

UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE  
HOUARI BOUMEDIENE

23/82

202

Ecole Nationale Polytechnique  
Département d'Electronique

C. S. T. N Laboratoire de Télédétection



# THESE D'INGENIORAT OPTION ELECTRONIQUE

ETUDE D'UN SYSTEME DE TELEMESURE  
REALISATION DE LA PARTIE TRANSMISSION  
RADIOELECTRIQUE



Proposé par :  
A. ABDELLAOUI  
Dr de Spécialité

Etudié par :  
DJEKBAR  
Fatima-Zohra, Widad

HOUARI  
Ratiba

Promotion Janvier 1982



W I D A D .

A MA MERE, A QUI JE DOIS TOUT.

A MON ONCLE M<sup>r</sup> HAMED.

A MA TANTE AOUA

A MA SOEUR NAIMA.

A MES FRERES :

MADJID

ALI

ABDELHADI

SOUFIANE.

A TOUTE MA FAMILLE.

A TOUS MES AMIS ( IES).

R A T I B A .

A LA MEMOIRE DE MES GRANDS PERES

A MES GRANDS MERES.

A MA MERE, A MON PERE.

A MES FRERES :

OKBA

ZINDU

A MES ONCLES ET TANTES.

A MES COUSINS ET COUSINES.

A TOUTE MA FAMILLE.

A TOUS MES AMIS ( IES).

W I D A D .

## REMERCIEMENTS.

Le modeste travail a été effectué, sous la Direction de MR A. ABDELLAOUI, notre promoteur, qui malgré ses nombreuses occupations, n'a pas failli à la tâche qu'il s'est imposée. Et c'est grâce à ses conseils judicieux, que ce projet a été élaboré. Aussi avec nos remerciements, nous lui exprimons toute notre reconnaissance.

Tout d'abord, nous commencerons par remercier, MR HALIMI du C S T N qui nous initia et nous orienta au début de notre travail.

C'est aussi que, nos remerciements vont à MR KACIMI, qui nous orienta, vers L' Ecole Supérieure de Transmission ( E.S.T.), où Le Commandant Larbi BENDAHMANE, nous permis l'accès. Nous adressons nos vifs remerciements, au Commandant.

Nous remercions, également, Capitaine Ali BELKHIRI, pour son aide précieuse théorique et technique, pour son soutien moral, et pour l'estime qu'il nous porta.

Un grand merci, au Lieutenant Zoubir BENSELMA, pour tous les efforts qu'il déploya, pour tous les conseils éclairés qu'il nous prodigua, pour la réussite de ce projet de fin d'études.

Nous n'oublierons pas de remercier, tout le personnel du Laboratoire 215 ( E.S.T.). Nous citerons MRS BOULEBNANE, SELLAOUI, SELMANE, et Aspirant MEDJOU DJ, pour leur coopération technique, tout au long de notre travail.

En dernier, nous remercierons MR DJEBBAR Salah, pour son aide technique, ainsi que la Section d'imprimerie EL-FETH De Skikda.

Enfin, nous remercions, tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin à l'élaboration de ce projet; de même que ceux qui ont contribué à notre formation; qu'ils trouvent ici, l'expression de notre gratitude.

بسم الله الرحمن الرحيم

و بسم

يستعمل موضوع عملنا بتقنية الاسس النظرية  
للقياس عن بعد ولادارة المسافة ودراسة وانجاز شبكة  
الارسال والاستقبال في شريط 27 ميغا هرتز في تغيير السعة  
التي تمكن من نقل وتحويل مقاييس فيزيائية من موقع  
ما الى المخبير .

L'objet de notre travail est de présenter les bases théoriques de  
télémesure et télécommande puis d'étudier et de réaliser la chaîne d'émission-  
réception dans la bande 27 MHz en modulation d'amplitude permettant de trans-  
mettre des mesures physiques d'un site au laboratoire .

\_\_\_ . S O M M A I R E . \_\_\_

INTRODUCTION.

C\_H\_A\_P\_I\_T\_R\_E / I . NOTIONS DE TELEDETECTION.

I INTRODUCTION

I-1 PRESENTATION DE LA TELEDETECTION

I-2 COMPOSITION D'UN SYSTEME DE TELEDETECTION

II-LES DIFFERENTES ETAPES D'UNE TELEDETECTION

III-CONCLUSION

C\_H\_A\_P\_I\_T\_R\_E / II . ETUDE DE LA CHAINE DE MESURE.

INTRODUCTION.

I LES CAPTEURS

II SYSTEME D'EMISSION- RECEPTION RADIOELECTRIQUE

II-1 . L'EMETTEUR

II-1-1 LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUES D'UN EMETTEUR

II-1-2 CONSTITUTION D'UNE CHAINE D'EMISSION

II-2 LE RECEPTEUR

II-2-1 CARACTERISTIQUES DU RECEPTEUR

II-2-2 CONSTITUTION D'UNE CHAINE DE RECEPTION.

C\_H\_A\_P\_I\_T\_R\_E / III. LA MODULATION.

I INTRODUCTION

II PRINCIPE

III MODULATION D'AMPLITUDE OU MODULATION ANALOGIQUE LINEAIRE

III-1 PROCEDE

III-2 CALCUL DE LA PUISSANCE DE L'ONDE MODULEE

III-3 DETECTION OU DEMODULATION

IV MODULATION ANALOGIQUE NON LINEAIRE

C\_H\_A\_P\_I\_T\_R\_E / I V . TELECOMMANDE ET TELEMESURE

I INTRODUCTION

II TELECOMMANDE

II-1 GENERALITES ET DEFINITIONS

II-2 DIFFERENTS TYPES DE TELECOMMANDES

II-2-1 TELECOMMANDE D'INSTALLATIONS FIXES

II-2-2 TELECOMMANDE D'ENGINS MOBILES

II-3 COMPOSITION DE LA CHAINE DE TELECOMMANDE

II-4 DIFFERENTES ETAPES D'UNE TELECOMMANDE

II-5 CONCLUSION

### III TELEMESURE

III-1 INTRODUCTION

III-2 PRINCIPE

III-3 CLASSES DE LA TELEMESURE

III-4 CLASSIFICATION DU SYSTEME DE TELEMESURE

III-5 TELEMESURE RADIO

III-5-1 DOMAINE D'APPLICATION

III-5-2 QUANTITES A MESURER

III-5-3 PROCEDES DE TELEMESURE

## C H A P I T R E / V : REALISATION DE L'EMETTEUR - RECEPTEUR

### 1 ère PARTIE : L'EMETTEUR

I CALCUL DE L'ETAGE H F

II CALCUL DE L'ETAGE OSCILLATEUR

III CALCUL DE L'ETAGE B F

### 2 ème PARTIE : LE RECEPTEUR

I CHOIX DU SCHEMA SYNOPTIQUE DU RECEPTEUR

II CIRCUIT D'ENTREE

III L'OSCILLATEUR

IV LE MELANGEUR

V ETAGES F I

VI DETECTION ET CAG

VII AMPLIFICATEUR B F

## CONCLUSION

## INTRODUCTION.

Télécommande et télémésure ont de nombreux points communs. Ils sont utilisés dans de nombreux domaines, entre autre dans le cadre des engins spéciaux et dans l'ensemble plus général des communications interplanétaires.

Dans un système de télédétection, la télémésure s'avère indispensable pour la transmission de données acquises au niveau du capteur vers le centre de dépouillement.

Les mesures de certains paramètres atmosphériques notamment en météo (température, humidité,) s'effectuent à partir de ballon-sonde ou de fusée-sonde. Le capteur sera embarqué à bord d'un engin, les mesures obtenues sont transmises vers une station terrestre de réception.

Dans le cas où l'on s'intéresse à des expériences ponctuelles qui consistent en la mesure de certaines grandeurs physiques du milieu, le capteur se trouve alors sur site; Pour la transmission des données acquises aussi bien à bord d'engin que sur site, une chaîne d'émission-réception est nécessaire.

L'introduction d'une télécommande au niveau de la station terrestre évitera le fonctionnement continu de l'émetteur se trouvant sur site ou à bord de l'engin.

Elle permettra d'obtenir les paramètres mesurés à volonté (à des moments voulus)

Dans notre travail on a essayé de donner quelques notions de base sur la télémésure et télécommande, on a enchaîné par l'étude et la réalisation de la partie transmission radioélectrique qui rentre dans le cadre de tout un projet consistant à mesurer des propriétés du milieu terrestre telle que la température du sol, de la transmettre et de la traiter.



## I/ INTRODUCTION.

### I - 1 . Présentation de la télédétection.

La télédétection est une nouvelle technique d'observation de la terre et de ses res=  
=sources.

La télédétection désigne tout système ou processus permettant d'acquérir des in=  
=formations à distance, c'est à dire sans qu'il y ait contact physique entre l'appareil  
de mesure ou détecteur et l'objet étudié.

Elle est basée sur le principe que chaque objet absorbe, émet, diffuse et réfléchit des  
rayonnements qui lui sont propres et que l'on peut enregistrer et analyser. Ces rayon=  
=nements contiennent des informations sur l'objet en question.

La télédétection a recours à l'utilisation des ondes électro -magnétiques .  
Les différentes gammes du spectre électromagnétique utilisées sont : le visible, l'infra=  
=rouge et les ondes radar.

Ces ondes électromagnétiques sont issues de sources naturelles comme le soleil, la terre  
ou artificielles comme le laser, le radar. De manière générale, elles sont perturbées par  
le milieu de propagation: l'atmosphère.

En télédétection, il existe deux types de techniques:

- Les techniques passives où l'on se contente d'enregistrer l'énergie naturelle émise  
ou réfléchiée par la terre.

Elles correspondent aux sources naturelles qui ont comme avantages "gratuites "; et pour  
inconvénient de ne pas être cohérentes.

- Les techniques actives où l'on éclaire la zone à étudier avant d'enregistrer l'éner=  
=gie qu'elle renvoie vers le détecteur. Elles utilisent les sources artificielles.

I - 2 Composition d'un système de télédétection.

Il comprend:

-Une zone émettant un certain rayonnement

- un milieu de propagation

- une zone d'observation dans laquelle sont embarqués:

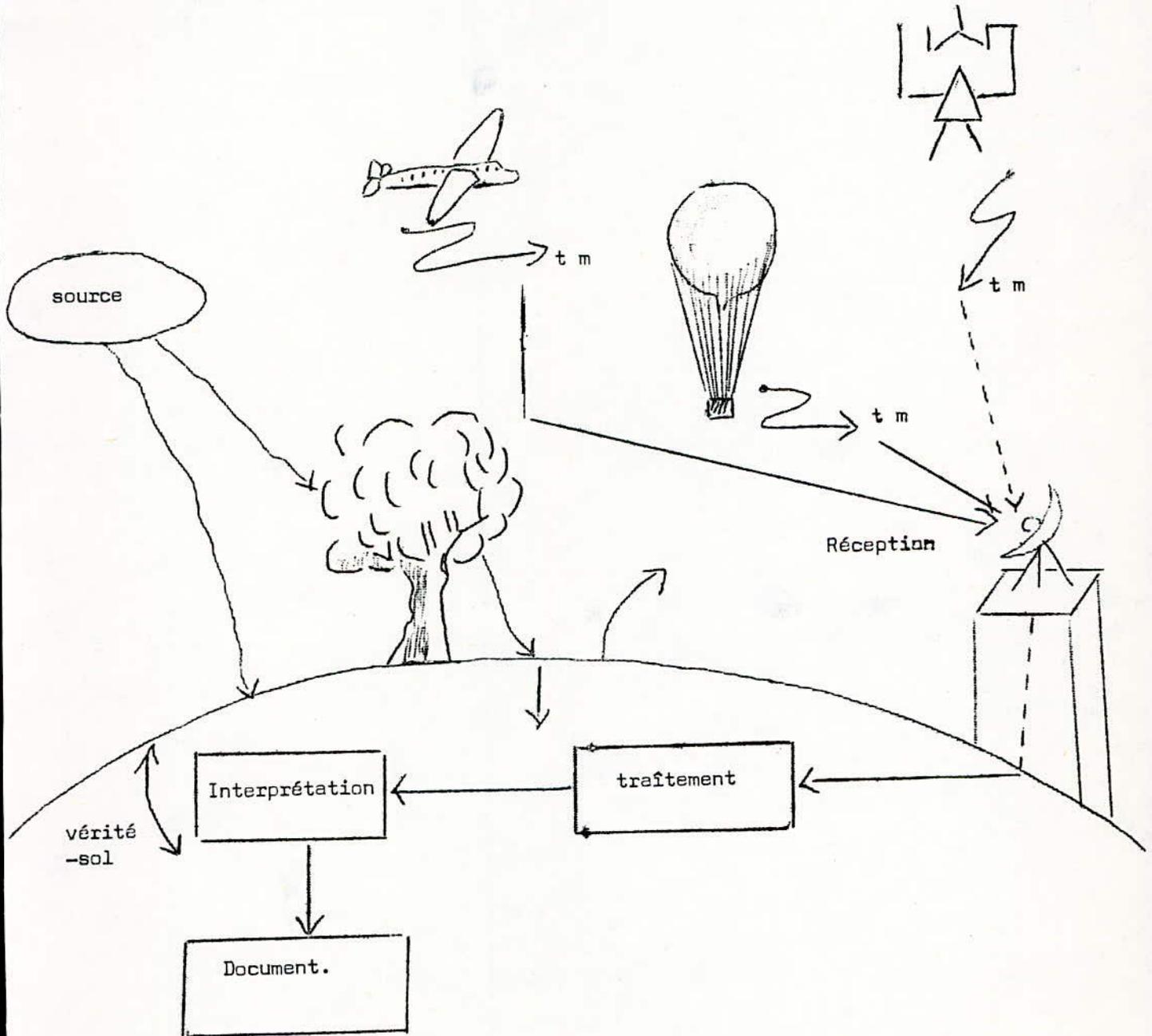
\* des capteurs travaillant dans ~~les~~ domaines du spectre électromagnétique.

\* un système de transmission par télémesure.

\* Un système d'enregistrement.

Le choix de la zone d'observation dépend des objectifs de l'étude. Elle peut être au sol pour des expériences ponctuelles, aéroportées ou par satellite.

-Un centre de recueil de données et de prétraitement et des centres d'interprétation dont le but principal est d'établir une corrélation entre le rayonnement mesuré et la nature des objets au sol émettant ce rayonnement.



## II. Les différentes étapes d'une télédétection.

- L'acquisition d'informations
- Traitement de ces informations
- Interprétation.

### -L'acquisition d'informations.

Les informations se présentent sous forme de rayonnement électro-magnétique émis ou réfléchi par les objets au sol.

Cette acquisition peut s'effectuer selon différentes techniques. Le choix d'une technique particulière dépendant pour une large part des objectifs que l'on veut atteindre et des moyens dont on peut disposer .

L'acquisition d'informations peut se faire à différentes altitudes selon les objectifs visés.

Par satellites à une altitude de 900 km

Par vaisseau spatial à une altitude de 300 Km

Par ballon stratosphérique à une altitude de 30 à 35 Km

Par avions à une altitude de 10 à 1,5 Km

Par ballon captif à une altitude de 30 à 200 m

Cette acquisition est dépendante de plusieurs facteurs:

- des sources utilisées
- des plates-formes d'observation
- des perturbations dues à l'atmosphère

Notons cependant que l'information reçue par le capteur subit des modifications de la part de l'atmosphère d'autant plus importantes que l'altitude est grande.

- des capteurs

Ces derniers permettent de recevoir le rayonnement émis par les objets au sol dans une certaine gamme de longueur d'onde et de le transformer en un signal permettant la mémorisation de l'information qu'il contient .

- Traitement des informations.

Il permet leur restitution et leur transformation en une forme assimilable par l'interprète.

2 phases essentielles :

\* Nous avons un système de prétraitement et de correction qui permet:

- de se débarrasser des erreurs dues à l'instrument et à son utilisation .

- de se débarrasser des erreurs produites par l'atmosphère.

\* Un système de traitement: il s'agit ici de tirer des données pratiques de l'information captée , c'est à dire lui donner une forme permettant son interprétation.

Le but du traitement est de fournir à l'utilisateur un document sur les paramètres étudiés lui permettant d'interpréter les informations recueillies par les capteurs.

Ce document met en évidence des classes ,ou sousensembles homogènes du milieu d'étude selon certains critères comme la nature ,la couleur , la forme, la variation temporelle etc . . . . .

- Interprétation = utilisation.

Elle consiste à donner les relations rayonnement-structure de la matière, interpréter chacune des bandes, identifier les objets , suivant le rayonnement enregistré.

La télédétection est un outil précieux pour toutes les applications concernées par les phénomènes de surface.

III . Conclusion.

Notons que jusqu'à présent la télédétection concerne les phénomènes superficiels; les précessus en profondeur peuvent dans certains cas être déduits des phénomènes en surface et de leur propriété. Il nous faut remarquer cependant qu'il n'existe pas de méthode universelle fournissant des résultats corrects pour tous les problèmes.

Certaines méthodes sont simples mais donnent des résultats très approchés, d'autres méthodes très complexes exigent des dispositifs informatiques très puissants, donc coût très élevé .

Afin d'améliorer l'interprétation du signal capté il apparait de plus en plus nécessaire d'étudier de manière quantitative le comportement des objets au sol vis à vis des excitations extérieures (rayonnements solaire ou atmosphérique, ondes radar . . . .)

A cet effet des stations de mesure au sol spécialisées ou des stations embarquées sur ballons - sondes sont conçues et des modèles physiques mathématiques sont proposés.

Dans les deux cas on peut avoir besoin:

- d'automatiser le processus de mesures
- de transmettre au laboratoire d'analyse des données en temps réel (ou différé)
- d'envoyer des ordres à la station de mesure.

Notre travail consiste à réaliser un ensemble de transmission radio électrique de mesures d'une station fixe au sol au laboratoire d'analyse.

CHAPITRE II

ETUDE

DE

LA CHAÎNE DE MESURE

### Introduction.

L'acquisition de valeurs de température du sol à différentes profondeurs et à différents instants de la journée est possible à l'aide d'une sonde de mesure enfouie dans le sol. Cette sonde est reliée à un dispositif qui permet la conversion des valeurs de la température à mesurer en paramètres d'un signal électrique (tension; fréquence, phase etc . . .

Pour éviter qu'un opérateur soit sur site à tout moment de la journée (ou même la nuit), on a pensé à transmettre ces mesures; l'endroit où s'effectuent ces mesures jusqu'au laboratoire où doit se trouver l'opérateur. Pour cela on a réalisé un ensemble émetteur-récepteur.

L'émetteur sera in situ, son fonctionnement (pour un début) sera continu, et le récepteur sera au laboratoire où il suffira au chercheur de mettre celui-ci en marche, pour recevoir les températures converties, ceci suppose bien entendu que le système sur site constitué par la sonde, le dispositif de conversion et l'émetteur soit en fonctionnement normal.

Une télécommande sera ultérieurement prévue pour essayer d'éviter que l'émetteur soit toujours en marche.

Cette chaîne de transmission peut être utile surtout dans le cas de mesures effectuées à partir de ballon-sonde.

D'après le schéma synoptique donné par figure **I** on distingue:

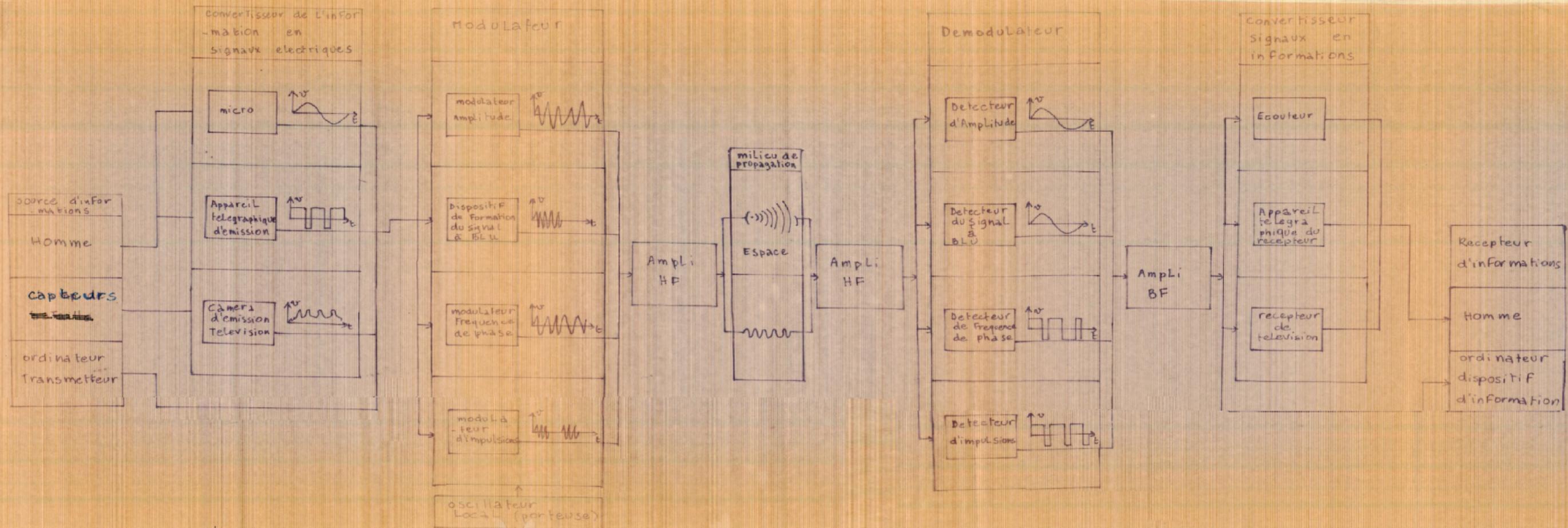


schéma synoptique d'un système de transmission

## I. Les capteurs :

Les capteurs de mesures ont pour fonction d'assurer les mesures de la grandeur à étudier et de l'afficher sous forme d'un signal approprié au système de télémessure choisi.

