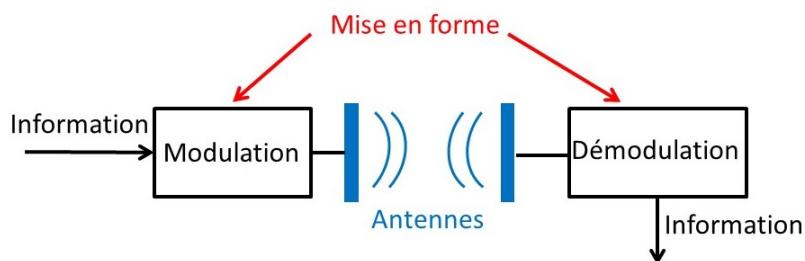


Compétence	En détail	++	+	-	--
Analyser	Élaborer un protocole pour déterminer l'indice de modulation $\alpha$ (II.2.c) et pour choisir les composants du filtre $RC$ (II.3).				
Réaliser	Utiliser un multiplieur.				
Réaliser	Obtenir un spectre à l'oscilloscope en respectant le critère de Shannon et en optimisant la résolution spectrale.				
Valider	Analyser <u>tous</u> les résultats ou observations, de manière critique.				
Communiquer	Écrire tous les protocoles en détails (choix de la fréquence, de l'amplitude...) lorsque ces éléments ne sont pas imposés.				
Communiquer	Indiquer les objectifs du TP en introduction du compte-rendu.				
Communiquer	Dans un compte-rendu expérimental, écrire le nom de chaque partie (protocole, mesures, etc.).				

## I Pourquoi et comment moduler ?

### I.1 Qu'est-ce que la modulation ?

Plutôt que de transmettre directement une information (parler à quelqu'un par exemple), on va coder l'information sonore dans une onde électromagnétique de bien plus haute fréquence que la voix (principe de la radio par exemple).



Le principe est le suivant : une onde électromagnétique sinusoïdale est émise en continu, même en l'absence d'information à transmettre. Cette onde est appelée *la porteuse*. On vient alors modifier de manière dynamique une des propriétés de cette porteuse (son amplitude, sa fréquence ou sa phase à l'origine) afin de coder l'information à transmettre.

À la fin de la chaîne, une fois l'onde reçue, il faut encore effectuer une *démodulation* pour retrouver l'information initialement transmise.

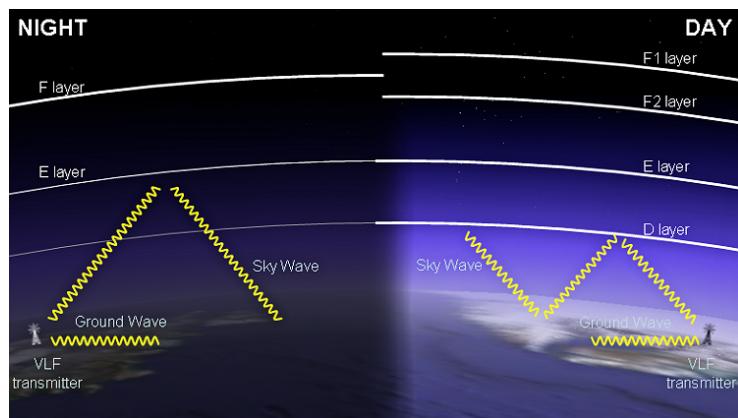
### I.2 Intérêt de la modulation

Pourquoi réalise-t-on ces deux étapes de mise en forme du signal (modulation + démodulation) pour transmettre une information ? Il y a trois atouts principaux :

- La taille d'une antenne de transmission d'un signal est de l'ordre de la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde émise. Utiliser une onde à haute fréquence pour transporter l'information permet donc de diminuer  $\lambda$  et donc de diminuer la taille de l'antenne.

**Ordre de grandeur :** La modulation de fréquence pour la radio utilise une onde porteuse d'une fréquence de l'ordre de 100 MHz, soit une longueur d'onde  $\lambda = \frac{c}{f} \sim 1 \text{ m}$ . Les antennes ont une taille de l'ordre du mètre.

