

# TP n°7 Electronique: Modulation-démodulation d'amplitude

## 1 Introduction : pourquoi moduler?

Les systèmes de télécommunications ont pour objet de transmettre des informations à l'aide d'un signal se propageant dans l'espace ou le long d'une ligne, de son point d'émission à celui de réception. Pour les transmissions de signaux audibles par exemple (voix, musique), il faut idéalement transmettre des signaux dont la fréquence varie entre 20 Hz et 20000 Hz environ. La transmission directe obéit au schéma suivant:



Elle est impossible pour plusieurs raisons :

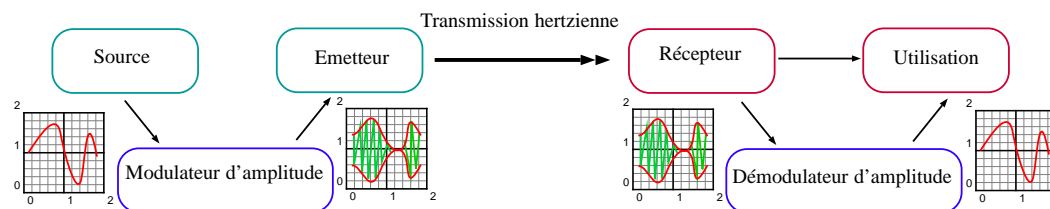
- Il n'est pas possible à la réception de distinguer ce signal d'autres signaux de même fréquence
- Si le canal de transmission est physiquement un câble, la transmission longue distance est impossible : outre des problèmes technologiques, il existe des phénomènes d'atténuation et dispersion.
- Lorsque la transmission est hertzienne (dans l'air ou le vide, émise par une antenne et reçue par une autre), les dimensions des antennes (quelques fractions de longueur d'onde, typiquement  $\lambda/4$ ) auraient des valeurs irréalistes; par exemple, pour une fréquence de 1 kHz, la longueur d'onde est  $\lambda = c/f = 300 \text{ km}$ !

Ces problèmes sont généraux, et concernent aussi bien les radios que la téléphonie ou encore la transmission de données.

Ce constat impose de "traduire" l'information à transmettre en haute fréquence afin de réduire la taille requise pour l'antenne d'émission (et également permettre une puissance d'émission convenable: cf chapitre *Rayonnement dipolaire*). La solution est donc de moduler l'une des caractéristiques d'un signal haute fréquence appelée **porteuse**, typiquement son amplitude (modulation d'amplitude) ou sa fréquence (modulation de

fréquence) par le signal à transmettre appelé alors **modulante**.

On propose ici d'étudier le principe de la modulation d'amplitude:



Le signal à transmettre, ou signal modulante de basse fréquence, est utilisé pour moduler (faire varier) l'amplitude du signal porteuse de haute fréquence.

La modulation utilise des fréquences de porteuses très supérieures à celles du signal « informatif » : le spectre du signal utile est translaté dans le domaine de fréquence de la porteuse.

Ce système présente un certain nombre d'avantages (portée d'autant plus grande, antennes de taille réalisable, transmission de plusieurs signaux sur le même faisceau hertzien si les porteuses ont des fréquences différentes?).

Une fois le signal modulé transmis, il faut le **démoduler** (c'est-à-dire récupérer le signal de départ).

## 2 Manipulations : modulation d'amplitude

Le matériel nécessaire se réduit à deux GBF, un oscilloscope. Les circuits sont déjà réalisés pour un gain de temps, les notations du texte ci-dessous y correspondent.

Les spectres seront réalisés avec le système déjà utilisé dans un TP antérieur (oscilloscope ou carte d'acquisition).

## 2.1 Modulation sans porteuse

### 2.1.1 Principe général

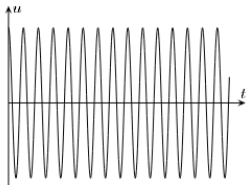


Figure 1: Signal de porteuse

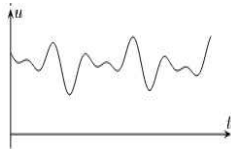


Figure 2: Signal informatif

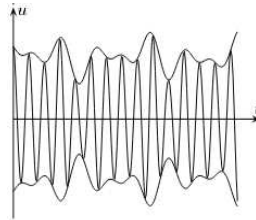
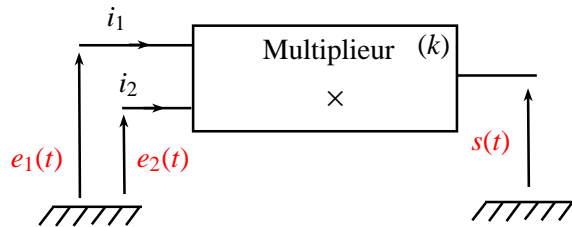


