

16/77

UNIVERSITE D'ALGER

DEPARTEMENT D'ELECTRICITE

220

FILIERE D'INGENIEUR EN ELECTRONIQUE



PROJET DE FIN D'ETUDES

FA SCEAU HERZIEN ANALOGIQUE
ALGER - CONSTANTINE

Proposé par : M. BAGHDADI

ETUDIE PAR : { BOUTAMINA Brahim
 NOUAR Ferhat

PROMOTION JUIN 77

// -) _ //) /) _ ES // -) ARENTS

// -) //) /) ES // -) MIS

" FERHAT NOUAR "
" " " " "

II-) II) ES II-) ARENTS
.....

QUI M'ONT TOUT DONNE
.....

A LA FAMILLE MAKHLOUFI

DE BELLEVUE ET SAINT JEAN (CONSTANTINE)

II-) II) ES II-) MIS
.....

" BRAHIM BOUTAMINA "
.....

" // - { E M E R C I E M E N T S "

Nous remercions vivement Monsieur BAGHDADI qui, par son aide et ses conseils, a permis l'élaboration de ce projet.

Nos remerciements vont également à Messieurs OUARETS, SALAOUATCHI et BELGHIT pour l'aide et la documentation qu'ils nous ont fournies.

Que tous les professeurs qui ont participé à notre formation trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude .

Nous tenons à remercier aussi tous les gens qui ont contribué au tirage et la reproduction du présent ouvrage.

T A B L E D E S / / A T I E R E S

I N T R O D U C T I O N

- CHAPITRE I : PROPAGATION DES ONDES
- CHAPITRE II : DIVERSITE
- CHAPITRE III : EMISSION -RECEPTION
- CHAPITRE IV : PHENOMENES AFFECTANT LES PERFORMANCES DES F.H.
- CHAPITRE V : LIAISON PAR F-H
- CHAPITRE VI : EQUIPEMENTS DES F.H.
- CHAPITRE VII : LIAISON ALGER-CONSTANTINE

C O N C L U S I O N

II INTRODUCTION

La transmission de l'information se faisait par les moyens classiques, c'est à dire par fils. Mais devant le nombre croissant de liaisons téléphoniques et de la distribution importante des programmes de T.V. on avait été amené à concevoir un nouveau système de communication : le système par faisceaux hertziens.

Definition
Les gammes de fréquences étaient fort encombrées dans le cas de la transmission classique, ainsi, dans ce nouveau système, on est arrivé à une extension vers les bandes métriques et décimétriques.

Les faisceaux hertziens (F.H) consistent en une transmission radioélectrique par ondes dirigées. L'énergie étant concentrée dans un faisceau très étroit. Une telle transmission n'est possible que par l'utilisation de fréquences extrêmement élevées dont les propriétés caractérisent celles des F.H.

Les fréquences utilisées s'étendent actuellement de 50 MHz à 10 GHz.

L'utilisation de cette gamme de fréquence a plusieurs avantages :

- mise en service d'antennes très directives : il est donc possible de disposer au maximum de la puissance à l'émetteur.
- augmentation considérable de la sensibilité des équipements dans la direction utile et diminution des risques de brouillage dans de très fortes proportions.
- absence quasi totale des parasites et plus particulièrement à partir de 0,1 GHz. Ceci permet la réception de signaux dont le niveau est extrêmement faible. La sensibilité des récepteurs est pratiquement limitée au bruit de fond.
- grande capacité de transmission.

Les différents organes de transmission ont des caractéristiques qui sont en effet limitées par le rapport de la bande de fréquence à transmettre à la fréquence de l'onde utilisée. L'emploi de fréquences élevées permet la transmission de signaux de large bande de plus en plus importantes.

Les ondes utilisées se propagent en visibilité directe (première approximation). Cette dernière propriété limite la portée de communication

à des distances de 50 à 80 Km suivant les conditions géographiques.

Par suite, pour courir de grandes distances, on est obligé d'utiliser des stations intermédiaires. Chacune des stations reçoit le signal émis par la précédente et le reemet à son tour.

En principe, un F.H. est constitué par une succession de stations relais comportant chacune, pour chaque sens de transmission, un émetteur, un récepteur, et leur antenne (la modulation et la démodulation se faisant uniquement dans les stations terminales).

La transmissions par F.H. se fait de deux manières :

- TRANSMISSION ANALOGIQUE

Dans ce système de transmission, l'information de base peut être transmise sous forme d'un courant (onde électromagnétique) dont l'un des paramètres caractéristiques est analogue à la variation du phénomène transmis.

- TRANSMISSION NUMERIQUE

Dans ce système, l'information de base est codée par des impulsions qui sont transmises. Ces impulsions nous donnent toutes les informations pour la reconstitution du message.

Mais en général, notre choix est fixé d'avance vue que l'on optera pour l'un ou l'autre des types de transmission suivant le nombre de voies téléphoniques à transmettre. Ainsi le deuxième type sera utilisé pour un petit nombre de voies (30 à 60 voies) alors que le premier sera employé pour un nombre de voies plus important (960 à 2700 voies).

Pour réaliser un système comportant un grand nombre de voies téléphoniques, on ne va pas affecter à chacune de ces voie un canal de transmission, ce qui rendrait l'opération coûteuse. On préfère alors les regrouper en un seul signal et les transmettre dans un seul canal avec des caractéristiques permettant de les séparer à la réception. Un tel système s'appelle multiplexage.

- Dans le cas de la transmission analogique on utilisera le multiplexage en fréquence.
- Dans le cas de la transmission numérique on utilisera le multiplexage dans le temps.

CHAPITRE I : PROPAGATION DES ONDES

- PROPAGATION EN ESPACE LIBRE
- PROPAGATION EN VISIBILITE
- INFLUENCE DE L'ATMOSPHERE -REFRACTION ET ABSORPTION DES ONDES
- INFLUENCE DU SOL
- DISTANCE MAXIMALE DE VISIBILITE
- EVANOUISSEMENTS DE PROPAGATION

I - PROPAGATION EN ESPACE LIBRE

- DEFINITION :

On appelle espace libre un espace ne contenant pas d'obstacles. En pratique le problème se pose différemment car il y a toujours des obstacles (relief accidenté), mais on essaye de se rapprocher des conditions de l'espace libre en choisissant judicieusement les hauteurs et l'emplacement des antennes.

- AFFAIBLISSEMENT EN ESPACE LIBRE :

L'affaiblissement de transmission théorique entre les extrémités de chaque section d'un F.H. est important à connaître lors du projet d'une liaison hertzienne.

On définit cet affaiblissement comme étant le rapport de la puissance reçue à la puissance émise.

$$= \frac{P_R}{P_E}$$

II - PROPAGATION EN VISIBILITE

1. DEFINITION :

Une liaison est en visibilité si les phénomènes de diffraction par les obstacles situés au voisinage du trajet n'inflent pas sur le niveau reçu.



Pour qu'il y ait visibilité, il faut que :

- la ligne (E-R) ne touche pas la terre.
- d soit supérieur au rayon du premier ellipsoïde de Fresnel.

REMARQUE

Par définition, l'ellipsoïde de Fresnel est un ellipsoïde de révolution ayant pour foyers les antennes d'émission et de réception et tel qu'un point M de celui-ci vérifie la relation:

$$EM + MR = ER + \lambda/2$$

Le rayon équatorial est donné par la relation :

$$R = \sqrt{\frac{\lambda d'}{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{0,1575 \frac{d'}{\lambda}}$$

d' = distance entre E et R
 C_0 = célérité de la lumière
 λ = longueur d'onde

2. INFLUENCE DE L'ATMOSPHERE - REFRACTION ET ABSORPTION DES ONDES

a- REFRACTION :

L'atmosphère dans laquelle se propagent les ondes des faisceaux, présente une allure stratifiée, les couches ayant, du fait de la forme de la structure terrestre, une symétrie sphérique.

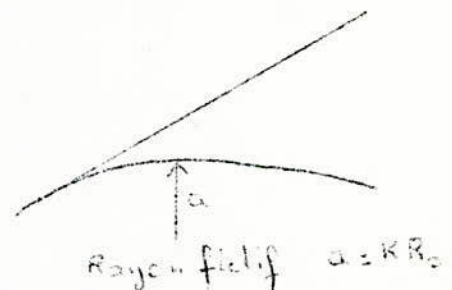
De plus, l'indice de réfraction de l'air varie en fonction de l'altitude pour diverses raisons : densité, humidité, température... Tout cela conduit à définir dans les conditions moyennes de climat une atmosphère dite standard, dans laquelle l'indice n décroît avec l'altitude de Z (en mètres) suivant la loi :

$$n = n_0 - \frac{0,25 Z}{R_0}$$

R_0 = rayon terrestre (6400 Km)

n_0 = indice au niveau du sol.

L'application des lois de Descartes conduit à montrer que dans ces conditions, les rayons voisins de l'horizontale sont incurvés vers le sol avec un rayon de courbure constant (a).



Pour modifier cette incurvité, on prendra, au lieu du rayon réel, un rayon fictif de façon à redresser les rayons hertziens. Le rayon fictif est $a = KR_0$ avec $K = 4/3$ (climat tempéré). Cette notion de rayon terrestre apparent est très commode mais elle est d'origine purement statistique ; par exemple $K = 4/3$ est la valeur la plus probable pour les zones tempérées.

b - ABSORPTION :

On a constaté qu'au delà de la fréquence 10 GHz il apparaît un

.../...

Un phénomène d'absorption des ondes .Ce phénomène est provoqué par l'entrée en résonance des molécules de vapeur d'eau et d'oxygène contenues dans l'atmosphère .

3 - Influence du sol

a - Réflexions des ondes

Les réflexions que nous allons examiner sont dues au sol,celles produites par les couches ionosphériques sont exclues pour les fréquences très élevées utilisées par les F.H.

Généralement lorsqu'une onde atteint la surface de séparation de deux milieux d'indices différents ,elle se décompose en une onde réfléchie et une onde réfractée.

L'intensité de l'onde réfléchie dépend de plusieurs paramètres .

-caractéristiques électriques du milieu réfléchissant

-angle d'incidence

-(polarisation

REMARQUE: On démontre que pour les incidences presque rasantes ,le coefficient de réflexion ne dépend pas de la polarisation et il est égal à (-1) .Ceci entraîne de profonds évanouissements au point de réception .

Du moment que le problème de la réflexion des ondes est très complexe, on a essayé de déterminer statistiquement la limite de son influence .

b -CRITERE DE RAYLEIGH

Soit h la hauteur moyenne des irrégularités du sol dans la zone du point de réflexion et φ l'angle que fait le rayon incident avec le sol .La différence de marche,introduite par les irrégularités du sol ,entre le rayon incident et le rayon réfléchi,est proportionnelle à $(h \sin \varphi) = x$

Le critère de rayleigh consiste à comparer cette quantité à la longueur d'onde .

si $h \sin \varphi < \frac{\lambda}{100}$,le sol peut-être considéré comme lisse

si $h \sin \varphi = \frac{\lambda}{16}$,le coefficient de réflexion est réduit de moitié

si $h \sin \varphi = \frac{\lambda}{4}$,le coefficient de réflexion est réduit au dixième .

C'est à dire que le rayon réfléchi n'a pratiquement plus d'importance .
En pratique, en utilisant le critère de Rayleigh on peut considérer qu'un sol cultivé est réfléchissant alors qu'une forêt est généralement absorbante.

c - INTERFERENCES DES RAYONS DIRECT ET REFLECHI :

L'onde résultante au point de réception est la somme de l'onde directe et de l'onde réfléchie. On a donc un phénomène d'interférence qui pourra entraîner de profonds évanouissements si la différence de marche est telle que les ondes soient en opposition de phase. Comme en optique géométrique, on aura des points où la réception est maximale et d'autres où le champs reçu est nul.

En pratique, avant de fixer l'antenne, on la fait "balaïder" (verticalement par exemple) pour trouver les points où la réception est maximale.

4 - DISTANCE MAXIMALE DE VISIBILITE :

Si on désigne par H_1 et H_2 les hauteurs des antennes d'émission et de réception au dessus d'une terre parfaitement sphérique de rayon R , la distance maximale de visibilité est donnée par la relation :

$$d_m = \sqrt{2R} \quad (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})$$

Mais comme en propagation on a adopté une terre de rayon fictif ($K R_0$), l'expression ci-dessus devient :

$$d_m = \sqrt{2 K R_0} \quad (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})$$

or on sait que $K = 4/3$ pour les zones tempérées, on obtient donc l'expression simplifiée : $d_m = 4,1 \quad (\sqrt{H_1} + \sqrt{H_2})$

d_m en Km ; H_1 et H_2 en mètres.

III - LES EVANOUISSEMENTS DE PROPAGATION

Les évanouissements sont surtout occasionnés par les facteurs météorologiques qui agissent sur le niveau du signal radioélectrique. Généralement on distingue deux groupes d'évanouissements .

1 - EVANOUISSEMENTS PRIMAIRES

a - EVANOUISSEMENTS D'AFFAIBLISSEMENT

Ils sont dus à un affaiblissement de la composante directe du champ et ont pour origine. .../...

- réflexion partielle sur une couche d'inversion surélevée.
- phénomène de guidage du à une couche d'inversion de surface.
- diffraction (de l'ordre de 1 dB)
- précipitations atmosphériques.

b - EVANOUISSEMENTS D'INTERFERENCES :

Les ondes transmises par l'émetteur au récepteur correspondant empruntent parfois des trajets multiples . Le signal reçu est alors la résultante des différentes composantes de ces trajets. Ces évanouissements sont produits généralement par :

- réflexion au sol
- réflexion sur une couche d'inversion élevée.
- trajets multiples dus à une couche d'inversion élevée.

2 - EVANOUISSEMENTS SECONDAIRES

Ils résultent d'un certain nombre de composantes secondaires d'amplitude plus faible. Ils ont un effet négligeable mais ils deviennent considérable s'il y a des cas d'évanouissements primaires d'une certaine importance (10 - 20 dB). Ils sont parfois la cause d'évanouissements profonds (30 à 50 dB).

REMARQUE :

En général , un évanouissement est caractérisé par sa profondeur (A) en dB par rapport au niveau en espace libre. Cette profondeur n'étant pas commode, on caractérise alors cet évanouissement par la grandeur L telle que $A = 20 \text{ Log} L$.

En plus de ces évanouissements, on a des fluctuations au niveau du signal reçu. Pour remédier à cet effet on fera une diversité (qui fera l'objet du chapitre suivant).

CHAPITRE II : DIVERSITE

- DIVERSITE DE FREQUENCES
- DIVERSITE D'ESPACE
- APPLICATIONS

Au cours de la propagation, il y a toujours des évanouissements qui sont inévitables. Si de plus la probabilité de coupure de la liaison dépasse la valeur donnée par le CCIR, on utilisera ce que l'on appelle une diversité afin de remédier à ce genre de problème et cela dans les bonds ayant une distance suffisamment grande.

Les deux formes de diversité les plus utilisées sont :

- DIVERSITE DE FREQUENCE :

Si on émet simultanément la même information sur deux ondes porteuses différentes avec un espacement des fréquences allant de 2% à 5%, alors les signaux reçus par une antenne sont décorrélés bien que les chemins suivis soient géographiquement identiques et radioélectriquement différents.

Les études sur la diversité en fréquence ont montré que le gain de ce type de diversité peut s'écrire :

$$I_f = V^2 \eta / L^2$$

V étant le gain relatif des deux antennes de réception (généralement on a $V = 1$)

L étant la profondeur de l'évanouissement.

$$\text{avec } \eta = 80 \cdot \frac{Df}{f} \cdot \frac{1}{fD}$$

f en GHz ; Df = écart de fréquence entre les canaux ; D étant la longueur du bond en Km.

- DIVERSITE D'ESPACE :

Si deux équipements de réception reçoivent le signal radioélectrique d'un équipement d'émission en utilisant des antennes réceptrices espacées les unes des autres, cet espacement allant de 40λ à 200λ , les chemins suivis sont géographiquement et radioélectriquement différents.

Dans ce cas le gain en diversité est donné par la relation :

$$I_e = 1,25 \cdot 10^{-3} V^2 S^2 f / L^2 D$$

S étant la distance entre les deux antennes.

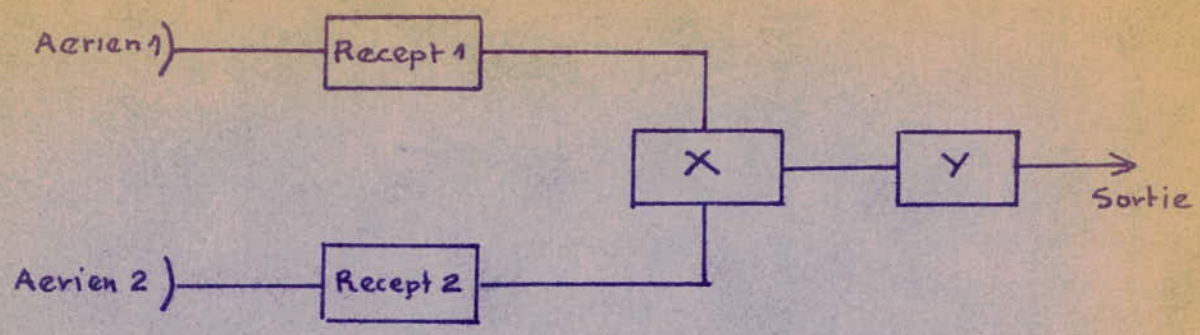
La nouvelle probabilité de coupure, avec diversité, est donnée par le rapport de la probabilité normale au gain du à la diversité :

$$P_{\text{div}} = \frac{P_{\text{normale}}}{I}$$

- APPLICATIONS :

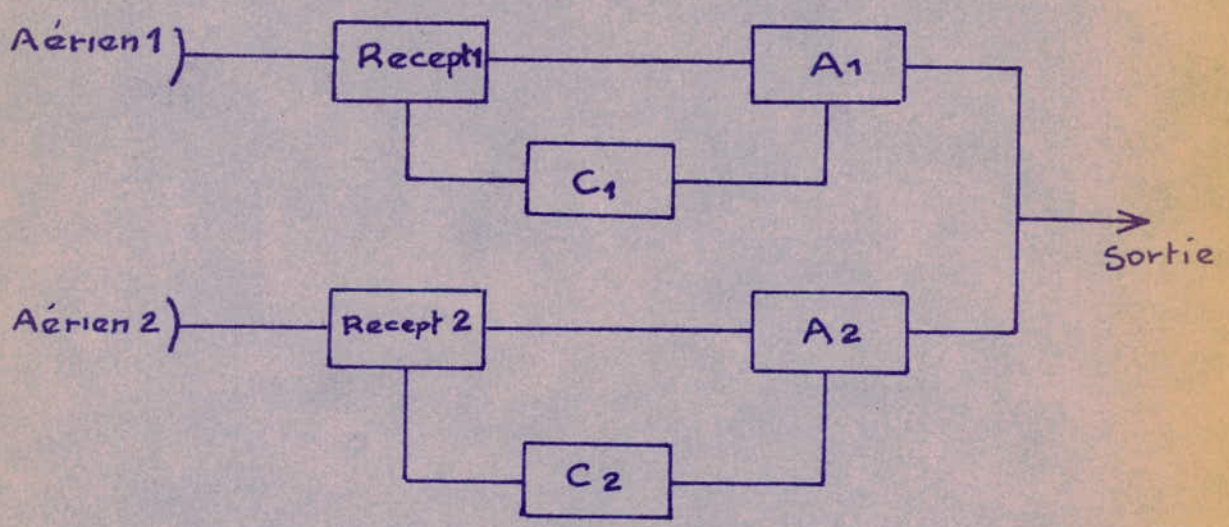
La réception en diversité constitue un moyen efficace pour réduire l'influence des évanouissements dus aux brouillages . La diversité consiste à sélectionner, à la réception, le signal le meilleur, c'est à dire celui qui correspond au champ le plus fort. La sélection se fait soit à l'aide d'un dispositif de commutation, soit à l'aide d'un dispositif à combinaison (voir fig. 1) . Le système de combinaison présente un certain avantage , c'est celui d'éviter les coupures momentanées dues aux dispositifs de commutation.

La réception en diversité d'espace est généralement préférée à celle en diversité de fréquence, par raison d'économie du spectre radioélectrique.



X = dispositif de comparaison et dispositif de commande de la commutation
 Y = dispositif de commutation

a. Diagramme de principe d'un système de reception diversité à commutation



A = Ampli à impédance de sortie variable
 C = Dispositif de commande de l'ampli A

b. Diagramme de principe d'un système de reception diversité à combinaison

fig: 1

CHAPITRE III : EMISSION- RECEPTION

- SIGNAUX MULTIPLEX
- SYSTEMES DE MODULATION
- EMISSION- RECEPTION

MISSION - RECEPTION

Pour transmettre un message d'un point à un autre, on est obligé d'utiliser un moyen capable de le transporter. Ce moyen de transport est un signal (généralement sinusoïdal) HF ou VHF et porte le nom de signal modulant. Dans le cas de la téléphonie le signal à transmettre se compose de signaux multiplex.

A/ SIGNAUX MULTIPLEX

Au lieu d'affecter à chaque signal une voie téléphonique, on préfère les regrouper (on dira en multiplexant) avant leur transmission. Cette opération présente plusieurs avantages :

- économique: Car une artère de transmission, susceptible d'acheminer un signal composite est moins coûteuse que des artères individuelles!
- La puissance d'émission est plus faible que dans le cas de plusieurs transmissions individuelles.
- le groupement ne nécessite l'installation d'équipements supplémentaires qu'aux extrémités de la liaison.