Chaque capteur comprend ainsi un organe de mesure spécifique au phénomène à observer et un dispositif générateur de signaux.

### Notion sur les entrées mesures.

Effectuer une mesure revient à prendre la valeur maximum du signal considéré si de plus on veut la transmettre à distance, on doit la convertir en un signal exploitable.

Pour faire une mesure on procède en 3 étapes:

1ère étape: - Prélever la valeur de la mesure

-Convertir la valeur prélevée en un signal analogique ou numérique selon le système de conversion choisi.

La phase de conversion est variable.

Circuit de prélèvement: Le prélèvement de la valeur est effectué par un capteur (sonde de température dans notre cas) délivrant en sortie un signal électrique continu, fonction du signal appliqué à l'entrée. Le niveau de sortie de ces circuits est appliqué à des convertisseurs.

2ème étape. Elle concerne la conversion:

Dans notre cas la conversion se fait en deux étapes:

-Conversion courant-tension.

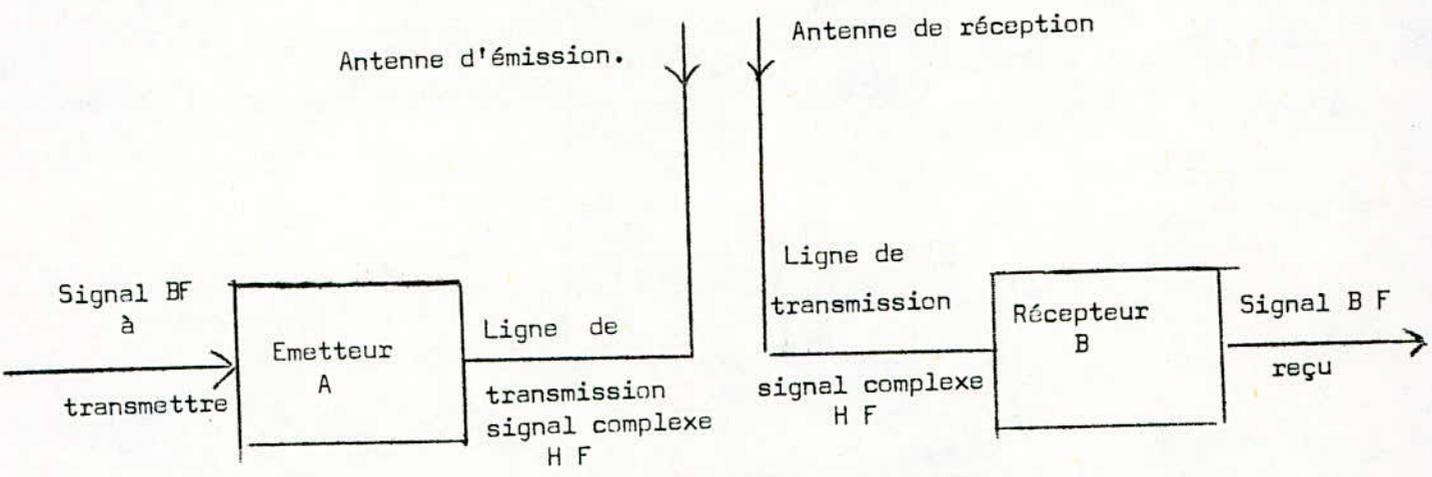
-conversion tension-fréquence

Cette conversion est faite dans le but de rendre utilisable les grandeurs physiques mesurées par un dispositif radioélectrique.

3ème étape: Elle consiste en l'amplification de la mesure afin qu'elle soit transmise à distance plus ou moins grande selon la portée du système de transmission.

II . Système d'émission -réception radioélectrique.

Tout comme le fil ou le câble dans le cas des télécommunications par fils, la voie radio électrique n'est que le support des informations que l'on désire transmettre à distance. L'onde radioélectrique complexe, qui se propage dans l'espace est ainsi constituée de l'onde porteuse de fréquence relativement élevée à laquelle on a superposé par l'un des procédés de modulation l'onde de fréquence relativement basse qui représente la traduction électrique du message à transmettre.



SCHEMA D'UNE LIAISON RADIOELECTRIQUE.

La voie de radiocommunication choisie a pour objet d'acheminer d'un point A à un point B un signal H F modulé par le signal B F qui représente la partie intéressante de l'onde.

Les points A et B peuvent être soit des points fixes, soit des points mobiles, soit encore une formule mixte (l'un fixe, l'autre mobile .)

On voit que le signal B F à transmettre de A vers B est appliqué à un émetteur dont il module l'onde porteuse suivant le type de modulation approprié. L'onde complexe H F est conduite à l'antenne d'émission par l'intermédiaire d'une ligne de transmission.

L'antenne plus ou moins directive, rayonne l'énergie H F. L'onde électromagnétique ainsi rayonnée se propage dans l'espace jusqu'à captation par l'antenne de réception d'où elle est acheminée vers le récepteur pour une nouvelle ligne de transmission.

Le récepteur restitue alors le signal B F à partir du signal H F modulé qu'il a reçu.

## II ; - 1 . L'émetteur:

### II 1. Les caractéristiques techniques essentielles d'un émetteur sont:

- La fréquence
- La puissance
- La largeur de bande associée au type de modulation choisi.

\* La fréquence constitue la caractéristique primordiale ,pour cette raison on lui associe la stabilité ,ce qui est possible grâce à l'utilisation des dispositifs techniques appropriés tels que les oscillateurs pilotes qui permettent de maintenir la fréquence dans les limites de dérive très étroites.

\* La puissance d'un émetteur dépend de la nature de la liaison à réaliser. Pour une liaison de quelques centaines de mètres, une fraction de watt suffit, mais pour une liaison de grande distance plusieurs kilowatts sont nécessaires.

\* La largeur de bande et le type de modulation fixent l'importance de l'emplacement que l'émission occupe dans le spectre radioélectrique.

La largeur de bande est définie comme la largeur de bande occupée suffisante pour transmettre l'information.

## I II ; 1. 2. Constitution d'une chaîne d'émission.

Quelle que soit la longueur d'onde considérée, une chaîne d'émission comprend les éléments essentiels suivants:

- un oscillateur pilote
- une chaîne de multiplication et de séparation
- une chaîne d'amplification H F
- un dispositif de modulation
- un étage amplificateur final
- un circuit de découplage à la ligne de transmission vers l'antenne.

Aux divers éléments précédents de nature uniquement radioélectriques il y a lieu d'ajouter:

- Un dispositif d'alimentation

---.Le pilote oscillateur est la source de l'onde H F, son rôle essentiel est de fournir une fréquence extrêmement stable, susceptible après multiplication éventuelle de donner la fréquence la plus proche possible de celle qui a été assignée à l'émission. La stabilisation de la fréquence du pilote est assurée par un cristal (quartz).

--. La chaîne de multiplication et de séparation est nécessaire dans le cas où la fréquence assignée est très élevée (plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mégahertz). La chaîne a pour but de fournir une tension dont la fréquence est celle de l'onde à émettre et d'éviter une réaction des différents étages de l'émetteur sur l'étage pilote.

=lote.  
\* Séparateur

C'est un étage placé après l'oscillateur et constituant pour celui-ci une charge constante en vue d'améliorer la stabilité. Les variations des puissances en sortie n'influencent pas l'oscillateur.

\* Multiplicateur de fréquence. : La multiplication de fréquences successives fournira en outre la solution au problème de l'obtention de plusieurs fréquences de sortie à partir d'une même oscillation.

Les avantages sont :

- . Stabilité des oscillateurs plus facile à obtenir quand la fréquence est basse.
- . Quartz pour fréquence peu élevée, moins coûteux et moins fragile car il est plus épais.
- . Un seul quartz suffit pour piloter sur plusieurs fréquences harmoniques.

Les différentes façons de procéder sont les suivantes:

- Multiplicateur oscillateur: Le quartz travaille sur un de ses partiels mécaniques (3,5 ou 7) où l'oscillateur est réglé pour obtenir de la distorsion harmonique. L'harmonique désiré est sélectionné par un circuit oscillant accordé à la sortie.

-Multiplificateur indépendant:C'est un étage polarisé(en classe C ) de façon à travailler dans une région non linéaire de la caractéristique d'où la production d'harmoniques.Le circuit oscillant de sortie est accordé comme ci-dessus sur l'harmonique désiré.

--. Chaîne d'amplification H F.:L'un de ses buts est également d'éviter la réaction des étages les plus puissants sur ceux qui les précèdent.Mais son but essentiel est d'amplifier au maximum l'oscillation qui lui est appliquée par l'étage précédent avant de transmettre cette énergie soit dans l'antenne pour le rayonnement soit d'attaquer l'amplificateur final.Habituellement c'est sur cet étage final que l'on applique la modulation. Le dispositif de modulation et son emplacement dans la chaîne d'émission dépendent essentiellement du type de modulation considéré .

Ainsi pour la modulation de fréquence,le signal à transmettre est injecté au début de la chaîne d'émission au niveau du pilote puisque dans ce cas le but est d'agir sur la fréquence émise au rythme de la B F .Les puissances mises en jeu sont faibles.

Pour la modulation d'amplitude,la modulation se fait au niveau des derniers étages de la chaîne d'émission.Les puissances mises en jeu dans ce cas sont nettement plus élevées.

### → L'amplificateur final.

Cet étage fournit à l'antenne la puissance à transmettre.

### II .-2 -.Le récepteur:

Il a pour rôle d'amplifier le signal H F de niveau très faible qui est représenté à son entrée et à démoduler ce signal.

### II .- 2 . 1 . Caractéristiques du récepteur:

Comme à l'émission,on distingue à la réception un certain nombre de caractéristiques essentielles qui définissent la capacité du récepteur non seulement à recevoir convenablement le signal qui lui est destiné mais aussi à éliminer les signaux indésirables.

Les caractéristiques sont:

- La sélectivité
- La fidélité
- La sensibilité
- La stabilité

Il y a lieu de tenir compte d'autres caractéristiques à savoir:

- La puissance de sortie
- L'étendue de la gamme de fréquence reçue

De plus,

- les réglages doivent être faciles
- l'encombrement et le poids réduits surtout pour les systèmes embarqués.
- le prix de revient raisonnable.

---. La sélectivité: mesure l'aptitude du récepteur à recevoir une certaine bande de fréquence B à l'exclusion de toutes les autres indésirables. La réception correcte d'une onde porteuse d'information n'est possible que dans la mesure où une porteuse  $F_1$  est suffisamment éloignée de toute autre porteuse  $F_2$  susceptible d'être captée au même point.

Un récepteur parfait devrait pouvoir répondre aux conditions:

\* Laisser passer sans affaiblissement toutes les fréquences constituant le spectre du signal.

\* Avoir une bande passante égale à la bande de modulation considérée.

\* Affaiblir dans un rapport infiniment grand tout signal de fréquence extérieur à la bande passante.

Un tel récepteur aurait alors une courbe de sélectivité idéale de forme rectangulaire.

Pour arriver à cela, on emploie des circuits accordés dont le nombre est fonction de l'affaiblissement désiré.

---. La fidélité: Un récepteur est dit fidèle s'il est capable de restituer, sans altération, le signal de modulation.

Un récepteur idéal doit:

- \* restituer l'amplitude des différents composants du spectre sans en modifier leur position dans le temps c'est à dire leur phase.
  - \* Ne pas créer de nouvelles composantes B F qui n'existaient pas dans le spectre reçu.
- Un récepteur réel n'est pas linéaire. Il ne restitue pas la forme exacte du signal de modulation. Il y a distorsion de non linéarité d'ue aux étages amplificateurs et à la détection.

--. La stabilité: C'est l'aptitude du récepteur à conserver son réglage sur une fréquence donnée dans le temps, malgré les variations des paramètres tels que:

- \* La tension du secteur
- \* La température ambiante
- \* La stabilité des oscillateurs.

--. La sensibilité: C'est l'aptitude du récepteur à recevoir des signaux H F faibles avec une intensité suffisante et une qualité acceptable.

On pourrait, pour amener le signal au niveau désiré, prévoir un nombre suffisant d'étages amplificateurs. Cependant la sensibilité d'un récepteur est limitée, non pas par des considérations de gain, mais par l'existence de " bruits " qu'il est difficile, voire impossible, de dissocier du signal utile.

Cette sensibilité est limitée aussi par l'intensité du signal de sortie dans le cas où l'amplification est faible. Dans le cas où l'amplification est surabondante le niveau de sortie peut toujours être rendu suffisant et les signaux faibles sont mélangés de bruit ou distordus de sorte que la réception devient désagréable. Dans ce cas il faut définir une sensibilité maximum utilisable limitée par le bruit et la distorsion.

On définit le facteur de bruit comme le rapport de la puissance du bruit mesurée à la sortie à la puissance de bruit que l'on aurait à la sortie si le système ne contenait aucune autre source de bruit que l'agitation thermique d'ue à la composante réelle de l'impédance du générateur .

## II .- 2 .- 2 . Constitution d'une chaîne de réception.

- Un étage H F en général amplificateur à circuit accordé destiné à amplifier préalablement le signal reçu mais aussi à augmenter le rapport  $\frac{\text{signal}}{\text{bruit}}$  à l'entrée du récepteur.

Dans cet étage un circuit d'entrée qui a pour but principal l'adaptation de l'impédance d'entrée du récepteur avec celle de l'antenne .

- Un étage changement de fréquence qui comporte d'une part, un oscillateur local et d'autre part l'étage mélangeur où se fait la conversion de la H F reçue en F I .

L'oscillateur local produit  $f_0$  qui interfère avec la fréquence  $f_A$  reçue par l'antenne.

Si la charge de l'étage mélangeur est un circuit bouchon accordé sur  $f_0 - f_A$ , seule cette fréquence sera sélectionnée.

- Un étage amplificateur à F I qui élève à un niveau voulu les signaux reçus (éventuellement ce premier étage ampli-intermédiaire est suivi d'un second changement de fréquence lui suivi d'une seconde chaîne d'amplification à F I).

- Un étage démodulateur soit "détecteur" dans le cas de la modulation d'amplitude soit discriminateur dans le cas de la modulation de fréquence ou de phase.

Cet étage transforme les signaux à fréquence intermédiaire modulés en signaux B F à utiliser.

- Un étage amplificateur B F qui porte à un niveau convenable le signal B F de sortie afin qu'il puisse actionner l'appareil d'utilisation.

- Une alimentation, soit à partir du secteur 50 Hz, soit à partir de batteries d'accumulateurs ou de piles.

Les puissances d'alimentation d'un récepteur ne sont pas comparables à celles d'un émetteur.

# CHAPTER III

## IA

### MODULATION

## I/ INTRODUCTION.

Les oscillateurs fournissent une puissance très faible, qu'il est généralement nécessaire d'amplifier avant utilisation.

Supposons que l'on veuille transmettre à distance, le signal résultant de la mise sous forme électrique de l'information contenue dans le signal aléatoire  $m(t)$ , de durée indéterminée. On utilise généralement pour cela, un signal intermédiaire susceptible de se propager et dont on peut fixer à volonté les caractéristiques fréquence et puissance.

Disposant de ces deux signaux, il reste à voir comment ces derniers vont être mis à contribution pour assurer le transport du signal contenant l'information à transmettre: c'est la modulation.

Le signal  $m(t)$  est "imprimé" par modulation sur le signal intermédiaire qui sert de support de transmission. Le signal utilisé à cette fin est le signal sinusoïdal quasi-déterministe.

$A_0 (\cos [\omega_0 t + \varphi_0])$  est appelée porteuse non modulée d'amplitude  $A_0$ , de fréquence  $f_0$  et de phase aléatoire  $\varphi_0$ .

## II. Principe.

Il consiste à faire varier un des paramètres caractéristiques du courant support en fonction de la fréquence du signal BF d'une part, et de son amplitude d'autre part de manière à engendrer un signal appelé porteuse, modulée, qui permet une fois la transmission faite, de récupérer par démodulation le signal  $m(t)$ .

Soient,  $m(t)$  le signal modulant et  $s(t)$  le signal modulé.

$$m(t) = a \cos(\omega t + \varphi)$$

Deux grandes classes de modulation sont utilisées.

-Les modulations d'amplitude pour lesquelles l'amplitude instantanée de la porteuse modulée varie linéairement avec  $m(t)$ .

$$s(t) = A_0 \left( 1 + \frac{a}{F_c} \cos(\omega t + \varphi) \right) \cos \omega_0 t \quad \varphi, \varphi_0 \text{ sont supposés nuls}$$
$$s(t) = a(t) \cos \omega_0 t$$

-Les modulations angulaires pour lesquelles la fréquence ou la phase instantanée varie linéairement avec  $m(t)$ .

$$s(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \psi(t) + \psi_0) \quad \psi_0 \text{ en général nul.}$$

Le courant modulé est l'équivalent de la somme d'un certain nombre de courants alternatifs sinusoïdaux dont les fréquences s'étalent sur une bande plus ou moins large et symétrique par rapport à la fréquence  $f_0$  du courant support.

Le minimum de largeur est obtenu par la modulation d'amplitude et dans ce cas les fréquences extrêmes ont pour valeur  $f_0 + f$  et  $f_0 - f$ ;  $f$  étant la fréquence du courant électrique d'information dit courant de modulation.

$f_0$  doit être très grand devant  $f$  pour les raisons suivantes:

1°/ Les appareils traitant les courants modulés au cours de leur cheminement (amplificateur en particulier) comprennent des circuits accordés et la transmission dans des conditions aussi identiques que possible de courants répartis dans une bande de fréquence donnée est d'autant plus facile que la largeur de bande est plus faible devant la fréquence d'accord.

2°/ Les réactions du milieu dans lequel s'effectue le transport peuvent varier avec la fréquence. Il y a donc intérêt à ce que le désaccord relatif, c'est à dire le rapport largeur de bande sur fréquence porteuse  $\frac{B}{f_0}$  soit aussi faible que possible.

3°/ Plus  $\frac{f}{f_0}$  est faible, plus grand est le nombre de bandes de fréquences que l'on peut loger dans un intervalle de fréquences données.

### III . Modulation d'Amplitude ou modulation analogique linéaire.

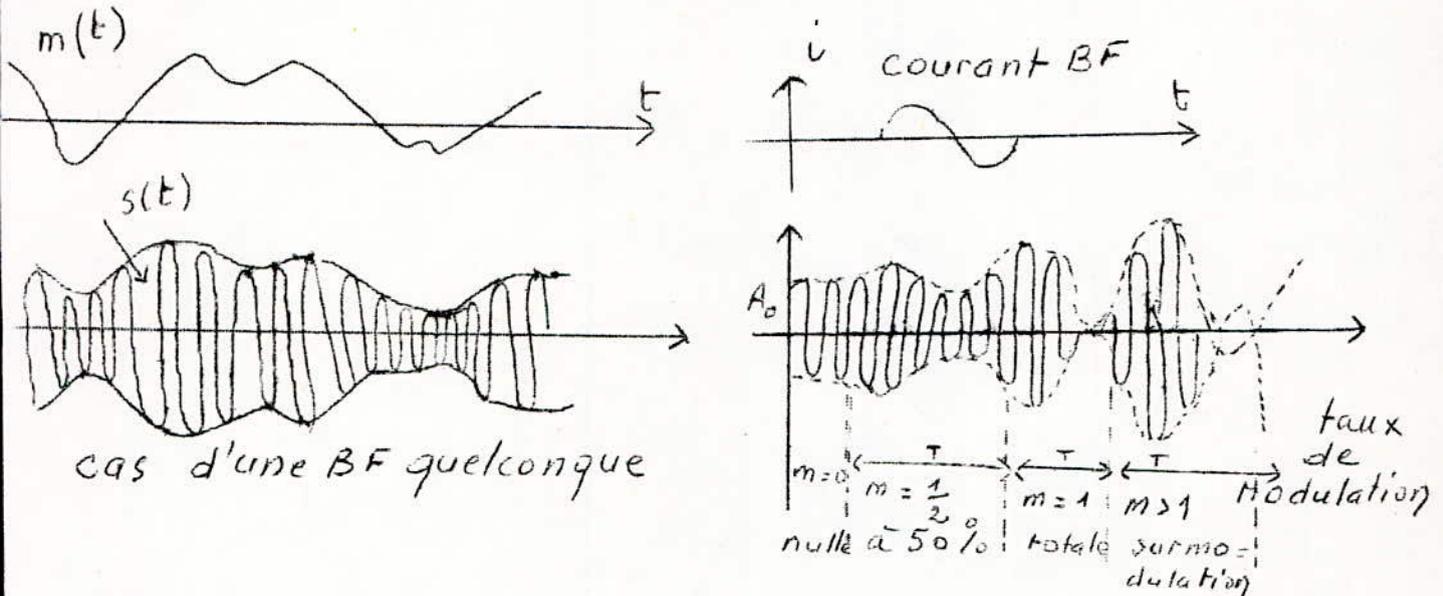
#### III - 1 . Procédé.

