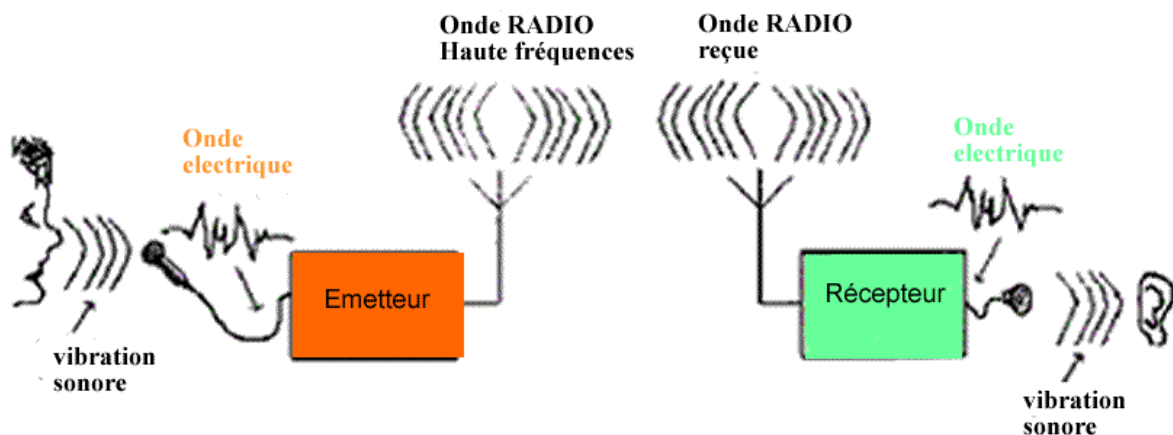


Notions et contenus	Capacités exigibles
5. Modulation-Démodulation	
Transmission d'un signal codant une information variant dans le temps.	Définir un signal modulé en amplitude, en fréquence, en phase. Citer les ordres de grandeur des fréquences utilisées pour les signaux radio AM, FM, la téléphonie mobile.
Modulation d'amplitude. Démodulation d'amplitude.	Interpréter le signal modulé comme le produit d'une porteuse par une modulante. Décrire le spectre d'un signal modulé. À partir de l'analyse fréquentielle, justifier la nécessité d'utiliser une opération non linéaire. Expliquer le principe de la détection synchrone. Réaliser une modulation d'amplitude et une démodulation synchrone avec un multiplieur analogique.

MODULATION – DEMODULATION

Technique mise au point au début du XX^e siècle pour transmettre la voix à l'aide d'ondes électromagnétiques : radio, télévision, téléphonie mobile, ADSL, Wi-fi...

Pourquoi moduler un signal à transmettre par les ondes électromagnétiques ?



Fréquences sonores

voix humaine 100 Hz – 7500 Hz

orchestre symphonique 20 Hz – 20 kHz

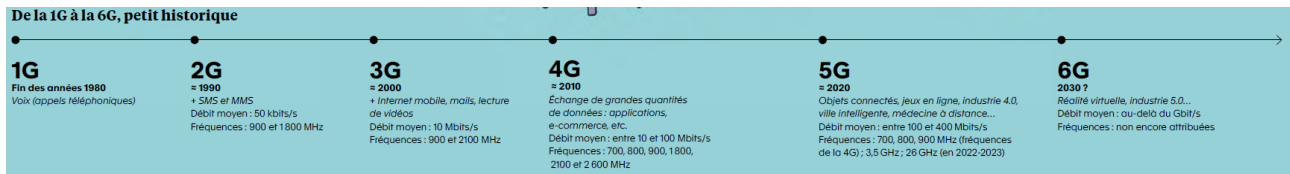
Les ondes sonores sont absorbées par l'atmosphère -> transformées en ondes EM

<https://www.cea.fr/comprendre/jeunes/Pages/s-informer-reviser/physique-chimie/essentiel-sur-ondes-electromagnetiques-communication.aspx>

vidéo : comment une onde transporte-t-elle de l'information ?

