

MODULATION D'AMPLITUDE DEMODULATION D'AMPLITUDE

GENERALITES SUR LA MODULATION

Les ondes électromagnétiques de fréquence élevée ont la propriété de se propager, soit dans l'atmosphère, soit sur un support (guide d'onde, câble) sur de très grandes distances. Il est alors intéressant d'utiliser cette propriété afin de transmettre à distance une information. Toutefois, l'information à transmettre sera caractérisée par un signal de fréquence beaucoup plus faible. On utilise alors une "modulation". L'onde de fréquence élevée est appelée la porteuse. L'information est contenue dans la modification du signal porteur au cours du temps.

Afin de transmettre l'information, il faut par conséquent :

- fabriquer le signal contenant l'information.
- le transmettre entre le point d'émission et celui de réception.
- amplifier le signal reçu et éliminer le bruit
- le démoduler pour ne retenir que l'information.

Un grand nombre de procédés de modulation numériques et analogiques sont utilisés: modulation d'amplitude, de fréquence, de phase, par impulsion, F.S.K. (Frequency Shift Keying), etc.

1. RAPPELS THEORIQUES

1.1 Principe de la modulation d'amplitude

On module l'amplitude du signal porteur selon une loi qui correspond à la forme du signal modulateur contenant l'information.

Soit : $V(t) = V_0 \cos(\Omega t)$ la porteuse
 $h(t)$ l'information à transmettre

Le signal modulé a pour expression :

$$U(t) = V_0 (1 + m.h(t)) \cos(\Omega t)$$

où **m** est appelé le **taux de modulation**, généralement exprimé en %. Si $m > 1$, il y a surmodulation (figure 1).

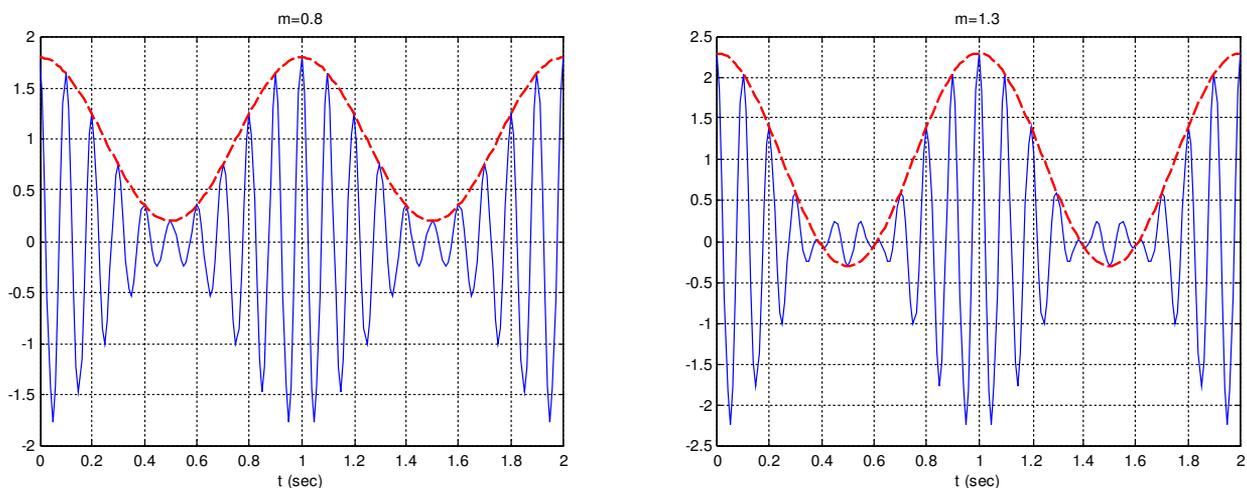


Figure 1

Remarque : On peut supposer sans perte de généralité que $h(t)$ est un signal sinusoïdal de pulsation ω tel que sa période $2\pi/\omega \gg 2\pi/\Omega$. Supposons que l'information à transmettre est de la forme :

$$v(t) = v_0 \cos(\omega t)$$

et qu'elle se superpose au signal HF.

Par suite :

$$U(t) = (V_0 + v_0 \cos(\omega t)) \cos(\Omega t) = V_0 (1 + m \cos(\omega t)) \cos(\Omega t)$$

ce qui implique : $m = v_0 / V_0$.