Le procédé de modulation d'amplitude consiste à faire varier l'amplitude du signal HF d'une quantité proportionnelle à l'intensité de modulation.

Les variations s'effectuent à la fréquence du signal BF.

L'amplitude instantanée est :  $a(t) = A_0 \left[ 1 + K_m m(t) \right]$

# Modulation d'amplitude.



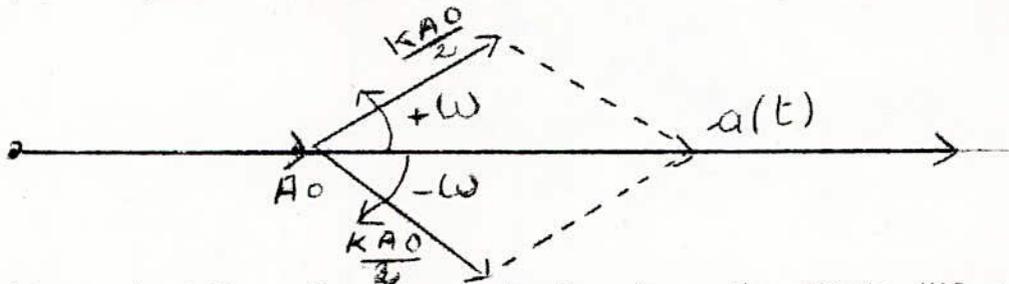
## Cas d'un signal modulant sinusoïdal.

$$m(t) = a \cos \omega t$$

$$s(t) = A_0 [1 + K \cos \omega t] \cos(\omega_0 t + \phi_0) \text{ pour } K = 1 \text{ et } \phi_0 = 0$$

$$s(t) = \underbrace{A_0 \cos \omega_0 t}_{\text{courant HF}} + \underbrace{A_0 \frac{K}{2} \cos(\omega_0 + \omega) t + A_0 \frac{K}{2} \cos(\omega_0 - \omega) t}_{\text{courants latéraux de modulation}}$$

Le signal  $s(t)$  se représente vectoriellement à l'aide de la représentation de Fresnel.



\* La modulation se traduit par la présence de 2 vecteurs d'amplitude  $\frac{K A_0}{2}$  tournant autour de l'extrémité du vecteur d'amplitude  $A_0$  avec les vitesses angulaires  $+\omega$  et  $-\omega$ .

\* L'amplitude instantanée varie entre  $A_0 [1+K]$  et  $A_0 [1-K]$ .

Le coefficient sans dimension  $K$  est appelé indice ou taux de modulation.

Lorsqu'il est égal à 1, l'amplitude instantanée et l'enveloppe s'annulent périodiquement à la fréquence  $f$ .

\* La décomposition du signal  $s(t)$  montre que l'amplitude des courants latéraux qui sont seuls porteurs de l'information (en fait ils portent la même information dans le cas de la modulation d'amplitude à porteuse conservée) est proportionnelle à  $K$ .

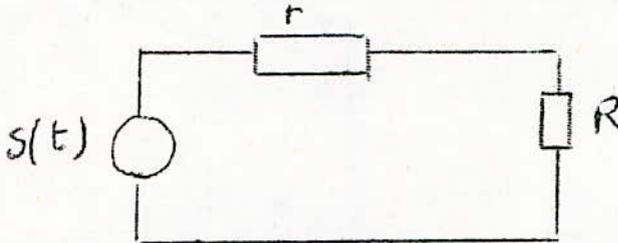
Plus  $K$  est grand, plus l'intérêt est meilleur. ( $K$  ne doit pas dépasser 1)

si  $K = 1$  modulation totale ou dite à 100 %

si  $K > 1$  on a surmodulation.

### III - 2. Calcul de la puissance de l'onde modulée.

Une émission AM peut être représentée par le schéma suivant:



Dans lequel l'émetteur est formé d'une source de tension AM et sa résistance interne en série  $r$ .

L'émetteur alimente une résistance d'utilisation  $R$  qui est l'impédance d'entrée de l'antenne d'émission. La puissance instantanée fournie par l'émetteur à l'antenne est:

$$P(t) = u \dot{I} = \frac{s^2(t)}{(r + R)}$$

avec  $s(t)$  signal modulé  $s(t) = A_0 (1 + K \cos(\omega t)) \cos(\omega_0 t)$

Pendant une période de la porteuse, la puissance émise sera

$$P_{HF} = \frac{1}{T_0} \int_0^{T_0} \frac{A_0^2}{R + r} (1 + K \cos(\omega t))^2 \cos^2(\omega_0 t) dt$$

Comme en général  $\omega_0 \gg \omega$ , par suite de terme  $(1 + K \cos \omega t)$  varie très lentement par rapport à  $\cos \omega_0 t$ . Ceci implique que le signal modulant ne varie pratiquement pas durant une période HF d'où:

$$P_{HF} \approx \frac{A_0^2 (1 + K \cos \omega t)^2}{(R + r) T_0} \int_0^{T_0} \frac{(1 + \cos 2 \omega_0 t)}{2} dt$$

$$= \frac{A_0^2}{2(R + r)} (1 + K \cos \omega t)^2$$

Vis à vis de la Basse fréquence  $f$ , PHF joue encore le rôle de puissance instantanée; celle-ci étant mesurée durant un laps de temps  $\frac{1}{f_0} = T_0$  très court devant  $\frac{1}{f} = T$  du signal modulant.

La puissance moyenne émise sera donc:

$$P_m = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{A_0^2}{2(r+R)} (1 + K \cos \omega t)^2 dt.$$

$$\text{soit } P_m = \frac{A_0^2}{2(r+R)} \left(1 + \frac{K^2}{2}\right)$$

Si  $K = 0$ , la puissance  $P_1$  ainsi obtenue, est celle correspondante à l'onde porteuse

$$\text{soit: } P_1 = \frac{A_0^2}{2(r+R)}$$

La puissance répartie sur les deux voies latérales est donnée par :

$$P_2 = \frac{K^2 A_0^2}{4(r+R)}$$

Par conséquent à une voie latérale correspond une puissance de:

$$\frac{K^2 A_0^2}{8(r+R)}$$

\* Le rendement d'une émission AM sera:

$$\eta = \frac{P_2}{P_m} = \frac{K^2}{2 + K^2}$$

Pour un taux de modulation ( $K$ ) de 100 % le rendement sera de  $\frac{1}{3}$ . Le rendement augmente avec le taux de modulation.

\* Le rendement informationnel d'une puissance AM est :

$$\frac{\text{Puissance contenue dans l'information utile}}{\text{Puissance totale émise}} = \frac{P_2 / 2}{P_m} = \frac{K^2}{2(2 + K^2)}$$

\* La bande essentielle est la largeur de la bande de fréquence qu'il est indispensable de transmettre pour que l'information contenue dans le phénomène informatif d'origine soit transportée sans mutilation ou déformation acceptable. La largeur de

bandes latérales pourra donc être limitée aux valeurs suivantes:

- . 125 Hz pour la télégraphie
- . 1000 Hz pour la radiodiffusion
- . 3400 Hz pour la téléphonie
- . 6 à 11 MHz pour la télévision.

III - 3 - Détection ou démodulation.

Définition.

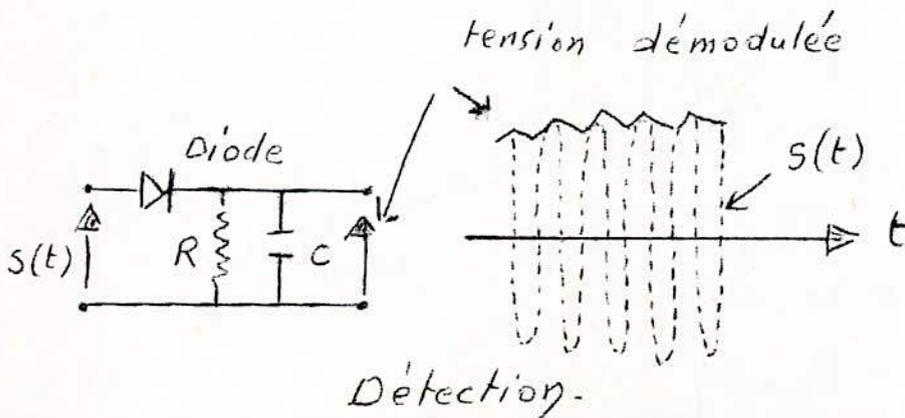
La détection est l'opération qui consiste à extraire d'un signal radio électrique, la modulation qu'il est chargé de transporter. La détection est appelée aussi démodulation. car en détectant, on démodule le signal non pas pour extraire la porteuse mais pour l'éliminer et ne conserver que les variations qu'elle transporte.

La démodulation (détection) permet donc de restituer l'enveloppe du signal reçu avec une fidélité aussi importante que possible; le rôle étant assigné au circuit détecteur, dont l'élément principal présente une caractéristique courant-tension non linéaire. Cet élément est une diode en général.

- Etude de la détection.

Pour réaliser une impédance d'utilisation présentant une valeur bien plus forte en B F qu'en H F, on utilise un dipôle comportant une résistance R et une capacité C en parallèle.

Le démodulateur est donc un circuit extrêmement simple et c'est le principal inconvénient de la modulation d'amplitude à porteuse conservée.



La diode joue pratiquement le rôle d'un interrupteur échantillonnant l'enveloppe du signal modulé en synchronisme avec la porteuse

$i$  est la somme d'un courant moyen  $I$  et d'une infinité de composantes alternatives HF.

La condition HF est réalisée si:

$$R > \frac{1}{C \omega^2} \quad (\text{avec } C \text{ supposée grande}).$$

Les composantes alternatives HF qui composent  $I$  s'écoulent à travers la capacité  $C$  et ne donnent lieu à aucune tension à ses bornes.

Quant à la composante moyenne, elle ne contient qu'une composante continue si la tension HF d'entrée n'est pas modulée.

Si le signal HF est modulé la composante moyenne est la somme d'une composante continue qui développe une tension continue aux bornes de  $R$  et d'une composante alternative BF qui développe une tension aux bornes de l'impédance de détection constituée par

$R$  et  $C$ .

Si l'on désire que l'impédance de détection soit constante pour une certaine gamme de la BF : On réalise la condition BF.

d'où :

$$\frac{1}{C \omega^2} < R < \frac{1}{C \omega}$$

#### IV. Modulation analogique non linéaire.

Les modulations analogiques non linéaires sont des modulations angulaires. L'angle de phase constant de la porteuse non modulée devient sous l'effet de la modulation, un angle de phase variable  $\varphi(t)$ . Le signal modulé s'écrit donc :

$$s(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0)$$

La phase instantanée du signal modulé est  $\bar{\varphi}(t) = \omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0$

La déviation (ou écart) de phase instantanée par rapport à la phase de la porteuse non modulée  $\omega_0 t + \varphi_0$  est  $\varphi(t)$ .

La fréquence instantanée du signal modulé est :

$$F(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\bar{\varphi}(t)}{dt} = f_0 + \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(t)}{dt}$$

La déviation (ou écart) de fréquence instantanée par rapport à la fréquence de la porteuse non modulée est :

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\varphi(t)}{dt}$$

Il faut distinguer deux types de modulation :

- La modulation de fréquence : F M
- La modulation de phase : P M

Pour la modulation F M, la déviation de fréquence  $f$  instantanée est proportionnelle au signal modulant :

$$f(t) = K f_m(t)$$

Le signal modulé s'écrit donc :

$$s(t) = A_0 \cos \left[ \omega_0 t + 2\pi K_f \int_0^t m(u) du + \varphi_0 \right]$$

Nous désignerons par  $\Delta f_0$ , la valeur maximum ou valeur crête, de la déviation de fréquence  $f(t)$ . Si  $f_c$  est la fréquence maximum du spectre du signal modulant,

l'indice  $m_0$  est le quotient :  $m_0 = \frac{\Delta f_0}{f_c}$ .

La modulation de fréquence provoque des variations instantanées, entre deux valeurs extrêmes  $f_0 - \Delta f_0$  et  $f_0 + \Delta f_0$ .

En MF, on fixe en fonction des caractéristiques, des équipements utilisés et de nature de l'information à transmettre une valeur maximum pour  $f_0$ .

Largeur de bande:

La place occupée dans le spectre (formée de la fréquence centrale  $f_0$  et d'une infinité de fréquences latérales  $\pm m f$ ) par les courants latéraux d'amplitude non négligeable, représente la largeur de bande, et est donnée par la formule :

$$L = 2 (\Delta f_0 + f_c) = 2 (m_0 + 1) f_c$$

Or  $m_0 > 1$  toujours par conséquent la largeur est toujours de beaucoup supérieure à  $2 f_1$  (valeur obtenue pour la modulation d'amplitude).

- Pour la radiodiffusion :  $\Delta f_0$  est fixée à 75 KHz

- Pour un son de fréquence très élevé à 15 KHz

$$m_0 = \frac{75}{15} = 5 \implies L = 2(5+1)15 = 180 \text{ KHz}.$$

Pratiquement on adopte 200 KHz, alors qu'en MA la largeur de bande est fixée à 9 KHz ceci explique que les émissions en MF, se font sur des fréquences très élevées.

2 - Pour la modulation P\_M, le signal modulé s'écrit:

$$s(t) = A_0 \cos \left( \omega_0 t + K \varphi_m(t) + \varphi_0 \right) \quad \varphi_0 \text{ est nul en général.}$$

La phase est donc fonction du courant de modulation, son amplitude est inversement proportionnelle à la fréquence de modulation et la variation de phase est en retard d'un quart de période sur la variation de fréquence instantanée.

Conclusion.

Tout courant modulé en fréquence, est automatiquement modulé en phase et réciproquement. Pour les modulations angulaires, le signal modulé n'est pas une fonction linéaire du signal modulant comme c'est le cas pour les modulations d'amplitude.

CHAPITRE IV

TELECOMMUNIQUE

ET

TELEMEURIE

## I. INTRODUCTION.

La télécommande et la télémésure consistent à transmettre des informations sur une ou plusieurs voies différentes selon l'application. A Chaque voie correspond soit un ordre soit une mesure. La transmission de ce paramètre sera correcte si la bande passante est suffisante à chaque voie. Ceci pour ne pas détériorer le signal. Le codage se fait suivant le type de transmission que l'on veut avoir.

### Détermination de la fréquence porteuse.

La valeur de la fréquence porteuse est conditionnée par plusieurs facteurs:

- . La largeur de bande nécessaire à la transmission de l'information.
- . La dimension de l'engin, de l'antenne et du milieu où évolue l'engin.
- . Pour avoir une bonne qualité de circuit, il faut que la fréquence porteuse soit au moins 10 fois supérieure à la largeur de bande maximum HF ; sinon on peut avoir des distorsions importantes.
- . Les coefficients de qualité doivent être supérieurs ou égaux à 50.
- . La dimension des aériens doit être en rapport avec les dimensions de l'engin lui-même.
- . La portée maximum est l'un des paramètres essentiels pour le choix de la fréquence porteuse. Cette portée maximum dépend de la puissance d'émission, du gain des antennes, du facteur de bruit, des récepteurs, du milieu et des conditions de propagation.
- . Pour avoir une bonne liaison, il faut que la puissance à la réception se situe au-dessus d'un seuil déterminé par le facteur de bruit du récepteur.
- . Plus la fréquence porteuse augmente, plus le bruit augmente.
- . L'affaiblissement de transmission est plus important pour les fréquences élevées. On choisira de préférence des fréquences élevées pour des liaisons à courte distance, et des fréquences basses pour des liaisons à grande distance.
- . Par ailleurs il faut tenir compte des réflexions sur l'ionosphère pour le cas des engins se déplaçant à haute altitude et des réflexions posées à la mer ou au désert.

### Les causes d'erreurs et leurs incidences.

On peut rencontrer les erreurs aléatoires et systématiques :

- . Bruit de fluctuation, d'impulsion, les brouillages, les distorsions et les intermodulations.

- . Erreurs produites par intermodulation ou diaphonie. Le phénomène de bruit est inhérent à la nature des circuits, aux bandes de fréquence utilisées et à la température ambiante. Les bruits d'impulsions sont imprévisibles.

Les brouillages sont systématiques ou occasionnels. Pour réduire leur influence il faut diminuer la largeur de bande et avoir un codage maximum de l'information à transmettre.

La non linéarité des circuits modulateurs et démodulateurs nous donne de la distorsion d'amplitude ou de phase. Un autre agent d'erreur : les dérives,

- . Provoquées en général par les variations de température, de pressions, d'humidité et des agents atmosphériques.

## II TELECOMMANDE .

### II - 1 Généralités et définitions.

Les commandes à distance peuvent être des télécommandes par signaux lumineux, sonores, magnétiques et électriques. En fait tous ces procédés sont à usage courant ; Des portes s'ouvrent automatiquement devant le visiteur qui franchit un rayon lumineux, des portes de garage s'ouvrent et se ferment seules quand la masse magnétique d'une voiture passe par des plots noyés dans le sol, l'ascenseur part et s'arrête de lui-même à l'étage correspondant au bouton sur lequel on a appuyé etc . . . . : simples applications de la télécommande .

Le terme télécommande ne définit nullement le moyen de transmission utilisé.

Il peut s'agir d'une transmission par fil, par faisceaux lumineux qui ont l'inconvénient de ne se propager que dans une seule direction, par ultrasons ou par ondes radio-électriques qui ont l'avantage d'être invisibles, d'avoir une vitesse de propagation très grande et de se propager dans toutes les directions à la fois.

De nos jours l'électronique s'est tellement vulgarisée, le matériel radioélectrique s'est tellement perfectionné et, est tellement répandu que la télécommande par radio est après la télécommande par fil la plus courante .

Dans toutes les télécommandes un opérateur humain commande à distance un équipement en fonction d'informations locales ou télésignalisées.

Les télécommandes demandent un haut degré de sécurité.

La télécommande permet de transmettre à distance des ordres, à partir du poste de commande vers le poste surveillé. Elle tend à obtenir un mouvement sans aucune intervention directe de la main de l'homme. Cet ordre peut être une mise en marche ou arrêt, ou une demande de mesure d'un paramètre surveillé.

La télécommande est donc l'ensemble des techniques permettant de produire à distance une action mécanique. Exemple: ouverture d'une porte, déclenchement d'alarme et bien d'autres.