- En pratique, différentes informations doivent pouvoir être transmises en même temps (différentes radios ou différents téléphones par exemple). Il faut pouvoir séparer chaque information. On attribue alors des canaux (= des bandes de fréquence) différents pour chaque information. Les porteuses ayant des fréquences différentes, les signaux ne se mélangent pas. On parle de multiplexage.
- On peut adapter la fréquence de l'onde à transmettre au comportement de l'atmosphère. En particulier, nous verrons, lors de l'étude des plasmas (chapitre O3), que l'ionosphère joue le rôle de "miroir" pour des ondes électromagnétiques de fréquence  $f < \sim 1 \text{ MHz}$  (la fréquence plasma), ce qui peut permettre d'émettre des ondes à grande distance sur Terre en profitant de la réflexion sur l'ionosphère (cas des radios internationales). On notera aussi que la propagation aura tendance à être moins dispersive à haute fréquence.



### I.3 Exemples de modulation

Deux grands types de modulation sont utilisés pour l'émission des radios : la modulation d'amplitude (AM : amplitude modulation) et la modulation en fréquence (FM : frequency modulation).

Dans tous les cas, notons  $m(t)$  l'information à transmettre, appelée la *modulante*. Il s'agit du signal basse fréquence. Soit la porteuse sinusoïdale :  $s_p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t)$ . Il s'agit du signal haute fréquence.

- Dans la modulation d'amplitude, on fait varier l'amplitude de la porteuse en fonction de l'information  $m(t)$  à coder.
- Dans la modulation de fréquence, on fait varier la fréquence de la porteuse en fonction de l'information  $m(t)$  à coder.

## II Modulation d'amplitude (AM)

*J'attends un compte-rendu soigné sur cette partie.*

## II.1 Multiplication de deux sinusoïdes

Dans un premier temps, supposons que le modulante soit sinusoïdale :  $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t + \varphi)$ . La modulation d'amplitude va consister à multiplier  $s_p(t)$  par  $m(t)$ .

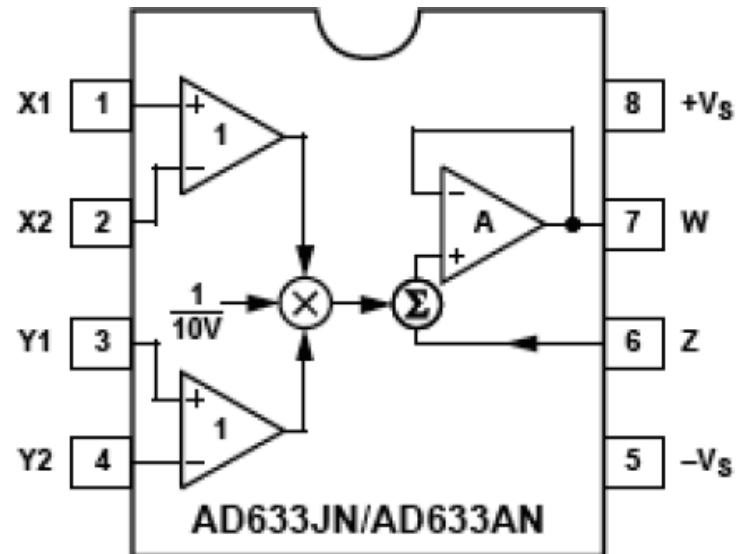
- Représenter graphiquement l'allure temporelle du signal produit

$$u(t) = s_p(t) \times m(t) = A_p A_m \cos(2\pi f_p t) \cos(2\pi f_m t + \varphi)$$

avec  $f_p \gg f_m$ .

Expérimentalement, on peut réaliser ce signal produit avec un composant électronique appelé multiplicateur.

Le multiplieur AD633 possède deux entrées différentielles,  $x = X_1 - X_2$  et  $y = Y_1 - Y_2$ , ainsi qu'une entrée auxiliaire,  $z$ . Il s'agit d'un composant actif devant être toujours alimenté en  $\pm 15$  V. La sortie vaut  $xy/E_0 + z$  avec ici  $E_0 = 10$  V. La bande passante est de 1 MHz à - 3 dB. Noter que les tensions appliquées sur les entrées ne doivent **pas dépasser 10 V**. On mettra  $X_2$ ,  $Y_2$  et  $z$  à 0 dans tout le TP.



