

Un ensemble émetteur-récepteur en modulation d'amplitude réaliste

par Jean-Philippe MULLER
Lycée Louis Armand - 68100 Mulhouse

RÉSUMÉ

Cet article décrit la réalisation pratique d'un ensemble émetteur et récepteur en modulation d'amplitude simple et peu coûteux mais ayant une portée confortable puisque supérieure à la centaine de mètres en espace libre. Ces deux maquettes ont été spécialement conçues pour que nos élèves et étudiants puissent relever facilement les signaux aux différents points et en comprendre ainsi le fonctionnement.

Ces maquettes sont utilisées par nos élèves de terminale S et GEL, nos étudiants de BTS Électronique ainsi que par nos étudiants d'IUFM pour le montage Modulation d'amplitude du Capes de physique-chimie.*

1. INTRODUCTION

Le problème de la transmission d'un signal audiofréquence par onde électromagnétique a conduit ces dernières années à des montages pratiques présentant un certain nombre d'inconvénients.

Premièrement on travaille souvent à une fréquence très basse (de l'ordre de la centaine de kilohertz) dans une bande (Petites Ondes ou Grandes Ondes) où les émissions ne sont pas autorisées.

D'autre part à ces fréquences basses les antennes, pour être efficaces, sont nécessairement très longues puisque les dimensions de l'antenne doivent correspondre au quart ou à la demi-longueur d'onde. On arrive alors à des situations où la portée du système est à peine plus importante que la somme des longueurs des antennes d'émission et de réception. Ceci est plutôt gênant quand on a devant soi un étudiant radioamateur qui a discuté la nuit précédente avec un ami néo-zélandais...

* Le titre de la leçon de Capes correspondante est : «Transmission d'une information par ondes électromagnétiques».

On peut aussi supprimer les antennes et produire et capter l'onde électromagnétique par un bobinage accordé sur la fréquence de travail. C'est d'ailleurs la solution adoptée dans nos récepteurs PO et GO. Dans ce cas il faut à l'émission un courant important dans la bobine d'émission sinon la portée reste assez faible.

La solution à ce problème est simple : il suffit de monter en fréquence. Suffisamment pour pouvoir utiliser des antennes peu encombrantes, mais pas trop pour rester compatible avec l'équipement habituel de nos laboratoires de physique.

C'est pour cette raison que nous avons développé cette petite maquette constituée par un émetteur et un récepteur qui a les caractéristiques suivantes :

- fréquence de travail dans la bande CB autour de 27 MHz où l'émission de faible puissance est libre,
- antenne d'émission et de réception facilement disponible et de longueur raisonnable,
- le brin quart-d'onde mesure 2,5 m mais on trouve des antennes accordées spirales de 25 cm,
- émission en modulation d'amplitude classique, le signal modulant provenant soit d'un générateur basse-fréquence, soit d'une source quelconque (baladeur, etc.),
- portée en espace libre supérieure à 100 m, ce qui est largement suffisant pour être reçu au fond de la salle de TP si l'émetteur se trouve sur le bureau du professeur,
- possibilité de faire travailler plusieurs maquettes sur la même fréquence. Dans ce cas un seul émetteur fonctionne et les élèves étudient le récepteur,
- on peut aussi travailler avec plusieurs ensembles émission-réception en affectant à chacun une fréquence d'émission différente.

2. STRUCTURE DE L'ÉMETTEUR

Il est construit autour d'un multiplieur analogique AD835 qui peut fonctionner jusqu'à 250 MHz et est donc parfait pour notre application. Il possède deux entrées X et Y ainsi qu'une entrée de sommation Z et réalise la fonction :

$$e(t) = X \cdot Y + Z$$

Si on applique le signal modulant $s(t)$ en X et la porteuse $e_o(t) = E \cos(\omega_e t)$ à la fois sur Y et Z , on aura en sortie :

$$e(t) = s(t) \cdot E \cos(\omega_e t) + E \cos(\omega_e t) = E(1 + s(t)) \cos(\omega_e t)$$

Dans le cas où le signal basse-fréquence est sinusoïdal : $s(t) = a \cos(\Omega t)$, on obtient :

$$e(t) = E (1 + a \cos(\Omega t)) \cos(\omega_e t)$$

qui est bien un signal modulé en amplitude, un taux de modulation de $m = 1$ étant obtenu pour un signal basse-fréquence d'amplitude $a = 1$ V.

