

SESSION 2011

---

AGRÉGATION  
CONCOURS INTERNE  
ET CAER

**Section : GÉNIE ÉLECTRIQUE**  
**Option A : ÉLECTRONIQUE ET INFORMATIQUE INDUSTRIELLE**

**ÉPREUVE PRENANT APPUI SUR UN SYSTÈME INDUSTRIEL**

Durée : 8 heures

---

*Calculatrice électronique de poche – y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.*

*De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Hormis l'en-tête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.**

**Tournez la page S.V.P.**

# SYSTEME DE DISTRIBUTION DE TELEVISION

Ce sujet comporte 5 dossiers distincts :

📁 Dossier de présentation du système	11 pages
📁 Dossier de questionnement	20 pages
📁 Documents réponses	3 pages
📁 Documentation constructeurs	25 pages
📁 Documents ressources	13 pages

**Ce sujet comporte huit parties indépendantes :**

- Partie 1 : Distribution de signaux vidéo
- Partie 2 : Antennes
- Partie 3 : Réception satellite - Antennes paraboliques
- Partie 4 : Choix des canaux satellites (PLL)
- Partie 5 : Réception TNT
- Partie 6 : Modulations utilisées
- Partie 7 : Distribution TV sur IP
- Partie 8 : Partie pédagogique

**Une lecture préalable et complète du sujet est indispensable.**

Il sera tenu compte de la cohérence avec laquelle les candidats traiteront chaque partie, le jury préférant une réflexion d'ensemble de la partie abordée à un éparpillement des réponses.

Les candidats sont invités à numéroter chaque page de leur copie et à indiquer clairement le numéro de la question traitée.

Les candidats sont priés de rédiger les différentes parties du problème sur feuilles séparées et clairement repérées. Chaque question est repérée par un numéro.

Il leur est rappelé qu'ils doivent utiliser les notations propres au sujet, présenter clairement les calculs et dégager ou encadrer tous les résultats.

Tout résultat incorrectement exprimé ne sera pas pris en compte. En outre les correcteurs leur sauront gré d'écrire lisiblement et de soigner la qualité de leur copie.

Il sera tenu compte de la qualité de rédaction, en particulier pour les réponses aux questions ne nécessitant pas de calcul. Le correcteur attend des phrases complètes respectant la syntaxe de la langue française.

Pour la présentation des applications numériques, il est rappelé que lors du passage d'une forme littérale à son application numérique, il est recommandé aux candidats de procéder comme suit :

- après avoir rappelé la relation littérale, chaque grandeur est remplacée par sa valeur numérique en respectant la position qu'elle avait dans la relation puis le résultat numérique est donné sans calculs intermédiaires et sans omettre son unité.

Si le texte du sujet, de ses questions ou de ses annexes, vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement dans votre copie.

	Page
<b><u>1 – PRESENTATION DU SYSTEME</u></b>	3
1.1 - Vue partielle de l'équipement	4
1.2 - Schéma sagittal de la chaîne totale	5
1.3 - Schéma fonctionnel de premier degré	7
1.4 - Câblage partiel de la baie satellite	8
1.5 - Câblage partiel de la baie terrestre	9
1.6 - Rôle des objets techniques	10
1.7.- Câblage partiel du lotissement	10
1.8 - Démodulateur satellite	11

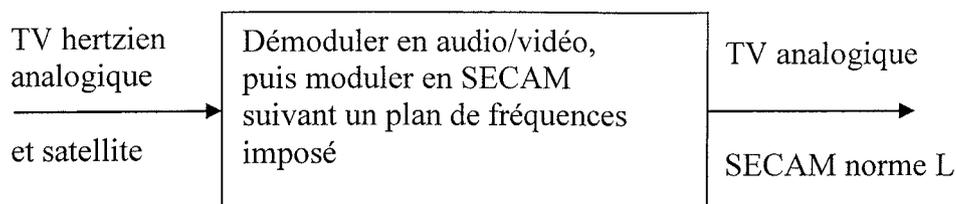


**PRESENTATION**

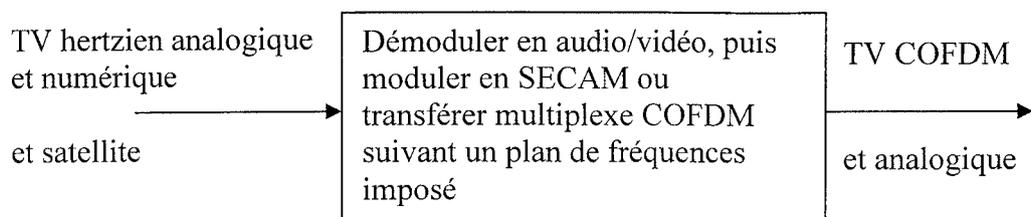
Le système permet de distribuer la télévision dans un lotissement à l'aide de câbles, ce qui permet d'éviter les antennes disgracieuses sur les habitations, et les décodeurs satellite dans les habitations. L'abonnement d'un montant dérisoire est obligatoire d'après le règlement du lotissement. Un bâtiment muni d'antennes terrestre et satellite sert de relais, il permet de recevoir des chaînes ou des bouquets numériques qui sont redistribués suivant un nouveau « plan de fréquences » sur le lotissement. Une assemblée générale des habitants du lotissement décide chaque année du choix des chaînes distribuées. La société de distribution réalise alors un nouveau plan de fréquences correspondant à la demande des abonnés. Ce système a été modifié à l'apparition de la TNT, et le sera à nouveau à la disparition de la télévision analogique.

**Analyse fonctionnelle de niveau 1 :**

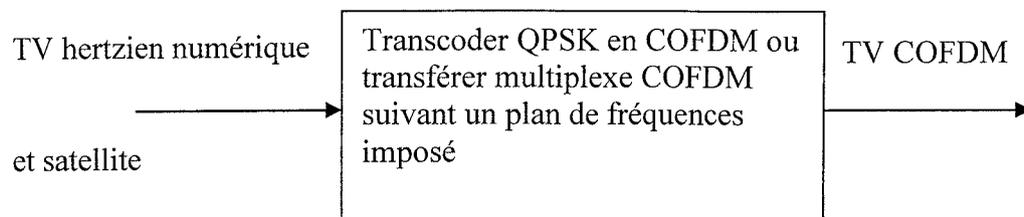
Avant la TNT



**Après l'apparition de la TNT (SUJET ETUDIE):**



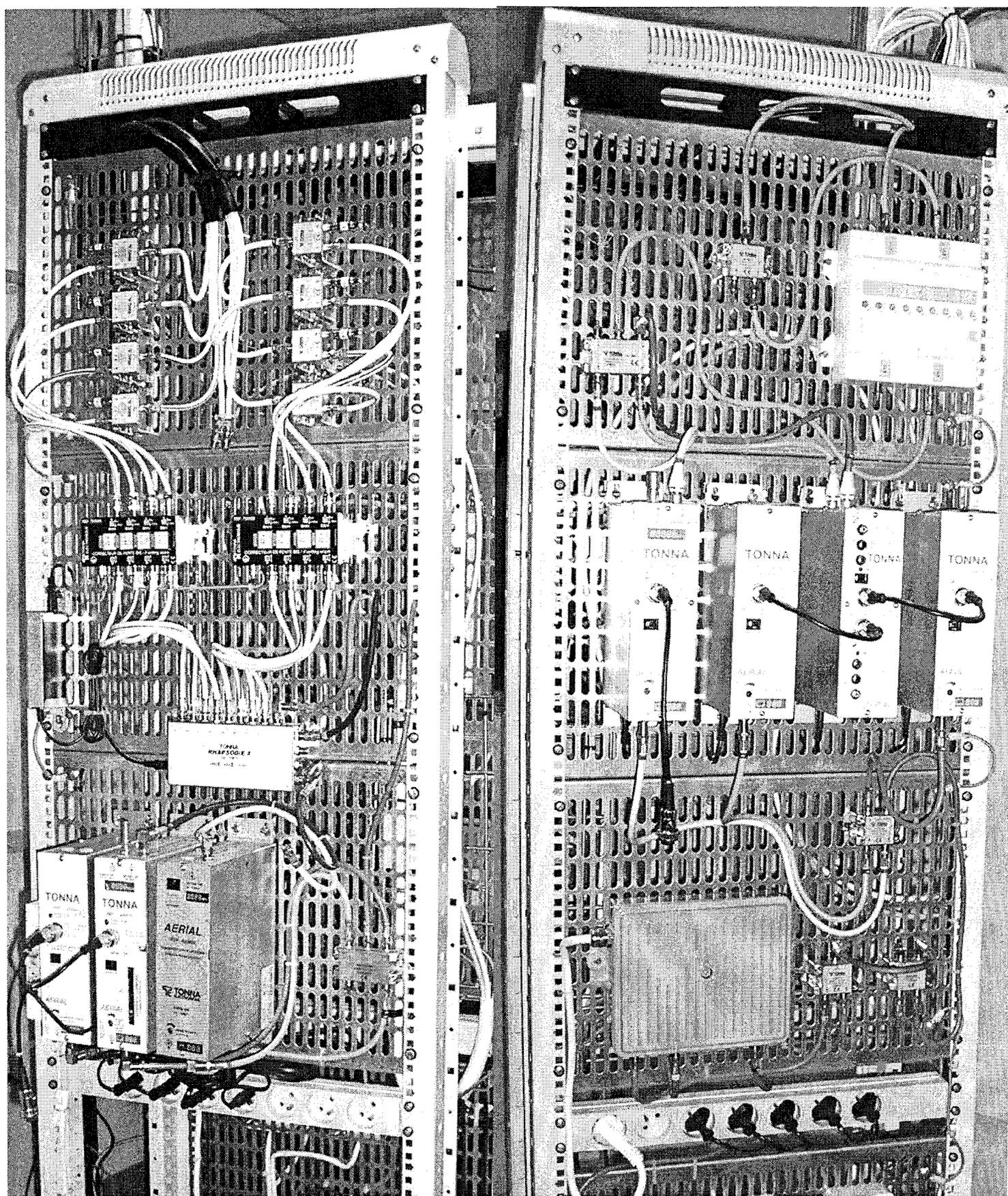
A la disparition de l'analogique :



