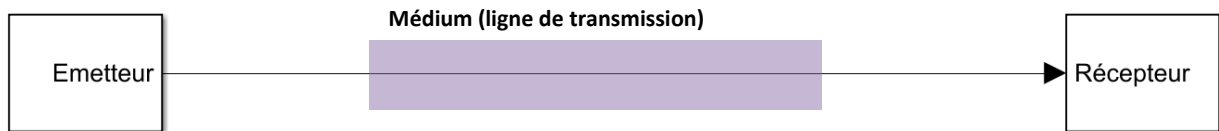


# Cours – Transmission et modulation

## Modulation analogique et numérique

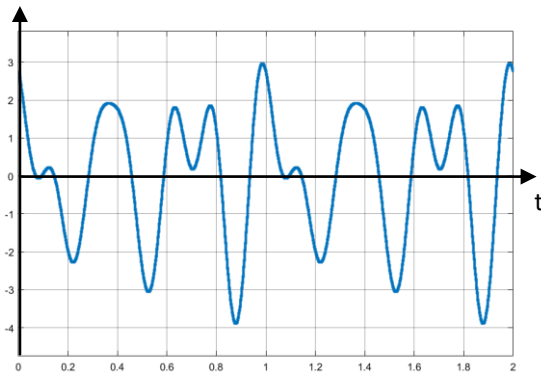
### I. Transmission en bande de base

La télécommunication consiste à **transmettre un signal entre un émetteur et un récepteur distant**.

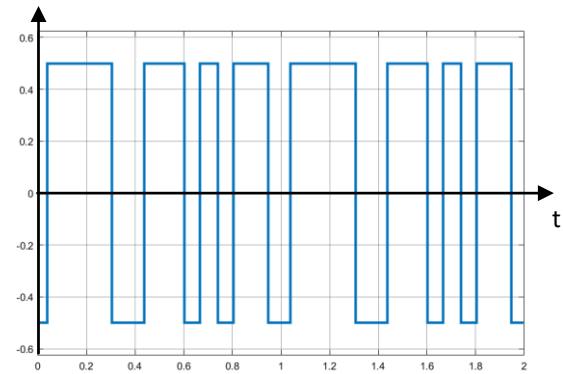


Le signal est transmis par un **médium** : fil électrique, fibre optique, air, espace, etc...

Le signal à transmettre peut être de **nature analogique** (prenant une infinité de valeurs, dans un intervalle donné, dans le temps) ou de **nature numérique** (prenant une succession de valeurs logiques dans le temps).

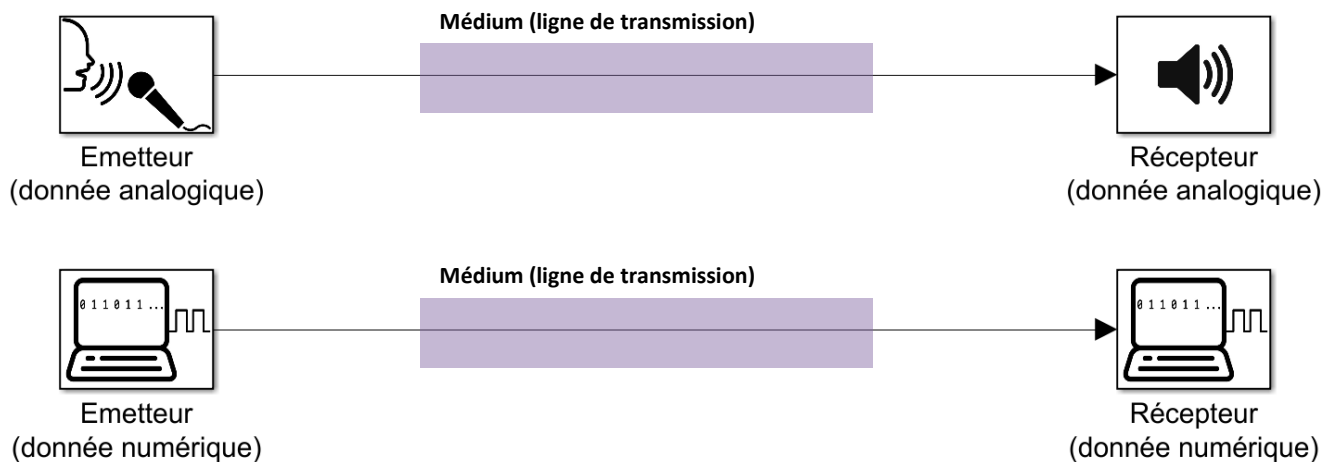


Signal analogique



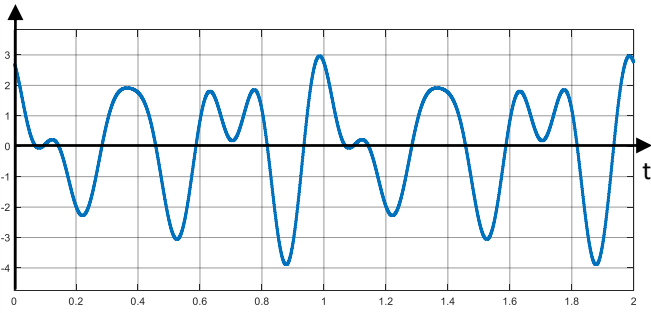
Signal numérique

On peut par exemple transmettre **un signal analogique issu d'un microphone captant une voix** ou **un signal numérique (données numériques) issue d'une carte traitement numérique** :

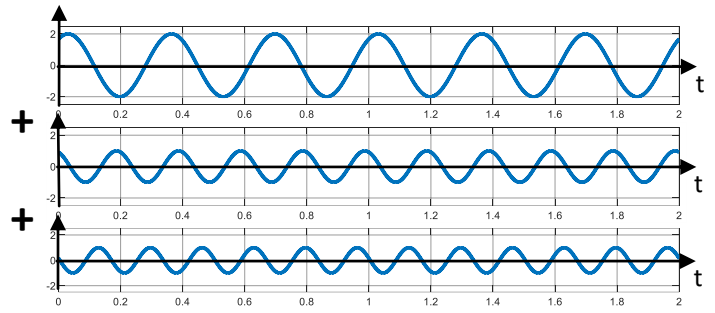


Qu'il soit analogique ou numérique, un signal est **la superposition de différentes composantes sinusoïdales de fréquences et d'amplitudes différentes**.

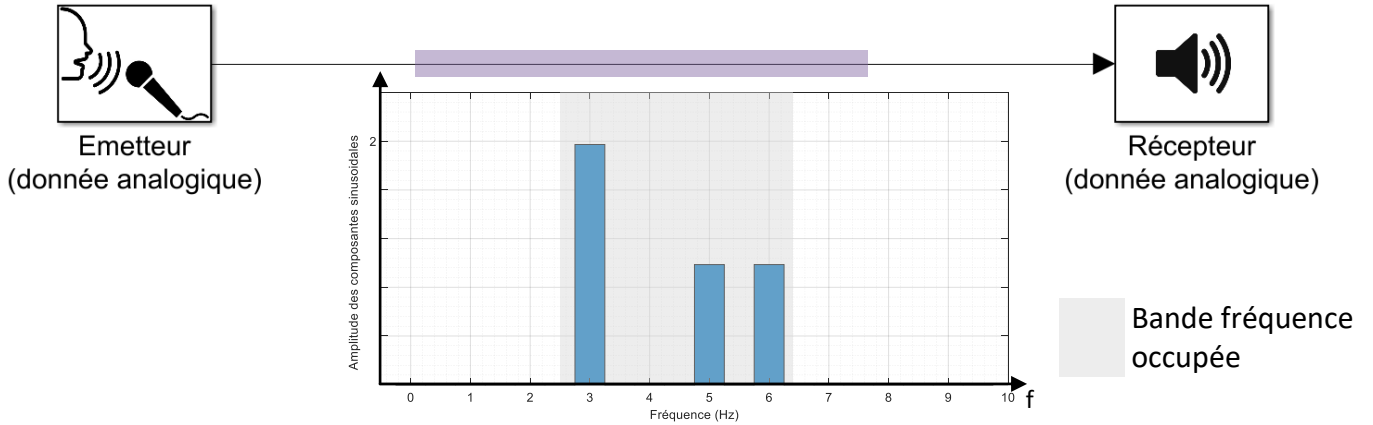
**Cas d'un signal analogique à transmettre :**