U(t) devient alors :

$$U(t) = V_0 \cos(\Omega t) + (mV_0/2) \cos(\Omega + \omega)t + (mV_0/2) \cos(\Omega - \omega)t$$

Le spectre de l'onde modulé fait apparaître, de part et d'autre de la pulsation centrale Ω , d'amplitude V_0 , deux pulsations latérales $(\Omega + \omega)$ et $(\Omega - \omega)$, d'amplitude $mV_0/2$ (figure 2). Pour une information réelle dont la bande est comprise entre ω_1 et ω_2 , le spectre de l'onde modulée aura l'allure présentée sur la Figure 3.

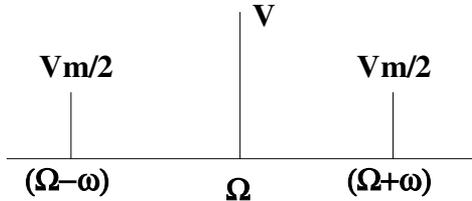


Figure 2

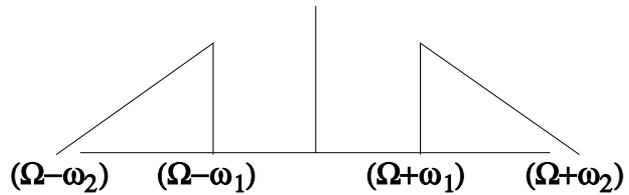


Figure 3

En conséquence, les circuits sélectifs destinés à transmettre le signal modulé en amplitude devront avoir une bande passante de $2\omega_2$ et être centrés sur la porteuse Ω . Pour la radio, en modulation d'amplitude, la bande passante est de 9kHz en Europe (10kHz aux Etats Unis) alors qu'elle dépasse 100MHz en télévision.

1.2 Analyse d'un signal modulé en amplitude

Outre l'observation directe à l'oscilloscope du signal modulé $u(t)$ (figure 1) ou l'observation du spectre (figures 2 et 3), il existe une manière simple d'analyser un signal modulé en amplitude, **la méthode du trapèze**.

Le signal HF modulé $U(t)$ est appliqué à l'entrée Y d'un oscilloscope tandis que le signal BF $v(t)$ en phase avec l'enveloppe du signal modulé est appliqué sur l'entrée X. On obtient alors une zone lumineuse dont le contour est en forme de trapèze (figure 4). En effet, à tout instant, il y a proportionnalité entre l'enveloppe du signal HF et le signal BF et la pente des côtés obliques est constante.

La grande base de B représente la double amplitude de crête, la petite base b la double amplitude de creux.

Démontrer la relation suivante entre taux de modulation et dimensions du trapèze:

$$m = (B - b) / (B + b)$$

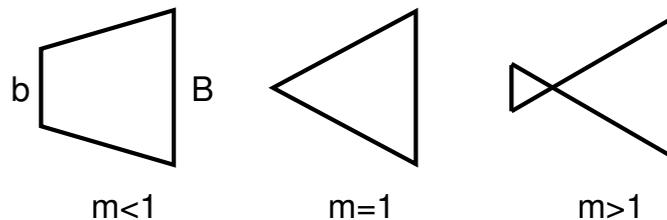


Figure 4

- Pour une modulation à 100%, la petite base s'annule et la figure se réduit au triangle isocèle.
- Lorsqu'il y a surmodulation, un deuxième triangle isocèle apparaît, symétrique par rapport à l'axe de balayage.
- Lorsque le signal BF n'est pas en phase avec l'enveloppe du signal modulé, il y a déformation des cotés obliques.

1.3 Modulation par éléments non linéaires

L'un des procédés les plus simples permettant d'obtenir une onde modulée en amplitude consiste à utiliser les propriétés non linéaires de composants semi-conducteurs. Le signal obtenu comporte des harmoniques mais la simplicité du montage l'emporte sur ses inconvénients.

Le signal modulé :

$$U(t) = V_0 (1 + m.h(t)) \cos (\Omega t)$$

est le produit de deux tensions u_1 et u_2 , avec :

$$u_1(t) = 1 + m.h(t) \quad u_2(t) = V_0 \cos (\Omega t)$$

Pour effectuer cette multiplication de tension, on appliquera la somme (u_1+u_2) à un élément à caractéristique non linéaire et le produit u_1u_2 apparaîtra parmi des termes parasites qu'il faudra éliminer.