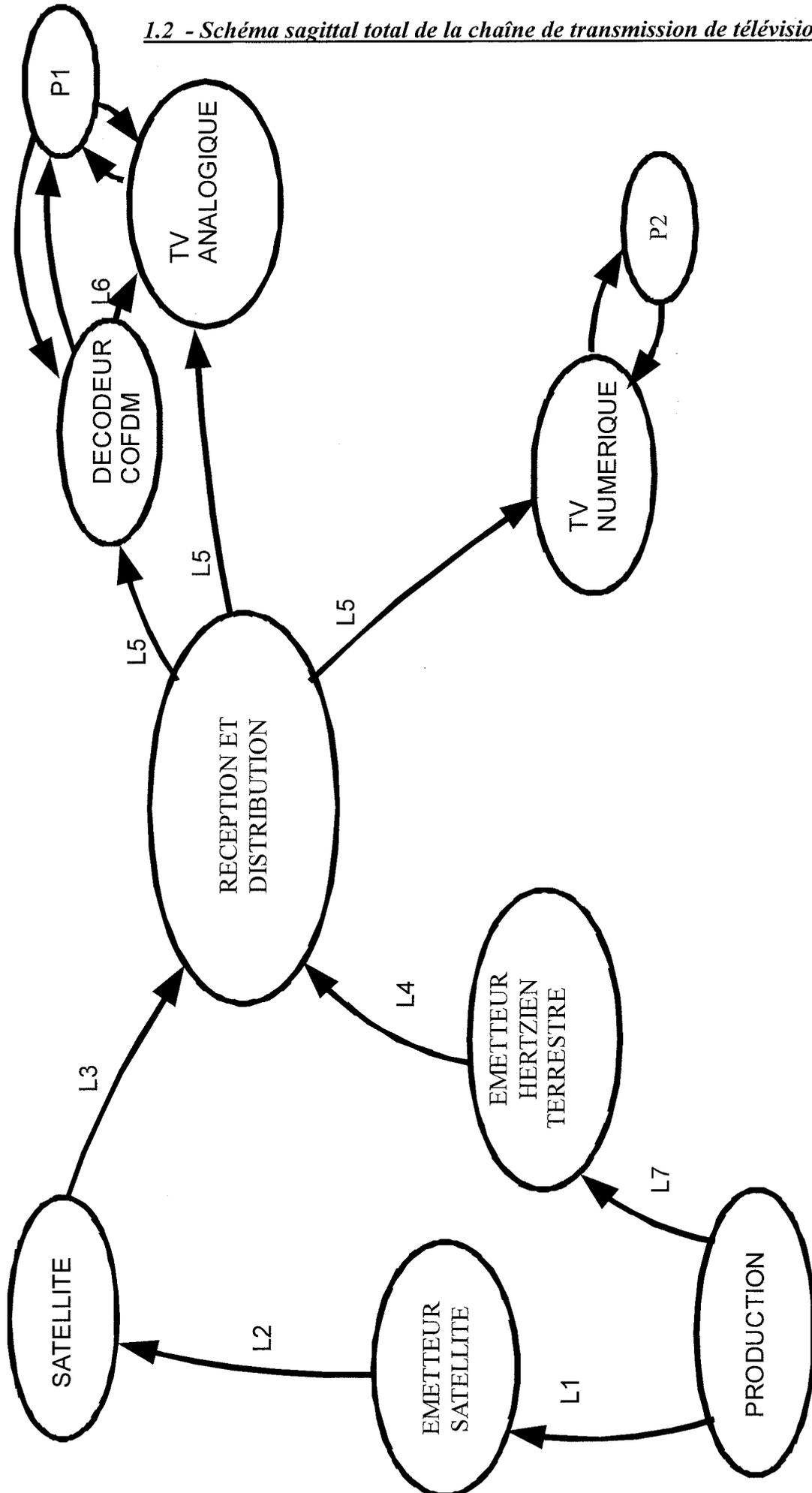
1.1 - Vue partielle de l'équipement à l'intérieur du local technique

Réception satellite

Réception terrestre



1.2 - Schéma sagittal total de la chaîne de transmission de télévision

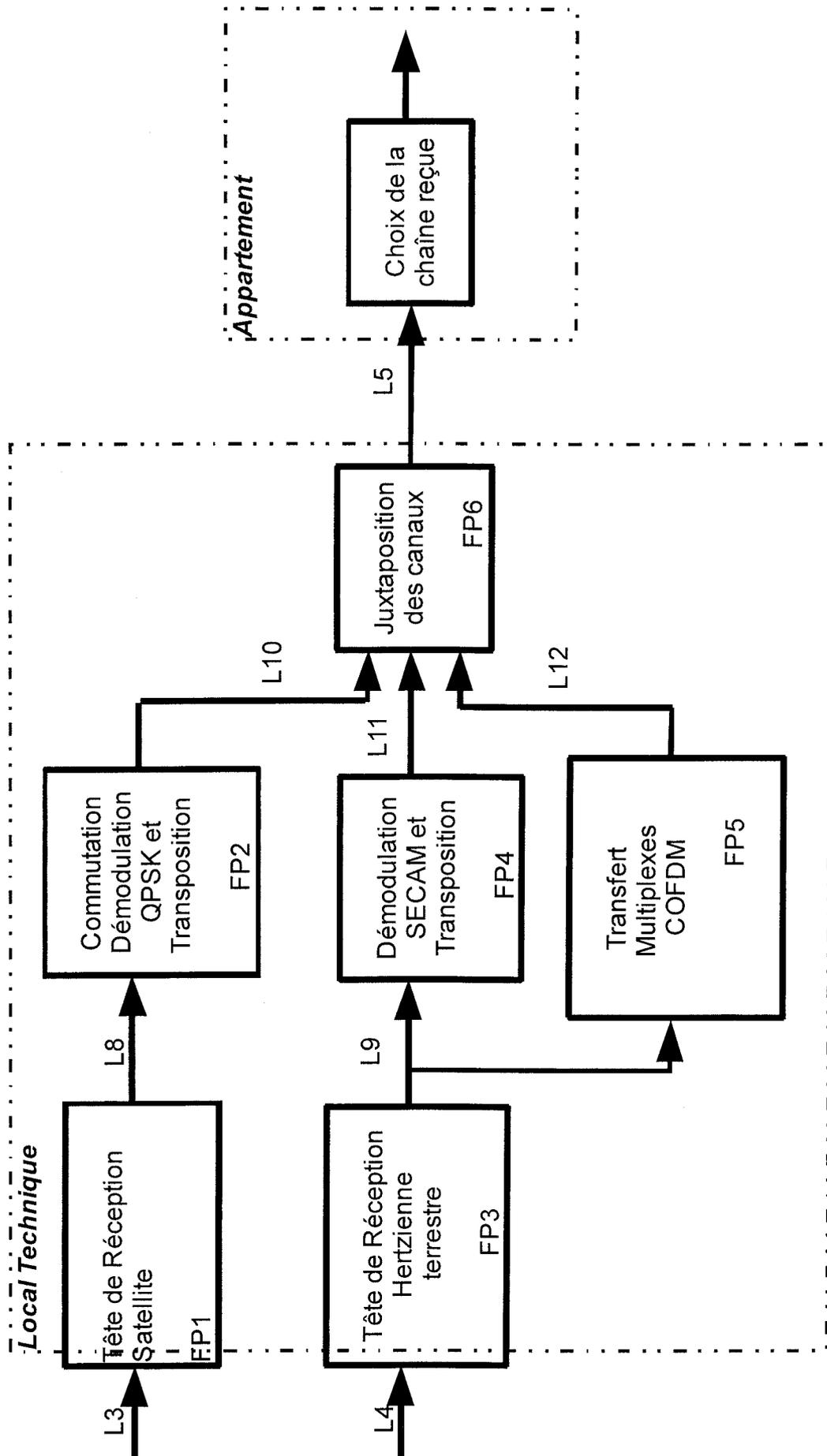


liaisons	Commentaires schéma sagittal
L1, L7	Signaux bande de base A/V
L2	Porteuses modulées suivant une onde électromagnétique Uplink, modulation QPSK, bande Ku de 14 à 14.5GHz
L3	Porteuses modulées suivant une onde électromagnétique Downlink, modulation QPSK, bande Ku de 10.7 à 12.7 GHz
L4	Porteuses modulées suivant une onde électromagnétique UHF, VHF modulation analogique SECAM norme L, ou COFDM (TNT)
L5	Porteuses modulées suivant un plan de fréquence imposé contenant les différents canaux analogiques et numériques
L6	Canal TNT choisi transcodé en SECAM
P1	Personne n°1 regardant la TV analogique, et choisissant ses programmes
P2	Personne n°2 regardant la TV numérique, et choisissant ses programmes

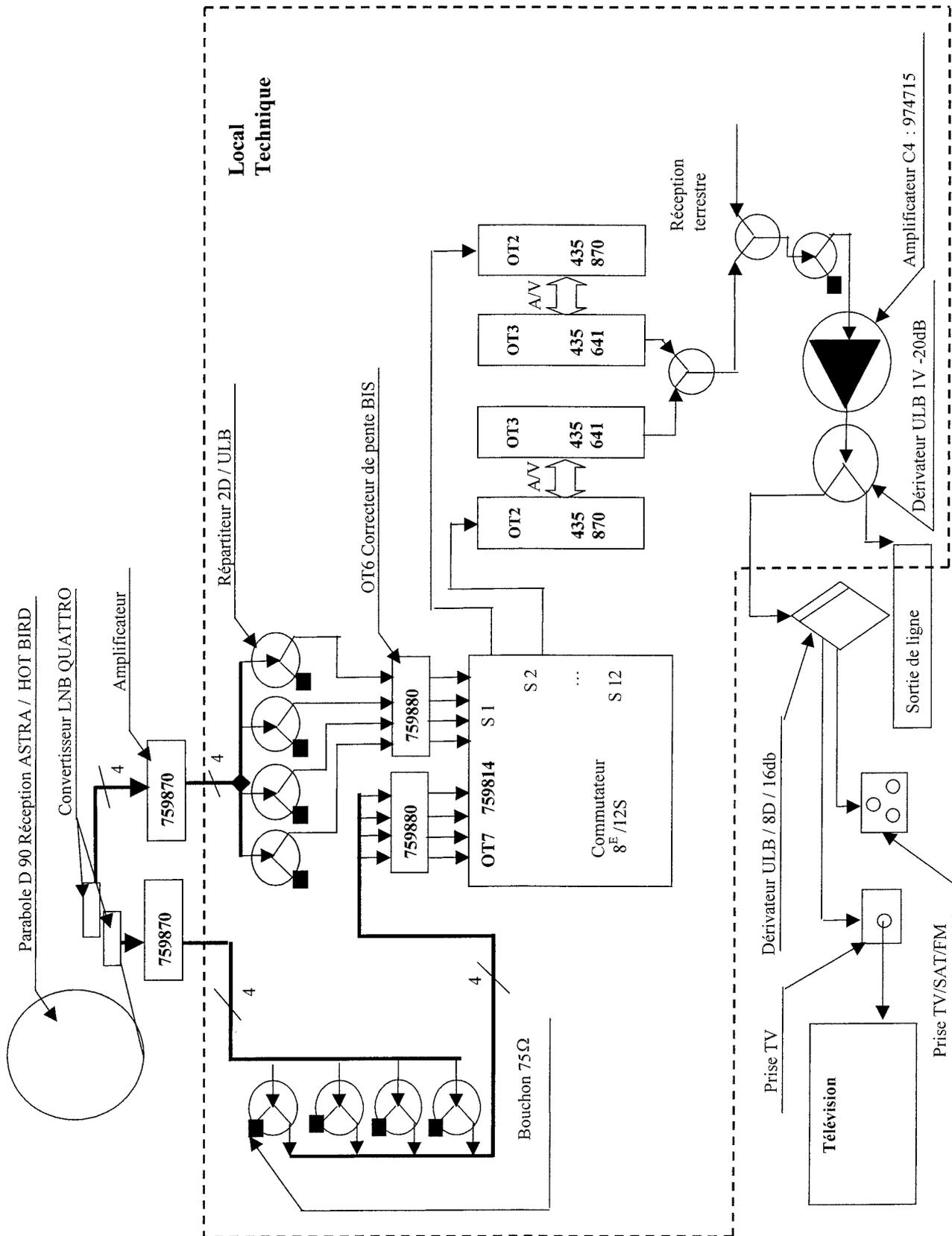
### Commentaires schéma fonctionnel de premier degré

L8	Canaux égalisés en amplitude, fréquences BIS
L9	Canaux égalisés en amplitude, fréquences UHF et VHF, modulation SECAM et COFDM
L10	Chaînes satellites choisies transcodées en SECAM
L11	Chaînes analogiques SECAM choisies
L12	Chaînes numériques COFDM

