

# SPECIALITE 14 : modulation et démodulation d'amplitude

## Objectifs :

- Etudier le dispositif électronique qui permet de moduler en amplitude une onde hertzienne de haute fréquence.
- En déduire expérimentalement les paramètres qui permettent de réaliser la modulation d'amplitude dans de bonnes conditions.
- Savoir analyser le spectre fréquentiel de l'onde modulée.
- Comprendre le principe de la démodulation d'amplitude et savoir choisir les composants R,C pour obtenir une démodulation de bonne qualité.

## 1. Principe de la transmission d'information en modulation d'amplitude :

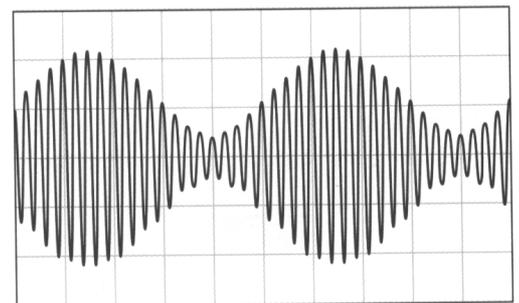
- Tous les émetteurs radio qui émettent à grande distance doivent émettre des ondes hertziennes de fréquences différentes (et même, comme on le verra plus loin, assez éloignées les unes des autres) de façon à pouvoir être captées séparément par un récepteur qui dispose d'un **circuit d'accord** capable de sélectionner une fréquence particulière.
- L'information à transmettre (musique, voix,...) est transformée en une tension électrique de basse fréquence.

Cette tension est la **tension modulante** qui va modifier (ou **moduler**) l'amplitude d'une onde de haute fréquence, appelée **porteuse**, qui transportera ainsi l'information.

- Le récepteur va **sélectionner** une onde hertzienne en fonction de la fréquence de la porteuse, puis va **démoduler** cette onde de façon à en extraire l'information qu'elle transporte.

- Le circuit de démodulation permet de récupérer la **courbe enveloppe supérieure** de l'onde haute fréquence, qui est symétrique de la courbe enveloppe inférieure.

- Représente sur le schéma ci-contre cette courbe enveloppe supérieure en rouge et la courbe enveloppe inférieure en bleu



On supposera, pour simplifier, que l'information à transmettre est une onde sinusoïdale de basse fréquence  $f$  de la forme :

$$u(t) = U_m \cdot \cos(2\pi f \cdot t)$$

tandis que la porteuse est une onde de haute fréquence  $F$  d'amplitude  $V_m$  :

$$v(t) = V_m \cdot \cos(2\pi F \cdot t)$$

## 2. Multiplication de deux tensions sinusoïdales :

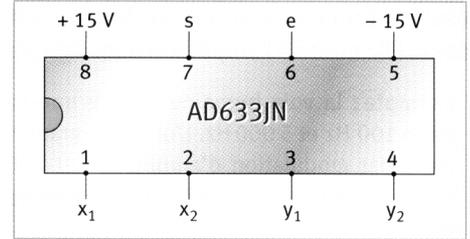
Il existe dans le commerce un composant électronique de référence AD633 qui se présente sous la forme d'un petit boîtier noir à 8 « pattes », appelé circuit multiplieur.

Il nécessite une alimentation symétrique  $-15V$   $0$   $+15V$

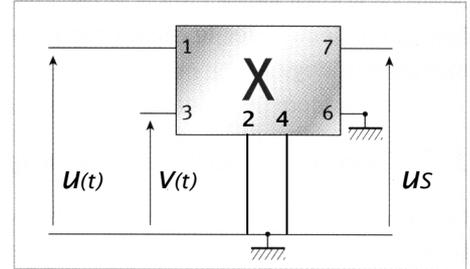
Le montage ci-contre permet d'obtenir entre la masse et la borne 7 une tension  $u_s$  proportionnelle au produit des deux tensions  $u$  et  $v$ .