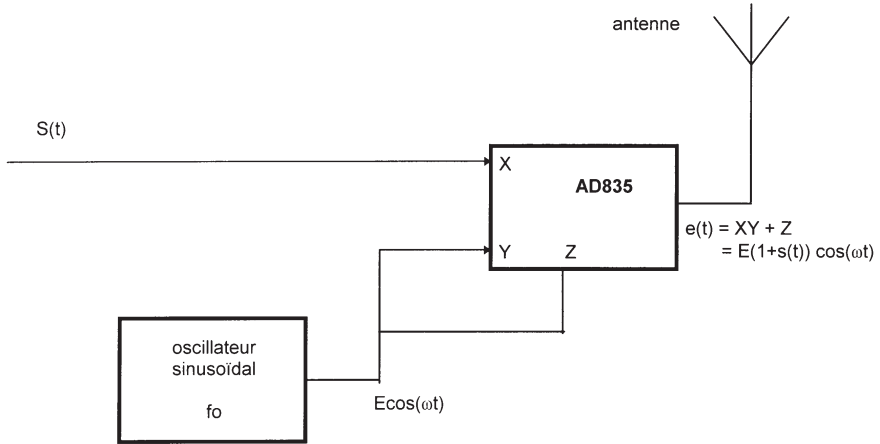


Figure 1 : Structure de l'émetteur.

En plus du multiplieur, la maquette comporte un oscillateur à deux transistors qui fournit la porteuse à la fréquence f_e du quartz. Cet oscillateur ne nécessite aucun réglage et fonctionne dès la mise sous-tension.

Pour rendre cet émetteur opérationnel, il suffit donc de le munir d'une antenne (tige métallique de 10 à 30 cm de long au moins ou mieux antenne souple pour CB accordée sur 27 MHz) et de lui appliquer à l'entrée un signal modulant d'amplitude inférieure à 1 V si on veut éviter la surmodulation.

Le schéma complet de l'émetteur est le suivant (voir figure 2).

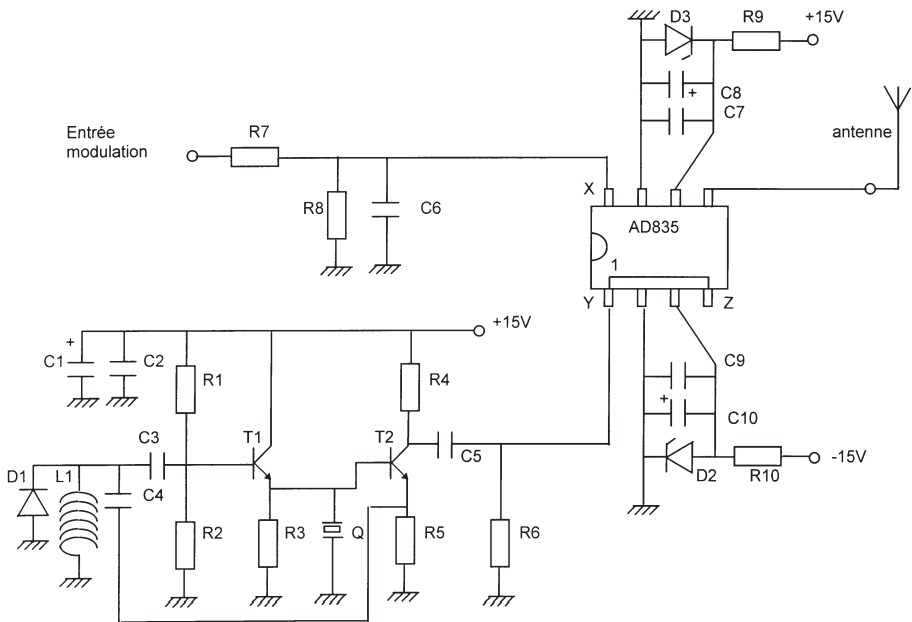


Figure 2 : Schéma de l'émetteur.

Liste des composants

Résistances

R1 = 68 k Ω R2 = 100 k Ω R3 = 10 k Ω R4 = 1 k Ω R5 = 470 k Ω
 R6 = 330 k Ω R7 = 100 k Ω R8 = 4,7 k Ω R9 = 330 k Ω R10 = 330 k Ω

Condensateurs

C1 = C8 = C10 = 22 μ F C2 = C7 = C9 = 100 nF
 C3 = C5 = C6 = 3,3 nF C4 = 220 pF

Autres composants

L1 = 470 nH D1 = 1N 4148
 T1 = T2 = 2N 4407 D2 = D3 = diode zener 5,1 V

CI = multiplieur AD 835 de chez Analog Devices (chez Radiospares)

Q = quartz d'émission de fréquence f_e correspondant à un des quarante canaux de la bande CB (chez Sélectronic).