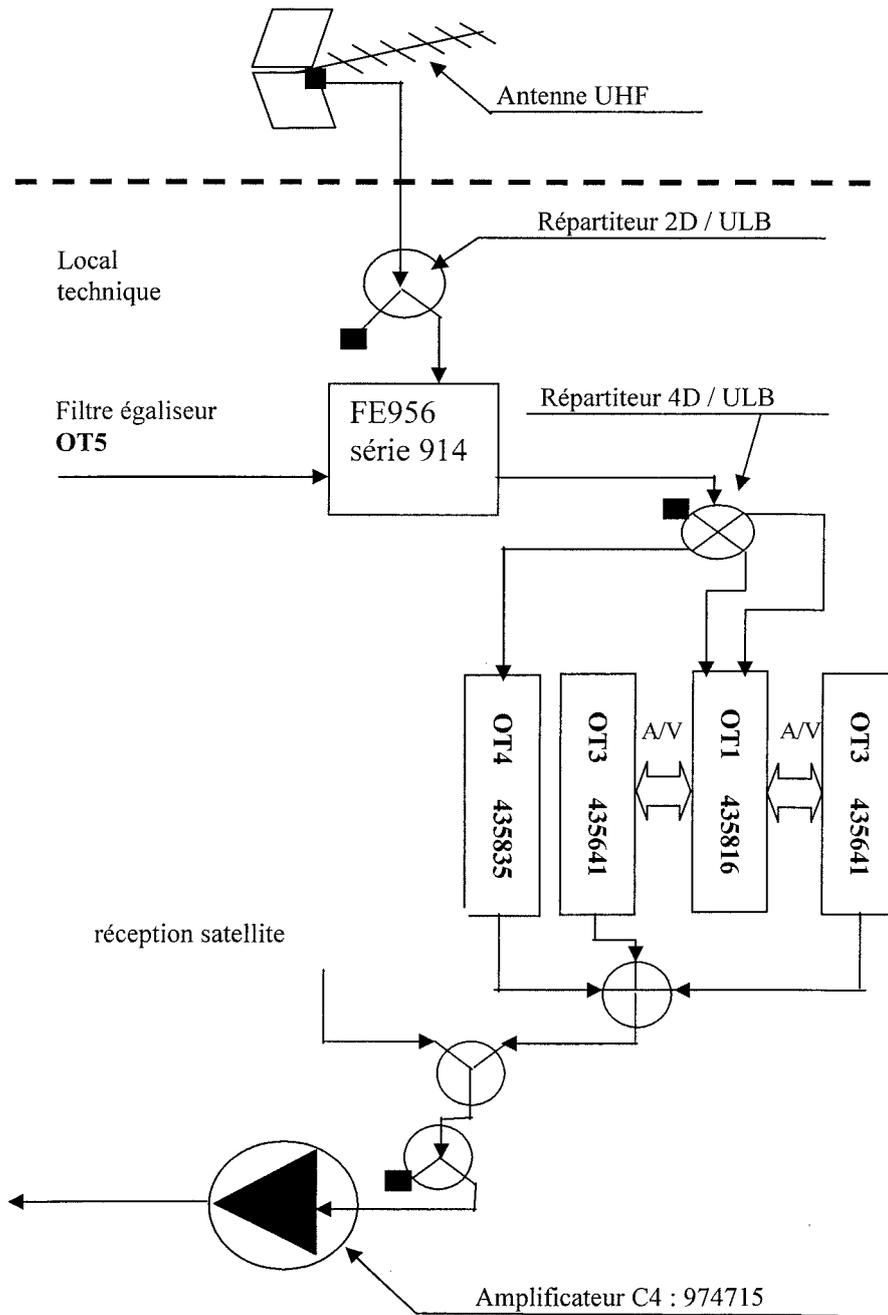
1.3 - Schéma fonctionnel de premier degré de la réception et distribution de la télévision



1.4 – Câblage partiel de la baie satellite



1.5 – Câblage partiel de la baie terrestre

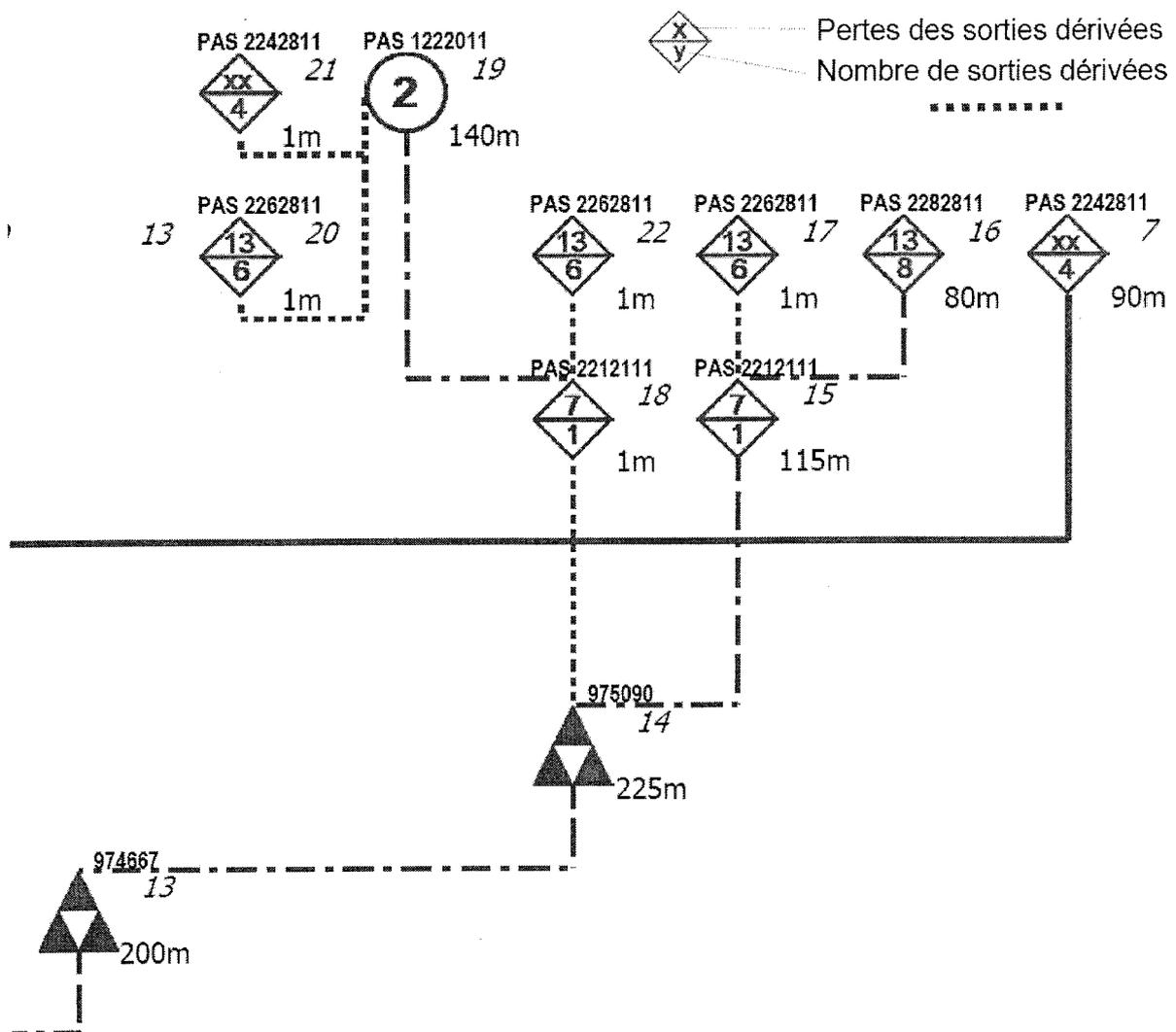


**1.6 - Rôle des objets techniques**

Les schémas de câblage partiels de la réception satellite et terrestre sont donnés pages 8 et 9 . Le principe pour une chaîne analogique, ou une chaîne satellite numérique ou TNT est le suivant : un récepteur démodule la chaîne terrestre analogique ( OT1 réf. 435816), ou satellite (OT2 réf. 435870) ou TNT (OT4 réf.435835), et transforme le signal reçu en audio et vidéo composite (A/V). Un modulateur (OT3 réf. 435641, ou intégré dans OT4) à bande latérale réduite (MABLR) module ce signal A/V sur un des canaux que peut recevoir une télévision analogique. Ces objets techniques sont programmables avec un boîtier connectable par liaison filaire. En terrestre, un filtre égalisateur (OT5) permet d'atténuer les fréquences extérieures au canal, et de rectifier l'amplitude par canal. En satellite, des « correcteurs de pente » (OT6) permettent d'égaliser les niveaux sur toute la plage de réception BIS. Une « matrice de commutation » (OT7) permet à chaque appareil branché à la sortie de choisir son satellite, la bande BIS haute ou basse, et la polarisation horizontale ou verticale.

**1.7 - Câblage partiel du lotissement de 51 logements**

La distance entre les amplificateurs réf.974667 (nœud 13) et 974090 (nœud 14) est de 225m, et le câble coaxial utilisé est de type anciennement A2-PE, c'est à dire 5,8PRcC réf.395806.



### 1.8 - Démodulateur satellite QPSK 435870

Vue interne du boîtier décodeur satellite :

Il est composé de quatre parties :

un modulateur analogique MDU6060

une partie alimentation

une partie de dialogue  
avec le boîtier de programmation

un tuner satellite DSF8910

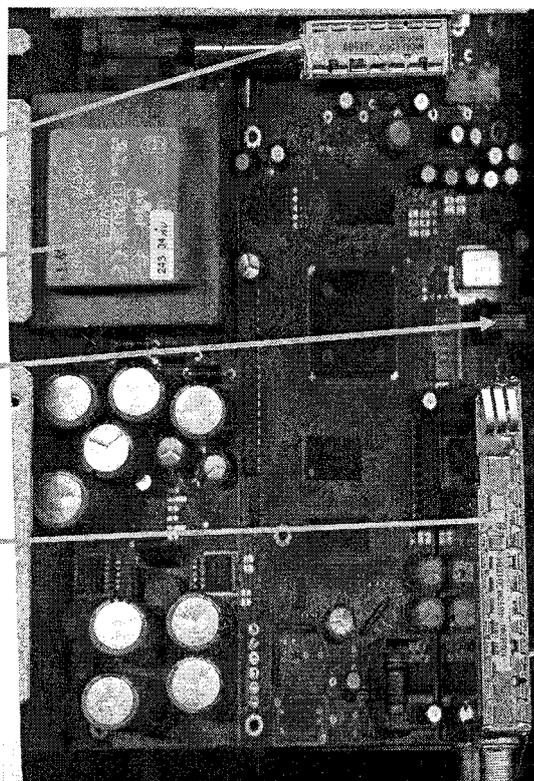
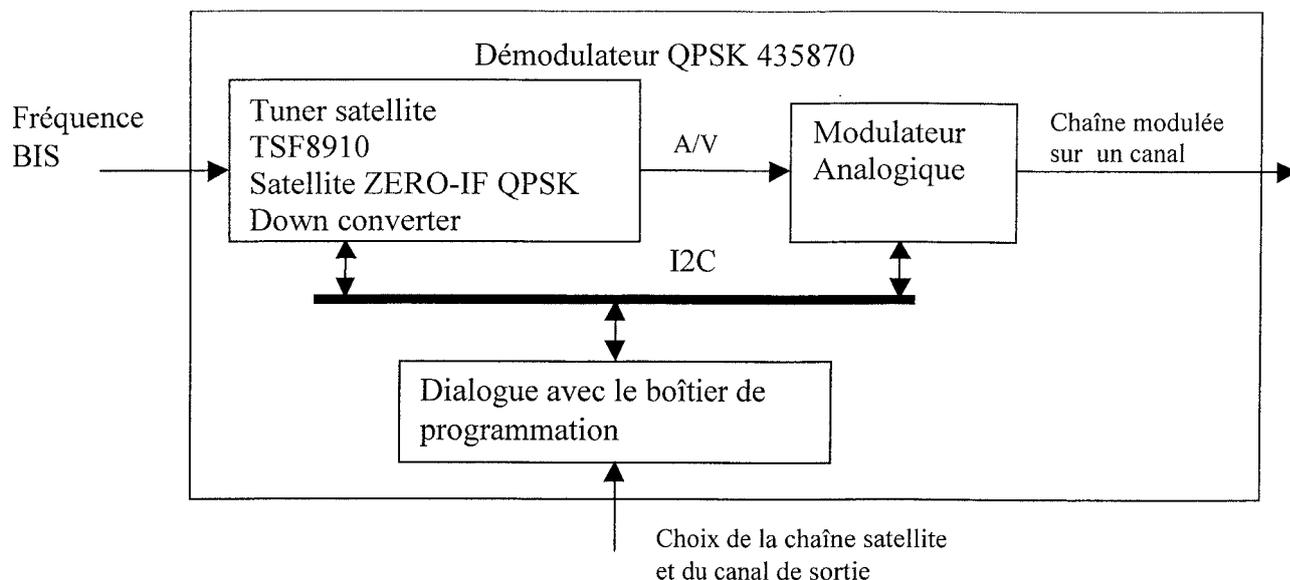


