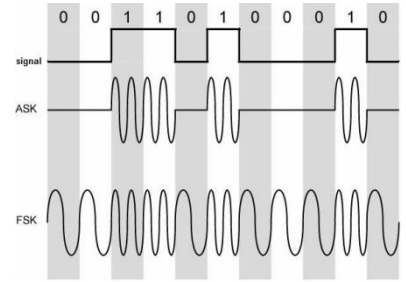


Prérequis :

- ◆ Décomposition d'un signal périodique en série de Fourier
- ◆ Le filtrage

Apports de connaissances

- ✓ Canal de transmission
- ✓ Transmission en bande de base
- ✓ Modulation et démodulation d'amplitude numérique ASK
- ✓ Modulation et démodulation de fréquence numérique FSK



1. La transmission de l'information à distance.

11 Le canal de transmission.

111 Les supports de transmission.

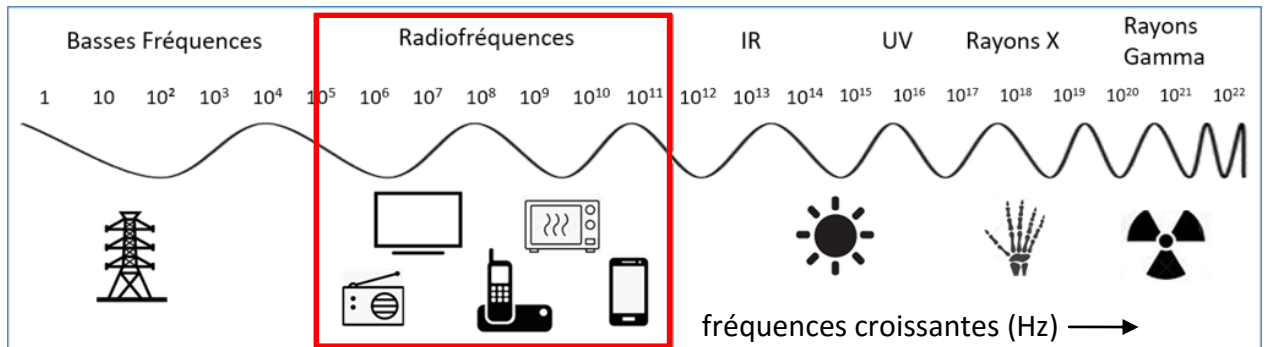
Un **canal de transmission** est un **support physique ou non** permettant la **transmission** d'une certaine quantité d'information, depuis une source (ou émetteur) vers un destinataire (ou récepteur).



On distingue plusieurs **supports de transmission** :

- les **supports guidés** : câbles en cuivre, fibre optique
- les **supports non guidés** (technologies sans fil) : liaison infrarouge (rayons IR), faisceaux hertziens (radiofréquences).

Positionnement des radiofréquences dans le spectre électromagnétique :

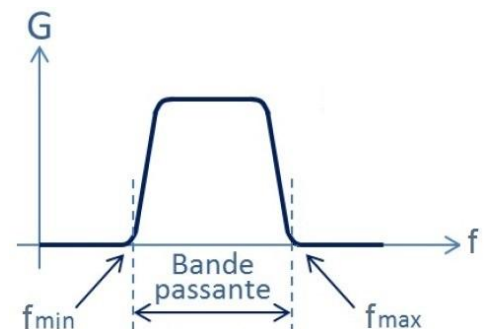


Spectre électromagnétique

112 La bande passante du canal de transmission.

Un canal de transmission se comporte comme **un filtre passe-bande** qui atténue plus ou moins le signal selon sa fréquence d'émission.

La **bande passante d'un canal de transmission** correspond à la bande de fréquences des signaux qui peuvent être transmis sans subir une trop forte atténuation.



