

## 8 - Le «détecteur de rapports». (1)

De loin le plus répandu actuellement, bien que son rendement ne puisse être comparé à celui du montage précédent, ce démodulateur tire son intérêt du fait qu'il peut être utilisé sans étage limiteur, puisqu'il

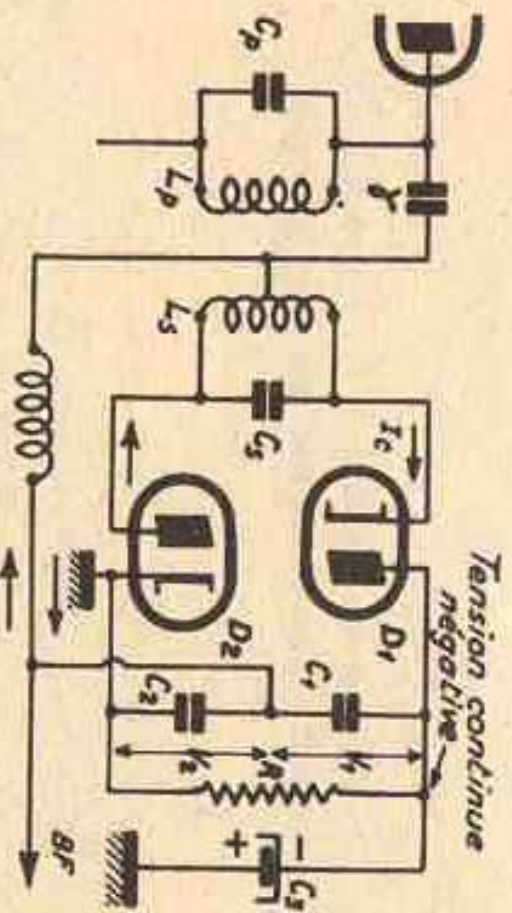


Fig. 102 - Schéma de principe du «détecteur de rapports».

d'être en opposition, sont montées en série avec une résistance de charge  $R$ , de telle façon qu'en présence d'une porteuse modulée ou non en

(1) Appelé aussi Détecteur à rapport de tension ou «Ratio Detector».

assure lui-même cette fonction de façon acceptable. A ce titre, il représente le dispositif démodulateur le plus économique.

Le schéma de la figure 102 nous indique ses particularités. Le transformateur utilisé est identique à celui du discriminateur à déphasage, mais les diodes  $D_1$  et  $D_2$  au lieu



fréquence, il circule un courant continu  $I_c$  à travers le circuit démodulateur. Ce courant fait apparaître aux bornes de la résistance  $R$  une tension continue négative, si le sens des diodes est celui de la figure, qui peut être utilisé, le cas échéant pour actionner un indicateur visuel ou une commande automatique de gain.  $C_3$  est un condensateur de forte valeur, dont le rôle est le suivant :

Supposons que l'apparition brusque d'un parasite fasse augmenter l'amplitude du signal. La tension continue existant aux bornes de  $C_3$  et