1.3.1 Exemple

Supposons que l'ensemble diode + résistance (figure 5) a une caractéristique que l'on peut représenter par son développement en série :

$$I = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 + \dots + a_n u^n$$

En appliquant le développement à $u = u_1 + u_2$, le terme $a_2(u_1+u_2)^2$ fera apparaître le produit $2a_2u_1u_2$ qui nous intéresse. Le problème est alors d'éliminer les termes parasites générés.

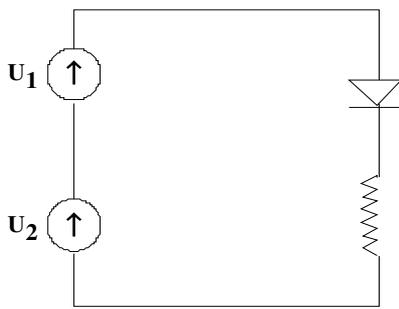


Figure 5

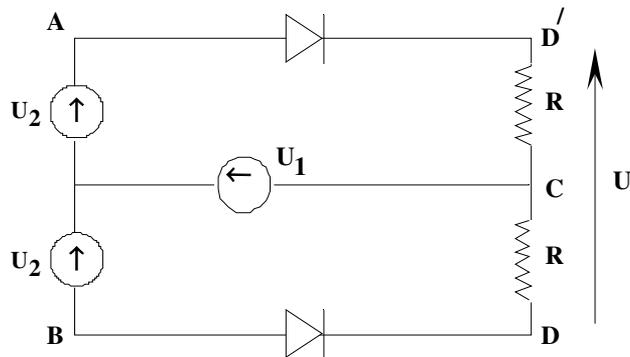


Figure 6

Le montage de la figure 6 permet d'éliminer toute une série de ces termes. La génération de u_2 peut être obtenue à partir du secondaire d'un transformateur à point milieu. Les caractéristiques des branches AC et BC sont identiques.

Entre A et C, la tension u_1+u_2 est appliquée, tandis qu'entre B et C, c'est la tension u_1-u_2 qui est appliquée.

Entre les bornes D et D' apparaît la tension :

$$U = R (I_1 - I_2)$$

avec :

$$I_1 = a_0 + a_1 (u_1+u_2) + a_2 (u_1+u_2)^2 + a_n (u_1+u_2)^3$$

$$I_2 = a_0 + a_1 (u_1-u_2) + a_2 (u_1-u_2)^2 + a_n (u_1-u_2)^3$$

soit :

$$U = R (2a_1u_2 + 4a_2u_1u_2 + 2a_3u_2^3 + 6a_3u_1^2u_2 + \dots)$$

On voit que toute une série de termes a été éliminée et qu'il ne reste plus que les termes contenant une puissance impaire de u_2 .

1.3.2 Modulateur en anneau

Il est encore possible d'éliminer certains termes parasites en associant deux montages symétriques; dans l'un les tensions u_1 et u_2 ont le même sens que précédemment, dans l'autre elles sont de sens opposés (figure 7). Si les diodes 3 et 4 sont supprimées, on retrouve le schéma précédent.

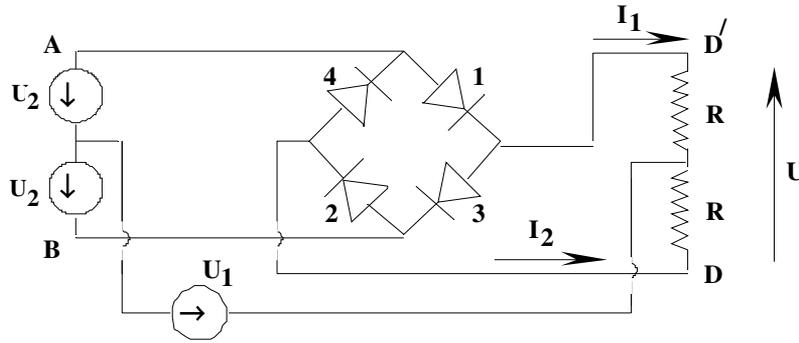


Figure 7

Si seules les diodes D1 et D2 sont passantes, la tension entre D et D' s'écrit :

$$U' = R (I_1' - I_2') = 2R [a_1 u_2 + 2a_2 u_1 u_2 + a_3 u_2^3 + 3a_3 u_1^2 u_2 + 4a_4 (u_1 u_2^3 + u_1^3 u_2) + \dots]$$