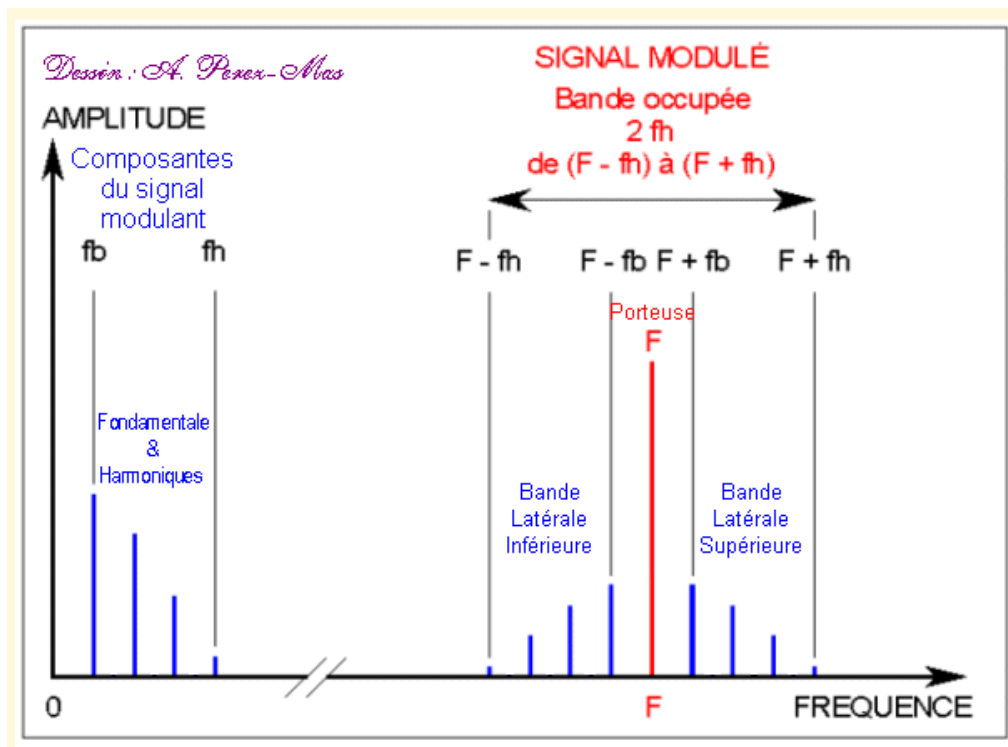
Vers la 6G (pages 27 à 29, mars-avril 2022)

<https://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/les-defis-du-cea/LES-DEFIS-DU-CEA-248.pdf>



Emission/réception par une antenne : taille de l'antenne $\approx$ longueur de l'onde EM $d = c / f$
Si $f = 1 \text{ kHz}$ $d = 3.10^8 / 10^6 = 300 \text{ m}$; plus la fréquence de l'onde est élevée, plus la taille de l'antenne est faible.

Distinguer les signaux EM à réceptionner des bruits EM environnants (50 Hz)



La fréquence centrale du signal modulé est élevée $\rightarrow$ antennes plus petites