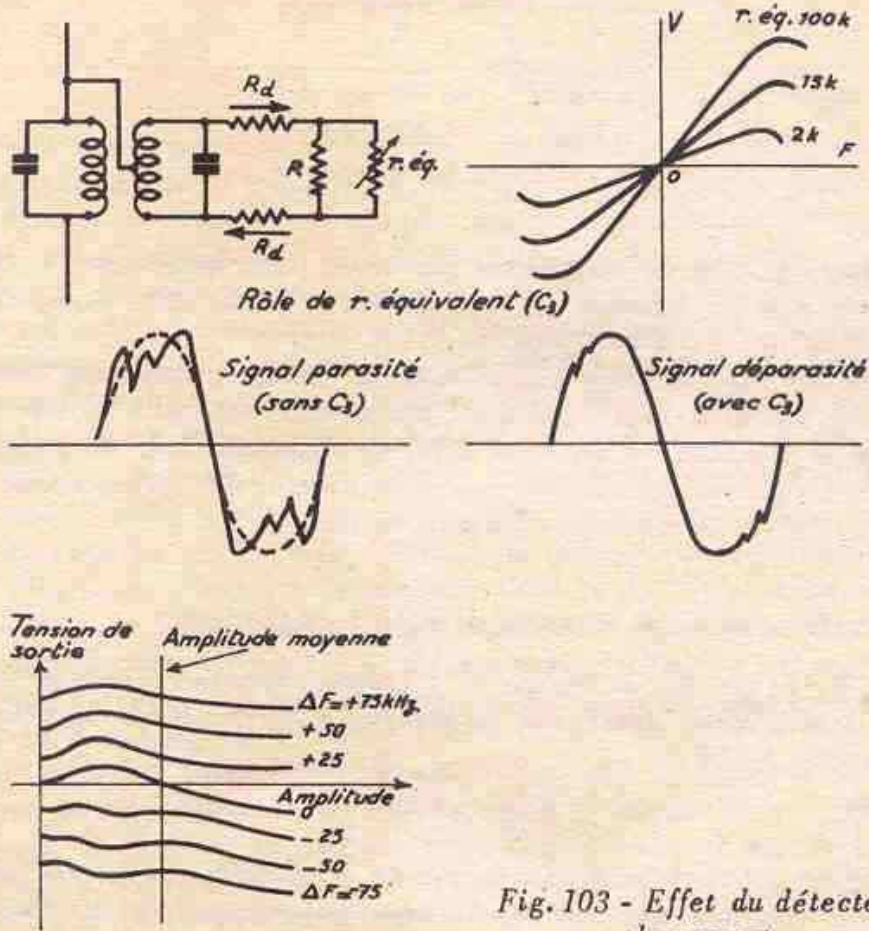


Fig. 103 - Effet du détecteur de rapport.

qui maintient sa charge a tendance à croître, ce qui se traduit par une brusque augmentation de  $I_c$ . Tout se passe comme si un opérateur avait réduit dans le même temps la valeur de la charge entraînant un amortissement presque instantané des circuits (à la constante de temps d'action près) et diminuant ainsi le couplage. L'augmentation de l'amplitude du signal est donc freinée par l'action de  $C_3$ . De même, lors d'une diminution de l'amplitude, ce dernier perdra une partie de sa charge, ce qui correspond à une augmentation de son impédance apparente  $r_{\text{équ.}}$ , un désamortissement des circuits et une augmentation du couplage.



La figure 103 illustre ce phénomène. On remarquera que la courbe caractéristique du montage prend diverses allures correspondantes à différentes valeurs de  $r_{\text{equ}}$ . La résistance totale apparaissant aux bornes du secondaire varie donc de  $R$  à  $R + 2R_d$  ( $R_d$  : résistance interne d'une diode) lorsque le terme  $dl_c/dt$  va de 0 à  $\infty$ . Cette action de limiteur est renforcée par le fait que si la tension aux bornes de chaque diode augmente, sa résistance interne diminue. Par exemple, on a relevé les valeurs suivantes sur une 6AL5 :

$U$	$R_d$
4 volts	100 000 ohms
5 volts	5 000 ohms
8 volts	1 500 ohms

On choisira donc de préférence des diodes dont la résistance interne est faible afin de conférer au montage un effet limiteur acceptable : 6AL5, EABC80, 1N34, 1N25, etc...

Il ne faut pas toutefois tomber dans un excès de limitation d'amplitude, sous peine de faire apparaître une surcompensation qui nuit à la linéarité du montage, et que l'on évite en disposant une résistance en série avec  $C_3$  pour diminuer la valeur du courant de charge de ce dernier et limiter l'amortissement correspondant.

### 9 - Caractéristiques du montage détecteur de rapport.

Soit  $V_o$  la tension de charge de  $C_3$ . Nous venons de voir que cette tension tend à rester constante, ou à varier dans de très faibles limites, on peut donc écrire :

$$V_o = V_1 + V_2$$

D'autre part, la tension basse fréquence disponible est donnée par la demi-différence des tensions démodulées apparaissant sur les résistances de charge, soit :

$$V_d = \frac{V_1 - V_2}{2}$$

et nous pouvons écrire :

$$\frac{V_d}{V_o} = \frac{(V_1 - V_2)}{2 (V_1 + V_2)}$$

si  $\eta$  désigne le rapport des tensions aux bornes des diodes à la fréquence  $F_o$ , en supposant la démodulation linéaire, on aura :



