

## BUT

- Connaître le principe de propagation des ondes hertziennes.
- Expliquer le principe de la modulation d'amplitude et illustrer cette modulation par des expériences.

## INTRODUCTION

Messagers porteurs, pigeons voyageurs, signaux de fumée, signaux audibles (tam-tam), télégraphe, téléphone, radio, télévision sans fil, internet... Depuis toujours, l'Homme a cherché à transmettre des messages, le plus vite et le plus loin possible... Nous étudierons dans ce chapitre comment peuvent être transmises les informations d'un bout à l'autre du monde ou même dans l'espace, ainsi que la nécessité de coder puis décoder l'information pour pouvoir la transmettre.

La transmission rapide d'information sans fil est devenue une banalité : sur quel principe repose-t-elle ?

On ne s'intéresse dans ce programme qu'aux transmissions de type radio (sans fil) encore appelées **transmissions hertziennes**. Le support est une onde, appelée **onde porteuse**, sur laquelle, on greffe l'information à transporter. On dit que **l'onde porteuse a été modulée par le signal à transmettre**.

## I. LES ONDES ELECTROMAGNETIQUES

### a. DEFINITION

Une onde électromagnétique est composée d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui se propagent tous deux à la même vitesse. Dans le vide, les ondes électromagnétiques se propagent à la célérité de la lumière :  $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ . Les ondes électromagnétiques n'ont pas besoin de support matériel pour se propager. On observe des phénomènes de diffraction, d'interférence, elles se réfléchissent et se réfractent comme les ondes lumineuses ce qui montre que les ondes lumineuses sont des ondes électromagnétiques.

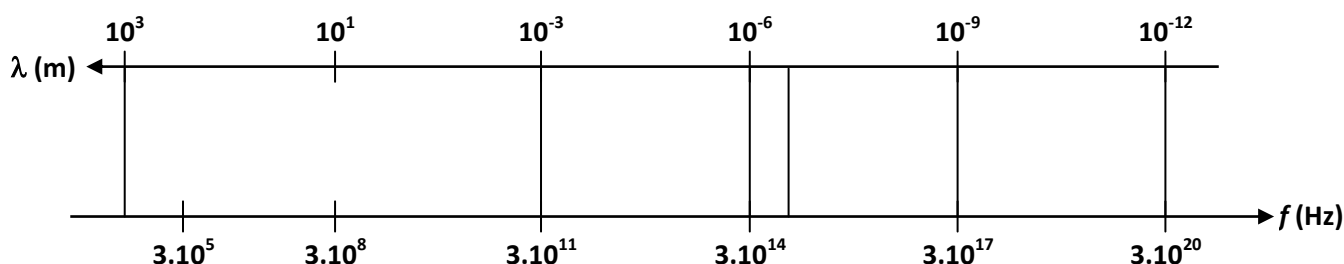
1. Quel est le domaine de longueurs d'ondes  $\lambda$  des ondes lumineuses ? En déduire le domaine de fréquence des ondes lumineuses dans le vide.

Les ondes hertziennes, utilisés dans le domaine de la radio, la télévision, la téléphonie mobile sont également des ondes électromagnétiques.

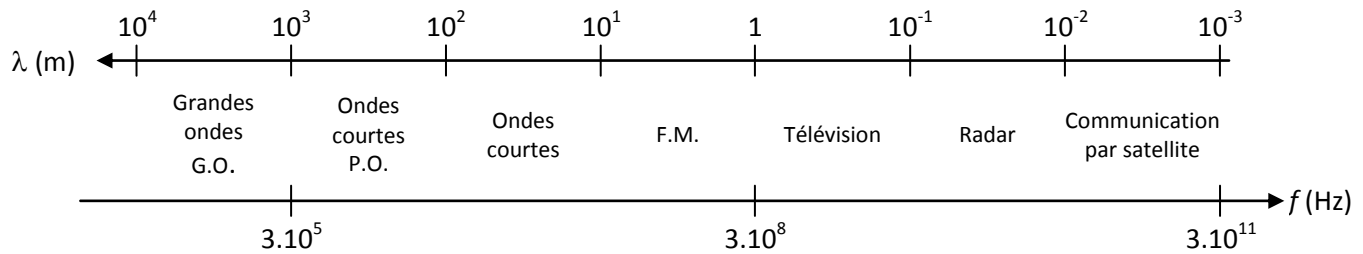
2. Les ondes hertziennes ont leurs fréquences comprises entre 300 kHz et 300 GHz. Calculer leurs domaines de longueurs d'ondes.