Dans le cas où seules les diodes D3 et D4 sont passantes :

$$U'' = R (I_1'' - I_2'') = 2R [-a_1 u_2 + 2a_2 u_1 u_2 - a_3 u_2^3 - 3a_3 u_1^2 u_2 + 4a_4 (u_1 u_2^3 + u_1^3 u_2) + \dots]$$

Car u_1 et u_2 sont alors de signe négatif. En fonctionnement normal, la tension U entre D et D' est égale à $U' + U''$, soit :

$$U = 4R [a_2 u_1 u_2 + 2a_4 (u_1 u_2^3 + u_1^3 u_2) + \dots]$$

La tension ne contient plus que des termes correspondant à des produits de puissances impaires de u_1 et u_2 . Il n'est pas possible d'éliminer de termes superflus en jouant sur les signes de u_1 et u_2 et sur leurs sommes et différences. Ce montage constitue donc la solution optimale de démodulation basée sur la caractéristique quadratique des diodes. Le modulateur à anneau est suffisamment précis et simple pour de nombreuses applications dont la téléphonie à courants porteurs.

1.4 Détection d'une onde modulée en amplitude

On se place dans le cas où l'information $h(t)$ est un signal sinusoïdal BF de pulsation $\omega \ll \Omega$. Le schéma d'un circuit détecteur en amplitude est présenté figure 8.

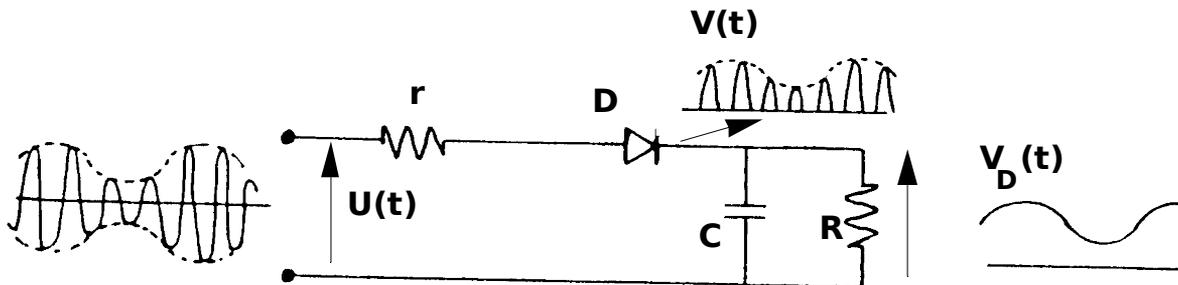


Figure 8 : Montage détecteur d'enveloppe

La diode D, supposée parfaite pour des amplitudes du signal d'entrée supérieures à 1 volt, élimine les demi-alternances négatives du signal $u(t)$.

Les valeurs r , C , R doivent être choisies de telle manière que le filtre passe-bas élimine la porteuse Ω , mais n'atténue pas trop le signal BF que l'on veut recueillir en $V_D(t)$.

Le mécanisme de détection est dans son principe tout à fait semblable à un mécanisme de redressement. Si on veut que le signal modulateur apparaisse, il faut que la tension redressée suive les crêtes de la HF. C'est ce qu'on appelle la détection crête (figures 9 et 10).

La figure 9 met en évidence les conditions HF nécessaires à la détection crête. Il faut que la constante de temps rC du condensateur par les pics HF soit très courte devant la période T_{HF} de la HF. D'autre part, cette période T_{HF} doit être elle-même très courte devant la constante de temps RC :

$$rC \ll T_{HF} \ll RC$$

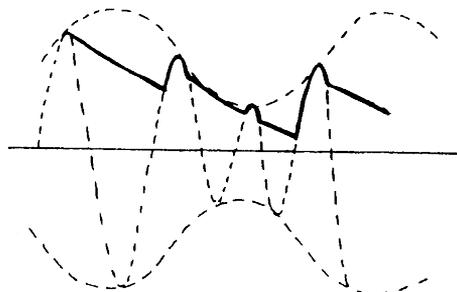


Figure 9 : Détection crête de qualité médiocre

Toutefois, la comparaison des figures 9 et 10 montre que pour suivre d'assez près l'enveloppe de modulation (signal BF), il faut s'efforcer d'avoir une période T_{HF} très petite par rapport à la période T_{BF} de la BF.