$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{U_1}{U_2} = \eta$$

d'où 
$$2 \frac{V_o}{V_o} = \frac{V_1 - V_2}{V_1 + V_2} = \frac{\eta - 1}{\eta + 1}$$

et, en posant 
$$K = \frac{V_o}{2}$$

$$V_D = K \frac{\eta - 1}{\eta + 1}$$

qui n'est fonction que du rapport des tensions disponible sur les diodes. Il est évident que si l'amplitude du signal varie, les tensions  $U_1$  et  $U_2$  varient dans le même sens, mais le rapport  $\eta$  reste fixe (voir figure 94), ce qui permet de conclure à l'insensibilité du détecteur de rapport aux écarts d'amplitude. Avec la réserve que nous faisons sur l'emploi du terme «détecteur», il est clair que ce montage porte bien son nom.

Il existe, en fait, plusieurs reproches à faire à ce dispositif. Nous avons supposé, en effet, que  $V_o$  était constant, ce qui n'est vrai que si la perturbation est de courte durée et de faible amplitude : cette tension peut varier légèrement et introduire un signal basse fréquence indésirable superposé à celui que l'on désire entendre. On est donc amené, plus particulièrement sur ce montage, à définir le rapport existant entre une tension démodulée issue d'un signal FM d'indice donné, et celle provenant d'un signal de même amplitude mais modulé en AM à un taux préétabli : soit, par exemple, un signal modulé à 400 Hz à 30 % en AM et  $\pm 75$  kHz en FM. Dans ces conditions, le rapport précité devra être compris entre 20 et 30 (voir chapitre 14).

Le calcul du détecteur de rapport s'apparente à celui que nous avons indiqué pour le discriminateur à déphasage : on peut donc envisager la variation des mêmes paramètres pour l'établissement des éléments du montage. Toutefois, on ne pourra guère s'éloigner de quelques valeurs types que nous donnons ci-après.

Le rendement est meilleur lorsque le rapport des surtensions  $Q_p/Q_s$  est élevé. On a donc intérêt à ne pas prendre un couplage trop serré, surtout en raison de la variation d'amortissement entraînée par les écarts d'amplitude du signal; les valeurs les plus courantes de l'indice de couplage sont comprises entre 0,7 et 0,5. Il est bien évident que ces valeurs correspondent aux circuits en charge. Le rapport des surtensions ne dépassera guère toutefois 3 à 5.

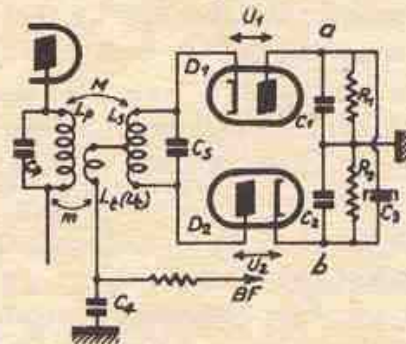
On prend généralement une résistance de charge assez faible, comprise entre 15 et 40 k $\Omega$  afin d'avoir un effet limiteur suffisant pour des valeurs de  $C_3$  de 2 à 10  $\mu$ F, ce qui implique l'utilisation d'un condensateur électrolytique du type «polarisation», à faible isolement. Il n'est pas utile de donner à  $C_3$  une valeur plus élevée car la tension  $V_o$  souvent



utilisée pour commander la grille d'un indicateur visuel présenterait des variations ayant une constante de temps trop grande. L'impédance basse fréquence de ce condensateur est suffisamment élevée pour nécessiter la présence d'un condensateur au papier de 5000 à 10 000 pF afin de permettre un meilleur fonctionnement limiteur sur les impulsions brèves et une meilleure restitution des aiguës.

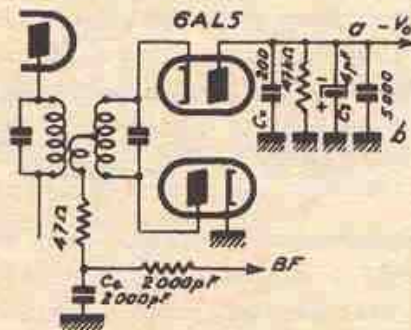
### 10 - Formes courantes de montage du détecteur de rapport.

