistance et très souvent appelée "démodulateur à diode".

Entrée :

Vampii est un signal constitué d'une composante continue égale à 5 volts sur laquelle sont superposés les ordres de positionnement de la parabole, codés, modulés, inversés et amplifiés. On écrira : $V_{ampii} = v_{ampli} + V_{cc}$.

Sortie :

Vdem est un signal constitué d'une composante continue égale à 5 volts sur laquelle sont superposés les ordres de positionnement de la parabole, codés et démodulés. On écrira : $V_{dem} = v_{dem} + V_{cc}$.

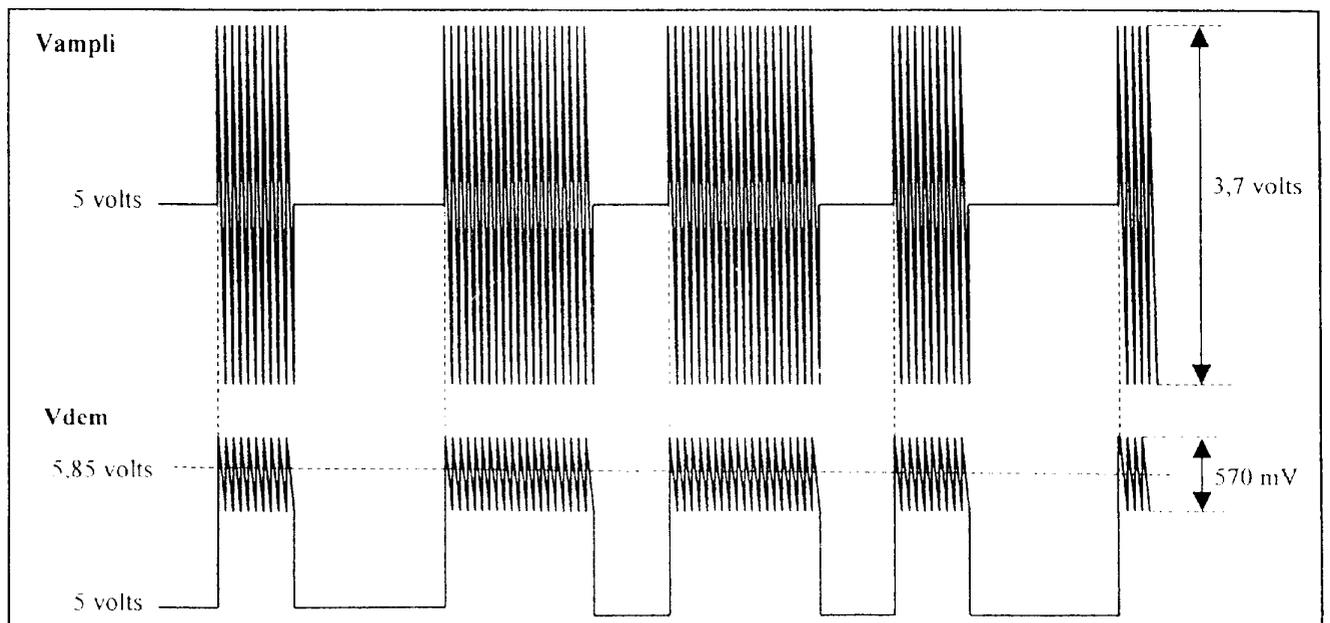


Figure 29 : Vampli et Vdem lors de l'émission du chiffre hexadécimal \$9

4-3- Fonction "Comparaison"

La fonction secondaire Fs2.3 effectue en permanence une comparaison entre le signal V_{dem} et une différence de potentiel continue égale à 5,2 volts environ.

Entrée :

V_{dem} est un signal constitué d'une composante continue égale à 5 volts sur laquelle sont superposés les ordres de positionnement de la parabole codés et démodulés. On écrira : $V_{dem} = v_{dem} + V_{cc}$.

Sortie :

V_{comp} est un signal rectangulaire de valeur minimale 0 volt et d'amplitude égale à la valeur de la tension de saturation de l'amplificateur opérationnel utilisé.

Le tableau ci-dessous résume simplement le fonctionnement de la fonction secondaire Fs2.3 "Comparaison" :

Valeur instantanée de V_{dem}	Valeur de la ddp V_{comp}
Inférieure à 5,2 volts	Peu différente de 0 volt
Supérieure à 5,2 volts	Egale à $+V_{sat}$ de l'Aop

Figure 30 : Tableau de fonctionnement de Fs2.3

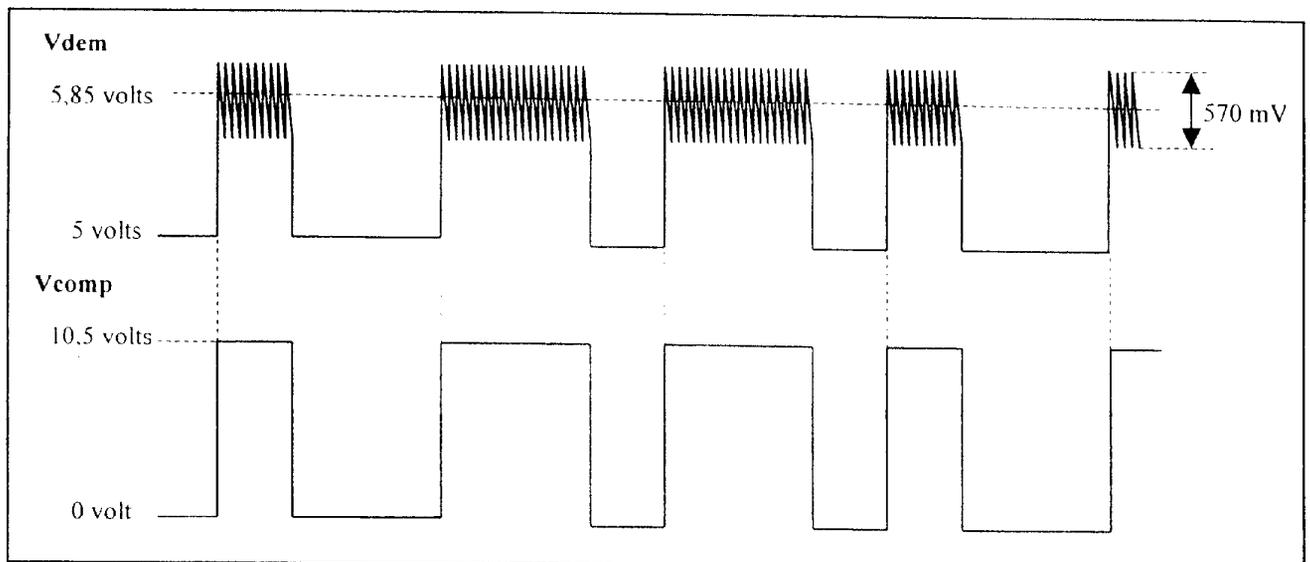


Figure 31 : V_{dem} et V_{comp} lors de l'émission du chiffre hexadécimal \$9

4-4- Fonction "Adaptation de niveaux"