$$T_{HF} \ll T_{BF}$$

Enfin, la figure 10 montre que la constante de temps de décharge doit être plus petite que la période T_{BF} sinon on sauterait des pans entiers de l'enveloppe de modulation. On aboutit ainsi aux conditions empiriques suivantes pour une bonne détection crête :

$$rC \ll T_{HF} \ll RC \ll T_{BF}$$

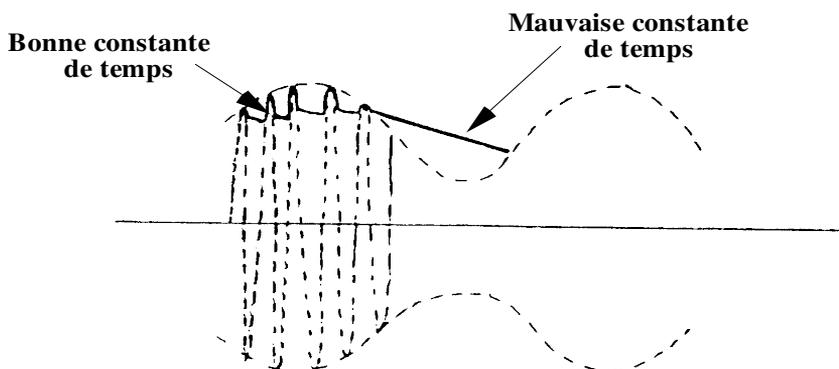


Figure 10 : Détection crête de meilleure qualité

2. MANIPULATION

2.1 Modulation

2.1.1 Analyse d'un signal modulé en amplitude

Cette partie a pour but l'observation d'un signal modulé en amplitude.

Le signal modulé en amplitude sera fourni par un générateur modulable HP33120A. Le signal modulateur peut être interne ou externe. On choisira la modulation externe afin d'atteindre des taux de modulation plus importants. On choisit une fréquence de 455 kHz pour la HF et dans le MENU de l'appareil on sélectionne une source externe (EXT) pour la modulation AM.

Le signal BF sera fourni par le « Communications service monitor 2945 MARCONI ». Aller dans le menu TX TEST. Deux générateurs B.F. peuvent être activés simultanément. Pour les sélectionner appuyer sur la touche AUDIO GEN. L'amplitude et la fréquence se règlent par la touche LEVEL et FREQ. L'activation se fait par la touche ON/OFF. Le signal se récupère sur la sortie AF GEN OUT.

Appliquer le signal modulateur BF (1 kHz) à la fois à l'oscilloscope (entrée X) et à l'entrée AM MODULATION du générateur HF (à l'arrière de l'appareil). Observer le signal modulé en amplitude sur l'oscilloscope (entrée Y) et sur l'analyseur MARCONI (entrée ANTENNA). Faire varier le taux de modulation (observer les distorsions de modulation qui peuvent apparaître).

Avec l'oscilloscope : Observer le signal par la méthode du trapèze. Mesurer la tension BF injectée et tracer la courbe donnant le taux de modulation en fonction de la tension BF.

Avec l'analyseur : Observer le spectre du signal en allant dans les menus SPEC ANA. Tracer le % de distorsion en fonction de m. Régler la fréquence centrale sur la fréquence de la porteuse. Régler la plage sur laquelle on fait l'observation (SPAN 10 kHz). En activant le marqueur relever les P_{porteuse} et P_{message} en fonction de m.

2.2 Démodulation

2.2.1 Caractéristique de détection d'un signal sinusoïdal d'amplitude constante

On utilisera le montage suivant:

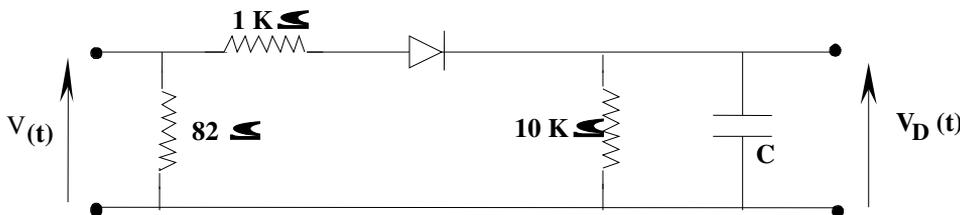


Figure 11

Le redressement fait apparaître une composante continue V_D .