### b. CLASSIFICATION DES ONDES ELECTROMAGNETIQUES

3. Compléter le document ci-dessous en indiquant à chaque domaine les types d'ondes électromagnétiques suivants : infra-rouge, rayon X, ultra-violet, ondes hertziennes, rayon  $\gamma$  et visible.



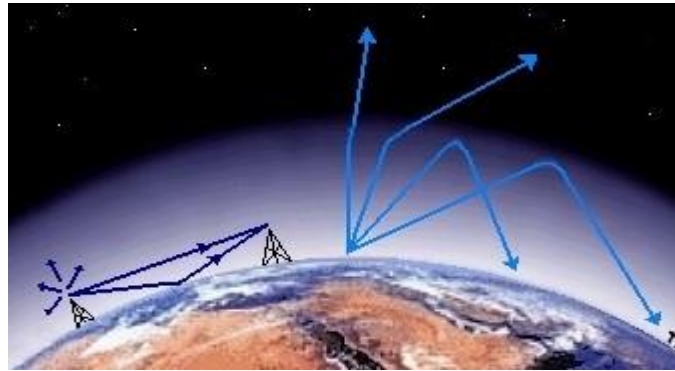
Les ondes hertziennes sont utilisées dans les télécommunications. Leurs domaines de fréquences sont indiqués par le document suivant :



## C. INTERET DES ONDES ELECTROMAGNETIQUES

Il réside dans leur mode de propagation : rectiligne, avec une vitesse égale à celle de la lumière, pouvant subir les phénomènes de réflexion et de réfraction. Les ondes hertziennes se propagent dans le vide. Elles traversent plus ou moins bien les milieux matériels, mais ne se propagent pas à travers les métaux.

Selon les milieux de propagation et leur fréquence, les ondes se propagent sur plus ou moins grandes distances soit directement en ligne droite soit en se réfléchissant sur l'ionosphère (couches ionisées de l'atmosphère 80 à 400 km d'altitude) et sur le sol. Elles sont en outre diffractées par certains obstacles.



Une autre façon de parcourir de grandes distances à la surface de la Terre est obtenue au moyen de satellites qui sont en orbite au-delà de l'ionosphère : l'onde traverse l'ionosphère en subissant une réfraction et est captée par un satellite qui la renvoie sur Terre. Pour cela, il faut utiliser des ondes de haute fréquence, capables de franchir l'ionosphère. C'est le cas des ondes utilisées en radio FM, par la télévision par satellite, pour les téléphones cellulaires.

## II. MISE EN EVIDENCE PRATIQUE DE LA PRESENCE D'ONDES HERTZIENNES

→ Relier à la voie A de l'oscilloscope un fil long. Régler la base de temps autour de 5 ms/div et la sensibilité verticale sur 0,2 V/div.

4. Qu'observe-t-on ?

→ Connecter un fil long à la sortie du GBF de la console OrphyLab émettant un signal de fréquence  $f = 2500$  Hz et d'amplitude environ 5 V. Approcher (**sans qu'ils se touchent**) les extrémités des deux fils respectivement connectés à la voie d'oscilloscope réglé sur 0,1 ms/div et 0,5 V/div et au GBF.

5. Qu'observe-t-on ? Interpréter.

→ Changer différents paramètres (amplitude, fréquence, distance, longueur des fils...) afin de déterminer lesquels ont une influence sur la transmission de l'onde hertzienne reçue.

### III. MODULATION D'UNE ONDE

#### a. NECESSITE D'UNE MODULATION

Nous venons de voir qu'une antenne reliée à un GBF émettait une onde électromagnétique dont la fréquence est la même que celle du GBF.

De la même manière à la réception d'une onde électromagnétique, le signal électrique créé par l'antenne réceptrice dans le circuit a la même fréquence que l'onde électromagnétique reçue.

En outre, on suppose que les signaux à transmettre sont des sons (voix humaine ou musique) dont les fréquences sont comprises entre 20 Hz et 20000 Hz : il faudrait donc, pour transmettre des signaux sonores transformés en signaux électriques par un microphone, émettre des ondes électromagnétiques de fréquences comprises entre ces mêmes 20 Hz et 20000 Hz, puis les transformer à nouveau en signaux sonores par un haut-parleur.