3. STRUCTURE DU RÉCEPTEUR

Il s'agit évidemment d'un récepteur à changement de fréquence. Le signal capté par l'antenne est multiplié (circuit NE602) par un signal sinusoïdal dont la fréquence f_o est décalée par rapport à la fréquence d'émission de $f_i = 455 \text{ kHz}$:

$$f_o = f_e - 455 \text{ kHz}$$

On obtient en sortie un signal à la fréquence somme $f_e + f_o$, non exploité dans la maquette, et à la fréquence différence $f_e - f_o = f_i$.

Ce signal à la fréquence f_i est sélectionné à l'aide d'un filtre sélectif céramique centré sur la valeur de fréquence intermédiaire standard 455 kHz.=

L'émission à la fréquence f_e qui nous intéresse a donc été transposée à 455 kHz et traversera le filtre de fréquence intermédiaire avec une atténuation minimale.

Les émissions à des fréquences voisines (cibistes, autres maquettes, etc.) seront transposées au-dessus ou en-dessous de 455 kHz et donc fortement atténuées.

En sortie du filtre f_i , le niveau de porteuse est très variable suivant le type d'antenne utilisée et la distance entre l'émetteur et le récepteur. Il faut donc amplifier le signal qui sort du filtre sans l'écarter, ce qui serait dramatique pour notre modulation.

Pour pouvoir attaquer le détecteur crête avec un niveau sensiblement constant, nous utilisons un amplificateur à contrôle automatique de gain (circuit TCA 440).

Le démodulateur est un simple détecteur crête, montage bien connu.

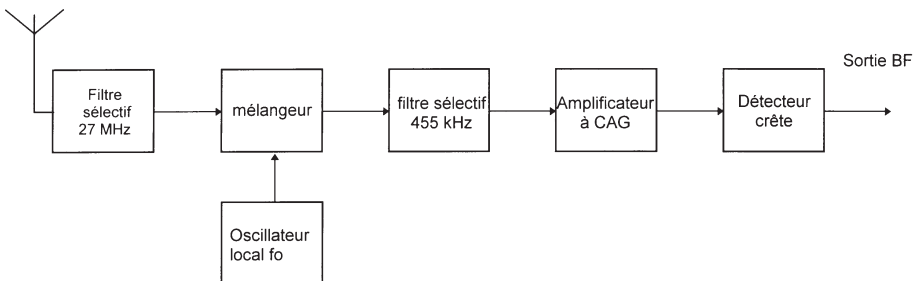


Figure 3 : Structure du récepteur.

Il est clair qu'actuellement un seul circuit intégré permet de réaliser un récepteur complet.

Mais notre souci a été de bien séparer les différentes fonctions qu'on rencontre dans un récepteur, et de placer des points de mesures à des endroits qui ne sont pas toujours accessibles dans les récepteurs à un seul circuit.

C'est également pour des raisons didactiques que nous avons tenu à avoir un détecteur crête distinct de l'amplificateur de fréquence intermédiaire.

Le schéma du récepteur est le suivant (voir figure 4).