Signal analogique à transmettre

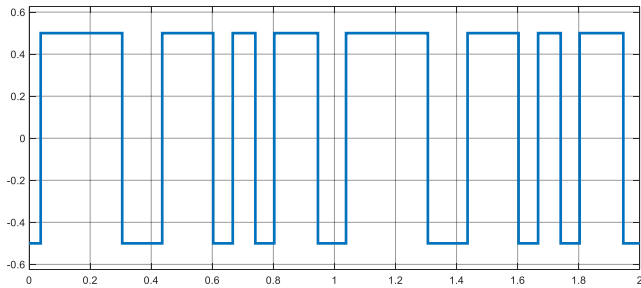


Décomposition du signal à transmettre

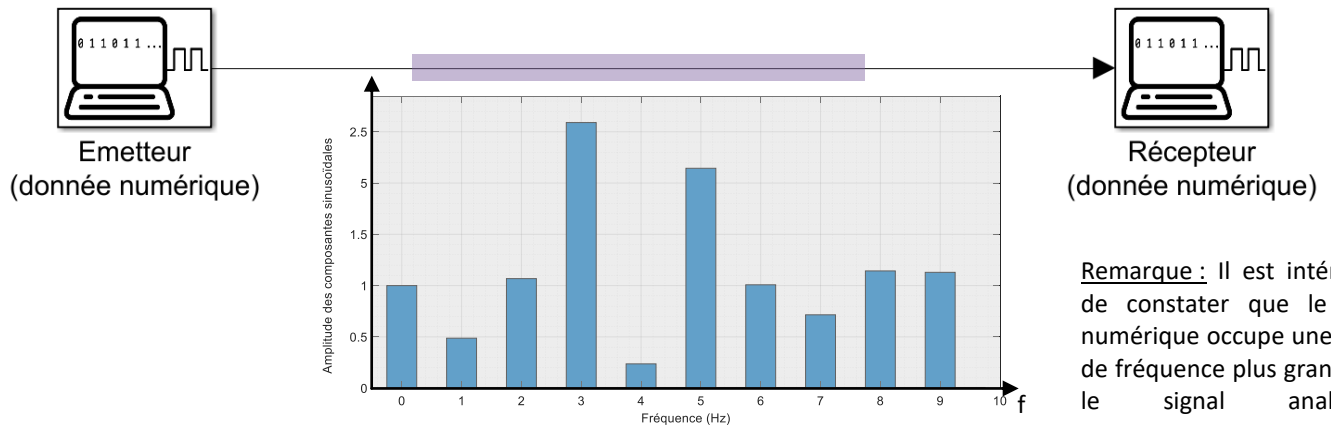


Représentation fréquentielle du signal analogique à transmettre

**Cas d'un signal numérique à transmettre :**



Signal numérique à transmettre

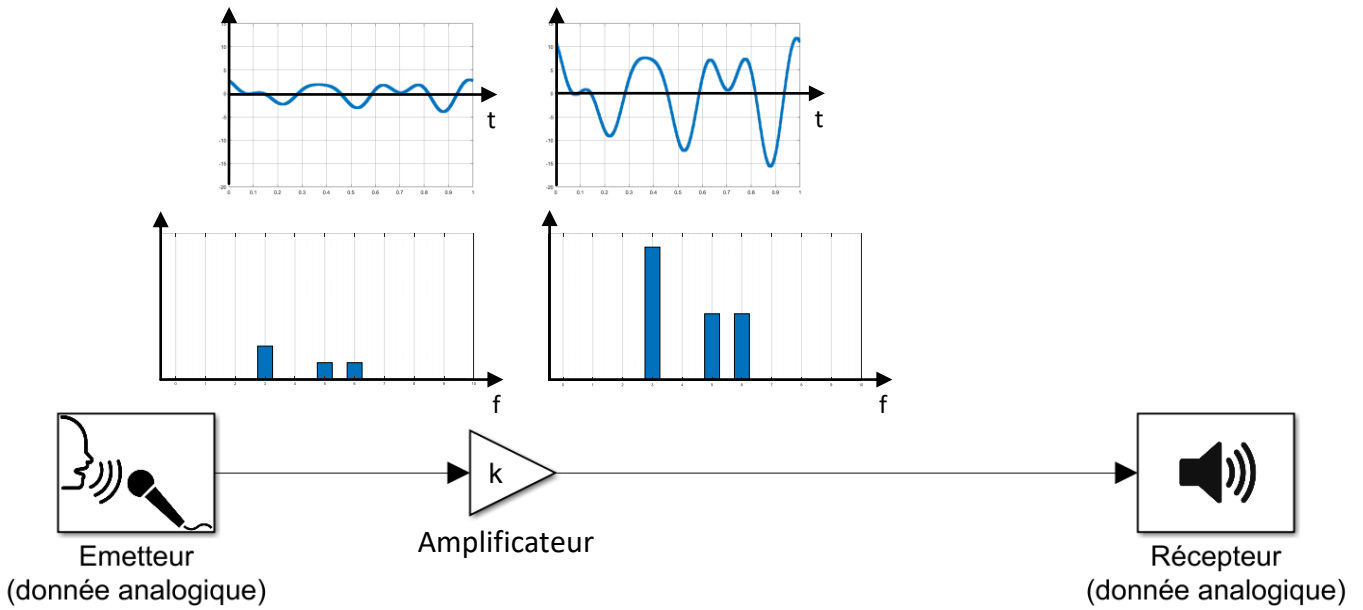


Remarque : Il est intéressant de constater que le signal numérique occupe une bande de fréquence plus grande que le signal analogique

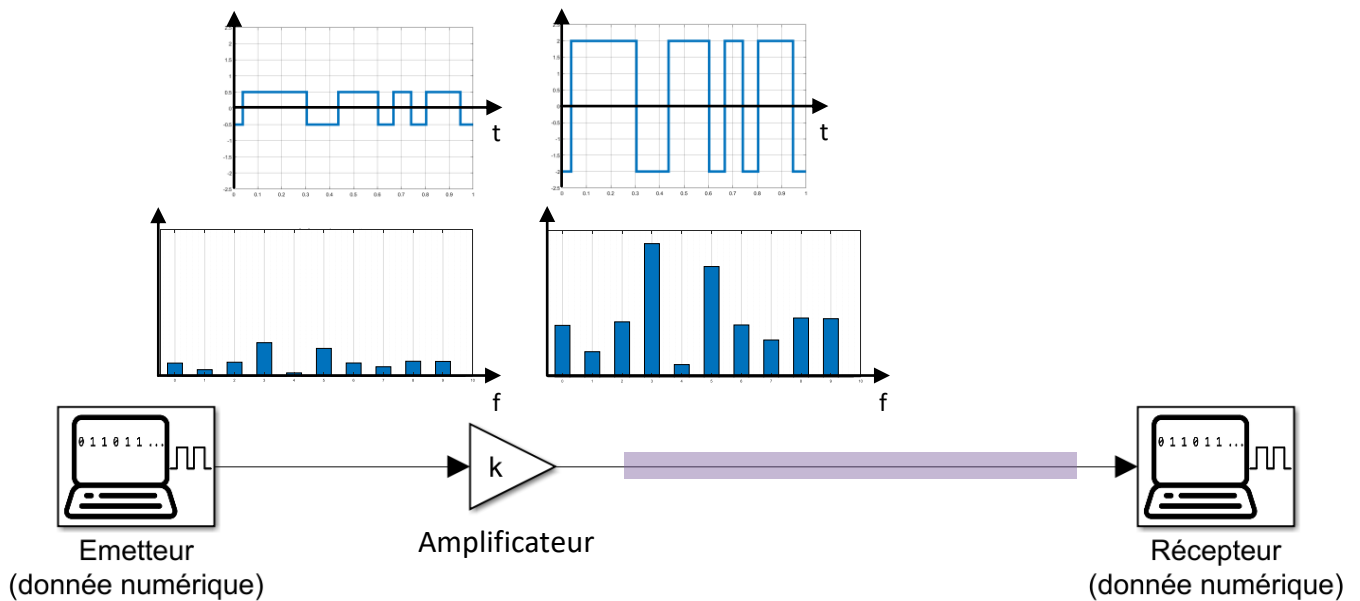
Représentation fréquentielle du signal numérique à transmettre

On peut transmettre ces signaux **sans leur apporter de transformations autres qu'une amplification** (augmentation de l'amplitude du signal à transmettre).