$$u_s = k \cdot u \cdot v$$

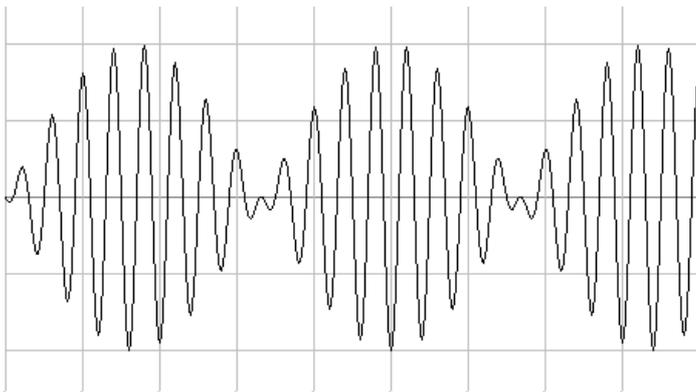
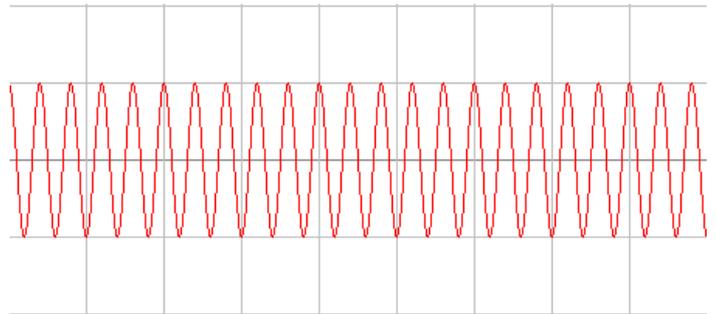
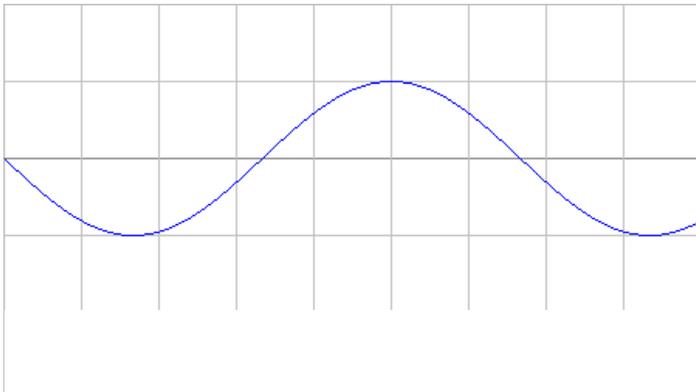
Les courbes ci-dessous correspondent à deux fonctions sinusoïdales  $u(t) = U_m \cdot \cos(2\pi f \cdot t)$  et  $v(t) = V_m \cdot \cos(2\pi F \cdot t)$  ainsi qu'à leur produit  $u(t) \cdot v(t)$



. Schéma d'un multiplieur AD633JN.



. Montage multiplieur de tension.



Représente sur le schéma ci-contre la courbe enveloppe supérieure.

Compare avec la tension  $u(t)$  et conclue.

## 3. Modulation d'amplitude de la porteuse sans déformation du signal modulant :

Il est donc nécessaire de rajouter à l'information à transmettre  $u(t)$  une tension continue  $U_0$  (appelée tension de décalage) de façon à ce que la somme  $u(t) + U_0$  ne devienne jamais négative.

➤ Quelle doit être la valeur minimale de  $U_0$  pour que cela soit vérifié ?

- Montre qu'on obtient alors à la sortie du circuit multiplieur une tension  $u_s = k.u.v$  telle que :

$$u_s = A ( 1 + m.\cos 2\pi f.t ) . \cos(2\pi F.t) \quad \text{avec } A = \quad \quad \quad \text{et } m =$$

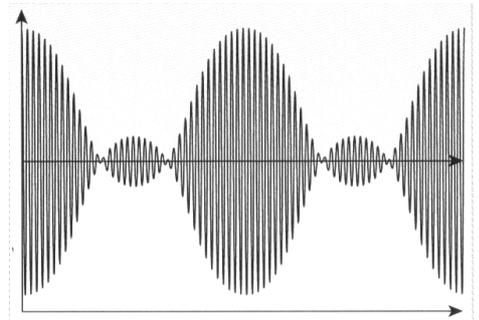
La porteuse modulée  $u_s$  est toujours une onde de haute fréquence  $F$  mais son amplitude qui a pour expression ..... est une fonction du temps de fréquence  $f$  correspondant à l'information à transmettre.

- entre quelles valeurs  $U_{s \min}$  et  $U_{s \max}$  varie l'amplitude de  $u_s$  au cours du temps ?

- montre que le taux de modulation  $m = \frac{U_{s \max} - U_{s \min}}{U_{s \max} + U_{s \min}}$

- Quelle doit être la valeur maximale du **taux de modulation  $m$**  pour que la courbe enveloppe supérieure corresponde bien au signal modulant, sans déformation ?

Est-ce le cas sur le schéma ci-contre ?