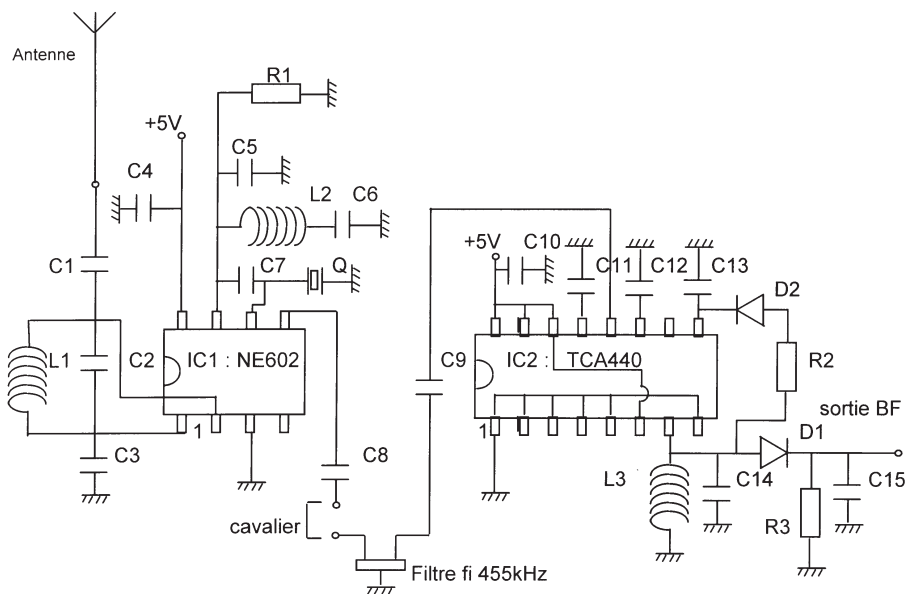


Figure 4 : Schéma complet du récepteur.

Liste des composants

Résistances

$R1 = 10 \text{ k}\Omega$ $R2 = 47 \text{ k}\Omega$ $R3 = 22 \text{ k}\Omega$

Condensateurs

C1 = C3 = C6 = 3,3 nF C2 = 68 pF C5 = 100 pF
C4 = C8 = C9 = C10 = C11 = C12 = 100 nF C7 = 47 pF C13 = 1 μF
C14 = 1,2 nF C15 = 1 nF

Autres composants

L1= L2= 470 nH CII= NE602 ou NE612

L3 = 100 μ H CI2 = TCA 440

D1 = D2 = diode à pointe au germanium OA 95 ou équivalent

F = filtre céramique 455 kHz

Q = quartz de réception de fréquence $f_o = f_e - 455 \text{ kHz}$
ou $f_o = f_e + 455 \text{ kHz}$

4. UTILISATION DE LA MAQUETTE

Selon le matériel dont on dispose, on peut relever un certain nombre de courbes intéressantes dont voici quelques exemples.

Pour l'émetteur

- Sans appliquer de signal BF, observer à l'oscilloscope la porteuse sur la sortie ; mesurer son amplitude, sa fréquence.
- Appliquer un signal basse-fréquence sinusoïdal de fréquence 1 kHz, observer le signal modulé en amplitude en sortie et mesurer l'indice de modulation, observer son spectre (figure 5).

On constate que la fréquence de la porteuse de $f_e = 26,99 \text{ MHz}$ coïncide bien avec celle du quartz équipant la maquette donnée par le fabricant à $26,995 \text{ MHz}$.

L'indice de modulation peut être calculé à partir de l'amplitude des raies latérales qui vaut $mE/2$ soit $m = 0.96$.

- Appliquer un signal basse-fréquence carré et observer la forme du signal et son spectre (figure 6).

On retrouve le spectre du signal modulant (harmoniques impairs décroissant en $1/n$) dans les deux bandes latérales du spectre du signal modulé.

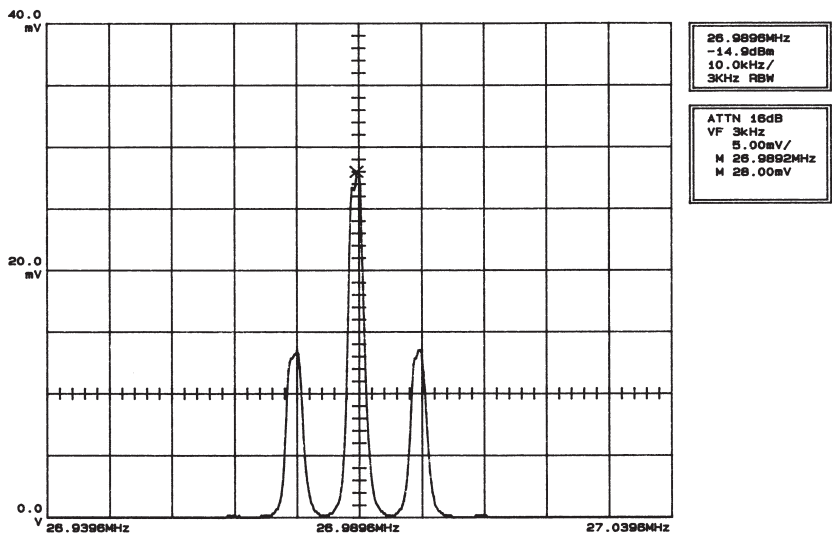


Figure 5 : Spectre du signal AM avec un signal modulant sinusoïdal.