Figure 3: Signal modulé

La modulation d'amplitude s'effectue à l'aide d'un circuit équipé entre autre d'un multiplieur dont les caractéristiques et le schéma sont indiqués ci-dessous:



$$s(t) = k \cdot e_1(t) \cdot e_2(t) \quad \text{avec } k = 0,10 \text{ V}^{-1} \text{ et } i_1 = i_2 = 0$$

#### QUESTIONS:

On suppose les signaux  $e_1(t)$  et  $e_2(t)$  tous deux sinusoïdaux de fréquences respectives  $f_1$  et  $f_2$ .

- ❶ Exprimer le signal de sortie  $s(t)$  sous forme d'une somme de signaux sinusoïdaux purs.
- ❷ Tracer soigneusement le spectre théorique de ce signal. Commenter ce spectre.

### 2.1.2 Mise en oeuvre

#### MANIPULATION:

Le premier GBF (la modulante) délivre un signal sinusoïdal d'amplitude quelques volts, de fréquence  $f_m = 1 \text{ kHz}$ . Le second GBF (la porteuse) délivre un signal sinusoïdal d'amplitude quelques volts, de fréquence  $f_p = 10 \text{ kHz}$ .

- Visualiser les signaux à l'oscilloscope, obtenir le spectre du signal modulé.
- Quelles sont les composantes du signal modulé (fréquence et amplitude)? Les valeurs obtenues correspondent-elles aux valeurs théoriques dégagées dans la partie questions théoriques? **Représenter le spectre expérimental.**

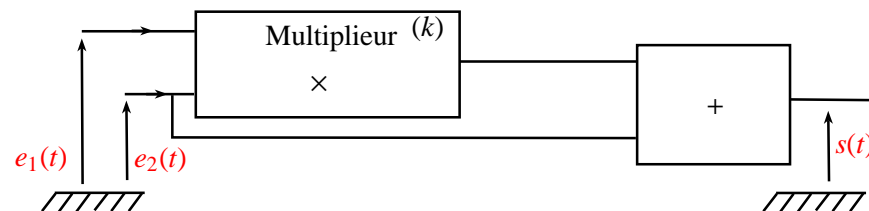
#### Remarque 2-1: CONTENU SPECTRAL

- La multiplication de deux signaux harmoniques donne un signal dont le spectre contient les fréquences somme et différence des fréquences initiales.
- La présence d'un élément non linéaire dans le montage permet de créer des harmoniques non présentes dans les signaux de départ (enrichissement du spectre).

## 2.2 Modulation avec porteuse

### 2.2.1 Principe et étude temporelle

On réalise désormais la modulation avec le montage ci-dessous, comportant, en plus du multiplieur, un sommateur permettant l'ajout du signal de porteuse au signal obtenu après multiplication:



#### QUESTIONS:

On pose le signal de modulante  $e_1(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$  ainsi que le signal de porteuse  $e_2(t) = A_p \cos(2\pi f_p t)$

### ❶ Montrer que le signal de sortie s'écrit:

$$s(t) = A_p \cos(2\pi f_p t) (1 + m \cos(2\pi f_m t))$$

avec  $m$  appelé **taux de modulation**, d'expression à préciser

### ❷ Tracer le spectre théorique de $s(t)$ . Comparer ce dernier à celui obtenu dans les questions théoriques du 2.1.1 (modulation sans porteuse). Conclure.