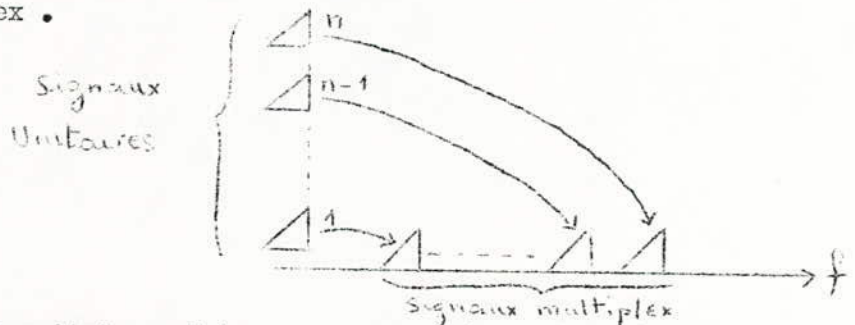
Ceci explique l'emploi intensif des transmissions multiplex dans les réseaux actuels. Le regroupement des n signaux élémentaires en un signal multiplex peut-être réalisé de deux façons :

- par répartition en fréquence
- par répartition dans le temps

Pour les transmissions analogiques on utilise le multiplexage à répartition en fréquence.

I - Multiplexage par répartition en fréquence .

Dans ce système, on affecte à chaque signal unitaire une partie de la bande de fréquence du signal multiplex. Par des translations de fréquence appropriées, on amène chaque signal unitaire à la place qui lui revient dans le spectre du signal multiplex.



Dans ce système, le signal unitaire module une sous porteuse de fréquence F_p . Le spectre du signal modulé se déduit de celui du signal modulant par translation de la bande de base (bande de fréquence du signal unitaire) à un domaine de fréquence entourant F_p .

Les oscillateurs $0,1, 0,2 \dots$ On fournissent les fréquences sous-porteuses décalées. Chaque signal unitaire module sa sous-porteuse, il suffit d'additionner les sig

Les signaux modulés pour obtenir le signal multiplex.

Dans le démultiplexeur, on doit séparer les bandes correspondantes aux spectres des différents canaux, puis on fait la démodulation pour restituer les signaux émis. voir schéma fig 1

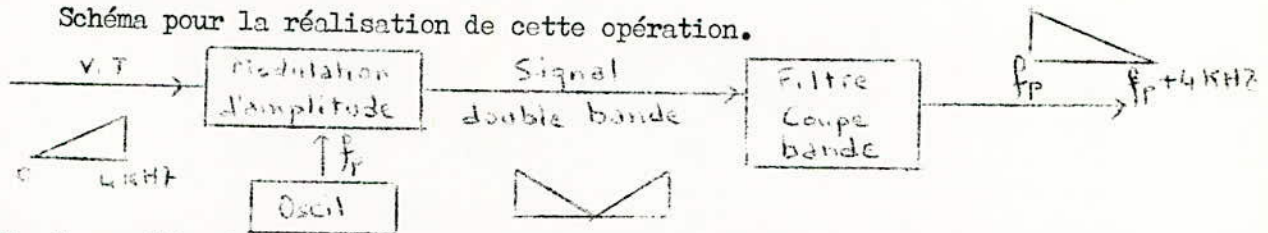
II- Multiplexage à transposition de fréquences.

Ce système est à remplissage très dense et les spectres des canaux forment une bande interrompue.

Les signaux unitaires sont des voies téléphoniques. A chaque voie est allouée une bande de 4 KHZ.

Dans le signal multiplexe, chaque canal a un spectre que l'on peut considérer comme déduit de celui du signal unitaire (ou de son symétrique) par une translation de fréquence : Cette translation est réalisée au moyen d'une modulation à bande latérale unique résultant d'une modulation d'Amplitude à porteuse supprimée, suivie d'un filtrage passe bande.

Schéma pour la réalisation de cette opération.



Il est possible de constituer des multiplex de tous ordres en répétant l'opération mais en pratique on préfère constituer le multiplex par étape.

Généralement on élimine l'une des bandes à une fréquence assez basse et on fait une translation de fréquence pour amener chaque canal à la place qui lui revient.

En réalité, pour des raisons de filtrages, les voies téléphoniques ne sont pas multiplexées directement de leur bande de base, cela se fait par l'intermédiaire de plusieurs modulations successives qui permettent de les regrouper en :

- groupe primaire qui se compose de 12 voies
- groupe secondaire qui se compose de 60 voies
- groupe tertiaire qui se compose de 300 voies
- groupe quaternaire qui se compose de 900 voies

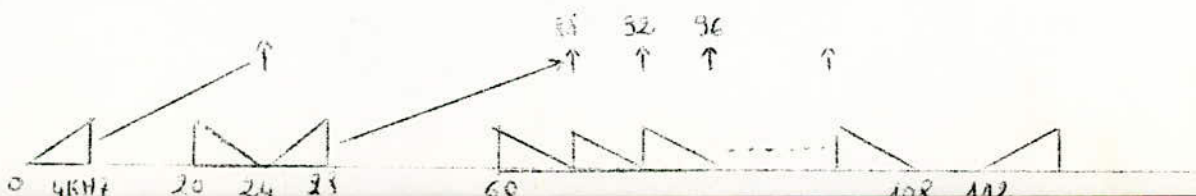
a/ Formation des groupes ; voir schéma fig 2

La transposition se fait en deux étapes :

-prémodulation : chaque voie est transposée par modulation avec une porteuse à 24 KHZ dans la bande (24-28) KHZ

- modulation par des ondes porteuses comprises entre 88 et 132 KHZ avec un pas de 4KHZ (par Ex voie 3 modulée par $88 + 4(3-1) = 96 \text{ KHZ}$)

Schéma de transposition.



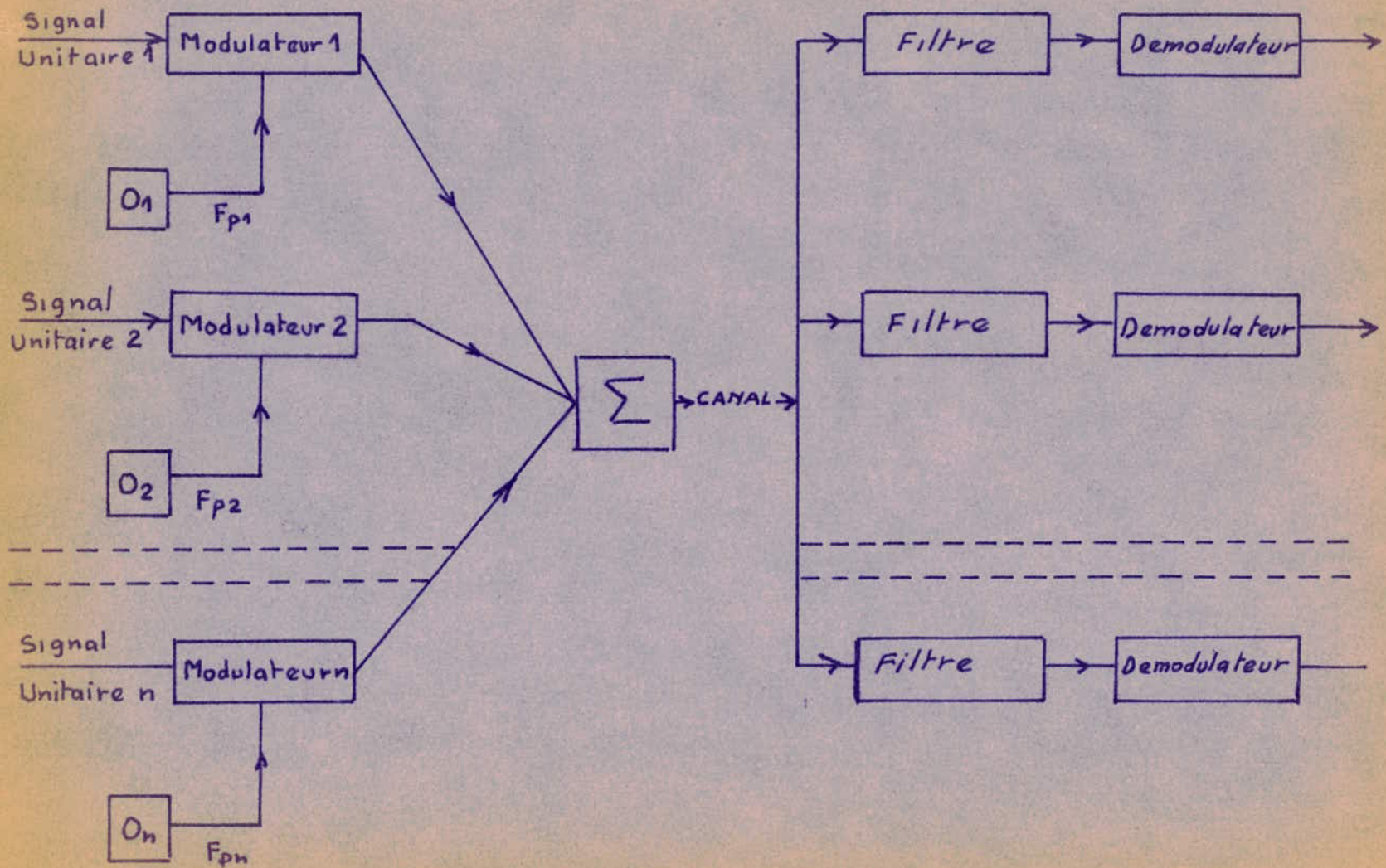


fig 1 : CHAINE DE TRANSMISSION MULTIPLEX A REPARTITION EN FREQUENCES

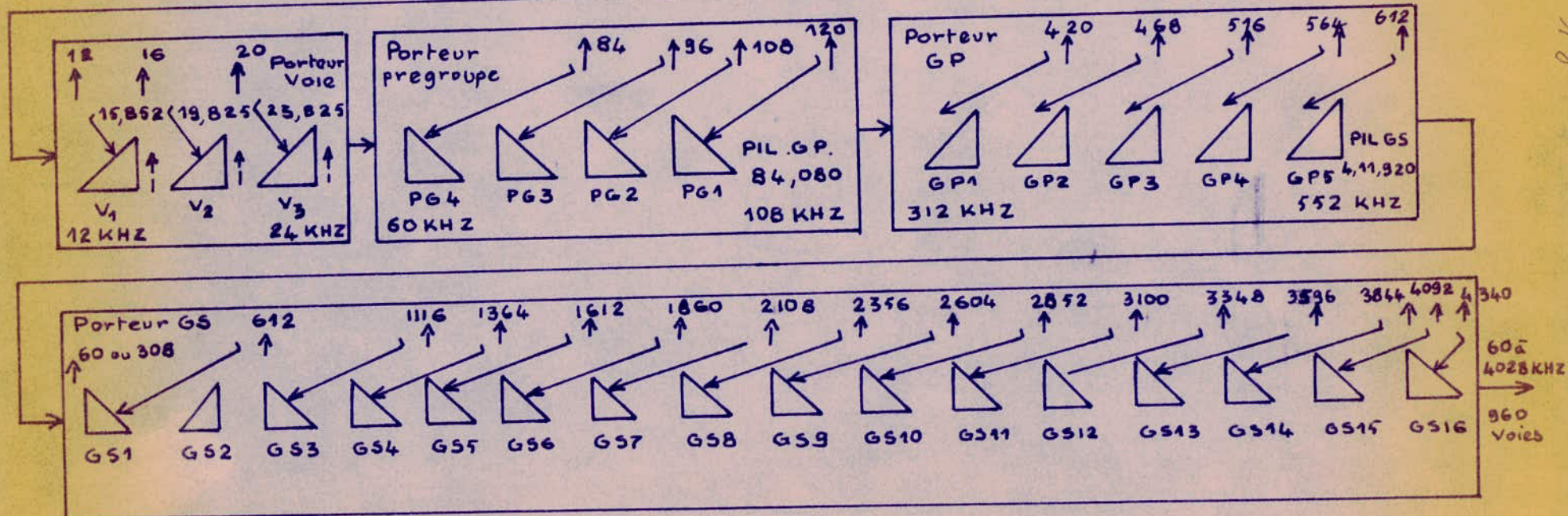
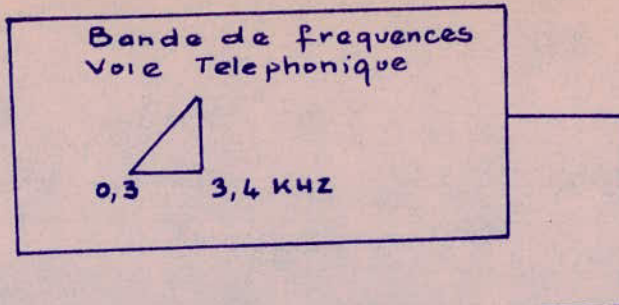


fig2 : ALLOCATION DES FREQUENCES
DU MULTIPLEX

- groupe primaire

C'est un ensemble de 12 voies téléphoniques transposées, chaque voie occupant 4 KHz

Il occupera une bande de 48 KHz = 4 x 12

Il existe 2 sortes de groupes :

-Base A 12 —————> 60 KHz (canaux directs)

-Base B 60 —————> 108 KHz (canaux inverses)

- groupe secondaire

C'est un ensemble de 60 voies téléphoniques et occupe une bande de 240 KHz .Il est obtenu à partir de 5 groupes primaires .Il s'étend de 312 à 552 KHz

- groupe tertiaire

Il est formé par la réunion de 5 groupes secondaires ,il s'étend de 812 à 2044 KHz

- groupe quaternaire

Il se compose de 3 groupes tertiaires

REMARQUES

- le groupe secondaire 312 -552 KHz est obtenu en modulant les porteuses 612, 564, 512, 468, 420 KHz par des groupes primaires de base B et en retenant la Bande inférieure de modulation.

-Il existe un autre groupe secondaire important 60 - 300 KHz, qui est obtenu en utilisant la bande latérale inférieure de modulation d'un porteur à 612 KHz par le groupe secondaire de base.

-En pratique, on aménage un écart de 12 KHz entre les positions normalisées des groupes secondaires ,pour permettre la transmission d'ondes pilotes. Ces ondes pilotes permettent d'effectuer une synchronisation permanente des oscillateurs des systèmes à courants porteurs, parfois, elles permettent à substituer , en cas de dérangement , un répéteur de réserve .

-En réalité le signal multiplex apparaît comme un bruit blanc, sa puissance moyenne est donnée par la relation : pour $N > 240$

$$P_m = -15 + 10 \log N \quad P_m : \text{en db m}$$

N : nombre de voies

B/ SYSTEMES DE MODULATION

Pour la transmission des messages ,on distingue plusieurs types de modulation

-modulation d'amplitude notée MA

-Modulation angulaire : phase ou fréquence (M ϕ , MF)

-modulation par impulsion: largeur , position, Amplitude

Or on a vu que la transmission par faisceaux hertziens doit avoir certaines caractéristiques :

-une liaison hertzienne comporte plusieurs bonds(relais) ceci entraîne la variation du niveau de l'onde porteuse (irrégularités de la propagation)

-le niveau du signal émis doit être constant à l'extrémité de la liaison.

- Qualité minimale de transmission est fixée par des normes internationales.
- le nombre de voies téléphoniques est important (960 voies dans notre cas) donc on doit utiliser une modulation angulaire

I-MODULATION D'AMPLITUDE

On a vu que les signaux multiplex sont obtenus à partir d'une modulation d'amplitude, on va définir brièvement ce système de modulation.

1- Définition

Ce système de modulation consiste à faire varier l'amplitude du signal porteur au rythme du message à transmettre.

soit $g(t)$ un signal message

L'expression du signal porteur modulé par $g(t)$ sera :

$$f(t) = A(t) \cos [\omega t + \varphi]$$

avec $\varphi = \varphi_0 = \text{constante}$ et $A(t) = A_0 (1 + M g(t))$

2- Spectre d'une onde modulée en amplitude

Il se compose de deux bandes latérales situées de part et d'autre de la porteuse



Remarque : En pratique on supprime la porteuse et une des deux bandes latérales

II- MODULATION DE FREQUENCE

Ce système de modulation consiste à faire varier la fréquence d'oscillation (signal porteur) en fonction du signal à transmettre en maintenant son amplitude constante.

1- Notion de fréquence instantanée

La pulsation angulaire d'un signal sinusoïdal correspond à la vitesse de variation de phase de ce signal.

$$\text{inversement on a } \omega = \frac{d\varphi(t)}{dt} \quad \text{avec } y(t) = A \cos \varphi(t)$$

$$\varphi(t) = \int_0^t \omega dt$$

Comme dans le cas de la modulation d'amplitude on a posé

$$A(t) = A_0 (1 + M g(t)) \quad \text{dans notre cas}$$

$$\text{on aura } \omega(t) = \omega_0 (1 + m g(t))$$

Puisque ω varie d'un instant à l'autre on parlera dorénavant de pulsation instantanée et on note $\omega_i = \omega_0 (1 + m g(t))$

et l'expression du signal modulé en fréquence sera :

$$f(t) = A_0 \cos (\omega_0 t + m \omega_0 \int_0^t g(t) dt + \varphi_0) = A_0 \cos \varphi(t)$$

La fonction n'est plus périodique car sa phase varie avec le temps

2-Modulation par un signal périodique.

-expression du signal modulé

Soit $A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ l'expression du signal porteur non modulé

sa phase est $\phi = \omega_0 t + \varphi_0$

supposons que par un procédé électrique on fasse varier ϕ au rythme d'un signal message $B \sin \omega t$

On aura $\phi = \omega_0 t + \varphi + \beta \sin \omega_m t$ la variation maximum de ϕ est B

On a $\omega_c(t) = \frac{d\phi}{dt} = \omega_0 + \beta \omega_m \cos \omega_m t$

La déviation maximum est $\Delta \omega = B_f = \omega_m \Delta \phi$

On suppose $\Delta \omega \ll \omega_0$ indépendante de ω_m et proportionnelle à l'amplitude du signal modulant.

L'angle de phase instantané est :

$$\phi(t) = \int_0^t \omega_c(t) dt = \omega_0 t + \frac{\Delta \omega}{\omega_m} \sin \omega_m t + \varphi$$

L'expression du signal résultant sera :

$$f(t) = A_0 \cos \left[\omega_0 t + \varphi + \frac{\Delta \omega}{\omega_m} \sin \omega_m t \right]$$

on pose $m = \frac{\Delta \omega}{\omega_m}$ m est appelé indice de modulation

$$f(t) = A_0 \cos \left[\omega_0 t + m \sin \omega_m t + \varphi \right]$$

3- SPECTRE D'UNE ONDE MODULEE EN FREQUENCE

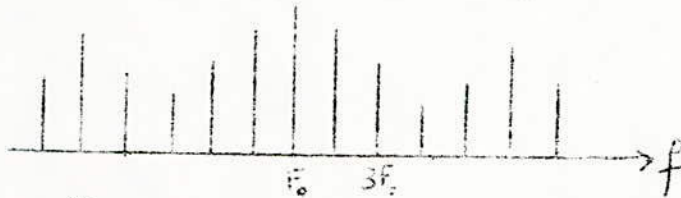
Pour tracer le spectre on utilise les notations de Newman

$$\cos(m \sin x) = J_0(m) + 2 J_2(m) \cos 2x + 2 J_4(m) \cos 4x + \dots$$

$$\sin(m \sin x) = 2 J_1(m) \sin x + 2 J_3(m) \sin 3x + \dots$$

où $J_0, J_1, J_2, \dots, J_n$ représentent les fonctions de Bessel d'ordre 0, 1, 2, ..., n du paramètre m

Les composantes du spectre à une fréquence donnée sont proportionnelles aux fonctions de Bessel



REMARQUES

- m petit $\Rightarrow J_0(m) \approx 1$ $J_1(m) \approx \frac{m}{2}$ et $J_2, \dots, J_n \approx 0$

Le spectre se limite aux 2 raies situés de part et d'autre de la porteuse.

- si $n > 1$ les $J_n(m)$ décroissent rapidement lorsque n dépasse m

La largeur du spectre est pratiquement égale à $2 n \omega_m$

Pour le calcul de la largeur du spectre on utilise généralement la relation

$$S \approx 2 (\Delta f + f_{max})$$

avec Δf excursion en fréquence

f_{max} : plus haute fréquence de modulation

En pratique on limite la Bande dès que l'amplitude des raies est inférieure à 2% de l'onde porteuse.

C / EMISSION - RECEPTION

Une chaîne de transmission par faisceau hertzien se compose généralement d'une succession de stations relais en visibilité directe et de deux stations terminales (une pour l'émission, l'autre pour la Réception) et ceci dans un sens de transmission. Chaque station terminale comprend (transmission dans les deux sens)

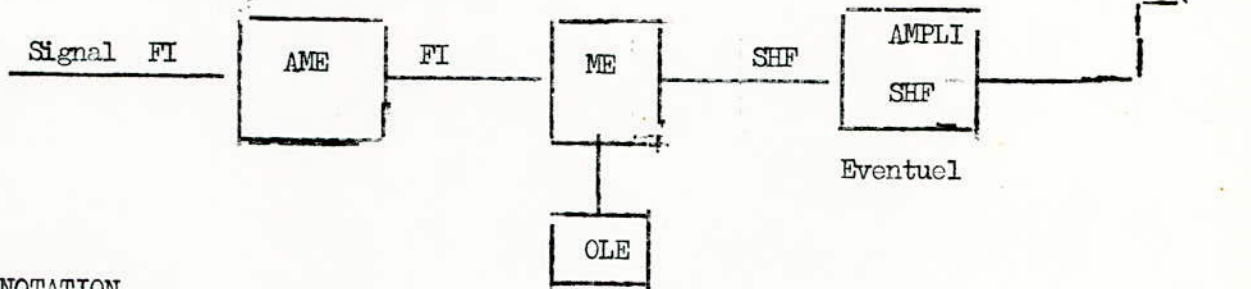
... / ...