Pas perturbé par des signaux basse fréquence 50 Hz

On profite de la diffraction, ouverture du faisceau sur un obstacle

En France, fréquence de la porteuse

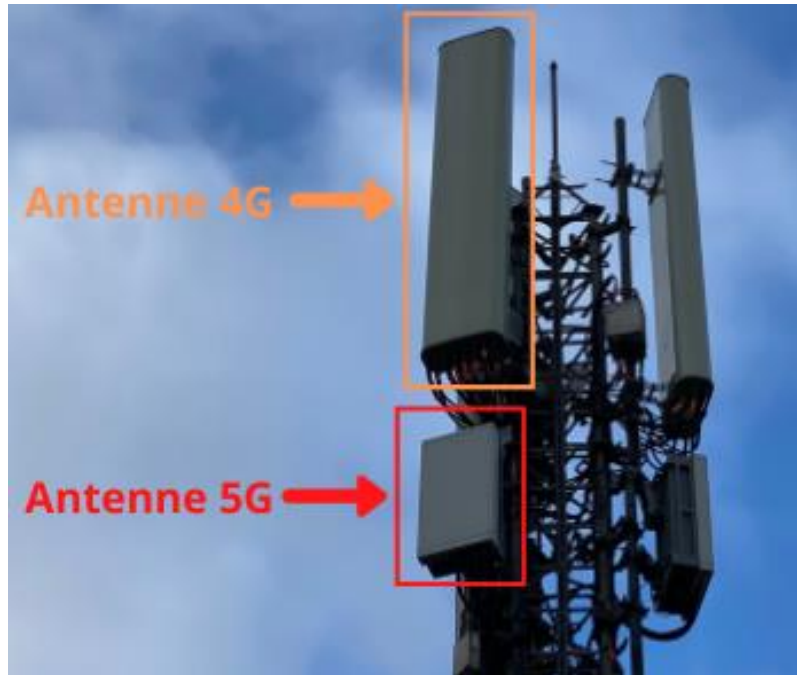
Modulation d'amplitude AM : 150 à 300 kHz, c'est la modulation historique

Modulation de fréquence FM : 87 à 108 MHz, moins sensible aux bruits que AM

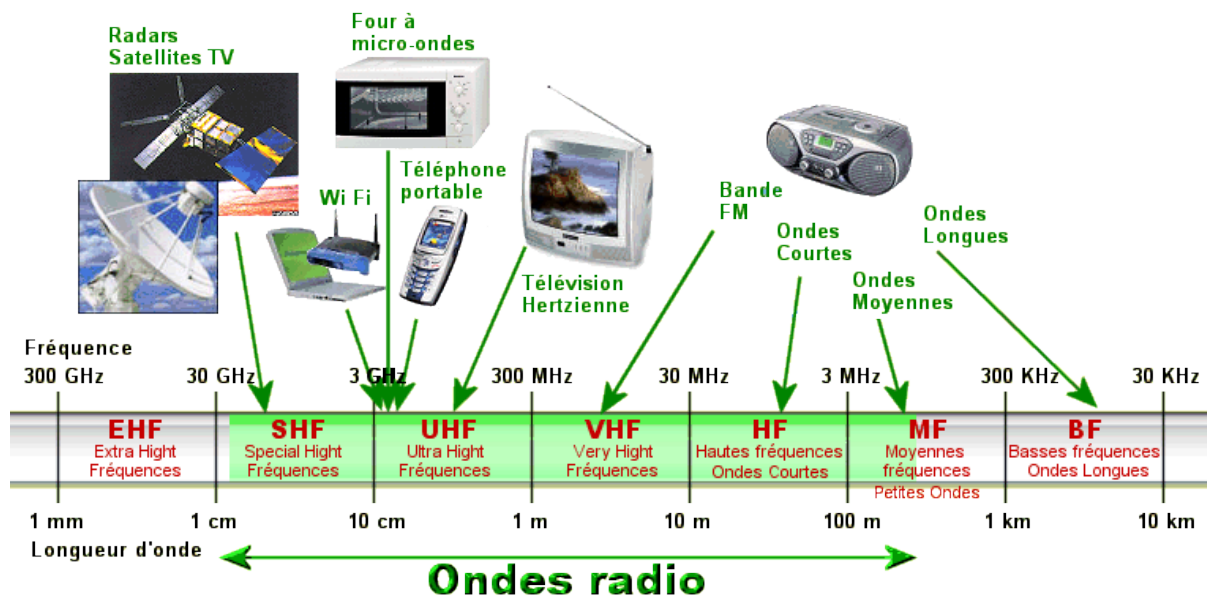
Téléphonie mobile : 4G : entre 0,7 et 2,6 GHz ;