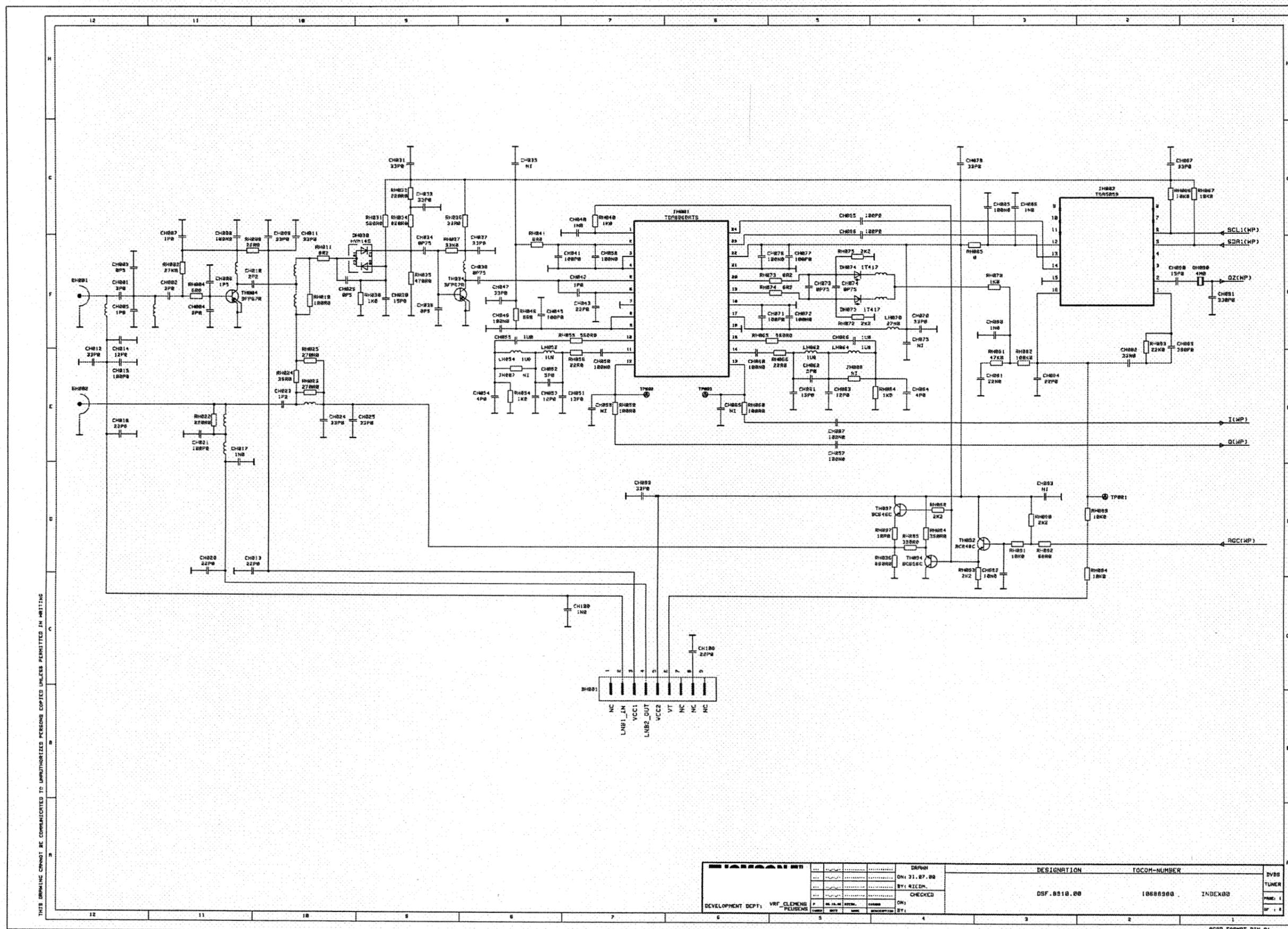
Schéma fonctionnel :



Le tuner satellite est à conversion directe. Il est composé d'un synthétiseur de fréquence (PLL) générant la fréquence de l'oscillateur local  $f_{LO}$ , et d'un mélangeur pour chaque voie I et Q. Un démodulateur extrait les signaux audio et vidéo A/V.

Le schéma partiel est donné page suivante.

Schéma partiel Tuner TSF 8910



# *Sujet*

Partie 1 : Distribution de signaux vidéo	page 14
Partie 2 : Antennes	page 18
Partie 3 : Réception satellite - Antennes paraboliques	page 21
Partie 4 : Choix des canaux satellites (PLL)	page 24
Partie 5 : Réception TNT	page 26
Partie 6 : Modulations utilisées	page 27
Partie 7 : Distribution TV sur IP	page 31
Partie 8 : Partie pédagogique	page 32
Documents réponse	page 33

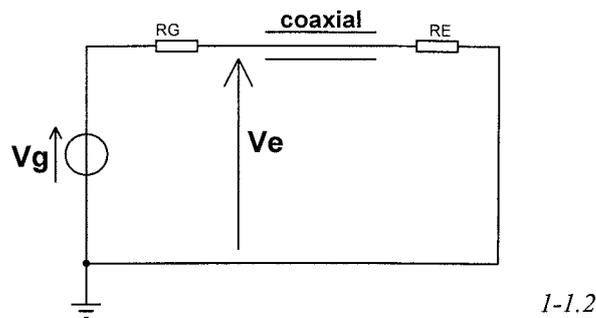
## Partie 1 - Distribution de signaux vidéo

Dans le cas de distribution de signaux vidéo, le critère principal est la distorsion minimale, en particulier due aux échos de désadaptation. L'adaptation des lignes de transmission (câble coaxial) aux deux extrémités est primordiale, le principe est alors d'utiliser des sources et des récepteurs d'impédance précisément égale à l'impédance caractéristique  $Z_c$  des lignes de transmission, soit  $75\Omega$  en télévision.

Pour ces fréquences VHF et UHF et BIS (voir les plages de valeur documentation constructeur pages 37 et 72), on dispose de "répartiteurs" et "dérivateurs" qui présentent une résistance constante à la source des signaux (schéma dossier de présentation pages 8 et 9), quel que soit le nombre de récepteurs connectés en sortie. Les répartiteurs passifs réalisent cette condition par l'utilisation de résistances, et au prix d'une atténuation du signal.

### 1-1 - Calcul d'un répartiteur passif adapté en distribution coaxiale

1-1.1 – A quoi correspond l'impédance caractéristique? Donner d'autres valeurs d'impédances caractéristiques utilisées en hautes fréquences, en téléphonie, en réseau informatique...



1-1.2 - Justifier la relation entre la valeur de la résistance du générateur  $R_G$  débitant dans un câble d'impédance caractéristique  $Z_c$ , et la valeur de la résistance d'entrée  $R_E$  de la charge placée à l'extrémité du câble pour obtenir une puissance transmise maximum (fig.1-1.2).

SUJET

On considère que les pertes dans les câbles coaxiaux d'impédance caractéristique  $Z_c$  sont négligeables, ils ne sont donc plus représentés. Un générateur de résistance interne  $R_G$  débite dans 2 récepteurs de résistances d'entrée  $RE1$  et  $RE2$  par l'intermédiaire d'un répartiteur à 2 sorties composé de 3 résistances égales de valeur  $T$  (fig. 1-1.3).

Avec  $R = R_G = RE1 = RE2 = Z_c$  pour toutes les questions suivantes.

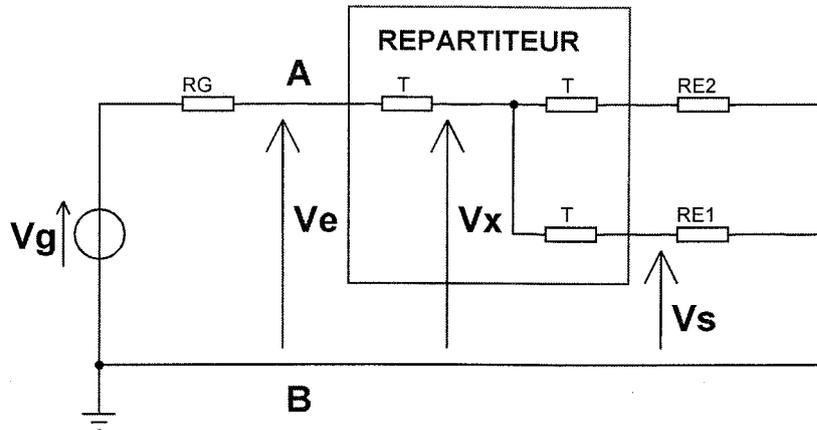


Fig1-1.3

1-1.3 – Calculer la résistance  $R_{AB} = f(T, R)$  équivalente au répartiteur et ses charges entre A et B.

1-1.4 – Rechercher la valeur de  $T$  permettant d'obtenir  $R_{AB} = R_G = R$ .

1-1.5 – Donner l'expression de l'amplification  $A = V_s / V_e$  en prenant la valeur de  $T$  trouvée précédemment.

En déduire le gain  $G$  en dB obtenu par le passage au travers de ce répartiteur.

1-1.6 - Avec  $P_{RE1} + P_{RE2}$  = puissance reçue sur les 2 sorties  
 $P_{AB}$  = puissance disponible à l'entrée du répartiteur

1-1.6.1 - Calculer le rendement  $\eta = ((P_{RE1} + P_{RE2}) / P_{AB})$  du montage de la figure 1-1.3.

1-1.6.2 – En déduire le pourcentage de la puissance incidente dissipée dans ce « Té » adapté.

1-1.6.3 – Déterminer la puissance dissipée dans le générateur lorsqu'il fournit  $P_{AB}$  à ses bornes.

Dans la baie de réception, les répartiteurs 2 directions référencés 365020 (Documents constructeurs page 37) présentent une perte de passage dépendant de la fréquence, de valeur légèrement différente que la valeur calculée car réalisée avec une technologie différente (Perte de passage = Atténuation =  $-G$ ).

1-1.7 - Rechercher la perte de passage  
 - en fréquence BIS  
 - et en réception terrestre UHF

**1.2 – Calcul d'un atténuateur adapté**

L'amplitude du signal  $V_1$  peut avoir une valeur trop élevée pour le récepteur de résistance d'entrée  $R_E$ . On insère alors un atténuateur permettant de diminuer l'amplitude.

Soit une atténuation  $Att = V_1/V_2 = 4$ .

Schéma du montage :

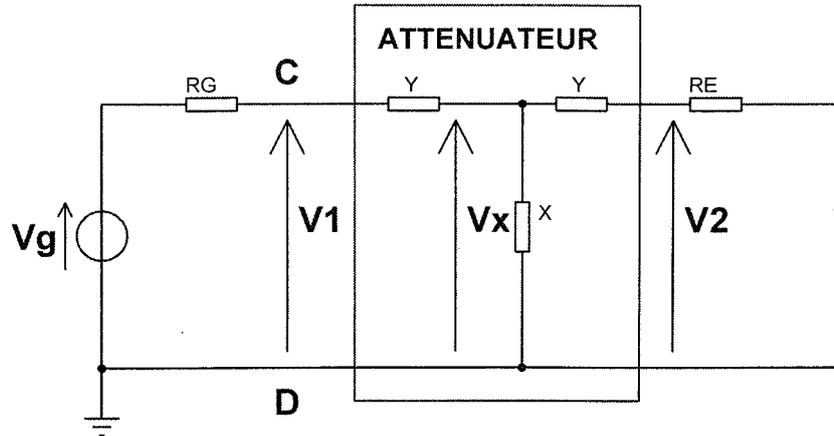


Fig. 1-2

Soit  $R = R_E = R_G = Z_c$  l'impédance caractéristique du câble (sans pertes).