- Un Emetteur
- Un Recepteur
- Un Modulateur
- Un Démodulateur

Les fonctions de ces étages sont séparées. En ce qui concerne une station relais, elle se compose de la juxtaposition de deux stations terminales sans les étages modulateurs et démodulateurs !

I - EMISSION

L'Emetteur qui comprend plusieurs étages à fonctions spécifiques est attaqué par le signal à émettre à une fréquence intermédiaire généralement 70Mhz . Sa fonction est d'amener le signal à émettre à une fréquence radioélectrique élevée (6 Ghz dans notre cas) et de fournir une puissance suffisante à l'antenne d'émission. Son schéma synoptique est le suivant .



NOTATION

- AME : ampli pour mélangeur d'Emission
- ME : mélangeur d'Emission
- OLE : oscillateur local d'Emission
- SHF : fréquence super hétérodyne
- FI : fréquence intermédiaire

a/ ROLE DE CHAQUE ORGANE

- AME : il est attaqué par le signal modulé en fréquence à une fréquence intermédiaire. Il se compose généralement d'étages amplificateurs et de limiteurs, qui suppriment toute modulation d'amplitude parasite ! Cet étage donne au signal FI reçu un niveau suffisant qui va attaquer le mélangeur d'Emission.

- OLE : il fournit une puissance SHF à une fréquence pure afin de réaliser la conversion FI- fréquence d'Emission ! Il se compose généralement d'un oscillateur à quartz qui délivre une fréquence très basse (60 Mhz) et d'une chaîne de multiplicateurs !

- ME : en combinant le signal FI et le signal fourni par l'oscillateur, il fournit un signal à la fréquence d'Emission ! Il se compose d'un étage non linéaire et de filtres qui permettent l'obtention de la fréquence d'Emission désirée.

- A. SHF : il fournit un niveau suffisant à l'antenne dans le cas où le signal de sortie SHF est insuffisant

REMARQUES :

- Le signal SHF est amené par des guides d'ondes jusqu'à l'antenne
- La puissance d'émission est de l'ordre du Watt et il faut en plus assurer une bonne stabilité de la fréquence d'émission d'où le grand soin à apporter à la construction des OLE.

II- RELAIS HERTZIENS

Le signal émis par la station terminale d'émission se propage dans l'espace libre donc il sera entaché de parasites et affaibli. Pour remédier à cet effet on prévoit des stations relais qui rémettent à leurs tours la puissance reçue jusqu'à la station terminale de réception (relais actifs)!

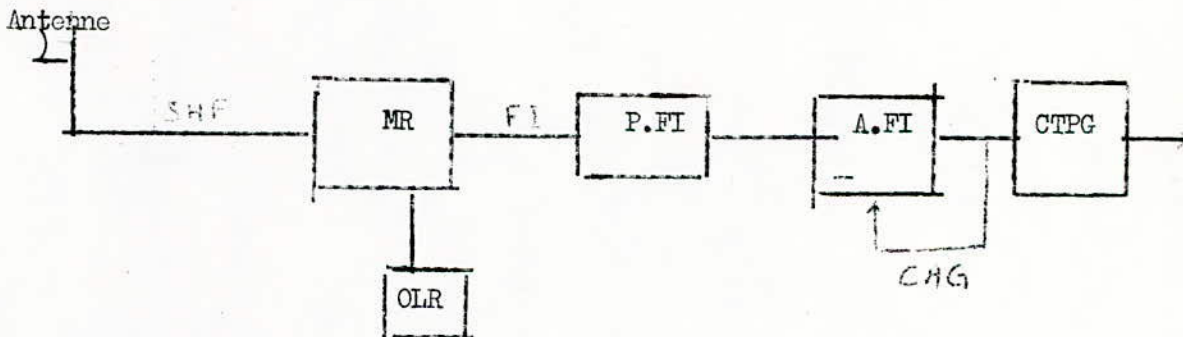
III- RECEPTION

La station de réception reçoit le signal SHF et doit nous fournir le message envoyé par la station d'émission. Comme l'émetteur, le récepteur se compose de plusieurs étages.

Il a 2 fonctions principales :

- transposer le signal radio de la fréquence SHF à une FI
- amplifier ce signal de façon à attaquer le démodulateur par un niveau suffisant:

Son schéma synoptique est le suivant :



NOTATION

- MR : Mélangeur de réception
OLR : Oscillateur local de réception
P.FI : Préampli FI
A.F.I : Ampli FI
CTPG : Contrôle du temps de propagation de groupe

a/ ROLE DE CHAQUE ORGANE

-MR / : il est chargé de fournir, à partir du signal SHF et du signal fourni par l'oscillateur, un signal modulé à la fréquence intermédiaire. Il doit être bien adapté et limité le plus possible l'apport du bruit.

-OLR : il fournit un signal à une fréquence pure, comme l'OLE il se compose d'un oscillateur à quartz et d'une chaîne amplificatrice

.../...

- P.FI : il amplifie le signal reçu avec un faible gain de l'ordre de 20 DB.
- A.FI : il est étudié spécialement pour masquer les différences de niveau de l'onde reçue que le démodulateur ne saurait tolérer.

Il se compose généralement d'une chaîne d'amplification et d'une CAG .

- CPTG : l'onde modulée en fréquence est sensible aux distorsions de phase, pour éliminer ce défaut on utilise des correcteurs (cellules déphaseuses) qui permettent un temps de propagation constant.

REMARQUES :

- Les modulateurs effectuent la modulation de fréquence à une fréquence intermédiaire et l'opération de préaccentuation, qui est nécessaire pour éviter la favorisation des Basses fréquences par rapport aux Hautes fréquences.
- Les démodulateurs effectuent les opérations inverses des modulateurs

(C) CHAPITRE IV : PHENOMENES AFFECTANT LES PERFORMANCES
DES F.H.

- BRUIT THERMIQUE
- BRUIT D'INTERMODULATION
- BRUIT DU AUX BROUILLAGES
- AUTRES FORMES DE BROUILLAGES
- MESURE DES BRUITS.

PHENOMENES AFFECTANT LES

PERFORMANCES DES F.H.

L'évolution des systèmes de transmission va toujours dans le sens de l'augmentation de la quantité d'informations acheminées, ceci entraîne l'utilisation d'émetteurs et de récepteurs à larges bandes. Or la transmission de ces bandes est généralement limitée par des phénomènes de bruit (thermique, inter modulation ...) En ce qui concerne la transmission par FH, ces bruits sont :

A/ BRUIT THERMIQUE :

Il a pour origine l'agitation thermique des électrons dans les différents composants de la chaîne de transmission (résistances, transistors, diodes...)

Ce bruit est présent en permanence et ne peut être que minimiser ; il a une caractéristique aléatoire.

Sa puissance dépend de la température absolue du point considéré ainsi que de la largeur de bande à l'entrée d'un récepteur ; elle a pour expression :

$$B = K T D$$

D = bande de fréquence

T = température en °K

K = Constante de Boltzmann

A la sortie du récepteur, on constate que la puissance de bruit thermique est supérieure à celle de l'entrée, c'est à dire que le récepteur a ajouté son propre bruit thermique à celui de l'entrée et la nouvelle puissance est :

$$B' = F B \quad \text{où } F \text{ est le facteur de bruit du récepteur}$$

(généralement F varie entre 10 et 13 dB)

1- POINTS OU LA PUISSANCE DE BRUIT PEUT INFLUENCER SUR LE SIGNAL :

L'action du bruit thermique sur le signal utile s'exerce à l'entrée du récepteur en un point où le niveau du signal est très faible. D'une façon générale ces points sont bien définis (entrée des amplificateurs, des modulateurs, des démodulateurs).

La contribution du bruit en ces points peut être minimiser par le constructeur .

Par ailleurs, la bande de bruit thermique est limitée par le bruit de fond...

Pour voir l'influence du bruit thermique sur le signal, on peut le considerer comme un vecteur de tension variant continuellement en amplitude et en phase. Ce vecteur bruit s'ajoute au signal utile représenté par la porteuse modulée en fréquence (que l'on peut considérer comme un vecteur d'amplitude constante et à phase variable).

A l'entrée du démodulateur le signal résultant aura une amplitude constante et une phase perturbée (il a traversé un limiteur d'amplitude).

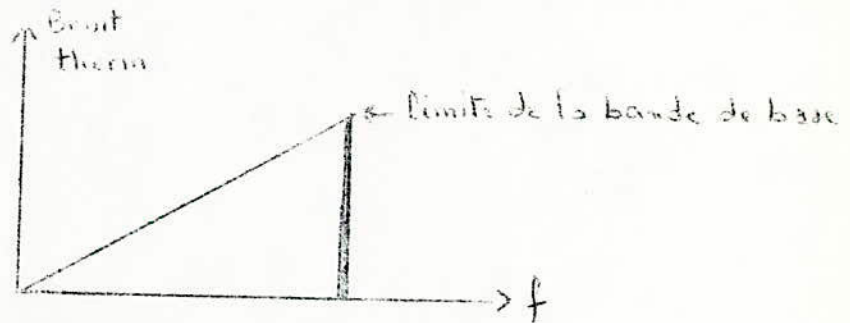
La modulation de phase moyenne de la porteuse par le signal de bruit thermique d'une largeur de bande donnée est constante à toutes les fréquences de l'ensemble de la bande .

On pourra considérer la modulation de phase comme une modulation de fréquence.

On a
$$D \phi = \frac{D w}{r}$$

$D \phi$ = excursion de phase
 $D w$ = excursion de fréquence
 r = fréquence de la bande considérée

or $D \phi$ = constante pour toutes les fréquences et $D w$ augmente avec la fréquence il en résulte qu'après démodulation le bruit thermique augmente avec la fréquence de la bande de base.

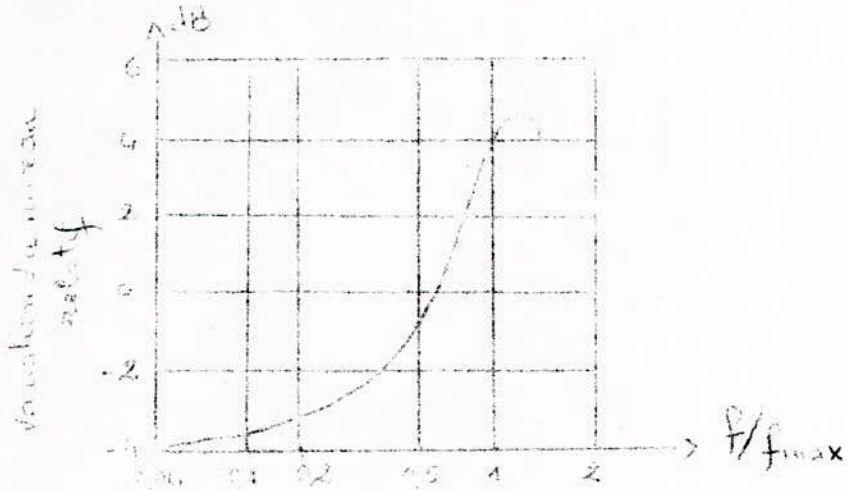


2. AMELIORATION DU BRUIT THERMIQUE

Comme on vient de le voir, la puissance du bruit thermique est plus élevée dans les voies téléphoniques supérieures d'un système en faisceau hertzien. Ceci entraîne une diminution du rapport signal sur bruit thermique (S/B) dans ces voies.

Pour compenser cet effet ; on applique une préaccentuation , c'est à dire qu'avant de procéder à la modulation de fréquence à l'émission on augmente le niveau de la partie supérieure de la bande de base en diminuant le niveau de la partie inférieure . Cette opération est faite de telle sorte que la puissance moyenne du signal dans la bande de base soit constante.

La courbe de préaccentuation normalisée par le C.C.I.R. est donnée par la figure ci - dessous.



D'autre part le rapport S/ bruit th. d'un système en faisceau hertzien dépend du système de modulation selon une loi linéaire.

$$S/B_{Th} = k + \chi$$

avec $\chi = 20 \log. \frac{m}{\sqrt{2}}$ et $m = \frac{D w}{r}$ indice de modulation

On peut améliorer S/B par une augmentation de m.

B/ BRUIT D'INTERMODULATION

1. ORIGINE

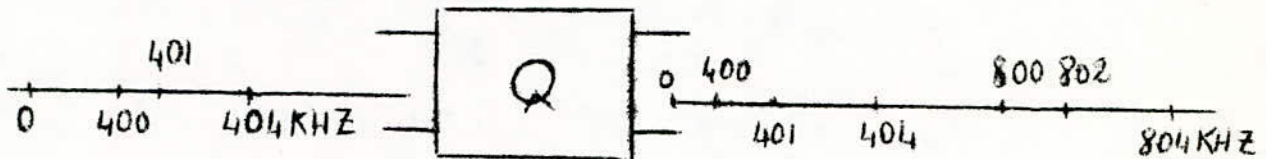
Ce bruit intervient dans les transmissions à hautes fréquences utilisant la technique du multiplex. En effet le signal composite multiplex dans lequel sont juxtaposés, en fréquence, les bandes de base, subit lors de sa transmission, des distorsions non linéaires, qui produisent des mélanges entre les voies.

En fait, dans chaque voie, on trouve, après démultiplexage, les harmoniques des autres voies qui retombent dans la bande de fréquence occupée par cette voie dans le multiplex.

La composition de toutes ces intermodulations donnent lieu à un bruit quasiment blanc qui est le bruit d'intermodulation.

Ceci est schématisé par l'exemple ci- dessous.

Soit par exemple une bande de base 400 KHz - 404 KHz et considérons la fréquence 401 KHz. Ce signal traverse un quadripôle Q qui l'affecte de distorsions, à la sortie on aura apparition du signal avec parasite à la fréquence 802 KHz (par exemple)



apparition d'un parasite à la fréquence 802 KHz .

2-VARIATION DU BRUIT D'INTERMODULATION :

Ce bruit varie avec plusieurs paramètres :

-Fréquence de labande de base : compte tenu de ce qui a été dit précédemment , on voit que le nombre des produits d'intermodulation qui peuvent tomber dans les différentes voies de la bande de base n'est pas le même pour toutes les voies, donc on a beaucoup plus de bruit dans les voies supérieures que dans les voies inférieures .

-CHARGE :

Etant donné que le signal multiplex est obtenu en combinant les signaux d'un grand nombre de voies téléphoniques, avec les fluctuations de trafic et de charge , ceci entraîne une variation considérable en niveau et en fréquence des harmoniques et des produits d'intermodulation .

-Réflexions dans les Feeders et équipements des Faisceaux Hertzians :

Ceci provient du fait qu'un signal modulé en fréquence peut-être perturbé par l'addition du même signal différé .

3. AMELIORATION DU BRUIT D'INTERMODULATION

- Influence de la préaccentuation

On a vu que la préaccentuation améliore le rapport signal sur Bruit thermique (S/B) , mais cette opération exerce aussi une influence sur le bruit d'intermodulation .

Les altérations de niveau dans le signal de bande de base entraînent des variations correspondantes de l'excursion de fréquence du signal modulé en fréquence, de ce fait, l'indice de modulation m varie également .

L'indice de modulation est quelque peu réduit aux fréquences inférieures et il est quelque peu augmenté aux fréquences supérieures. Cette variation entraîne une certaine réduction du bruit d'intermodulation aux fréquences supérieures.

- EMPLOI D'EGALEMENT DE GROUPE : un égaliseur de groupe se compose généralement de cellules déphaseuses, qui permettent de rattraper le retard du temps de propagation en introduisant un certain déphasage.

C. BRUIT DU AUX BROUILLAGES.

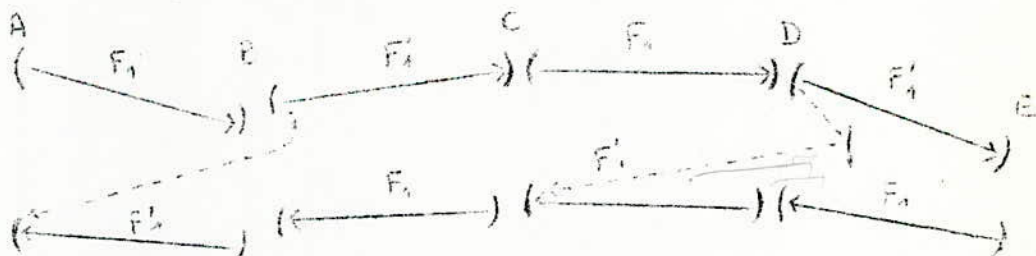
Dans une liaison par faisceaux hertziens on doit prendre en considération, en plus des bruits ci-dessus, des bruits qui sont dus aux brouillages.

Ces bruits supplémentaires dépendent de la distribution du spectre modulé en fréquence et proviennent de sources différentes.

1. ORIGINE DES BROUILLAGES

a. BROUILLAGE DANS UN CANAL COMMUN .

il s'agit de brouillages dus à une source, modulée ou non, dont la fréquence est proche de celle de la porteuse utile, lorsque la fréquence est instable. (voir schéma ci-dessous).



Exemple de Brouillage du à une station voisine

B : résultant d'une discrimination
insuffisante des lobes avant-arrière

D : résultant d'une réflexion sur
obstacle.

On peut en général assurer une protection suffisante contre ces brouillages par un choix judicieux de l'emplacement et en employant des antennes très directives dans le sens de la propagation utile.

b/ BROUILLAGE DIRECT DANS UN CANAL ADJACENT

Il est du à une perturbation produite par un canal sur un autre
(surtout dans les systèmes à plusieurs canaux.)

Ce brouillage est caractérisé par un coefficient d'affaiblissement qui indique la puissance récupérée par un canal au repos lorsque le canal adjacent est en service.

En général le brouillage direct est négligeable si l'affaiblissement dépasse 6 Népers.

C/ AUTRES FORMES DE BROUILLAGES;

Ils peuvent provenir de l'équipement radioélectrique ou de l'extérieur.

On peut distinguer parmi les sources externes :

- Les systèmes de télécommunication par satellites partageant les mêmes bandes de fréquences que les systèmes en faisceaux hertziens.
- les stations de radiodiffusion (source ou télévisuelle) dont les fréquences rayonnées (ou les harmoniques) peuvent tomber dans la gamme des fréquences du système de faisceaux hertziens.

En ce qui concerne l'équipement radioélectrique, il est du surtout aux déficiences dans l'équipement lui-même.

2. LIMITATION DU BRUIT AUX BROUILLAGES.

On peut le limiter en apportant un grand soin à l'établissement du système, c'est à dire que l'emplacement doit être bien choisi et le matériel utilisé (surtout les antennes) doit satisfaire dans une certaine marge nos exigences pour pouvoir obtenir les résultats escomptés.

D. MESURE DES BRUITS

1. MESURE DU BRUIT THERMIQUE DANS UNE LIAISON

Pour pouvoir mesurer le bruit thermique, toute la liaison doit être en état de fonctionnement, c'est à dire que les porteuses radioélectriques doivent être transmises en sorte que la régularisation et l'écrêtage fonctionnent normalement dans les récepteurs.

Le système ne doit pas être chargé par un signal dans la bande de base.

Le bruit thermique doit être mesuré à la sortie de la bande de base à l'extrémité de la liaison en aval du réseau de désaccentuation.

.../...

En pratique on mesure le bruit thermique dans une voie téléphonique.



TRANSMISSION

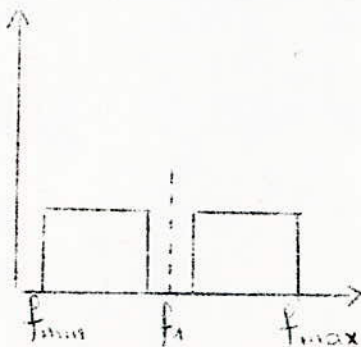


RECEPTION

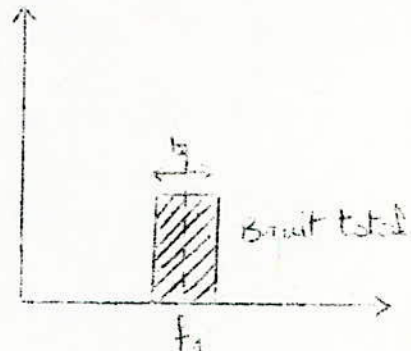
2. MESURE DU BRUIT TOTAL

Dans cette mesure on s'intéresse au bruit total (thermique, intermodulation).

La méthode consiste à libérer la seule voie de mesure utilisée du signal de charge. Comme on l'a vu, dans le chapitre précédent, le signal de charge sera un bruit blanc.



EMISSION



RECEPTION

3. MESURE DU BRUIT D'INTERMODULATION

La puissance du bruit d'intermodulation dans une voie téléphonique est obtenue en faisant la différence entre les deux valeurs obtenues par les mesures précédentes.

$$P_{B.I} = P_T - P_{BT}$$

REMARQUE :

Lors de l'élaboration d'un projet d'une liaison par faisceaux hertziens on calcule le bruit thermique en utilisant le rapport signal/Bruit.