5G : 30 – 300 GHz

Wifi et signaux numériques : 2,4 GHz,

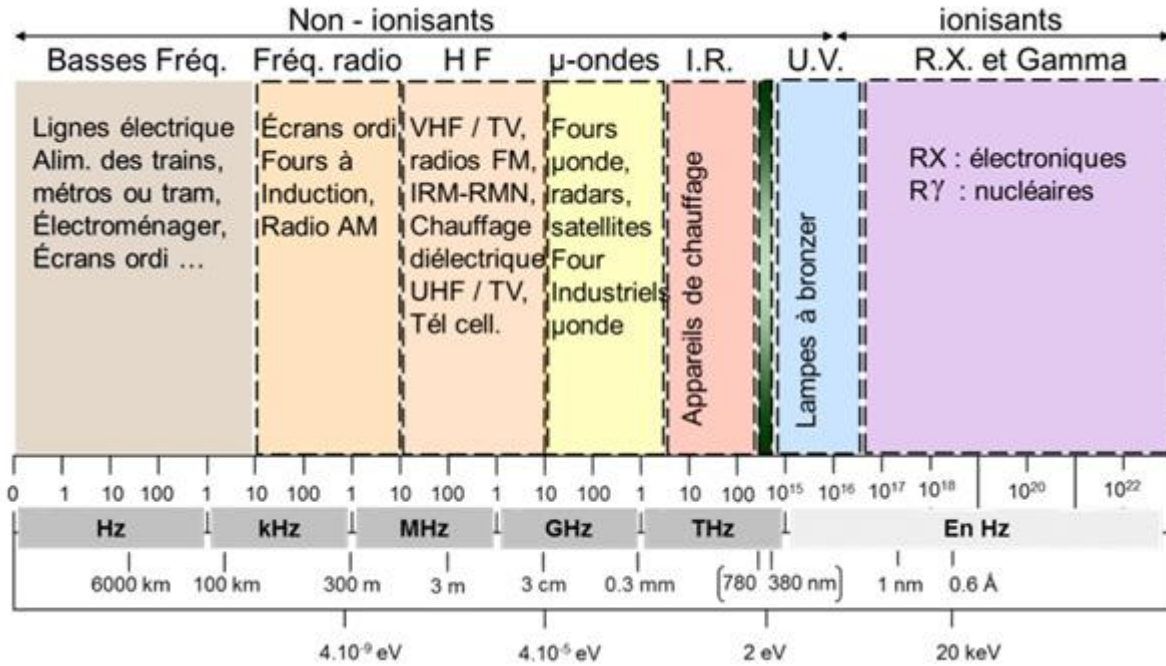


Le spectre des ondes radios
(en échelle croissante de longueur d'onde)