La fonction secondaire Fs2.4 permet d'adapter la différence de potentiel V_{comp} à des niveaux compatibles TTL/CMOS.

Entrée :

V_{comp} est un signal rectangulaire de valeur minimale 0 volt et d'amplitude égale à la valeur de la tension de saturation de l'amplificateur opérationnel utilisé.

Sortie :

$DiSEqC$ est un signal numérique codé, compatible TTL/CMOS (de valeur minimale peu différente de 0 volt et d'amplitude égale à 5 volts), représentatif des choix de l'utilisateur et permettant une interprétation directe par la fonction principale Fp3.

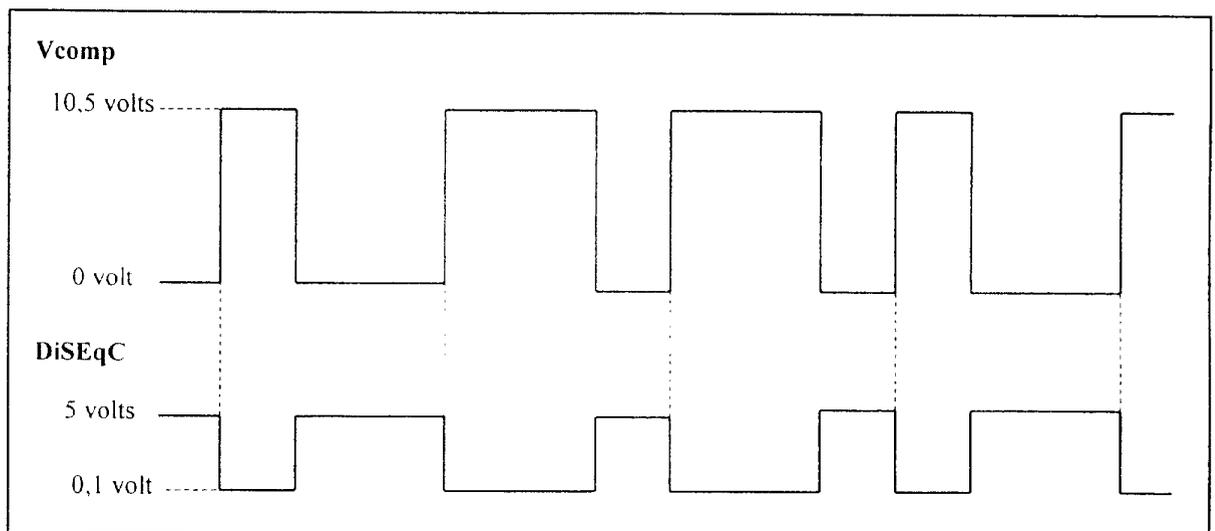


Figure 32 : V_{comp} et $DiSEqC$ lors de l'émission du chiffre hexadécimal \$9

4-5- Signaux relevés aux entrées et sorties des fonctions secondaires Fs1.1, Fs1.2 et Fs2.1 à Fs2.4