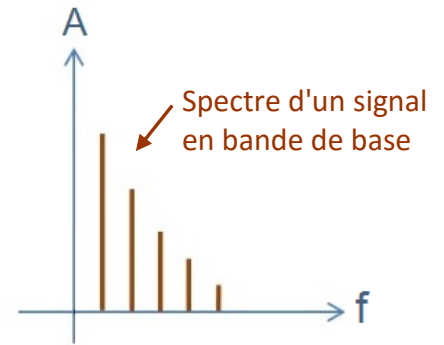
Bande passante d'un canal de transmission

12 Transmission en bande de base et modulation.

121 Transmission en bande de base.

Lorsque l'information est transmise directement sous sa forme initiale (numérique), on parle de **transmission en bande de base**.

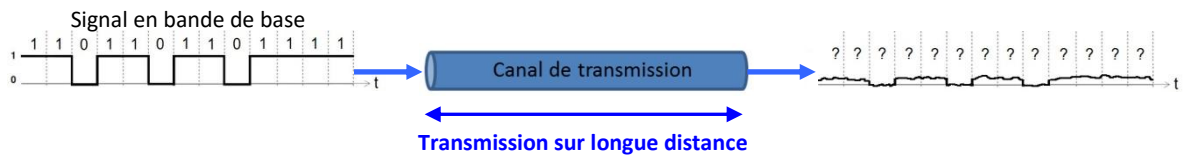
Néanmoins la transmission d'un signal en bande de base **n'est pas adaptée à la transmission sur de longues distances** (comme expliqué au paragraphe suivant).



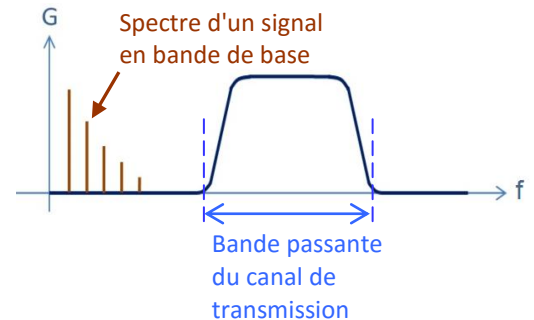
122 Les problèmes de transmission des signaux en bande de base sur de longues distances.

1221 Transmission longue distance en bande de base sur des câbles en cuivre.

Dans le cas où les signaux sont transmis en bande de base sur des câbles en cuivre et sur de longues distances, **on observe une très forte atténuation à l'arrivée.**



Cela s'explique par le fait que le spectre des signaux en bande base est situé en dessous de la bande passante du canal de transmission.



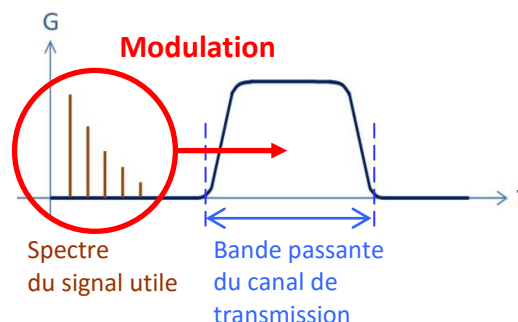
1222 Transmission longue distance en bande de base avec des antennes.

Il y a de nombreux inconvénients à transmettre des signaux en bande de base en utilisant des antennes :

- **mélange irréversible de signaux émis par plusieurs sources**
- **antennes gigantesques** (les dimensions de l'antenne sont liées à la longueur d'onde des signaux émis et donc à leur fréquence qui est basse ici)
- **faible portée** car les antennes sont peu puissantes à ces fréquences (basses ici).