1-2.1 - Exprimer la relation  $X = f(Y, R)$  en posant  $Z_c$  l'impédance équivalente entre C et D.

1-2.2 – Calculer l'atténuation  $Att$   $Att = \frac{V_1}{V_2} = f(X, Y, R)$

$$Y = R \frac{Att - 1}{Att + 1}$$

La solution de ces 2 équations donne :

$$X = R \frac{2 \cdot Att}{Att^2 - 1}$$

1-2.3 – Calculer pour  $Z_c = 75\Omega$  les valeurs de X et de Y fournissant une atténuation de 12 dB pour l'amplificateur C4 (Documentation constructeurs page 37).

Le module réalisant cette atténuation s'appelle PAD (voir documentation page 37).

1-2.4 – Choisir la référence du « PAD » correspondante pour les fréquences BIS.

**1-3 - Niveau du signal arrivant aux démodulateurs.**

Le constructeur donne le niveau d'entrée de démodulateurs en dBm, ou en dBμV.

1-3.1 - Rechercher le niveau en dBm d'une tension de 65μV sur 75Ω.

Un analyseur de spectre avec une impédance d'entrée de 50Ω, relié à une source d'impédance 50Ω par un câble d'impédance caractéristique  $Z_c = 50\Omega$ , affiche comme niveau -30dBm pour une tension mesurée.

1-3.2 - Calculer le niveau équivalent en dBμV.

1-3.3 - Rechercher le type de démodulateur, et le niveau de la tension admissible (dBμV) à l'entrée pour les démodulateurs de la baie de réception (Dossier de présentation pages 8 et 9) :

référence	Type de démodulateur	Niveau d'entrée mini	Niveau d'entrée maxi
435816			
435870			

**1-4 – Atténuation dans les câbles**

Voici les niveaux en dBμV calculés par un logiciel spécialisé pour l'amplificateur C3 placé au nœud n°13 de l'installation dans le lotissement (voir câblage document de présentation page 10).

Nd	Fiche	Référence	Désignation	NdAmt	SrtAmt				
13	B4	974667	Amplificateur C3 Ligne PD - 25dB - 48V - 5/55	12	S1				
<b>Adresse:</b>			Borne B4 au niveau de l'entrée Lotissement	<b>N°:</b> B4					
<b>Câble amont :</b>			Câble type A2 - PE	<b>Longueur :</b> 200 m.					
<b>Fréquence ( MHz ) :</b>									
	<b>47</b>	<b>65</b>	<b>85</b>	<b>230</b>	<b>470</b>	<b>550</b>	<b>660</b>	<b>862</b>	
	Entrée :	79,4	79,8	75,8	75,7	76,0	76,5	77,1	76,1
	Sortie :	72,1	70,3	92,2	93,5	95,2	96,2	97,3	97,1
Nd	Fiche	Référence	Désignation	NdAmt	SrtAmt				
14	B6	975090	Amplificateur C3R ++ FC 30dB/ bt 28/60 V	13	S1				
<b>Adresse:</b>			Borne B6 au niveau du LOT 28 - TRANCHE 2	<b>N°:</b> B6					
<b>Câble amont :</b>			Câble type A2 - PE	<b>Longueur :</b> 225 m.					

1-4.1 Calculer les niveaux à l'entrée de l'amplificateur 975090 du nœud n°14 pour les fréquences 47, 230, 470 et 862 MHz, en vous aidant de la documentation constructeur page 40 du câble utilisé réf. 395806.

1-4.2 Citer l'action à envisager au niveau du nœud 14.

**1-5 – Evolution du système**

1-5.1 De plus en plus d'habitants sont équipés de récepteur TNT. Ils demandent de remplacer les objets techniques OT2 et OT3 par le transcodeur QPSK/COFDM (documentation constructeur page 41). Expliciter l'avantage de cette modification.

## Partie 2 : Antennes

On se propose d'analyser le principe de l'onde électromagnétique parvenant à l'antenne parabolique de réception satellite ou à l'antenne terrestre de réception TNT.

Les ondes électromagnétiques se propagent dans l'espace libre avec la vitesse de la lumière

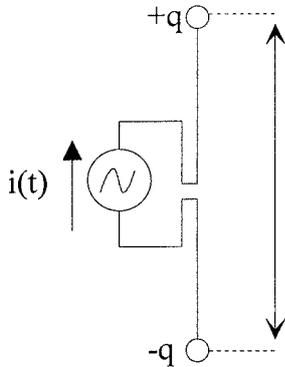
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 299793 \text{ m/s}$$

Dans un milieu isotrope,  $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi 10^9} \text{ F/m}$  est la constante diélectrique,  $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ H/m}$  est la perméabilité magnétique et  $\lambda$  est la longueur d'onde.

Lorentz a montré que de même que le champ électrique  $\vec{E}$  peut se déduire du potentiel scalaire  $V$ , il est possible de déduire l'induction magnétique  $\vec{B}$  d'un potentiel vecteur  $\vec{A}$ .

### 2 L'antenne d'émission d'un champ électromagnétique.

Le doublet est l'antenne la plus simple que l'on puisse imaginer. C'est un élément qui va nous permettre d'aborder le comportement de toute antenne d'émission. On se propose de valider le dimensionnement de la parabole de réception. Cette étude préalable décrit la nature et l'ordre de grandeur des signaux électromagnétiques incidents provenant du satellite.



On suppose ici le doublet alimenté par une source de courant sinusoïdale  $i(t)$ . La hauteur  $2h$  du doublet est supposée très inférieure à la longueur d'onde  $\lambda$  dans le vide associée au courant. Le courant est donc uniforme dans les deux brins du doublet, et, comme un condensateur, la charge électrique  $q$  stockée aux extrémités de chaque brin est  $i(t) = \frac{dq(t)}{dt}$  ou  $I = j\omega q$ .

#### 2-1 Champ de potentiel du doublet

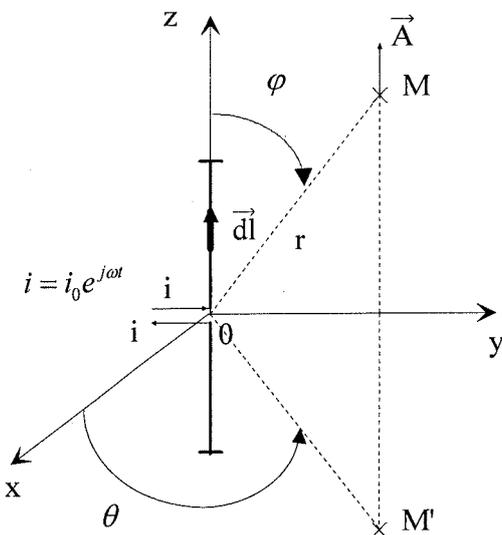
2.1.1 Sachant qu'un élément de courant  $\vec{dl}$  crée au point

$M$  un potentiel vecteur  $\vec{dA} = \frac{\mu_0 i \left( t - \frac{r'}{c} \right)}{4\pi r'} \vec{dl}$  avec

$r'$  la distance entre l'élément de courant considéré et le point  $M$ , montrer que le potentiel vecteur

total est  $\vec{A} = \frac{\mu_0 i_0 (2h)}{4\pi r} e^{j\omega \left( t - \frac{r}{c} \right)}$ . On pourra

considérer que  $r = r'$  car  $r \gg 2h$  (dimensions du doublet faibles devant  $r$ ).



2.1.2 En déduire alors que le potentiel scalaire au point  $M$  peut s'écrire

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 r} \times \frac{i_0(2h)\cos\varphi}{j\omega} \times \left(\frac{1}{r} + j\frac{2\pi}{\lambda}\right) e^{j\omega\left(t - \frac{r}{c}\right)}$$

. Vous vous appuyerez sur « la jauge de Lorentz » qui veut que  $\text{div}(\vec{A}) + \epsilon_0\mu_0 \frac{\partial V}{\partial t} = 0$ . Vous remarquerez que :  $\vec{A}$  est parallèle

au doublet et que  $\frac{\partial A_z}{\partial z} = \frac{\partial A_z}{\partial r} \times \frac{\partial r}{\partial z}$  (formulaire), avec  $\frac{\partial r}{\partial z} = \cos\varphi$ .

## 2.2 Champs magnétique et électrique rayonnés.

En utilisant les coordonnées sphériques, les calculs du champ magnétique et du champ électrique rayonnés donnent respectivement :

$$\vec{E} \left( \begin{array}{l} E_r = -j\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{\lambda}{4\pi^2} \times i_0 \times (2h\cos\varphi) \times \left(\frac{1}{r^3} + j\frac{2\pi}{\lambda r^2}\right) \times e^{j\left(\omega t - 2\pi\frac{r}{\lambda}\right)} \\ E_\varphi = -j\sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{\lambda}{8\pi^2} \times i_0 \times (2h\sin\varphi) \times \left(\frac{1}{r^3} + j\frac{2\pi}{\lambda r^2} - \frac{4\pi^2}{\lambda^2 r}\right) \times e^{j\left(\omega t - 2\pi\frac{r}{\lambda}\right)} \\ E_\theta = 0 \end{array} \right) \text{ et}$$

$$\vec{H} \left( \begin{array}{l} H_r = 0 \\ H_\varphi = 0 \\ H_\theta = \frac{1}{4\pi} \times i_0 \times (2h\sin\varphi) \times \left(\frac{1}{r^2} + j\frac{2\pi}{\lambda r}\right) \times e^{j\left(\omega t - 2\pi\frac{r}{\lambda}\right)} \end{array} \right)$$

2.2.1 Indiquer l'orientation géométrique du champ magnétique rayonné par rapport au plan défini par le doublet et le point d'observation  $M$ .

2.2.2 Indiquer le plan dans lequel se trouve le champ électrique rayonné et justifier la valeur de sa vitesse de propagation.

## 2.3 Champs rayonnés à grande distance

Les expressions des champs se simplifient considérablement en négligeant les termes en  $\frac{1}{r^2}$

et  $\frac{1}{r^3}$  devant ceux en  $\frac{1}{r}$  à grande distance  $r$ .

2.3.1 Montrer que l'amplitude de  $H_\theta$  et  $E_\varphi$  décroissent en  $\frac{1}{r}$  et que celle de  $E_r$  décroît en  $\frac{1}{r^2}$  et peut donc être négligée devant  $E_\varphi$ . On montrera que à grande distance,

$$E_\varphi = j \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \times \frac{i_0}{r} \times \left( \frac{2h}{\lambda} \sin \varphi \right) \times e^{j\left(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda}\right)} \text{ et } H_\theta = j \frac{1}{2} \times \frac{i_0}{r} \times \left( \frac{2h}{\lambda} \sin \varphi \right) \times e^{j\left(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda}\right)}.$$

2.3.2 Montrer alors que l'expression de l'onde électromagnétique peut prendre la forme :

$$E_\varphi = 60 \times \frac{i_0}{r} \times \left( \pi \frac{2h}{\lambda} \sin \varphi \right) \times e^{j\left(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right)} \text{ et } H_\theta = \frac{1}{2\pi} \times \frac{i_0}{r} \times \left( \pi \frac{2h}{\lambda} \sin \varphi \right) \times e^{j\left(\omega t - 2\pi \frac{r}{\lambda} + \frac{\pi}{2}\right)}.$$

#### 2.4 Puissance rayonnée et directivité du doublet

La puissance rayonnée par le doublet à un instant  $t$  est le flux du vecteur de Poynting défini par :  $\vec{P}(t) = \vec{E}_\varphi(t) \wedge \vec{H}_\theta(t)$ . En utilisant les expressions de  $E_\varphi$  et  $H_\theta$ , on peut calculer la puissance moyenne délivrée par le doublet :  $P = 40\pi^2 i_0^2 \left( \frac{2h}{\lambda} \right)^2$ .