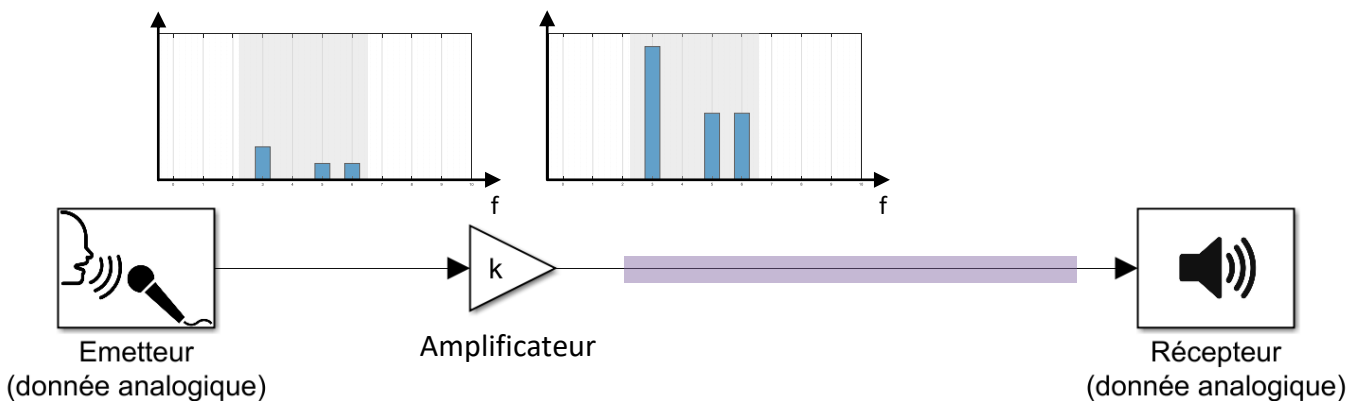
**Cas d'un signal analogique à transmettre :**



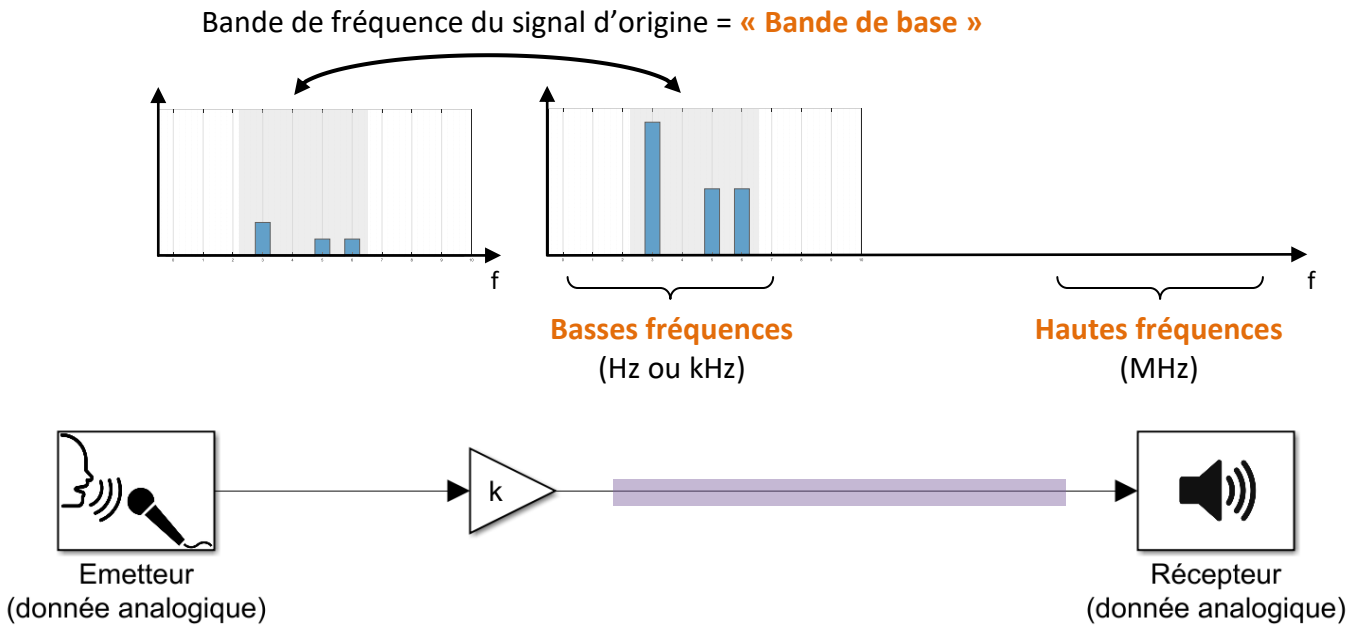
**Cas d'un signal numérique à transmettre :**



Le signal à transporter **conserve alors les mêmes fréquences que le signal à transmettre**. On dit qu'il est transmis en **bande de base** :

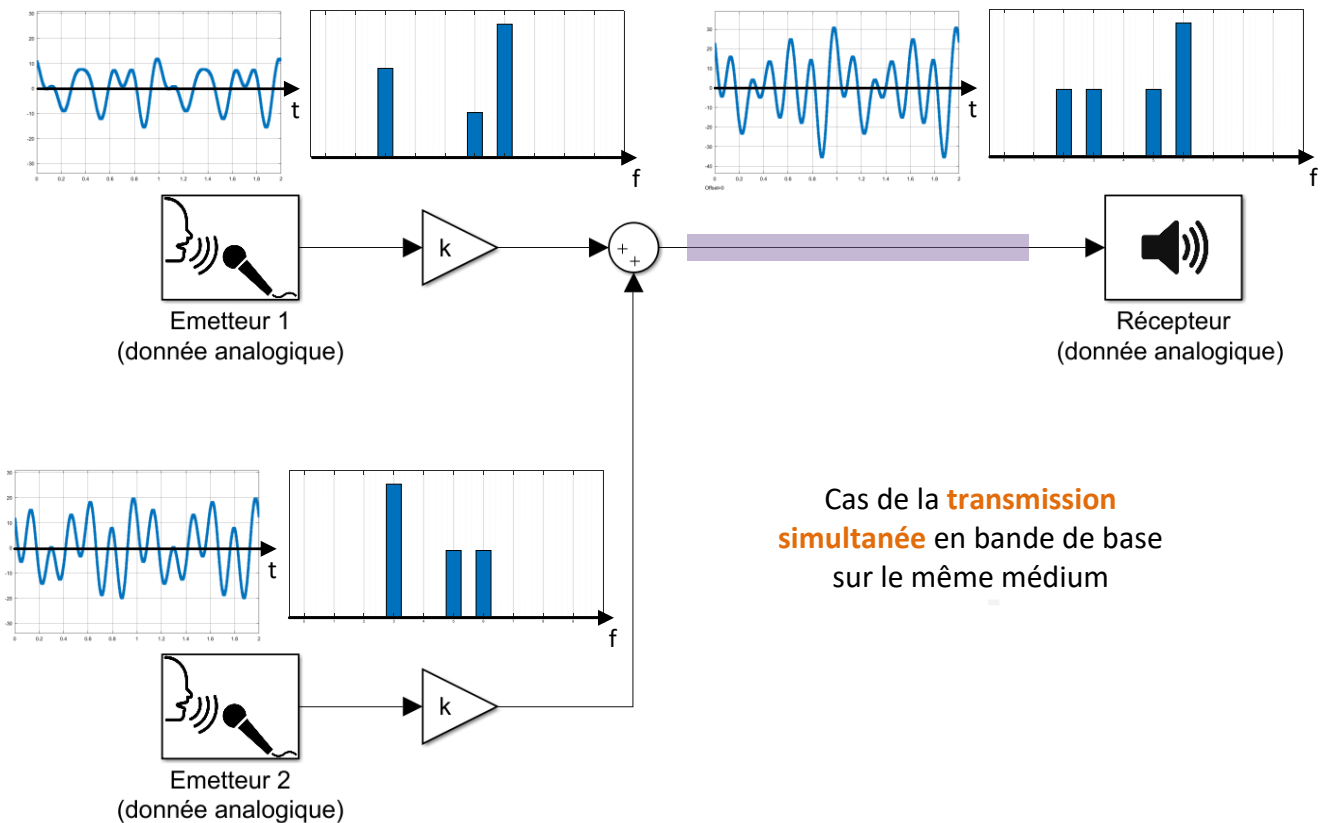


Ces fréquences sont de l'ordre de **l'hertz ou du kilohertz**, on les qualifie de **basses fréquences** en comparaison des **hautes fréquences** qui peuvent être de l'ordre du **mégahertz**.



La télécommunication en bande de base s'avère relativement **simple à mettre en œuvre**, mais elle présente **l'inconvénient de ne pouvoir transmettre qu'un seul message à la fois**.

En effet si on cherche à transmettre plusieurs messages en bande de base simultanément sur le même médium, alors **les messages se superposent fréquentiellement sur la ligne de transmission, et le récepteur reçoit les deux messages mélangés (fréquentiellement)**.