Le schéma de la figure 102 ne représente qu'une modification du discriminateur à déphasage et est, de fait, assez peu employée; on préfère utiliser un montage plus économique tel que celui de la figure 104a

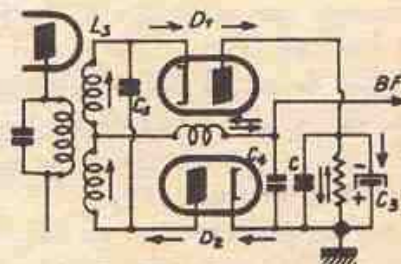


(A) Montage symétrique

Fig. 104 - Formes classiques du détecteur de rapport.



Montage dissymétrique



(B) Schéma équivalent

dit équilibré, ou *symétrique*, ou surtout, celui de la figure 104b *dissymétrique* qui est le type de montage le plus répandu. Ces dénominations ne correspondent pas à la forme de la caractéristique mais à la polarité des tensions continues apparaissant en a et b par rapport à la masse.

La différence existant entre ces montages et le précédent réside dans l'utilisation d'un enroulement supplémentaire de quelques tours bobinés directement sur le primaire et couplé très serré avec lui ( $K = 80$  à  $85\%$ ). Cet enroulement, ou *tertiaire* recueille une partie de la tension primaire  $U_1$ , et remplace la capacité de liaison  $\gamma$ . Une extrémité du tertiaire est réunie au point milieu du secondaire, l'autre revient à la masse à travers  $C_4$ . La tension appliquée à  $D_1$  est donc égale à la somme vectorielle de  $U_1$ , et de  $U_2/2$ , tandis que celle appliquée à  $D_2$  correspond



à la somme de  $U_1$  et de  $-U_2/2$ . A la résonance et en l'absence de modulation, les capacités  $C_1$  et  $C_2$  sont chargées au même potentiel. Un courant instantané traverse la partie supérieure du circuit et revient à la masse à travers  $C_4$ ; un courant identique circule dans la partie inférieure, mais en sens inverse, de telle sorte que la charge de  $C_4$  est nulle, et devient alternativement positive ou négative suivant que la fréquence instantanée du signal s'éloigne dans un sens ou dans l'autre de la fréquence centrale : la tension basse fréquence disponible est donc recueillie aux bornes de  $C_4$ .

La seule modification apportée dans le montage dissymétrique est le remplacement de  $R_1, R_2, C_1, C_2$  par une résistance  $R$  et une capacité  $C$ . Le condensateur «chimique» est disposé sur la charge avec ou sans résistance série. Ce dispositif, plus simple que le symétrique, fonctionne cependant de la même façon. Il suffit de se reporter au schéma équivalent qui indique le sens des courants faisant apparaître une variation de charge aux bornes de  $C_4$ , représentant la tension de modulation du signal. On remarquera une résistance de 47 ohms, en série avec le tertiaire, dont le rôle est de prévenir une surcompensation des écarts d'amplitude, et de désamortir le primaire. La résistance  $R$  est court-