## II- 2 . Différents types de télécommandes.

Parmi les différentes télécommandes nous étudierons les types suivants:

- Télécommande d'installations fixes
- Télécommande d'engins mobiles

### II.-2- 1 Télécommande d'installations fixes.

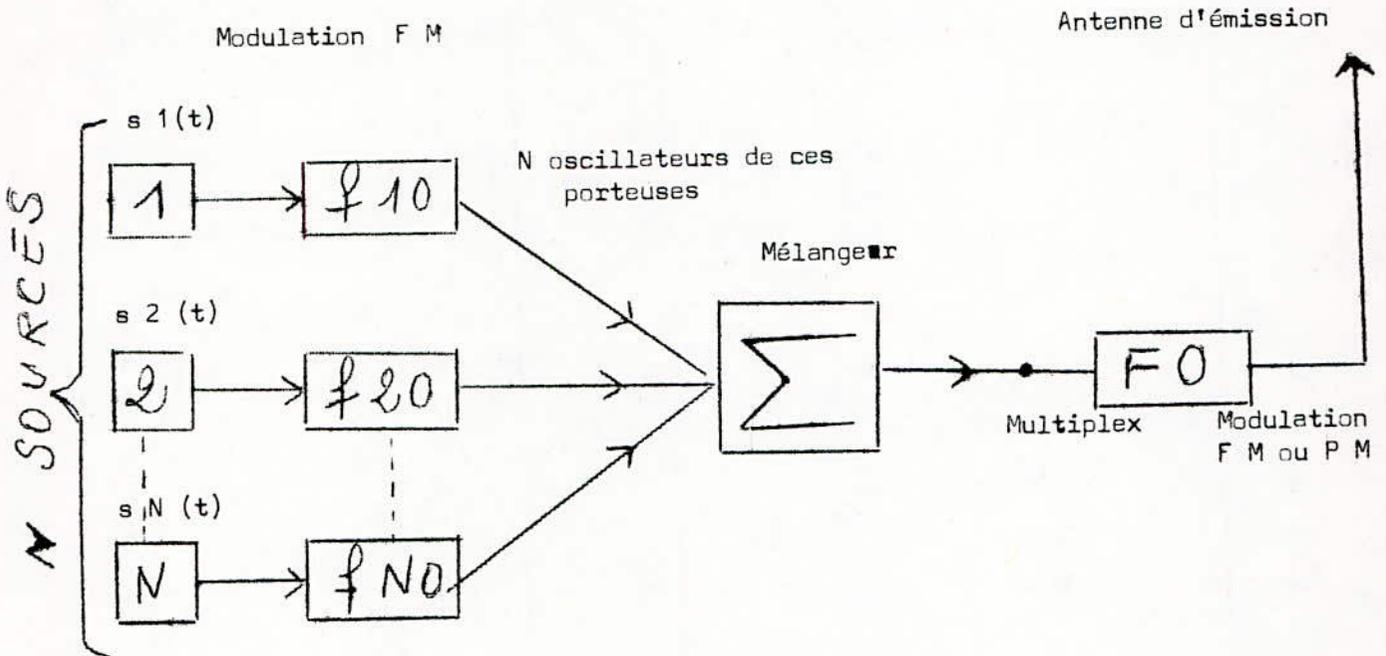
Pour des installations à faibles distances de l'ordre du kilomètre, l'utilisation du système fil à fil peut être rentable; mais pour des distances supérieures il importe de mettre en oeuvre des moyens de transmissions plus évolués. La commande d'une station éloignée nécessite la connaissance d'informations à son sujet. Un contrôle en retour du fonctionnement du récepteur de télécommande est nécessaire.

Une telle installation comprendra:

- . Une voie aller transmettant les ordres
- . Une voie retour transmettant les signaux de contrôle et d'exécution des ordres ainsi que des informations complémentaires.

a-Télécommande à code de fréquence:

Ce système repose sur le multiplexage de fréquence.



CONSTITUTION DU MULTIPLEX

Ce système revient à celui d'une liaison fil à fil dans laquelle chaque fil est remplacé par un canal à fréquence vocale distincte.

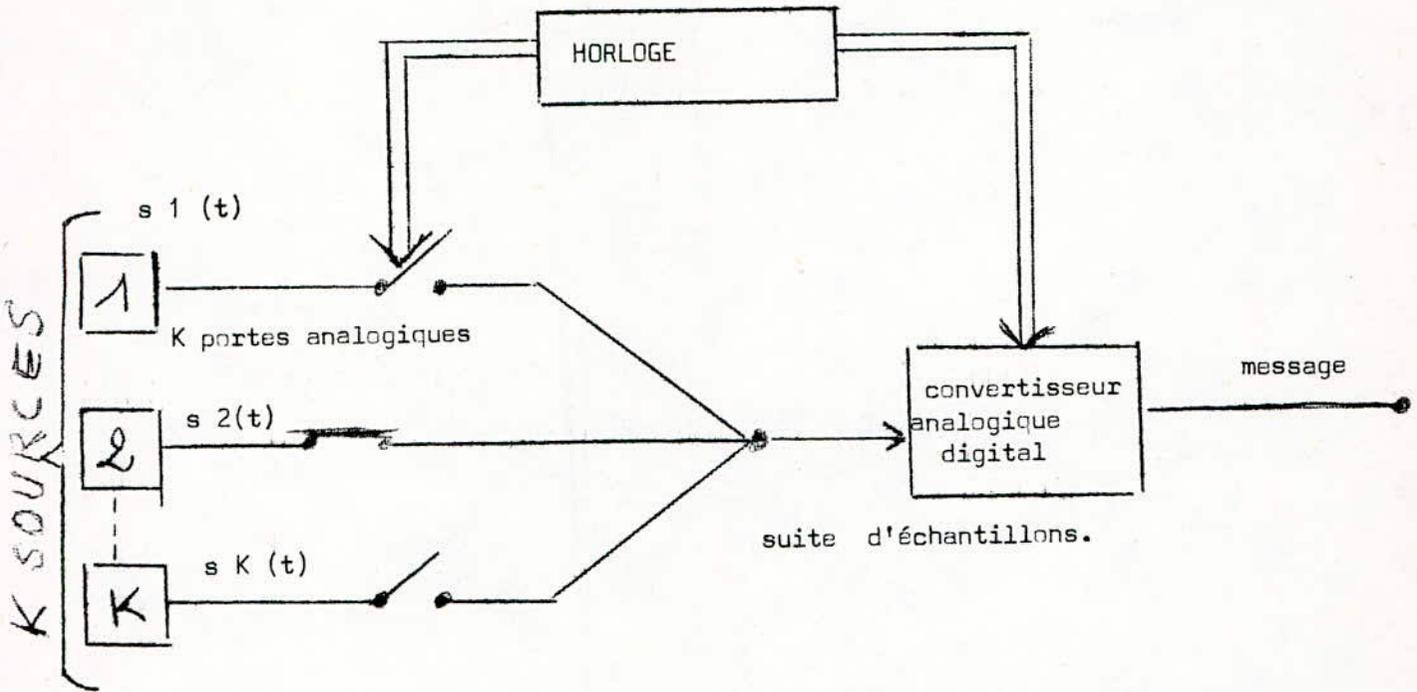
L'utilisation d'un codage qui fait correspondre à une information une combinaison de plusieurs fréquences, permet de réduire le nombre des canaux utilisés mais oblige souvent à installer un contrôle en retour pour éviter les fausses interprétations lors du décodage des ordres.

b).Télécommande à code d'impulsions.

Ce système repose sur le principe de multiplex dans le temps.

Chaque information est représentée par un nombre d'impulsions ou par la place d'une impulsion dans une séquence. Un contrôle en retour est indispensable. Le message est ainsi transmis par échange d'impulsions entre poste de commande et poste asservi.

Ces impulsions peuvent être simplement caractérisées par la présence ou l'absence de courant continu ou par inversion de polarités du courant continu.



Les télécommandes à code d'impulsions se caractérisent par la lenteur de l'échange de chacune des informations. Des circuits logiques à semi conducteurs introduits aujourd'hui permettent d'accélérer ces échanges .

### C. Télécommande à code numérique.

Les télécommandes à code numérique sont des extrapolations de commande à code d'impulsions dans lesquelles l'utilisation d'une vitesse de transmission élevée permet d'effectuer une transmission cyclique rapide de toutes les informations et non seulement de celles des changements d'états enregistrés dans les émetteurs.

### II.- 2.- 2 .Télécommande d'engins mobiles.

L'engin guidé à partir d'une salle d'opération ( laboratoire) est considéré comme un élément de transfert global de pilotage. La télécommande des engins peut se définir comme un ensemble de techniques destinées à piloter à distance. En fait il s'agit de la transmission d'ordres à l'engin pour que celui-ci puisse évoluer de la manière désirée/

Ces ordres de télécommande se traduisent sur l'engin par l'enclenchement d'un relai, l'obtention d'un signal électrique ou la rotation d'un moteur.

En général, la commande des engins mobiles conduit à utiliser une voie de transmission sans fil. Le milieu dans lequel s'effectue cette transmission échappe au contrôle de l'opérateur et une attention particulière aux parasites éventuels doit être portée. Le système de commande utilisé dérive des télécommandes à code de fréquence, à codes numériques mais pas à codes d'impulsions, car dans ce cas les parasites ne sont pas négligeables, si on supprime la voie de contrôle de retour.

— Différentes télécommandes d'engins mobiles.

a) Télécommande d'engins se déplaçant sur un itinéraire donné.

Si l'itinéraire de l'engin est déterminé, il est possible de trouver une voie de transmission spécialisée qui sera peu sensible aux parasites: Exemple: la transmission par boucle d'induction pour la commande d'ouverture de porte de garage ou de four ou à partir d'un véhicule pénétrant dans une boucle constituée d'un conducteur isolé convenablement disposé.

b) Télécommande à courants induits pour engins.

Dans un système à courant induit à couplage dans l'air, le signal reçu varie comme l'inverse du cube de la distance séparant l'émetteur du récepteur. Cette particularité limite à une dizaine de mètres autour du récepteur la zone de sensibilité à l'action d'émetteurs parasites.

c) Télécommande d'engins libres.

Lorsque l'engin se déplace librement, ou que l'opérateur doit pouvoir circuler autour de l'engin, la voie de transmission ne peut reposer sur un support matériel mais doit utiliser directement un rayonnement dans l'air.

Pour de faibles distances on a recours au couplage magnétique et pour les grandes distances on a recours aux ondes électromagnétiques. On doit tenir compte des parasites, qui sont encore plus importants car l'engin est susceptible de traverser différents milieux.

MOYENS DE PILOTAGE.

On distingue:

- . La télécommande par fil
- . La télécommande sur programmation
- . La télécommande par liaisons radioélectriques

- Dans le cas d'une télécommande à fil, le poste de pilotage et l'engin sont reliés par un fil conducteur qui se déroule, au fur et à mesure que l'engin s'éloigne. Les ordres de télécommande sont transmis à travers la ligne et sont sous forme d'impulsions codées ou de fréquences.

Le brouillage est pour ainsi dire impossible puis qu'il n'existe aucune liaison entre le poste de tir et l'engin.

- S'il s'agit d'une télécommande sur programme, cela revient à fournir des ordres déjà enregistrés sur ruban magnétique. Ces ordres sont élaborés sous forme de tensions ou d'une série d'impulsions décodées à l'intérieur de l'engin. Il n'existe aucune possibilité de brouillage. Dans ce cas la distance n'est plus limitée comme dans le cas de la télécommande par fil mais la précision est moindre.

- Pour le 3ème cas, les ordres sont transmis par liaison hertzienne d'un poste émetteur. Ces ordres sont reçus et décodés à bord de l'engin et appliqués sous forme de tension aux différents organes de commande. Le problème de brouillage se pose.

L'avantage de la télécommande par radio est qu'elle ne nécessite qu'une faible puissance à l'émission pour des portées grandes. En revanche, les récepteurs sont sensibles à toutes les émissions d'où la nécessité de les doter de dispositifs de codage complexes.

Conclusion.

Ainsi, on peut constater que le dispositif de télécommande représente le pouvoir exécutif de la chaîne de pilotage. Pour télécommander un engin vers un but bien déterminé il est indispensable de connaître ses coordonnées et celles du but à atteindre.

Un dispositif de repérage par radar ou par interrogateur répondeur permet de connaître les positions et les vitesses de l'engin, son but et de le localiser ainsi.

Ces données fournies par ce dispositif sont appliquées à un calculateur qui transforme les paramètres polaires en coordonnées cartésiennes sur le plan horizontal. Ces informations attaquent une table traçante qui concrétise les mouvements de l'engin. Cette concrétisation est réalisée d'une façon électrique au moyen de points lumineux sur l'écran d'un oscilloscope à forte rémanence. Cette opération qui consiste à transmettre des paramètres nous informant sur l'engin et son but à atteindre vers le poste de pilotage s'appelle télémessure. Cette dernière sera traitée ultérieurement.

### II - 3 Composition de la chaîne de télécommande.

Ayant déterminé le lieu de transmission qui peut prendre des formes très diverses, il nous faut disposer d'un appareil capable de générer des ondes radioélectriques, véritables messagères des différents ordres que nous voulons transmettre. Ce générateur d'ondes nous l'appellerons émetteur: c'est le 1er maillon de la chaîne que constitue une installation de télécommande. Il constitue la partie constamment à la portée de l'opérateur afin de permettre la transmission des ordres. De ce fait il est possible d'admettre de larges possibilités de variations dans l'exécution et la réalisation de l'appareil, bien que construire des appareils de faibles poids et dimensions soit plus recherché. Il est tout à fait admissible d'avoir des montages importants. La technique d'un émetteur dépend essentiellement de la fréquence utilisée.

Le 2ème maillon de la chaîne est le récepteur: c'est un appareil qui peut être soit au laboratoire, soit embarqué à bord d'un modèle réduit ou d'un engin spatial (ballon-sonde ou fusée). Cet appareil doit être sensible aux ondes émises par l'émetteur et faire la discrimination entre les différents ordres pour les envoyer vers les mécanismes concernés.

Le 3ème maillon de la chaîne, ce sont ces mécanismes. Le récepteur qui est un ensemble électrique est incapable par lui-même de mouvoir une gouverne ou alors d'afficher une température ou une altitude dans le cas d'une télémessure.

L'onde radioélectrique qui se propage dans l'air entre l'émetteur et le récepteur est produite par un courant de haute fréquence qui parcourt l'antenne de l'émetteur.

Il existe deux caractéristiques importantes de cette onde:

- sa fréquence
- sa forme

- La fréquence de l'onde émise est déterminée par les différents éléments qui composent l'émetteur et par les différents réglages effectués sur ces derniers; cependant elle n'est pas quelconque, il faudra dans ce sens respecter les bandes allouées par les services techniques des postes et télécommunications qui sont:

	Valeur moyenne
26,96 à 27,28 M Hz	27,12 M Hz
72 à 72,50 M Hz	72,25 M Hz
144 à 145 M Hz	144,5 M Hz
436 à 437 M Hz	436,5 M Hz

Pratiquement seules les 2 premières bandes sont utilisées. L'emploi des autres bandes présente de très grandes difficultés techniques.

Exemple: Les communications météorologiques, les liaisons entre avions etc . . . . .

Les ondes radioélectriques peuvent prendre différentes formes selon l'usage auquel elles sont destinées. En radiocommande nous en utiliserons particulièrement deux: l'onde sinusoidale pure et l'onde modulée.

- L'onde entretenue pure: c'est une onde haute fréquence (27 ou 72 M Hz) dont l'amplitude est constante. Cette onde est considérée dans le cas d'émetteurs récepteurs, simples Pour transmettre un seul ordre. Cet ordre sera matérialisé par la présence d'émission.

- L'onde modulée: c'est une onde haute fréquence dont l'amplitude varie à la cadence d'une basse fréquence qui seule, se propagerait dans de très mauvaises conditions. L'onde haute fréquence sert de support à B F qui transporte l'ordre ou les informations désirées. En cours de fonctionnement l'émetteur envoie constamment la H F (onde porteuse) produite exactement par l'oscillateur H F quand il y a présence d'une B F (onde portée) il ya modulation.

Avec l'onde modulée le risque d'interférence entre les émissions de fréquences voisines à la fréquence qui nous concerne est diminué car notre récepteur ne sera sensible qu'à notre émetteur, c'est à dire à notre B F .

## II .- 4 . Différentes étapes d'une télécommande.

Pour produire plus ou moins loin une ou plusieurs actions mécaniques il faut:

- Transmettre l'ordre

- Recevoir cet ordre.

- L'interpréter et l'exécuter.

- .La transmission de l'ordre s'effectuera donc par voie hertzienne et en général sur onde ultra -courte. Généralement cette onde est choisie parce que:

\* Les risques de brouillage y sont faibles.

\* Les circuits, les antennes ont surtout des dimensions réduites.

\* Les transmissions d'amateur ne sont autorisées que sur ondes courtes, très courtes ou ultra-courtes.

L'onde doit être préalablement codée c'est à dire traduction de cet ordre sous forme de signaux caractérisés par leur nombre ou leur fréquence ou leur forme. Pour cela nous étudierons plus loin les différentes modulations.

-. Un récepteur radioélectrique reçoit ces signaux soit à bord du mobile télécommandé ou alors au laboratoire. Dans son circuit de sortie apparaissent des courants électriques; ils sont en général très faibles mais leur nombre, leur fréquence ou leur forme reproduit l'ordre tel qu'il a été codé avant transmission.

- Des dispositifs plus ou moins complexes interprètent ces signaux sortant du récepteur, et toute l'habileté des spécialistes de la télécommande revient à trouver des codes faciles à traduire ou des traducteurs simples.

Exemple: Un central automatique, occupant plusieurs étages d'un vaste immeuble et renfermant des tonnes de matériel coûteux, n'est en définitive qu'un dispositif de trains de signaux que lui envoient les cadrans d'appel des abonnés selon les combinaisons reçues; il met le demandeur en communication avec la ligne de son correspondant et déclenche la sonnerie d'appel.

## II .- 5 Conclusion.

- Télécommande, radiocommande, radiocontrôle, téléguidage sont des expressions qui sont toutes employées dans le même but, mais il est rare qu'elles le soient comme il le faudrait.
- \* Télécommande doit être considérée comme le terme général selon le mode de transmission des ordres.
  - \* On parlera de radiocommande dans le cas de phénomènes radioélectriques.
  - \* De photocommande pour les phénomènes lumineux.
  - \* De magnétocommande pour les phénomènes magnétiques.
  - \* D'électrocommande pour les phénomènes électriques.
  - \* Le terme de radiocontrôle pourrait être adopté puisqu'il s'agit de contrôler, de créer à distance une action mécanique par radio, mais ce terme a été consacré à l'utilisation des instruments de mesure et le contrôle des appareils de radio: son emploi dans ce domaine ne pourrait conduire à des confusions fâcheuses.
  - \* Le terme de radioguidage pourrait être aussi synonyme de radiocommande, mais ce dernier a été officiellement adopté comme traduction de " radio aids " c'est à dire que ce terme ne concerne que les radiophares des balises, des systèmes de navigation et d'atterrissage, ainsi que les conseils donnés par les stations de radiodiffusion aux automobilistes pour guider avions, bateaux, voitures, dans leur voyage.
  - \* Le terme téléguidage " guider, mettre sur la voie, gouverner " pourrait être utilisé mais seulement s'il s'agit d'un déplacement ou d'un voyage.

### III. TÉLÉMESURE.

#### III -1 Introduction.

Il ne suffit pas de donner un ordre pour diriger à distance un avion, un bateau ou une fusée ou de commander une machine outil, il faut savoir si les ordres sont bien exécutés. Pour cela, il est nécessaire de suivre le cheminement de l'ordre, et s'il y a erreur ou déviation accidentelle savoir les détecter et les éviter. Dans ce but il a fallu pourvoir avions, bateaux, ballons-dondes et fusées d'instruments de mesure pour transmettre des indications aux opérateurs plus ou moins lointains afin qu'ils puissent effectuer des corrections. Ainsi est née la télémesure: opération de surveillance, de mesure et de correction. Elle informe le poste surveillant sur les paramètres essentiels des équipements.

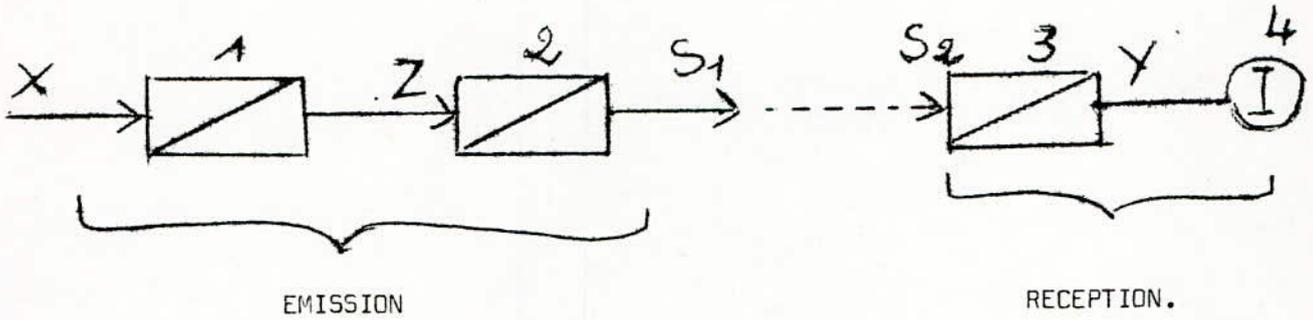
Depuis 1930, l'intérêt de la télémesure ne cesse de s'accroître surtout pour les études météorologiques par ballon. Aussi depuis 1945, suite à des besoins spécifiques importants dans le domaine des missiles et de la recherche spatiale, un développement intensif de cette discipline s'est fait sentir grâce aux progrès de l'électronique, nous donnerons quelques notions sur la télémesure appliquée aux engins spatiaux.