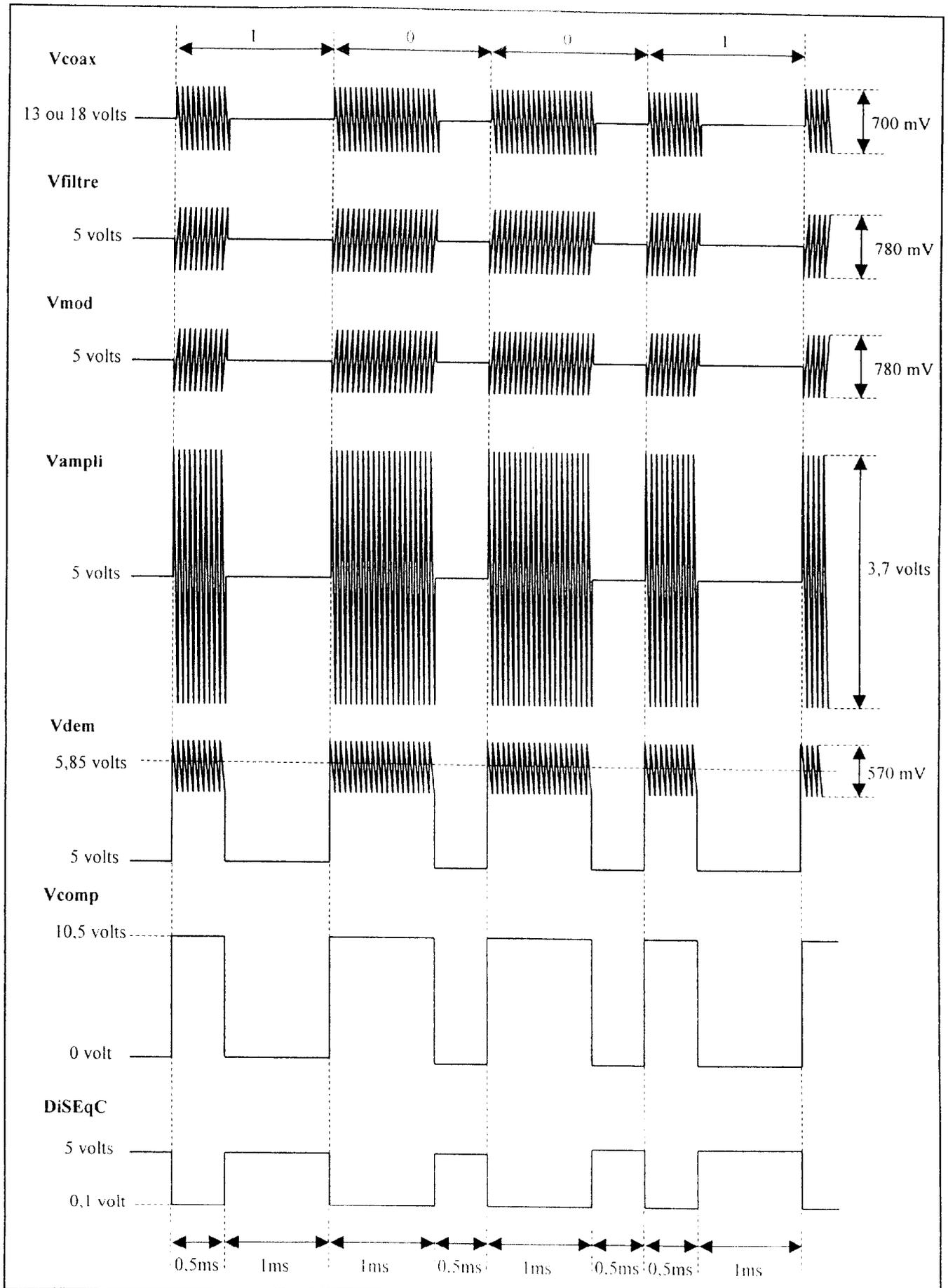


Figure 33 : Récapitulatif des signaux présents aux entrées et aux sorties des fonctions secondaires de Fp1 et de Fp2 lors de l'émission du chiffre hexadécimal \$9

5- Analyse fonctionnelle de la fonction principale Fp3

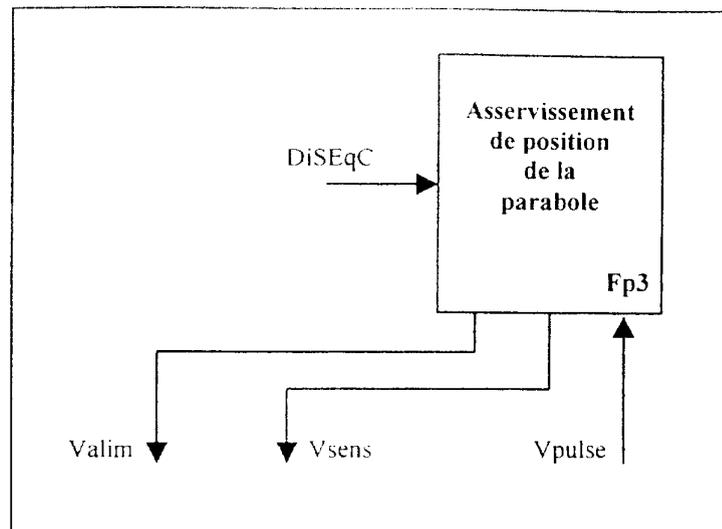


Figure 34 : Fonction principale Fp3

En fonction du signal DiSEqC et du signal numérique Vpulse (généralisé durant la rotation de la parabole), la fonction principale Fp3 élabore deux différences de potentiels continues de durées limitées (Valim et Vsens) permettant de commander la fonction principale Fp4.

Les entrées et sorties de la fonction principale Fp3 "asservissement de la parabole" ont déjà toutes été décrites au chapitre III-2-6, lors de l'analyse du schéma fonctionnel associé à la fonction d'usage de l'objet technique "positionneur Motorysat".

Cette fonction, purement logicielle, est matérialisée par un microcontrôleur Atmel AT89C2051 appartenant à la famille des 8051, associé via un bus I2C, à une EEPROM série de 128 octets.

Nous allons donc, au cours de ce chapitre, nous intéresser au fonctionnement du programme contenu dans le microcontrôleur et au rôle joué par l'EEPROM série au sein du système.

5-1- Positions orbitales et numéros d'affectation par le démodulateur de quelques satellites

Afin de permettre au démodulateur de générer les ordres DiSEqC de positionnement de la parabole en fonction des choix de l'utilisateur, un numéro est affecté en usine aux quinze principaux satellites et programmé dans une zone de mémoire morte interne au démodulateur.

Satellite	Position orbitale	Numéro affecté au satellite
Télécom 2B	5° ouest	1
Télécom 2A	8° ouest	2
Astra	19° est	3
Hot bird	13° est	4
Eutelsat W2	16° est	5
Eutelsat	10° est	6
Turksat	42° est	7

Figure 35 : Positions orbitales et numéros de quelques satellites

5-2- Codes positions par rapport au "zéro usine" de trois satellites cités précédemment

En fin de fabrication, afin d'effectuer des tests de fonctionnement, le "positionneur Motorysat" est raccordé à un démodulateur.

Dès sa mise sous tension, le microcontrôleur interne à la fonction principale Fp3 transfère automatiquement (sous forme de nombres hexadécimaux codés sur deux octets) les positions des principaux satellites par rapport au "zéro usine" (42,3° Est) dans une EEPROM série.

Satellite	Position par rapport au "zéro usine"	Nombre d'impulsions de Vpulse par rapport au "zéro usine"	Code hexadécimal programmé dans l'EEPROM
Télécom 2B	47,3°	158	\$009E
Astra 1A	23,3°	78	\$004E
Turksat	0,3°	1	\$0001