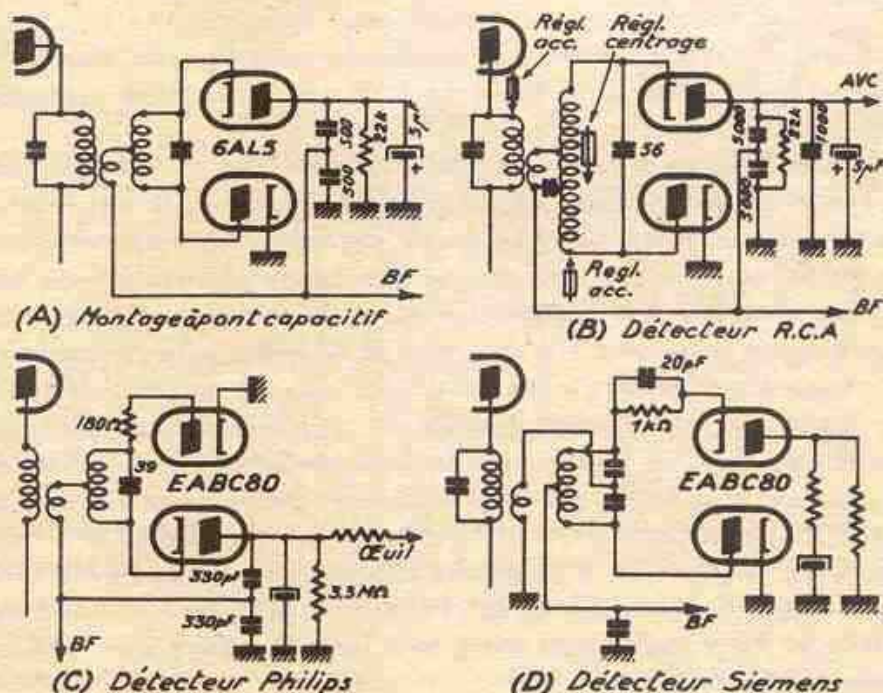


Fig. 105 - Variantes du détecteur de rapport.

circuée par un condensateur de 5000 pF et un autre de 200 pF destinés respectivement à présenter à la fréquence intermédiaire et à la basse fréquence une impédance plus basse que celle offerte par le condensateur chimique.



Il existe un grand nombre de variantes de ce montage, car chaque constructeur a amené sa note personnelle à la réalisation du détecteur de rapport. La figure 105 indique quelques aspects typiques de ces montages, la place manquant pour les citer tous. Le montage *a* permet d'obtenir une meilleure symétrie de caractéristique en retournant une extrémité du tertiaire à un pont de capacités, la charge restant constituée par une résistance unique de 22 000 ohms. Le deuxième montage, utilisé par RCA est plus astucieux : le secondaire est volontairement déséquilibré pour permettre à un noyau réglable d'opérer le centrage de la courbe, tandis qu'un autre assure le réglage de l'accord; la construction mécanique du circuit est telle que ces deux réglages ne s'influencent qu'assez peu. Sur la figure 105d, on utilise à la fois une prise par pont capacitif sur le circuit secondaire et une prise selfique d'où l'on extrait la basse fréquence. L'ensemble 1000 ohms, 20 pF assure la symétrie et prévient les surcompensations.

### 11 - Réalisation pratique du détecteur de rapport.

Bien qu'il soit toujours conseillé à l'amateur d'acquérir ses bobinages chez un spécialiste, ce dernier peut toutefois réaliser lui-même un détecteur de rapport. Nous lui conseillons vivement de s'inspirer des valeurs indiquées dans le tableau de la figure 106 et des recommandations déjà citées.

Le secondaire sera naturellement constitué par un enroulement bifilaire espacé ou non, bobiné très régulièrement, et collé solidement; en raison du faible nombre de tours de ce dernier, il est bon d'arrêter les deux entrées et les deux sorties sur une même génératrice du mandrin sous peine d'obtenir une dissymétrie dans le montage. On peut utiliser pour cet enroulement deux fils de guipage différent afin de pouvoir facilement reconnaître l'entrée et la sortie des deux demi-secondaires.

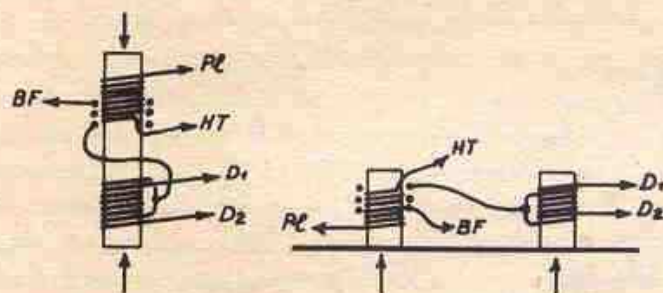
La réalisation de la self primaire ne présente aucune difficulté; on pourra, si l'on veut, la fractionner en deux parties ou espacer les spires (côté réglage), afin de ne pas trop influencer l'accord du secondaire qui est assez «pointu». Cette précaution n'est pas à prendre si la bobine est suffisamment longue (2 à 3 diamètres du mandrin) ou si l'accord se fait par variation de capacité. Dans le cas où l'on utilise un mandrin unique, le point froid du primaire sera situé vers le secondaire afin de diminuer le couplage électrostatique.