L'opération de télémesure consiste à effectuer des mesures en un endroit donné et à les transmettre en un lieu éloigné aux fins d'enregistrement et d'exploitation. Fidélité des équipements et précision sont exigées. Pour cela la liaison entre l'appareil de mesure et la station de réception doit être choisie de manière à pouvoir transmettre des signaux riches en informations. Le nombre de paramètres à mesurer, souvent élevé, a conduit dans beaucoup de cas à adopter la technique du multiplex qui a pour avantage de multiplier le nombre de canaux de transmission, mais pour inconvénient d'augmenter la largeur de bande. Dans le cas où la transmission ne s'effectue pas en temps réel c'est à dire que les mesures sont enregistrées d'abord, puis retransmises successivement; on peut se contenter d'une bande plus étroite.

#### III.-.2. Principe.

Le but de la télémesure est de transformer les valeurs numériques en courant ou en tension puis en signal modulé, ce signal étant transmis à distance par une ligne de liaison; aussi à la réception on obtient l'équivalent de la valeur sous forme de signal.

Synoptique d'un système de télémesure.



La valeur à mesurer  $X$  se transforme à l'aide du capteur 1 ( première transformation) en une valeur électrique  $Z$  qui peut être un courant ou une tension.

Ensuite la valeur électrique se transforme en signal  $S_1$  à l'aide du capteur 2 (deuxième transformation) le signal  $S_1$  est transmis par la ligne de liaison.

Dans la partie réception, le signal  $S_2$  se transforme en valeur électrique  $Y$  à l'aide du capteur 3, puis en valeur initiale qui est affichée par indicateur  $I$ . On appelle système de télémesure, l'ensemble de tous les moyens techniques nécessaires pour effectuer une mesure à distance; ceci en passant par les opérations de transformations du capteur 1 jusqu'à l'indicateur 4.

L'exigence principale d'un système de télémesure est d'assurer une grande précision et une grande fidélité pour les valeurs à mesurer à distance, ainsi la plus grande caractéristique de la télémesure est la précision. Elle se caractérise par l'incertitude absolue ou relative.

L'incertitude absolue est la différence existant entre la valeur indiquée à la réception et la valeur réelle.

L'incertitude relative :

$$\Delta = Y - X$$

$$\delta \% = \frac{\Delta}{X} \times 100$$

La télémesure possède ses méthodes et ses particularités qui la différencient des mesures électriques habituelles.

Ces derniers ne nous permettent pas de mesurer à distance à cause de l'incertitude créée par la variation de la résistance et l'isolant de la ligne de liaison ainsi que la variation de la température et de l'humidité du milieu ambiant.

Les méthodes de télémesures permettent de diminuer l'incertitude durant la transmission à distance du signal.

### III.- 3 Classes de la télémesure.

On distingue deux classes de la télémesure:

-Télémesure analogique

- Télémesure numérique

— Les systèmes analogiques conduisent à des systèmes simples et économiques mais ils mènent à une mauvaise utilisation de la capacité de transmission du canal. Ils ne sont employés que dans le cas où le rendement optimal n'est pas recherché.

— Les équipements numériques de transmission d'informations assurent la transmission du nombre exprimant la valeur de la mesure avec une précision absolue. A la réception la précision ne dépend que des capteurs analogiques - numériques.

Ces systèmes ne sont valables d'une façon économique que dans le cas où le nombre d'informations élémentaires est important.

-Soit que la valeur de la mesure à transmettre a plusieurs chiffres significatifs

-Soit que plusieurs valeurs sont transmises avec le même équipement.

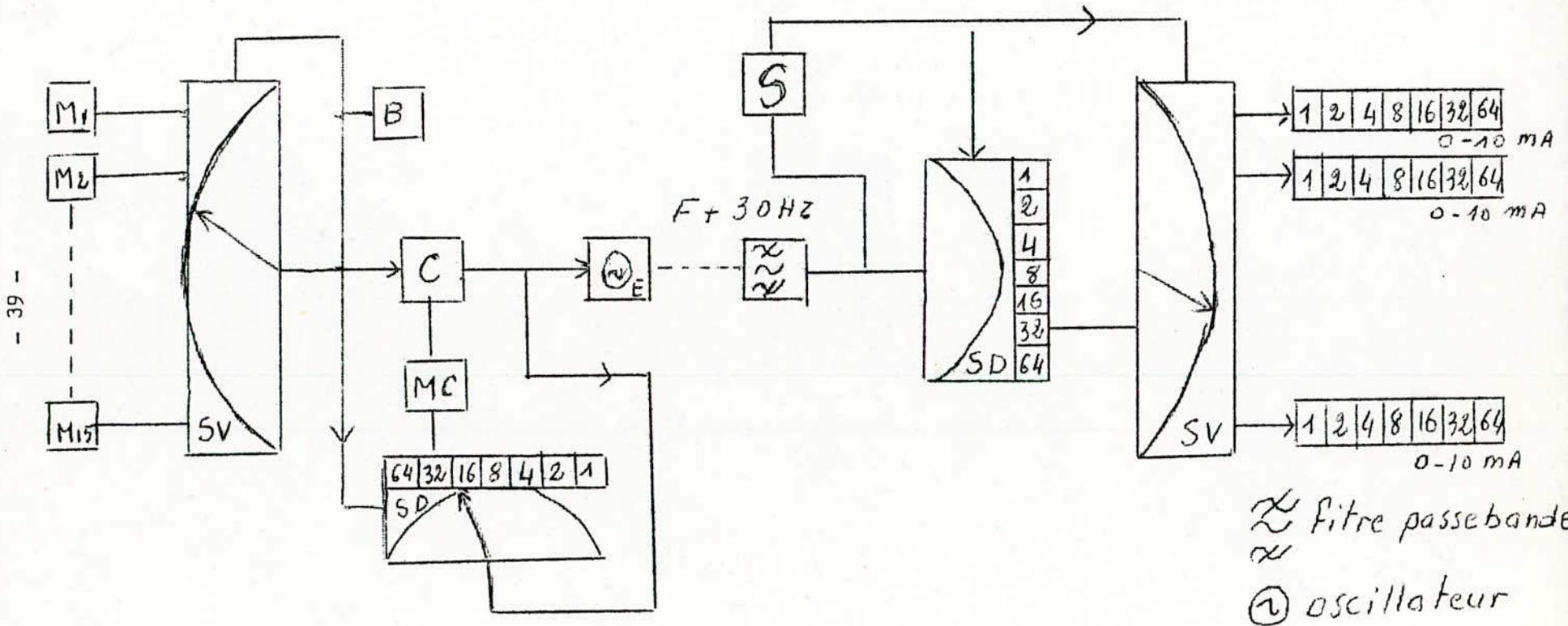
En fait les équipements industriels sont tous prévus pour une transmission de plusieurs mesures d'une façon cyclique et synchrone.

Emetteur

ETM x 21

Récepteur

RTM x 21.



Exemple d'une télémesure numérique  
Schéma synoptique d'un dispositif  
de télémesure numérique.

Une base de temps B délivre des signaux synchrones pour les opérations de commutation utilisées dans le sélecteur de digit SD et le sélecteur de voie SV.

SV assure le raccordement des circuits de modulation de l'émetteur à un organe d'entrée de voie M.

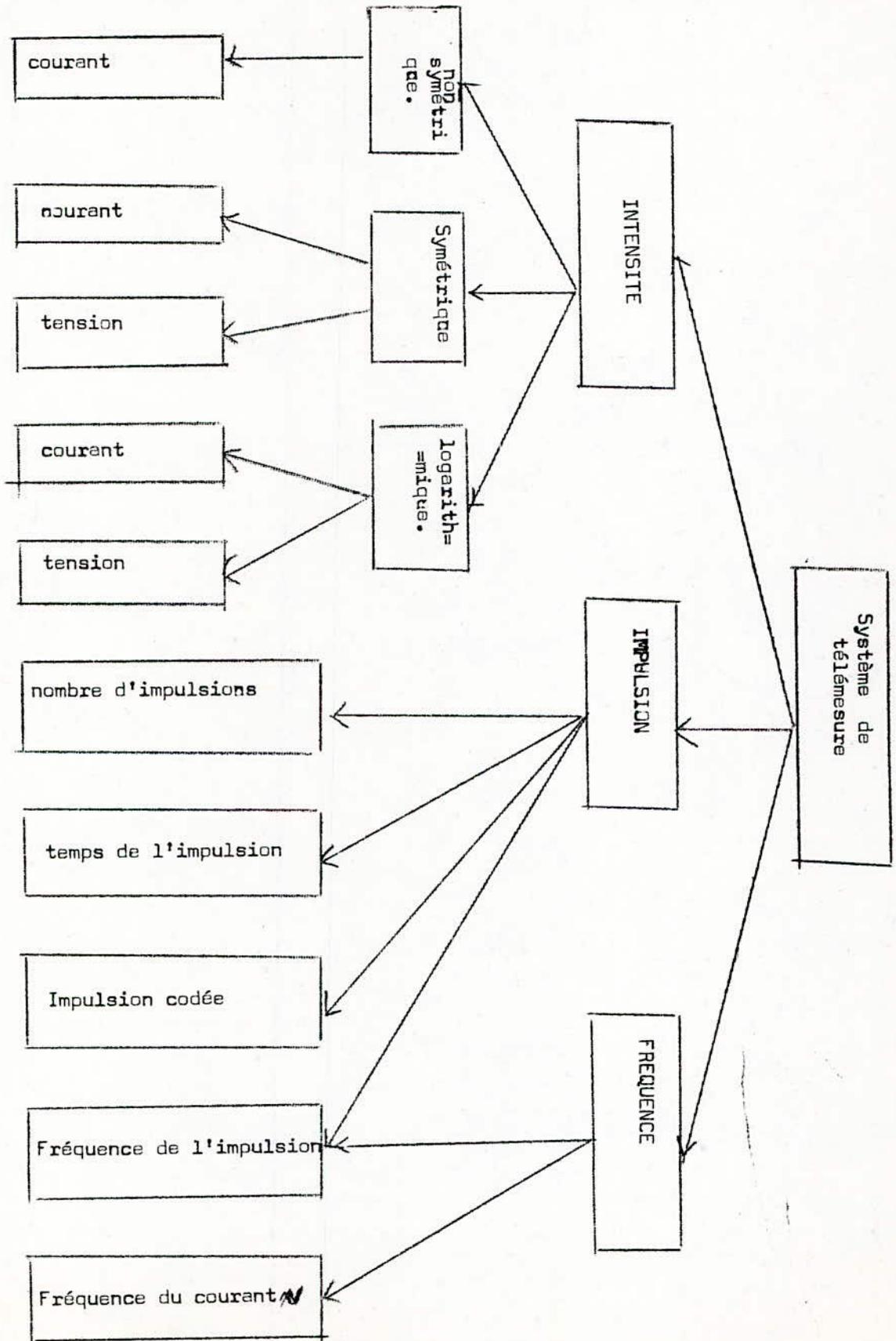
La quantification ou numérisation de la valeur de la mesure, appliquée à SV s'effectue par comparaison avec des poids caractéristiques de code choisi  $1, 2, 4 \dots \cdot 2^n$  dans un système binaire naturel. Cette comparaison s'opère en commençant par les poids de valeurs les plus élevés ( $64, 32, 16, \dots, 1$ ) délivrés successivement par le sélecteur de digit et en ne conservant que ceux dont la somme approche de plus une unité par défaut de la valeur de la mesure.

Chaque fois qu'un poids est accepté ou rejeté l'émetteur E émet une impulsion caractéristique soit par un exemple: pour une fréquence  $f_0 + \Delta f$  si le poids est conservé, soit par  $f_0 - \Delta f$  dans le cas contraire.

A la réception un sélecteur de digit SD synchrone de celui de l'émission aiguille les impulsions dans un registre dans lequel vient s'inscrire le nombre ainsi reçu.

Un sélecteur de voie SV synchrone aussi de celui de l'émetteur assure le transfert de ce nombre dans un registre mémoire qui permet l'affichage de la valeur correspondante. Ces équipements sont complétés par les dispositifs de synchronisation de la base de temps du récepteur sur celle de l'émetteur. L'information disponible à la réception peut être utilisée pour commander un dispositif d'affichage numérique, ou une imprimante, ou pour actionner à travers un décodeur binaire analogique un appareil indicateur ou enregistreur à aiguille. En pratique ces équipements sont souvent utilisés pour transmettre à côté des mesures des informations tout ou rien comme des signalisations de position.

III.4 CLASSIFICATION DU SYSTEME DE TELEMESURE.



### -Système de télémesure par intensité.

Dans les systèmes de télémesure par intensité, la valeur à mesurer est toujours transformée soit en courant soit en tension. ~~Le courant et cette tension sont ensuite transformés en signal électrique .~~

Le convertisseur de mesure en courant ou en tension est directement relié à la ligne de liaison qui à la réception se branche directement à l'appareil mesurant le courant ou la tension.

La transmission des relevés se fait souvent par courant continu sur deux conducteurs. La mesure d'une tension à travers des conducteurs résistants est formée, à moins que la mesure ne puisse s'effectuer par comparaison de la tension à mesurer avec une tension de référence de telle sorte qu'à l'équilibre aucun courant ne traverse la ligne.

L'incertitude se situe  $1 \pm 3 \%$  .

La portée est de 10 Kilomètres par ligne téléphonique  
25 Kilomètres par câble à faible perte

### - . Système de télémesure par impulsion.

C'est un transformateur du signal en impulsions dans lesquelles se trouve l'information à mesurer.

Cette information est transmise par la modulation des impulsions.

La portée dépend du niveau du signal et de la sensibilité du récepteur.

### \* Télémesure à fréquence d'impulsions.

La fréquence d'un signal n'est pas altérée par les déformations subies lors des transmissions. De nombreux équipements analogiques utilisent cette caractéristique.

### \* Système de télémesure à nombre d'impulsions.

A chaque modification d'une unité de la valeur de la mesure, une impulsion est transmise. On a ainsi une modulation  $\delta$ . Dans ce cas le récepteur est un compteur décompteur d'impulsions. En découplant une porteuse en impulsions à une fréquence caractéristique de la valeur mesurée, ce découpage peut être effectué directement par le capteur dans le cas du dispositif à impulsions ou par l'intermédiaire d'un modulateur courant continu fréquence ou bien d'un dispositif comparant au courant de mesure un courant obtenu par intégration d'impulsions calibre synchrone des impulsions émises.

- Système de télémesure par fréquence.

\* Par fréquence de l'impulsion.

Dans ce système la valeur de la mesure est proportionnelle à la fréquence de l'impulsion. La transmission de l'information se fait par la modulation de la fréquence de ces impulsions. Ce système est rarement utilisé car la précision dépend directement du nombre d'impulsions. Pour augmenter la précision il faut soit augmenter le nombre d'impulsions, ce qui revient à diminuer la rapidité de la transmission, soit diminuer la durée de chaque impulsion et l'intervalle de ces dernières ce qui revient à augmenter la bande de fréquence.

\* Par la fréquence du courant alternatif.

La grandeur mesurée fait varier la fréquence du courant alternatif lors de la transmission. A la réception, la fréquence du signal se mesure à l'aide d'un fréquencemètre gradué dont chaque graduation correspond à l'unité de la grandeur mesurée.

La modulation de fréquence permet de transmettre des informations à très longues distances en gardant une bonne précision, car les parasites et la variation des paramètres de la ligne de liaison n'influent pas sur cette méthode de modulation.

\* Systèmes à déplacement de fréquence.

Ils font correspondre à chaque valeur à transmettre une fréquence donnée, le signal ainsi transmis glissant entre deux valeurs extrêmes. Ils sont sensibles aux phénomènes de glissement de fréquence dans le cas des courants porteurs non synchronisés.

Pour éviter ces défauts on transmet en même temps que la fréquence modulée  $F_M$  une fréquence de référence  $F_r$ .

### III.- 5 . Télémesure radio.

Dans le domaine des ondes radio l'utilité et la nécessité de l'emploi des télémesures sont incontestables.

#### III.-5 ;- 1 . Domaine d'application.

\* Dans le cadre des engins spéciaux on distingue deux catégories:

-. Engins télécommandés ou non, qui transportent un appareillage compliqué pour la haute atmosphère et l'extraterrestre.

-. Engins militaires

Pour ces cas la télémesure radio est importante surtout lorsque l'engin est au stade d'étude (Exemple: connaissance des performances internes du vol )

\* La télémesure radio peut être appliquée à la retransmission de l'image TV soit en direct soit après mise en mémoire.

\* Télémesure dans le cas de centrale hydroélectrique ou groupes convertisseurs télécommandés, où les techniciens de l'usine-pilote doivent connaître à chaque instant les conditions de couplage des disjoncteurs, sectionneurs, contacteurs etc. . . . (télésignalisation ) grâce à des voyants lumineux du débit des alternateurs ou des groupes pour les arrêter ou les mettre en service selon la demande .

\* Employée aussi dans les industries atomiques qui exigent la connaissance précise des conditions de fonctionnement des réacteurs ou d'échangeurs là où l'homme ne peut pénétrer.

\* Dans le cas des ballons-sondes, fusées supersoniques, maquettes de soufflerie qui ont des dimensions qui ne leur permettent pas de recevoir des observateurs, ce n'est donc que par radio qu'ils peuvent renseigner les techniciens sur les paramètres à étudier: température, humidité, pression pour les premiers, température des parois, stabilité, pression, incidence pour les autres.

\* L'application la plus vulgarisée d'une transmission simple est celle de la mesure à distance du niveau d'un liquide.

D'où le développement rapide de télémesures, complément souvent indispensable de télécommandes.

### III.-5.- 2 Quantités à mesurer:

Le but est de recueillir de nombreuses mesures effectuées à bord de l'engin(ou mobile) par l'intermédiaire de liaisons radio.

Les différentes opérations sont:

- détecter et noter l'influence des grandeurs physiques nuisibles telles que: vibrations ,accélération,l'élévation de température,pressions internes provoquées par des déformations de la coque en cour de vol.

-Repérer les paramètres de vol qui après restitution,montrant le comportement aérodynamique de l'engin,tels que déplacements ,vitesse angulaire,pression statique et dynamique,débit de combustible,vitesse de l'engin.

-Enregistrer les variations des phénomènes physiques particuliers à la mission de l'engin tel que: radioactivité,ionisation,l'hygrométrie de l'atmosphère.

Toutes ces quantités sont transformées en grandeurs électriques pour la transmission radio.Cette opération est effectuée par organe capteur propre à la télémesure.

### III.- 5.- 3 Procédés de télémesure.

Les procédés de télémesure sont innombrables ,ils dépendent surtout de la nature et du nombre de variables à transmettre et de traductions électriques qui peuvent en être données.

Plus le nombre d'indications à transmettre simultanément est grand,plus la mise au point est délicate.

Le problème est beaucoup plus simple lorsqu'il s'agit de la transmission d'un seul élément d'information.

#### \* A l'émission:

Si la grandeur à mesurer est convertible en une tension électrique,ces variations peuvent servir à modifier la fréquence d'un courant.Ce courant alternatif de haute ou de basse fréquence est ensuite transmis soit sur un câble coaxial ou sur fil jusqu'à l'appareil de mesure,ou bien il sert à moduler un émetteur hertzien.

Le traducteur est un cristal piézoélectrique s'il faut convertir une pression, un couple thermoélectrique ou une résistance à coefficient thermique élevé pour une température, ou alors un compteur Geiger pour des mesures de rayonnements atomiques.

Le traducteur délivre une tension proportionnelle à la grandeur physique étudiée.

#### \* A la réception:

-La modulation est analysée et ses variations de fréquences s'inscrivent grâce à l'enregistrement du spot d'un oscilloscope à miroir ou l'enregistrement cinématographique de l'écran d'un oscilloscope cathodique si elle est de fréquence basse.

• Quand elle est de fréquence élevée, ses variations peuvent être décelées par battements d'interférences avec une fréquence étalon.

Ce sont là des procédés indirects puisqu'il faut ensuite dépouiller les enregistrements, étudier les courbes point par point pour reconstituer l'allure des variations.

• Les mesures directes sont rendues possibles par les circuits discriminateurs qui donnent naissance à des courants de sens variable, avec le sens de variation de fréquence et d'intensité proportionnelle à celle-ci.

A la suite du discriminateur, un amplificateur à courant continu délivre dans un ampèremètre dont les indications représentent directement la grandeur à mesurer.

Une télémessure est d'autant plus intéressante que le dispositif de mesure au sol est plus pratique pour dépouiller rapidement les informations télémessurées.