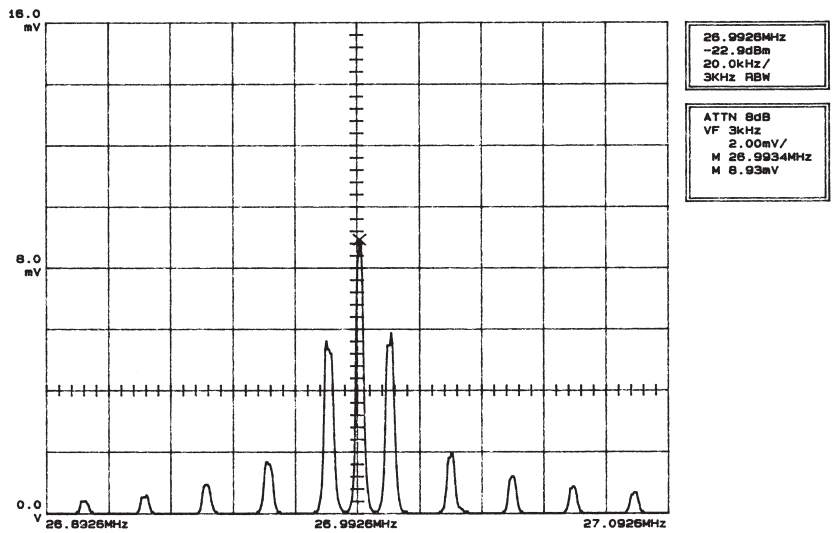


Figure 6 : Spectre du signal modulé par une porteuse carrée.

- Même chose pour un signal modulant quelconque issu d'un baladeur par exemple (figure 7).

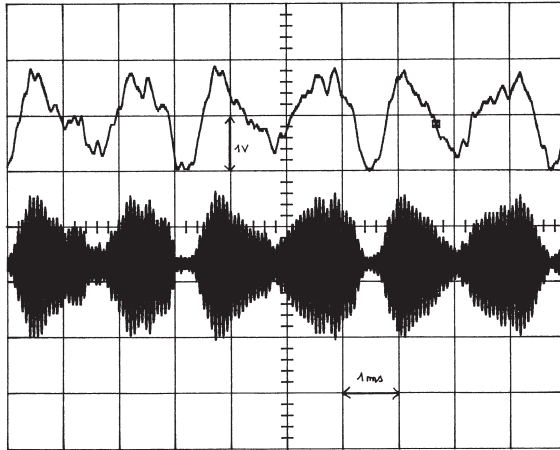


Figure 7 : Signal en sortie de l'émetteur modulé par un signal musical issu d'un baladeur.

La courbe du haut est l'oscillogramme du signal musical, celle du bas la porteuse modulée en amplitude (voir figure 7).

Pour le récepteur

- Étudier le détecteur crête.
- Mettre en évidence le contrôle automatique de gain en relevant le niveau de sortie du TCA 440 en fonction du niveau d'entrée (figure 8).

Dans la plage étudiée, le niveau de sortie varie dans un rapport 2 environ alors que la tension d'entrée varie dans une plage de 1 mV à 4 V.

- Relever la courbe de réponse du filtre céramique autour de 455 kHz (figure 9).
- L'émetteur allumé et placé à quelques mètres, observer le signal de l'émetteur transposé à 455 kHz en sortie du filtre, puis en sortie de l'amplificateur, puis en sortie de détecteur crête (figure 10).

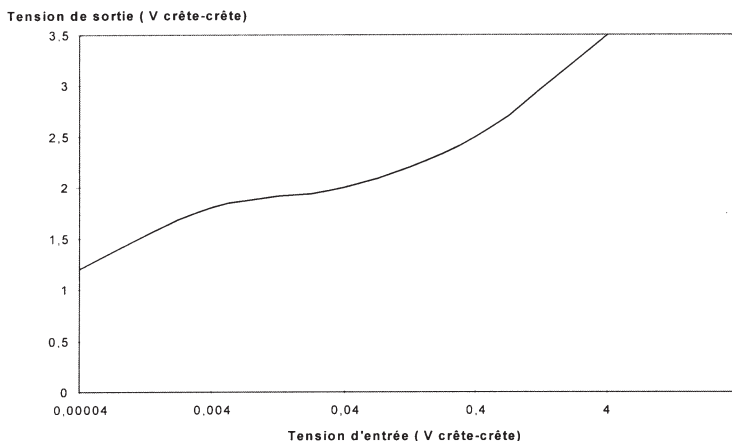


Figure 8 : Caractéristique de transfert $V_s = f(V_e)$ de l'amplificateur à CAG.