- Indique sur le schéma du circuit « multiplieur de tension » de la page précédente les branchements de l'oscilloscope de façon à visualiser le signal modulant sur la voie A et la tension modulée sur la voie B.

En enfonçant le bouton XY de l'oscilloscope, on visualise sur l'écran la courbe  $Y=f(X)$  c'est à dire ici .....

Quelle est l'allure de cette courbe si le taux de modulation  $m$  est :  
 inférieur à 1                                      égal à 1                                      supérieur à 1

- Montre que la tension modulée en amplitude peut s'écrire comme la somme de trois fonctions sinusoïdales du temps, de fréquences respectives :  $F$  ,  $F-f$  et  $F+f$   
On rappelle que  $2 \cdot \cos a \cdot \cos b = \cos (a+b) + \cos (a-b)$

- Sachant que les fréquences de l'information à transmettre sont limitées à l'intervalle  $[100\text{Hz}, 5\text{kHz}]$  pour un émetteur modulé en amplitude et que 2 émetteurs ne doivent pas émettre sur les mêmes fréquences sous peine d'être entendus simultanément sur le récepteur, combien d'émetteurs différents peuvent émettre simultanément dans la gamme des « grandes ondes » comprise entre 150 et 300kHz ?

➤ **Exercice :**

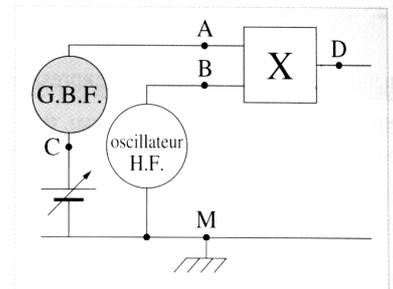
**1. Étude expérimentale d'une modulation d'amplitude**

Pour obtenir un signal modulé, on applique aux entrées d'un multiplieur deux tensions :

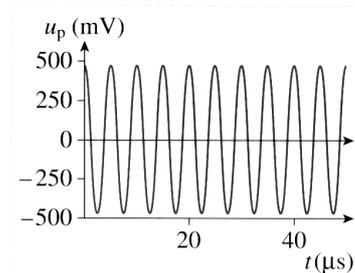
- une tension sinusoïdale de la forme  $u_p = U_p \max \cos (2\pi f_p t)$  délivrée par un oscillateur H.F. ;

- une tension sinusoïdale de la forme  $u_s = U_s \max \cos (2\pi f_s t)$  délivrée par un G.B.F. à laquelle on ajoute une tension continue  $U_0$  fournie par une alimentation continue réglable.

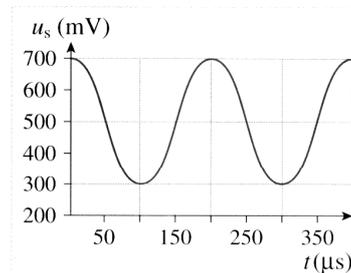
On utilise un oscilloscope à mémoire pour visualiser les tensions appliquées au multiplieur et la tension qu'il permet d'obtenir. Il est relié à un ordinateur qui permet d'enregistrer les oscillogrammes obtenus et éventuellement de les traiter.



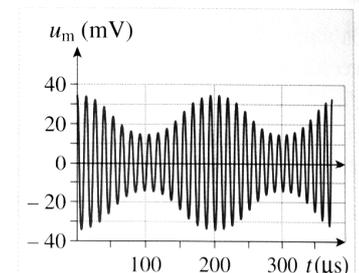
Doc. 1



Doc. 2



Doc. 3



Doc. 4

**a.** Indiquer, pour chacun des graphiques ci-dessus, le branchement de l'oscilloscope qui a permis de l'obtenir.

**b.** Déterminer l'amplitude et la fréquence de la tension  $u_p$ .

**c.** Déterminer l'amplitude et la fréquence de la tension  $u_s$ , puis la valeur de la tension  $U_0$ .

**d.** Déterminer les valeurs maximale et minimale de l'amplitude du signal modulé.

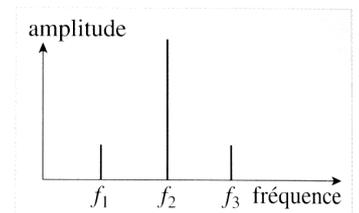
En déduire la valeur du coefficient multiplicateur  $k$  qui caractérise le multiplieur utilisé.

**e.** Le logiciel utilisé permet d'obtenir le spectre en fréquence du signal modulé. Quelles sont les valeurs des fréquences  $f_1, f_2$  et  $f_3$  ?