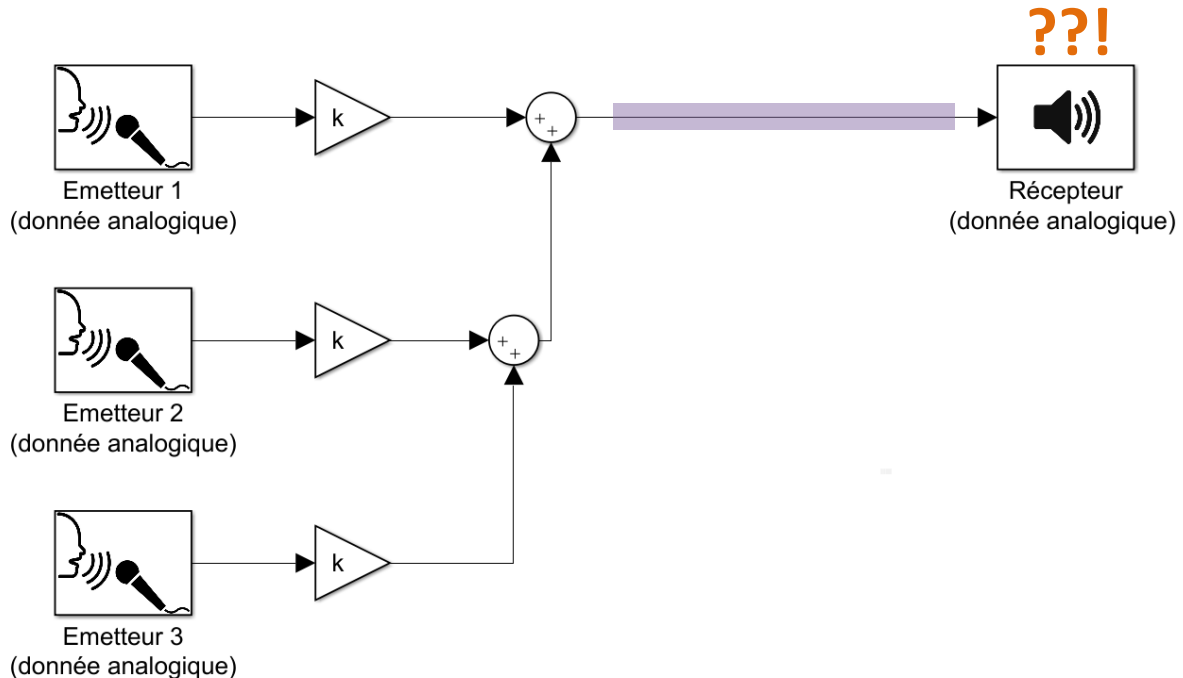


Cas de la **transmission simultanée** en bande de base sur le même médium

Le récepteur est alors **incapable de dissocier les deux signaux**.

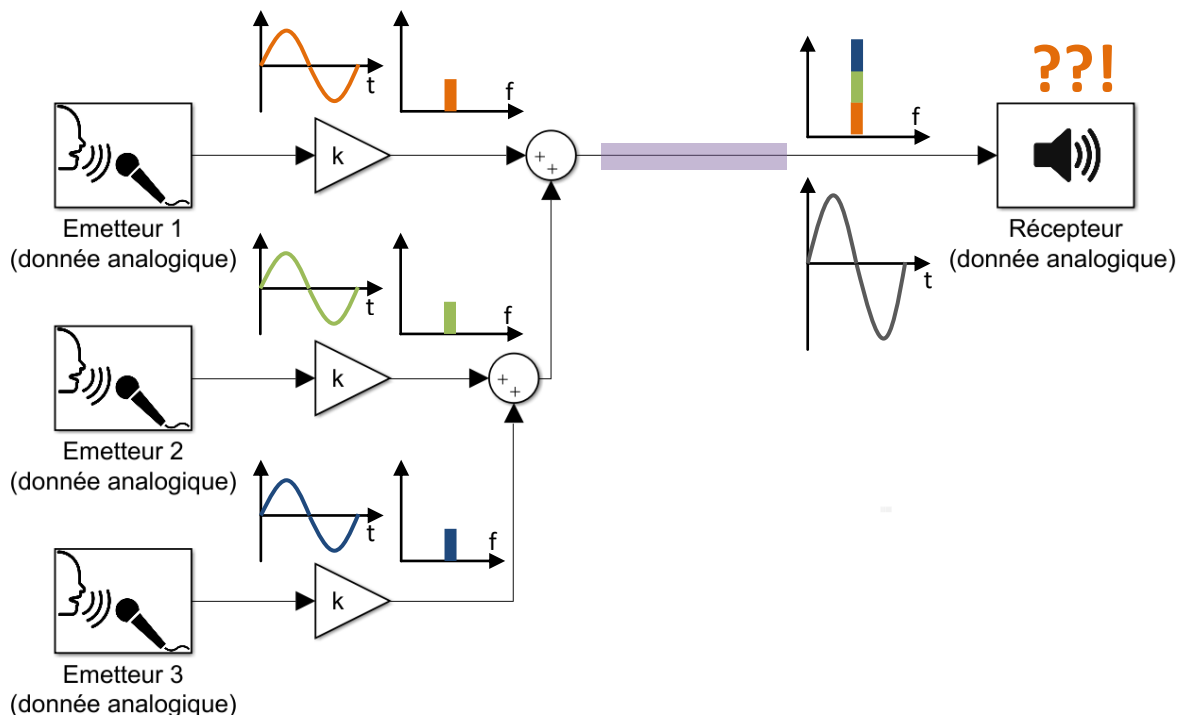
C'est comme si les deux personnes avaient parlé dans le même micro, lorsque que l'on reçoit deux discours simultanés, il est extrêmement difficile de distinguer le discours d'un seul des deux orateurs.

Si on envoie encore plus de messages simultanés sur le même médium, les messages deviennent totalement intelligibles à la réception :



On voudrait alors dissocier à la réception chaque message d'origine mais cela est impossible car **les signaux ont été mélangés** (fréquenciellement).

Pour mieux comprendre ce phénomène imaginons que **chacun des trois émetteurs n'envoie qu'une seule fréquence identique** (ils chantent un LA à 440Hz en phase).



Admettons que ces signaux soient additionnés sur la ligne par des additionneurs, ces signaux sont des sinus purs et vont simplement se **superposés**, la ligne ne transmettra **qu'un seul sinus pur**.

Il est alors **impossible pour le récepteur de savoir quel part de ce sinus est issu de tel ou tel émetteur**.

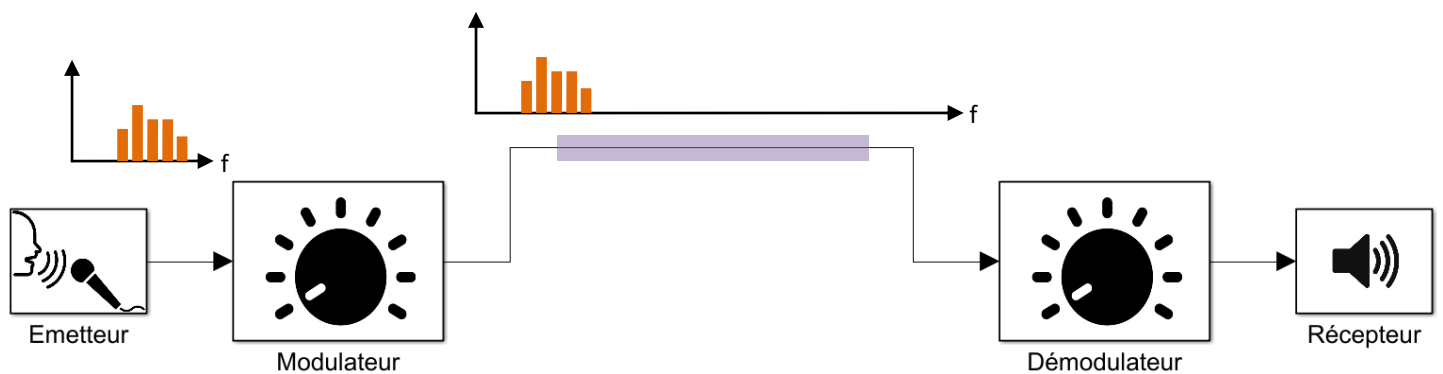
Ce phénomène se produit pour chaque fréquence du signal reçu, **la transmission de signaux simultanés sur le même medium est donc impossible en bande de base**.

Il existe une solution pour envoyer plusieurs signaux sur le même medium de manière simultanés : **la modulation**.

