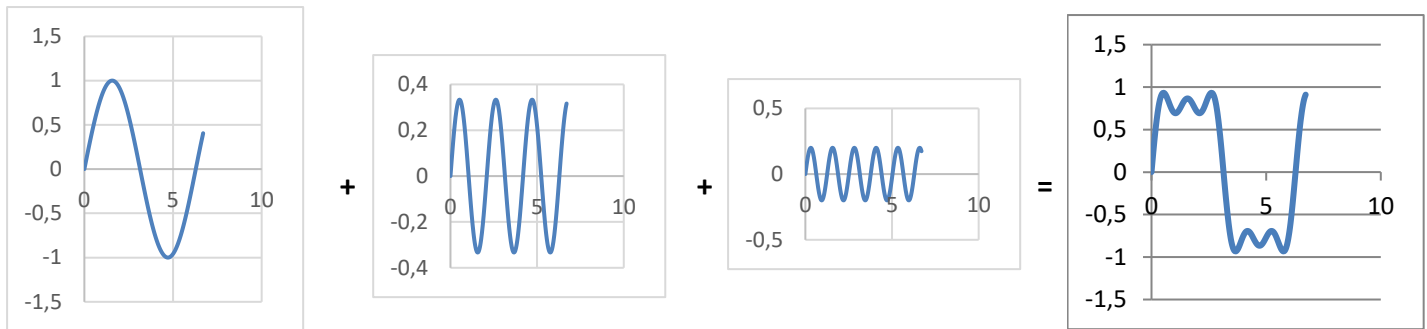


1 Rappel

Tout signal périodique peut être décomposé en somme de signaux sinusoïdaux (Théorème de Fourier).



Fondamentale

3^{ème} harmonique

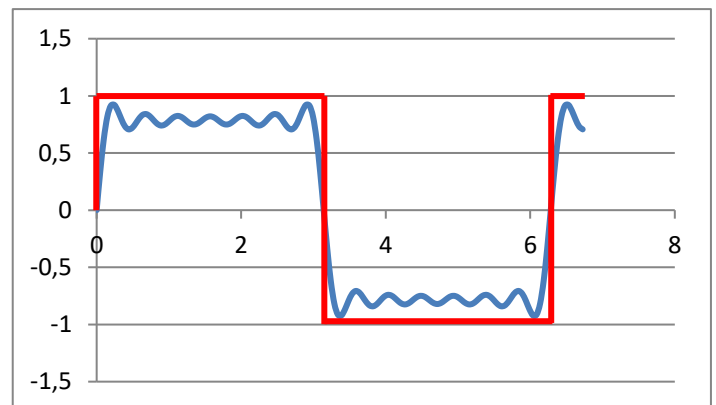
5^{ème} harmonique

Résultat

Avec les harmoniques impaires de 3 et 13, un signal carré commence à se dessiner.

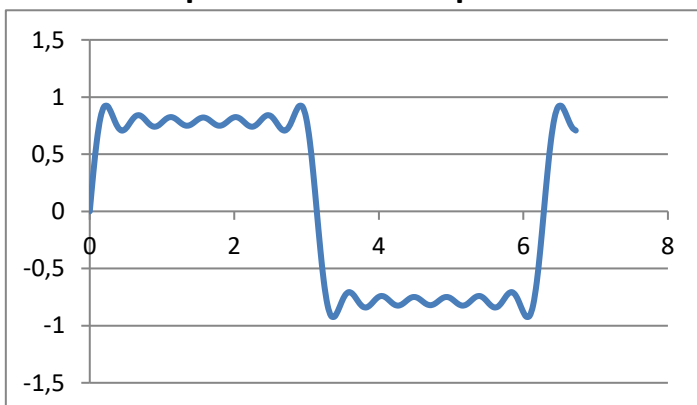
Caractéristiques de ce signal carré :

- $Y_{max} = 1$
- $Y_{min} = -1$
- $Y_{càc} = 2$
- $Y_{moy} = 0$
- $Y_{eff} = 1$
- Signal périodique de période T
- $T = 2 \times \pi \approx 6,2832$
- $f = 1/T \approx 0,15915$