#### • A la transmission.

Bien que la qualité d'une transmission hertzienne modifie l'amplitude des signaux, il est possible de transmettre des signaux plus ou moins puissants suivant la valeur de la grandeur à transmettre. Mais dans ce cas il faut pouvoir comparer ces signaux à d'autres signaux ayant une valeur de référence fixe.

En même temps que les signaux utiles, on envoie sur un autre canal, les signaux de référence : c'est le canal de calibrage.

• A la réception, la différence entre les deux signaux reçus, signal de mesure et signal de référence, indique la valeur de la grandeur étudiée malgré les perturbations possibles apportées par les phénomènes de propagation.

-Pour éviter les erreurs dues à la transmission elle-même , aux variations de la propagation,aux parasites on s'oriente de plus en plus vers la transmission de créneaux d'autant plus larges que la valeur transmise est plus grande.

- Quand la transmission se fait autrement que par fil,on définit la grandeur physique par un nombre ou par une durée.

Exemple: La mesure d'une intensité électrique est transmise en envoyant le courant à mesurer dans un moteur dont la vitesse est proportionnelle au courant (les compteurs électriques sont de tels moteurs) et qui à chaque tour envoie un nombre déterminé de signaux dans le circuit des mesures ou dans un émetteur. A la réception, on compte ces signaux pendant un temps donné pour avoir l'intensité initiale.

En réalité, chaque type de mesure requiert une technique conditionnée par les résultats attendus et les difficultés à surmonter; il en résulte une infinité de télémesures combinant plus ou moins astucieusement tous les procédés énumérés.

C'est ainsi que les satellites américains utilisent trois indications pour la transmission des renseignements; ils agissent d'abord sur la fréquence de modulation du signal puis sur sa durée et enfin sur l'intervalle entre ce signal et le prochain signal.

### CONCLUSION

Une bonne télémesure doit répondre aux critères suivants:

- . Fidélité, précision, sensibilité .
- . Nécessité de transmettre sur une seule liaison un grand nombre de mesures.
- . une intermodulation entre voies de télémesure réduite au maximum.
- . Pourcentage de distorsions aussi faible que possible .
- . Protection contre les bruits.

Tous ces critères peuvent se résumer en définissant: la capacité d'informations et le rendement informationnel de chaque voie .

- . Diminuer l'encombrement compte tenu de la puissance nécessaire à l'émission, car la puissance est proportionnelle aux dimensions de l'engin.

CHAPITRE V

REALISATION

DE

UN EMISSIONNEUR - RECEPTEUR

1 ère partie.

L'Emetteur.

Il s'agit de calculer les éléments des trois parties : oscillateur-ampli HF et ampli BF à partir des données suivantes:

- Fréquence de travail : 27,12 MHz
- Puissance de sortie désirée: 500mW
- Consommation de l'ordre de 100 mA
- Impédance caractéristique de l'antenne : 0,75
- Modulation d'amplitude
- Alimentation 13,5 V

I . Calcul de l'étage H\_F

du type de transistor

- La puissance  $P_s$  de sortie étant imposée, il nous faudra choisir un transistor dont la dissipation totale  $P_{tot}$  soit :

$$P_{tot} \geq \frac{P_s}{\eta_c}$$

Avec  $\eta_c$  rendement de collecteur .

En général, en pratique cette relation conduit à :

$$P_{tot} = 1,5 \dots 2 P_s$$

Nous prendrons dans notre cas  $\eta_c = 0,5$  d'où  $P_{tot} = 2 \times 0,5 = 1 \text{ W}$

$$P_{tot} = 1 \text{ W}$$

D'autre part , l'étage de sortie est modulé en amplitude (modulation de collecteur) il doit être capable de fournir une puissance de crête instantanée égale à 4 fois la puissance en absence de modulation (porteuse pure) :

$$P_{sc} = 4 P_s = 4 \times 0,5 = 2 \text{ W}$$

$$P_{sc} = 2 \text{ W}$$

Pour un taux de modulation AM de 100 %:

$$\text{Le courant moyen : } I_{cmoy} = \frac{P_{tot}}{E} = \frac{1}{13,5} = 0,074 \text{ A}$$

$$I_C \text{ moy} = 0,074 \text{ A}$$

- fréquence de transition.

Pour obtenir un gain en puissance convenable, tout en assurant un fonctionnement stable, la fréquence de transition  $f_t$  du transistor devra être au moins égale à 2,5 à 5 fois la fréquence de travail soit :

$$f_t \geq 2,5 \dots 5 f$$

Dans notre cas nous avons pris  $f_t = 3 f = 3 \times 27,12 = 81,36 \text{ MHz}$ .

- La tension de claquage  $V_{CB}$  maximum du transistor doit être au moins égale à 2 fois la tension  $E$  d'alimentation.

$$V_{CB} \geq 2 E$$

$$V_{CB} \geq 2 \times 13,5 \text{ V} = 27 \text{ V}$$

Notre choix a été porté sur transistor classique le 2 N 3053 dont les caractéristiques

sont les suivantes:

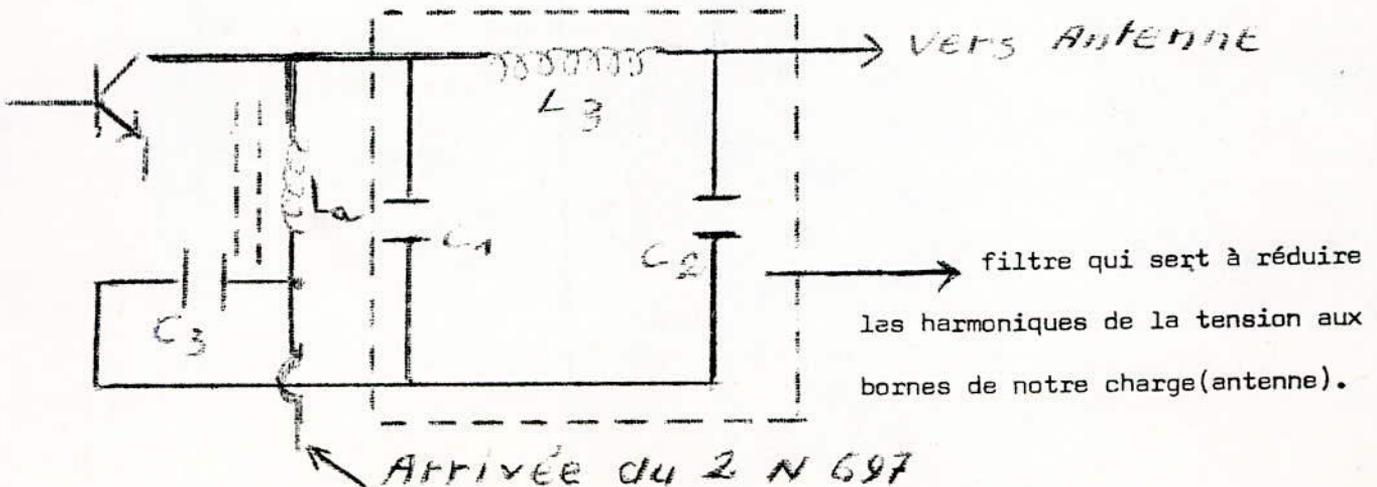
$$V_{CE \text{ Max}} = 40 \text{ V}$$

$$f_t = 100 \text{ MHz}$$

$$V_{CB0} = 60 \text{ V}$$

$$I_C \text{ Max} = 700 \text{ mA}$$

Schéma de l'étage:



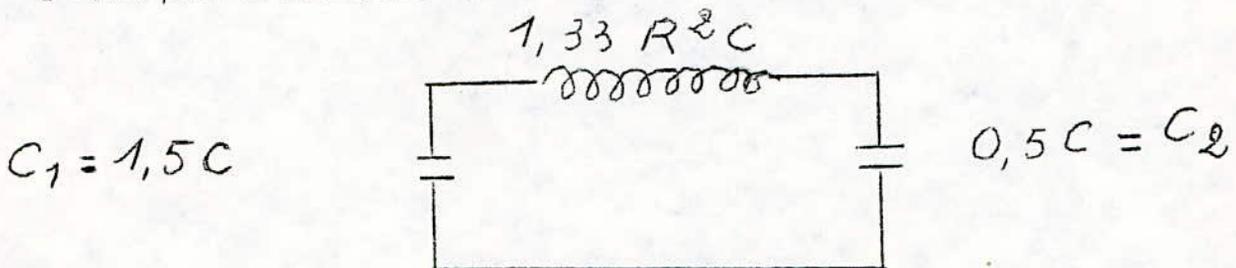


La composante résistive de l'antenne est d'environ une dizaine d'ohms .On obtient:

$$C_1 = \frac{0,2}{2 \pi \cdot 27,12 \cdot 10^6 \cdot 10} = 117 \text{ pF}$$

$$C_1 = 117 \text{ pF}$$

D'autre part le calcul des éléments du filtre <sup>est</sup> sont donnés par les formules suivantes:



R: Impédance caractéristique.

$$C = \frac{C_1}{1,5} = \frac{117}{1,5} = 78 \text{ pF}$$

$$C_2 = 0,5 C = 39 \text{ pF}$$

$$C_2 = 39 \text{ pF}$$

$$L_3 = \frac{1}{\pi^2 \cdot f^2 \cdot C} = \frac{1}{(3,14)^2 \cdot (27,12)^2 \cdot 78} = 1,76 \mu\text{H}$$

$$L_3 = 1,76 \mu\text{H}$$

- Choix de la bobine d'arrêt.

Celle-ci a été choisie de manière à éviter l'énergie HF d'être court circuitée par d'autres organes .Une bobine de choc doit présenter une impédance extrêmement grande à la fréquence de travail du circuit.

La condition que doit vérifier cette bobine est :

$$L_a \geq \frac{10}{C_1 \omega^2}$$

Les valeurs de  $L_a$  et  $C_3$  ont été choisies pratiquement.

-Calcul de la résistance d'émetteur:

Fixons-nous pour le 2 N 3053  $V_{CE} = 4,5 \text{ V}$   
 2 N 697  $V_{CE} = 8,5 \text{ V}$

Nous savons que  $I_C = 0,074 \text{ A}$

Nous en déduisons que  $R_E = 6,75 \Omega$

- Calcul du circuit de couplage entre l'oscillateur et l'ampli HF.

A la résonante:

$$L_1 C \omega^2 = 1 \implies L_1 C = \frac{1}{\omega^2}$$

On s'impose la valeur de la capacité d'accord, celle-ci doit être suffisamment faible pour permettre d'une part la réalisation de l'inductance à la fréquence d'accord et d'autre part supérieure à la capacité de sortie du transistor 2 N 2219 (qui est égale à environ 8 pF) et à la capacité d'entrée du transistor suivant ramenée au primaire. Celle-ci peut être négligée en choisissant un rapport de transformation convenable. (L'admittance d'entrée du transistor 2 N 3053 ramenée au primaire n'influe que très peu sur la bande passante. Nous avons choisi une capacité  $C = 80 \text{ pF}$  réalisée sous la forme d'une capacité fixe de 33 pF à laquelle viennent s'ajouter la capacité de sortie du transistor ainsi que les diverses capacités parasites.

Nous avons choisi également :

$$\frac{L_1}{L_2} = n^2 = 20$$

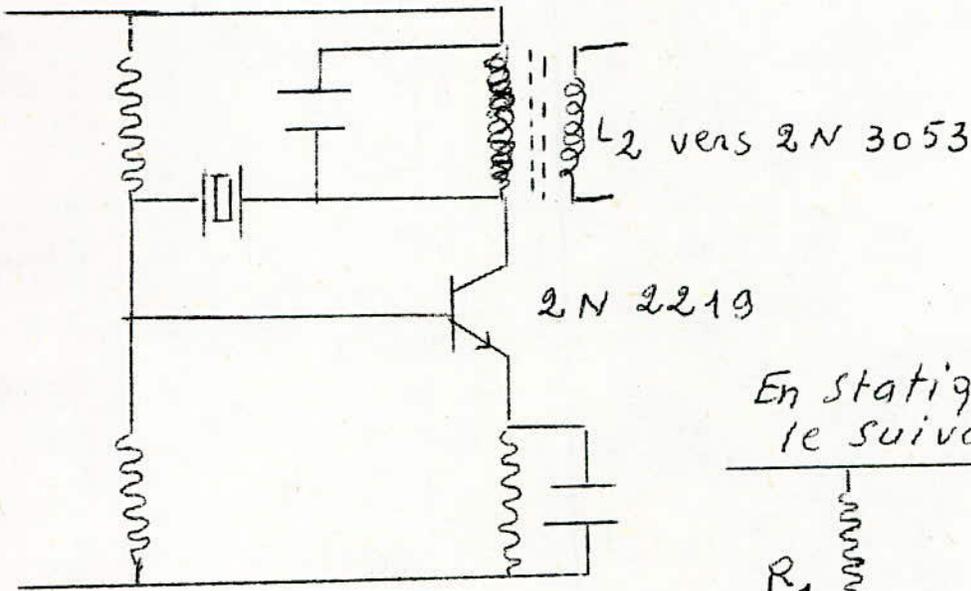
$$L_1 = \frac{1}{\omega^2 C} = \frac{1}{33 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot (2\pi \cdot 12)^2 \cdot 10^{12}} = 10^{-6}$$

$$L_1 = 1 \mu \text{ H.}$$

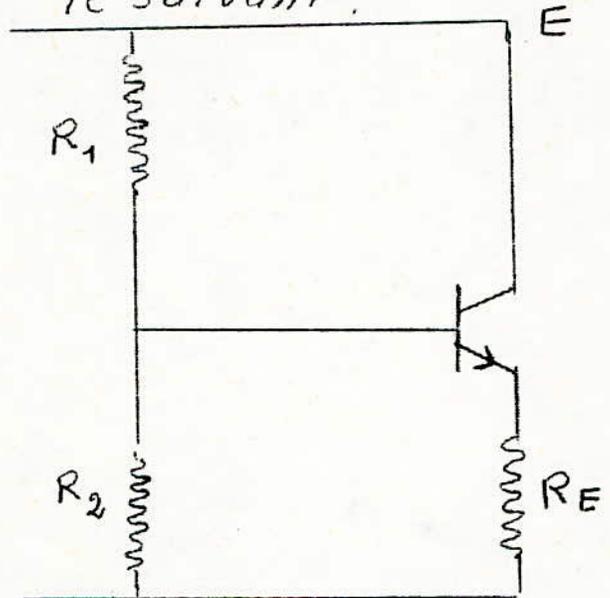
$$\text{d'où } L_2 = \frac{L_1}{n^2} = 0,05 \mu \text{ H}$$

II .Calcul de l'étage oscillateur

Nous l'avons réalisé autour d'un quartz de 27,12 MHz et d'un transistor classique le 2 N 2219.



En statique le schéma sera le suivant :



Nous avons choisi un point de repos :

$$V_{CE} = 10 \text{ V} \quad E = 13,5 \text{ V} \quad V_{BE} = 0,5 \text{ V}$$

$$I_C = 10 \text{ mA} \quad \beta = 100$$

Ceci nous donne  $R_E = 350 \Omega$

Nous faisons remarquer qu'en pratique et pour une b ne stabilisation en température nous avons été amenés   diminuer un peu cette valeur.

$$(R_1 + R_2) I_p = E \quad \text{avec} \quad I_p = 10 I_B$$

$$I_B = \frac{10}{100} = 0,1 \text{ mA}$$

Avec u l'approximation de  $I_p = 10 I_B$  on a :

$$R_2 I_p = 4 \text{ V} \implies R_2 = 4 \text{ K } \Omega$$

$$R_1 + R_2 = 13,5 \text{ K } \Omega$$

$$R_1 = 9,5 \text{ K } \Omega$$

Pour la capacité de découplage, il suffit de vérifier la relation  $\frac{1}{C_E W} \ll R_E$

$R_E = \frac{10}{C_E W}$  est généralement très valable.

$$\text{On choisit } C_E = 4,7 \text{ nF}$$

### III Calcul de l'étage BF

Le courant à la sortie du 2 N 697 étant de l'ordre de 174 mA, cette valeur étant assez importante nous avons utilisé un darlington pour l'obtenir.

$$\beta_{\text{dar}} = \beta_{697} \times \beta_{2907}$$

Choix :

$$\begin{aligned} \beta_{697} &\simeq 40 \\ \beta_{2907} &\simeq 130 \end{aligned} \implies \beta_{\text{dar}} = 5200$$

$$I_{B \text{ 2907}} = \frac{174}{5200} = 0,033 \text{ mA}$$

$$R_2 I_p = 0,5 \text{ V}$$

$$\text{On choisit } V_{CE} \text{ (BC 109)} = 4,5 \text{ V}$$

$$I_p = 10 I_B = 0,33 \text{ mA}$$

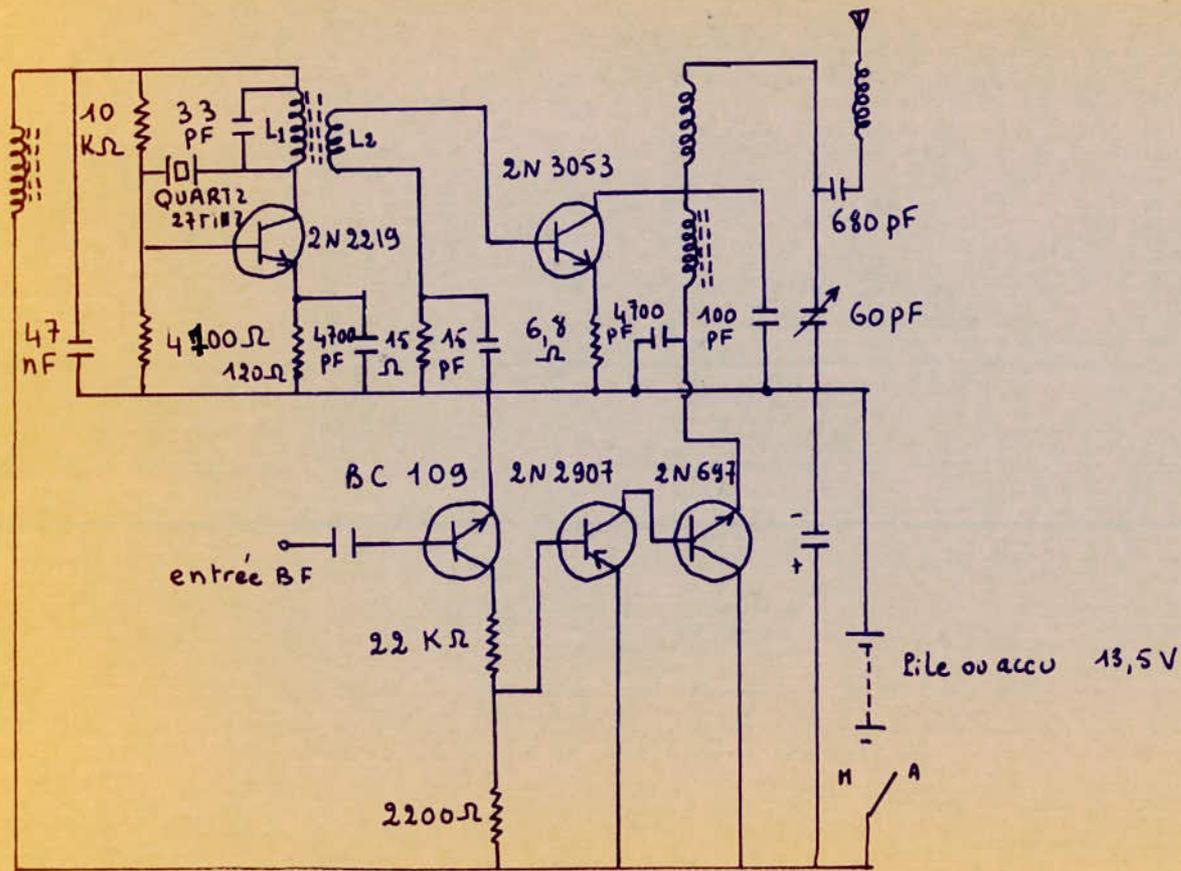
$$\text{d'où } R_2 = 1,5 \text{ K } \Omega$$

$$R_1 + R_2 = \frac{13,5 - 4,5}{330 \cdot 10^{-6}} = 27 \text{ K } \Omega$$

$$R_2 = 1,5 \text{ K } \Omega$$

$$R_1 = 25,5 \text{ K } \Omega$$

# EMETTEUR BANDE 27 MHz



2<sup>ème</sup> partie.LE RECEPTEUR.Cahier de charge:

- Alimentation: 9 V
- Bande de fréquences: 10 Khz
- Sensibilité: 10 mV

I.- Choix du schéma synoptique du récepteur:

Il existe 3 sortes de récepteurs.