Dans notre cas il est donné par la relation :

$$S/B = \frac{P_r}{F KTB} \left(\frac{\Delta f}{f} \right)^2 \quad P.1 \quad P.2$$

Avec P_r : puissance reçue - Δf : excursion en fréquence

F : Facteur de bruit du récepteur - f: fréquence de la voie de mesure

B = 4 KHz pour la téléphonie - K constante de Boltzman

T° = température en degré Kelvin

P.1= amélioration due à la préaccentuation

P.2= puissance pseudométrique due à l'oreille.

CHAPITRE V : LIAISON PAR F.H.

- DIFFERENTS SYSTEMES DE LIAISON
- CHOIX DES EMPLACEMENTS DES STATIONS ET DES HAUTEURS DES AERIENS DANS
LE CAS DE LA VISIBILITE DIRECTE.
- FREQUENCES CARACTERISTIQUES D'UN F.H.
- RELAIS
- CIRCUIT FICTIF DE REFERENCE

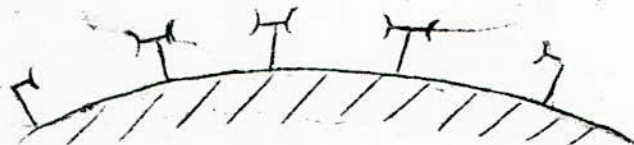
On a vu que la propagation des ondes entre deux points en visibilité directe limite cette distance à quelque dizaines de Km (50 à 80 Km), mais vu les propriétés de la réflexion sur la couche ionosphérique, un autre procédé de liaison nous donne la possibilité d'augmenter la distance séparant les deux points (qui peuvent ne plus être en visibilité).

Ainsi on a deux possibilités d'effectuer une liaison hertzienne.

I. - DIFFERENTS SYSTEMES DE LIAISON :

1. LIAISON EN VISIBILITE DIRECTE

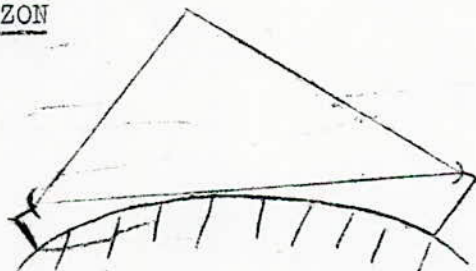
Ce système est le plus répandu ; il est constitué par des stations successives en visibilité directe.



A partir de ce procédé on peut transmettre plusieurs milliers de voies téléphoniques avec des puissances faibles (de l'ordre du Watt).

Puisque la propagation en visibilité directe limite la distance entre deux stations consécutives, alors le nombre de stations doit être limité et cela par un choix judicieux de l'emplacement de ces stations (généralement on opte pour les points les plus élevés).

2. LIAISON TRANSHORIZON



Ce système permet l'utilisation de puissances plus grandes (1 à 10 Kw) et des antennes plus développées. De plus le nombre de voies transmises est réduit (de l'ordre de 100 voies).

Contrairement à la liaison en visibilité directe, la liaison transhorizon présente certains avantages :

.../...

- la distance entre stations n'est pas limitée par des conditions de visibilité (de 100 à 400 Km).
- l'emplacement des stations peut être quelconque (à proximité des agglomérations par exemple).

II - CHOIX DES EMPLACEMENTS DES STATIONS ET DES HAUTEURS DES AERIENS DANS LE CAS DE LA VISIBILITE DIRECTE.

La détermination du parcours d'un F.H. et le choix des emplacements des différentes stations dépendent de nombreux facteurs.

Parfois ce nombre de sections et la longueur des sections sont le résultat d'un compromis entre les exigences techniques et économiques. Cependant on est tenté d'utiliser des points hauts bien situés afin d'espacer au maximum les stations les unes des autres.

1. - LONGUEUR DES SECTIONS :

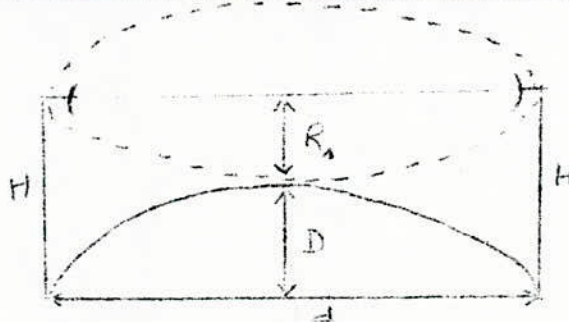
Une section longue se traduira non seulement par un affaiblissement moyen plus élevé que pour une section courte, mais dans la plupart des cas, par des fluctuations plus importantes du signal radioélectrique.

En général , les trajets de 60 Km ne posent pas de problèmes.

2. DEGAGEMENT DU PARCOURS ET HAUTEUR DES ANTENNES.

Nous avons déjà vu qu'il était nécessaire de dégager le ellipsoïde de Frenel pour éviter l'introduction d'un affaiblissement supplémentaire du à la diffraction, cependant, ce dégagement ne doit pas être très important car il risque de favoriser les propagation par trajets multiples.

b - CALCUL DE LA HAUTEUR DES ANTENNES (SANS OBSTACLES).



On a : $D = \frac{d^2}{8 R}$

avec $R = \frac{4}{3} R^0$ $R^0 =$ rayon terrestre.

.../...

Si on a une visibilité tangentielle on aurait $H = D$.

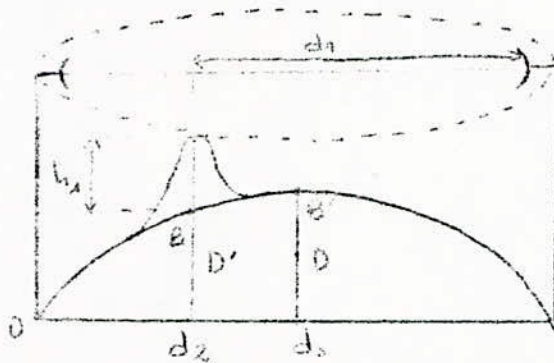
Le rayon équatorial de l'ellipsoïde de Fresnel est dans ce cas :

$$R_1 = \frac{1}{2} \sqrt{\lambda d}$$

Donc la hauteur minimal de l'antenne sera :

$$H_1 = H_2 = H = D + R_1$$

b - CALCUL DE LA HAUTEUR DES ANTENNES (avec obstacles)



$h_1 =$ hauteur de l'obstacle

On suppose $OB d_2$ et $OB' d_0$ homothétiques

$$\text{donc } D' = D \frac{d_2}{d_0} \quad \text{avec } d_0 = d/\sqrt{2}$$

le rayon de l'ellipsoïde de fresnel à la distance d_2 est:

$$R_2 = \sqrt{\frac{\lambda d_1 d_2}{d}}$$

la hauteur minimale de l'antenne est $H = h_1 + D' + R_2$

III - Fréquences caractéristiques d'un F.H.

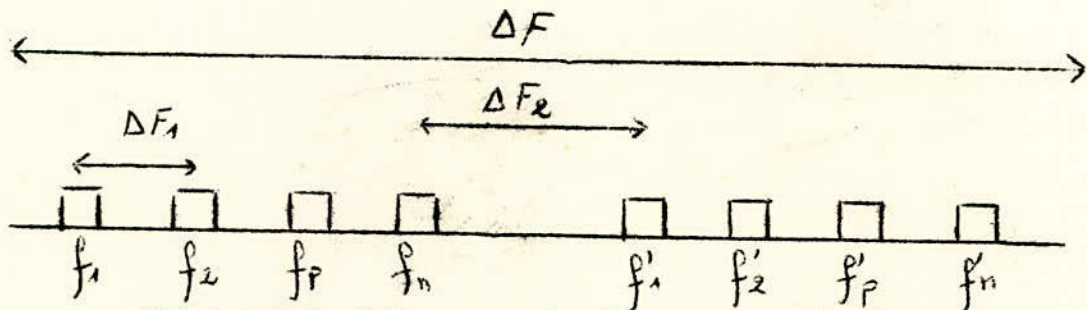
1. BANDE DE FREQUENCE .

Comme on a vu précédemment, les bandes de fréquences allouées aux F.H correspondent à des ondes très courtes, ce qui est nécessaire pour transmettre de larges bandes.

Chaque bande de fréquences est divisée en 2 sous bandes de même largeur (voir schéma ci-dessous) séparées par un intervalle de protection.

[Dans chaque station, toutes les fréquences d'émission sont comprises dans une sous-bande et celles de la réception dans l'autre.

Chaque sous-bande est divisée en un certain nombre de canaux radioélectriques] dont la largeur est comprise entre 14 et 20 MHz pour les F.H. à grand nombre de voies téléphoniques.



ΔF_1 = écart de fréquence entre les canaux radioélectriques

ΔF_2 = écart de fréquence entre les 2 sous-bandes

ΔF = Bande de fréquence totale .

2. PLAN DE FREQUENCES

Si l'on considère une station relais comportant un ou plusieurs aériens par direction, il est absolument indispensable que les fréquences d'émission et de réception soient suffisamment écartées pour éviter la perturbation des récepteurs par les émetteurs . On aura

$$f_{em} = f_{recep} \pm f_{tran}$$

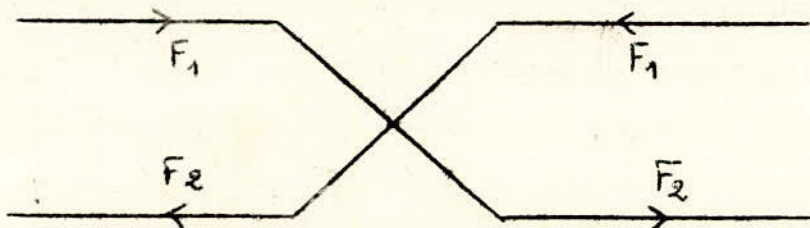
Pour une liaison bilatérale on a le choix entre un plan à 4 fréquences et un plan à 2 fréquences .

a- PLAN A 4 FREQUENCES

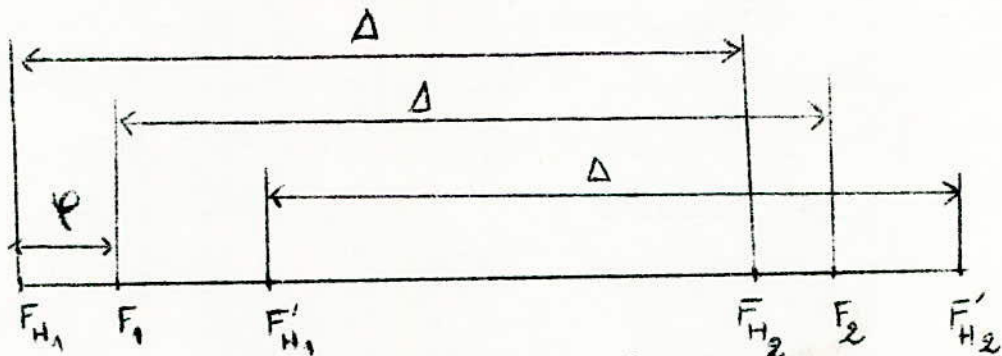
Il est surtout employé dans le cas d'une liaison métrique pour assurer un découpage convenable entre les 2 sens de transmission on ne reprend les mêmes fréquences que toutes les 2 stations .

b- PLAN A 2 FREQUENCES

Il est utilisé dans le cas d'une liaison centimétrique car dans cette gamme on arrive à réaliser des antennes présentant un rayonnement arrière et latéral très réduit par rapport au rayonnement maximum .



Pour éviter les couplages entre les 2 sens de transmission on choisit les fréquences FH1 et FH2 comme l'indique la figure ci-dessous :



- Position des fréquences hétérodynes dans un plan à 2 fréquences -

Cette disposition des fréquences est très intéressante car elle permet de limiter l'influence des dérives de fréquences des oscillateurs locaux.

3. DISPOSITION DES FREQUENCES PORTEUSES ET DES SPECTRES :

Au départ, à la station d'émission, on aura le spectre du signal de modulation (bande de base) qui couvre $4 \times m$ KHZ à partir d'une fréquence qui n'est pas zéro. Ce signal modulant sera appliqué à la porteuse H F (f_0) de façon à réaliser une modulation de fréquence. C'est sur cette fréquence que sera assurée la transmission vers le premier point de relais.

En ce point la puissance reçue est très faible, de plus, on ne peut pas la réémettre sur la même fréquence f^0 car ceci entraînerait un effet de réaction. Il faut donc décaler la porteuse à f'^0 tel que :

$$f^0 = f'^0 \pm f t.$$

Le schéma de la figure 1 indique l'évolution des fréquences le long de la liaison.

Spectre du signal modulant

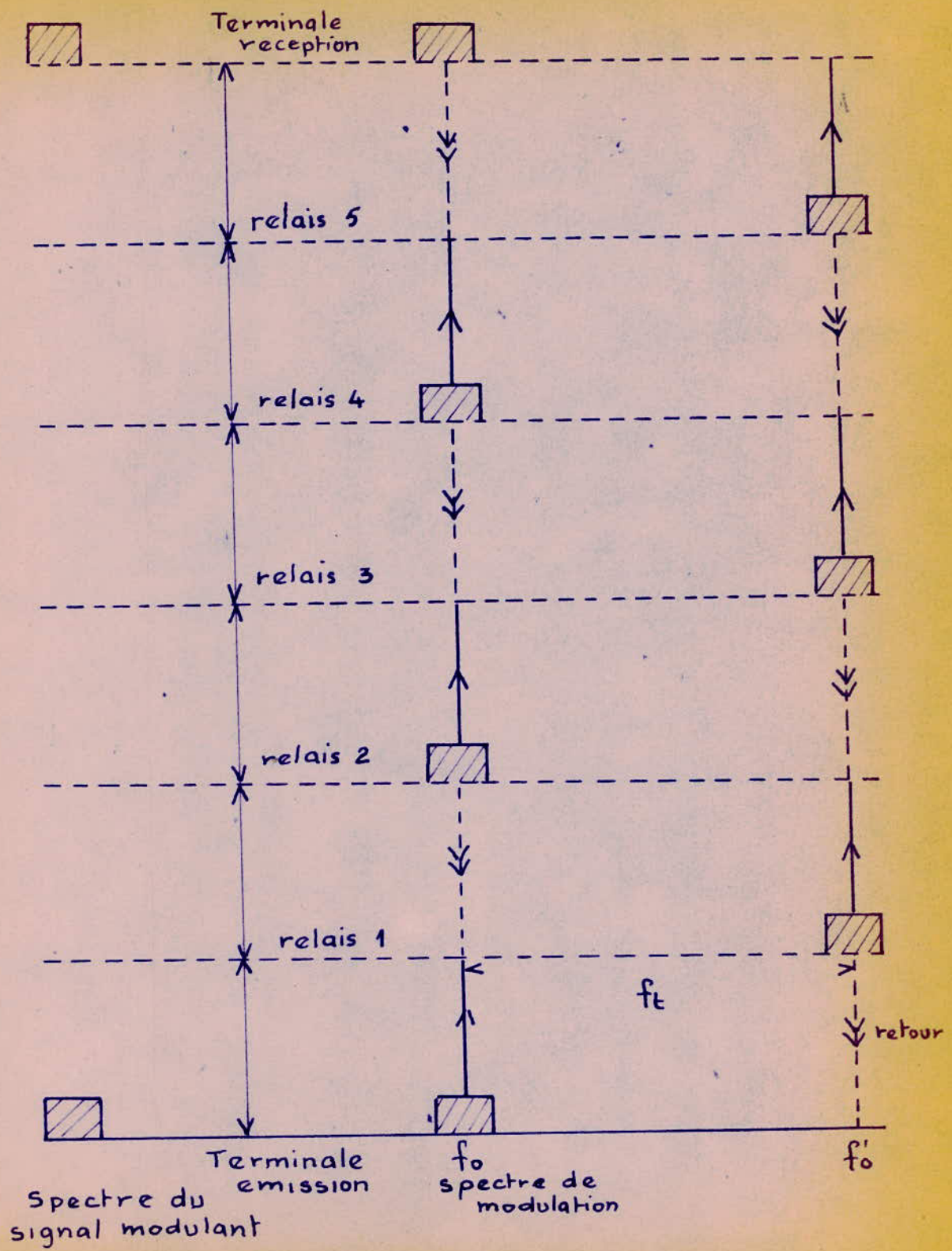


fig1: EVOLUTION DES FREQUENCES PORTEUSES LE LONG DU FAISCEAU

Si les points à relier par F.H ne sont pas en visibilité directe, il est donc nécessaire d'intercaler entre les 2 extrémités, des stations relais. Ces relais sont actifs ou passifs.

- Relais actif : constitué par l'ensemble d'un récepteur et d'un émetteur dans chaque sens de transmission.

Dans ce type de relais la puissance reçue est amplifiée jusqu'à un niveau suffisant avant d'être réémise.

- Relais passif : c'est une structure statique agencée de telle façon qu'elle renvoie l'énergie reçue à la station suivante sans aucune transformation, ni amplification.

Le modèle le plus simple est un réflecteur fonctionnant de façon analogue à un miroir optique.

V - CIRCUIT FICTIF DE REFERENCE

La qualité des F.H est liée directement à la grande quantité des équipements en service. Il est donc nécessaire que, pour atteindre des performances satisfaisantes, on doit réaliser des caractéristiques très poussées sur chaque maillon.

Il est difficile de définir des normes de qualité globale, car dans chaque problème, on rencontre une implantation spéciale, avec des longueurs de trajets hertziens différents.

Pour pallier à cette difficulté, le C.C.I.R. a introduit la notion de circuit fictif de référence, se rapprochant le plus possible d'un circuit réel. Ce circuit couvre une distance de 2500 Km avec des relais en visibilité directe.

Une liaison réelle est considérée comme bonne par le C.C.I.R. si elle vérifie les 2 conditions suivantes :

Soit P la probabilité de coupure de la liaison.

- $P < \frac{L}{2500} \times 0,1 \%$ où L est la longueur de la liaison.

- le bruit total de la ligne ne doit pas dépasser le bruit fixé par le C.C.I.R. qui est de 3 p Wop par Km.

REMARQUE : Si $L < 280$ Km, on prendra $L = 280$ Km pour le calcul de P.

CHAP. VI EQUIPEMENTS DES F.H.

- ANTENNES - FEEDERS - PYLONES
- EMETTEURS - RECEPTEURS
- EQUIPEMENTS D'EXTRACTION - INSERTION
- FILTRES DE BRANCHEMENT
- EQUIPEMENTS D'ALIMENTATION
- DISPOSITIFS AUXILIAIRES
- MAINTENANCE DES LIAISONS.

Une liaison hertzienne est choisie de telle sorte à satisfaire nos exigences (capacité radio, fréquence, de travail ...) Ces différentes contraintes nous imposent le choix des équipements pour le bon fonctionnement de la ligne.

A/ANTENNES - FEEDERS - PYLONES !

1 - ANTENNES!

Les antennes utilisées sont du type parabolique, de diamètre 2,3 ou 4 m. Une antenne est généralement constituée de :

- Un réflecteur parabolique
- Une antenne active primaire (cornet et guide d'onde d'alimentation).
- Un masque latéral (fixé sur la périphérie du réflecteur pour atténuer les rayonnements latéraux) !
- Un mécanisme de réglage qui permet d'orienter l'antenne.

2- FEEDERS

Ils sont constitués par des guides d'ondes circulaires et assurent la liaison entre l'antenne et les équipements radioélectriques avec une faible atténuation.

R
REMARQUE :

Les feeders sont mis à l'abri de l'eau et de l'humidité, par des déshydrateurs, qui fournissent de l'air sec sous pression !

3- PYLONES D'ANTENNES.

Ils sont généralement construits avec des barres métalliques. Le calcul des pylones est fait d'après certains critères techniques (c'est à dire: en tenant compte de la vitesse du vent par exemple, des fondations ...)

B/EMETTEURS-RECEPTEURS .

1 - RELAIS

La structure la plus usuelle (relais sans modulation) utilise des transistors et des composants semi-conducteurs!

On a vu que le fonctionnement d'une station relais exige un changement de fréquence, comme dans notre cas on utilise un plan à deux fréquences, on pourra donc représenter une station relais à double sens par le schéma synoptique de la figure 1 .

On remarque que les deux oscillateurs locaux permettent d'alimenter les deux sens de transmission.

En bout de chaîne émission, on utilise des amplificateurs constitués de tubes à ondes progressives (TCP) !

La présence de ces amplificateurs dépend de la puissance à réaliser qui, à son tour dépend du nombre de voies téléphoniques à transmettre !

