



**PHILIPS**

# RGT

Radio - Gramophone - Télévision

**Informations Techniques**

N° 4

Avril 1966

# LA STEREOPHONIE

A-a-5

## **PRINCIPES de la TRANSMISSION et de la RECEPTION de la STEREOPHONIE en MODULATION de FREQUENCE**

### **NOTE IMPORTANTE**

Le lecteur a un grand intérêt à étudier d'une façon très approfondie les explications qui seront données dans les lignes qui vont suivre, afin de lui permettre tout d'abord de se mettre au courant de ce nouveau procédé de transmission qui est déjà introduit dans plusieurs récepteurs et surtout pour préparer l'avenir et acquérir certaines connaissances de base qui lui serviront le moment venu pour comprendre le fonctionnement de la télévision en couleurs.

### **INTRODUCTION**

Alors que pendant longtemps on s'est contenté de la reproduction de la musique par un seul canal acoustique, on s'est rendu compte que l'absence de la sensation du son dans l'espace constitue une omission importante. Cela a conduit au développement des électrophones et magnétophones stéréophoniques dans lesquels deux canaux acoustiques sont attaqués par deux microphones ou groupes de microphones dirigés différemment. Il était naturel de se demander si l'on pouvait transmettre aussi des programmes de radio par une voie stéréophonique. Cette question s'imposait d'autant plus que pour l'audition radiophonique, objet spécifique de la radiodiffusion, la reproduction stéréophonique présente des avantages marqués.

Dans un système de diffusion stéréophonique, on suppose qu'il doit être "compatible". Cette condition signifie que les signaux émis doivent aussi permettre une reproduction satisfaisante par les millions de récepteurs normaux F.M. déjà existants. C'est une même condition qui se pose pour la télévision en noir et blanc, dans le cas des émissions en couleur. Une solution évidente pour la radiodiffusion stéréophonique, solution qui a été effectivement expérimentée au début, à savoir la transmission des signaux de microphones situés à droite et à gauche par deux émetteurs radio distincts, s'exclut immédiatement comme conséquence de la condition sus-mentionnée. Avec un récepteur normal (A. M. mono), on reçoit ainsi seulement les signaux d'un des microphones, alors que dans le studio, aucun des deux microphones n'est monté de façon à obtenir séparément une reproduction satisfaisante de l'ensemble.

La question est donc de savoir si l'on peut transmettre des signaux stéréophoniques avec un émetteur et un récepteur de telle façon à pouvoir avoir une reproduction de bonne qualité et de bonne intensité acoustique avec des récepteurs non stéréophoniques (dits récepteurs "monocanal").

Cette question a entraîné des recherches dans le monde entier. Comme il s'agit ici souvent d'émissions de haute qualité, on s'est attaché principalement dans ces recherches à la radiodiffusion en modulation de fréquence, seul moyen d'obtenir les largeurs de bandes de fréquences nécessaires.

## SYSTEMES POUR LA TRANSMISSION DES SIGNAUX STEREOGRAPHIQUES

Il est connu d'après de nombreuses recherches qu'on peut obtenir une image acoustique satisfaisante pour la plupart des applications avec deux canaux audiofréquence. Des études ont été entreprises depuis 1939 dans les laboratoires PHILIPS. Par ailleurs, on s'est demandé s'il était vraiment nécessaire d'utiliser deux canaux complets pour obtenir une impression d'espace. Le choix a été limité finalement à des systèmes comprenant deux canaux audiofréquence complets.

Pour n'utiliser qu'un émetteur, tous les systèmes travaillent avec une onde porteuse auxiliaire dont la fréquence est supérieure à la fréquence audible la plus élevée. Cette onde porteuse auxiliaire est modulée par un des signaux audiofréquence. L'ensemble constitué par l'autre signal audiofréquence et l'onde porteuse auxiliaire modulée est émis par modulation FM sur l'onde porteuse principale.

En effet, rien n'empêche, en plus du registre musical qui s'étend jusqu'à 15 kHz, d'émettre des fréquences de 20, 30, 50 kHz, etc..

Pour assurer la compatibilité, on choisit comme signal audiofréquence pour la modulation directe la somme des signaux du microphone de droite et de celui de gauche. Les récepteurs "monocanal" détectent seulement la modulation directe, et comme la somme est une sorte de moyenne du signal de gauche et du signal de droite, on peut obtenir ainsi une reproduction satisfaisante. Comme signal audiofréquence de modulation de l'onde porteuse auxiliaire, on choisit alors un signal obtenu à partir de la différence du signal de droite et du signal de gauche. Si l'on récupère dans le récepteur ces deux signaux (pour abrégé, on parlera du signal somme et du signal différence), on peut alors obtenir, grâce à un montage simple, les signaux originaux de droite et de gauche que l'on veut appliquer aux haut-parleurs. Un avantage de cette méthode réside encore dans le fait que lors de la réception stéréophonique, grâce au fait que le signal de droite et celui de gauche subissent les mêmes traitements, la qualité de reproduction des deux signaux est la même (cela ne serait pas le cas, par exemple, si l'on transmettait le signal de gauche par modulation directe et le signal de droite par modulation sur l'onde porteuse auxiliaire).

La technique des transmissions par ondes porteuses auxiliaires est bien connue en téléphonie. Ces ondes peuvent être modulées en amplitude ou en fréquence. De ce fait, beaucoup de variantes sont possibles (on peut supprimer par exemple l'onde porteuse ou une des bandes latérales), ce qui donne naissance à différents systèmes. Des recherches ont été effectuées également à ce sujet dans nos laboratoires. Quelques-uns de leurs résultats seront donnés par la suite.

La plupart des chercheurs ont donné la préférence à la modulation d'amplitude, cela surtout pour les raisons suivantes :

- 1) On peut employer un système détecteur simple;
- 2) Dans certains systèmes à modulation d'amplitude, on dispose pour le signal somme, modulant directement l'onde porteuse émise, d'une grande excursion de fréquence.

C'est pourquoi on se limitera dans ce qui suit aux systèmes dans lesquels l'onde porteuse auxiliaire est modulée en amplitude.

On représentera les signaux obtenus à partir des microphones de gauche et de droite, respectivement par L et R; puis on introduira pour le signal somme (signal monophonique) et le signal différence respectivement, les notations M et S, donc :

$$M = L + R,$$

$$S = L - R.$$

Le signal modulant l'onde porteuse émise est donc constitué, dans cette méthode, par M et par l'onde porteuse auxiliaire qui est elle-même modulée en amplitude par S. Par conséquent, on peut représenter ce signal par :

$$\begin{aligned} F &= M + A \\ F &= M + (A + S) \sin \omega ht. \end{aligned} \quad (1)$$

Ici A représente l'onde porteuse auxiliaire modulée d'amplitude a et de pulsation  $\omega h$ .

Les "enveloppes" supérieure et inférieure de cette fonction peuvent être trouvées avec une très bonne approximation en posant successivement  $\sin \omega ht = +1$  et  $-1$ . On trouve alors respectivement pour la loi de variation de ces enveloppes :

$$F_1 = M + S + a = (L + R) + (L - R) + a = a + 2L \quad (2a)$$

$$F_2 = M - S - a = (L + R) - (L - R) - a = -a + 2R \quad (2b).$$

Les composantes à tension alternative de ces enveloppes sont donc respectivement égales au double du signal de gauche et au double du signal de droite. Si l'on fait en sorte que L et R restent plus petits que  $1/2a$ , l'une des enveloppes reste toujours positive et l'autre toujours négative. On peut alors obtenir à l'aide de deux détecteurs d'amplitude montés en polarité inverse le signal de gauche et le signal de droite à partir du signal complet.

Pour bien comprendre, on a représenté sur la fig. 1 la composition d'un signal formé de cette façon, et obtenu dans un cas simple, à savoir lorsque le signal de gauche existe seul. On admet ici une variation purement sinusoïdale  $L = b \sin pt$  (fig. 1a). Le signal de droite R est donc nul et M aussi bien que S sont égaux à L. La fig. 1b montre l'onde porteuse auxiliaire modulée qui doit être représentée par la formule :

$$A = (a + b \sin pt) \sin \omega ht \quad (3)$$

Dans cette égalité, b est l'amplitude du signal B.F. et p sa pulsation.

Sur la fig. 1c, on a représenté le signal complet. Les formules pour les deux enveloppes sont :

$$F_1 = a + 2b \sin pt$$

$$F_2 = -a.$$

La fig. 1d montre le spectre de fréquences du signal de la fig. 1c. Comme on voit d'après (3), l'amplitude des deux bandes latérales est égale à  $1/2b$ . (Voir Appendice I).

Un signal tel qu'illustré à titre d'exemple sur la fig. 1c module donc l'onde porteuse radiofréquence émise et comme en modulation de fréquence l'amplitude du signal modulateur détermine la grandeur de l'excursion de fréquence, les enveloppes du signal complet ne peuvent dépasser des valeurs déterminées.

A cause de la présence de l'onde porteuse auxiliaire, on ne peut donc utiliser qu'une partie de l'excursion de fréquence admissible pour transmettre le signal somme. L'auditeur qui ne dispose pas d'un appareillage stéréo reçoit alors un signal ayant une excursion de fréquence plus faible que celui qu'il aurait reçu si l'émission n'avait pas été stéréophonique. Dans le cas particulier auquel se rapporte la fig. 1, la valeur maximale de l'enveloppe  $F_1$  est de  $a + 2b$  (à cela correspond donc l'excursion de fréquence maximale). Si on désire maintenant que  $F_1$  reste toujours positif pour maintenir la possibilité d'une détection directe, il faut alors que b soit égale au maximum à  $1/2a$ . La valeur maximale de  $F_1$  est alors  $4b$  et l'excursion de fréquence pour le signal  $M = b \sin pt$  ne doit donc pas dépasser dans ce cas le quart de l'excursion admissible maximale.