Plusieurs contraintes matérielles rendent impossible la transmission d'ondes électromagnétiques dans cette gamme de fréquence :

- Les dimensions de l'antenne réceptrice pour une onde donnée doivent être de l'ordre de la moitié de la longueur d'onde.
- 6. Calculer la longueur d'antenne nécessaire à l'émission d'un signal électromagnétique de fréquence 3000 Hz. Conclure.
- Les ondes hertziennes ne se propagent dans l'air, sur de grandes distances que si leur fréquence sont élevées (de l'ordre du MHz). Les signaux de fréquence de l'ordre du kHz sont **fortement amortis**.
- Si les informations étaient transmises par des ondes hertziennes à la fréquence des sons, il serait impossible pour le récepteur de distinguer les différentes émissions : il y aurait **brouillage de l'information**.
- Il existe des signaux parasites occupant les mêmes fréquences. Si on amplifie le signal, on amplifie aussi les parasites.

Pour résoudre ces problèmes, l'information est portée par une onde de haute fréquence, appelée **onde porteuse**. Les informations (sons) à transmettre sont converties en signaux électriques, qui modulent (modifient) l'une des grandeurs caractéristiques de la porteuse, **c'est le signal modulant**.

On « greffe » sur un signal Haute Fréquence (**onde porteuse**) le signal Basse Fréquence à transmettre (**signal modulant**), on obtient ainsi un **signal modulé**.

La portée de l'onde électromagnétique est alors beaucoup plus grande, la taille de l'antenne réceptrice devient raisonnable, et l'auditeur a le choix du signal qu'il veut recevoir puisque chaque émetteur a sa propre fréquence porteuse.

#### b. SIGNAL A TRANSMETTRE

Le son à transmettre sera transformé en tension par l'intermédiaire d'un micro.

Cette tension, image du son, ne sera pas forcément sinusoïdale, mais peut toujours être décomposée en une somme de sinusoïdes (transformée de Fourier).

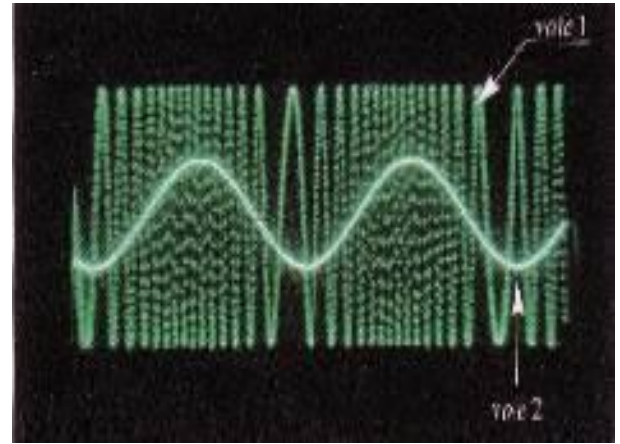
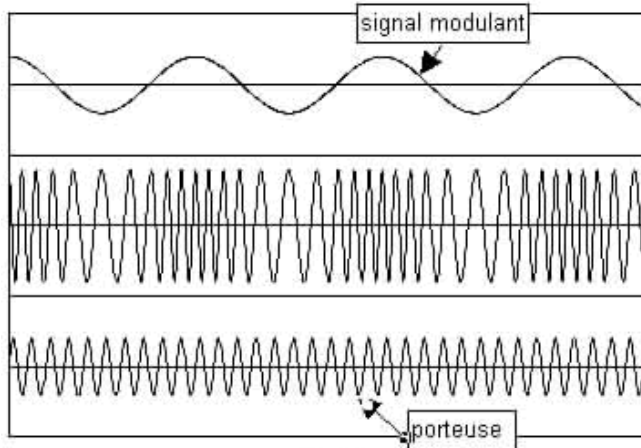
Une tension alternative sinusoïdale, de fréquence  $f$  est modélisable par une fonction de la forme :

$$u_s(t) = U_s \cos(\omega t + \phi) \quad \text{avec} \quad \left. \begin{array}{l} \omega : \text{pulsation de la tension en rad.s}^{-1}, \omega = 2\pi f \\ U_s : \text{amplitude de la tension en volt (V)} \\ \phi : \text{phase à l'origine en radian (rad)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Pour simplifier, on prendra} \\ \phi = 0 \end{array}$$