**f.** Un mauvais choix de la tension  $U_0$  peut conduire au phénomène de surmodulation.

Donner l'allure du signal modulé dans ce cas.

Pour quelles valeurs de  $U_0$  observe-t-on une surmodulation ?



Doc. 5

**2. Émission du signal modulé**

**a.** Comment faut-il modifier le montage utilisé pour qu'il émette des ondes électromagnétiques ?

**b.** Quelle est la longueur d'onde dans le vide de l'onde porteuse? À quelle catégorie d'onde électromagnétique appartient cette onde ?

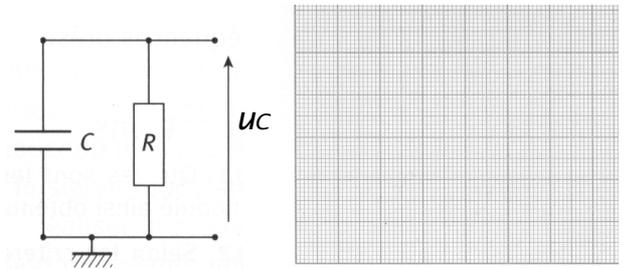
**c.** On remplace le G.B.F. par un microphone amplifié qui délivre des tensions de fréquence maximale 5 kHz. Donner les caractéristiques de la bande de fréquence nécessaire à la transmission du signal modulé.

#### 4. Comment démoduler une onde modulée en amplitude ?

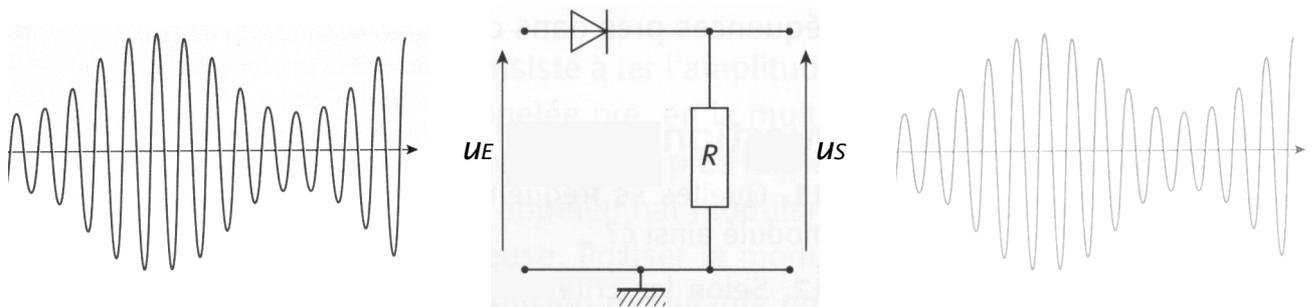
- Rappelle l'allure de la courbe  $u_C=f(t)$  obtenue lorsqu'un condensateur  $C$  initialement chargé sous une tension  $U_0$  se décharge à travers une résistance  $R$ .

De quoi dépend la vitesse avec laquelle le condensateur se décharge dans la résistance ?

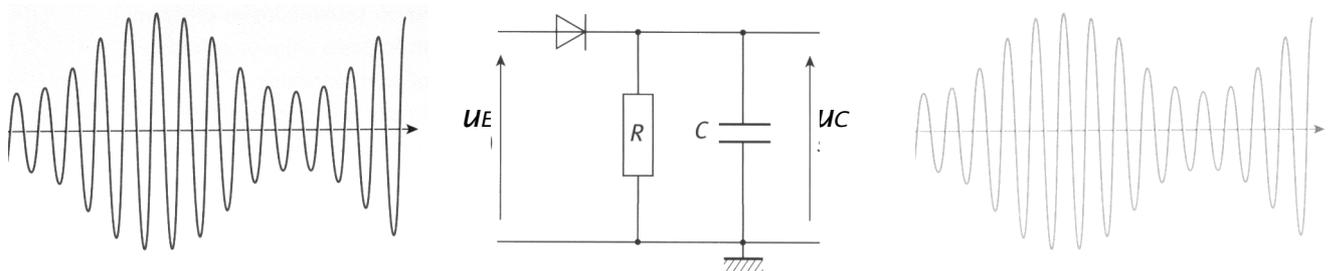
Trace deux courbes correspondant à une décharge « lente » ou « rapide ».



- Quelle propriété particulière possède le dipôle « diode » ? Rappelle son symbole.
- La tension  $u_E$  modulée en amplitude, reçue par le récepteur, est appliquée à l'entrée d'un dipôle série « diode+résistance »... représente en rouge sur le schéma de droite ci-dessous la tension  $u_S$  récupéré aux bornes de la résistance.