La situation est moins favorable à cet égard dans un autre cas particulier, à savoir lorsque le signal de gauche et le signal de droite sont égaux, donc lorsque  $L = R = b \sin pt$ . (fig. 2a). Le signal somme M a maintenant l'amplitude

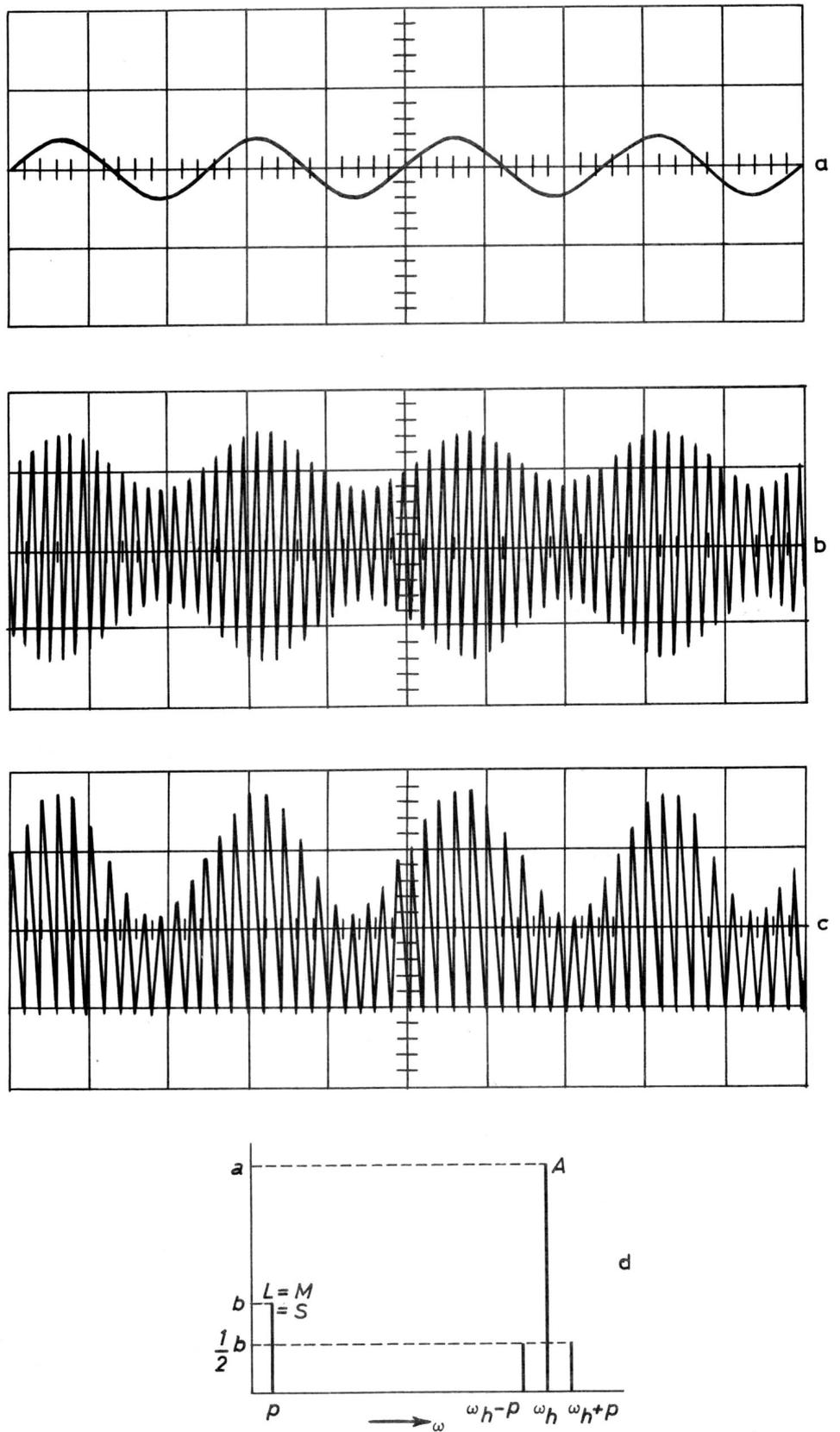


Fig. 1

Signal dans un système possible de stéréophonie. On a supposé ici que le signal de gauche seul L est émis.

- a) Signal de gauche L, dans le cas présent égal au signal de somme M et au signal de différence S.
- b) Onde porteuse auxiliaire modulée A.
- c) Signal complet M + A.
- d) Spectre de fréquences du signal complet.

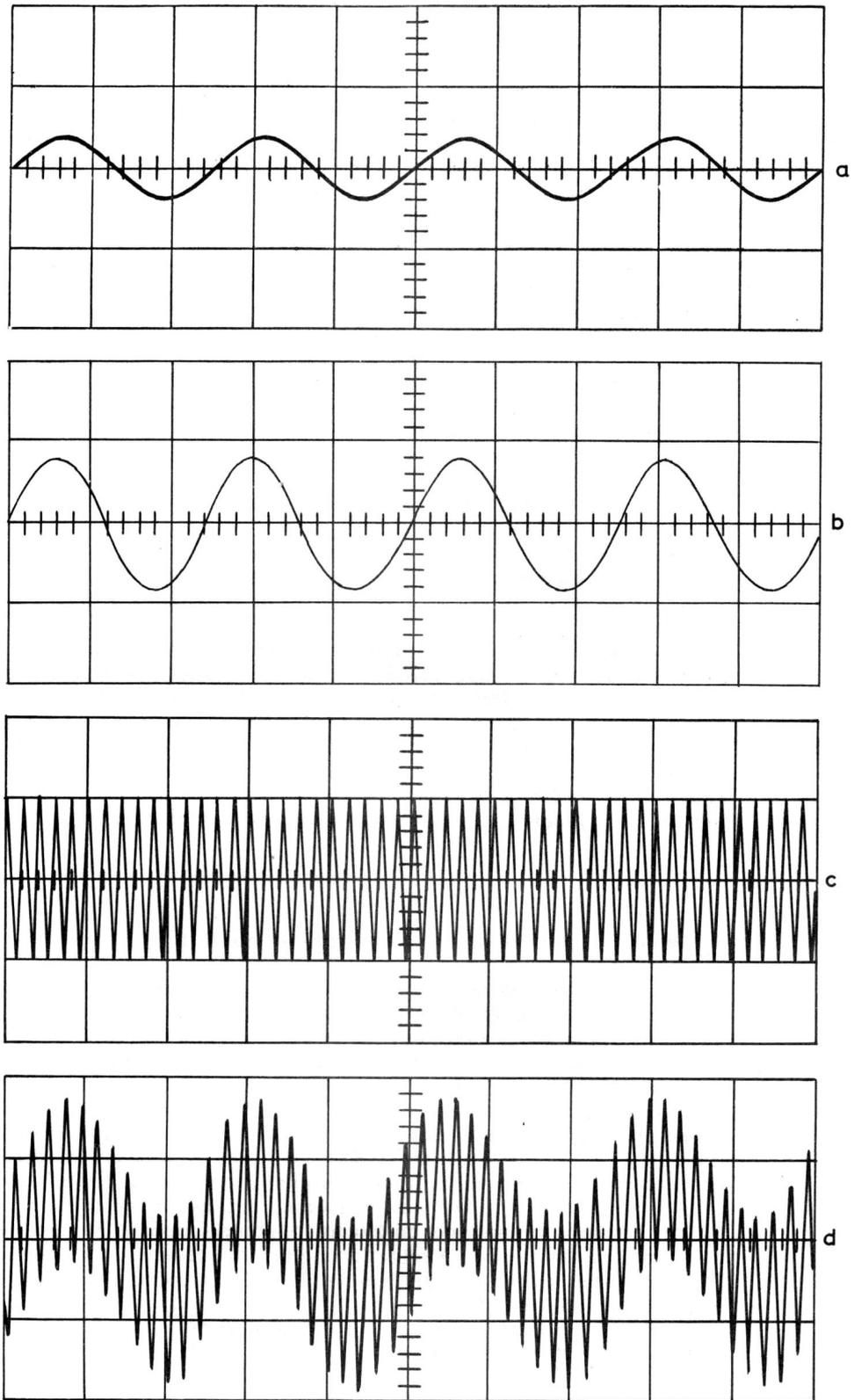
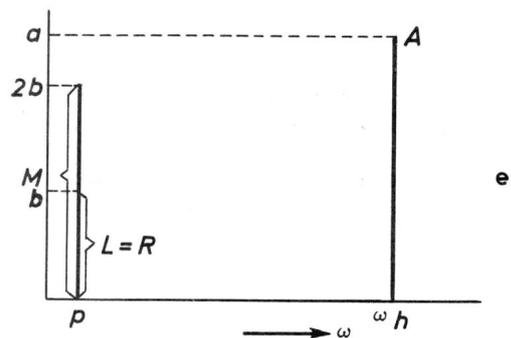


Fig. 2

Signal stéréophonique dans le même système que celui de la fig. 1. On suppose maintenant que les signaux de gauche et de droite sont égaux.

- a) Signal de gauche et signal de droite  $L = R$ .
- b) Signal somme  $M$ .
- c) Onde porteuse auxiliaire  $A$ .
- d) Signal complet  $M + A$ .
- e) Spectre de fréquences du signal complet.



2b (fig. 2b) et le signal différence S est nul; l'onde porteuse auxiliaire n'est donc pas modulée (fig. 2c). Le signal stéréo complet a alors l'allure qu'on voit sur la fig. 2d et on constate que l'excursion de fréquence de M peut se monter alors à la moitié de l'excursion admissible maximale. Enfin, la fig. 2e montre aussi le spectre dans ce cas.

Il est clair que dans la pratique les cas simples représentés sur les fig. 1 et 2 se présentent rarement, mais il reste le fait que l'excursion de fréquence du signal somme doit être beaucoup plus petite que l'excursion admise dans un canal de modulation de fréquence. Ainsi se trouve réduit, pour un auditeur ne disposant pas d'un appareillage stéréo, l'avantage qu'offre la modulation de fréquence par rapport à la modulation d'amplitude (sensibilité moindre aux perturbations). A cet égard, on peut améliorer la situation en choisissant une plus petite amplitude pour l'onde porteuse auxiliaire, ce qui fait que pour le signal somme on dispose d'une plus grande partie de l'excursion de fréquence admise. Mais alors pour l'auditeur stéréo, on crée une situation moins favorable en ce sens que pour l'onde porteuse auxiliaire et donc aussi pour le signal différence, le rapport signal/bruit devient plus petit. Cela est d'autant plus regrettable que par suite de la fréquence plus élevée de l'onde porteuse auxiliaire, le rapport signal/bruit du signal différence est cependant pire que celui du signal somme. Donc, on ne peut pas choisir trop petite la grandeur de l'onde porteuse auxiliaire.

On a fait aussi des essais avec un système dans lequel la grandeur de l'onde porteuse auxiliaire est influencée par le signal différence de façon que sa profondeur de modulation reste voisine de 100%. Cela présente certains avantages, entre autres la diminution de la sensibilité aux perturbations par d'autres émetteurs, tandis qu'un émetteur travaillant d'après ce système gêne moins aussi les autres émetteurs. Cependant différents inconvénients sont liés à ce système. L'un des principaux consiste en ce qu'il peut apparaître facilement, par la détection de signaux à grande profondeur de modulation, une distorsion inadmissible.