2.4.1 Après avoir exprimé la valeur maximale  $|E_\varphi|$  du module de  $E_\varphi$  (voir question 2.3.2), montrer que  $|E_\varphi| = \frac{\sqrt{90 \times P}}{r}$ .

2.4.2 Calculer alors la valeur maximale du champ électrique créé par un doublet émetteur de 1 W à 10 km d'une zone de réception. En déduire les raisons du développement important de la transmission électromagnétique.

2.4.3 Expliquer pourquoi la valeur du champ électrique maximal ne dépend pas de la fréquence.

## **Partie 3 : Réception satellite et Antennes paraboliques**

### **3 Cas des liaisons satellites avec antennes paraboliques**

On se propose d'étendre les principes précédents à la caractérisation d'une antenne parabolique.

Dès que l'on utilise des fréquences au-delà de 2 ou 3 GHz, les antennes efficaces utilisent les propriétés de l'optique. Ce sont des antennes à réflecteur qui donnent des propriétés de grande directivité et donc de grand gain absolu.

Les calculs précédents sur le doublet peuvent être étendus dans le cas d'une parabole d'émission en sachant que la densité de puissance  $P_e$  à une distance  $d$  de l'antenne qui

rayonne dans une sphère de surface  $4\pi d^2$  est donnée par  $\frac{P_e}{4\pi d^2}$  W/m<sup>2</sup> et que la directivité

introduit un gain d'antenne  $G_e$  tel que à une distance  $d$ , la densité de puissance soit :  $\frac{P_e G_e}{4\pi d^2}$

W/m<sup>2</sup>. Le produit  $P_e G_e$  est appelé Puissance Isotrope Rayonnée Effective : P.I.R.E (Effective Isotropic Radiated Power E.I.R.P) et s'exprime en dBW.

#### **3-1 Réversibilité d'un élément rayonnant, aire de captation**

L'antenne est un dispositif réversible. Une antenne parabolique de réception va recevoir une fraction de la puissance rayonnée. Cette fraction est proportionnelle à la surface de l'antenne

de réception. On a alors  $P_R = \frac{P_e G_e A_R}{4\pi d^2}$  avec  $A_R$  l'aire effective de l'antenne de réception.

3-1.1 Hormis la surface de réception, citer une autre considération géométrique influant sur la puissance reçue.

#### **3-2 Valider du choix du gain de l'antenne en fonction de l'amplificateur**

On se propose de valider le choix du gain de l'antenne en partant de l'entrée de l'amplificateur réf : 759870 (schéma page 8).

3-2.1 On désire obtenir un signal  $(P_{amp})_{dBm}$  de -35 dBm à l'entrée de l'amplificateur réf : 759870. Calculer la valeur en dB de ce signal et déterminer la puissance nécessaire  $(P_R)_{dB}$  devant être reçue au niveau du foyer de la parabole réf : 708500 par le convertisseur LNB Quattro repéré 768107.

3-2.2 Préciser la fonction remplie par le LNB.

- 3-2.3 Sachant que l'aire effective  $A_R$  de l'antenne de réception de diamètre  $D$  est égale à l'aire du disque de contour de diamètre  $D$  pondérée par un coefficient de rendement  $\eta$ , montrer que la puissance reçue s'écrit  $P_R = \frac{P_e G_e G_R}{\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)^2}$ . Avec  $G_R = \eta \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2$  le gain d'une antenne de réception de diamètre  $D$ .
- 3-2.4 On nomme  $L_S = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2$  la perte en espace libre (Free Space Path Loss). En prenant en plus les pertes de propagation atmosphériques sous la forme d'un terme  $L_A$ , la puissance reçue devient  $P_R = P_e G_e G_R L_S L_A$ . Donner l'expression littérale de  $(P_R)_{dB}$  en fonction de  $(P.I.R.E)_{dB}$  du satellite.
- 3-2.5 Pour l'installation du lotissement situé en France, calculer le gain  $(G_R)_{dB}$  de l'antenne nécessaire pour obtenir les -35 dBm en entrée de l'amplificateur à la fréquence de 12,75 GHz.
- 3-2.6 Vérifier la cohérence avec le gain proposé par l'antenne Tonna réf : 708500.

### 3-3 Valider du choix du gain de l'antenne en fonction du rapport signal/bruit

On se propose de valider de nouveau le gain de l'antenne, mais en considérant maintenant le rapport signal sur bruit et le facteur de mérite. On considérera le bruit additif du canal de transmission ainsi que le bruit du récepteur.

- 3-3.1 A partir de la densité spectrale de puissance de bruit « monolatérale »  $D_{Sb}$  et de l'énergie par bit  $E_b$ , calculer la puissance de bruit  $P_b$  et la puissance du signal utile reçu  $P_R$ . On notera :
- $B_w$  : La bande passante équivalente de bruit en Hz.
- $R_b$  : Le débit binaire en bits/s.

- 3-3.2 En déduire l'expression du rapport signal sur bruit :  $\frac{P_R}{P_b}$ .

- 3-3.3 La modulation utilisée ici transmet «  $n$  » bits par symbole. En nommant «  $m$  » le nombre de symboles et  $R_s$  le débit symbole (en symboles/s), établir la relation liant  $R_b$  à  $R_s$  et  $m$ .

- 3-3.4 Montrer que le rapport signal sur bruit en dB peut s'écrire :

$$\left(\frac{P_R}{P_b}\right)_{dB} = \left(\frac{E_b}{D_{Sb}}\right)_{dB} - 10 \log_{10} \left( \frac{B_w}{R_s \times \log_2(m)} \right).$$

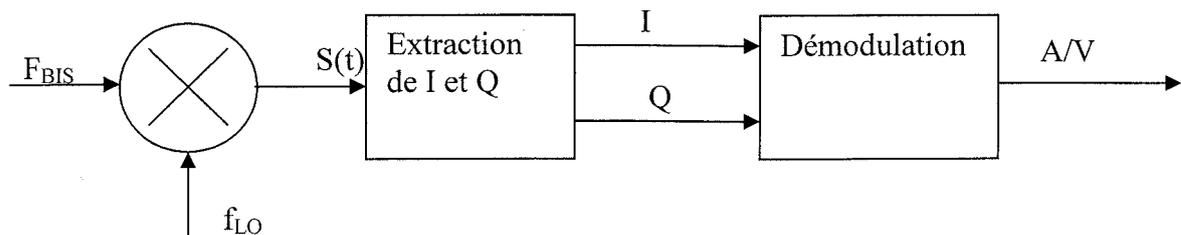
- 3-3.5 On souhaite pouvoir recevoir correctement un signal dont le BER est de  $2 \times 10^{-4}$  et qui utilise une modulation QPSK. Rechercher la valeur  $\left(\frac{E_b}{D_{Sb}}\right)_{dB}$  nécessaire puis calculer  $\left(\frac{P_R}{P_b}\right)_{dB}$ . On donne  $B_W$  : La bande équivalente de bruit du filtre du démodulateur QPSK réf : 435870. et  $R_S = 27,5$  MBauds le débit symbole de l'émetteur.
- 3-3.6 A partir du tableau d'évaluation du rapport signal sur bruit en réception satellite, indiquer la qualité pouvant être espérée avec le résultat du calcul précédent.
- 3-3.7 Le rapport signal sur bruit précédent va nous permettre avec le facteur de mérite du système de réception de valider le gain de la parabole. On rappelle que le facteur de mérite est  $\left(\frac{G_R}{T_b}\right)_{dB}$  avec  $T_b$  la température équivalente de bruit à réception, qui est la somme ici de  $T_{bA}$  la température de bruit de l'antenne supposée égale à  $45^\circ K$  et de  $T_{bLNB}$  la température de bruit de la LNB. Montrer que :
- $$\left(\frac{G_R}{T_b}\right)_{dB} = \left(\frac{P_R}{P_b}\right)_{dB} - (P.I.R.E)_{dB} - (L_S)_{dB} - (L_A)_{dB} + 10 \log_{10}(k \times B_W)$$
- avec  $k$  la constante de Boltzmann égale à  $1,38 \times 10^{-23} J / K$ .
- 3-3.8 Calculer alors le facteur de mérite à 12,75 GHz.
- 3-3.9 Sachant que le facteur de bruit  $F$  d'une LNB est tel que  $T_{bLNB} = (F - 1)T_0$  avec  $T_0$  la température ambiante valant  $290^\circ K$ , calculer la température de bruit  $T_{bLNB}$  de la LNB Quattro réf : 768107 et en déduire  $T_b$ .
- 3-3.10 A partir de la valeur trouvée pour le facteur de mérite, calculer la valeur  $G_R$  du gain de la parabole permettant d'obtenir le rapport signal sur bruit souhaité.
- 3-3.11 En considérant que la parabole a un rendement de 70%, calculer le gain  $G_R$  nécessaire avec cette perte compensée et comparer au choix effectué.

## Partie 4 - Choix des canaux satellites (PLL)

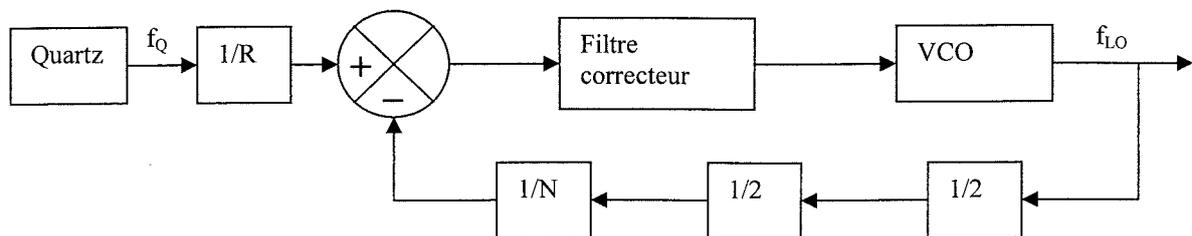
### 4 Etude de la PLL

Le schéma fonctionnel du démodulateur satellite est présenté page 11. Pour démoduler les signaux QAM en provenance de la tête satellite, il faut générer deux signaux en quadrature, de fréquence  $f_{LO}$ . Deux multiplieurs réalisent une transposition en fréquence du signal  $f_{BIS}$  en vue d'extraire les signaux I et Q. Un démodulateur délivre les signaux audio et vidéo A/V.

Schéma fonctionnel du tuner :



Les circuits intégrés TSA5059 et TDA8060ATS (schéma partiel du démodulateur dossier de présentation page 12) participent à la synthèse de cette fréquence  $f_{LO}$  en formant une PLL modélisable par le schéma ci-dessous :



Cette PLL génère une fréquence  $f_{LO}$  (oscillateur local) dont la valeur est programmée par liaison I2C.

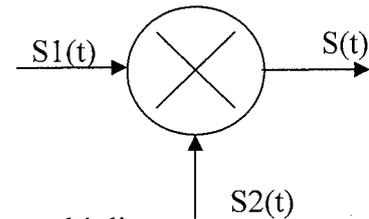
Les 3 diviseurs programmables du TSA5059 (documentation constructeurs page 52) sont paramétrables par I2C. On considère que le premier diviseur placé derrière le pré-amplificateur est configuré pour diviser par 2. Il reste la division par R sur 4 bits, et la division par N sur 17 bits.

SUJET

Sur un multiplieur du circuit TDA 8060ATS (schéma page 45), 2 signaux S1 et S2 de fréquences  $f_1$  et  $f_2$  sont appliqués :

$$S_1(t) = A_{1m} \cos 2\pi f_{LO} t$$

$$S_2(t) = A_{2m} \cos 2\pi f_{BIS} t$$



4.1 - Calculer le contenu spectral des fréquences S(t) en sortie du multiplieur .