123 Modulation du signal.

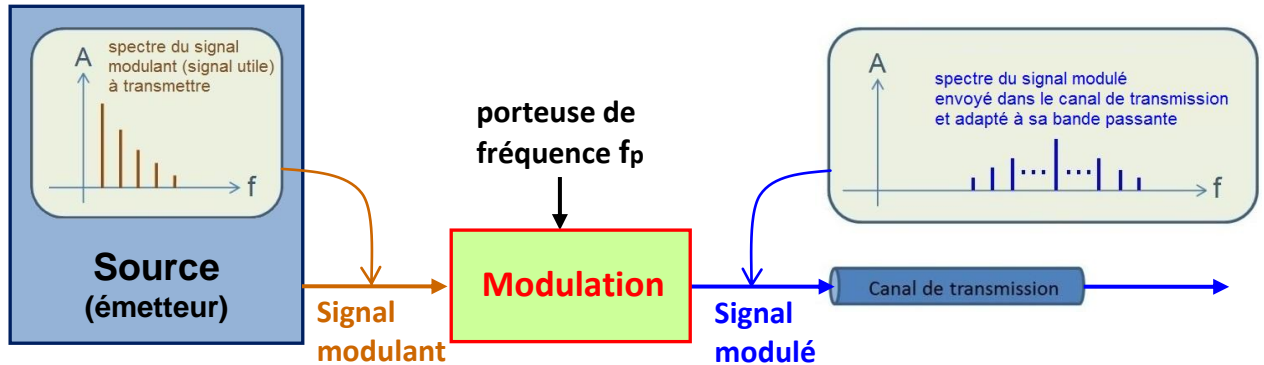
Pour résoudre les problèmes évoqués ci-dessus, **on met en œuvre une technique appelée modulation** qui a pour but de **translater le spectre du signal utile** afin de l'adapter au canal de transmission.



La **modulation** consiste à greffer le signal utile, appelé **signal modulant**, sur un signal haute fréquence, appelé **porteuse**.

Le signal résultant de la transformation de la porteuse par le signal modulant est appelé **signal modulé**.

La porteuse est généralement un signal sinusoïdal défini entre autres, par son amplitude et sa fréquence.



L'objectif de la modulation est donc d'adapter le signal à émettre au canal de transmission.

On réalise cette opération **en modifiant un ou plusieurs paramètres** de la porteuse $s(t)$ dont l'expression mathématique temporelle s'écrit sous la forme :

$$s(t) = A \cos(2\pi f_p t + \varphi)$$

Les paramètres modifiables sont :

- l'**amplitude A**
- la **fréquence f_p**
- la **phase à l'origine φ** .

La modulation peut donc être en **amplitude**, en **fréquence** ou en **phase**.

Dans ce cours seront abordées uniquement la **modulation numérique en amplitude** et la **modulation numérique en fréquence**.

124 Démodulation du signal.

La **démodulation** est l'opération inverse de la modulation. Elle permet de récupérer le signal modulant (signal utile) en séparant celui-ci de la porteuse.

125 La chaîne de transmission numérique.

Le schéma synoptique simplifié d'un système de transmission numérique est donné ci-dessous.

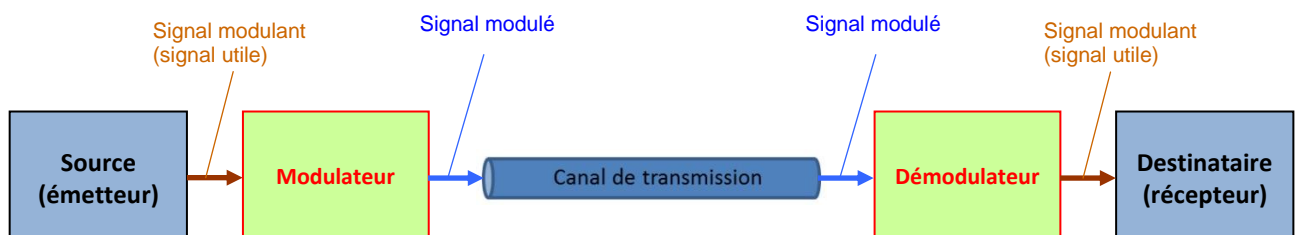


Schéma synoptique simplifié d'un système de transmission numérique

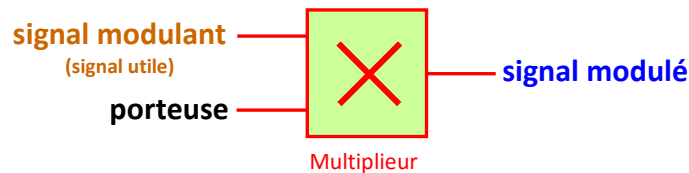
2. La modulation et la démodulation d'amplitude numérique.