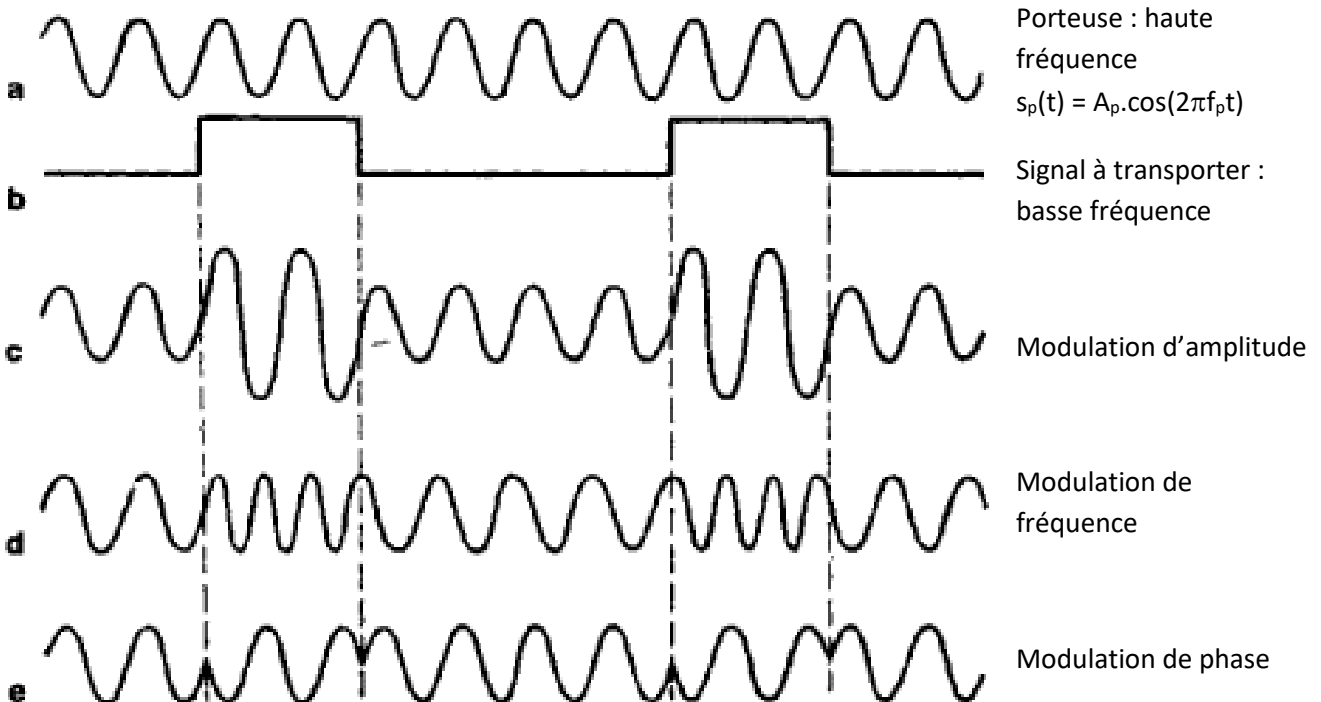


Agence Nationale des Fréquences(ANFR) : organisme d'attribution des fréquences

Le spectre de toutes les ondes électromagnétiques (en échelle croissante en fréquence)



Les différentes formes de modulation

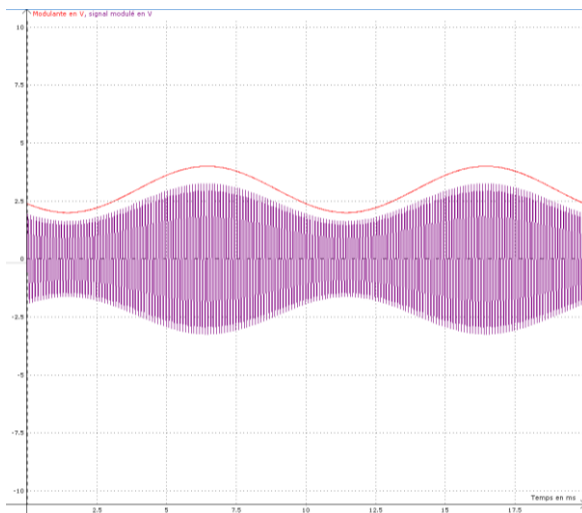
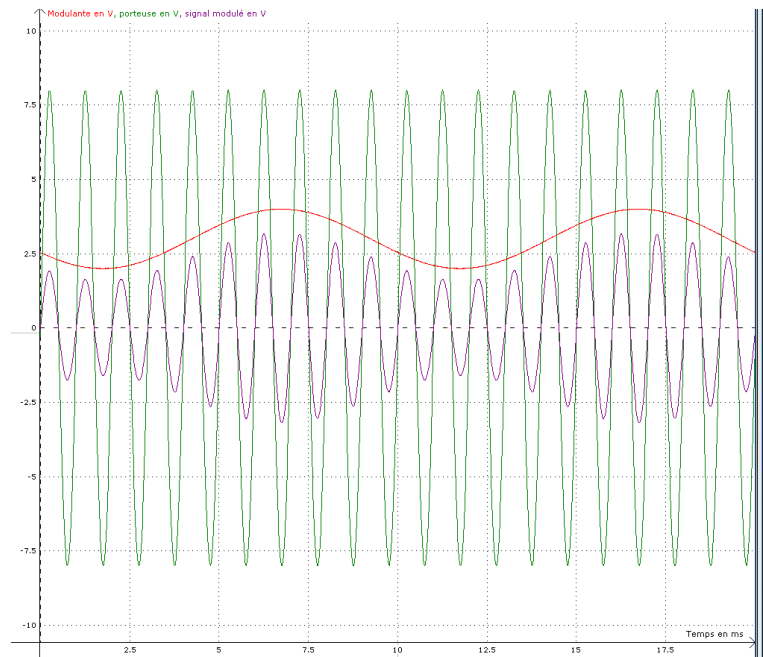