4-2 - Le circuit TDA8060ATS possède un oscillateur qui génère une fréquence  $f_{LO}$ ; Le signal RF est appliqué sur les broches RFA (broche n°6) et RFB (broche n°5).

Le tuner satellite est de type « zéro IF ». Expliciter cette appellation. En déduire la relation liant  $f_{LO}$  à  $f_{BIS}$ .

4.3 – Expliquer le rôle du filtre placé derrière chaque multiplieur (Documentation technique TDA 8060 ATS page 44).

4-4 – Citer les broches du circuit 5059 concernées par la programmation I2C. Commenter leur rôle.

4.5 – Identifier les composants du schéma page 12 permettant de faire varier la fréquence du VCO. Expliquer leur principe de fonctionnement.

Le constructeur du tuner préconise le réglage suivant :  $N = 2 \cdot f_{BIS}$  avec  $f_{BIS}$  (en MHz)

4-6 – On propose de décoder la fréquence  $f_{BIS} = 1817.50\text{MHz}$ . Calculer la valeur de R.

4-7 – Déterminer la fréquence de fonctionnement du comparateur de phase.

4-8 – Donner la valeur des 4 premiers octets de la trame I2C à écrire dans les registres du circuit TSA 5059.

4-9 – Déterminer l'action I2C permettant de savoir si la PLL est verrouillée.

4-10 - On veut recevoir la chaîne ARTE sur le canal 24 (Voir Documentation technique chaînes satellite ASTRA page 54).

Déterminer la fréquence  $f_{BIS}$  à programmer.

## **Partie 5 : Réception TNT**

### ***5 Chaîne de réception terrestre.***

Le système est composé d'un démodulateur TNT 435835 et d'un double démodulateur terrestre 435816 suivi de deux transpondeurs de fréquence 435641. Il y a donc deux chaînes analogiques et une chaîne TNT disponibles en sortie, sur des canaux programmables par l'intermédiaire d'un boîtier spécialisé.

- 5-1 Rechercher le plan de fréquences TNT (n° du canal, fréquence centrale et nom du multiplex numérique) associé à la zone Paris Tour Eiffel.
- 5-2 Indiquer sur quel canal est reçue la chaîne Eurosport TNT.
- 5-3 Pour le canal précédent, indiquer les paramètres relatifs à la transmission de l'information : Type de modulation, Taux de Viterbi, Intervalle de garde.
- 5-4 Indiquer la largeur du canal 32.
- 5-5 On mesure un niveau de réception de  $60 \text{ dB } \mu\text{V}$  pour le canal 32 ; le comparer avec le niveau d'entrée admissible du démodulateur réf : 435835.

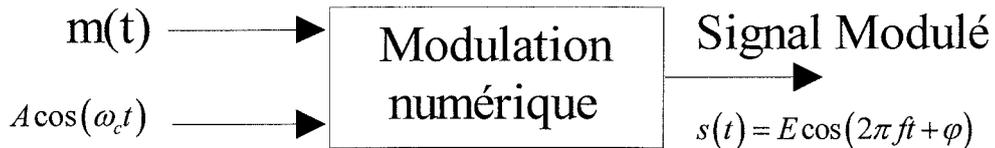
**Partie 6 : Modulations utilisées**

**6 Etude des modulations utilisées dans le système.**

On se propose d'analyser les modulations utilisées dans le système.

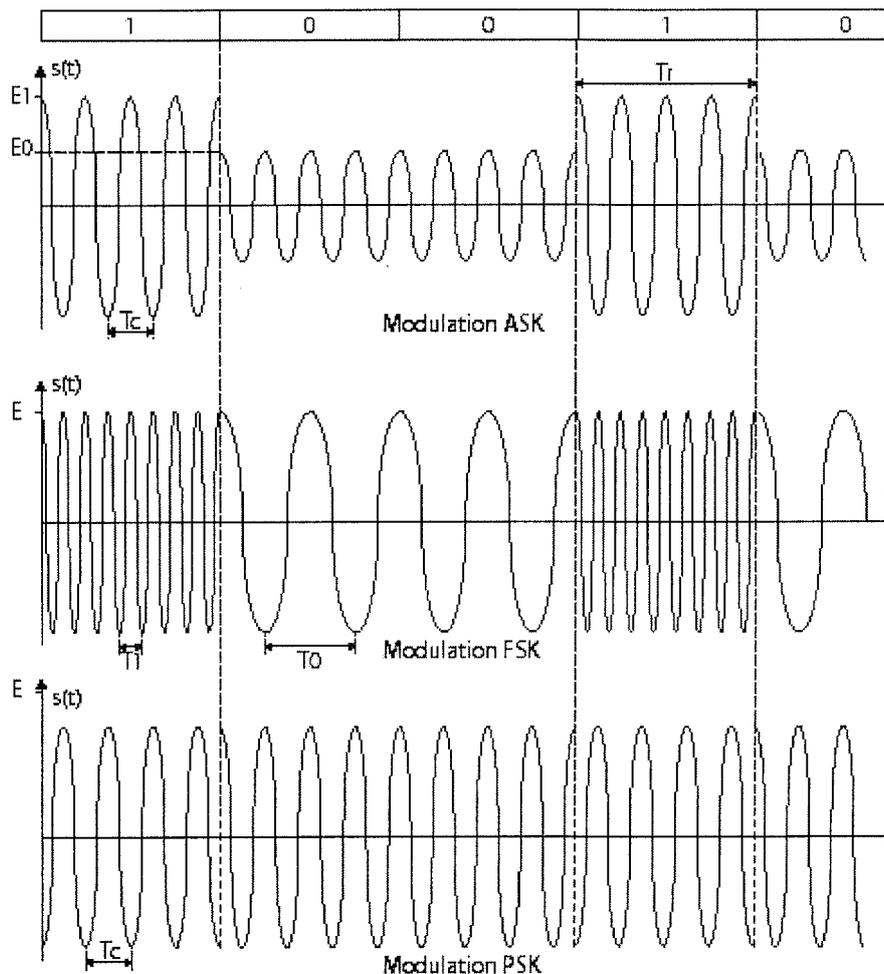
**6-1 Modulations numériques**

Une modulation numérique requiert une onde porteuse sinusoïdale de fréquence  $f_c$  destinée au transport du message binaire  $m(t)$  à transmettre.



avec : E : amplitude en V. F : Fréquence en Hz.  $\varphi$  :Phase en rd.

Le signal modulé en ASK (Amplitude Shift Keying) ; FSK (Frequency Shift Keying) et PSK (Phase Shift Keying) a l'allure suivante pour un message 10010<sub>(2)</sub>.



6-1.1 Compléter sur le document réponse DR1, les expressions analytiques de  $s(t)$  en fonction du type de modulation.

6-1.2 Quel que soit le type de modulation, le modulateur élabore :  $s(t) = E \cos(2\pi f_c t + \varphi)$ ,  $\varphi$  pouvant être une fonction du temps. Montrer que cette expression peut se mettre sous la forme  $s(t) = I \cos(2\pi f_c t) + Q \cos\left(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2}\right)$ .

Expliciter les termes I et Q.

6-1.3 Montrer que pour une valeur  $\varphi$  donnée de  $s(t)$ , la représentation graphique de  $Q = f(I)$  est un cercle de rayon  $E$ .

6-1.4 Les paramètres de la tension modulée  $s(t)$  sont matérialisés dans le plan IQ, par le point de constellation P. Compléter sur le document réponse DR1 les diagrammes de constellation pour les modulations ASK (avec  $E_0 < E_1$ ) et PSK exprimées au 6-1.1.

## 6-2 Modulation PSK

La modulation numérique à déplacement de phase PSK précédente présente deux points de constellation. A chacun d'eux correspond la transmission d'un seul bit (0 ou 1). Cette modulation à deux états présente une vitesse de transmission égale à  $\frac{1}{T_r}$  en bits/s. On désire

augmenter cette vitesse de transmission en conservant la même fréquence rythme  $f_r$ . Il faut alors transmettre plusieurs bits du message par état de modulation, c'est-à-dire à chaque durée élémentaire  $T_r$ . C'est le principe de la modulation QPSK utilisée en réception satellite.

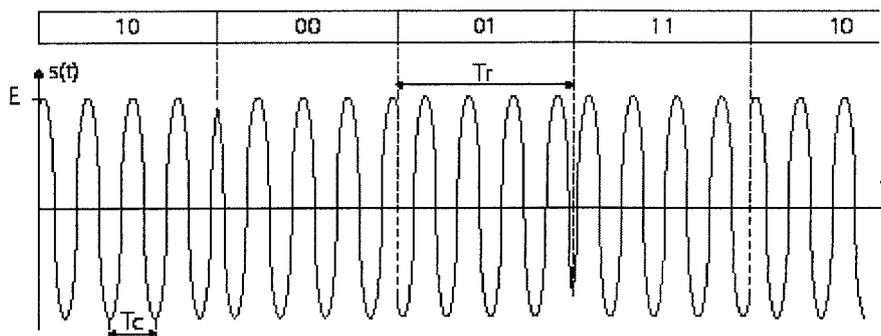
L'évolution temporelle du signal modulé en QPSK (modulation PSK à 4 états) étant donnée ci-dessous, et sachant que :

A la combinaison de 2 bits 00 correspond la phase  $+\frac{\pi}{4}$ ,

A la combinaison de 2 bits 01 correspond la phase  $+\frac{3\pi}{4}$ ,

A la combinaison de 2 bits 10 correspond la phase  $-\frac{\pi}{4}$ ,

A la combinaison de 2 bits 11 correspond la phase  $-\frac{3\pi}{4}$ .



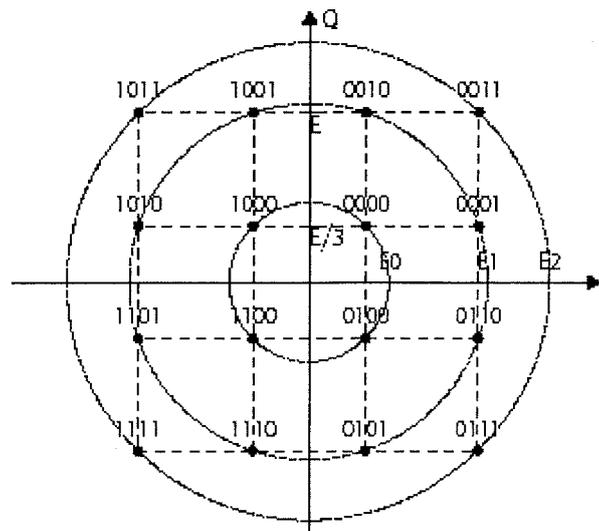
- 6-2.1 Dessiner sur le document réponse DR1 le diagramme de constellation d'une modulation QPSK.
- 6-2.2 Indiquer la vitesse de transmission en QPSK en fonction de la fréquence  $f_r$  de la modulation PSK à deux états.

A partir des informations du document ressource sur la transmission en DVB page 64 à 67 :

- 6-2.3 Calculer le débit utile pour un canal satellite, pour un code binaire à deux états.
- 6-2.4 En considérant ce débit utile à 27,5 Msymboles/s, calculer le débit binaire brut en QPSK satellite.
- 6-2.5 Indiquer quels sont les principes qui diminuent le débit binaire brut pour ne laisser qu'un débit utile plus faible.
- 6-2.6 Calculer alors ce débit utile.
- 6-2.7 Montrer que le démodulateur QPSK utilisé dans le système permet de faire face au débit de symbole nécessaire et au Viterbi Français.

### 6-3 Modulation QAM

- 6-3.1 En considérant une modulation PSK à 16 états, calculer la valeur angulaire en degré des variations de phase élémentaires.
- 6-3.2 Expliquer pourquoi cela devient rapidement une limite technologique.
- 6-3.3 Pour contourner cette limitation technologique, on utilise une modulation à déplacement d'amplitude et de phase combinée (QAM: Quadrature Amplitude Modulation). L'exemple suivant présente le diagramme de constellation de la modulation 16 QAM (QAM à 16 états).