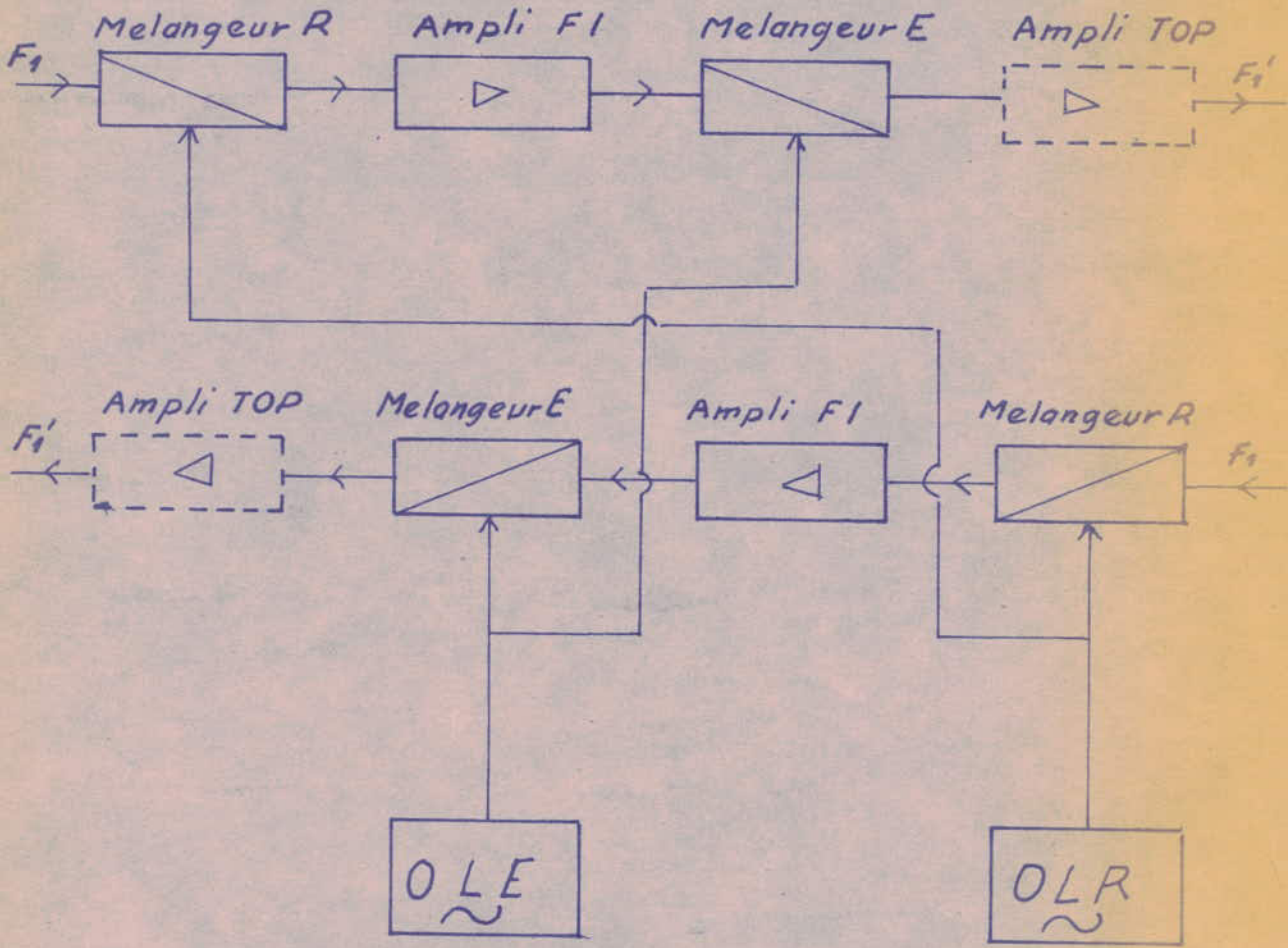


fig:1 STATION RELAIS A DOUBLE SENS

2 - STATIONS TERMINALES !

En plus des fonctions des stations relais , les stations terminales doivent réaliser les opérations de modulation et de démodulation .

On préfère grouper les diverses fonctions en sous-ensembles :

-Sous-ensembles HF reprenant les fonctions des relais .Leurs points d'accès sont en fréquence intermédiaire.

Dans un bati du type relais on a des éléments permettant d'équiper deux canaux HF à double sens au lieu d'un seul!

Pour éviter les interférences,les canaux HF utilisent quatre fréquences F_1 , F_2 , F_2' ET F_1' !

On représentera sur la figure 2 une baie terminale SHF à deux canaux et à double sens!

-Sous-ensembles modulateurs et démodulateurs dont les fonctions ont été déjà décrites dans le chapitre " Emission -Réception " .

C/ EQUIPEMENTS D'EXTRACTION -INSERTION !

Dans certaines stations on est parfois intéressé par l'extraction ou l'insertion d'un signal en bande (signaux de télésurveillance),aussi prévoit-on généralement dans ces relais un ensemble qui se chargera de la réalisation de cette fonction !

-Pour l'insertion ,le signal de bande de base modulé en fréquence un oscillateur à 250 MHz par l'intermédiaire d'une diode à capacité variable. Le signal MF est converti en un signal à 180 MHz; Grâce à un second oscillateur, à la fréquence fixe de 250 MHz, on transpose à nouveau cette fréquence intermédiaire en un signal à 70 MHz qui attaquera l'émetteur . (voir fig 3 a)

-Pour l'extraction,le signal moyenne fréquence (70MHz) sera dérivé vers un démodulateur FM ,permettant d'extraire les groupes désirés .(voir fig 3b).

D/ FILTRES DE BRANCHEMENT ;

Le rôle des filtres de branchement est de permettre l'attaque d'une antenne unique par plusieurs émetteurs et plusieurs récepteurs .

Dans les équipements fonctionnant en hyperfréquence,les circuits de branchements sont composés de filtres passe bande et de circulateurs (gyrateurs).

On préfère utiliser un duplexeur de polarisation qui permet de séparer les canaux d'émission et de réception afin d'obtenir une atténuation de l'ordre de 40 dB.

La figure 4 représente un filtre de branchement SHF .

Tous les canaux arrivent en A. Le seul canal qui sort en B est celui qui se trouve situé à l'intérieur de la bande passante du filtre passe bande branché en B. L'entrée de ce filtre se comportera comme un court-circuit sur les autres canaux et il y a rejection ,vers la sortie C .

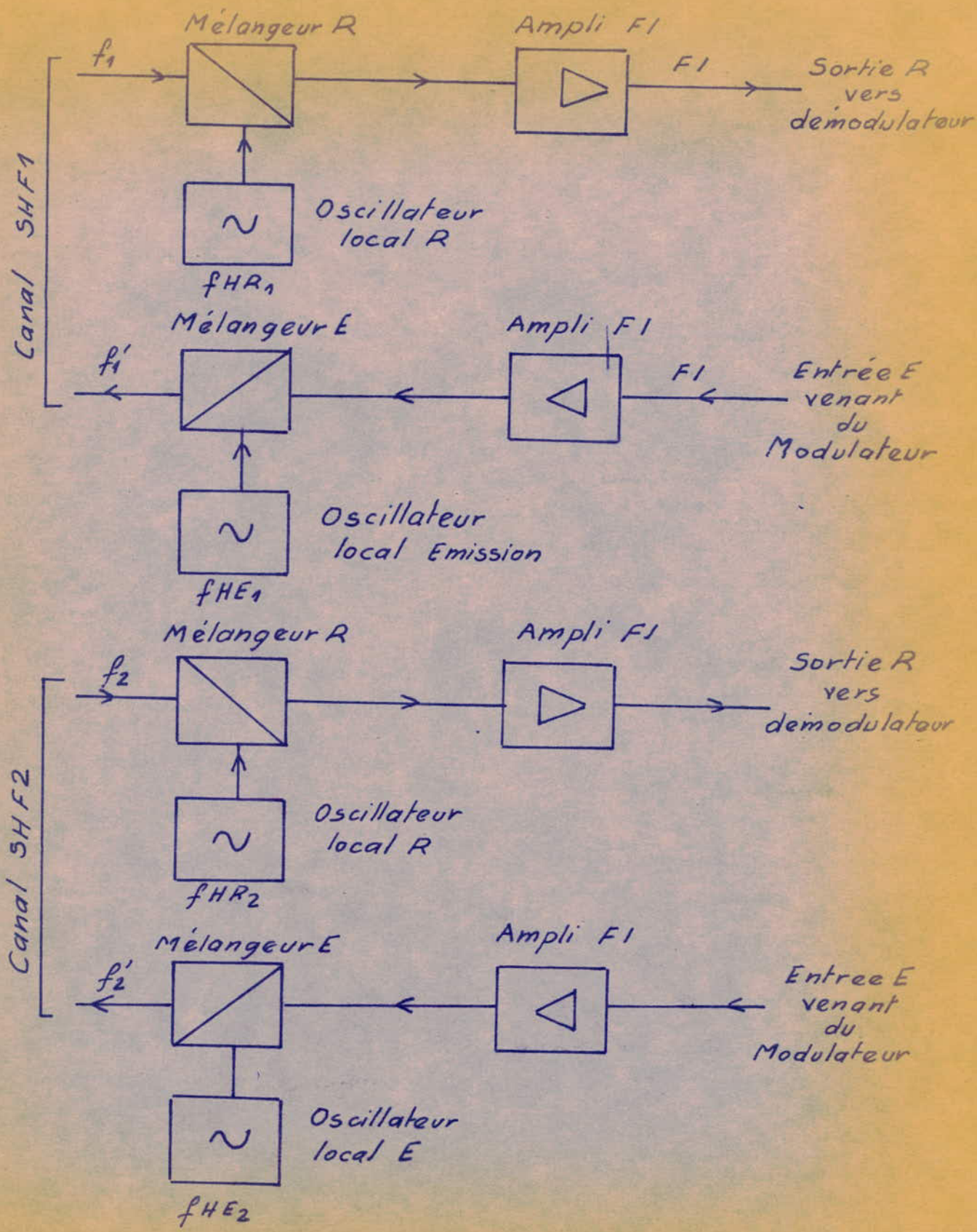


fig 2: BAIE TERMINALE SHF A DEUX CANAUX ET A DOUBLE SENS

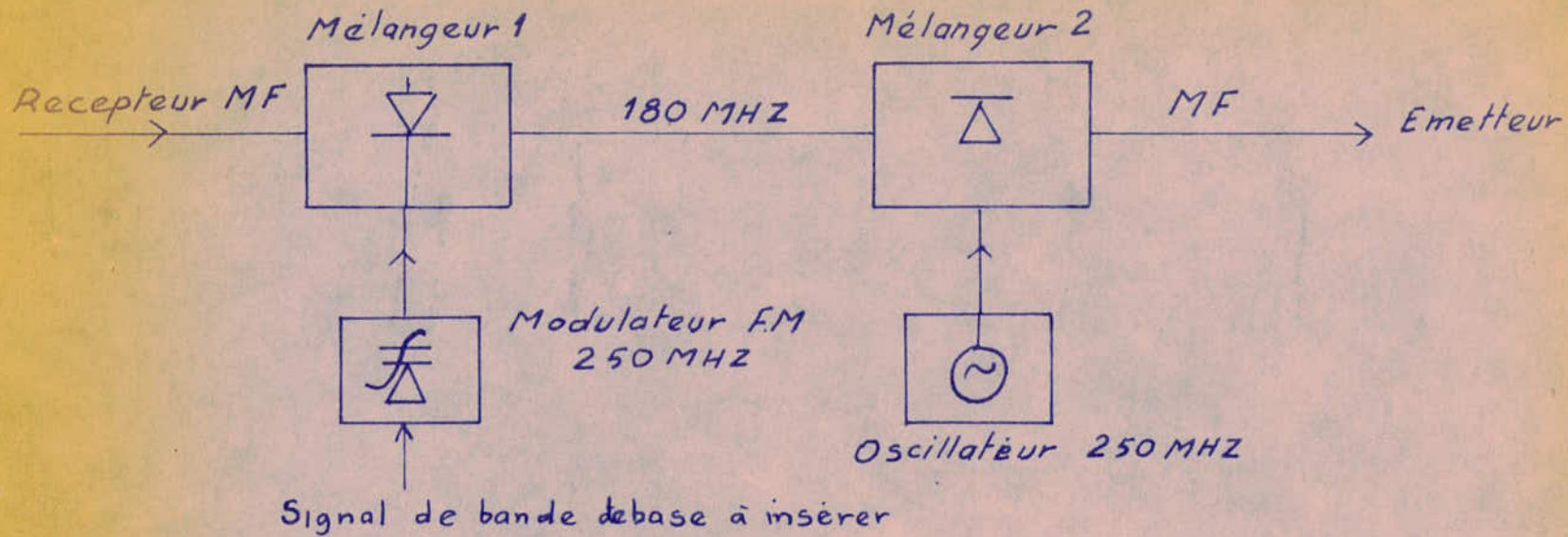


fig 3 : a. INSERTION

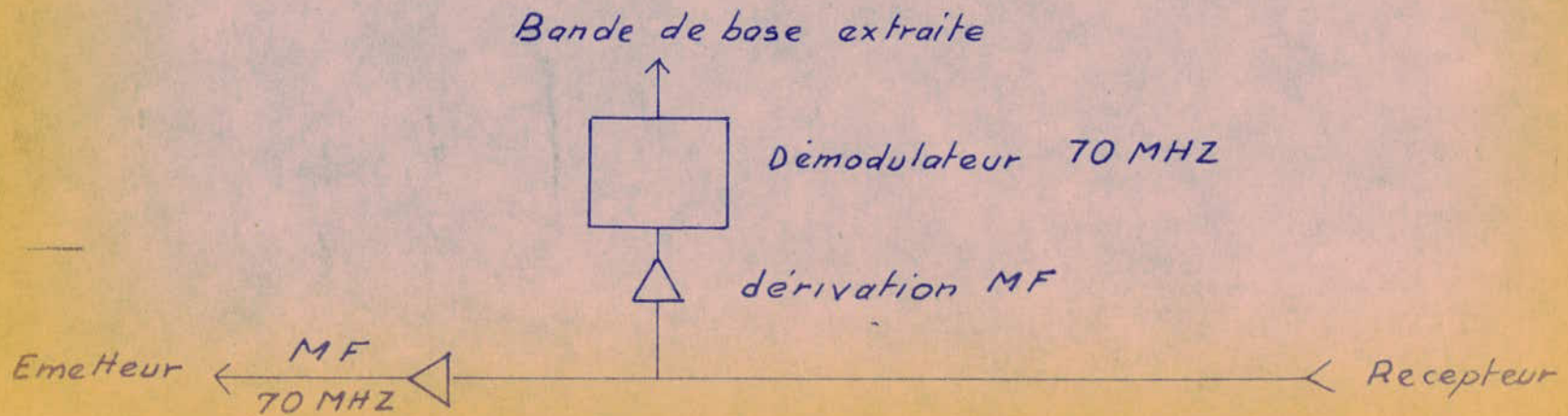


fig 3 : b. EXTRACTION

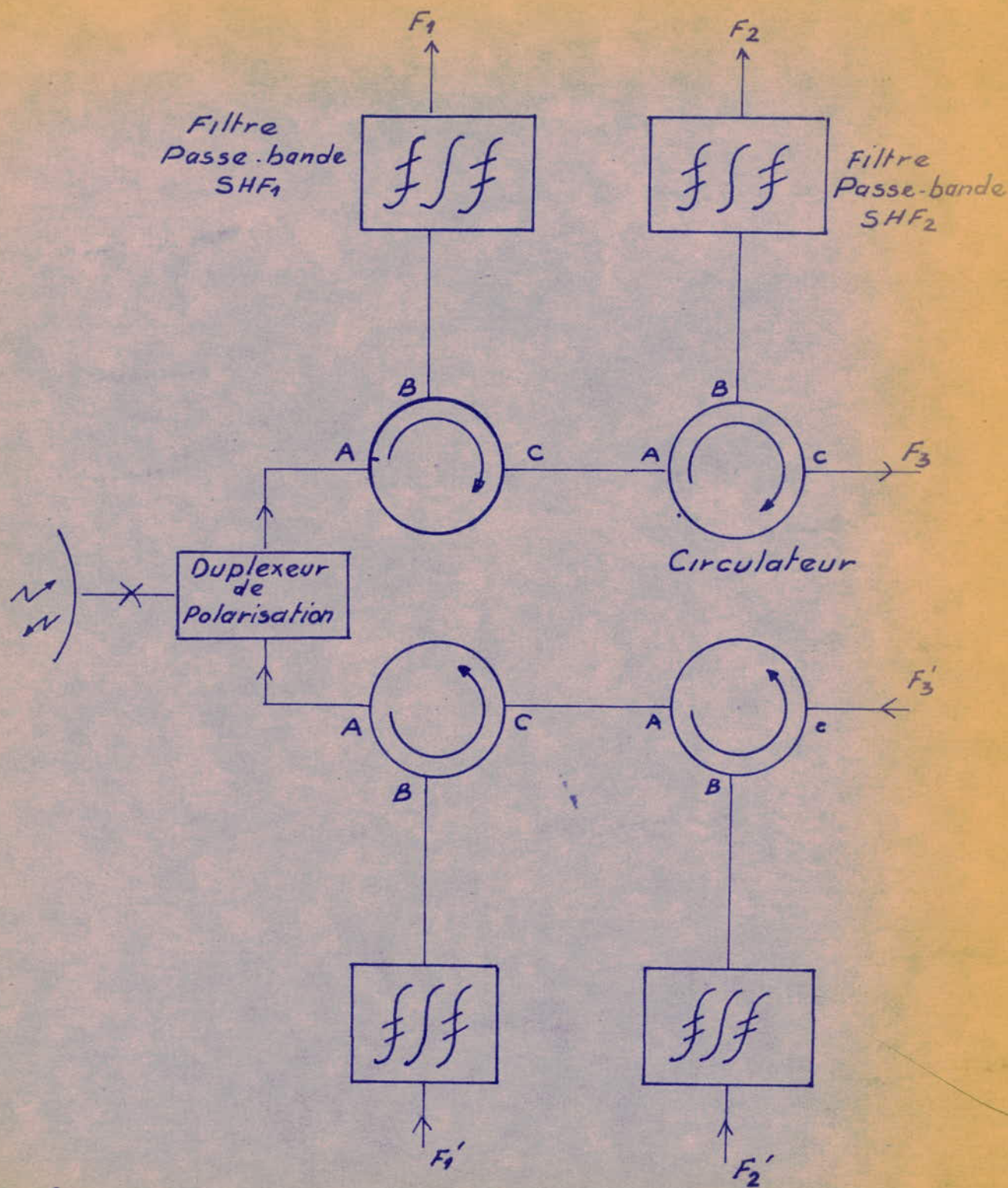


fig4 FILTRE DE BRANCHEMENT SHF

- Deux Canaux Émission
- Deux Canaux Réception

E / EQUIPEMENTS D'ALIMENTATION

Les équipements radioélectriques sont alimentés par des installations d'énergie qui permettront un fonctionnement permanent au cas de défaillance du réseau commercial.

Ils sont généralement alimentés en courant continu (24 V).

A cet effet on prévoit deux batteries fonctionnant en parallèle. Ces batteries sont alimentées par deux redresseurs utilisant le réseau de distribution de la Sonelgaz. (voir schéma d'alimentation fig 5).

Si un redresseur tombe en panne, l'autre redresseur entre en fonctionnement de façon automatique.

Dans le cas d'une coupure du réseau, un groupe électrogène se charge de l'alimentation des équipements. Ce groupe électrogène est à démarrage et arrêt automatiques.

F- DISPOSITIFS AUXILIAIRES.

Contrairement à leur qualification, ces dispositifs sont indispensables à la bonne exploitation des matériels équipant une liaison hertzienne.

Les fonctions que doivent remplir ces dispositifs sont les suivantes :

- Transmission d'une ou plusieurs voies de service.
- Télésurveillance de la liaison.
- Commutation des canaux.

I- VOIES DE SERVICE

Une voie permet l'échange de conversations concernant l'exploitation de la ligne, entre les diverses stations.

Elle est généralement écoulee par le faisceau principal.

On prévoit aussi, même dans les stations non surveillées, des postes, de manière à entrer en contact avec les autres stations surveillées.

Généralement une voie de service comprend :

6 Une voie express qui est utilisée entre les stations d'extrémité (elle est généralement absente dans une station régionale) .

- Une voie omnibus reliant toutes les stations d'une liaison.
- Une voie qui achemine les signaux nécessaires au fonctionnement de la commutation automatique.
- Une voie qui achemine les signaux de télé-surveillance.

II- TELESURVEILLANCE

Dans les liaisons actuelles par faisceaux hertziens, la plupart des stations relais fonctionnent sans la présence permanente du personnel.

Pour pouvoir les contrôler, on a été obligé d'utiliser un système de surveillance.

Fonctionnement du système de surveillance.

.../...