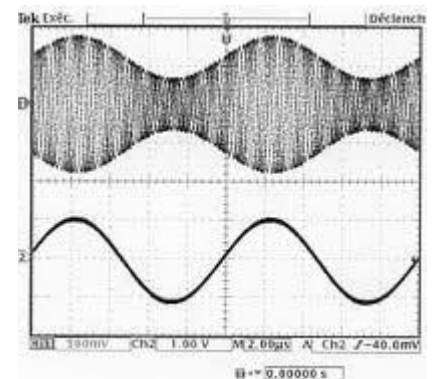
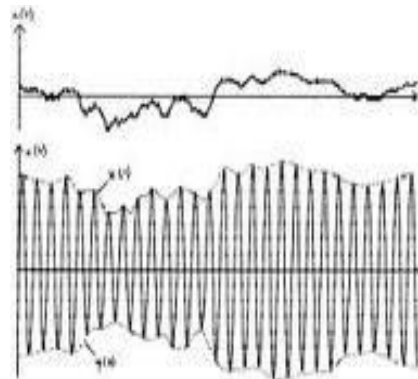
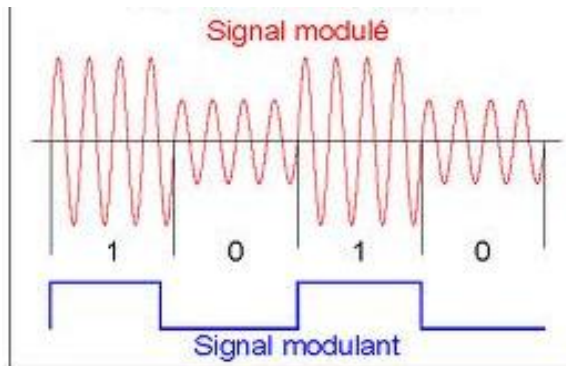
### c. DIFFERENTS TYPES DE MODULATION

La modulation consiste à faire varier de manière périodique (à la fréquence du signal à transmettre) l'**amplitude**, la **fréquence** ou la **phase** de la porteuse. Il existe principalement deux types de modulation :

- ☞ **La modulation de fréquence (FM)** : on fait légèrement varier la fréquence de la porteuse tout en gardant son amplitude constante. La fréquence de ces variations est celle de l'onde sonore. La fréquence de la porteuse est alors prise autour de 100 MHz. **HORS PROGRAMME.**

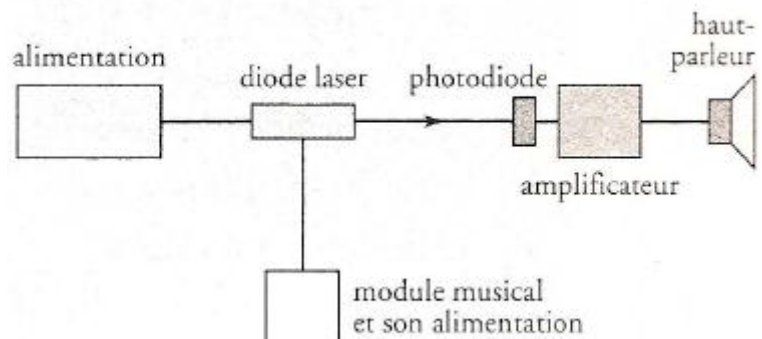


- ☞ **La modulation d'amplitude (AM)** : l'amplitude de la porteuse est modulée à la fréquence de l'onde sonore que l'on veut transmettre. La fréquence de la porteuse est généralement prise entre 150 kHz et 250 kHz.



### d. TRANSMISSION PAR LA LUMIERE

La porteuse est une onde lumineuse.



Dans le cas de cette transmission, l'information sonore est véhiculée par une onde lumineuse (porteuse), modulée par le signal à transmettre.

La modulation effectuée est **une modulation de l'amplitude du signal lumineux**. La transmission s'effectue par fibre optique.

À la réception, une photodiode transforme l'onde lumineuse en courant électrique et un haut-parleur convertit ce signal électrique en son.