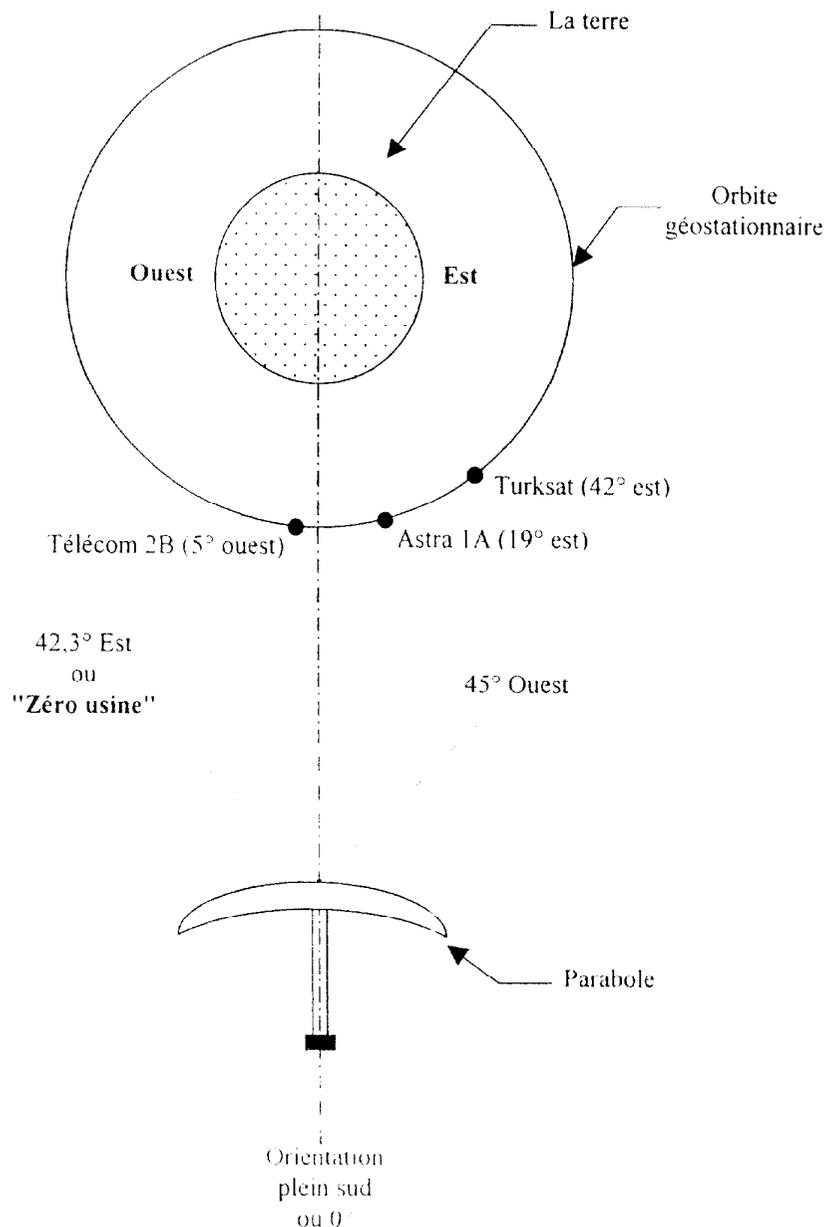


Figure 36 : Codes positions de trois des principaux satellites et graphique explicatif

5-3- Description fonctionnelle détaillée de la fonction principale Fp3

Au cours de ce chapitre, nous allons essentiellement nous intéresser au mode de fonctionnement le plus couramment utilisé pour la fonction principale Fp3 : l'orientation automatique de la parabole vers le satellite émettant la chaîne sélectionnée par l'utilisateur à l'aide de la télécommande.

Afin d'éviter de dériver dans des explications très complexes, nous allons tout simplement choisir un exemple concret d'utilisation du système :

L'utilisateur regarde TF1, chaîne émise par le satellite Télécom 2B (canal 1) et décide de passer sur le canal 23, correspondant à la chaîne CNN, émise par le satellite Astra.

a- Code DiSEqC généré par le démodulateur, via le câble coaxial

Le démodulateur doit, à l'aide d'un code DiSEqC, indiquer au "positionneur Motorysat", d'orienter automatiquement la parabole vers le satellite n°3. Ceci se traduit par l'émission du message DiSEqC (codé en hexadécimal) suivant : E0 30 6B 03 (ou E0 31 6B 03 selon le démodulateur). Chaque octet étant suivi d'un bit de parité.

L'octet de trame E0 indique au positionneur que le démodulateur est l'émetteur du message.

L'octet d'adresse 30 ou 31 indique au positionneur qu'il est le destinataire du message.

L'octet de commande 6B indique au positionneur de s'orienter vers le satellite dont le numéro suit.

L'octet de données 03 correspond au numéro du satellite vers lequel le positionneur doit orienter la parabole.

b- Description du fonctionnement de Fp3

Une fois le message DiSEqC démodulé et mis en forme par les fonctions principales Fp1 et Fp2, la fonction principale Fp3, après analyse complète du message, commande automatiquement la rotation de la parabole vers le satellite n°3 en respectant l'algorithme de fonctionnement représenté à la figure 37.

\$009E correspond à la position (codée en hexadécimal) par rapport au zéro usine du satellite vers lequel est orientée la parabole tandis que \$004E correspond à la position (codée en hexadécimal) par rapport au zéro usine du satellite vers lequel doit s'orienter la parabole. Ceci nous permet de résumer le fonctionnement de la fonction principale Fp3 de façon très simple :

Si Destination - Position > 0 alors la rotation se fait de l'est vers l'ouest

Si Destination - Position < 0 alors la rotation se fait de l'ouest vers l'est

avec :

- Position du satellite vers lequel est orientée la parabole avant l'émission d'un message DiSEqC = **Position**
- Position du satellite de destination = **Destination**