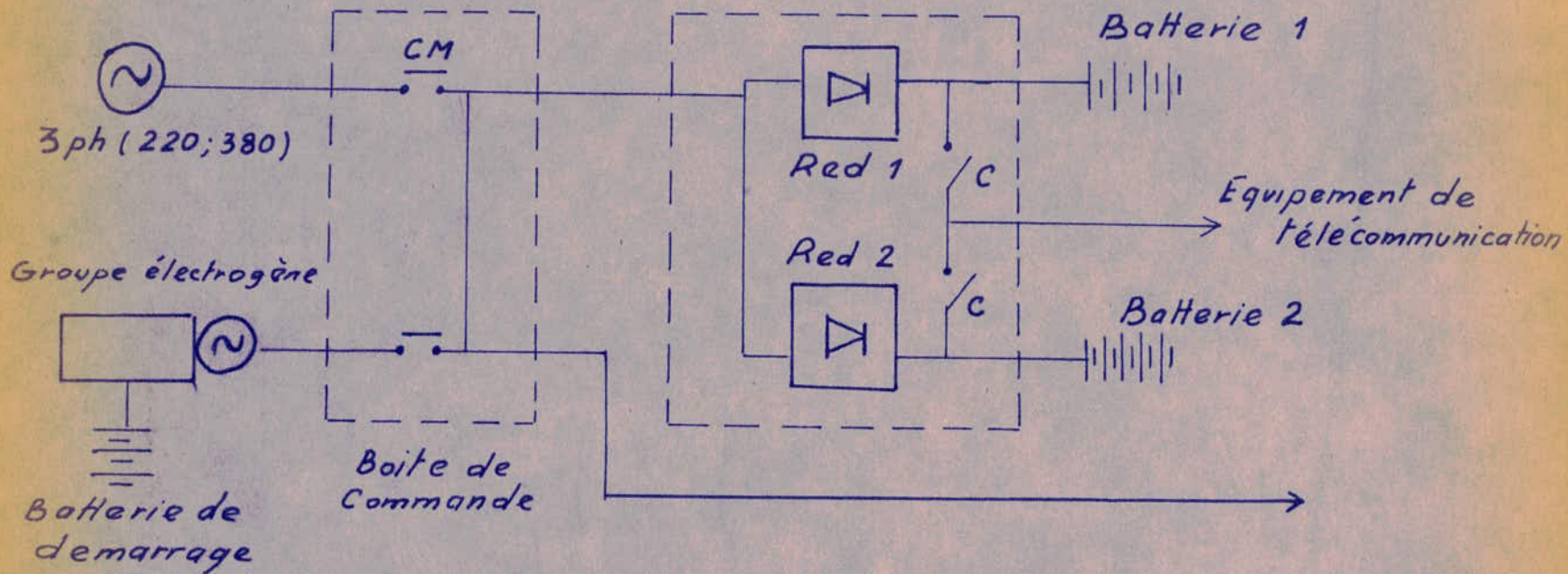


fig 5 ALIMENTATION

- FONCTIONNEMENT DU SYSTEME DE SURVEILLANCE

Les stations surveillées envoient leurs informations à la station surveillante, simultanément.

Ces informations de télésurveillance sont traduites en signal d'impulsion codé qui est formé d'un train d'impulsions longues et courtes de durées respectives 60 msec et 20 msec.

Les impulsions longues fournissent des informations d'alarme tandis que les autres indiquent le fonctionnement normal des éléments surveillés.

Ces impulsions sont modulées en un signal FSK (Saut de fréquence) qui est transposé dans la portion appropriée de la bande de fréquence (8-12 KHZ) par une modulation en anneau du type modulation d'amplitude BLU.

L'émission de ces impulsions est représentée par le schéma suivant :



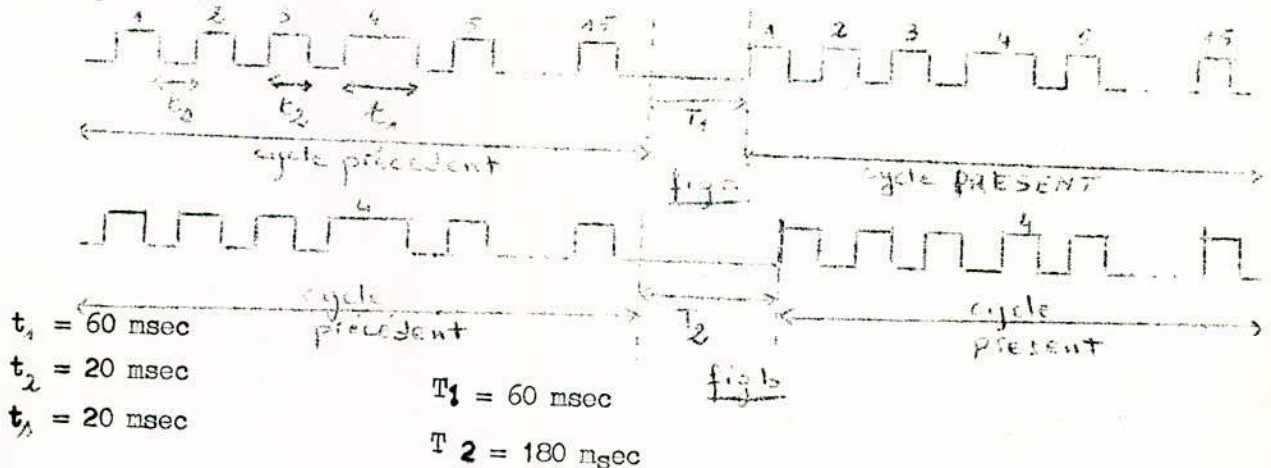
Comme les informations de télésurveillance sont transmises et reçues sous forme d'impulsions codées, il est nécessaire de synchroniser l'émission et la réception.

A cet effet on prévoit des temps de pause avant chaque séquence :
60 msec si la fréquence est identique à la précédente (voir fig a).

180 msec si la séquence est différente (voir fig .B;).

Le nombre d'impulsions composant la séquence d'une station est égal au nombre d'éléments à surveiller.

Ainsi, si par exemple on veut contrôler 15 éléments par station on aura dans une séquence 15 impulsions où chacune d'elles est affectée à un élément bien précis.



A la réception, le train d'impulsions est décodé. Il traverse ensuite un système de détection qui nous indiquera, grâce à un tableau d'affichage (lampes), l'état de la station surveillée. (voir fig.6.)

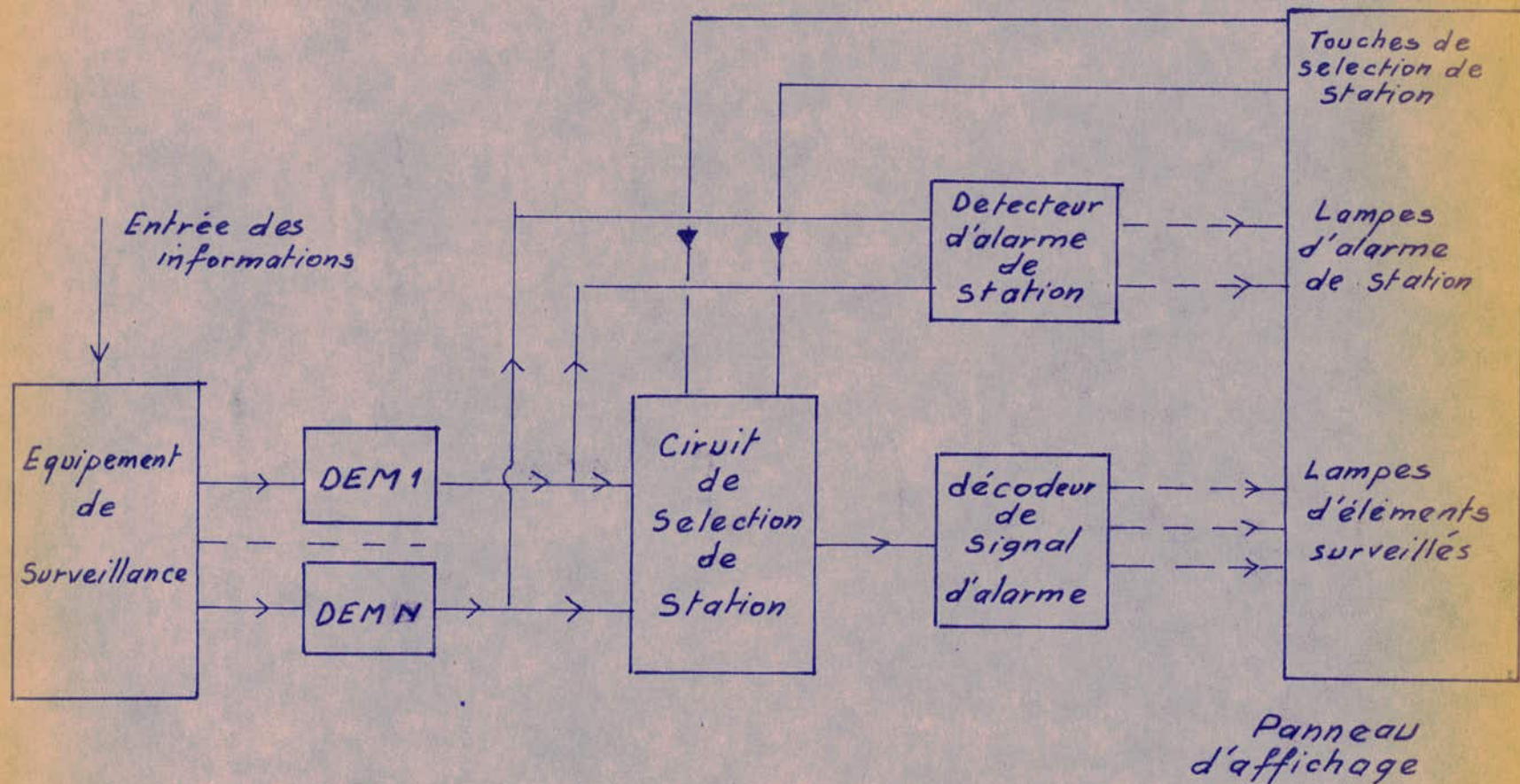


fig 6 : RECEPTION DES SIGNAUX DE SURVEILLANCE
ET AFFICHAGE

III - COMMUTATION AUTOMATIQUE .

Pour éviter les interruptions du trafic de la liaison, on prévoit un canal complet de secours, prêt à entrer en action dans un délais extrêmement rapide, dans le cas de la défaillance d'un élément .

Ce canal sera à double sens et son fonctionnement suit certaines règles :

-Si un canal présente une défaillance dans un sens de transmission, le canal de secours assure la transmission relativement à ce sens sans que rien ne soit changé sur l'autre sens.

-Les points de commutation sont choisis soit en bande de base, soit en FI . Cette dernière solution est utilisée dans le cas des canaux multiples.

-Pour permettre le passage du canal défectueux au canal de secours, des équipements de contrôle entre les canaux (défectueux et de secours) sont prévus dans toutes les stations de contrôle. (voir fig.7) .

IV - MAINTENANCE DES LIAISONS.

La sécurité de fonctionnement des liaisons (et leur facilité d'entretien) conduit à une maintenance valable de ces liaisons.

Nous savons bien que l'usure et le vieillissement peuvent provoquer des dérangements dans les équipements des F.H?. Ce qui est particulièrement vrai pour les tubes électroniques .

La maintenance locale des équipements consiste à contrôler le fonctionnement d'un équipement depuis les étages d'entrée aux étages de sortie (facteur de bruit; tension de sortie de l'amplificateur à moyenne fréquence, courant des limiteurs, puissance à l'entrée et à la sortie des tubes amplificateurs hyperfréquences, fréquences, fréquences des oscillateurs locaux ...).

La durée de vie moyenne des tubes utilisés dans les équipements des FH est de 10.000 à 15 000 heures. Si on a par exemple une tube sous tension permanente, il n'y a pas de raison pour qu'il devienne subitement inutilisable, car en général, il vieillit progressivement par épuisement de la cathode. Il est donc conseillé de faire un contrôle périodique de chaque tube afin d'éviter toute défaillance brutale, et cela en mesurant le courant cathodique ou anodique du tube.

Si une coupure de liaison, due à une défaillance d'un équipement, se produit il faut que l'on dispose d'un système de secours afin d'assurer la continuité des liaisons pendant le temps voulu.

Il existe 2 systèmes de secours:

- Le premier système consiste à installer un équipement en réserve; dans chaque station, et cela pour chaque équipement de service. Les équipements en réserve et en service fonctionnent sur la même fréquence.

La substitution de l'équipement en réserve se fait soit automatiquement soit par commande manuelle .

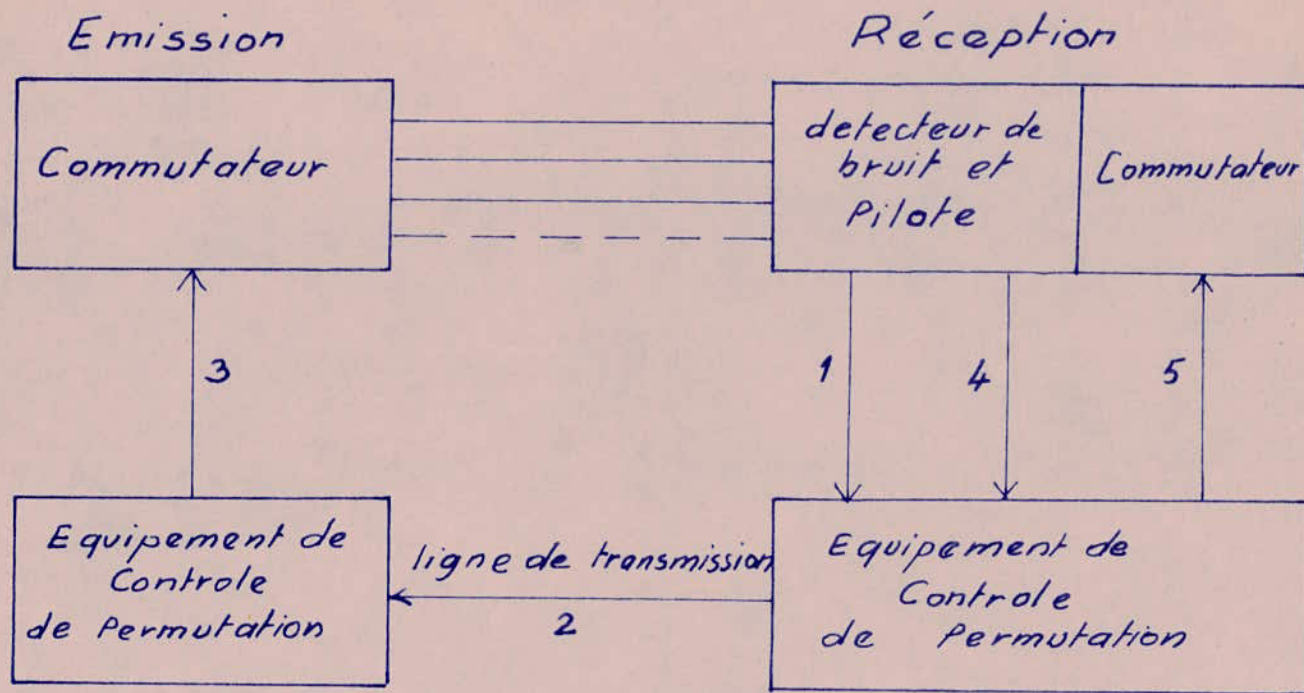


fig:7 : SYSTEME DE COMMUTATION

-Le deuxième système consiste à utiliser un canal de réserve pour un ou plusieurs canaux en service en service sur un trajet donné.

REMARQUE :

Le système de canal de secours est plus simple à mettre en oeuvre que le système de commutation par station.

⌋ CHAPITRE VII : LIAISON ALGER -- CONSTANTINE

- TRACE DE LA LIAISON
- DONNEES CARACTERISTIQUES
- CALCUL DE LA LIAISON
- PLAN DE FREQUENCE
- SYSTEME DE COMMUTATION ET TELESURVEILLANCE.

LIAISON ALGER - CONSTANTINE

- Notre étude a pour but de relier deux villes, Alger et Constantine, par faisceau hertzien analogique.

- La distance séparant ces deux villes est de l'ordre de 350 Km.

- Notre liaison utilisera le système 2 + 1, c'est à dire 2 canaux normaux et un canal de secours.

- La fréquence porteuse est de 6,77 GHZ et la capacité de chaque canal est de 960 voies.

- Les stations terminales sont celle d'Alger et de Constantine

- Les relais utilisés pour la réalisation de notre ligne sont des relais actifs.

I. TRACE DE LA LIAISON

Pour le tracé de la liaison on a surtout tenu compte des points élevés de la région pour éviter les obstacles, car le relief est accidenté, et des sites déjà existant de la RTA. Ces points sont accessibles et ils disposent d'une alimentation en énergie électrique.

Les deux villes étant distantes de 350 Km, la ligne comprendra alors 6 bonds.

a - LONGUEUR DES BONDS (en KM)

| | | |
|-----------------------|---------------|------------|
| Birmandreis - - - - - | Naciria | - 71 Km |
| Naciria - - - - - | Akfadou | - 65,5 Km |
| Akfadou - - - - - | Djebel Mégris | - 77,3 Km |
| DJ Mégris - - - - - | DJ Trira | - 75,4 Km |
| DJ Trira - - - - - | DJ. Driss | - 51,5 Km. |

.../...

REMARQUE

La salle des équipements multiplexe d'Alger est reliée à Birmandreïs par câble

b - ALTITUDE DES STATIONS (en mètres)

| | | |
|-------------|-------|-------|
| Birmandreïs | ----- | -180 |
| Naciria | ----- | -888 |
| Akfadou | ----- | -1620 |
| DJ.Mogriss | ----- | -1737 |
| DJ.Trira | ----- | -1145 |
| DJ.Driss | ----- | 1215 |
| Constantine | ----- | -660 |

On retrouvera, à la fin de ce chapitre, le profil de chaque bond.

c-CHOIX DE LA HAUTEUR DES ANTENNES.

Pour le choix des hauteurs des antennes, on a tenu compte des deux règles suivantes :

-La ligne joignant les deux centres des antennes ne doit rencontrer aucun obstacle.

-On doit dégager le premier ellipsoïde de Fresnel, c'est à dire qu'aucun obstacle ne doit se trouver à l'intérieur de cet ellipsoïde, et cela pour éviter les diffractions.

Ces deux règles nous ont orientés vers le choix suivant :

| | Hauteur des antennes (en mètres) | |
|-------------|----------------------------------|------|
| Birmandreïs | ----- | 12 |
| Naciria | ----- | -25 |
| Akfadou | ----- | 25 |
| DJ.Mogriss | ----- | 25 |
| DJ.Trira | ----- | -115 |
| DJ.Driss | ----- | 30 |
| Constantine | ----- | 02 |

REMARQUE :

L'antenne de Constantine est disposée sur le toit du Building des PTT (Coudiat)

d-CHOIX DES ANTENNES.

Pour les longueurs des bonds de l'ordre de 60 Km et plus on a choisi des antennes paraboliques de 4 m de diamètre, alors que pour les longueurs inférieures à 60 Km on a pris des antennes de 3,3 m de diamètre.

e-PYLONES

Les pylônes sont du type auto-supporté. La hauteur d'un pylône est généralement égale à la hauteur de l'antenne augmentée de 2m !

II. - DONNEES CARACTERISTIQUES :

| | |
|--|------------------------|
| Bande de fréquence : | 6430 - 7110 MHz |
| Excursion efficace : | 200 KHZ _{eff} |
| Créneau téléphonique le moins favorable | 3886 KHZ |
| Caractéristique de préaccentuation : | 3,3 dB |
| Nombre de voies téléphoniques : | 960 |
| (2 canaux normaux + 1 canal de secours). | |
| | |
| Bruit despropre des émetteurs -récepteurs : | 14 pWop/ER |
| Bruit de modulation et de démodulation | 10 pWop/mod Dem. |
| Bruit d'intermodulation des émetteur récepteur : | 20pWop/ER |
| Bruit d'intermodulation des modulateurs démodulateurs : | 10 pWop/Mod Dem |
| Bruit d'intermodulation de la ligne : | 50 pWop |
| Facteur de bruit du récepteur : | 7 dB |
| Niveau d'action du seuil de réception : | - 80 dBm |
| Pertes du circuit d'aiguillage : | 3 dB |
| Pertes dans les feeders (guides d'onde) : | 5 dB par 100m |
| Diamètre des antennes : | 2; 3,3 ou 4 m |
| Rendement des antennes : | 0,6 |
| Pondération due à l'oreille : | 2,5 dB |
| Puissance d'émission : | 26,5 dBm |
| Fréquence centrale HF: | 6,77 GHz. |

III - Calcul de la liaison.

On se propose de calculer les quantités suivantes pour chaque bond:

- Gain des antennes

$$G(\text{dB}) = 20 \text{ Log } F + 20 \text{ Log } D - 81,8$$

D : diamètre de l'antenne en cm

F : porteuse en MHz

- Pertes Feeders

On détermine la longueur des Feeders utilisés dans un bond

$$L = L_1 + L_2$$

L_1 : longueur des Feeders du relais d'émission

L_2 : longueur des Feeders du relais de réception

L : longueur totale

Généralement la longueur des Feeders d'une station (émission ou réception) est égale à la hauteur de l'antenne augmentée de 5 m

$$P_f(\text{dB}) = (L_1 + L_2) \cdot 0,05$$

- Affaiblissement en espace libre

$$A(\text{dB}) = 20 \text{ Log } \frac{4\pi d}{\lambda}$$

λ : longueur d'onde

d : distance entre les relais

- Puissance reçue

$$P_r (\text{dBm}) = P_e + G_e + G_r - P_f - P_{aig} - A$$

P_e : puissance d'émission

G_e, G_r : gains des antennes d'émission et de réception

A : affaiblissement en espace libre

P_f : Pertes Feeders

P_{aig} : Pertes aiguillage.

- Rapport Signal / Bruit

On détermine ce rapport pour la voie téléphonique la plus défavorable ; dans notre cas on a $f = 3886 \text{ kHz}$.

$$\left(\frac{S}{B}\right) (\text{dB}) = P_r - 10 \log F - 10 \log kT - 10 \log B + 20 \log \frac{\Delta f}{f} + P_1 + P_2$$

P_r : puissance reçue

F : facteur de bruit du récepteur

k : constante de Boltzmann

T : température en degré Kelvin

B : bande la voie téléphonique ; $B = 4 \text{ kHz}$.

f : fréquence du créneau téléphonique le plus défavorable

Δf : excursion en fréquence

P_1 : puissance pseudométrique due à l'oreille

P_2 : pondération due à la préaccentuation

62

- Marge supplémentaire

Le CCIR fixe un rapport $(S/B) = 43$ dB pour qu'il y ait coupure de la liaison. On doit calculer la marge qu'on pourrait avoir dans notre cas

$$M = (S/B)_{\text{cal}} - 43$$

- Probabilité :

On calcule la probabilité pour que cette marge soit atteinte

$$10 \log P = 35 \log(D-5) + 10 \log F - M - 76$$

F: puissance en GHz dans notre cas $F = 6,77$ GHz

D: longueur du bond en km.