- L'information transmise par l'émetteur correspond à la courbe enveloppe de cette onde. Pour obtenir celle-ci, nous allons brancher un condensateur  $C$  en parallèle sur la résistance  $R$  du montage précédent et obtenir ainsi un **détecteur d'enveloppe**.

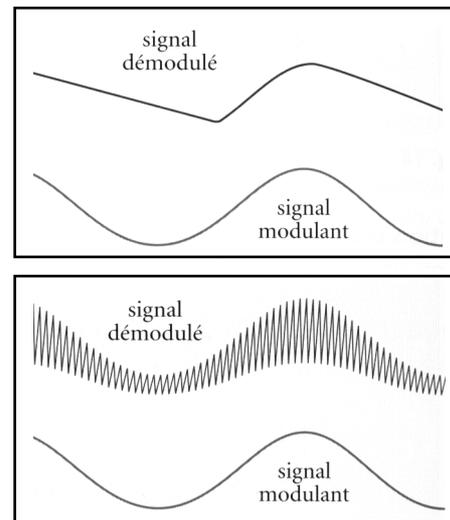


- lorsque  $u_E > u_C$  la diode se comporte comme un ..... donc le condensateur se ..... très ..... et  $u_C$ ....  $u_E$
- lorsque  $u_E < u_C$  la diode se comporte comme un ..... donc le condensateur se ..... à travers .....

- Représente sur le schéma de droite les variations de  $u_C$ , en bleu pour  $\tau$  « petit » et en rouge pour  $\tau$  « grand ».

**A retenir :** La constante de temps  $\tau=RC$  du détecteur d'enveloppe ne doit pas être choisie au hasard pour obtenir une bonne démodulation :

- $\tau$  doit être inférieur à la période  $T_i$  de l'information transmise sinon  $u_c$  décroît plus lentement que la courbe enveloppe pendant la décharge du condensateur.
- $\tau$  doit être très supérieur à la période  $T_p$  de la porteuse sinon  $u_c$  décroît trop rapidement entre deux maximum du signal modulé et on obtient un signal démodulé en dents de scies.
- Il faut donc choisir :  $T_i > \tau \gg T_p$



**Exemple :** l'émetteur « Radio Monté Carlo » émet en modulation d'amplitude des informations dont la fréquence maximale est de 5kHz. La porteuse a une longueur d'onde dans l'air de 1400m.

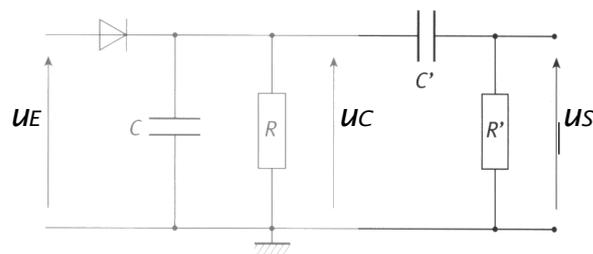
Un récepteur possède un détecteur d'enveloppe dont la résistance a une valeur de 10k $\Omega$ . Quelle capacité doit-on choisir pour le condensateur associé à cette résistance ?

- La tension  $u_c$  à la sortie du détecteur d'enveloppe possède une composante continue qu'il est nécessaire d'éliminer avant de l'amplifier (ce qui est toujours nécessaire car la courbe enveloppe a une amplitude très faible).

Pour cela, on utilise un **filtre passe-haut** (qui laisse passer les signaux dont les fréquences correspondent aux fréquences audibles mais bloque les tensions continues) constitué également par un condensateur et une résistance, mais branchés ici **en série**.

Sa constante de temps doit être très supérieure à la période  $T_i$  de l'information transmise.

$$\tau' = R'C' \gg T_i$$



On utilise un oscilloscope en mode X-Y avec la tension modulante  $u_s$  en X et la tension modulée  $u_m$  en Y.

On donne les expressions :

$$u_s = U_{s \max} \cos(2\pi f_s t)$$

$$u_m(t) = k(u_s(t) + U_0) U_{p \max} \cos(2\pi f_p t)$$

avec  $U_{p \max} = 2 \text{ V}$ .

De l'oscillogramme représenté ci-dessus, déduire :

- a. l'amplitude du signal modulé ;
- b. les amplitudes minimale et maximale du signal modulé ;
- c. la valeur de la tension de décalage  $U_0$  ;
- d. la valeur du coefficient  $k$  exprimée en  $\text{V}^{-1}$ .