#### Système à suppression d'onde porteuse auxiliaire.

De source américaine, on a proposé de supprimer totalement l'onde porteuse auxiliaire, c'est-à-dire de moduler l'onde porteuse principale par les deux bandes latérales. Mais pour que la détection du signal différence soit possible, on ne peut se passer de l'onde porteuse auxiliaire qui doit être à nouveau générée dans le récepteur. A cet effet, comme moyen auxiliaire, on transmet en même temps un signal dont la fréquence est égale à la moitié de celle de l'onde porteuse auxiliaire (supprimée). On indiquera ce signal par P et sa dénomination usuelle sera "signal pilote". On appellera les deux bandes latérales de l'onde porteuse auxiliaire (supprimée) "signal auxiliaire stéréo" pour lequel on adoptera la notation H. Avec ce système, qui est le système F. C. C., on a choisi 38 kHz comme fréquence de l'onde porteuse auxiliaire; par suite, la fréquence du signal pilote est de 19 kHz. Le signal modulant l'onde porteuse principale que l'on désignera comme "signal multiplex", comprend donc trois parties, à savoir :

- a) le signal somme  $M = L + R$ ,
- b) le signal auxiliaire stéréo  $H = S \sin \omega ht$
- c) le signal pilote  $P = p \sin \frac{\omega ht}{2}$

La formule correspondante a (1) est :

$$F = M + S \sin \omega ht + p \sin \frac{1}{2} \omega ht. \quad (4)$$

Sur la fig. 3, on a représenté le spectre de fréquence d'un tel signal multiplex. Le signal somme M possède un spectre s'étendant d'environ 50 Hz à 15 kHz, tandis que celui du signal auxiliaire stéréo H va de  $38 - 15 = 23$  kHz jusqu'à  $38 + 15 = 53$  kHz, avec vers 38 kHz une petite zone libre de largeur environ 100 Hz. Le signal pilote P se trouve au milieu du domaine libre entre M et H.

De ce fait, il est possible d'extraire dans le récepteur le signal pilote à partir du signal multiplex grâce à un filtre simple, qui pourra généralement être composé d'un seul circuit accordé sur 19 kHz. Si l'on avait recouru à un signal pilote de fréquence égale à celle de l'onde porteuse auxiliaire (ce qui reviendrait en fait à la suppression non totale de l'onde porteuse auxiliaire), il aurait fallu, comme on le voit d'après la fig. 3, un filtre très raide pour séparer dans le récepteur ce signal des autres composantes.

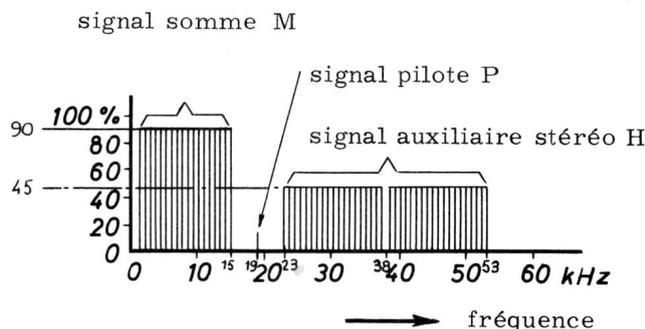


Fig. 3 Spectre du signal multiplex selon le système F.C.C. On indique les domaines de fréquences dans lesquels se trouvent les différentes composantes du signal et la grandeur qu'elles peuvent avoir au maximum (en pourcentage de la valeur maximale du signal multiplex).

L'amplitude du signal pilote est fixée de façon que l'excursion de fréquence qui en résulte pour l'onde porteuse soit de 10% de l'excursion maximale admise. Une propriété importante du système consiste en ce qu'on peut alors donner, aussi bien au signal somme qu'au signal auxiliaire stéréo, une grandeur telle que l'excursion de fréquence produite par chacun puisse devenir 90% de l'excursion maximale admise. Un auditeur possédant un récepteur monocanal dispose donc d'une excursion de fréquence qui n'est inférieure que de 10% à celle qu'on aurait avec une émission monocanal de même largeur de bande. On peut ainsi apparemment adjoindre le signal auxiliaire stéréo "gratis" sans accroître l'excursion de fréquence nécessaire. Ce résultat plutôt étonnant devient clair si l'on réfléchit que pour l'égalité de L et de R, le signal différence S est nul, et donc aussi le signal auxiliaire stéréo H. Il n'y a donc pas d'inconvénient à utiliser les 90% disponibles de l'excursion de fréquence pour le signal somme M. On peut voir que ce raisonnement ne s'applique pas à un système à onde porteuse non supprimée, parce que même si  $S = 0$ , il faut tenir compte de l'existence de l'onde porteuse auxiliaire.

Si l'un des signaux originaux, par exemple R, devient plus petit, M diminue et la partie alors libérée de l'excursion de fréquence peut être employée par le signal auxiliaire stéréo H. Si  $R = 0$ , on a  $L = M = S$  et on peut utiliser alors 45% de l'excursion de fréquence maximale pour le signal somme ainsi que pour le signal auxiliaire stéréo. Le maximum de la somme de ces deux composantes de signal correspond alors à nouveau à 90% de l'excursion. Sur la fig. 4a et c, on a représenté pour les deux cas mentionnés ci-dessus la variation du signal multiplex, en laissant de côté le signal pilote et en supposant que le signal de gauche et le signal de droite présentent des variations purement sinusoïdales.

En considérant un autre cas extrême, à savoir celui dans lequel le signal de droite et le signal de gauche sont de même grandeur absolue et en opposition de phase, c'est-à-dire  $R = -L$ ; on a alors  $M = 0$  et les 90% disponibles de l'excursion de fréquence peuvent être complètement utilisés par le signal auxiliaire stéréo (fig. 4b). Chacune des deux bandes latérales dont ce dernier signal est composé peut atteindre alors une valeur correspondant à 45% de l'excursion de fréquence maximale. Dans le dessin de la fig. 3, on a tenu compte des maximums indiqués ci-dessus; on a porté verticalement, en dehors de la valeur constante de P, la valeur maximale de M et des deux bandes latérales composantes S, exprimée en pourcentage de la valeur maximale du signal multiplex.

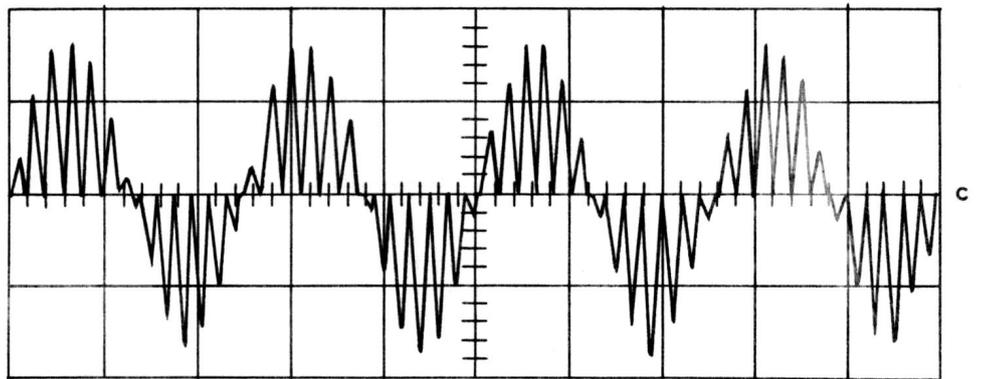
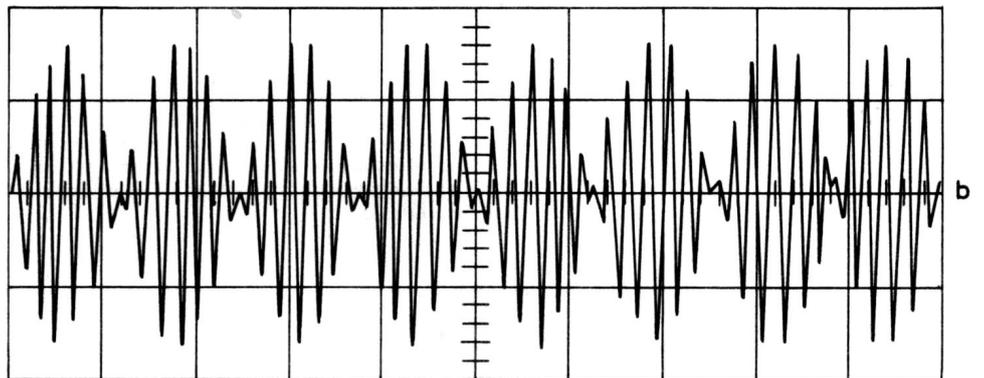
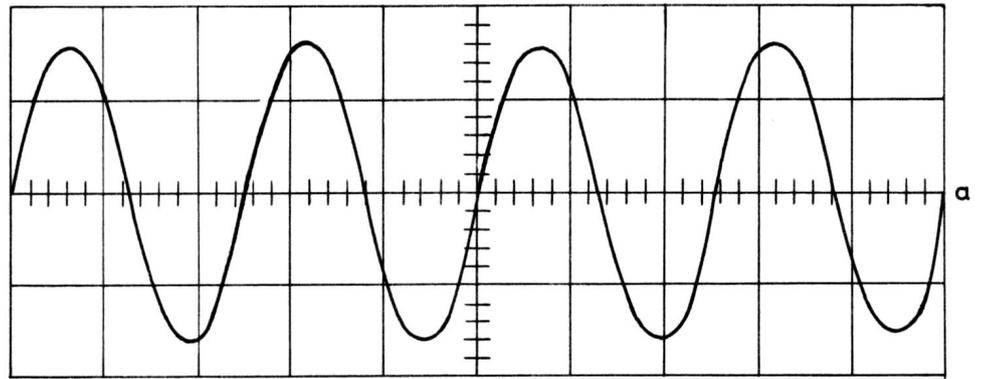


Fig. 4

Signal multiplex sans signal pilote selon le systè-  
F.C.C. La fréquence du signal audiofréquence est  
de 3000 HZ.

- a) Les signaux de gauche et de droite sont égaux  
et en phase.
- b) Les signaux de gauche et de droite sont égaux  
et en opposition de phase.
- c) Le signal de droite est nul.