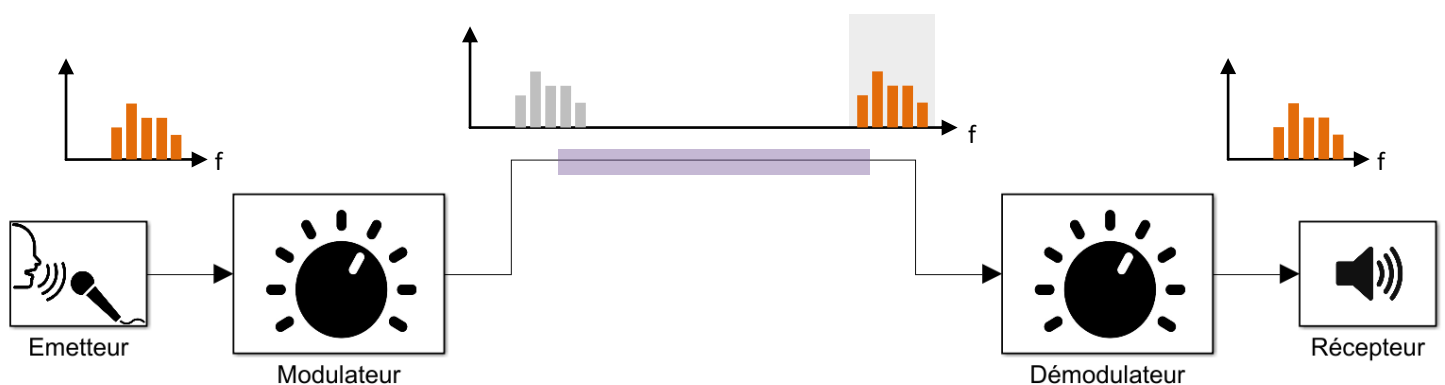
## II. Transmission en bande large

A l'aide d'un **modulateur**, on transforme le signal (analogique ou numérique) à transmettre pour **décaler son spectre de fréquence vers les hautes fréquences**, on dit que le signal est **modulé**.

Avant modulation :



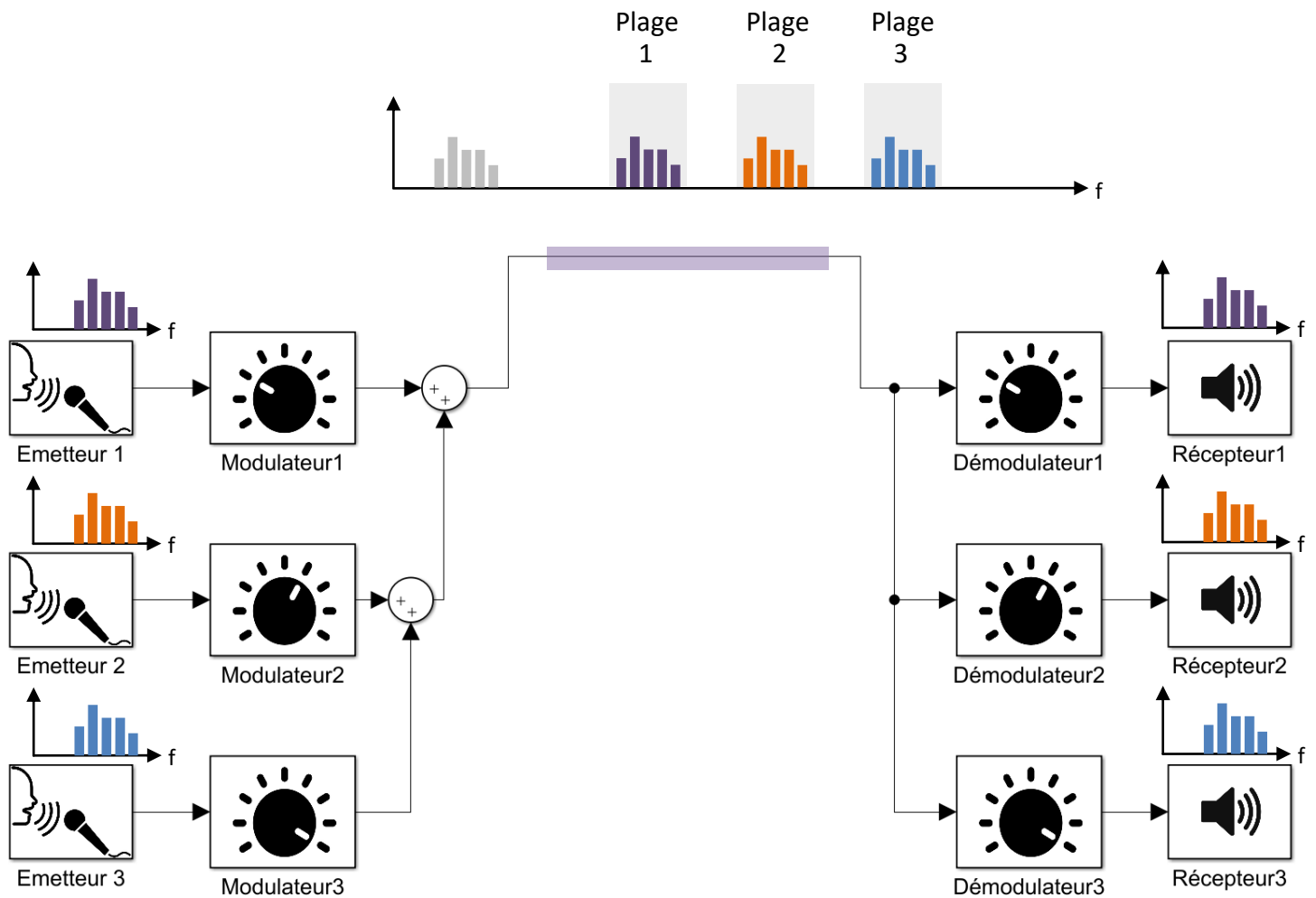
Après modulation :



A la réception, à l'aide d'un **démodulateur**, on **sélectionne la plage de fréquence que l'on souhaite « écouter »**.

Le signal est alors **démodulé**, pour être **repositionné dans ses fréquences d'origine**.

Pour **transmettre des signaux simultanément**, on **module chacun d'entre eux vers une plage de haute fréquence différente** :



On voit que les signaux **ne sont pas mélangés (fréquentiellement) sur le médium**. Ils occupent des plages de fréquences bien **distinctes**.

A la réception, on peut donc **reconstituer chaque signal indépendamment** en **sélectionnant différentes plages de haute fréquence** à démoduler pour les **rapporter à leur fréquence d'origine**.

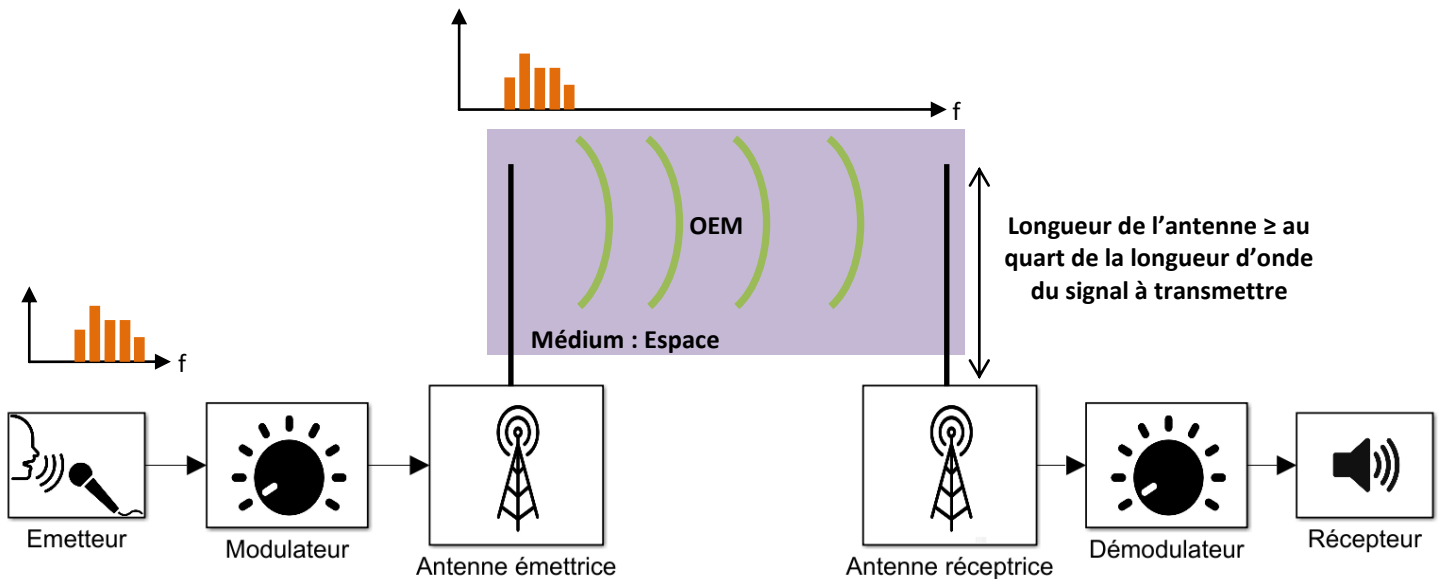
Dans ce cas **la bande passante du médium doit être bien plus large que celle des messages d'origine**, on dit que l'on transmet le signal en **bande large**.