Le signal d'entrée (HF pure) sera fourni par le générateur de fonctions HP33120A.

a) On observera simultanément à l'oscilloscope la tension détectée V_D et la tension V d'entrée. Avec $C=1000\text{pF}$, faire varier la fréquence du signal de 100 Hz à 2 MHz. Observer le passage du régime de redressement d'une demi alternance (où C n'agit pas) au régime de la détection d'amplitude (détection crête). Relever les 4 oscillogrammes pour : 1 kHz, 100 kHz, 500 kHz, 2 MHz.

b) A 2 MHz, $V_D(t)$ se réduit pratiquement à la composante continue. Faire varier $V(t)$; mesurer V_D au contrôleur HP et tracer la courbe donnant V_D en fonction de V_{eff} mesurée au millivoltmètre HF.

2.2.2 Détection d'une onde modulée en amplitude

On utilise maintenant à l'entrée du montage de la figure 14 un signal HF de 480 kHz provenant du générateur HP33120A. Ce niveau HF sera réglé à 1 V_{eff} sur le contrôleur HP34401A. (En mode AM interne, la sortie SYNC du générateur fournit un signal TTL synchronisé au signal modulant.)

Ensuite, ce générateur sera réglé en modulation interne à 800 Hz et à 30% de modulation (réglage par les touches Freq et Level pour la HF et la BF).

R et r se rapportant à la figure 8, remplir le tableau ci-dessous correspondant aux différentes valeurs du condensateur C.

C	100 pF	330 pF	1 nF	3.3 nF	10 nF	33 nF	0.1 μF	0.33 μF
rC								
RC								

Que valent T_{HF} et T_{BF} ?

Observer simultanément à l'oscilloscope le signal d'entrée $u(t)$ et le signal détecté $V_D(t)$.

a) Déterminer la valeur de la capacité qui assure la meilleure détection : amplitude maximale du signal BF, amplitude minimale du signal résiduel HF. Comparer avec les conditions empiriques données dans la théorie.

b) Observer l'amplitude et l'allure de l'ondulation résiduelle HF pour différentes valeurs de la capacité. Justifier alors le choix de la capacité d'après les résultats obtenus.

MODULATION D'AMPLITUDE
DEMODULATION D'AMPLITUDE

Modulation

1.2 Taux de modulation

Démonstration de la relation : $m = \frac{B-b}{B+b}$

2.1.1 Analyse d'un signal modulé en amplitude

Relevés d'oscillogramme du trapèze :

- 1) Signal surmodulé
- 2) Signal modulé en amplitude avec un $m < 1$ $m = \dots\dots\dots$

Courbes :

- 1) Taux de modulation en fonction de la tension BF (valeur efficace)
- 2) Pourcentage de distorsion en fonction de m
- 3) P_{porteuse} et P_{message} en fonction de m.

2.1.2 Génération d'un signal modulée en amplitude

Sur papier mm : courbe $V_{\text{seff}}(E)$

Tension du signal HF =

Zone linéaire $\dots\dots\dots < E < \dots\dots\dots$

Limite d'accrochage $E = \dots\dots\dots$

Limite de saturation $E = \dots\dots\dots$

Relevé d'oscillogramme avec un signal BF

Tension du signal HF =

Tension du signal BF =

$E = \dots\dots\dots$

Démodulation

2.2.1 Caractéristique de détection d'un signal sinusoïdal

4 relevés d'oscillogramme : $f = 1 \text{ kHz}$, 100 kHz , 500 kHz , 2 MHz

Sur papier mm : courbe V_D en fonction de V_{eff} (à 2 MHz)

2.2.2 Détection d'une onde modulée en amplitude

Compléter le tableau ci-dessous :

C	100 pF	330 pF	1 nF	3.3 nF	10 nF	33 nF	0.1 μF	0.33 μF
rC								
RC								

$T_{\text{HF}} = \dots\dots\dots$

$T_{\text{BF}} = \dots\dots\dots$

Meilleure détection (relevé d'oscillogramme) : $C = C_0 = \dots\dots\dots$

Pour $C > C_0$: relevé d'oscillogramme et commentaires

Pour $C < C_0$: relevé d'oscillogramme et commentaires

**MODULATION D'AMPLITUDE
DEMODULATION D'AMPLITUDE**

Appareils

Nb	Fonction	Marque	Type
1	Monitor	Marconi	2945
2	15 MHz Function Generator	H.P.	HP 33120A
1	Oscilloscope 2 voies	H.P.	HP 54600B
1	RS 232 Math FFT	H.P.	HP 54659B
1	DC Power Supply	Tektronix	PS 280
1	Multimeter	H.P.	HP 34401A