On réalise généralement le circuit tertiaire directement sur le primaire en intercalant une couche d'isolant de quelques dixièmes de millimètre entre les deux enroulements. Le nombre de tours de ce circuit est choisi généralement égal à celui d'un demi-secondaire ou d'un cinquième de primaire. On ne peut évidemment pas l'augmenter trop sans risque de résonance fâcheuse, ou même de déphasage indésirable, qui diminue la sensibilité et la linéarité. En outre l'augmentation de  $L_3$



diminue l'effet limiteur qui est proportionnel à  $L_s/L_p$ . Le bobinage se fera de préférence vers le côté froid du primaire.

La valeur de couplage, et principalement la distance entre primaire et secondaire, est essentiellement variable d'un montage à un autre et



Primaire	Secondaire	Tertiaire	Diamètre mandrin	Couplage Pr.Sec.
12 T 30/100 $C = 60 \text{ pF}$	$2 \times 4 \text{ T } 30/100$ $C = 100 \text{ pF}$	2 T 30/100	15 mm	mandrin unique 10 mm
22 T 15/100 $C = 22 \text{ pF}$	$2 \times 11 \text{ T } 20/100$ $C = 30 \text{ pF}$	5 T 15/100 47 $\Omega$ série	8 mm	mandrin unique 9 mm
25 T 25/100 $C = 20 \text{ pF}$	$2 \times 9 \text{ T } 55/100$ $C = 67 \text{ pF}$	Liaison par capacité $\gamma = 100 \text{ pF}$	8 mm	mandrin parall. 16 mm
23 T 15/100 $C = 22 \text{ pF}$	$2 \times 10 \text{ T } 15/100$ $C = 30 \text{ pF}$	15 T 12/100 nylon 100 $\Omega$ série	8 mm	mandrin unique 8 mm
24 T 12/100 $C = 15 \text{ pF}$	$2 \times 9 \text{ T } 30/100$ $C = 39 \text{ pF}$	4 T 1/2 12/100	10 mm	mandrin parall. 12,5 mm
30 T 20/100 trimmer 3 - 30 pF	$2 \times 9 \text{ T } 30/100$ noyau fixe + trimmer 3 - 30 pF	13 T 12/100 300 $\Omega$ série	10 mm	7 mm

Fig. 106 - Réalisation de bobinages pour détecteur de rapport.

sera l'objet d'une détermination purement expérimentale. On remarquera que la distorsion, la sensibilité et la largeur entre les sommets de la courbe caractéristique, en dépend. On a reproduit sur la figure 107 l'allure des variations de largeur et de sensibilité en fonction du couplage, un montage inspiré du schéma de la figure 104b.



## 12 - Comparaison entre le discriminateur à déphasage et le détecteur de rapport.

On peut comparer les avantages du discriminateur classique Foster-Seeley avec le détecteur de rapport. Ces deux montages sont en effet très utilisés, particulièrement le dernier qui n'a pu cependant détrôner son aîné.

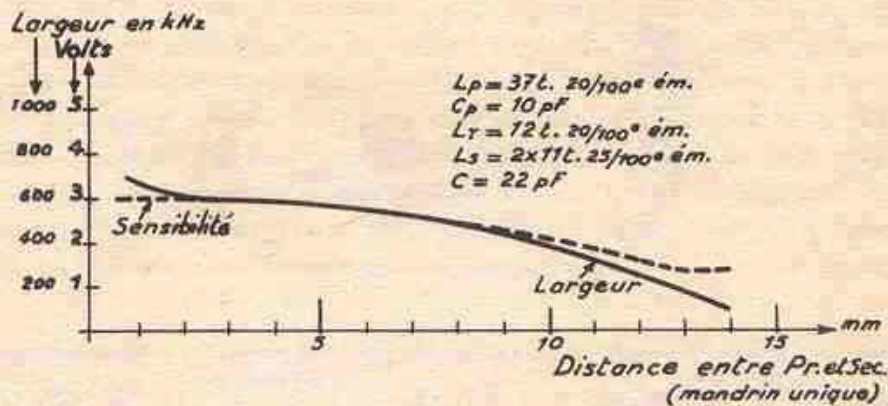


Fig. 107 - Effet des variations de couplage sur les caractéristiques d'un détecteur de rapport.