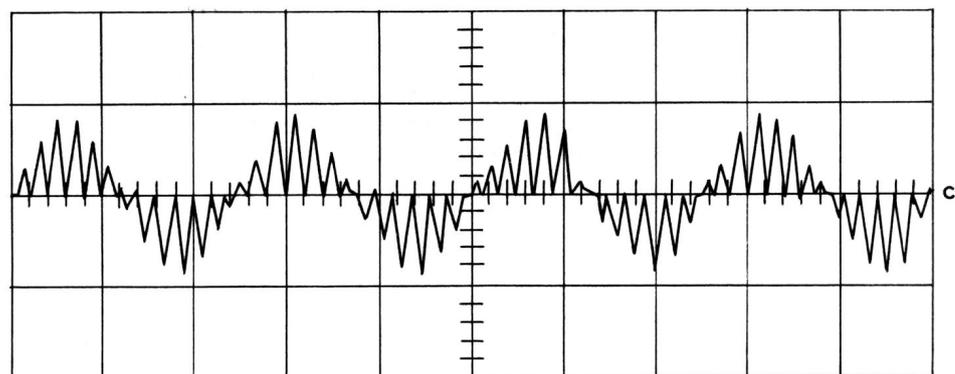
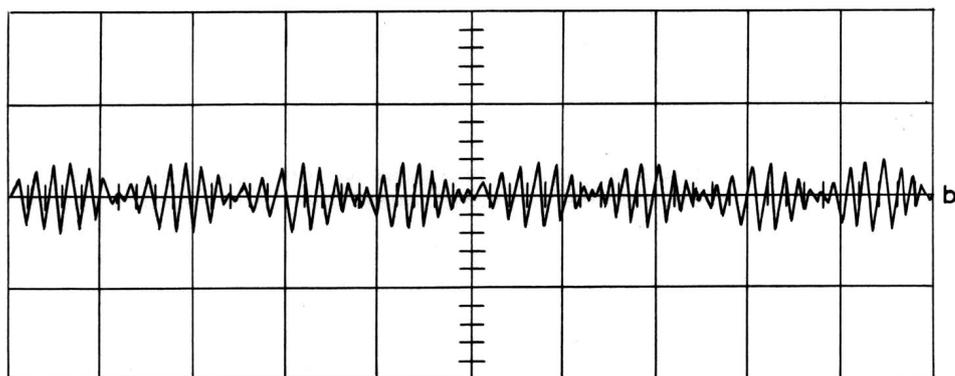
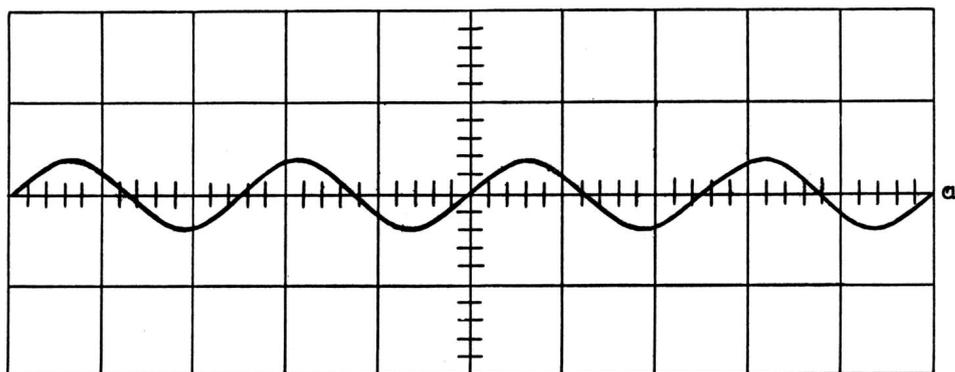
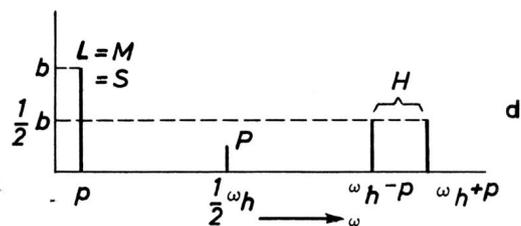


Fig. 5

Composition d'un signal multiplex selon le système F.C.C. lorsque le signal de gauche est seul émis.

- a) Signal de gauche, signal somme et signal différence  $L = M = S$ .
- b) Signal auxiliaire stéréo H.
- c) Signal multiplex sans signal pilote  $M + H$ .
- d) Spectre du signal multiplex.



Sur la fig. 5, on a représenté pour une meilleure compréhension la variation des différentes composantes d'un signal multiplex, à savoir pour le cas simple correspondant à la fig. 1, dans lequel existe seulement le signal de gauche;  $L = b \sin pt$  (fig. 5a). Le signal somme  $M$  et le signal différence  $S$  sont donc à nouveau égaux à  $L$ . La fig. 5 b montre la variation du signal auxiliaire stéréo :

$$H = b \sin pt \sin \omega ht \quad (5)$$

(cette expression est à comparer à la formule (3), valable pour une onde porteuse non supprimée). Sur la fig. 5c, on a représenté la somme de  $M$  et de  $H$ ; cette figure correspond donc à la fig. 4c. En adjoignant le signal pilote  $P$ , on obtient le signal multiplex  $F$  (fig. 5d).

D'après (4), la formule du signal multiplex sans signal pilote est la suivante :

$$F_0 = M + S \sin \omega ht \quad (6)$$

Ses "enveloppes" sont trouvées à nouveau en posant  $\sin \omega ht$  égal successivement à  $+1$  et à  $-1$ ; les formules correspondantes sont donc :

$$F_{01} = M + S = 2L \quad (7a)$$

$$F_{02} = M - S = 2R \quad (7b)$$

Mais par suite de l'absence de l'onde porteuse (comparer 2a et 2b), les deux enveloppes prennent aussi bien des valeurs positives que négatives. Ainsi, il n'est plus possible d'opérer une détection directe à l'aide de deux diodes. Néanmoins, on peut mettre à profit la particularité indiquée des enveloppes aussi bien à l'émetteur qu'au récepteur.

On obtient une image particulièrement claire d'un signal multiplex composé selon le système F.C.C. en considérant le cas où le signal de gauche et le signal de droite possèdent des fréquences différentes. Sur la fig. 6, on a choisi pour ces signaux des fréquences respectives de 1000 et 3000 Hz.  $L$  et  $R$  sont représentés sur les fig. 6a et 6b. La fig. 6c montre le signal multiplex sans signal pilote.

Les théories générales exposées ci-dessus ont pour but de familiariser le lecteur avec les procédés techniques employés. Tant à l'émission qu'à la réception, pour la transmission, ces tensions complexes devront d'une part être modulées en fréquences par l'émetteur et d'autre part être détectées pour les reconstituer en audition stéréophonique.

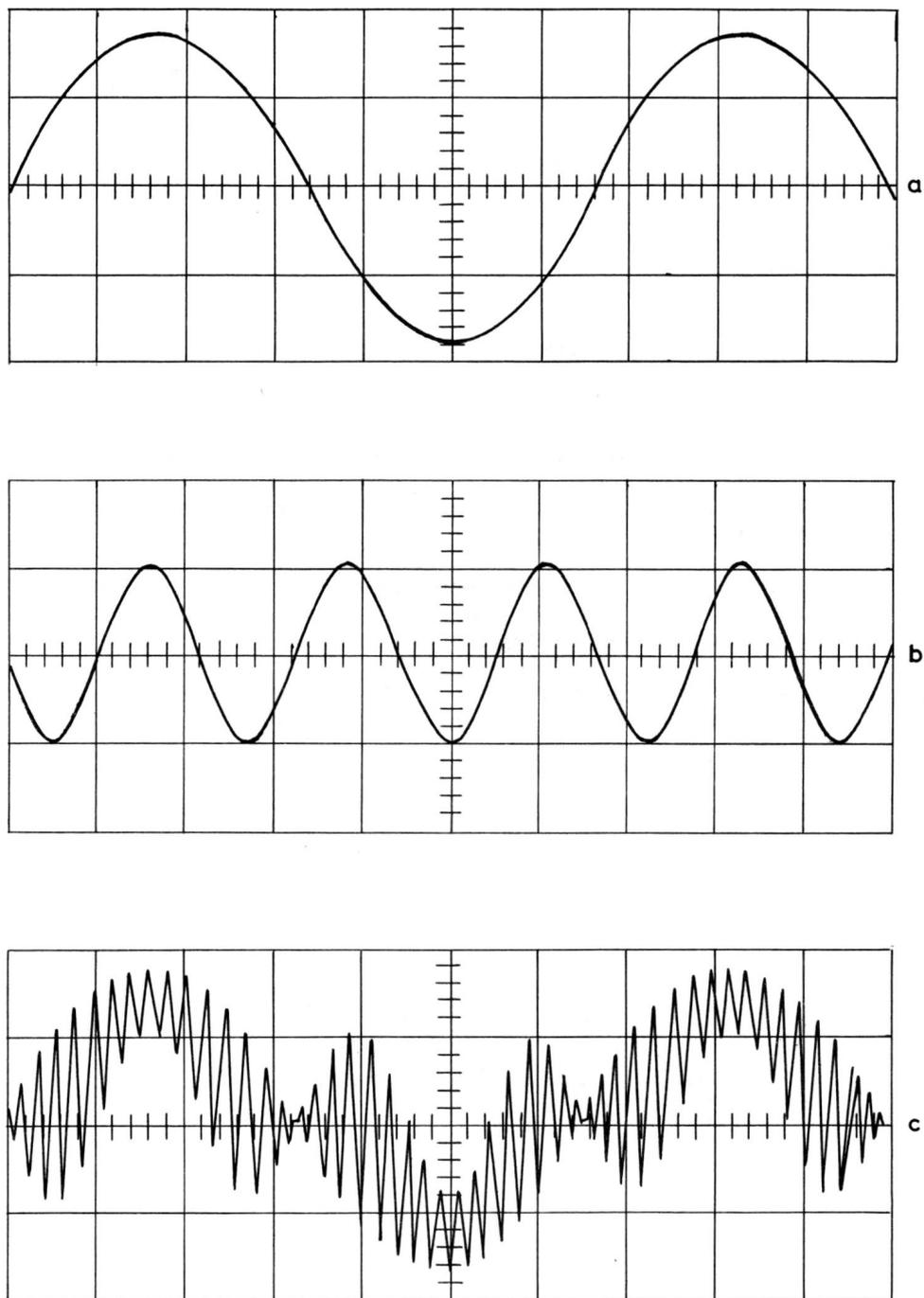


Fig. 6

Signal multiplex lorsque les signaux de gauche et de droite ont des fréquences et amplitudes différentes.

a) Signal de gauche (fréquence 1000 Hz).

b) Signal de droite (fréquence 3000 Hz).

c) Signal multiplex sans signal pilote.

## APPENDICE I

En réalité, la variation de  $b$  peut être admise comme purement sinusoidale.  
 Dans ce cas :

$$L = b \sin pt \text{ où } b \text{ est l'amplitude du signal} \\ \text{et } p \text{ sa pulsation } 2\pi f \text{ B. F.}$$

Dans ce cas :

$$\begin{aligned} A &= (a + b \sin pt) \sin \omega ht & (3A) \\ &= a \sin \omega ht + b \sin pt \sin \omega ht \\ &= a \sin \omega ht + \frac{1}{2} b \cos(\omega h - p)t - \cos(\omega h + p)t \end{aligned}$$

C'est l'équation d'une onde porteuse modulée en amplitude.

Si le degré de modulation est de 100%, l'amplitude de  $b$  atteint la moitié de celle de l'onde porteuse.