- Calcul du Bruit

On l'exprime en pW_{op} .

$$B_{pW_{op}} = 10^{\frac{90 - (S/B)_{\text{cal}}}{10}}$$

Tous ces résultats ont été groupés dans un tableau pour chaque bond.

Pour vérifier la qualité de notre liaison on doit satisfaire les deux conditions.

$$a) \sum_{i=1}^6 P_i \leq \frac{L}{2500} \times 0,1 \%$$

L = longueur totale de la liaison (349,5 km).

6/ le Bruit introduit dans la ligne ne doit pas dépasser 3 pWop/km

* a/. On a: $\frac{L}{2500} \times 0,1\% = 0,014\%$

Or dans notre cas on a $P_3 = 0,0168\%$, elle est supérieure à la probabilité fixée par le CCIR

On utilisera la diversité d'espace pour améliorer cette probabilité aux bonds suivants:

Bimandouss - Naciria 71 kms

Akfador - Djebel Megriis 77,3 kms.

On disposera les antennes secondaires (identiques aux antennes principales) de la manière suivante:

1^{er} bond: 9m en dessous

3^e bond: 10m en dessous

Le gain en diversité est donné par la relation suivante:

$$I_e = \frac{1,25 \cdot 10^{-3} \cdot V^2 \cdot G^2 \cdot F_0}{d \cdot L^2}$$

On prend généralement $V=1$.

S: distance séparant les 2 antennes

L: probabilité pour qu'un affaiblissement supérieur à L par rapport au niveau en espace libre se produise

d: longueur du bond en km.

F₀: fréquence en GHz.

en faisant le calcul on obtient les gains suivants

1^{er} bond $I_e = 42,93$

$$3^{\circ} = \text{bond} \quad I_c = 36,15$$

Les nouvelles probabilités sont.

$$P'_1 = 0,000207\%$$

$$P'_3 = 0,000464\%$$

On a:

$$\sum_{i=1}^6 P_i = 0,013\%$$

On voit bien que $\sum_{i=1}^6 P_i < P_{ccir}$

* b/ Bilan du Bruit :

| Bruit : | Nb | Bruit (pWop) |
|---------------------------|----|--------------|
| Emetteur - Récepteur | 6 | 84 |
| Modulateur - Demodulateur | 1 | 10 |
| Intermodulation E.-R | 6 | 120 |
| Intermodulation Mod-Dem. | 1 | 10 |
| ligne. | | 50 |
| Bruit thermique. | | 64 |

Bruit total

338

remarque: le bruit thermique est obtenu en faisant la somme des bruits de chaque bond.

Le CCIR fixe un bruit à ne pas dépasser de 3 pWop/km donc dans notre cas il ne faut pas dépasser

$$3 \times 349,5 = 1048,5 \text{ pWop}$$

Or on a le bruit total qui est égal à 338 pWop

Cette deuxième condition étant vérifiée, donc notre liaison est bonne

65

IV Plan de fréquence. voir fig.

On utilisera un plan à deux fréquences F_1 et F'_1 , un relais émet à la fréquence F_1 (ou F'_1) et reçoit à la fréquence F'_1 (ou F_1).

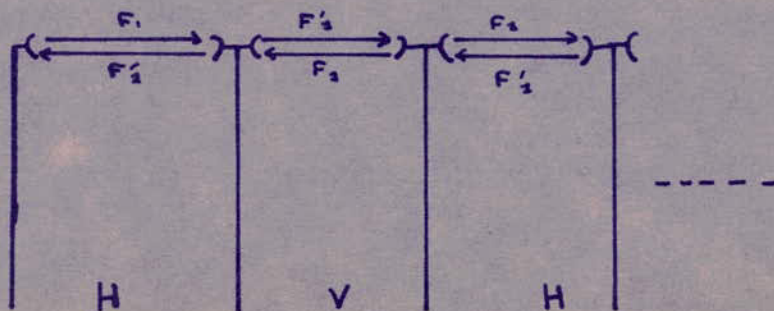
Les canaux seront suffisamment écartés les uns des autres, pour éviter leur brouillage mutuel.

On affectera par exemple :

- le canal N°1 à la fréquence centrale 6440 MHz.
- le canal N°2 à la fréquence centrale 6520 MHz.
- le Canal de secours à la fréquence centrale 6680 MHz.

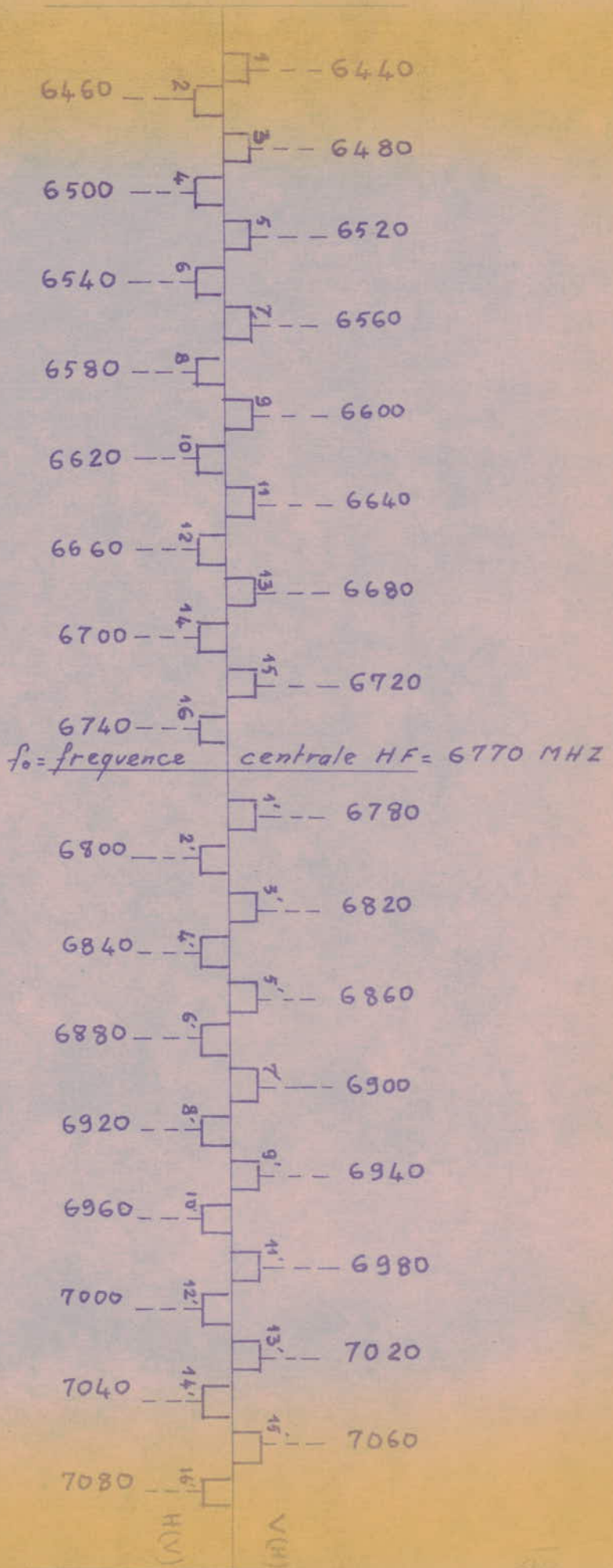
Remarque : dans le cas, où on veut étendre la capacité de la liaison à 3 + 1. on prendra la fréquence centrale de ce dernier égale à 6600 MHz.

Malgré cette précaution, la protection des canaux, reste insuffisante. Pour l'améliorer on utilisera une polarisation des différents bords. voir schéma :



Cette polarisation des bords nous permet d'améliorer le couplage des antennes qui sont placés dos à dos.

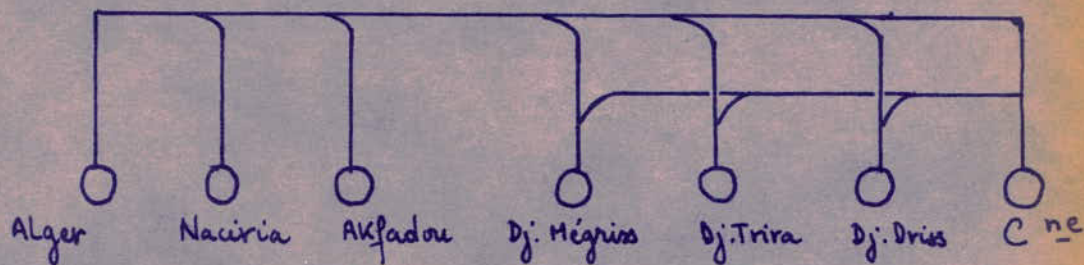
fig : PLAN DE REPARTITION DES FREQUENCES



I Système de commutation et Télésurveillance.

a/ Télésurveillance.

Le système de télé-surveillance est le suivant :



On aura 2 stations surveillantes Alger et Constantine

Les stations de Naciria et de l'AKfadou envoient leur signaux de télé-surveillance à la station surveillante d'Alger.

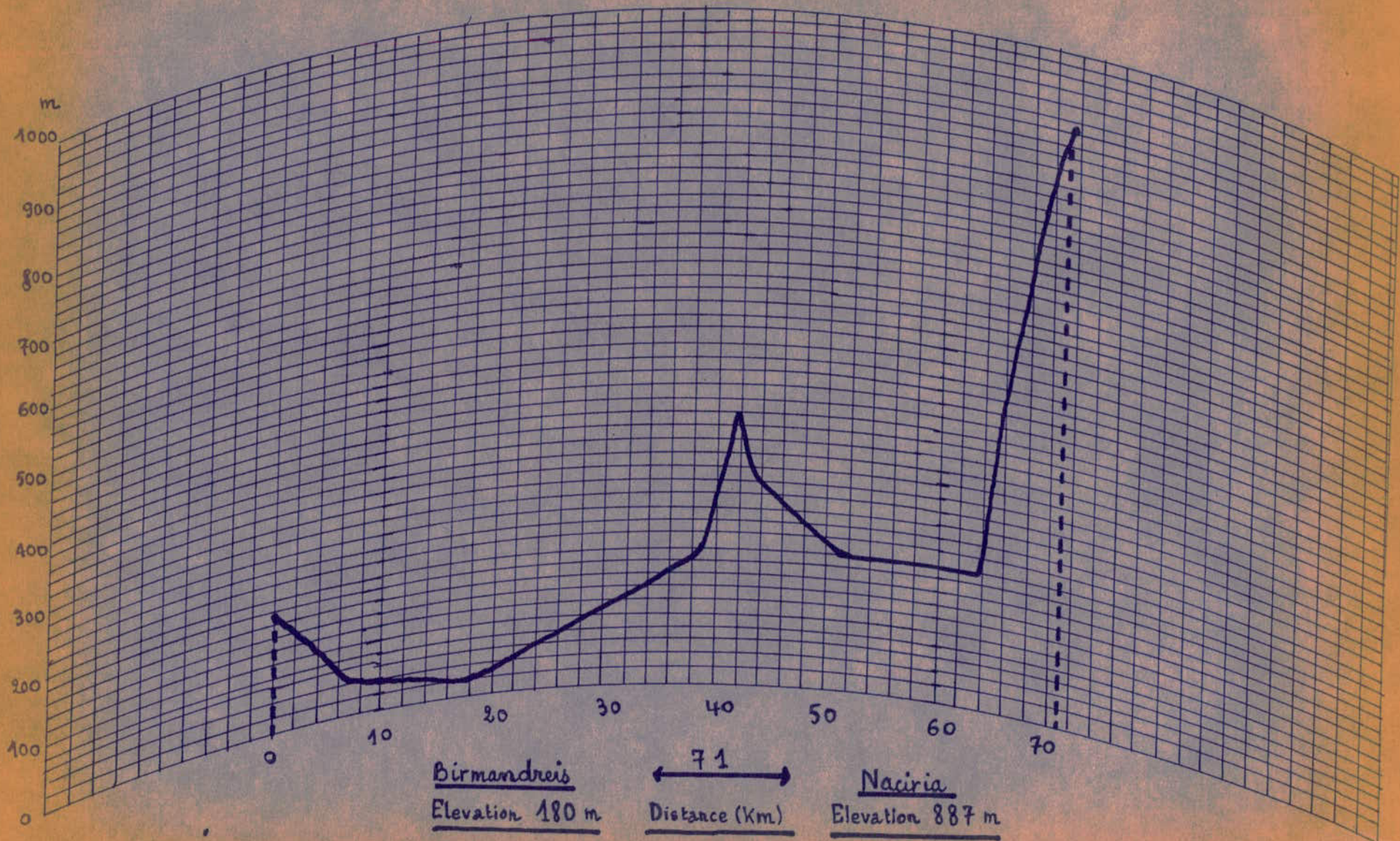
Par contre les autres stations relais envoient simultanément leur signaux à Alger et au centre régional de contrôle de Constantine : Ceci permet au personnel de dépannage de rejoindre rapidement les lieux défectueux.

b/ Commutation.

Les stations terminales (Alger et Constantine) seront équipées d'équipements de permutation permettant le passage d'un canal défectueux à un canal de secours.

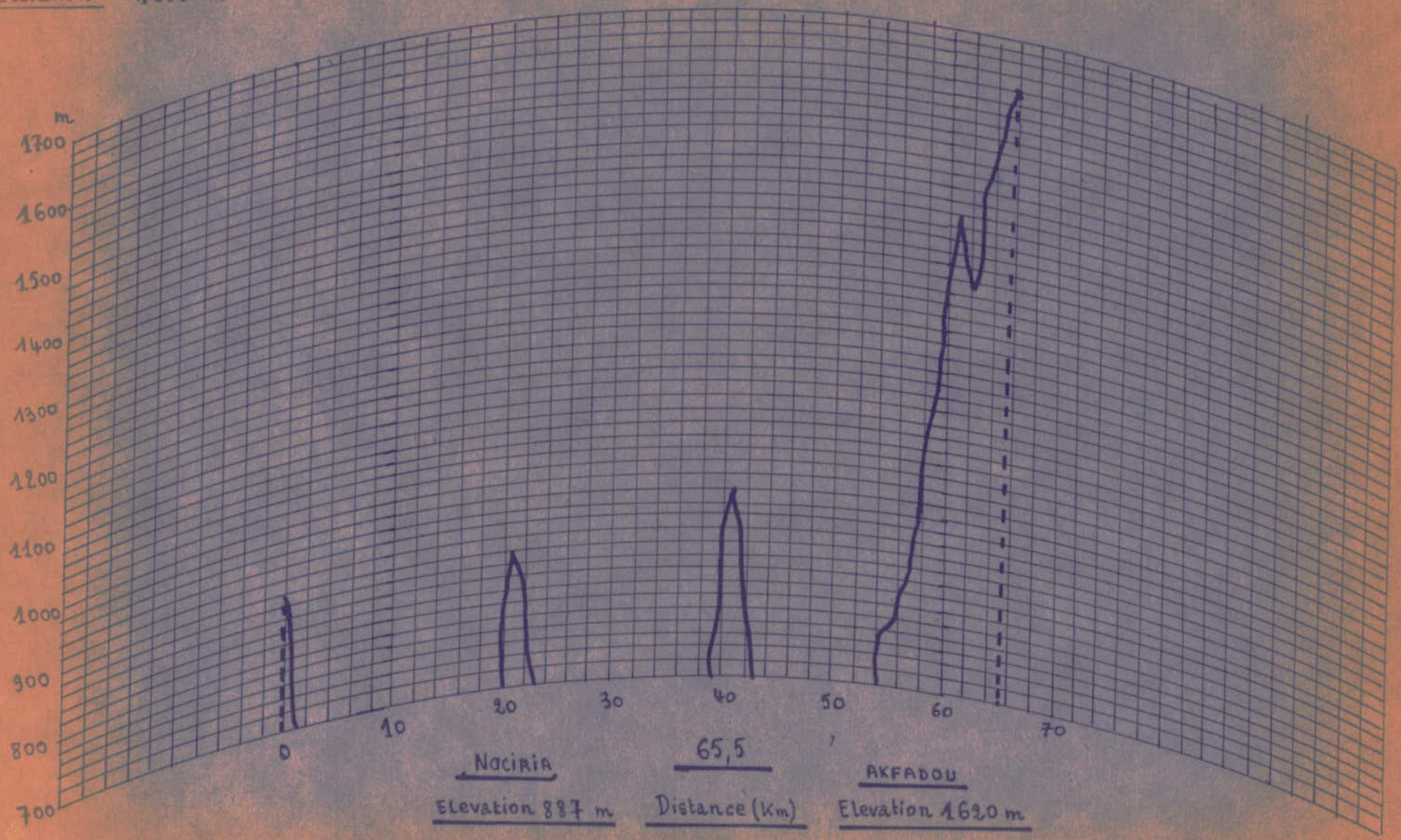
Distance 130 Km

Elevation 1000 m



BOND N° 1

Distance 120 Km
Elevation 4000 m



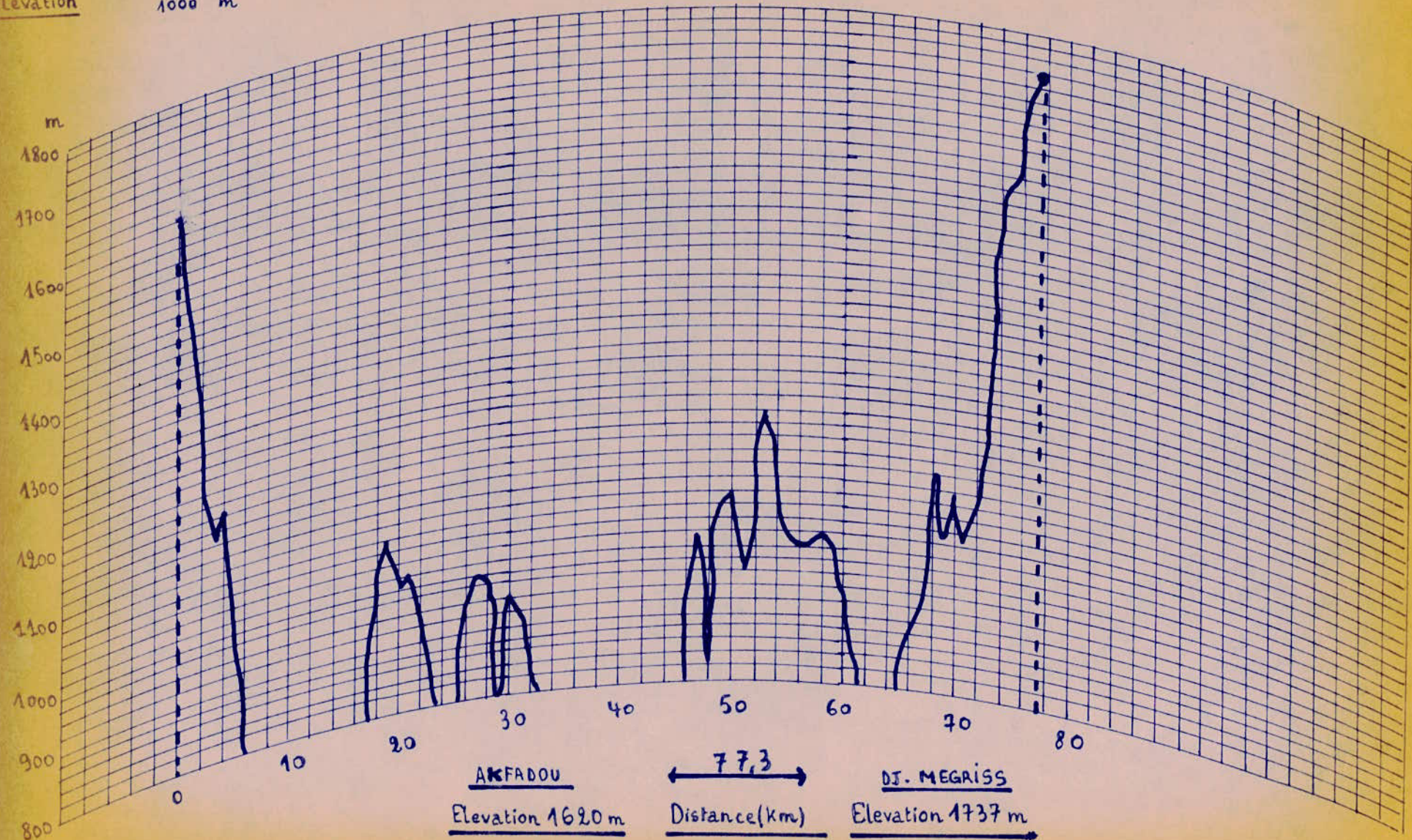
NOCIRIA
Elevation 887 m

65,5
Distance (km)