**La modulation permet d'envoyer plusieurs messages simultanément sur le même médium.**

Mais cela n'est pas la seule raison pour laquelle on a recours à la modulation !

Par exemple, dans le cas d'une **transmission d'un message par ondes hertziennes** (par ondes électromagnétiques), on a besoin **d'une antenne d'émission et d'une antenne de réception**.

Pour émettre ces ondes hertziennes (ou ondes électromagnétiques, OEM), on utilise assez souvent **des antennes de type quart d'onde**. Ces antennes ont la particularité d'avoir une longueur **d'au moins un quart de la longueur d'onde du signal à transmettre** :



Admettons que le souhaite transmettre une voix de basse produisant une fréquence dominante de  **$f = 110\text{Hz}$** . La période  $T$  associée est alors égale à  **$T = 1 / f = 1 / 110 = 0.0091\text{s}$** .

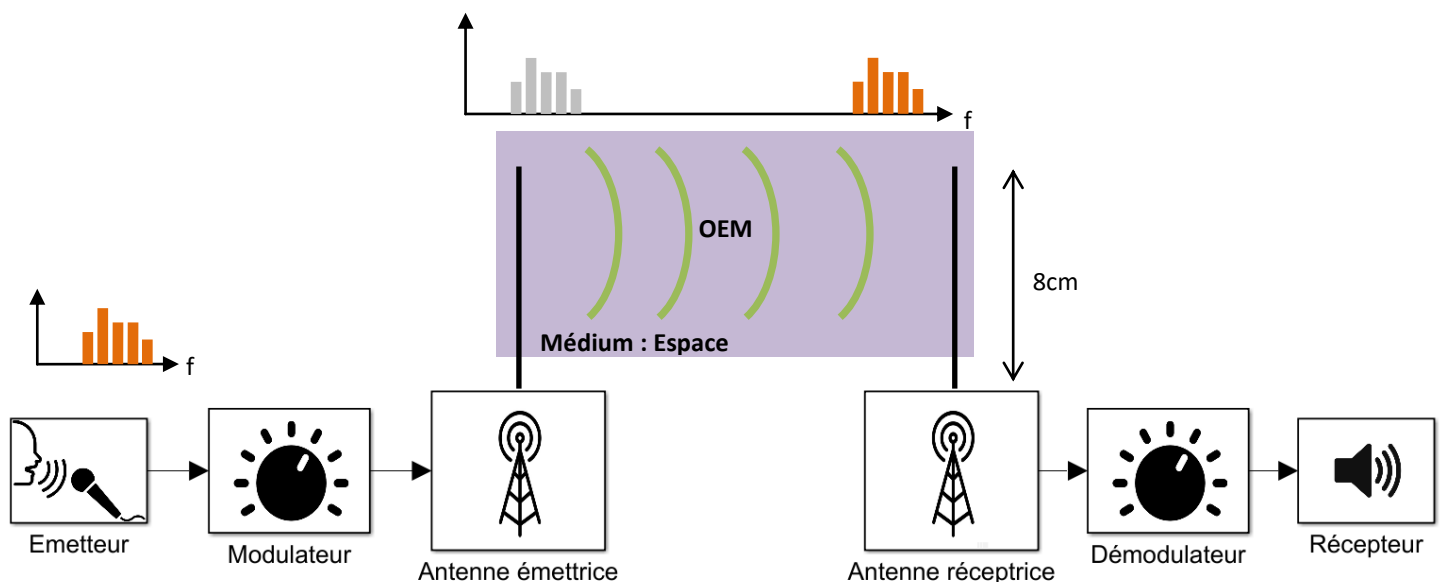
La longueur d'onde  $\lambda$  du signal à transmettre (qui est égale à la vitesse de la lumière  $c$   $\times$  la période du signal à transmettre  $T$ ) est alors égale à  **$\lambda = c \times T = 300\,000\,000\text{ m/s} \times 0.0091\text{s} = 2\,727\text{ km}$** .

Une antenne de type quart d'onde devrait donc ici avoir **une longueur de 681km**, ce qui est difficile voire **impossible à mettre en œuvre** !

Toutefois, si ce signal est modulé pour transposer cette fréquence au-delà de  **$f = 10\text{Mhz}$** , la période du signal devient alors inférieure à  **$T = 10^{-7}\text{s}$** .

La longueur  $\lambda$  du signal à transmettre est alors inférieure à  **$\lambda = c \times T = 300\,000\,000\text{ m/s} \times 10^{-7}\text{s} = 30\text{ cm}$** .

Grace à la modulation, **l'antenne peut ne mesurer que 8 cm** ce qui est **facile à réaliser et à transporter**.





### III. Types de modulation en transmission en bande large

Il existe plusieurs manières de moduler un signal.

#### 1. Modulation d'amplitude

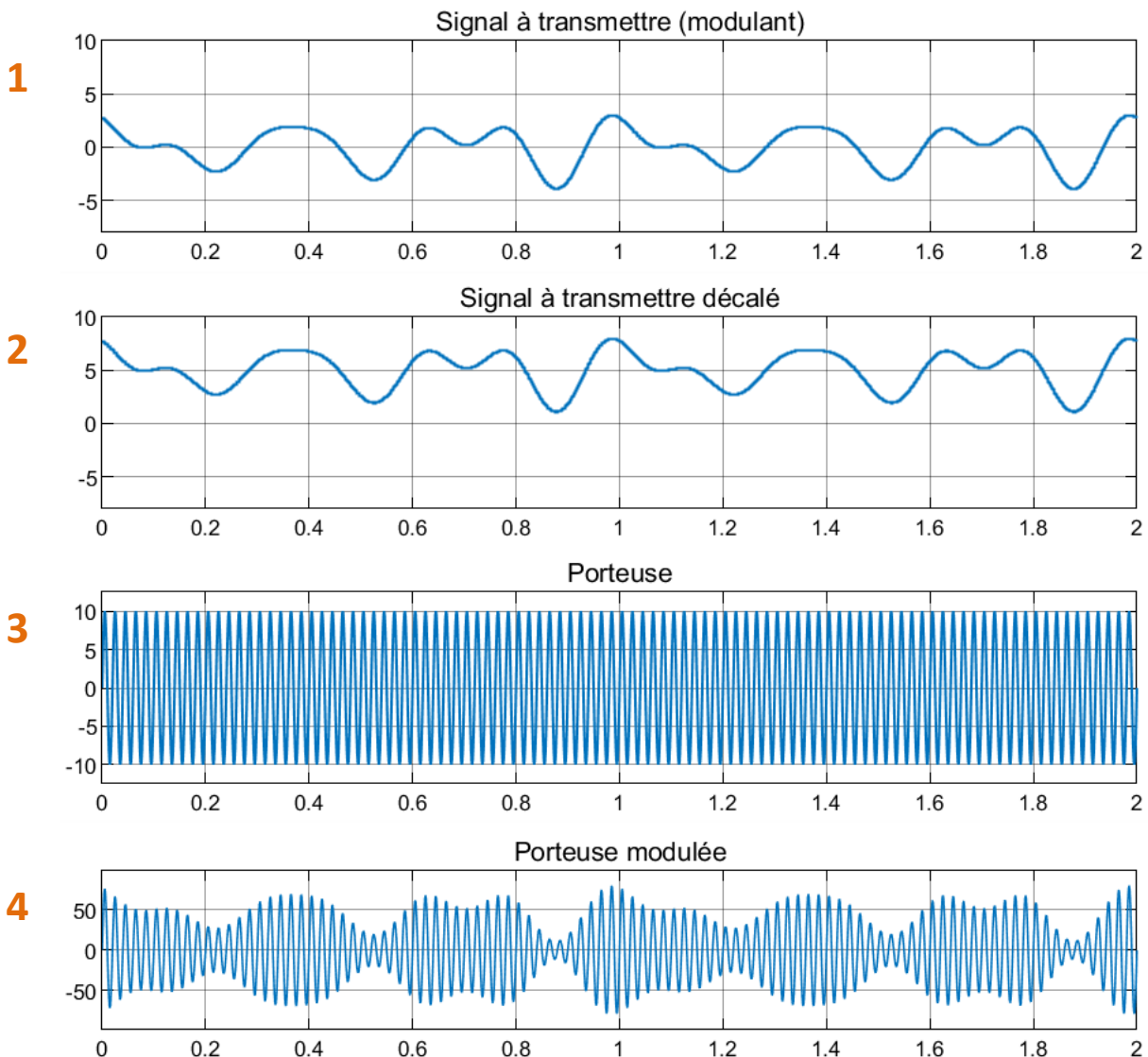
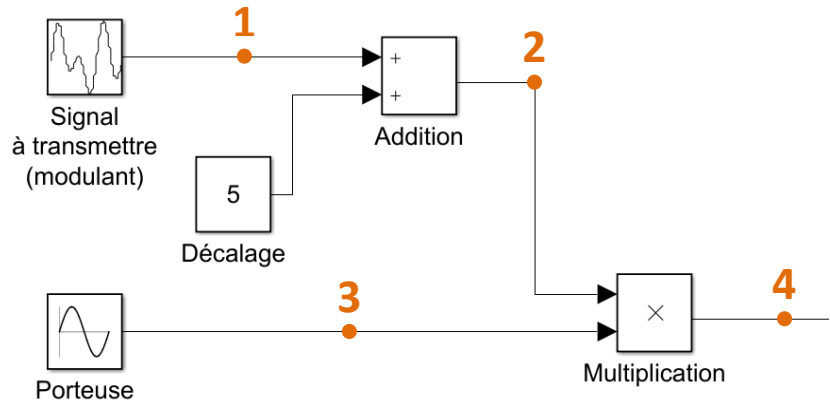
On peut faire par exemple de la **modulation d'amplitude**.