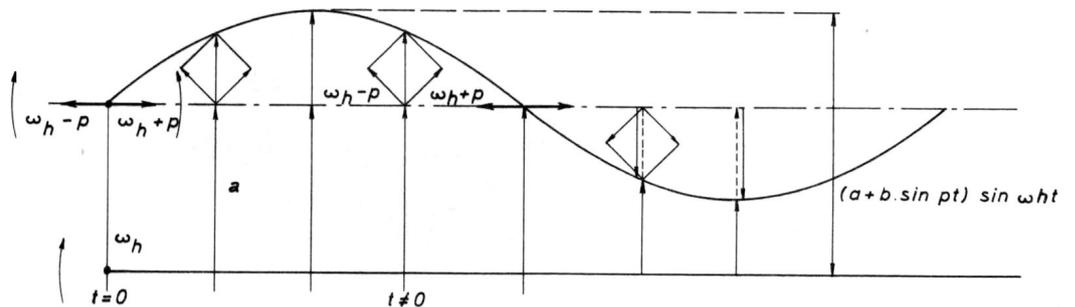
L'équation (3A) peut être représentée vectoriellement (Fig. 1a)

Le vecteur fondamental représentant l'onde porteuse sera supposé fixe; sa vitesse de rotation  $\omega h = 2\pi f$  est beaucoup plus grande que celle de  $p = 2\pi f$  B. F.

Le 2e vecteur de pulsation  $\omega h - p$  s'ajoute au vecteur fondamental, mais tourne dans l'autre sens, c. à. d. dans le sens négatif.

Le 3e vecteur de pulsation  $\omega h + p$  s'ajoute au vecteur fondamental, mais tourne dans le même sens c. à. d. dans le sens positif.

Ces derniers vecteurs changent l'amplitude de l'onde porteuse, mais laisse sa phase invariable.



## PRINCIPE de la RECEPTION de la STEREOPHONIE en MODULATION de FREQUENCE (FM)

Toutes les considérations qui ont été exposées précédemment ont fait choisir pour obtenir un résultat correct, la F.M., bien que parfois un émetteur A.M. donne de bons résultats au point de vue fidélité lorsque sa bande passante est suffisamment large (par exemple : les émetteurs "son" de la télévision).

La F.M. permet cependant d'obtenir dans l'ensemble des résultats supérieurs, tant au point de vue bande passante qu'au point de vue dynamique.

En effet pour arriver à un résultat valable, il est nécessaire de disposer d'une bande passante qui devra transmettre convenablement les 2 voies à savoir :

1° une information monophonique (Signal M) composée de l'addition des signaux disponibles à la sortie des traducteurs de sondes voies gauche (L) et droite (R).

2° une information permettant le décodage en stéréophonie (signal S) que l'on appellera voie stéréophonique composée de la différence entre les signaux électriques disponibles à la sortie des traducteurs L et R précédemment cités.  
En résumé, deux signaux composites :

- a) Voie M (gauche + droit)  
 $L + R$  signal monophonique
- b) Voie S (gauche - droit)  
 $L - R$  signal dit stéréophonique.

Comme on l'a déjà vu l'émetteur doit transmettre la voie monophonique M suivant les normes classiques d'émission; toutefois la profondeur de modulation ne dépassera pas 90% ce qui signifie que lorsque l'on reçoit un programme stéréophonique avec un récepteur ordinaire, le niveau diminuera de 1 decibel ce qui est pratiquement indécélable par l'utilisateur.

### PRINCIPE DE L'EMISSION DES DEUX INFORMATIONS

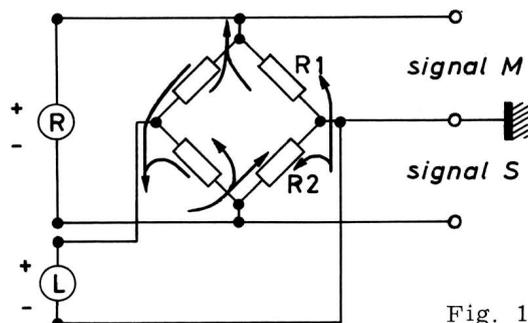
#### NOTE

Les abréviations qui seront employées dans les textes qui suivent sont conformes aux prescriptions internationales. Elles seront dorénavant adoptées dans la revue R. G. T.

- A. F. = Audiofréquence (anciennement B. F.)
- R. F. = Radiofréquence (anciennement H. F.)
- F. I. = Fréquence intermédiaire (anciennement M. F.)
- A. G. C. = Automatic gain control (expression normalisée remplaçant les anciennes abréviations V. C. A., A. V. C., C. A. G., antifading, etc...)

Le circuit d'addition et de soustraction, peut, en principe, être très simple. On applique les voies gauches et droites sur les sommets d'un Pont de résistances (analogue au Pont de Wheatstone) rigoureusement identiques (voir schéma fig. 1).

On constate que dans R1, les courants de L et R sont dans le même sens, la tension qui apparaîtra représentera la somme de  $1/2 L + 1/2 R$  (signal M).



(Les générateurs sont représentés au moment où la tension est égale à la valeur crête de l'alternance positive).

(Note importante : Tous les circuits sont décrits avec le sens réel du courant c-à-d. le sens électronique).

Dans R2, les courants provoqués par L et R sont en sens contraire; la tension représentera la différence  $1/2 L - 1/2 R$  (signal S).

Le signal M est appliqué normalement au modulateur de l'émetteur, alors que le signal S est appliqué au modulateur après avoir été transformé par un modulateur en anneau fonctionnant sur une fréquence de 38 kHz.

Le schéma synoptique de l'émetteur est donné dans le schéma de la fig. 2.

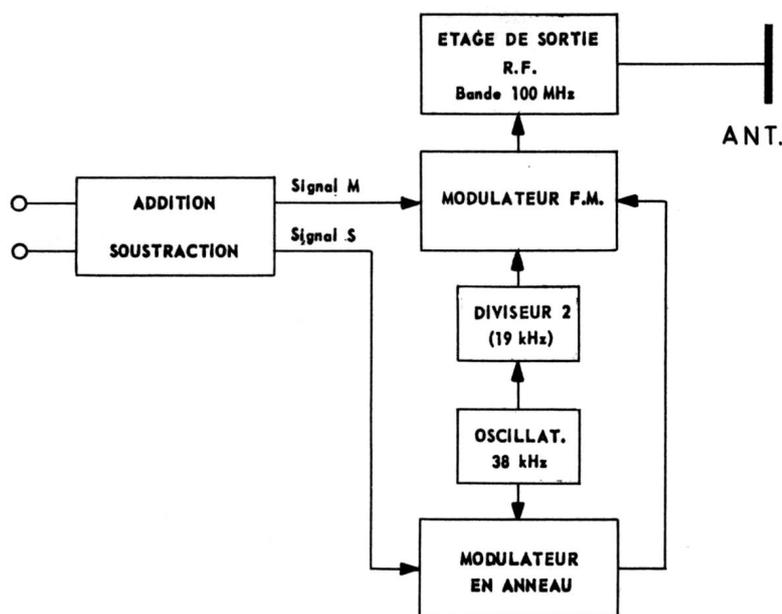


Fig. 2

Le procédé d'émission est donc relativement simple. Le signal M est tout à fait conventionnel, il sera donc reçu normalement par des récepteurs non équipés.

Le signal S est appliqué, comme on l'a dit précédemment, à un modulateur en anneau. Ce système utilisé en transmission professionnelle a l'avantage de supprimer la porteuse R.F. qui est en l'occurrence de 38 kHz. La raison de ce choix est logique. En effet, pour la transmission en modulation d'amplitude classique, la puissance moyenne de l'émetteur est constante quelle que soit la profondeur de modulation, alors que, lorsque la porteuse est supprimée, l'émetteur ne fournit de la puissance en R.F. que pendant la transmission de l'information A.F. ce qui revient à dire que, lorsque l'audiofréquence est nulle, l'émetteur ne rayonne pas dans l'atmosphère.

Ce procédé permet donc de transmettre deux informations simultanées sans surcharger l'émetteur.

Comme on le verra par la suite, le signal S émis par ce procédé, n'est pas exploitable par une détection ordinaire à la réception; on doit, en effet, reconstituer la porteuse de 38 kHz supprimée à l'émission. On transmet donc à l'émission une information de fréquence moitié, soit :  $38 \text{ kHz} / 2 = 19 \text{ kHz}$  qui sera doublée à la réception dans le système de décodage.

## PRINCIPE DU MODULATEUR

**ANALYSE DU SCHEMA** Son schéma électrique est donné (fig. 3).

T1 et T2 sont des transformateurs rigoureusement identiques. Les enroulements P1/P2 et S1/S2 sont parfaitement symétriques. Les quatre diodes sont elles aussi identiques physiquement. Si le générateur A. F. n'est pas connecté et que les bornes sont court-circuitées entre elles on aura le schéma de la fig. 4

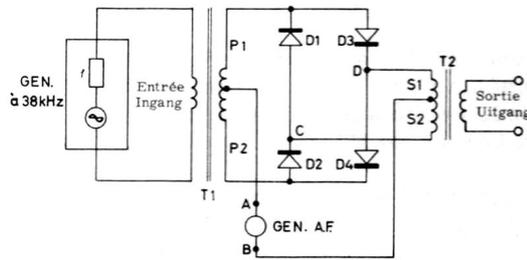


Fig. 3

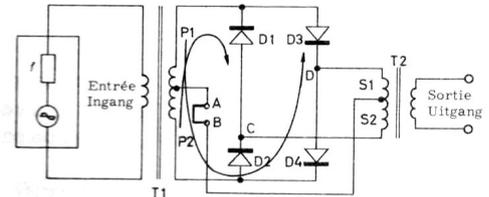


Fig. 4

On constate que l'enroulement P1 + P2 est branché aux bornes de deux paires de diodes montées en série et en sens inverse.

En conséquence, si l'on applique à l'entrée de T1 une tension alternative issue d'un générateur R. F., les diodes D1 - D2 et D3 - D4 conduiront à chaque alternance, court-circuitant ainsi les enroulements secondaires. Si les éléments sont parfaits la tension aux bornes de la totalité du secondaire de T1 sera nulle. Il n'y aura pas de tension entre les points D et C, ce qui revient à dire, que le primaire de T2 (S1 + S2) n'est le siège d'aucun courant.

### EN RESUME

Si l'on applique à l'entrée de ce circuit une tension sinusoïdale, on ne trouvera rien à la sortie.

Si l'on supprime le générateur R.F. et que l'on branche entre A et B une tension continue de manière que A soit positif par rapport à B, on aura le schéma. (fig. 5).

Dans ce cas, on constate que les diodes D2 et D3 sont le siège d'un courant empruntant S1 et P1, et, S2 et P2.