21 La modulation d'amplitude.

En **modulation d'amplitude**, le signal modulant (signal utile à transmettre) est utilisé pour **moduler l'amplitude** de la porteuse. La porteuse est un signal sinusoïdal ayant une fréquence f_p beaucoup plus élevée que celle du signal modulant.

Une modulation d'amplitude est généralement réalisée grâce à un **multiplieur**.

Ce circuit électronique multiplie les tensions appliquées à son entrée : le signal modulant et la porteuse, afin de délivrer sur sa sortie une tension proportionnelle à ce produit : le signal modulé.



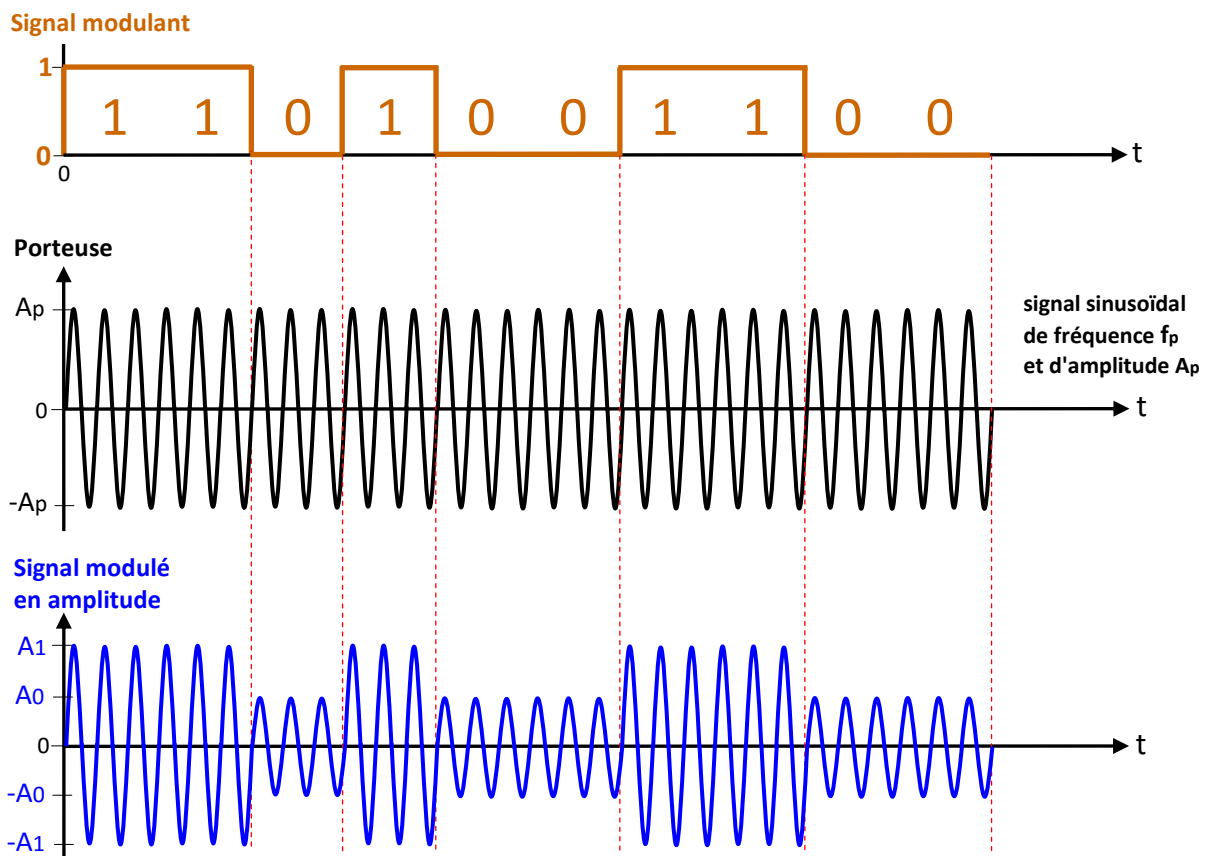
22 La modulation d'amplitude numérique.