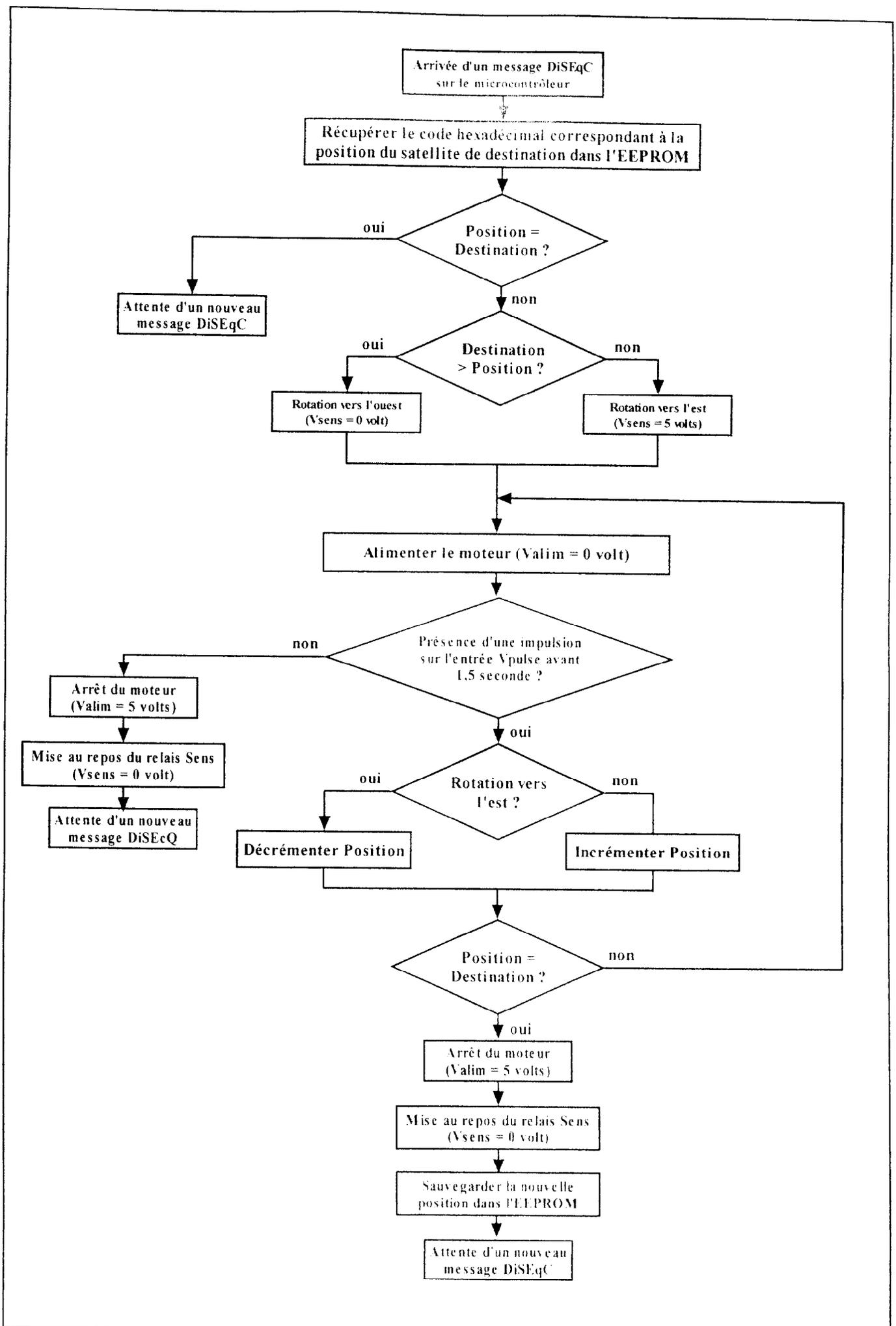


Figure 37 : Algorithme de fonctionnement de Fp3

c- Quelques détails supplémentaires sur le fonctionnement de Fp3

Dans le mode de fonctionnement détaillé depuis le chapitre II-5-3-a, les trois premiers octets du message DiSEqC sont toujours E0 30 6B (ou E0 31 6B). Seul le dernier octet, correspondant au numéro affecté au satellite change.

Un ordre d'orientation vers le satellite Turksat s'écrirait donc : E0 30 6B 07 ou E0 31 6B 07 L'algorithme de fonctionnement utilisé serait le même que précédemment ; seuls la durée et le sens de rotation de la parabole varieraient en fonction de sa position de départ.

6- Analyse fonctionnelle de la fonction principale Fp4

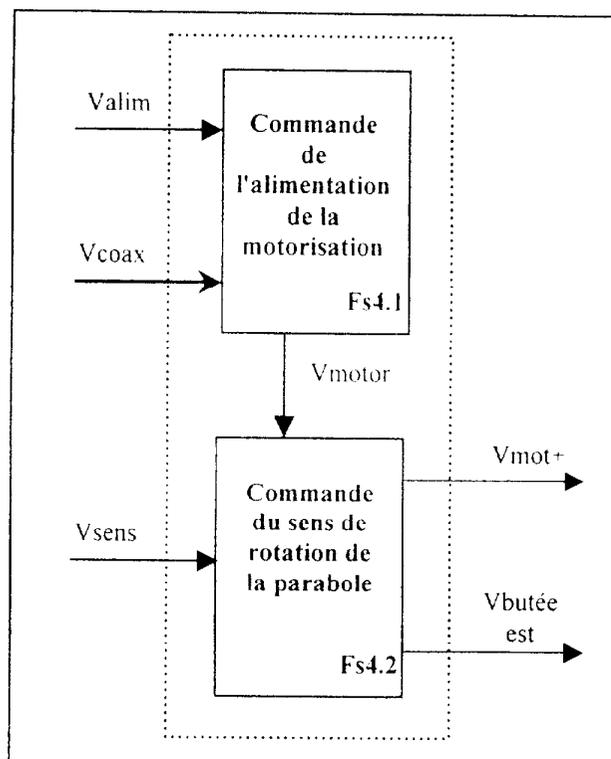


Figure 38 : Schéma fonctionnel de Fp4

6-1- Fonction "Commande de l'alimentation de la motorisation"

La fonction secondaire Fs4.1 permet de valider ou non l'alimentation de la fonction principale Fp5.

Entrées :

Vcoax est un signal constitué de la composante continue (13 ou 18 volts) d'alimentation de la tête de réception et du positionneur Motorysat, des informations audio/vidéo et des ordres de positionnement de la parabole codés et modulés selon le protocole DiSEqC (Voir spectre figure 17).

Durant la rotation de la parabole, les informations audio/vidéo ne sont plus présentes dans le câble coaxial. Dans le cas décrit au troisième paragraphe du chapitre III-2-3, Vcoax est tout simplement une différence de potentiel continue égale à 13 ou à 18 volts.

Vcoax est utilisé par Fs4.1 comme entrée d'alimentation continue (13 ou 18 volts) pour la fonction principale Fp5.

Valim est une différence de potentiel continue permettant à la fonction secondaire Fs4.1 de valider ou non l'alimentation de la fonction principale Fp5 "Positionnement de la parabole".

Sortie :

Vmotor est une différence de potentiel continue, fonction de Valim, dont la valeur est égale à 0 volt ou à 13/18 volts (voir tableau figure 39).