Cas d'un signal analogique :

Cela consiste à **décaler** le signal à transmettre et le **multiplier** par un signal de haute fréquence appelé **porteuse**.

On obtient un **signal modulé** dont l'enveloppe correspond au signal à transmettre.

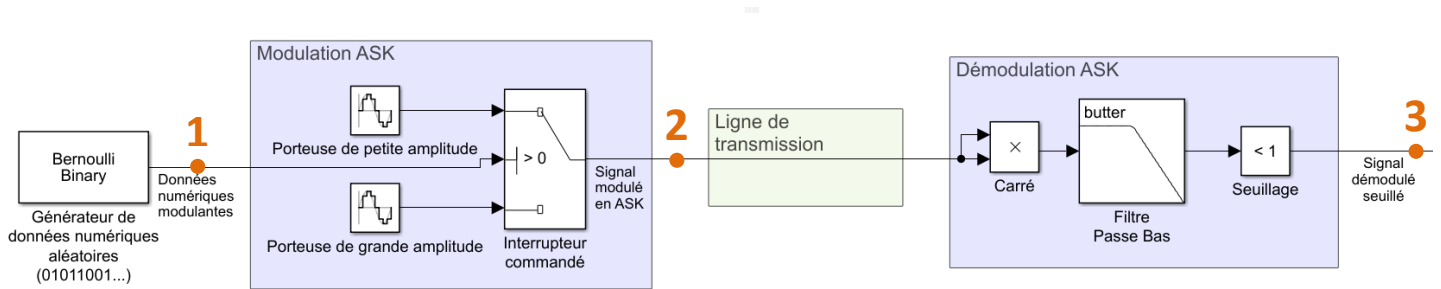
Cette modulation s'appelle la **modulation AM**.



Cas d'un signal numérique :

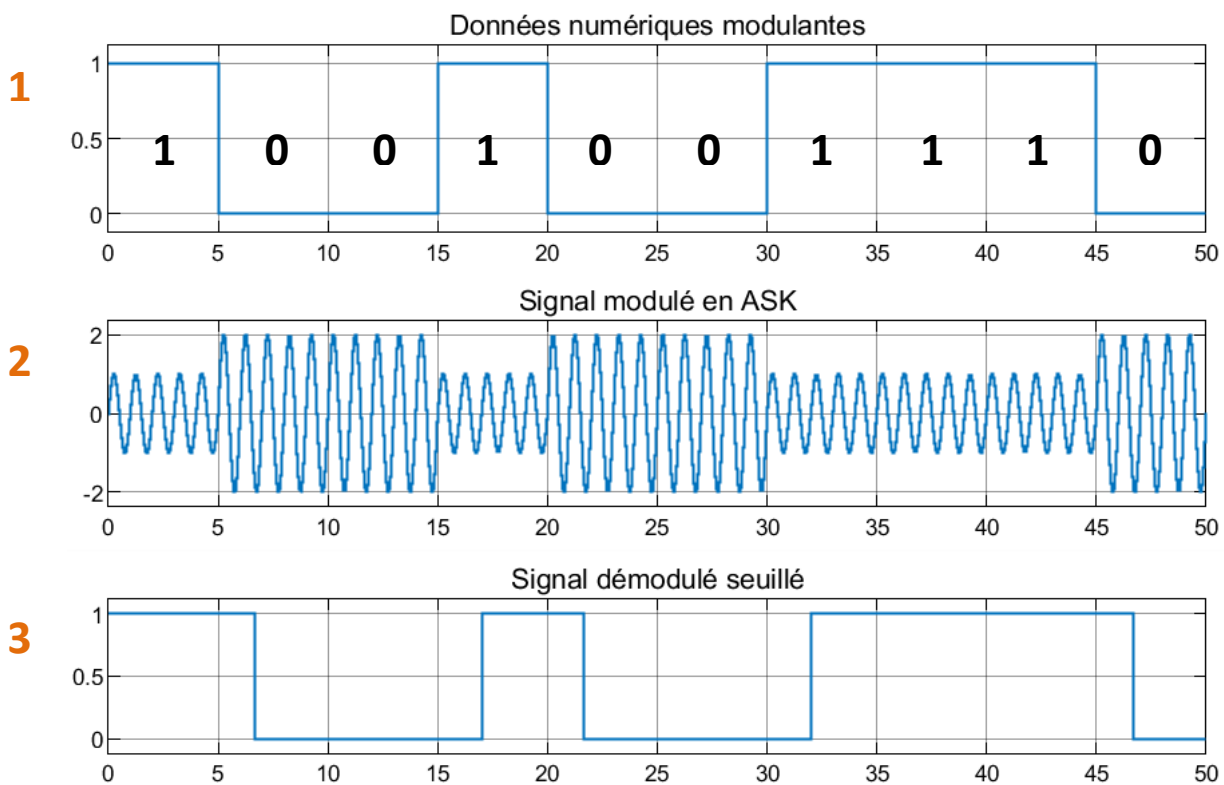
On peut aussi moduler un **signal numérique** à l'aide d'une porteuse à haute fréquence.

Cette modulation s'appelle la **modulation ASK** (pour Amplitude Shift Keying).



L'amplitude de la porteuse est **modulée en fonction des valeurs binaires à transmettre** au cours du temps.

- la valeur binaire **1** est associée ici à une **amplitude faible pour la porteuse**
- la valeur binaire **0** est associée ici à une **amplitude grande pour la porteuse**