1. Modulation d'amplitude

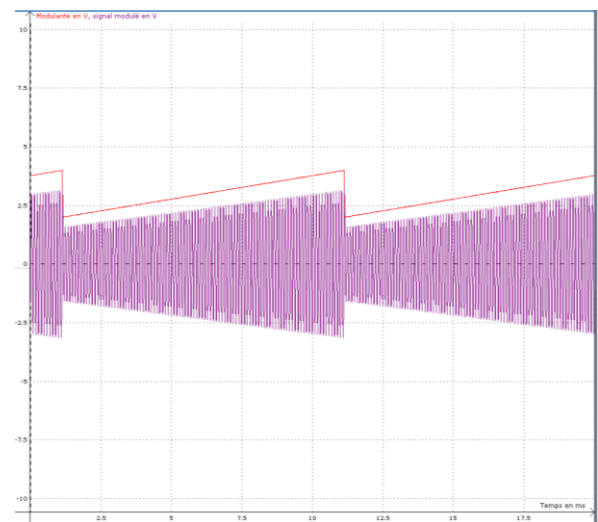
$$S_{AM}(t) = A(1 + m \cdot \cos(\omega_m t)) \cdot \cos(\omega_p t)$$

m = taux de modulation

Modulante : $U_o + e(t)$ $f_m = 100$ Hz ;
 $U_o = 3$ V ; $E = 1$ V ; porteuse $f_p = 1$ kHz



$e(t)$ sinusoïde



$e(t)$ rampe

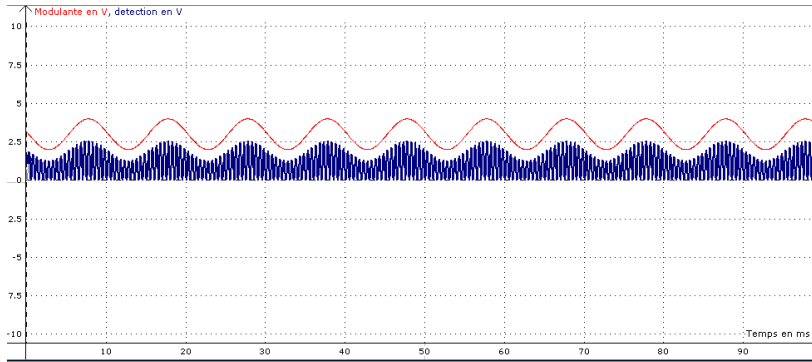
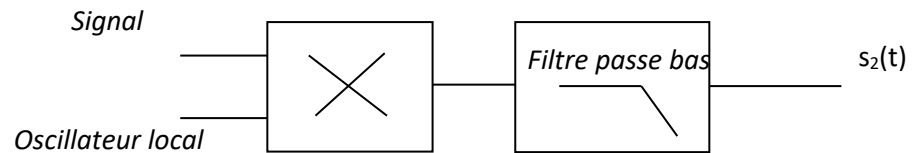
Modulante : $U_o + e(t)$ $f_m = 100$ Hz ; $U_o = 3$ V ; $E = 1$ V ; porteuse $f_p = 10$ kHz