6-2- Fonction "Commande du sens de rotation de la parabole"

La fonction secondaire Fs4.2 permet de fixer le sens de rotation de la parabole en fonction des choix de l'utilisateur.

Entrées :

Vsens est une différence de potentiel continue permettant à la fonction secondaire Fs4.2 d'intervenir sur le sens de rotation de la fonction principale Fp5 "Positionnement de la parabole".

Vmotor est une différence de potentiel continue, fonction de Valim, dont la valeur est égale à 0 volt ou à 13/18 volts (voir tableau figure 39).

Sorties :

Vmot+ et **Vbutée est** forment la différence de potentiel continue d'alimentation de la fonction principale Fp5 (voir détails figure 39).

Fonction secondaire Fs4.1		Fonction secondaire Fs4.2		
Valim	Vmotor	Vsens	Vmot+	Vbutée est
Etat bas	13/18 volts	Etat haut	13/18 volts	0 volts
Etat bas	13/18 volts	Etat bas	0 volt	13/18 volts
Etat haut	0 volt	Etat haut	0 volt	0 volt
Etat haut	0 volt	Etat bas	0 volt	0 volt

Figure 39 : Tableau de fonctionnement de Fp4

7- Analyse fonctionnelle de la fonction principale Fp5

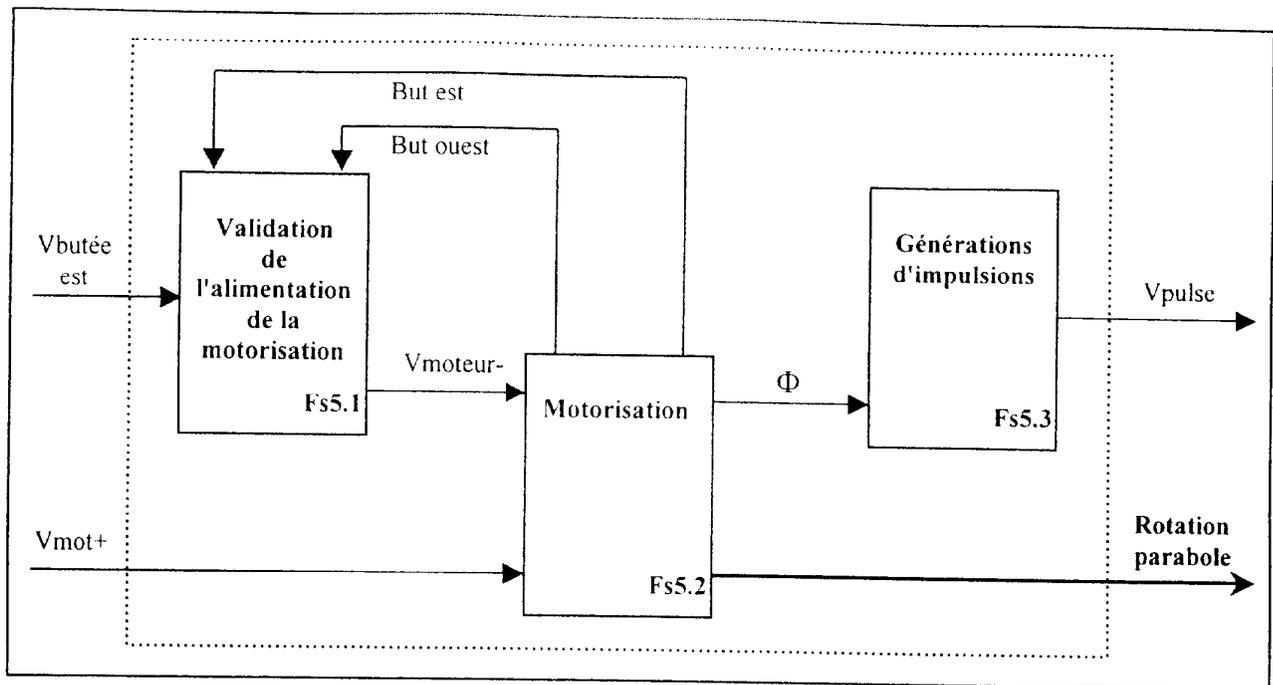


Figure 40 : Schéma fonctionnel de Fp5

7-1- Fonction "Validation de l'alimentation de la motorisation"

La fonction secondaire Fs5.1 permet de fixer le domaine angulaire de validation de l'alimentation de la motorisation par l'intermédiaire de deux butées mécaniques.

La **butée est** permet de fixer l'angle maximal de rotation (par rapport à la position 0°) de la parabole dans la direction ouest/est, tandis que la **butée ouest** permet de fixer l'angle maximal de rotation (par rapport à la position 0°) de la parabole dans la direction est/ouest.

Entrées :

Vbutée est est reliée au 0 volt lors d'une rotation Est/Ouest de la parabole; et au potentiel 13/18 volts lors d'une rotation Ouest/Est de cette dernière.

But est et But ouest sont deux actions mécaniques permettant de stopper, à l'aide de deux micro contacts, l'alimentation de la motorisation.

Sortie :

Vmoteur-, égal à 0 volt ou à 13/18 volts suivant le sens de rotation de la parabole, forme avec Vmot+ la différence de potentiel continue d'alimentation de la motorisation. (voir détails dans le tableau figure 42)

7-2- Fonction "Motorisation"

La fonction secondaire Fs5.2 est constituée d'un moteur à courant continu entraînant la rotation (à des vitesses différentes mais proportionnelles) des trois éléments suivants :

- Un disque aimanté contenant quatre aimants permanents espacés de 90°.
- L'axe de fixation de la parabole.
- Deux disques superposés permettant le réglage des butées est et ouest.