Dans le cas d'une **modulation d'amplitude numérique**, le signal modulant est un signal numérique.

221 Modulation d'amplitude ASK (Amplitude Shift Keying).

Dans le cas d'une **modulation d'amplitude 2-ASK**, l'amplitude du signal modulé peut prendre deux valeurs :

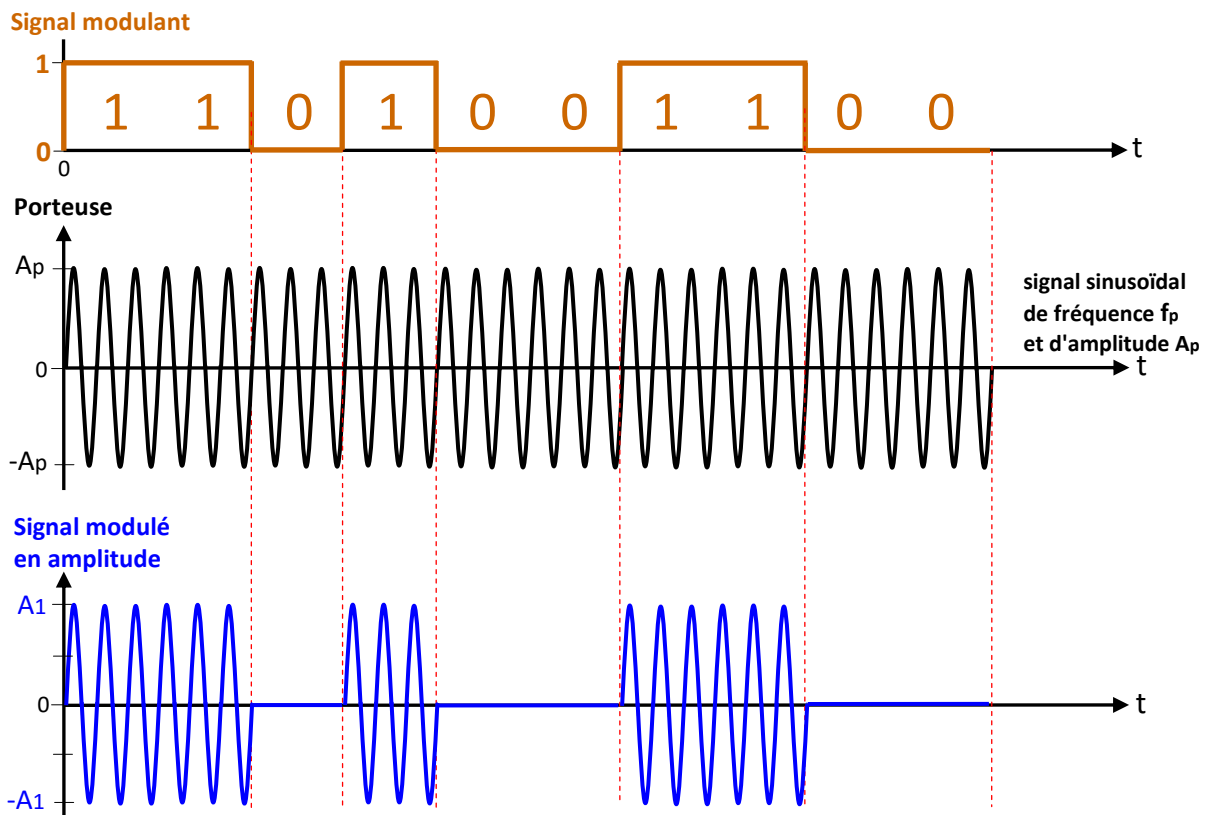
- $A_0 = A_p/2$ lorsque l'on transmet un bit à 0
- $A_1 = A_p$ lorsque que l'on transmet un bit à 1.