Comparer les débits binaires d'une modulation PSK à 16 états et d'une modulation 16 QAM de même rythme.

#### 6-4 Modulation COFDM

En TNT, on utilise le principe de modulation à grand nombre de porteuses COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) qui consiste à moduler en 64 QAM un grand nombre de porteuses.

6-4.1 Rechercher dans les documents ressources page 68 à 71 les caractéristiques de la modulation COFDM pour la TNT en France.

6-4.2 En COFDM, le signal binaire à haut débit  $D = \frac{1}{T}$  est réparti sur  $N$  porteuses modulées par des signaux de débit  $N$  fois plus faible, soit, par des bits de durée  $T_s$ ,  $N$  fois plus longue  $T_s = N \times T$ . Le spectre d'une porteuse modulée est un sinus cardinal. Il passe par 0 à  $\frac{1}{T_s}$ ,  $\frac{2}{T_s}$ , etc. A la fréquence d'une porteuse, les spectres des autres porteuses passent par 0. Donner sur le document réponse DR1 l'allure du spectre d'un signal COFDM.

6-4.3 Estimer, alors, la bande de fréquence occupée en fonction de  $N$  et de  $T_s$ .

6-4.4 On se propose de retrouver certains des éléments caractéristiques de la modulation COFDM utilisée pour la TNT en France.

6-4.4.1 Sachant que la France a choisi le mode COFDM 8k et que 1374 porteuses ne sont pas utilisées, calculer le nombre de porteuses utilisées.

6-4.4.2 Sachant que la largeur d'un canal est de 7,61 MHz, calculer l'espacement entre les porteuses et la durée du bit  $T_s$ .

6-4.4.3 La modulation COFDM 8k permet d'émettre le même programme dans les mêmes canaux à condition que les différents émetteurs pouvant être captés par un récepteur se trouvent à moins d'une certaine distance  $L$ . Préciser la condition permettant de garantir une interprétation cohérente de l'information.

## **Partie 7 : Distribution TV sur IP**

Le système de distribution utilisé dans les lotissements ne permet pas d'assurer un service à la demande, ainsi que la remontée d'informations nécessaires à la mise en œuvre d'un portail de distribution, par exemple lorsque l'on veut distribuer la télévision dans un hôpital. Les schémas de câblage partiel de TV sur IP sont donnés pages 34 et 35.

Le patient qui veut recevoir la télévision dans sa chambre doit payer un abonnement à la journée. Les chaînes numériques satellites ou terrestre sont diffusées à partir de serveurs IP à travers le réseau IP vers les terminaux clients équipés de boîtiers décodeurs (OT8 réf. 829107). Un streamer COFDM (OT9 réf : 829012) ou satellite QPSK ( réf : 829017) renvoie 4 flux IP.

### **7 Paramétrage du réseau informatique**

- 7.1 Expliquer la différence entre les protocoles unicast et multicast. Utiliser un schéma pour illustrer votre réponse.
- 7.2 Expliquer précisément la différence entre les protocoles UDP et TCP, notamment le traitement de la gestion des erreurs de transmission. Justifier alors le choix du constructeur du diffuseur vidéo 829012 pour la diffusion de ses flux vidéos.
- 7.3 Donner le débit maximal sur la sortie Ethernet pour un streamer 829012. Discuter alors sur la bande passante de la sortie Ethernet.
- 7.4 Déterminer la caractéristique technique du diffuseur vidéo 829012 qui interdit l'utilisation de concentrateur réseau (hub) pour la diffusion des flux vidéo.
- 7.5 Expliquer l'intérêt pour le terminal réf : 829107 de gérer les deux codecs MPEG2 et MPEG4 ?
- 7.6 On s'intéresse aux problèmes de saturation du réseau informatique actuel de l'hôpital.
  - 7.6.1 Dans un premier temps, on constate que les éléments actifs du réseau actuel sont saturés au niveau de la disponibilité des ports physiques. On vous propose document réponse DR2 le schéma version1 de l'intégration de la distribution TV dans le réseau actuel. Montrer que le schéma solutionne le problème décrit.
  - 7.6.2 Dans un deuxième temps, la saturation au niveau de la disponibilité des ports physiques est réglée, mais on constate une saturation de la bande passante de la connexion serveur. Donner le ou les schémas document DR2 et DR3 qui solutionne(nt) le problème décrit en justifiant votre réponse.

Envisageons le cas où le problème de saturation de bande passante reste posé, proposer une solution sur le document réponse DR3.

- 7.7 Donner la classe du réseau internet nécessaire à la mise en œuvre de la multidiffusion (multicast).  
Donner le protocole de routage nécessaire pour assurer la multidiffusion.  
Dans la documentation constructeur pages 59 et 60, choisir l'élément actif nécessaire.
- 7.8 Déterminer la distance maximum entre le terminal IP (OT8) près de la télévision et le routeur (OT9).

## **Partie 8 : Partie Pédagogique**

A partir d'une application utilisant le principe du STREAMING et des contraintes de diffusion au format multicast de la télévision dans l'enceinte d'un établissement hospitalier, identifier les apprentissages (cognitifs ou méthodologiques) qui peuvent être abordés en classe pour un niveau BTS ou DUT, puis, vous développerez une séquence pédagogique (cours, TD, TP, synthèse) permettant l'acquisition de l'un de ces apprentissages.

Vous prendrez appui par exemple sur les acquisitions à faire au niveau « protocoles de communication » et vous donnerez la liste complète du matériel utilisé ainsi qu'un descriptif des questions et des réponses.

Vous pouvez vous appuyer sur les extraits des documents intégrées dans le dossier « documents constructeurs » pages 56 à 60 (streamer et routeur).

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

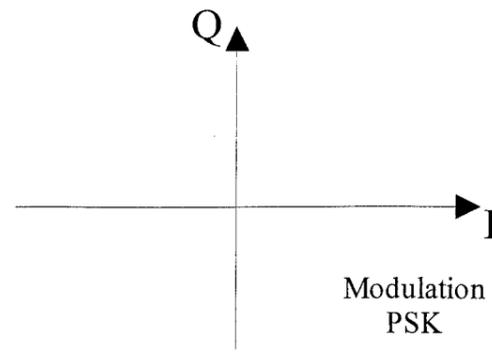
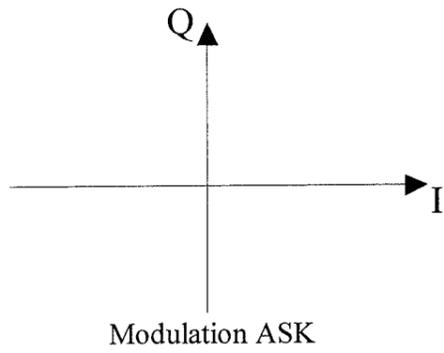
EAI GEA 1

Document réponse DR 1

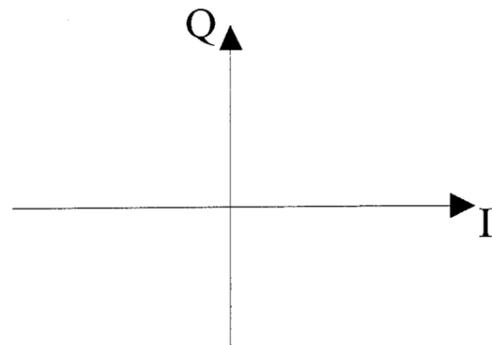
Question 6-1-1

Type de modulation	Expression analytique de $s(t)$	
	Pendant la transmission d'un « 0 »	Pendant la transmission d'un « 1 »
ASK (Amplitudes $E_0, E_1$ et fréquence $f_c$ )	$E_0 \cos(2\pi f_c t + 0)$	
FSK (Amplitude $E$ et fréquences $f_0, f_1$ )		
PSK (Amplitude $E$ et fréquence $f_c$ )		

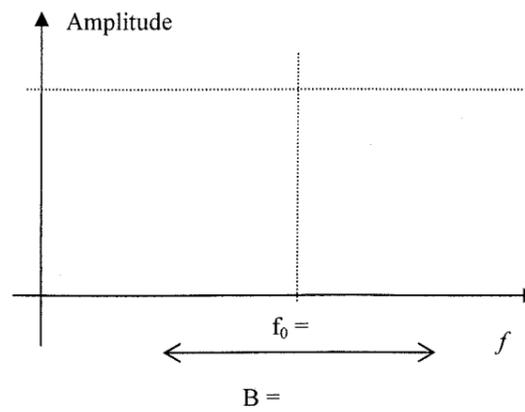
Question 6-1.4



Question 6-2.1



Question 6-4.2



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

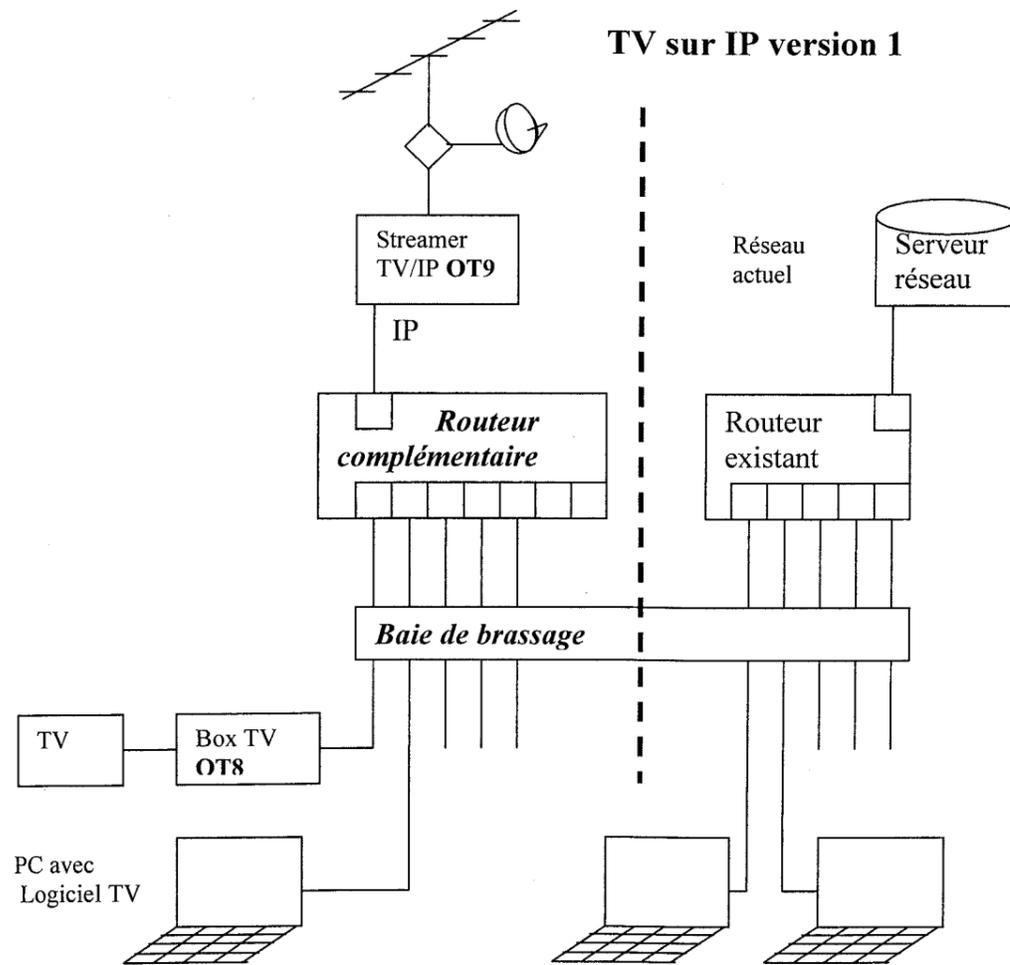
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAI GEA 1

Document réponse DR2



NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

EAI GEA 1

Document réponse DR3