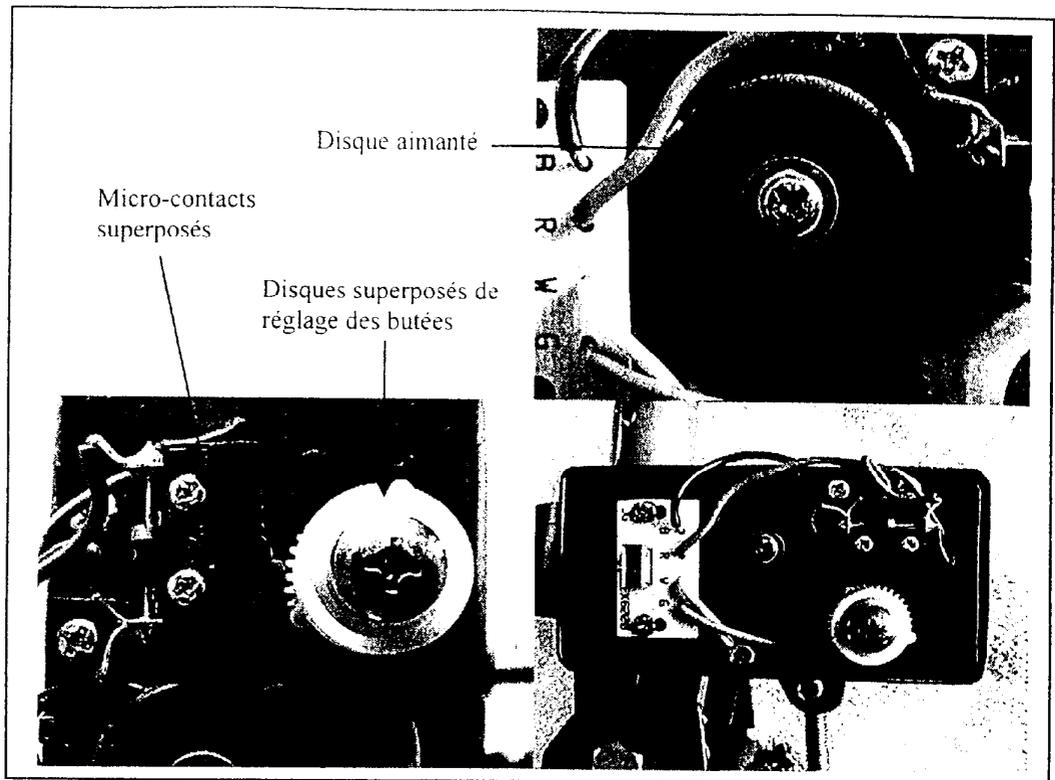


Figure 41 : Photographies de quelques composantes de Fp5

Entrées :

Vmoteur- et **Vmot+** forment la différence de potentiel continue (13 ou 18 volts) d'alimentation de la motorisation.

Sorties :

But est et **But ouest** sont deux action mécanique permettant de stopper, à l'aide de deux micro-contacts, l'alimentation de la motorisation. Dans le tableau résumant le fonctionnement de Fp5 (figure 42), on caractérisera une action d'une des deux butées sur le micro contact concerné par un état logique 1.

Φ est un champ magnétique émis par le disque aimanté tous les 90° , permettant la commande de la fonction secondaire Fs5.3 "Génération d'impulsions".

Rotation parabole correspond tout simplement à la rotation de la parabole dans le sens imposé par la fonction principale Fp4 via les entrées Vmot+ et Vbutée est.

7-3- Fonction "Génération d'impulsions"

La fonction secondaire Fs5.3, constituée par un interrupteur à lames souples (ou ILS) associé à un condensateur, permet de générer une impulsion tous les quarts de tours effectués par le disque aimanté. Cela correspond à une rotation de $0,3^\circ$ de la parabole.

75 tours de disque aimanté correspondent donc à une rotation de 90° de la parabole.

Entrée :

Φ est un champ magnétique émis par le disque aimanté tous les 90° , permettant la commande de la fonction secondaire Fs5.3 "Génération d'impulsions".

Sortie :

Vpulse est un signal numérique généré durant la rotation de la parabole, dont le nombre d'impulsions est représentatif de l'angle parcouru par cette dernière. Une rotation de $0,3^\circ$ de la parabole génère une impulsion (voir figure 20).

Vbutée est	Vmot+	But est	But ouest	Micro contact 1	Micro contact 2	Vmoteur -	Etat de la parabole
0 volt	13/18 volts	0	0	fermé	fermé	0 volt	Rotation Ouest → Est
13/18 volts	0 volt	0	0	fermé	fermé	13/18 volts	Rotation Est → Ouest
0 volt	13/18 volts	1	0	x	ouvert	0 volt	Parabole en butée est
13/18 volts	0 volt	0	1	ouvert	x	0 volt	Parabole en butée ouest
0 volt	0 volt	0	0	fermé	fermé	0 volt	Parabole à l'arrêt