222 Modulation d'amplitude OOK (On Off Keying).

Dans le cas d'une **modulation d'amplitude OOK**, l'amplitude du signal modulé peut prendre deux valeurs :

- $A_0 = 0$ lorsque l'on transmet un bit à 0
- $A_1 = A_p$ lorsque que l'on transmet un bit à 1.

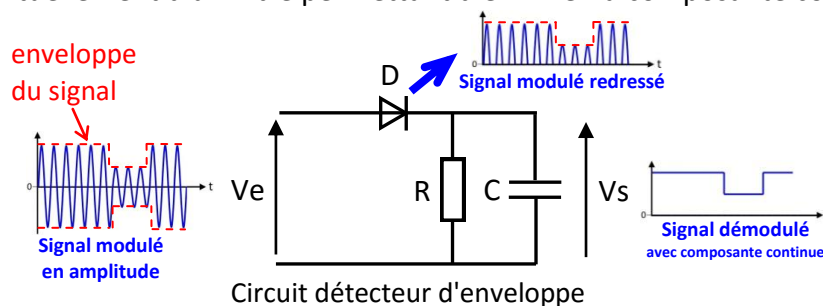


23 La démodulation d'amplitude.

La **démodulation** consiste à récupérer le signal modulant (signal utile) qui est contenu dans la partie supérieure (ou inférieure) de l'enveloppe du signal modulé en amplitude.

Il existe plusieurs types de démodulateur d'amplitude :

- les **démodulateurs à diode** qui utilisent un circuit détecteur d'enveloppe, suivi éventuellement d'un filtre permettant d'éliminer la composante continue



- les **démodulateurs par détection synchrone** qui extraient le signal utile par multiplication du signal modulé par un signal sinusoïdal de fréquence identique à celle de la porteuse, suivi d'un filtrage.

24 Critères de choix d'une modulation d'amplitude.

- Avantage : circuits modulateurs et démodulateurs simples
- Inconvénients : mauvaise immunité face au bruit, rendement énergétique faible.

3. La modulation et la démodulation de fréquence numérique.

31 La modulation de fréquence.

En **modulation de fréquence**, le signal modulant (signal utile à transmettre) est utilisé pour **moduler la fréquence** de la porteuse. La porteuse est un signal sinusoïdal ayant une fréquence f_p beaucoup plus élevée que celle du signal modulant.

Pour réaliser une modulation de fréquence, on peut utiliser un **oscillateur contrôlé en tension** ou **convertisseur tension-fréquence** (en anglais **VCO** : Voltage Controlled Oscillator). Ce dispositif permet de générer un signal sinusoïdal dont la fréquence varie autour d'une fréquence porteuse de référence et ce en fonction de la tension appliquée à son entrée, à savoir le signal modulant.