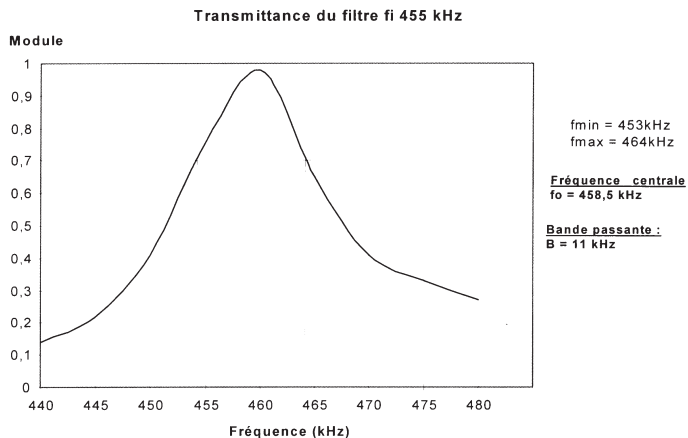
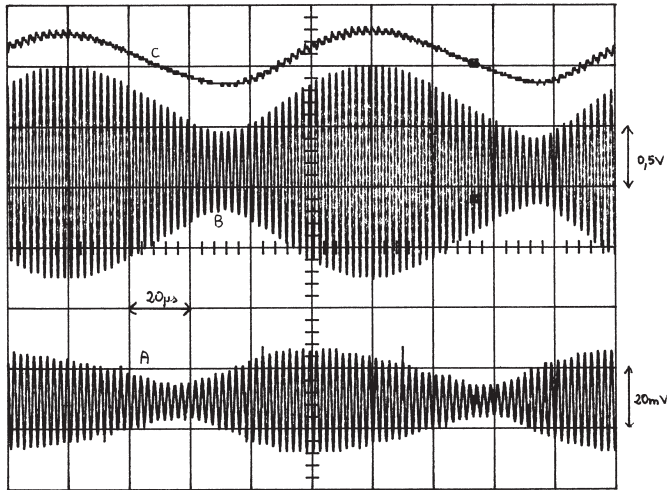


Figure 9 : Courbe de réponse du filtre de fréquence intermédiaire.

- Pour la chaîne complète, moduler l'émetteur par un signal sinusoïdal de fréquence variable et relever la courbe de réponse, mettre en évidence la fréquence de coupure de l'ordre de 5 kHz liée à la largeur B du filtre f_i ($f_c = B/2$).
- Pour la chaîne complète, moduler l'émetteur par un signal basse-fréquence quelconque et comparer ce signal au signal reçu en sortie du récepteur.



Courbe A : Signal en sortie du filtre f_i à 455 kHz d'amplitude faible (20 mV crête environ).
 Courbe B : Signal en sortie de l'amplificateur à CAG d'amplitude nettement plus confortable (0,8 V crête).
 Courbe C : Signal BF après détection crête.

Figure 10 : Allure du signal aux différents points du récepteur.

Afin de ne pas trop allonger cet article, nous n'avons pas mis les dessins des circuits imprimés pour les deux maquettes, ni les plans d'implantation des composants.

Mais je les enverrai bien volontiers aux collègues qui seraient intéressés par la réalisation de cet ensemble. Il suffit de m'envoyer un mot au :

Lycée Louis Armand - 3, boulevard des Nations - 68093 MULHOUSE Cedex
 ou de me contacter par fax au 03 89 06 42 84.

Et pour ceux qui préfèrent acheter les deux maquettes montées et prêtes à l'emploi, nous pouvons les fournir par TECHNO-ASSISTANCE (même fax que ci-dessus) au prix de 1200 F TTC pour un ensemble émetteur-récepteur.

NDLR : On consultera avec profit le BUP n° 771 de février 1995 consacré entre autres à la modulation d'amplitude. En particulier «Le principe du récepteur super-hétérodyne» - p. 352 rappelant le rôle du mélangeur (FROMONT, GANCEL, HALLIER, LEMEUR).