#### MANIPULATION:

- Câbler les deux blocs comme indiqué.
- Vérifier que l'on obtient bien une modulation d'amplitude par ce montage en visualisant l'évolution temporelle du signal  $s(t)$ . Modifier la valeur de l'amplitude  $A_m$  du signal de modulante; on doit obtenir les allures suivantes:

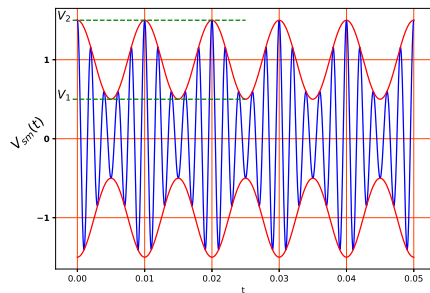


Figure 4: Modulation  $m = 0,5 < 1$

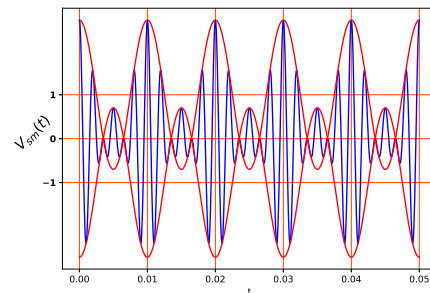


Figure 5: Surmodulation  $m = 1,7 > 1$

Si  $m < 1$  l'enveloppe du signal modulé représente le signal modulant, tandis que si  $m > 1$  ce n'est plus le cas et on parle alors de **surmodulation**.

**NB :** la possibilité d'obtenir une surmodulation dépend des possibilités du GBF présent sur votre paillasse (certains ne peuvent pas délivrer une amplitude de signal supérieure à 10V.)

- Fixer une valeur de  $m$  dans le domaine  $m < 1$ .
- Mesurer  $m$  et vérifier qu'il correspond bien à la valeur théorique attendue.

### 2.2.2 Etude spectrale

#### MANIPULATION:

- Visualiser le spectre du signal modulé. A un facteur  $A_p$  près, il doit avoir l'allure suivante:
- Mesurer les fréquences du signal modulé et leurs amplitudes, comparer les résultats expérimentaux aux valeurs attendues; conclure.

Ce principe se généralise à un spectre quelconque pour le signal modulant, chaque composante de celui-ci étant alors traitée comme l'est ici le signal sinusoïdal pur de fréquence  $f_m$ .

## 3 Protocole complet de modulation - démodulation

On souhaite réaliser le processus complet de modulation puis démodulation. On dispose de boîtiers (nécessitant une alimentation  $+15\text{ V}/0/-15\text{ V}$ ):

- Un boîtier permettant de réaliser la modulation avec porteuse à partir de signaux harmoniques purs, telle qu'en 2.2.
- Un boîtier multiplieur.
- Un boîtier passe-bas, fréquence de coupure  $f_b = 10\text{ kHz}$ .
- Des boîtes à décades de résistances et capacités variables.

### 3.1 Analyse

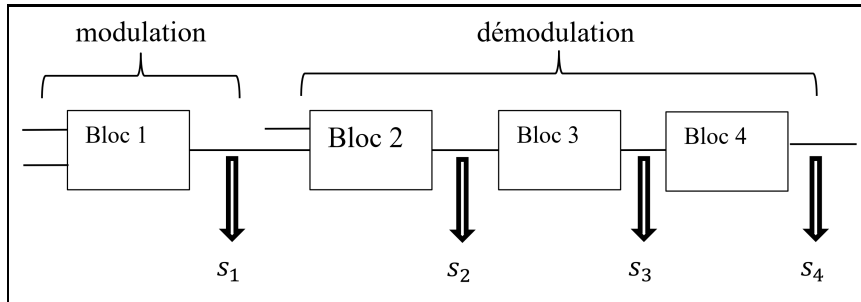
On veut:

- obtenir un signal modulé avec porteuse, noté  $s_1$
- obtenir un signal contenant dans son spectre la fréquence  $f_m$  du signal informatif, en s'appuyant sur la conclusion de 2.1.1, noté  $s_2$ ,
- filtrer ce signal pour obtenir un signal  $s_4$  contenant uniquement la composante de fréquence  $f_m$ .

QUESTIONS:

**Mettre en place un raisonnement à l'aide de schémas blocs, en déterminant les spectres attendus à la sortie de chaque bloc.**

**Schématiquement, on devra obtenir :**



### 3.2 Mise en oeuvre

MANIPULATION:

Mettre en œuvre étape par étape ce dispositif. On devra, dans l'ordre indiqué:

- faire le câblage du bloc,
- indiquer les valeurs des tensions entrées,
- obtenir une expression analytique de la tension de sortie,
- visualiser à l'oscillo cette tension de sortie du bloc, obtenir son spectre (dispositif Sysam + logiciel Latis Pro, oscilloscope numérique Tektronix),
- vérifier que la démodulation est correcte quelle que soit la valeur du taux de modulation  $m$ .