AKFADOU
Elevation 1620 m

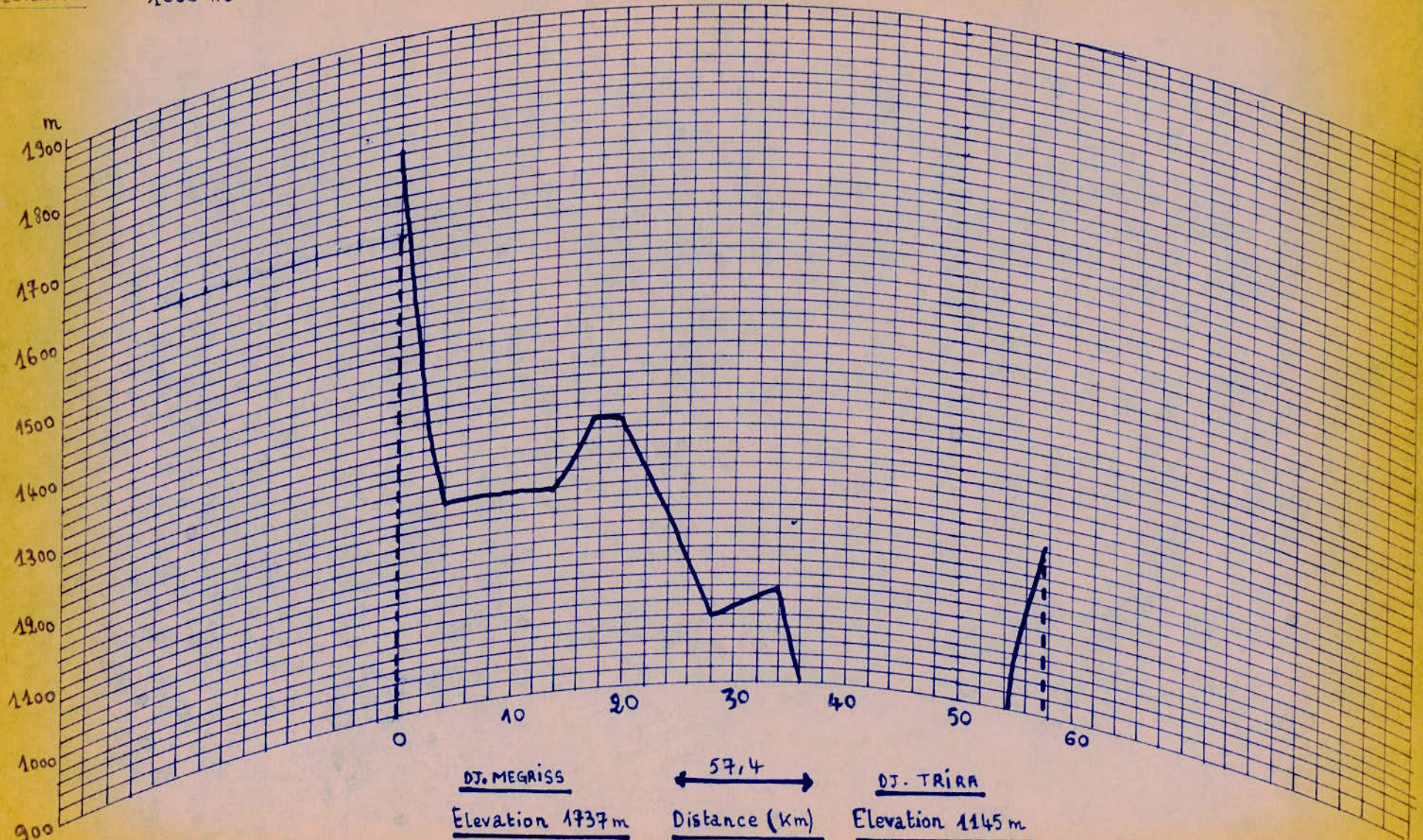
BOND N° 2

Distance 120 km
Elevation 1000 m



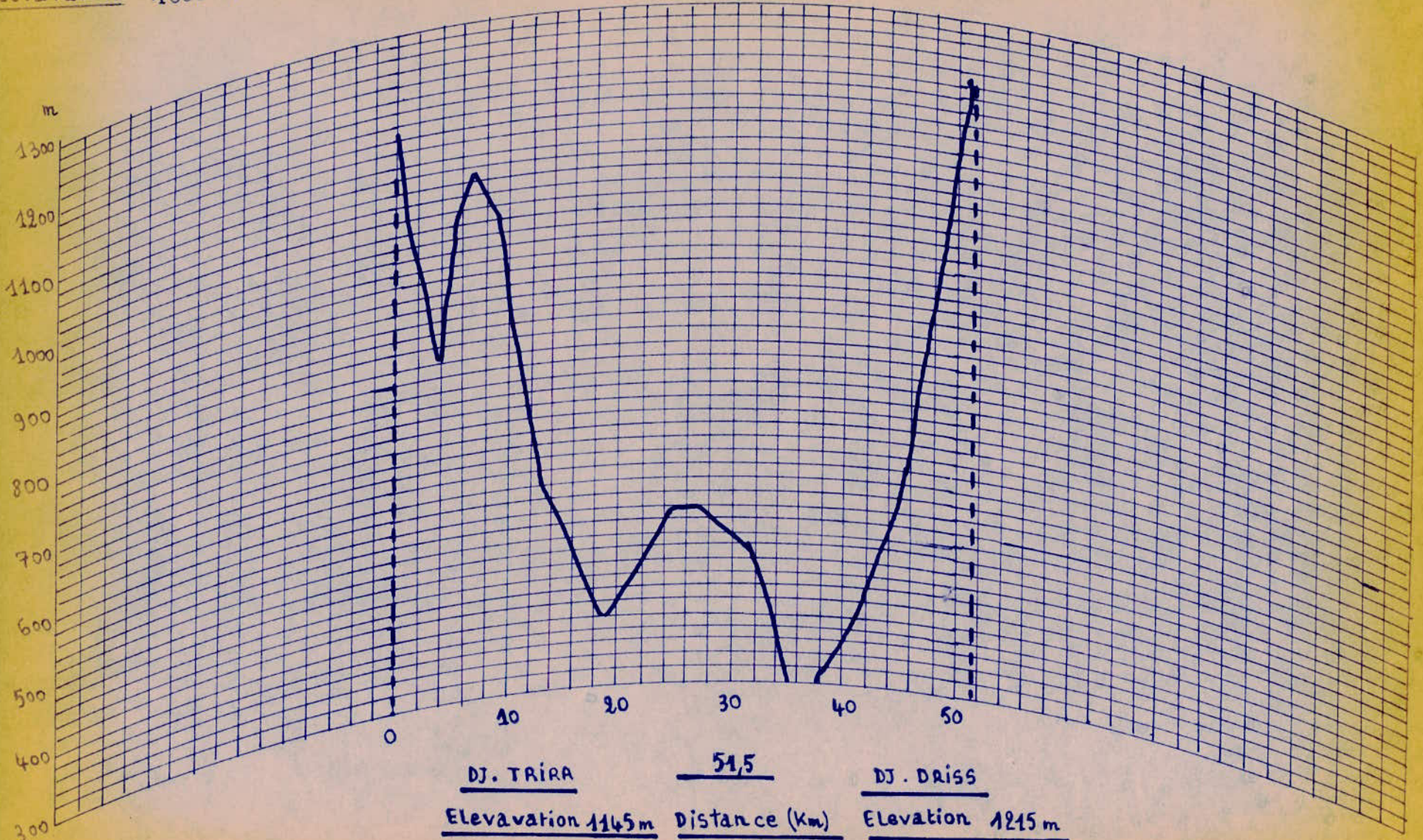
BOND N° 3

Distance 120 Km
Elevation 1000 m



BOND N° 4

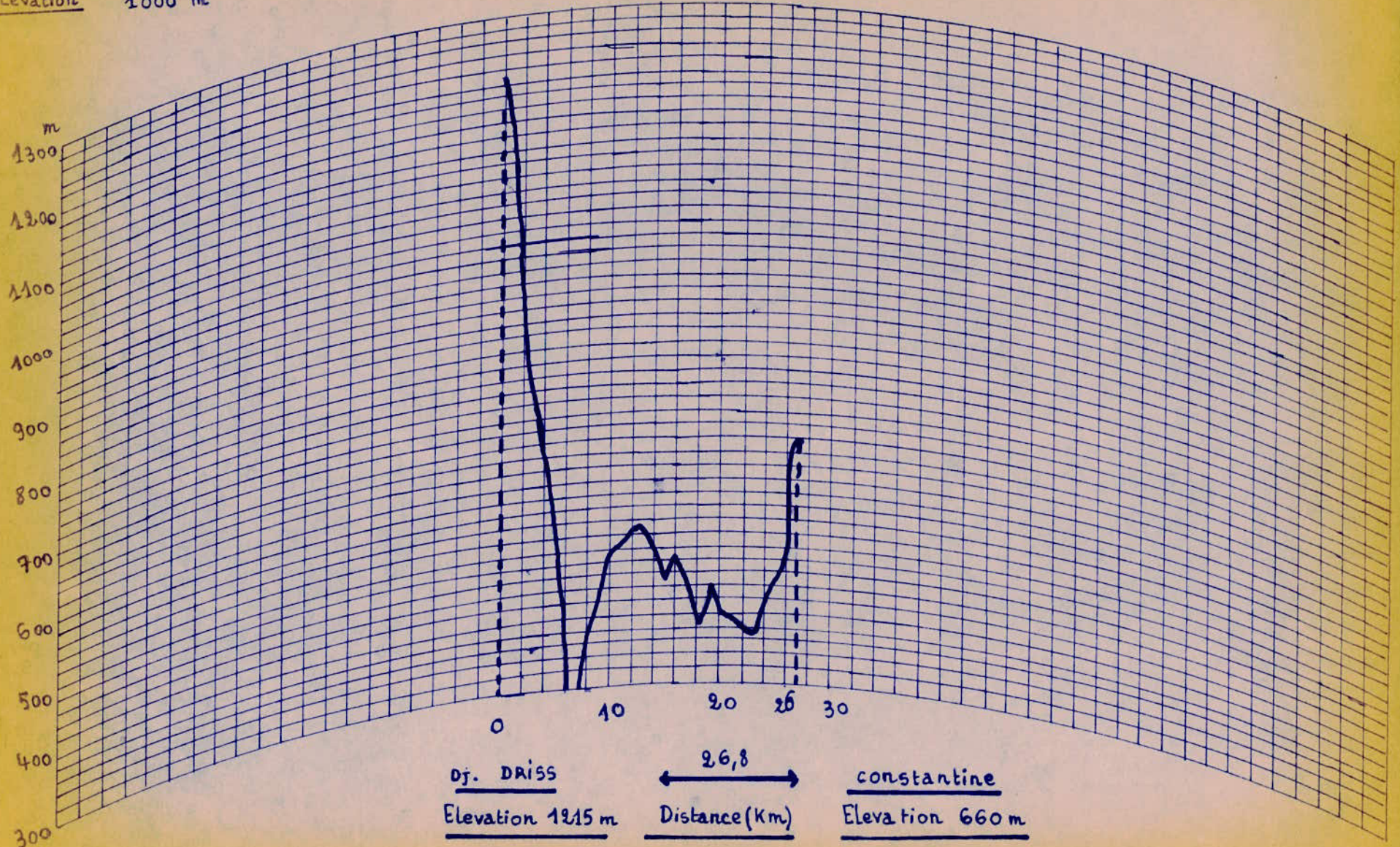
Distance 120 Km
Elevation 1000 m



DJ. TRIRA 51,5 DJ. DRISS
Elevation 1145 m Distance (Km) Elevation 1215 m

BOND N° 5

Distance 120 Km
Elevation 1000 m



Dj. DRAISS
Elevation 1315 m

26,8
Distance (Km)

constantine
Elevation 660 m

BOND N° 6

BOND N°1

Birmandreis Naciria

Distance : 71 Kms

ANTENNES ET FEEDERS

| Birmandreis | | | | Naciria | | | | G _{tot} (dB) | L _{tot} (m) |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------------|--------------------------|---------------------------|
| H(m) | φ(m) | G(dB) | L(m) | H(m) | φ(m) | G(dB) | L(m) | | |
| 12 | 4 | 46,85 | 17 | 25 | 4 | 46,85 | 30 | 93,7 | 47 |
| Pertes Feeders (dB) | Pertes Aiguil. (dB) | Pertes en espace libre (dB) | Pertes totales (dB) | Puissance reçue (dBm) | (S/B) _{cal} (dB) | (S/B) _{ccir} (dB) | Marge (dB) | Probabilité | Bruit (pW _{op}) |
| 2,35 | 3 | 146,14 | 151,49 | -31,29 | 79,5 | 43 | 36,5 | 8,88 10 ⁻⁵ | 11,22 |

BOND N° 2

Naciria

Akfadou

Distance: 65,5 kms

ANTENNES ET FEEDERS

| Naciria | | | | Akfadou | | | | G _{tot} (dB) | L _{tot} (m) |
|---------------------------|--------------------------|---|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| H(m) | φ(m) | G(dB) | L(m) | H(m) | φ(m) | G(dB) | L(m) | | |
| 25 | 4 | 46,85 | 30 | 25 | 4 | 46,85 | 30 | 93,7 | 60 |
| Pertes Feeders (dB) | Pertes Aiguil (dB) | Pertes en espace libre (dB) | Pertes totales (dB) | Puissance reçue (dBm) | (S/B) _{cal} (dB) | (S/B) _{ccir} (dB) | Marge (dB) | Probabilite | Bruit (pWop) |
| 3 | 3 | 145,43 | 151,43 | -31,23 | 79,56 | 43 | 36,56 | 6,46 10 ⁻⁵ | 11,07 |

BOND N°3

Akfadou Djebel Megriss

Distance : 77,3 Kms

ANTENNES ET FEEDERS

| Akfadou | | | | Djebel Megriss | | | | G _{tot} (dB) | L _{tot} (m) |
|---------------------------|---------------------------|---|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|
| H(m) | Φ(m) | G(dB) | L(m) | H(m) | Φ(m) | G(dB) | L(m) | | |
| 25 | 4 | 46,85 | 30 | 25 | 4 | 46,85 | 30 | 93,7 | 60 |
| Pertes Feeders (dB) | Pertes Aiguil. (dB) | Pertes en espace libre (dB) | Pertes totales (dB) | Puissance reçue (dBm) | (S/B) _{cal} (dB) | (S/B) _{ccir} (dB) | Marge (dB) | Probabilité | Bruit (pWop) |
| 3 | 3 | 146,87 | 152,87 | -32,67 | 78,12 | 43 | 35,12 | 1,68.10 ⁻⁴ | 15,85 |

BOND N°4

Djebel Megriss Djebel Trira

Distance : 57,4 Kms

ANTENNES ET FEEDERS

| Djebel Megriss | | | | Djebel Trira | | | | G _{tot} (dB) | L _{tot} (m) |
|---------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------------|--------------------------|-------------------------|
| H(m) | Φ(m) | G(dB) | L(m) | H(m) | Φ(m) | G(dB) | L(m) | | |
| 25 | 4 | 46,85 | 30 | 15 | 4 | 46,85 | 20 | 93,7 | 50 |
| Pertes Feeders (dB) | Pertes Aiguil (dB) | Pertes en espace libre (dB) | Pertes totales (dB) | Puissance reçue (dBm) | (S/B) _{cal} (dB) | (S/B) _{ccir} (dB) | Marge (dB) | Probabilité | Bruit (pWop) |
| 2,5 | 3 | 144,29 | 149,79 | -29,59 | 81,2 | 43 | 38,20 | $2,68 \cdot 10^{-5}$ | 7,59 |

BOND N° 5

Djebel Tira Djebel Driss
Distance : 51,5 Kms

ANTENNES ET FEEDERS

| Djebel Tira | | | | Djebel Driss | | | | G _{tot} (dB) | L _{tot} (m) |
|---------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|----------------------------|------------|--------------------------|---------------------------|
| H(m) | Φ(m) | G(dB) | L(m) | H(m) | Φ(m) | G(dB) | L(m) | | |
| 15 | 3,3 | 45,18 | 20 | 30 | 3,3 | 45,18 | 35 | 90,36 | 55 |
| Pertes Feeders (dB) | Pertes Aiguil. (dB) | Pertes en espace libre (dB) | Pertes totales (dB) | Puissance reçue (dBm) | (S/B) _{cal} (dB) | (S/B) _{ccir} (dB) | Marge (dB) | Probabilité | Bruit (pW _{op}) |
| 2,75 | 3 | 143,35 | 149,1 | -32,24 | 78,59 | 43 | 35,59 | 3,21.10 ⁻⁵ | 13,8 |

BOND N°6

Djebel Driss Constantine

Distance : 26,8 Kms

ANTENNES ET FEEDERS

79

| Djebel Driss | | | | Constantine | | | | G_{tot} (dB) | L_{tot} (m) |
|---------------------------|---------------------------|---|---------------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------|---------------|----------------------|------------------|
| H(m) | Φ (m) | G(dB) | L(m) | H(m) | Φ (m) | G(dB) | L(m) | | |
| 30 | 3,3 | 45,18 | 35 | 2 | 3,3 | 45,18 | 35 | 90,36 | 70 |
| Pertes Feeders (dB) | Pertes Aiguil. (dB) | Pertes en espace libre (dB) | Pertes totales (dB) | Puissance reçue (dBm) | (S/B) cal (dB) | (S/B) ccir (dB) | Marge (dB) | Probabilité | Bruit (pWop) |
| 3,5 | 3 | 137,67 | 144,17 | -27,31 | 83,52 | 43 | 40,52 | $7,28 \cdot 10^{-7}$ | 4,47 |

TABLEAU RECAPITULATIF

| BONDS | Distance (km) | ANTENNES | | | | FEEDERS | | Pertes en espace libre (dB) | Pertes Circuit Aiguillage (dB) | Pertes totales (dB) | Puissance reçue (dBm) | (S/B) _{cal} (dB) | G/B _{ccir} (dB) | Marge (dB) | Probabilité | DIVERSITE | | Bruit (pWop) |
|-------------|---------------|----------|-------|--------|-----------|---------|-------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|------------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------------|
| | | H (m) | φ (m) | G (dB) | Gtot (dB) | L (m) | Pertes (dB) | | | | | | | | | Gain (dB) | Probabilité | |
| Birmandreis | 71 | 12 | 4 | 46,85 | 93,7 | 17 | 2,35 | 1,6,14 | 3 | 151,49 | -31,29 | 79,50 | 4,3 | 36,50 | 8,88 · 10 ⁻⁵ | 42,93 | 2,07 · 10 ⁻⁶ | 11,22 |
| Naciria | | 25 | 4 | 46,85 | | 30 | | | | | | | | | | | | |
| Naciria | 65,5 | 25 | 4 | 46,85 | 93,7 | 30 | 3 | 1,5,43 | 3 | 151,43 | -31,23 | 79,56 | 4,3 | 36,56 | 6,46 · 10 ⁻⁵ | — | 6,46 · 10 ⁻⁵ | 11,07 |
| Akfadou | | 25 | 4 | 46,85 | | 30 | | | | | | | | | | | | |
| Akfadou | 77,3 | 25 | 4 | 46,85 | 93,7 | 30 | 3 | 1,6,87 | 3 | 152,87 | -32,67 | 78,12 | 4,3 | 35,12 | 1,68 · 10 ⁻⁴ | 36,15 | 4,64 · 10 ⁻⁶ | 15,85 |
| D. Megriss | | 25 | 4 | 46,85 | | 30 | | | | | | | | | | | | |
| D. Megriss | 57,4 | 25 | 4 | 46,85 | 93,7 | 30 | 2,5 | 1,4,29 | 3 | 149,79 | -29,59 | 81,20 | 4,3 | 38,20 | 2,68 · 10 ⁻⁵ | — | 2,68 · 10 ⁻⁵ | 7,59 |
| D. Trira | | 15 | 4 | 46,85 | | 20 | | | | | | | | | | | | |
| D. Trira | 51,5 | 15 | 3,3 | 45,18 | 90,36 | 20 | 2,75 | 1,4,35 | 3 | 149,1 | -32,24 | 78,59 | 4,3 | 35,59 | 3,21 · 10 ⁻⁵ | — | 3,21 · 10 ⁻⁵ | 13,8 |
| D. Driss | | 30 | 3,3 | 45,18 | | 35 | | | | | | | | | | | | |
| D. Driss | 26,8 | 30 | 3,3 | 45,18 | 90,36 | 35 | 3,5 | 1,37,67 | 3 | 144,17 | -27,31 | 83,52 | 4,3 | 40,52 | 7,28 · 10 ⁻⁷ | — | 7,28 · 10 ⁻⁷ | 4,47 |
| Constantine | | 2 | 3,3 | 45,18 | | 35 | | | | | | | | | | | | |

CONCLUSION

Au cours de l'étude du projet de notre liaison, nous avons bien contrôlé les résultats de nos calculs et cela conformément aux avis du C.C.I.R.

C'est ce qui nous a poussé, par exemple, à utiliser la diversité d'espace dans les deux bords : BIRMANDRES - NACIRIA et AKFADOU - Djebel Megriss.

En ce qui concerne l'emplacement des antennes, il a été choisi judicieusement de manière à pouvoir s'en servir pour le réseau de communication futur qui comportera 2700 voies de transmission.

pour l'extension du réseau à 2700 voies, on utilisera donc les mêmes sites que pour le réseau à 960 voies, mais on augmentera la hauteur des antennes de 5 mètres environ.

Pour terminer, nous tenons à remarquer que les transmissions par F.H. ne vont pas remplacer définitivement les transmissions par câbles, mais au contraire elles vont se compléter de façon à former un réseau de communication bien structuré.