- Récepteur à amplification directe

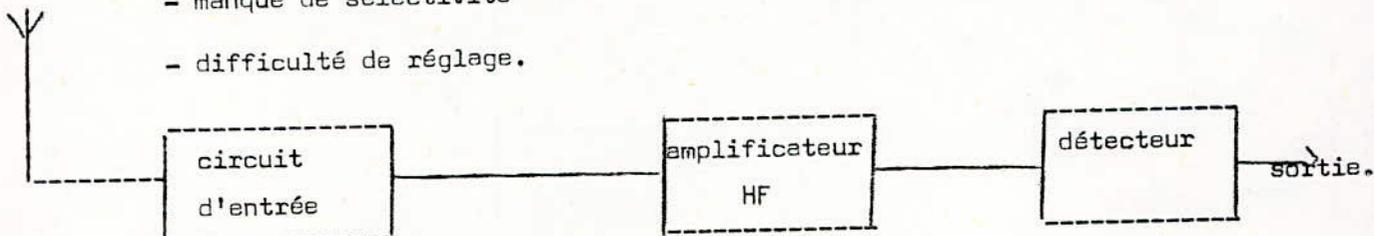
On appelle récepteur à amplification directe tout appareil dont la partie avant détection ne comporte que des étages amplificateurs haute fréquence sans l'intervention du système changeur de fréquence ou encore dans la partie prédéetectrice se limite à un simple circuit d'accord. Les montages à sperrréaction sont à amplification directe.

L'amplification est réalisée uniquement sur la fréquence porteuse et les fréquences voisines.

Dans le cas où on a une bande de fréquence il faut utiliser plusieurs amplificateurs HF en cascade ayant chacun un circuit oscillant accordé manuellement sur la fréquence désignée. Les circuits et les commutations dans ce cas sont complexes.

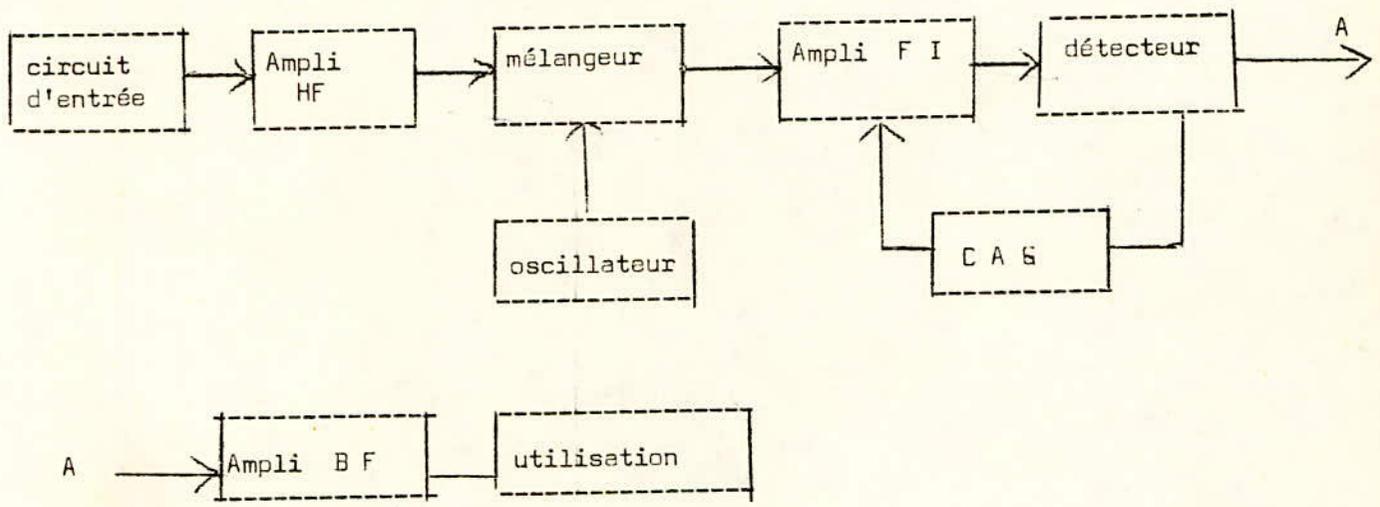
Inconvénients:

- Manque de stabilité.
- Faible rendement
- manque de sélectivité
- difficulté de réglage.



--. Récepteur hétérodyne: C'est un récepteur d'ondes entretenues pures dans lequel l'onde incidente est rendue audible par battement avec une oscillation de fréquence voisine fournie par un oscillateur de battement.

--. Récepteur superhétérodyne: C'est un récepteur dans lequel les oscillations produites par l'onde incidente sont mélangées avec celles provenant d'un oscillateur local pour donner des oscillations à fréquence fixe F I .



Principe du récepteur superhétérodyne: La sensibilité et la sélectivité sont les qualités maîtresses d'un bon récepteur; il est en outre indispensable en raison du nombre important de stations émettrices qu'il puisse recouvrir une large bande de réception. Ces possibilités sont fournies par des récepteurs dits à changement de fréquence ou superhétérodyne .

Ils consistent à mélanger dans un organe non linéaire d'une part la tension H F reçue par l'antenne du récepteur, d'autre part une tension produite par l'oscillateur local situé dans le récepteur. On recueille alors à la sortie de cet étage appelé mélangeur la somme ou plus généralement la différence des deux tensions précédentes. La nouvelle tension obtenue dont la fréquence appelée fréquence intermédiaire est alors amplifiée dans un amplificateur à fréquence intermédiaire.

Le principe d'un tel récepteur est de transformer toutes les fréquences porteuses reçues en une fréquence fixe généralement plus faible.

#### Avantages du changement de fréquence.

- réglages du récepteur simplifiés puisque les circuits à F I sont fixes.
- L'amplification à fréquence intermédiaire est facile, importante et uniforme quelle que soit l'onde reçue.
  - Le rendement en D C est excellent puisque la F I est faible.
  - Le rendement de l'étage détecteur est augmenté du fait de l'amplification préalable importante permettant une démodulation linéaire.
  - Les récepteurs superhétérodynes ont une excellente sélectivité du fait que l'amplificateur fonctionne à une fréquence relativement basse et peut être par conséquent pourvus de filtres plus sélectifs que les filtres fonctionnant sur la H F reçue.

#### Inconvénients du changement de fréquence.

- Production de sifflements dus à la fréquence image.
- A sensibilité égale, le bruit de fond ou souffle est plus grand qu'en réception directe (présence de l'oscillateur). On le diminue en utilisant un amplificateur à l'entrée.
- Si l'oscillateur local manque de stabilité, du glissement de fréquence peut apparaître.
- D'autres inconvénients sont dus à l'action des harmoniques de la fréquence locale  $f_0$  tout particulièrement de l'harmonique 2.
- La principale cause d'instabilité est la dérive de l'oscillateur de changement de fréquence qui entraîne une perte de sensibilité et de sélectivité ainsi que la distorsion du signal utile.

Le récepteur choisi est du type superhétérodyne.

## II . Circuit d'entrée.

### CHOIX

Ce choix dépend de la liaison avec l'antenne et le mélangeur.

- \* Circuit d'entrée en liaison directe avec l'antenne et en liaison inductive avec le mélangeur : Il est simple et pas cher.
- \* Circuit d'entrée en liaison directe avec l'antenne cadre et liaison capacitive avec le mélangeur: L'encombrement est réduit , il est souvent utilisé dans les récepteurs de radiodiffusion.
- \* Circuit d'entrée en liaison capacitive avec l'antenne et capacitive avec le mélangeur: Grande sensibilité et grande sélectivité.

Le circuit d'entrée choisi est le circuit en liaison directe avec l'antenne et liaison inductive avec le mélangeur (figure 1 ) .

### -Calcul .

Circuit équivalent d'une antenne (figure 2 ) .

$$Z_a = R_a + j X_a$$

$$X_a = j \left( L_a \omega - \frac{1}{C_a \omega} \right)$$

$$L_a \neq 0 \quad X_a = \frac{1}{j C_a \omega}$$

$$\text{Dans la bande décamétrique : } C_a \neq 200 \text{ pF}$$

$$R_a = 400 \Omega$$

$$\left| X_a \right| = 29,3 \text{ M}\Omega$$

$X_a$  est nul quand l'antenne est accordée sur la fréquence à recevoir.

### Calcul du circuit d'entrée:

Le montage est représenté (figure 3 )

En ramenant le tout au secondaire on obtient le schéma de la figure 4 .

Condition d'adaptation :

$$\frac{g_a}{m^2} = g_0 + g_e + j \left( C_e \omega - \frac{1}{L_e \omega} \right)$$

Avec  $m = \frac{n_2}{n_1}$  rapport de transformation.

$g_0$  : perte de l'enroulement

$g_e$  : conductance du transistor

$C_e$  : capacité d'entrée du transistor

Par identification:

$$\frac{g_a}{m^2} = g_0 + g_e \implies m^2 = \frac{g_a}{g_e + g_0}$$

On estime les pertes de l'enroulement à  $R_0 = 10 \text{ k}\Omega$

$$g_0 = 10^{-4} \text{ S}$$

$$R_e = 150 \text{ }\Omega$$

$$g_e = \frac{1}{R_e} = 6,6 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$R_a = 400 \text{ }\Omega$$

$$g_a = \frac{1}{R_a} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ S}$$

$$m^2 = \frac{g_a}{g_0 + g_e} = 0,37 \implies m = 0,6$$

$$m^2 = \frac{L_2}{L_1}$$

$L_1 C \omega^2 = 1$  on a choisi  $C = 33 \text{ pF}$  pour  $f = 27,12 \text{ MHz}$

$$L_1 = \frac{1}{C \omega^2} = 1,04 \text{ }\mu\text{H}$$

$$L_2 = m^2 L_1$$

$$L_2 = 0,38 \text{ }\mu\text{H}$$

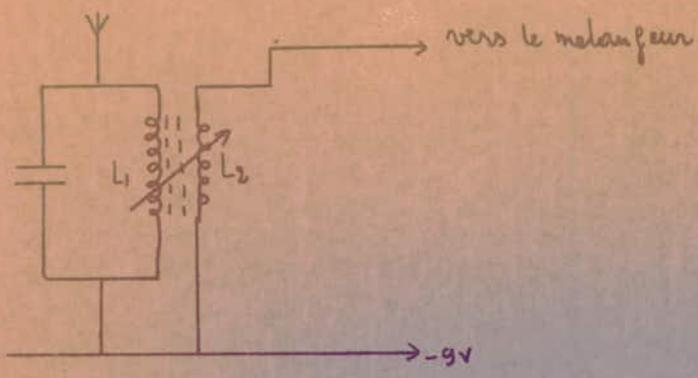


fig 1.  
circuit d'entrée.

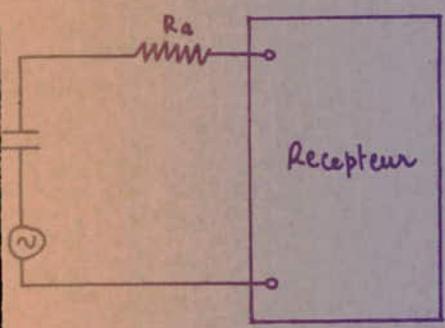


fig 2.  
Schéma équivalent d'une antenne.

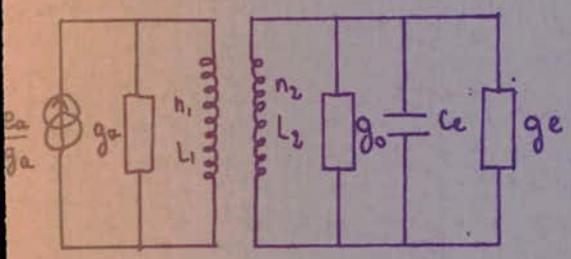


fig 3

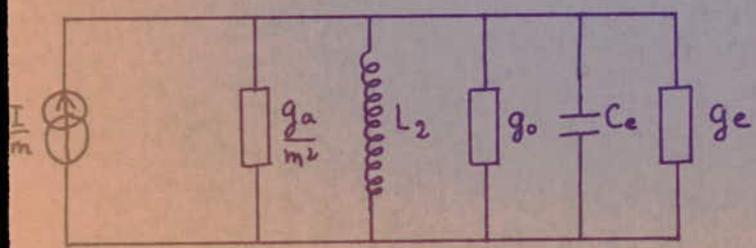


fig 4

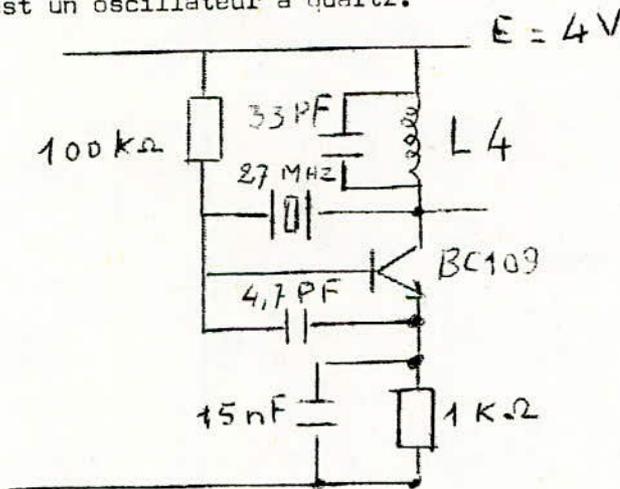
### III . L'oscillateur.

La profusion des schémas possibles d'oscillateurs rend plus difficile le choix.

- Les oscillateurs à résistances et capacités sont prévus pour fonctionner en B F.
- Les oscillateurs à inductances et capacités variables sont prévus pour fonctionner à des fréquences variables.
- Les oscillateurs à quartz paraissent tout indiqué car ils fonctionnent en HF (ils fonctionnent en BF aussi) et la fréquence est fixe. L'oscillateur piloté par quartz permet d'obtenir une grande précision et une haute stabilité.

L'oscillateur à quartz nous permet d'avoir une fréquence stable donc une fréquence FI stable d'où une bande passante stable. Le rapport  $\frac{S}{B}$  est ainsi amélioré.

L'oscillateur choisi est un oscillateur à quartz.



Dans la pratique, la réalisation d'un oscillateur est basée sur des considérations analytiques et expérimentales.

La marche à suivre pour la réalisation d'un oscillateur type de faible puissance peut correspondre aux directives suivantes:

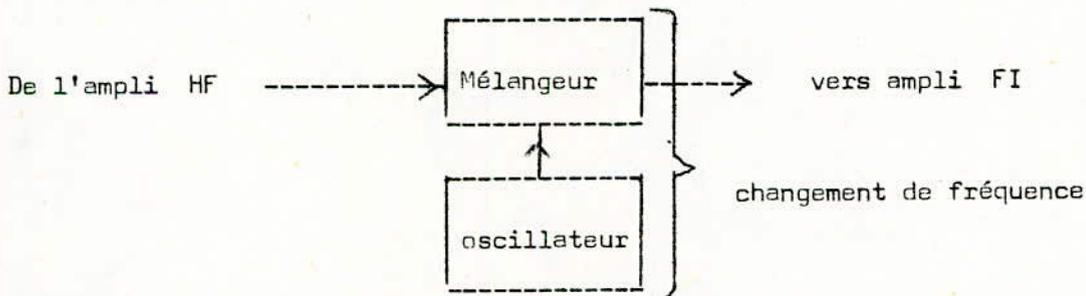
- On choisit un transistor qui a un gain en puissance suffisant à la fréquence prévue pour l'oscillateur.
- On choisit le type de circuit oscillateur.
- On se décide pour un point de fonctionnement approprié et l'on incorpore si on le

désire des réseaux de stabilisation en courant continu.

- On détermine les valeurs des éléments composants du circuit accordé. Une fois choisis le transistor et le schéma de principe, il faut déterminer le point de fonctionnement approprié en utilisant les procédés de polarisation.

#### IV \_ Le mélangeur.

L'étage mélangeur reçoit , d'une part soit les signaux déjà amplifiés par l'amplificateur HF , soit les signaux recueillis par l'antenne et d'autre part , une oscillation de fréquence convenable issue de l'étage oscillateur. Les signaux incidents et l'oscillation locale donnent naissance par battement, à un nouveau signal de fréquence constante quel que soit la fréquence de l'onde reçue. Il s'agit du signal moyenne fréquence (M F ) ou de fréquence intermédiaire ( F I ) , ensuite le signal F I est amplifié par un ou deux étages amplificateurs F I puis détecté , la suite des étages constituant le récepteur est classique.



Les étages mélangeur et oscillateur constituent le changement de fréquence .

#### -- CHOIX.

\* Choix de la fréquence intermédiaire.

Les FI utilisées sont : soit 455 Khz en O C

soit 110 ou 115 Khz en GO et PO

Généralement dans les récepteurs de radiocommande la F I est de 455 Khz.

En tenant compte de ceci , notre récepteur (qui travaille en O C ) a pour F I 455 Khz .

Si les exigences de la sélectivité ne sont pas importantes l'ampli FI utilisé est à un seul circuit accordé.

\* Avantages

- La caractéristique de phase a une grande linéarité.
- Une bonne stabilité de la courbe de résonance (ceci dépend des composants du circuit accordé).
- Constructions et réglages faciles.

Il existe deux types de changements de fréquences.

- Changeurs de fréquence multiplicatifs: Le changement de fréquence est multiplicatif lorsque les signaux d'entrée d'oscillations sont appliqués à deux électrodes d'un transistor, changeur de fréquence nommé aussi convertisseur, mélangeur. Le changement de fréquence est dû à la variation de la pente du transistor en fonction du temps.
- Changeurs de fréquence additifs: Le signal d'entrée et celui émis par l'oscillateur local sont appliqués à la même électrode d'un transistor mélangeur.

On distingue deux types de mélangeurs:

- Mélangeur avec hétérodyne extérieur : Il possède une bonne stabilité et utilise plus d'étages.
- Mélangeur qui joue le rôle d'hétérodyne et du mélangeur : On les emploie pour diminuer le nombre des transistors et ainsi diminuer la puissance consommée.

Le mélangeur choisi est un mélangeur à changement de fréquence additif et avec hétérodyne extérieur.

-CALCUL

Le choix du transistor est en premier lieu guidé par la fréquence de coupure qui doit être supérieure ou égale à deux fois la fréquence sur laquelle devra travailler le mélangeur.

Dans notre cas nous avons utilisé un BF 200 dont la fréquence de coupure est de 650MHz .

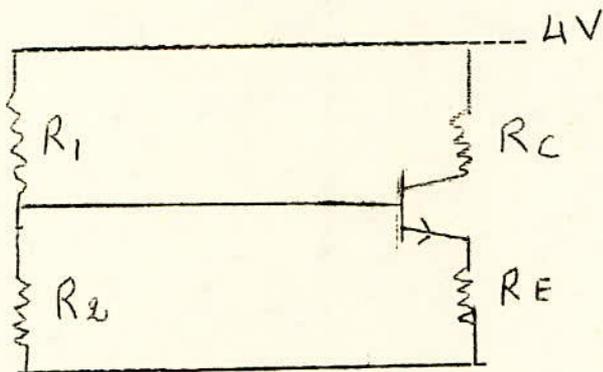
Nous nous proposons de calculer la résistance d'émetteur et le pont de base.

Pour le BF200 le point de fonctionnement choisi d'après ses caractéristiques est tel

que:  $V_{CE} = 2,5 \text{ V}$        $V_{BE} = 0,4 \text{ v}$        $I_C = 1,22 \text{ mA}$        $\beta = 82$

La valeur de la résistance  $R_C$  du transformateur FI est très faible de l'ordre de  $10 \Omega$

calculons la résistance  $R_E$  pour une tension d'alimentation de 4 V .



$$I_E = (\beta + 1) I_B \cong I_C$$

$$E = (R_C + R_E) I_C + V_{CE}$$

$$R_E = \frac{E - V_{CE}}{I_C} = \frac{4 - 2,5}{1,22} = \frac{1,5}{1,22} = 1,23 \text{ k}\Omega$$

Pour calculer  $R_1$  et  $R_2$  ,il suffit de se conformer aux règles suivantes:

- Afin d'éviter des variations dans le temps, le courant dans la branche  $R_1$  et  $R_2$  devra être au moins 10 fois supérieur au courant de base c'est à dire dans notre cas:

$$I_P = 10 I_B \quad I_B = \frac{I_C}{\beta} = 0,015 \text{ mA}$$

$$I_P = 0,15 \text{ mA}$$

$$R_1 + R_2 = \frac{E}{I_P} = \frac{4}{0,15} = 26,6 \text{ k}\Omega$$

Le potentiel de base par rapport au "moins " de la tension d'alimentation est sensiblement égal à la somme de la tension aux bornes de  $R_E$  et de la tension entre base et émetteur tel que  $V_{BE} = 0,4 \text{ V}$  ( le mélangeur doit fonctionner dans la partie non linéaire de sa caractéristique).

$$V_{BM} = R_E I_C + V_{BE} = 1,88 \text{ V}$$

$$R_2 = \frac{1,88}{0,15} = 12,5 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 26,6 - 12,5 = 14 \text{ k}\Omega$$

Une des caractéristiques essentielles d'un oscillateur mélangeur est son gain de conversion. Il est défini par le rapport de la puissance de sortie FI (mesurée sur l'impédance d'entrée du premier transistor, amplificateur FI) à la puissance HF fournie par le circuit collecteur d'ondes sur l'entrée du transistor mélangeur (rapport exprimé en dB)

$$G_C = \frac{\text{Puissance de sortie disponible à la FI}}{\text{Puissance d'entrée en H F.}}$$

### V Etages FI

Un amplificateur FI fonctionne exactement comme un amplificateur HF. L'amplification FI est beaucoup plus simple car la fréquence du courant à amplifier est constante.