Modulante : $U_o + e(t)$ (carré) $f_m = 100$ Hz ;
 $U_o = 3$ V ; $E = 1$ V ;
 porteuse $f_p = 1$ kHz

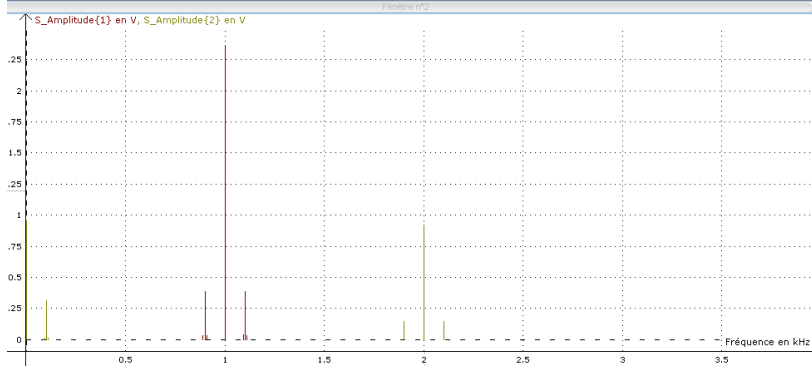
Spectre du signal modulé

2. Démodulation par détection synchrone

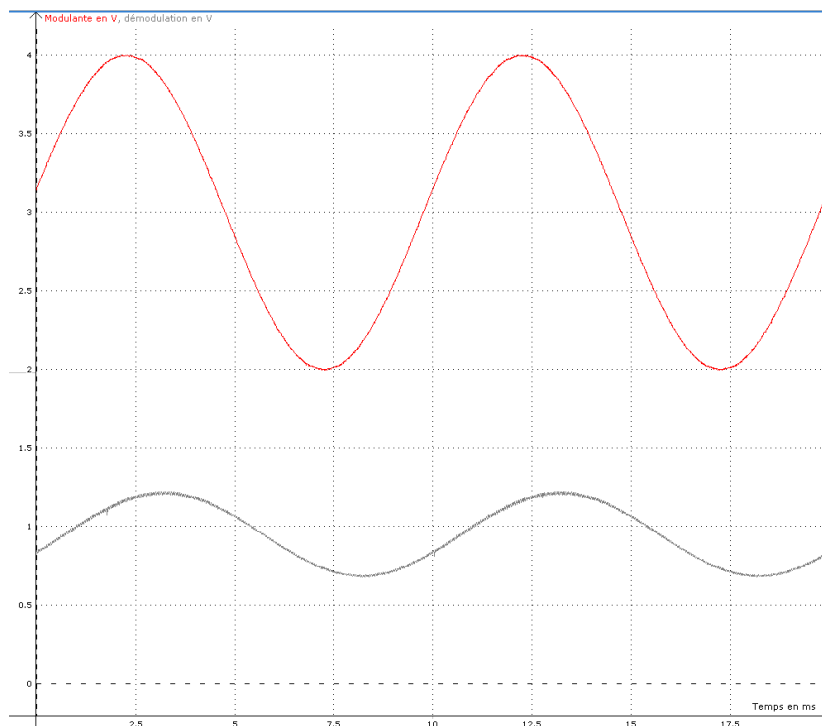


Modulante : $U_o + e(t)$ $f_m = 100 \text{ Hz}$;
 $U_o = 3 \text{ V}$; $E = 1 \text{ V}$; porteuse $f_p = 1 \text{ kHz}$

Produit du signal modulé par la porteuse.



Spectre du signal modulé (amplitude 1, marron) et spectre du signal modulé*porteuse (amplitude 2, vert)



Modulante : $U_o + e(t)$

$f_m = 100 \text{ Hz}$; $U_o = 3 \text{ V}$; $E = 1 \text{ V}$;

porteuse $f_p = 10 \text{ kHz}$

Signal démodulé