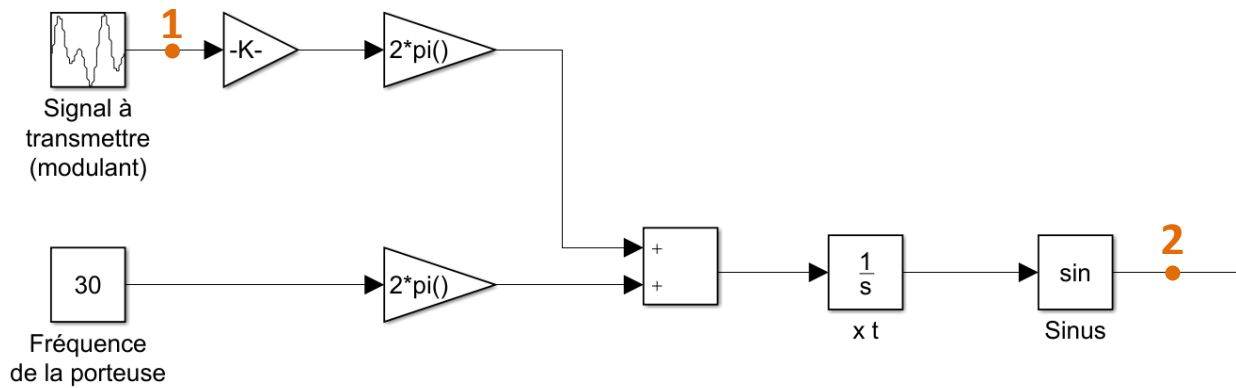


## 2. Modulation de fréquence

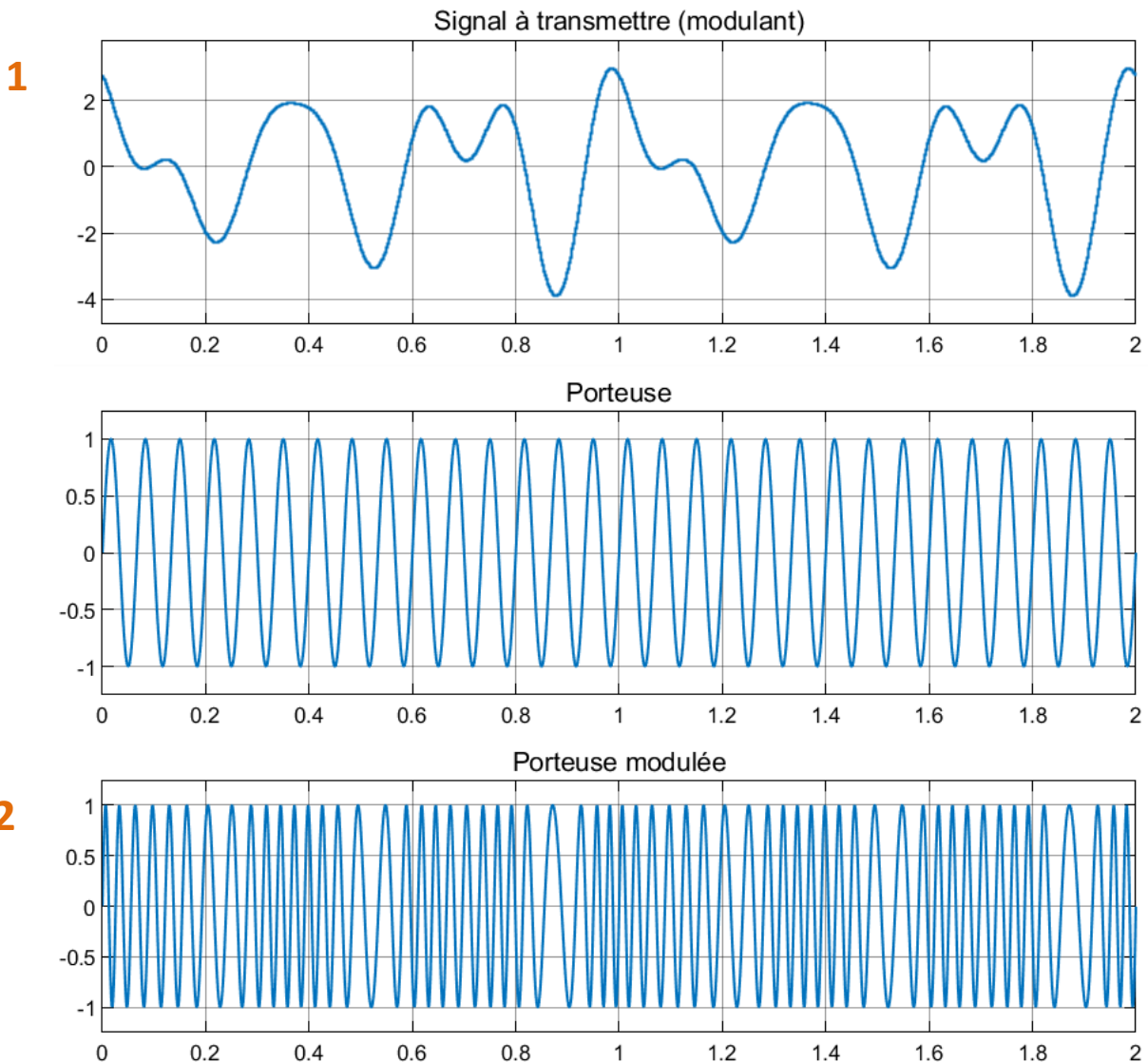
On peut aussi faire de la **modulation de fréquence**.

Cas d'un signal analogique :

Cette modulation consiste à générer une **porteuse** dont la **fréquence varie en fonction de l'amplitude du signal à transmettre**.



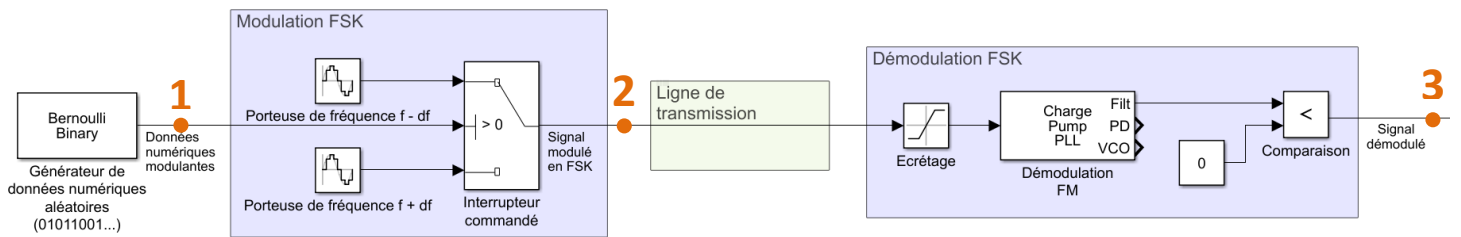
On obtient un **signal modulé** dont la **variation de fréquence est l'image du signal à transmettre**. Cette modulation s'appelle la **modulation FM**.



Cas d'un signal numérique :

On peut aussi moduler un **signal numérique** à l'aide d'une porteuse à haute fréquence.

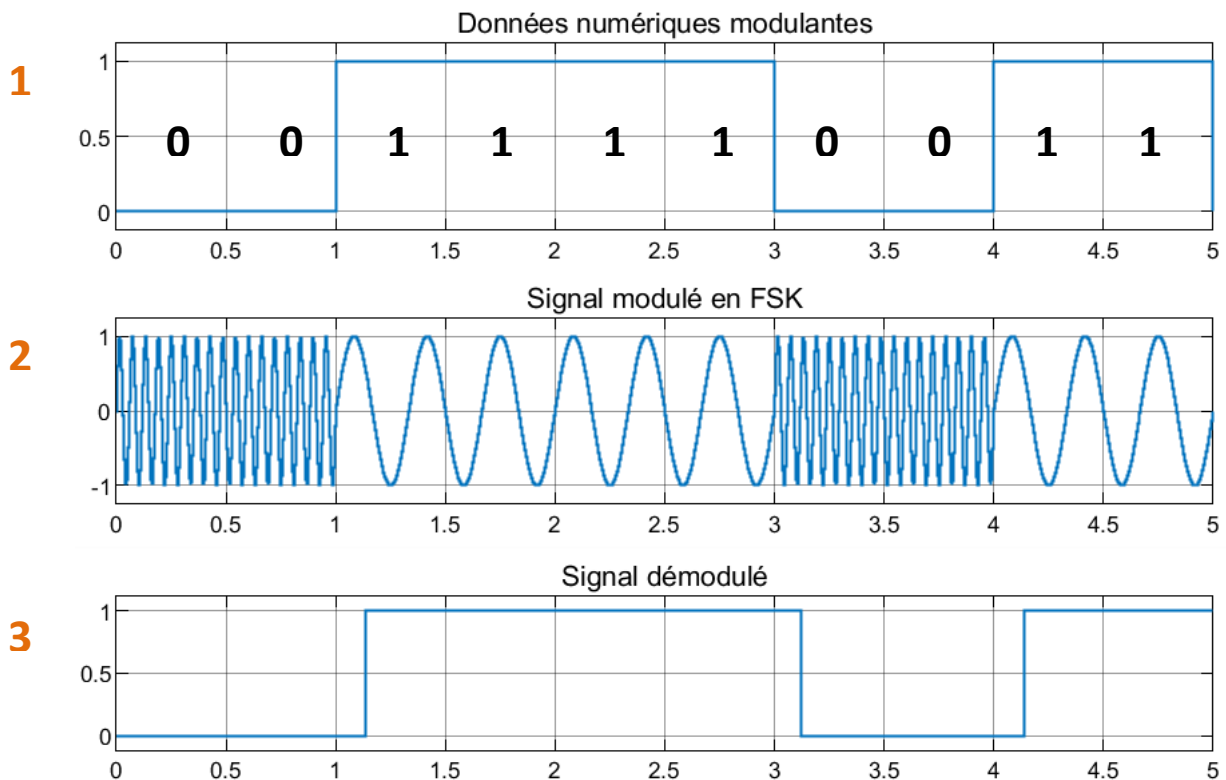
Cette modulation s'appelle la **modulation FSK** (pour Frequency Shift Keying).



La fréquence de la porteuse est **modulée en fonction des valeurs binaires à transmettre** au cours du temps.

Si on note  $f$  la fréquence de la porteuse et  $\Delta f$  le décalage en fréquence dépendant de la valeur binaire à transmettre alors :

- la valeur binaire **1** est associée ici à une **porteuse de fréquence  $f - \Delta f$**
- la valeur binaire **0** est associée ici à une **porteuse de fréquence  $f + \Delta f$**



### 3. Uniquement pour les curieux : Cas de la modulation numérique LORA

Voir le modèle Matlab / Simulink dans le dossier ressources.