## II.2 Etude du signal modulé dans un cas simple

## a Rappel mathématique

$$A \cos(\omega_p t) (1 + \alpha \cos(\omega_m t + \varphi)) = A \cos(\omega_p t) + \frac{A\alpha}{2} (\cos((\omega_p + \omega_m)t + \varphi) + \cos((\omega_p - \omega_m)t - \varphi))$$

## b Modulation d'amplitude sans porteuse

Appliquer sur une entrée du multiplicateur la porteuse : un signal sinusoïdal de valeur moyenne nulle à la fréquence  $f_p$  de 30 kHz (à conserver jusqu'à indication contraire) et sur l'autre entrée du multiplicateur le signal modulant : un signal sinusoïdal de valeur moyenne nulle à la fréquence  $f_m = 2.999$  kHz.

- Utiliser l'oscilloscope pour visualiser le signal modulant et le signal modulé (sortie du multiplicateur) : on effectuera la synchronisation sur le signal modulant (à justifier).
  - Visualiser le spectre du signal de sortie et vérifier que l'on peut y isoler des composantes de fréquence  $f_p - f_m$  et  $f_p + f_m$ . Justifier le nom "sans porteuse".

Reprendre l'étude qualitative précédente avec pour signal modulant un signal triangulaire de valeur moyenne nulle.

### c Modulation d'amplitude avec porteuse

Prendre comme signal modulant un signal sinusoïdal comportant une composante continue non nulle :  $m(t) = E_1(1 + \alpha \cos(2\pi f_m t))$  de fréquence  $f_m = 2.999 \text{ kHz}$ .

- Observer le signal modulé en temporel et commenter.
- Proposer désormais un protocole permettant de mesurer l'indice de modulation  $\alpha$  à partir de la transformée de Fourier du signal modulé.
- Mettre en œuvre ce protocole et donner la valeur de  $\alpha$ .
- Justifier le nom "avec porteuse".

## II.3 Démodulation d'amplitude par détection synchrone

Le but est désormais de retrouver le signal modulant à partir du signal modulé (c'est ce que doit faire l'opérateur réceptionnant le signal modulé transmis par antennes).

- Revenir à un signal modulant de valeur moyenne nulle (cas de la modulation sans porteuse).
- Entrer sur un second multiplicateur le signal modulé issu du premier multiplicateur, et le signal de la porteuse.
- Montrer théoriquement que le signal de sortie du second multiplicateur contient, entre autres, le signal de fréquence  $f_m$ .
- Proposer puis mettre en œuvre un filtre passe-bas  $RC$  pour isoler cette composante  $f_m$ .
- Visualiser à l'oscilloscope le signal démodulé en temporel, ainsi qu'en spectral. Commenter.
- Changer la fréquence de la porteuse pour améliorer le résultat de la démodulation, sans changer de filtre passe-bas.

## II.4 Etude du signal modulé dans un cas plus complexe (bonus si temps)

En pratique, une station radio émet de la musique de fréquences audibles via une modulation avec une porteuse à  $f_p \sim 100 \text{ MHz}$ . Le rapport entre la fréquence de la porteuse et la fréquence de la modulante est donc bien plus important que dans le cas étudié ci-avant.

Prendre désormais un signal de porteuse de fréquence  $f_p = 100 \text{ kHz}$  et de valeur moyenne nulle. Prendre comme signal modulant un signal sinusoïdal de fréquence  $f_m = 100 \text{ Hz}$  et de valeur moyenne nulle.

L'objectif de cette partie n'est pas de démoduler, mais uniquement d'observer le spectre du signal modulé.

- Observer le spectre du signal modulé. On mettra en particulier en évidence le fait que l'on peut y isoler des composantes de fréquence  $f_p - f_m$  et  $f_p + f_m$ .