Il faut d'abord obtenir l'amplification suffisante de la tension FI disponible à la sortie du changeur de fréquence; en fait la tension FI doit être d'amplitude suffisante pour être appliquée au détecteur afin que la détection s'opère bien dans la partie linéaire de la caractéristique.

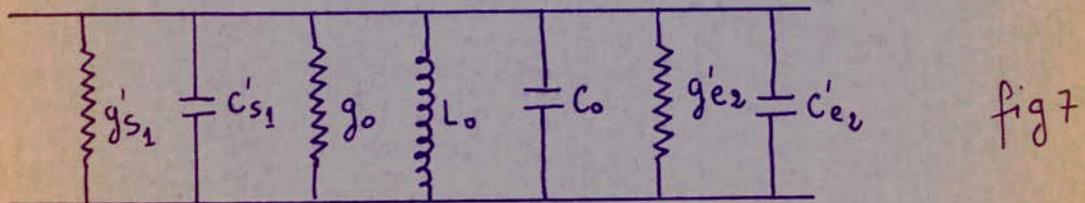
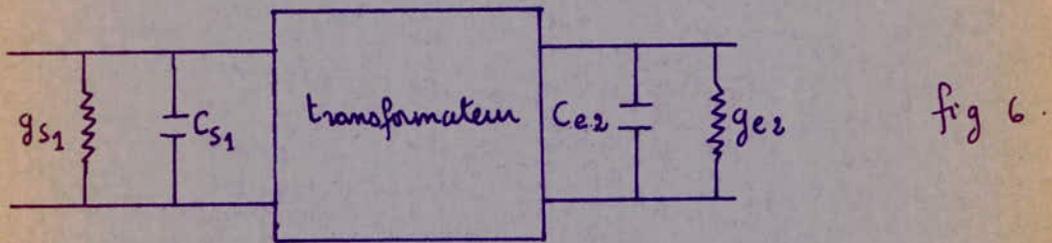
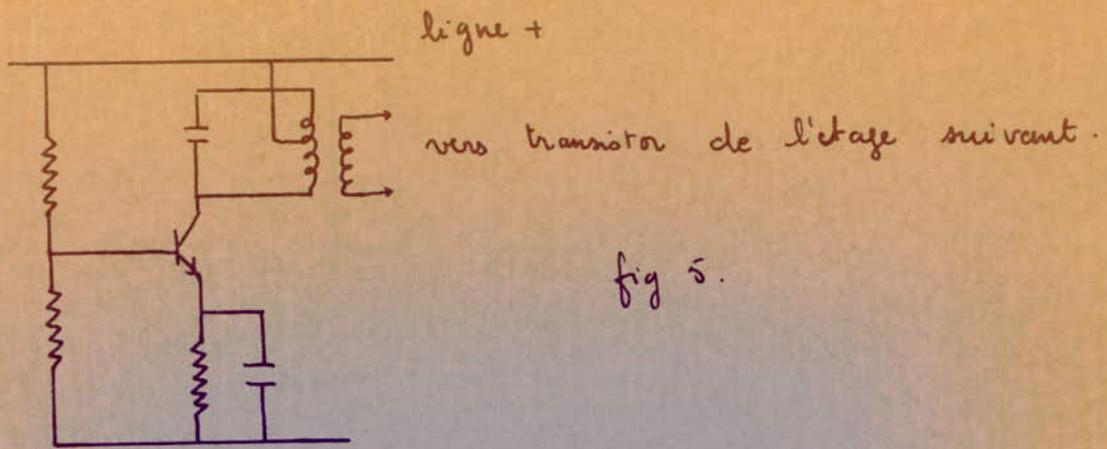
L'amplification FI doit être sélective. Deux étages FI permettent une amplification beaucoup plus grande mais surtout offrent la possibilité d'obtenir une courbe de sélectivité se rapprochant beaucoup de la forme idéale.

### Calcul des amplificateurs FI .

On connaît les impédances d'entrée et de sortie du transistor employé et son admittance de transfert. On s'impose, de plus, le gain total et la fréquence centrale d'utilisation. La largeur de bande globale est fixée en fonction de la modulation utilisée. Il s'agit alors de déterminer le nombre d'étages.

Les figures 5, 6, 7 représentent le schéma général d'un étage FI ainsi que son schéma équivalent.

Soient  $g_{s1}$  et  $C_{s1}$  l'admittance est la capacité de sortie du transistor  $T_1$  et  $g_{e2}$ ,  $C_{e2}$  l'admittance est la capacité d'entrée du deuxième transistor  $T_2$ . Le transformateur intermédiaire possède une admittance propre  $g_0$ , fonction de la qualité du circuit utilisé et de sa self induction  $L_0$ .



Ramenant les impédances complexes d'entrée et de sortie des transistors  $T_1$  et  $T_2$  du côté de l'enroulement total  $n_T$  du transformateur. Le schéma équivalent de l'ensemble est donc celui de la figure 7.

On a les relations suivantes entre les impédances réelles et les impédances ramenées :

$$\frac{n_1}{n_T} = \sqrt{\frac{g_{s1}}{g_{S1}}}$$

$$\frac{n_2}{n_T} = \sqrt{\frac{g_{e2}}{g_{e2}}}$$

$$g'_{s1} = g_{s1} \left(\frac{n_1}{n_T}\right)^2$$

$$g'_{e2} = g_{e2} \left(\frac{n_2}{n_T}\right)^2$$

$$C'_{s1} = C_{s1} \left(\frac{n_1}{n_T}\right)^2$$

$$C'_{e2} = C_{e2} \left(\frac{n_2}{n_T}\right)^2$$

L'admittance totale  $g_T$  et la capacité totale  $C_T$  appliquées aux bornes du circuit

$L_0$   $C_0$  s'écrivent :

$$g_T = g'_{s1} + g_0 + g'_{e2}$$

$$C_T = C'_{s1} + C_0 + C'_{e2}$$

on doit réaliser l'accord lorsque :

$$L_0 C_T \omega^2 = 1$$

Le coefficient de qualité  $Q_0$  du circuit est déterminé au " Q mètre " on en déduit :

$$g_0 = \frac{1}{Q_0 L_0 \omega}$$

Supposons connue la largeur de bande à 3 dB, largeur que nous appellerons B. Le Q en

charge est donc :

$$Q = \frac{f}{B}$$

Cela signifie que l'on a pour valeur l'admittance totale :

$$g_T = \frac{1}{Q L_0 \omega}$$

Le rapport  $\frac{g_0}{g_T} = \frac{Q}{Q_0}$  est donc parfaitement déterminé d'où la valeur de la

conductance totale ramenée aux bornes du circuit oscillant :

$$g_T = g_0 \times \frac{Q_0}{Q}$$

Si  $s$  est la pente du transistor en mA/V, le gain maximum en puissance d'un étage

a pour valeur :

$$G_p = \frac{|s|^2}{4 g_{e1} g_{s1}} \left(1 - \frac{Q}{Q_0}\right)^2 = \frac{|s|^2}{4 g_{e1} g_{s1}} \left(1 - \frac{B_0}{B/\text{étage}}\right)^2$$

pour  $Q_0 = \infty$  (pas de pertes), le gain en puissance est :

$$G_{p \text{ max}} = \frac{|s|^2}{4 g_{e1} g_{s1}} = \text{gain intrinsèque}$$

on relève pour le transistor 2 N 3904

$$g_{s1} = 40 \cdot 10^{-6} \text{ } \Omega$$

$$g_{e1} = 10^{-4} \text{ } \Omega$$

$s = 40 \text{ mA/V}$  pour  $I_C = 1 \text{ mA}$

$$\text{Alors } G_{p \text{ max}} = \frac{|s|^2}{4 g_{e1} g_{s1}} = \frac{(40 \cdot 10^{-3})^2}{4 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-6}} = 10^5$$

$$\text{soit en décibels } \left| G_{p \text{ max}} \right| \text{ dB} = 50 \text{ dB}$$

Dans le cas où on dispose de  $K$  étages la largeur de bande par étage s'exprime en fonction de la bande totale par la formule:

$$\text{bande/étage} = \frac{\text{bande totale}}{\sqrt[k]{2^k - 1}}$$

On applique le plus souvent la formule simple suivante:

$$\text{bande/étage} = 1,2 \sqrt{K} \cdot \text{bande totale à } 3 \text{ dB.}$$

La valeur  $K$  du nombre d'étages est déterminée approximativement en fonction du gain de puissance désirée par la relation:

$$(G_p \text{ total})_{\text{dB}} = K(G_p \text{ étage})_{\text{dB}}$$

Si nous nous fixons un gain global de 60 dB, nous constatons d'après le résultat

$$\text{trouvé } \left| G_{p \text{ max}} \right|_{\text{dB}} = 50 \text{ dB, qu'il nous faut deux étages donc trois transformateurs}$$

le premier charge le collecteur du transistor mélangeur et le dernier fournit le signal à la diode de détection.

VI Détection et CAG

— Il existe deux types de détection à diode

- Détection en série
- Détection parallèle

Le type de détection choisi est la détection série.

Choix des éléments R et C

En considérant les impédances on est conduit à la double condition déjà définie

$$\frac{1}{C W_0} < R < \frac{1}{C W}$$

Les fréquences ,basse et HF sont égales à 1 KHz et 27,12 MHz

On choisit R = 4,7 K  $\Omega$

$$C = 22 \text{ nF}$$

$$\frac{1}{C W_0} = \frac{1}{22 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 27,12 \cdot 10^6} = 0,26 \text{ } \Omega$$

$$\frac{1}{C W} = \frac{1}{22 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 10^3} = 7,2 \text{ K } \Omega$$

Dans la condition  $\frac{1}{C W_0} < R < \frac{1}{C W}$  est bien satisfaite.

— La CAG a pour rôle de maintenir à la sortie du détecteur un signal aussi constant que possible malgré les variations du signal d'antenne.

Le système CAG doit en outre éviter la surcharge des circuits FI en limitant les signaux provenant de postes émetteurs puissants ou rapprochés et ne pas agir sur les courants faibles afin de ne pas influencer la sensibilité. Le rôle du dispositif CAG est de réduire le gain d'un ou de plusieurs étages d'amplification intermédiaire et s'il y a lieu celui de l'étage HF lorsque l'amplitude des signaux d'entrée est élevée ou au contraire de renforcer l'amplification lorsque l'amplitude précédente est faible.

La tension de contrôle est prélevée à la sortie de l'étage détecteur.

Pour la tension CAG, le premier transistor agit comme amplificateur à courant continu.

L'application de la CAG sur le second étage FI ne se fait généralement pas car cela provoque souvent une importante distorsion sur les signaux forts.

### VII Amplificateur BF

Le niveau de sortie de la BF étant de 200 mV, ce qui est faible; on a choisi un amplificateur BF à circuit intégré. Le choix de cet ampli a été fait d'après ses caractéristiques:

Ses principaux avantages :

- fonctionnement possible avec une tension d'alimentation de 3 à 16 V.
- faible courant de repos ( 4 mA )
- rendement élevé
- puissance de sortie jusqu'à 2 watts sans dissipateur extérieur
- grande impédance d'entrée, faible courant d'entrée
- bonne réjection des variations de tension d'alimentation
- pas d'emballement thermique
- nombre de composants extérieurs réduits.

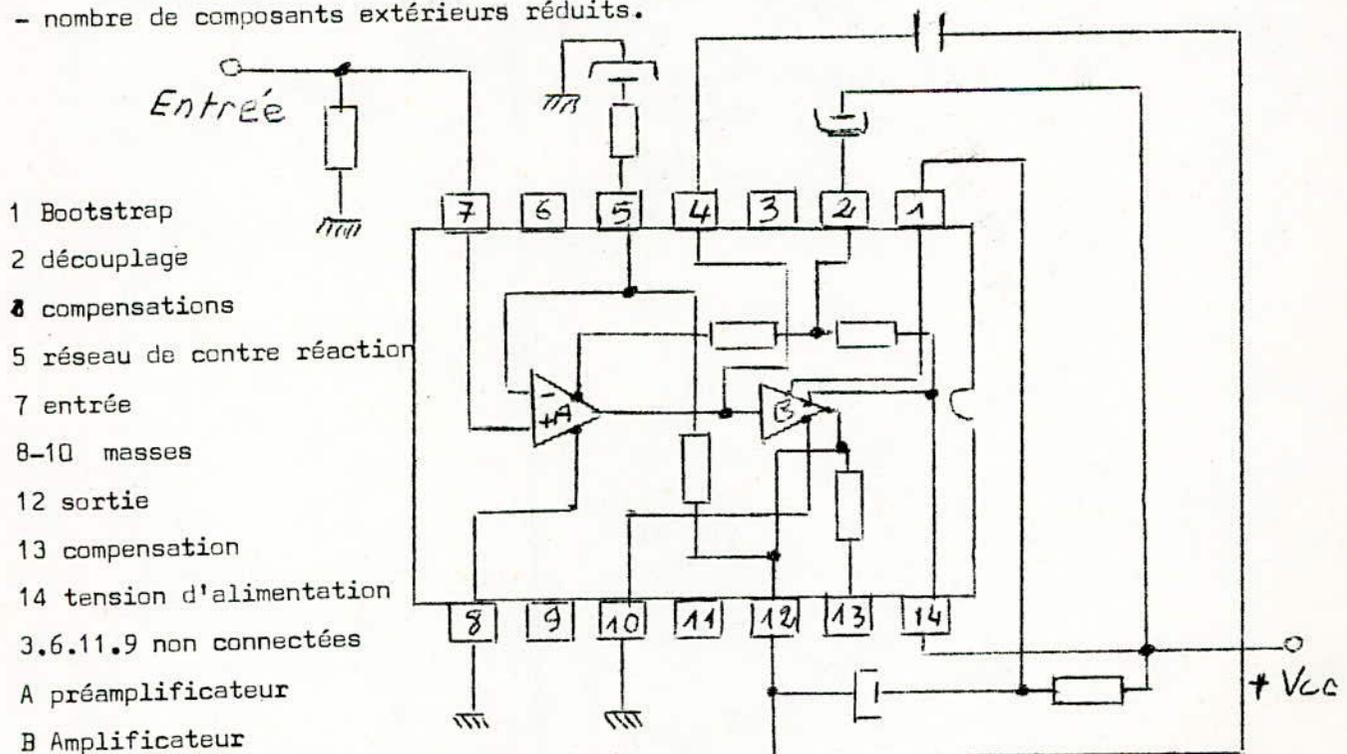
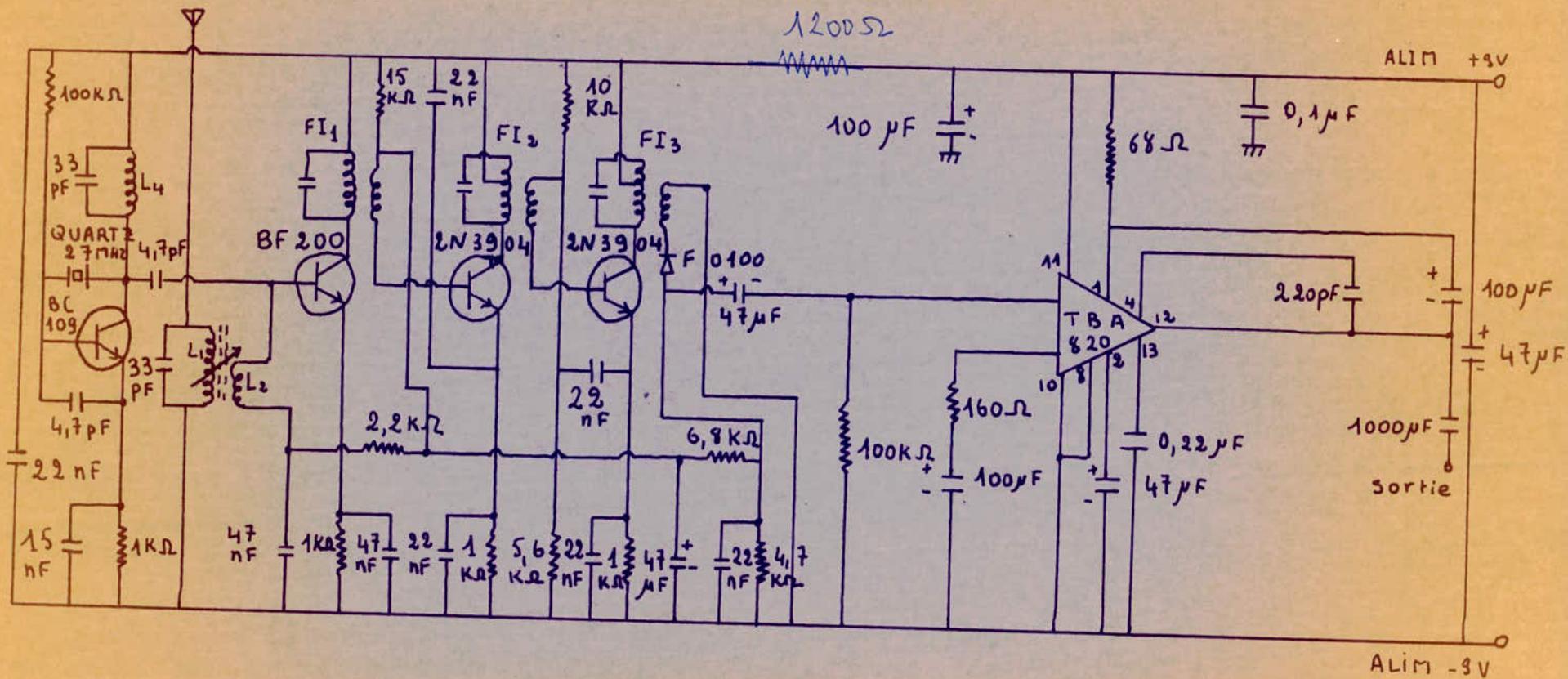


Schéma interne du TBA 820

# RECEPTEUR BANDE 27 MHz



### CONCLUSION.

Grâce à l'étude que nous avons menée, nous avons eu accès à un domaine qui nous était jusqu'alors peu familier. Ce domaine est la télémesure.

La réalisation de la chaîne de transmission nous a convaincus de la différence existant entre la théorie et la pratique. Afin de relever les difficultés que pose la pratique d'un montage HF, il a fallu faire plusieurs corrections et réajustements des valeurs de certains éléments, surtout des selfs et des capacités.

La simplicité du schéma de l'émetteur a fait que sa réalisation a été facile et son fonctionnement immédiat.

Son seul inconvénient est qu'il doit fonctionner continuellement d'où une consommation importante. Le remède à cela est la mise en place d'une télécommande.

L'émetteur et le récepteur réalisés sont d'un encombrement réduit et peuvent de ce fait être embarqués.

Nous n'oublierons pas de noter, que nous n'avons pas connu le manque de composants ni de matériel, ni d'aide et c'est ce qui explique que nous avons pu réaliser l'émetteur et le récepteur.

B           I B L I O G R A P H I E .           

- Pratique de la Telecommande des modèles réduits. CH. PEPIN
- Télécommande et Télémessure Radio appliqués aux engins spéciaux. J. MARCUS
- Electronique et Radio electricite 2 G. THALMANN
- Théorie de la communication J. DUPRAZ
- Cours moyen de Radio technique R. RAFFIN
- Notions de base pour la télédétection A. ABDELLAOUI
  
- Introduction à la télédétection R. LABGAA  
A. ABDELLAOUI
- Encyclopédie de l' électricité . TOME I ET TOME II LAROUSSE
- Initiation à la Télécommande. W. SCHAFF.
  
- Télémechanique V.N. TOUJEVITCH  
( Editions Energie 1973 )
  
- Amplificateurs et Récepteurs BOULANCH ET S.N. OUSSOH  
( Editions Ecole Supérieure  
1971 )

=====