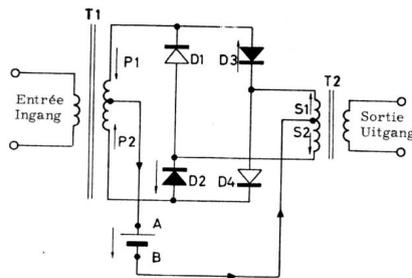


Fig. 5

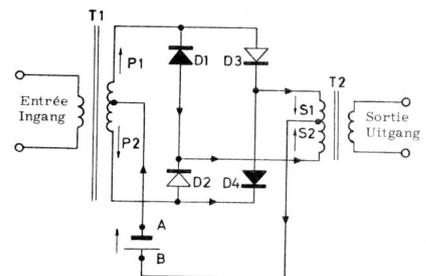


Fig. 6

Le courant est en opposition dans chaque enroulement ce qui neutralise le champ magnétique dans le noyau de chaque transformateur; d'autre part, le phénomène étant constant, rien ne peut se produire dans l'enroulement de sortie. En appliquant maintenant la tension entre A et B dans l'autre sens, les diodes D2 et D3 cesseront d'être conductrices et les diodes D1 et D4 conduiront, comme l'indique le schéma (fig. 6). Le phénomène sera en sens inverse du cas précédent, et l'on n'aura rien en sortie pour les mêmes raisons que celles citées précédemment.

En reprenant le même circuit, mais en appliquant les deux tensions simultanément, à savoir : la R.F. à l'entrée (38 kHz) et la tension continue entre A et B telle que A soit positif par rapport à B, deux cas sont à considérer :

1° Cas où l'alternance R.F. est positive (voir schéma fig. 7).

On aura apparition d'une tension aux bornes des enroulements P1 et P2. On peut remarquer sur le schéma (fig. 7) que la tension existant aux bornes de A.B., est en série avec la tension qui apparaît aux bornes de P1 et en opposition avec celle qui apparaît aux bornes de P2.

La conductivité de la diode D3 va donc augmenter, pendant que celle de la diode D2 va diminuer. (L'état de départ, c'est-à-dire au moment où la période R.F. commence lorsque la tension est nulle, est donné fig. 5).

D'autre part, l'état de non conductivité de la diode D1 va augmenter (la tension augmente à ses bornes en sens contraire de la conductivité) et l'état de non conductivité de la diode D4 va diminuer.

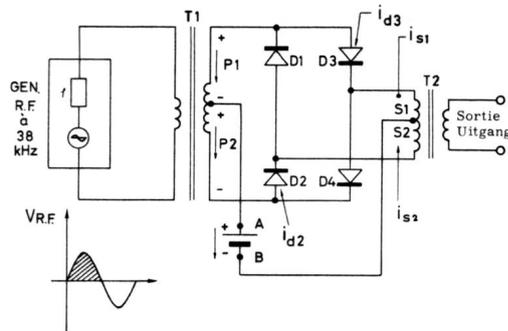


Fig. 7

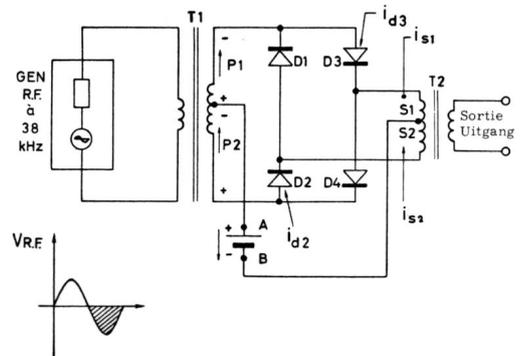


Fig. 8

## CONSEQUENCE

Le courant dans l'enroulement S1 va augmenter pendant qu'il va diminuer dans S2. Le champ magnétique va donc pouvoir s'établir dans le noyau de T2 (il ne faut pas oublier que le courant, au moment où la tension commence à apparaître aux bornes de P1-P2, est égal dans S1 et S2 et de sens contraire, annulant ainsi le champ magnétique dans le noyau de T2). Il va donc apparaître à la sortie de T2 une tension qui va croître jusqu'au moment où la diode D4 va commencer à conduire. Cet état sera atteint au moment où la tension R.F. sera égale à la tension appliquée entre les points A et B.

2° Cas où l'alternance R.F. est négative (voir fig. 8).

La tension qui apparaît aux bornes de P1 et P2 est en sens inverse du cas cité précédemment. On constate que la tension aux bornes de A.B. est en opposition avec la tension qui apparaît aux bornes de P1 et en série avec celle qui apparaît aux bornes de P2.

La conductivité de la diode D2 augmente, pendant que celle de la diode D3 diminue. (Au moment où la tension R.F. s'inverse et à l'instant précis où le phénomène passe par zéro, on se trouve dans l'état de la figure 5).

D'autre part, l'état de non conductivité de la diode D4 va augmenter pendant que celui de la diode D1 va diminuer.

### CONSEQUENCE

Le courant dans l'enroulement S1 va diminuer pendant qu'il va augmenter dans l'enroulement S2. Le champ magnétique dans le noyau de T2 va maintenant augmenter dans le sens inverse du cas cité précédemment, jusqu'au moment où la diode D1 va conduire; la tension va donc croître aux bornes du secondaire, en sens inverse du premier cas, jusqu'au moment où la tension R.F. sera égale à la tension appliquée aux bornes de A, B.

On voit donc apparaître deux propriétés importantes du modulateur en anneau, à savoir :

La tension R.F. ne peut apparaître à la sortie que lorsque l'on applique une tension entre A et B.

L'amplitude de la tension R.F. est déterminée par la valeur de la tension appliquée entre A et B.

D'autre part, si l'on inverse la tension appliquée entre A et B, on constate que la tension alternative disponible à la sortie du modulateur en anneau apparaît en sens inverse des cas cités précédemment, c'est-à-dire, en opposition de phase (voir fig. 9).

### EN RESUME

Si l'on applique une tension audio-fréquence entre A et B, la tension R.F. à la sortie du modulateur en anneau, sera à la fois modulée en phase et en amplitude.

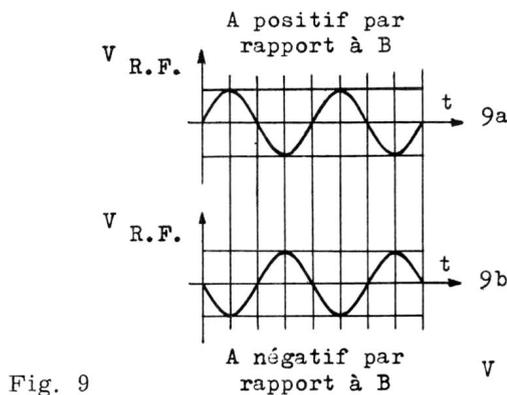


Fig. 9

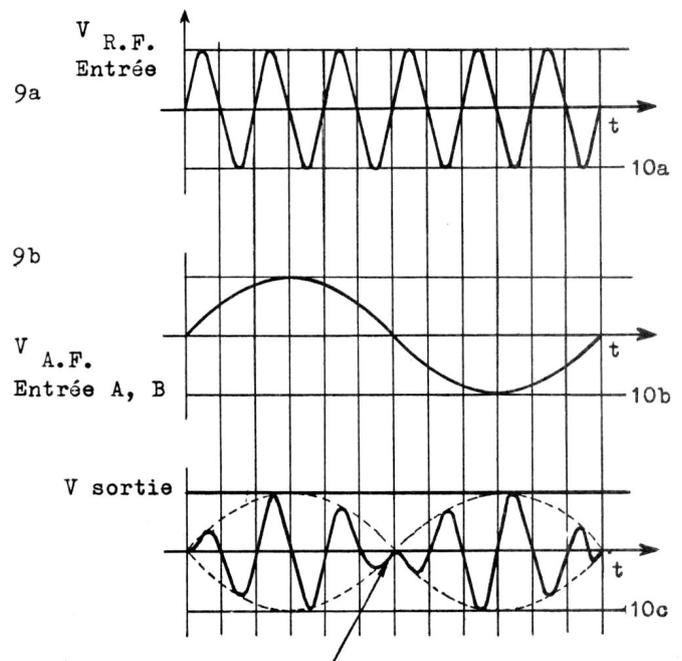


Fig. 10 à ce moment, la phase s'inverse

Elle n'apparaîtra que lorsque la tension A.F. existe (voir fig. 10). La tension R.F. disponible pendant la modulation ne sera plus une sinusoïde, mais une tension ayant une forme composite qui sera, si la tension audio fréquence est sinu-

sof'dale, égale à tout instant à la somme de deux tensions sinusof'dales dont les fréquences sont pour l'une :

Fréquence R. F. + Fréquence A. F., et pour l'autre :

Fréquence R. F. - Fréquence A. F.

fréquences correspondant aux deux bandes latérales. Ce point très important sera développé ultérieurement.

Le modulateur en anneau doit donc transformer le signal stéréophonique en signal R. F. composite de 38 kHz. En fait, comme on l'a vu précédemment, le signal de sortie ne sera composé que des bandes latérales produites.

Plusieurs cas sont à examiner. En effet, la modulation peut avoir plusieurs aspects :

- a) Transmission d'un signal voie gauche;
- b) Transmission d'un signal voie droite;
- c) Transmission d'un signal stéréophonique (en employant naturellement simultanément la voie droite et la voie gauche);
- d) Transmission d'un signal monophonique (la voie gauche et la voie droite sont alimentées en parallèle, c'est-à-dire, par un signal identique).

On supposera que le signal à transmettre est sinusof'dal, de valeur crête 1 volt et de fréquence 400 Hz par exemple.

Le signal à l'entrée, va subir des modifications dans le circuit chargé de faire la somme  $L + R$  et la différence  $L - R$ .

Pour déterminer le signal disponible à la sortie du modulateur en anneau, il est donc nécessaire de connaître le signal modulant, c'est-à-dire, le signal stéréophonique.

#### REMARQUE

En examinant le signal disponible à la sortie du circuit d'addition et de soustraction, on constate que  $V$  mono. et  $V$  stéréo. sont en phase, et d'autre part, que la tension maximale est la moitié de la tension appliquée à l'entrée.