Figure 42 : Tableau résumant le fonctionnement de la fonction principale Fp5

8- Schémas structurels

8-1 Schéma structurel de Fp1 à Fp4 et de Fa

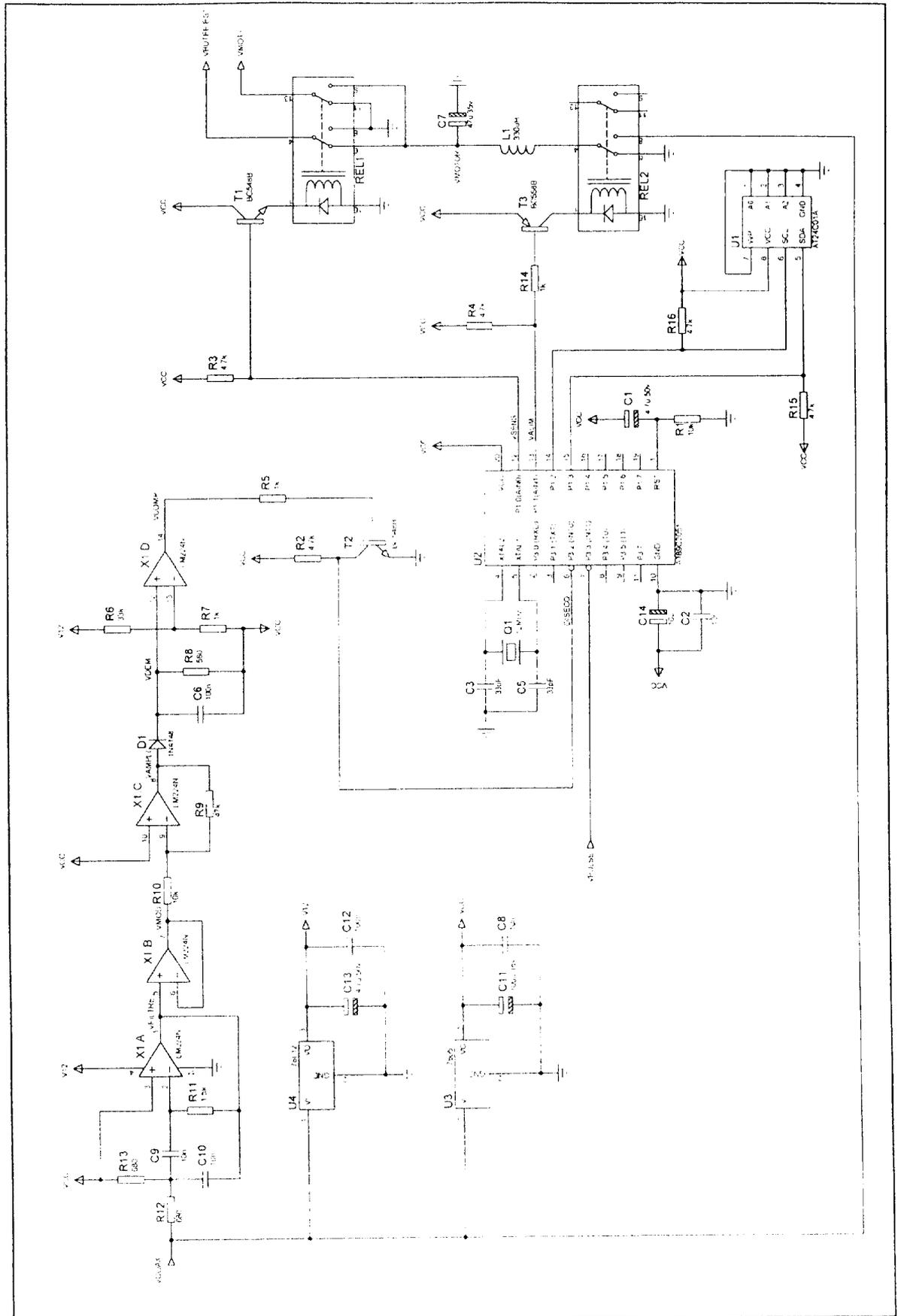


Figure 43 : Schéma structurel des fonctions Fp1 à Fp4 et Fa

8-2 Schéma structurel de Fp5

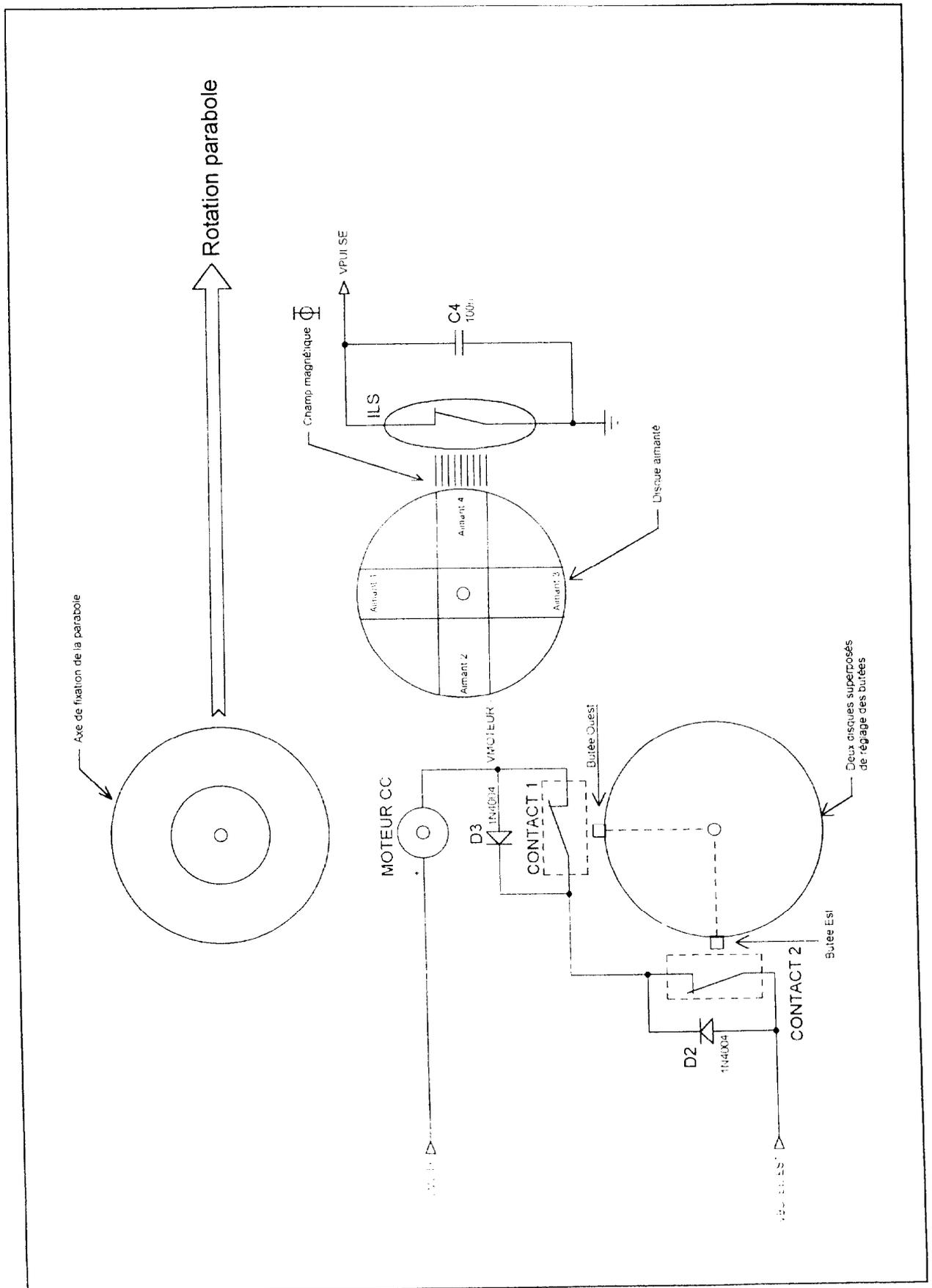


Figure 44 : Schéma structurel de Fp5