Le détecteur de rapport est, nous l'avons dit, un démodulateur auto-limiteur : il semble que ce soit là le plus gros avantage qui le fasse préférer au discriminateur à déphasage. En effet, l'absence d'étage limiteur permet de réaliser un récepteur d'une bonne sensibilité avec seulement deux étages à fréquence intermédiaire et un étage démodulateur. Le discriminateur à déphasage nécessite obligatoirement la présence supplémentaire d'un ou deux étages limiteurs, qui n'ont qu'un gain fort réduit.

Cependant la fonction limiteur du détecteur de rapport est loin d'être parfaite. Il est, en effet, difficile dans ce montage de disposer d'une constante de temps agissant dans tout le spectre basse fréquence et la qualité du montage dépend beaucoup de la qualité du condensateur chimique. Une atténuation de 25 à 30 dB d'un signal modulé à 30 % en AM est à peu près la limite que l'on peut obtenir.

La combinaison limiteur + discriminateur à déphasage est, sur ce point, beaucoup plus efficace. L'atténuation AM dans les mêmes conditions atteint facilement 40 dB avec un seul étage limiteur et 60 à 80 dB avec deux étages. On suppose évidemment que le seuil de fonctionnement de ces étages est largement atteint.

Une autre supériorité du montage à déphasage réside dans le fait qu'au delà de ce seuil, l'amplitude n'intervient pratiquement plus dans le rapport signal/bruit qui est constant. Le détecteur de rapport, au contraire a un effet limiteur plus ou moins efficace, suivant que le niveau de parasite est faible ou élevé; dans ce cas, en effet, on note que la gêne apportée par une perturbation modulée en amplitude est



proportionnelle à la tension de pointe si la fréquence de récurrence est faible et à sa tension efficace pour une fréquence plus élevée.

Un autre point important de comparaison est la linéarité de chacun des montages. Le discriminateur à déphasage possède à ce point de vue des qualités incomparables. La distorsion introduite par ce montage est, très faible, et n'excède guère 1 à 2 % dans les meilleures conditions; ce fait est dû, en partie, à la constance de l'amplitude du signal à l'entrée du transformateur et la plus grande symétrie de caractéristique que l'on peut obtenir. Le détecteur de rapport n'est pas utilisé dans des conditions analogues, puisque la tension du signal lui parvenant est loin d'être constante : les variations d'amplitude apportent à la caractéristique des changements notables non seulement sur la valeur de la pente à l'origine mais aussi sur la linéarité de cette caractéristique et, ce qui est plus grave sur son centrage, de sorte qu'on obtient, au mieux, une distorsion de 3 à 5 % qui tend généralement à croître avec l'amplitude.

La sensibilité des deux systèmes est cependant comparable, bien que la tension basse fréquence issue du détecteur de rapport soit égale au tiers ou à la moitié de celle que l'on obtient avec un discriminateur à déphasage pour une même déviation de fréquence et de même amplitude de signal; la tension injectée dans ce dernier montage est, en effet, généralement inférieure ou égale à celle que l'on applique au détecteur de rapport.

La comparaison que nous venons d'établir entre les deux principaux systèmes de démodulation tend à prouver la supériorité du discriminateur à déphasage sur le détecteur de rapport, supériorité qui devient plus marquée lorsqu'on emploie deux limiteurs. Il ne faut pas toutefois perdre de vue que l'un et l'autre de ces dispositifs tendent à mettre en valeur la qualité de transmission de la FM, en regard de celle que l'on obtient par la modulation d'amplitude; en examinant le problème sous cet angle, les différences observées dans l'étude de ces deux montages sont suffisamment faibles pour que l'on puisse utiliser le détecteur de rapport dans la majorité des récepteurs qui demandent à être réalisés de la façon la plus économique. On utilisera sur les récepteurs de luxe un discriminateur à déphasage précédé d'un ou deux étages limiteurs, ce qui permettra de faire face aux critiques les plus sévères en ce qui concerne la qualité sonore.