Si l'on reprend l'explication donnée (voir fig. 1), on voit que le signal est appliqué à l'entrée aux bornes de résistances montées en série-parallèle, et de valeurs rigoureusement identiques. Le signal est prélevé aux bornes d'une seule résistance, ce qui explique que l'on ne trouve que la moitié de la tension appliquée.

a) TRANSMISSION D'UN SIGNAL VOIE GAUCHE

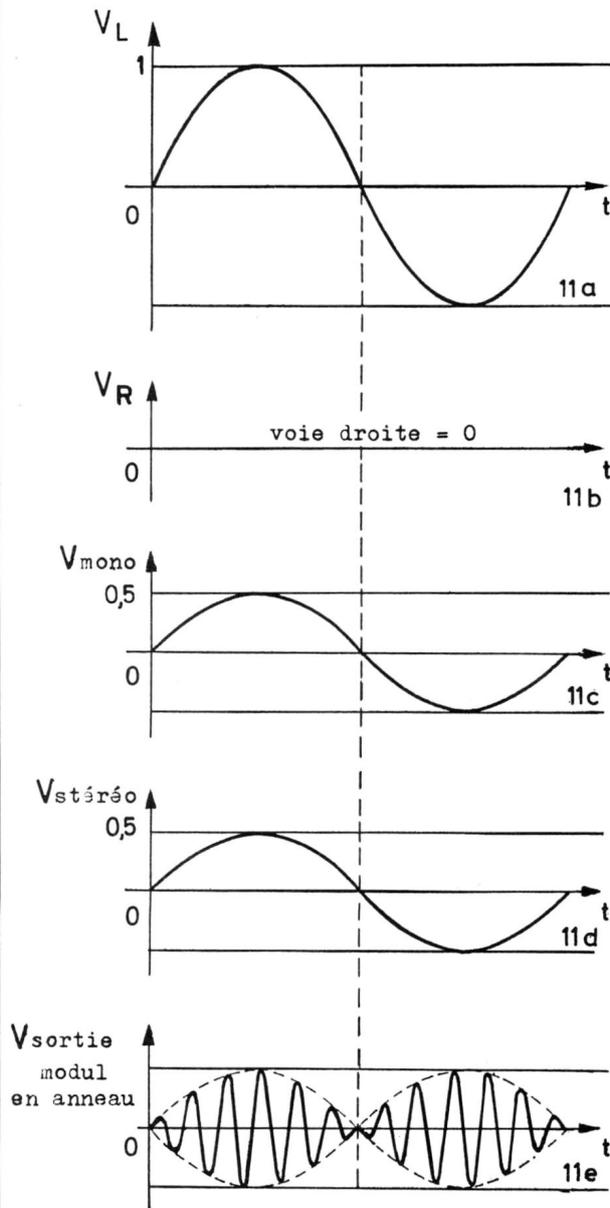


Fig. 11

b) TRANSMISSION D'UN SIGNAL VOIE DROITE

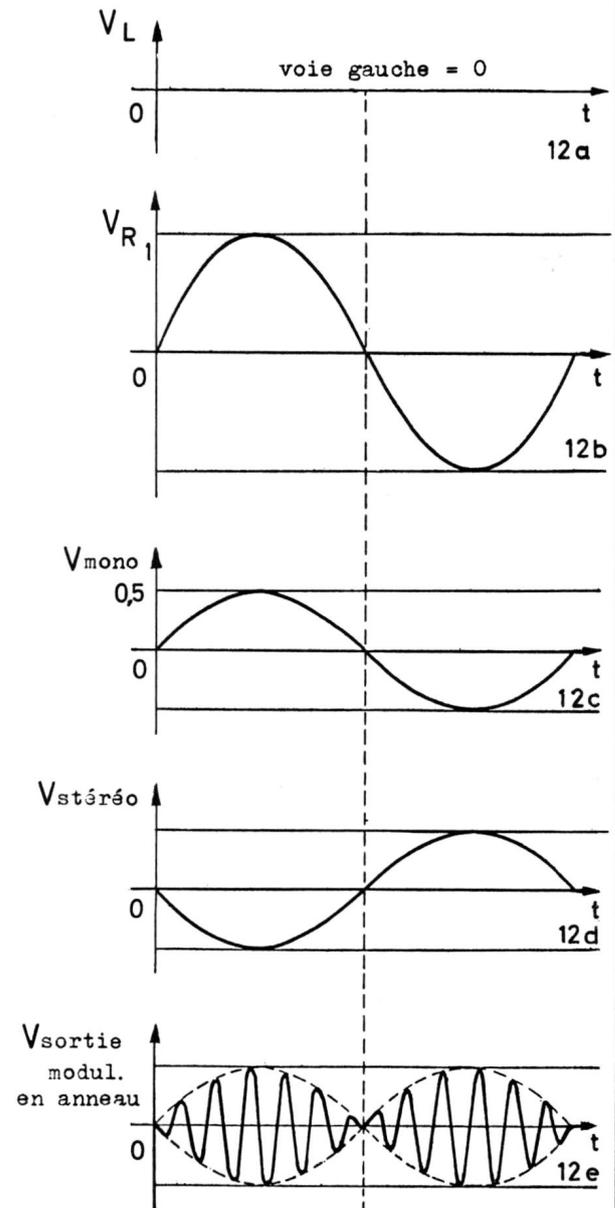


Fig. 12

### c) TRANSMISSION D'UN SIGNAL STEREOPHONIQUE

REMARQUE :

La caractéristique principale d'une transmission en stéréophonie, est le déphasage qui existe entre les deux voies.

En effet, dans la vie, la localisation d'un bruit est permise grâce à la sensibilité, à la phase, de nos organes auditifs.

En conséquence, si l'on veut imiter artificiellement la transmission stéréophonique, on doit appliquer simultanément sur la voie gauche et la voie droite, des signaux identiques en forme et en fréquence, mais déphasés entre eux.

Pour simplifier le raisonnement, on prendra la même forme que celle utilisée précédemment, c'est-à-dire une sinusoïde, de valeur crête 1 volt, mais avec un déphasage de 180° entre les voies gauche et droite.

v. stéréo est bien égale à  $\frac{1L}{2} - \frac{1R}{2}$

En effet, on a :

$V_L = 0,5$  et  $V_R = -0,5$  (le moins provenant du déphasage de 180° entre les deux tensions).

On a donc :

$V_{stéréo} = 0,5 - (-0,5) = +1$  volt.

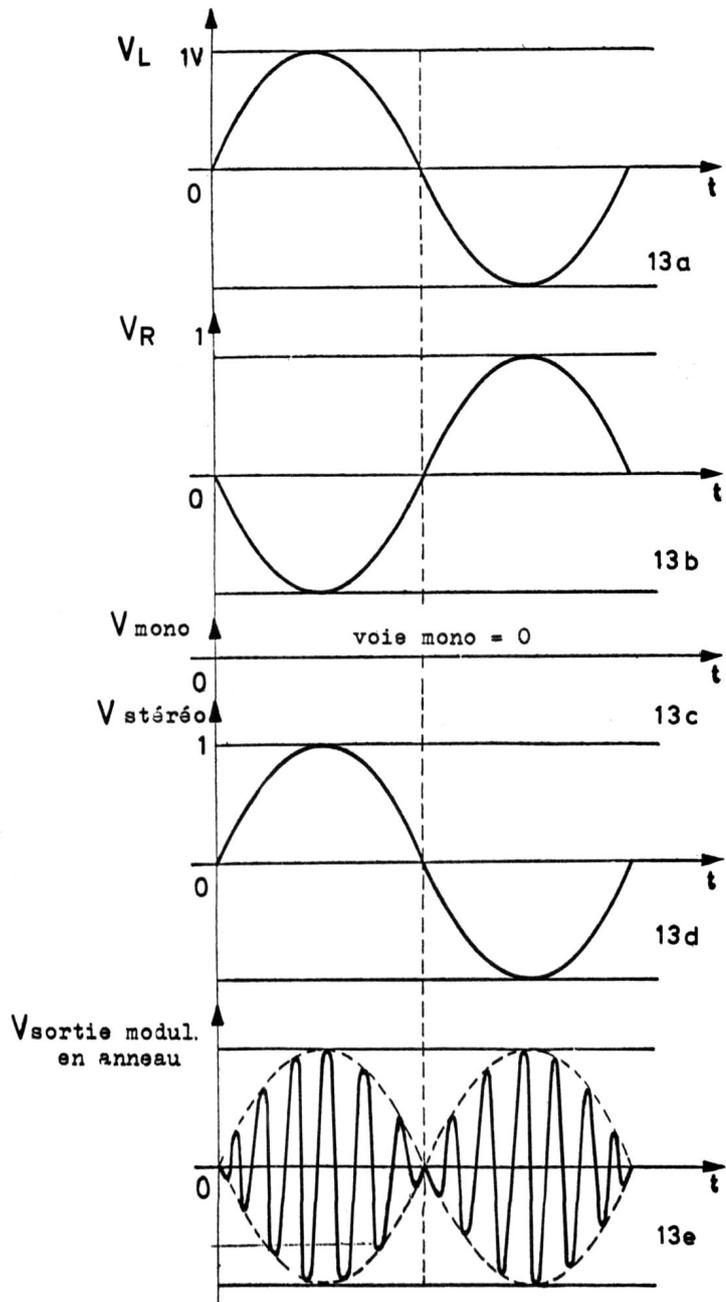


Fig. 13

d) TRANSMISSION D'UN SIGNAL MONOPHONIQUE

REMARQUE :

Dans ce cas, les signaux appliqués sur les deux voies sont rigoureusement identiques (phase, tension, forme).

Donc, les signaux gauche et droit s'additionnent à la sortie monophonique, et, s'annulent à la sortie stéréophonique. On comprend maintenant que le système est compatible, car, lorsque l'émetteur transmet de la monophonie, les informations stéréophoniques disparaissent.

Comme on l'a vu précédemment, l'émetteur doit transmettre simultanément le signal M (mono.) et le signal S (dit stéréo).

En conséquence, à la sortie du modulateur en anneau, on additionne les signaux obtenus avec le signal monophonique.