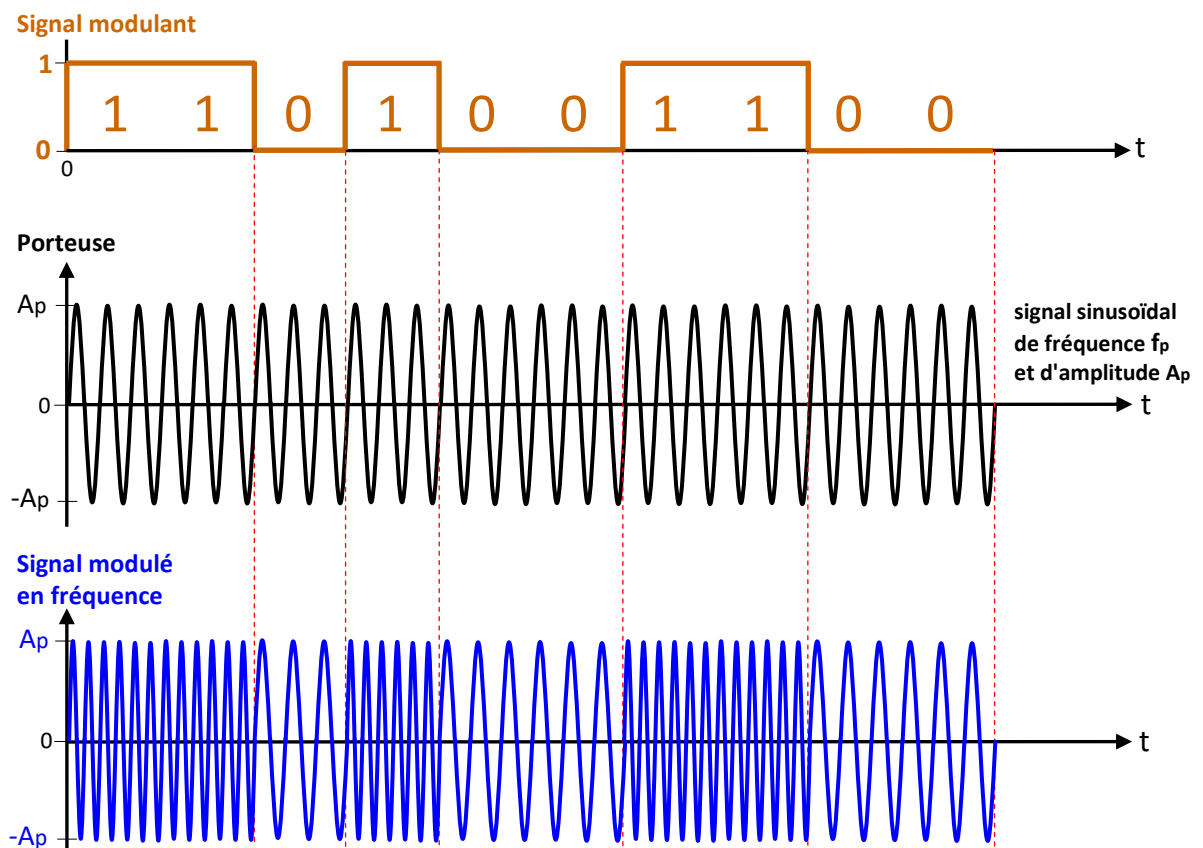
32 La modulation de fréquence numérique.

Dans le cas d'une **modulation de fréquence numérique**, le signal modulant est un signal numérique.

321 Modulation de fréquence FSK (Frequency Shift Keying).

Dans le cas d'une **modulation de fréquence FSK**, la fréquence du signal modulé peut prendre deux valeurs :

- $f_0 = f_p$: fréquence de la porteuse lorsque l'on transmet un bit à **0**
- $f_1 = 2 \times f_p$: double de la fréquence de la porteuse lorsque l'on transmet un bit à **1**.



33 La démodulation de fréquence.

La **démodulation** consiste à récupérer le signal modulant (signal utile) qui est contenu dans le signal modulé.

Il existe plusieurs types de démodulateurs de fréquence :

- les **démodulateurs par discriminateur** dont le principe est de transformer d'abord la modulation de fréquence en modulation d'amplitude, puis d'effectuer ensuite une détection d'enveloppe
- les **démodulateurs à quadrature** (ou démodulateurs à coïncidence) qui utilisent des circuits déphaseur, multiplicateur et filtre passe-bas.
- les **démodulateurs à boucle de verrouillage de phase** (PLL : Phase-Locked Loop en anglais) qui mettent en œuvre un asservissement de phase.

34 Critères de choix d'une modulation de fréquence.

- Avantages : excellente immunité face au bruit et excellent rendement énergétique
- Inconvénient : circuits modulateurs et démodulateurs complexes.