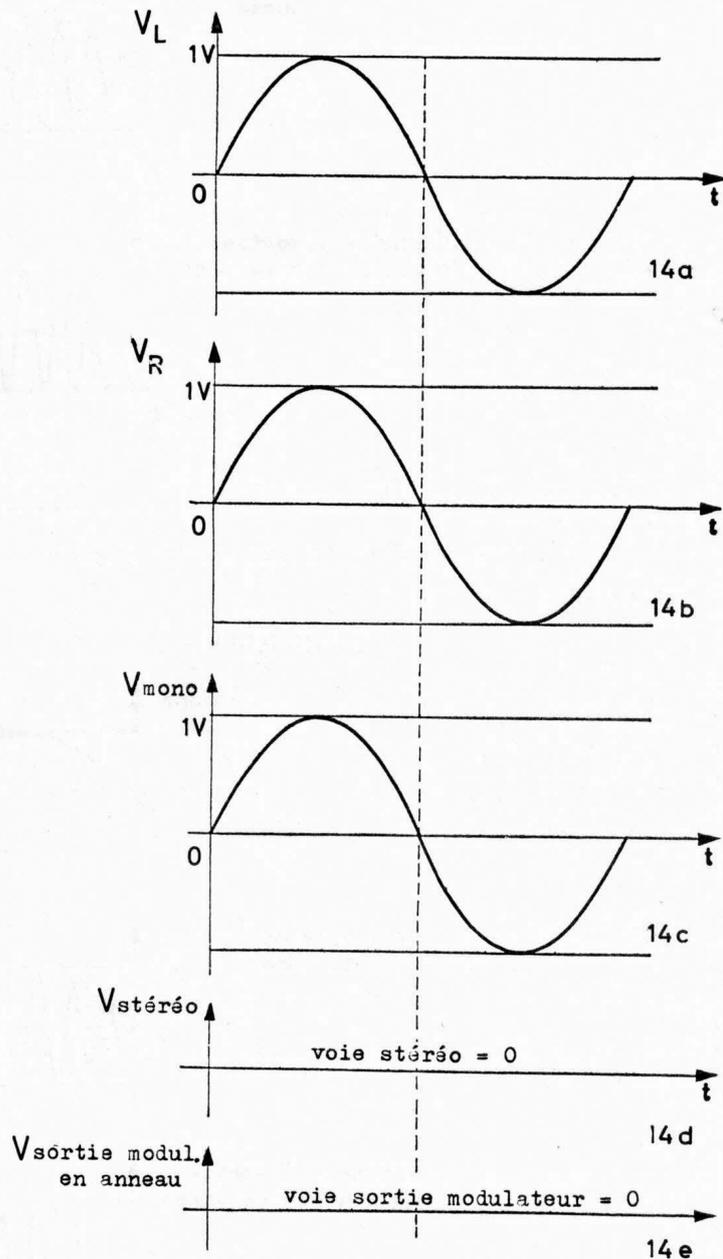


Fig. 14

TRANSMISSION VOIE GAUCHE (voie droite = 0)

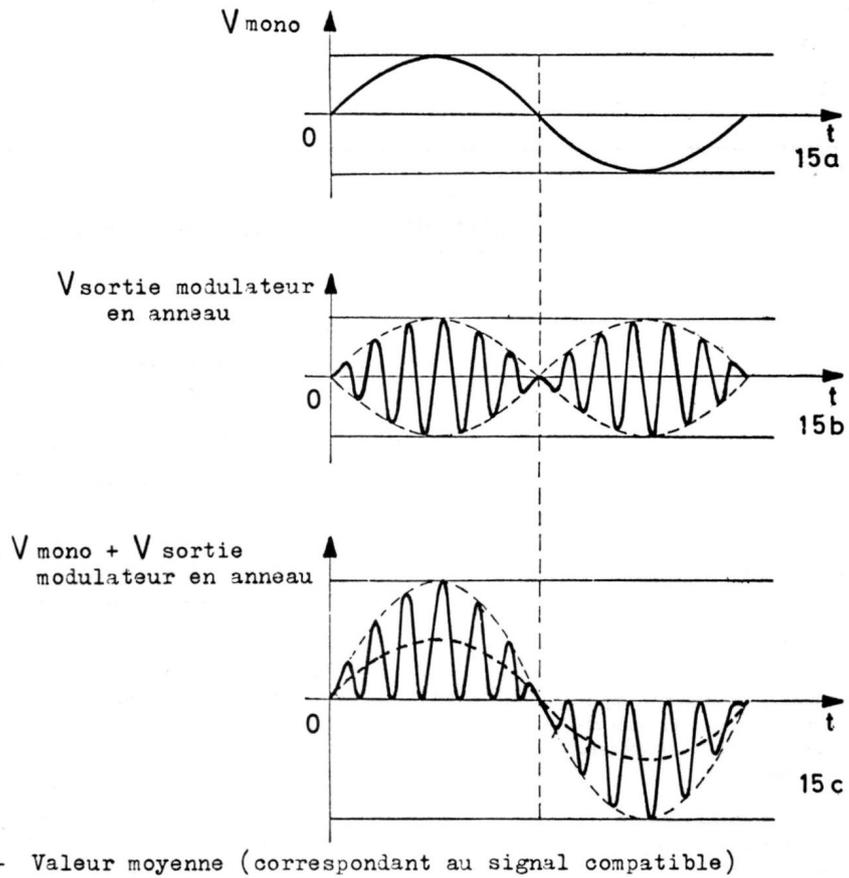


Fig. 15

TRANSMISSION VOIE DROITE (voie gauche = 0)

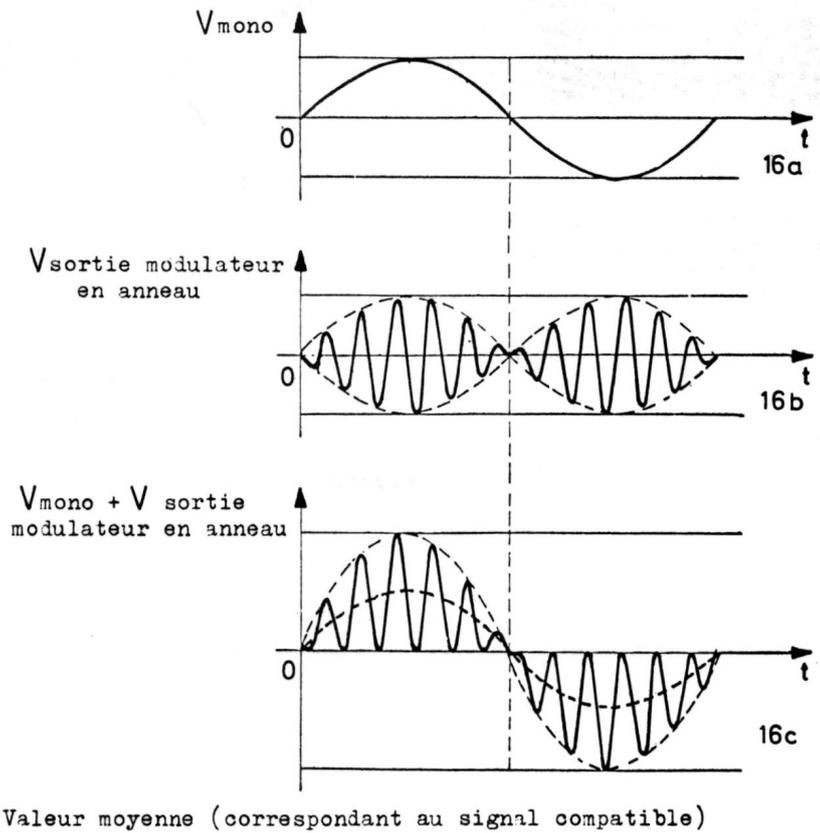


Fig. 16

### TRANSMISSION D'UN SIGNAL STEREOFONIQUE

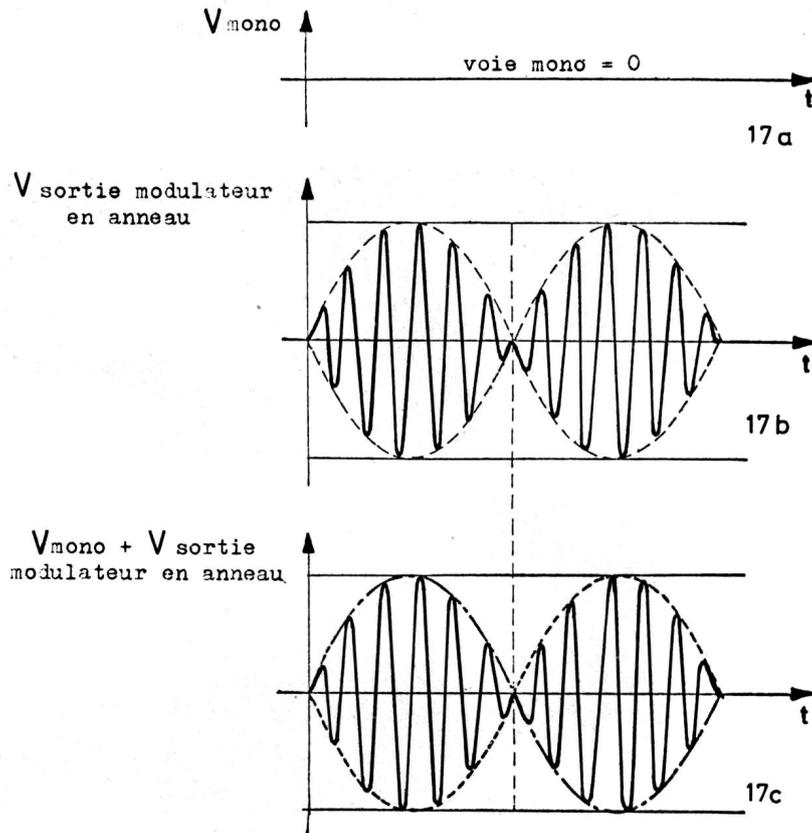


Fig. 17

### TRANSMISSION D'UN SIGNAL MONOPHONIQUE

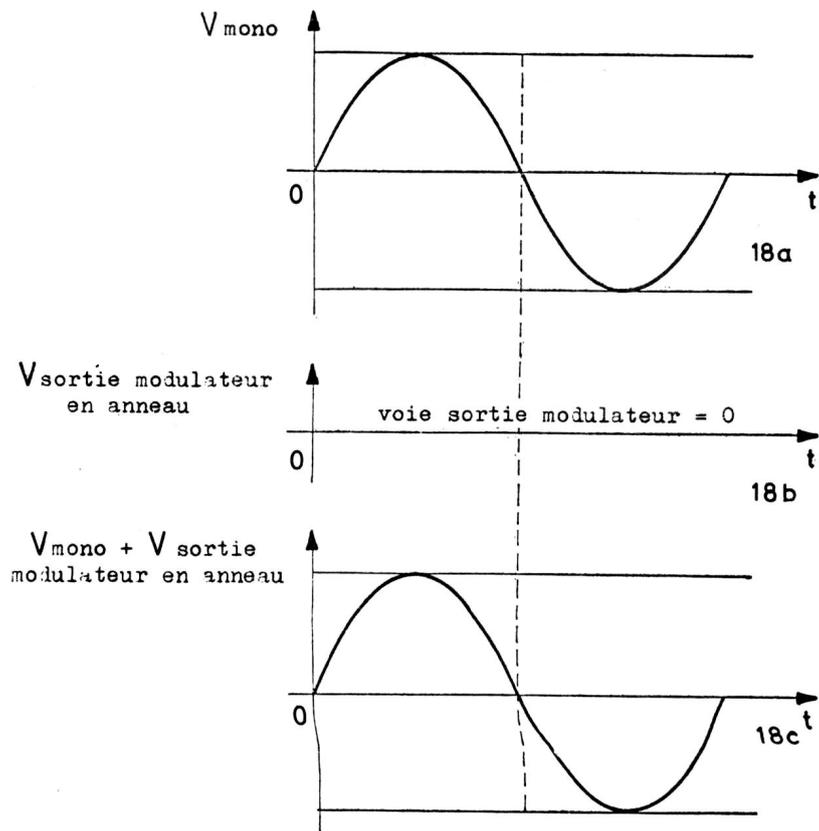


Fig. 18