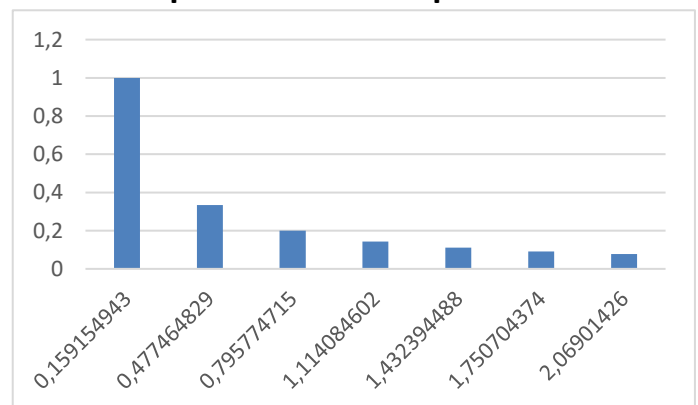


Equation : $y = \sin(x) + (1/3) \cdot \sin(3x) + (1/5) \cdot \sin(5x) + (1/7) \cdot \sin(7x) + \dots + (1/n) \cdot \sin(nx)$ n est un entier impair

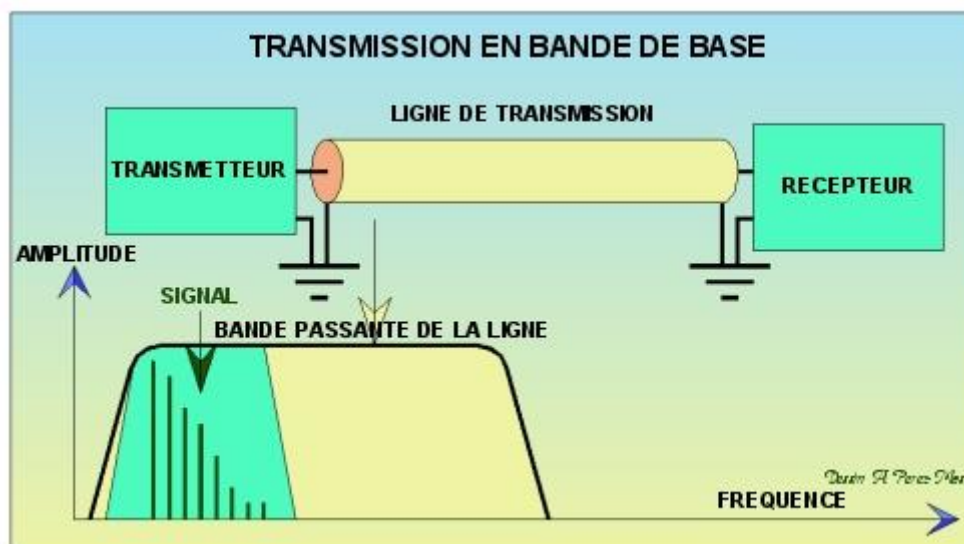
Représentation temporelle



Représentation fréquentielle



2 Transmission en Bande de Base



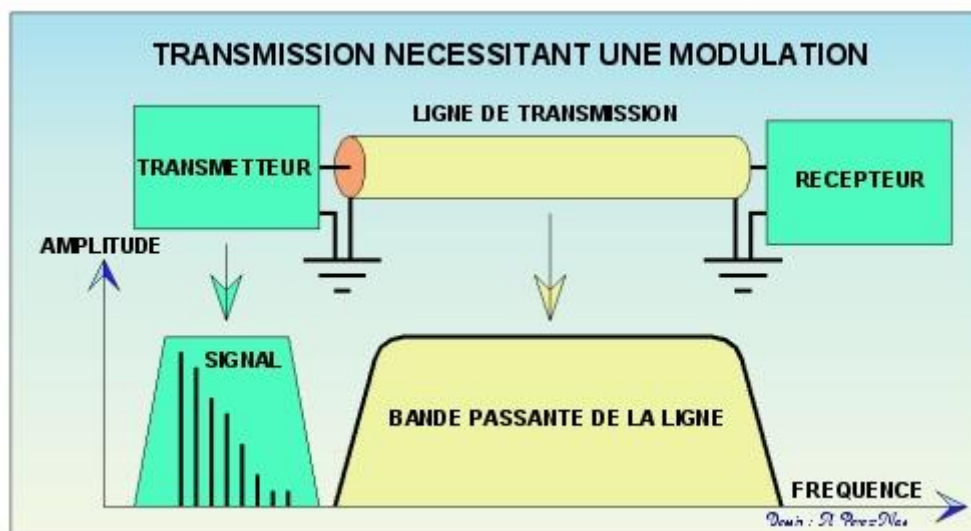
Dans la plupart des cas, les harmoniques supérieures à un certain rang peuvent ne pas être transmises sans qu'on note une altération inacceptable du signal.

Les harmoniques d'un signal transmis sur une ligne sont diversement atténués, suivant leur fréquence, par la **bande passante** de la ligne.

Si l'ensemble des harmoniques utiles du signal à transmettre se situent dans la bande passante de la ligne que l'on souhaite utiliser, on peut appliquer ce signal directement à l'entrée de la ligne. Il sera transmis sans atténuation notable à l'autre extrémité.

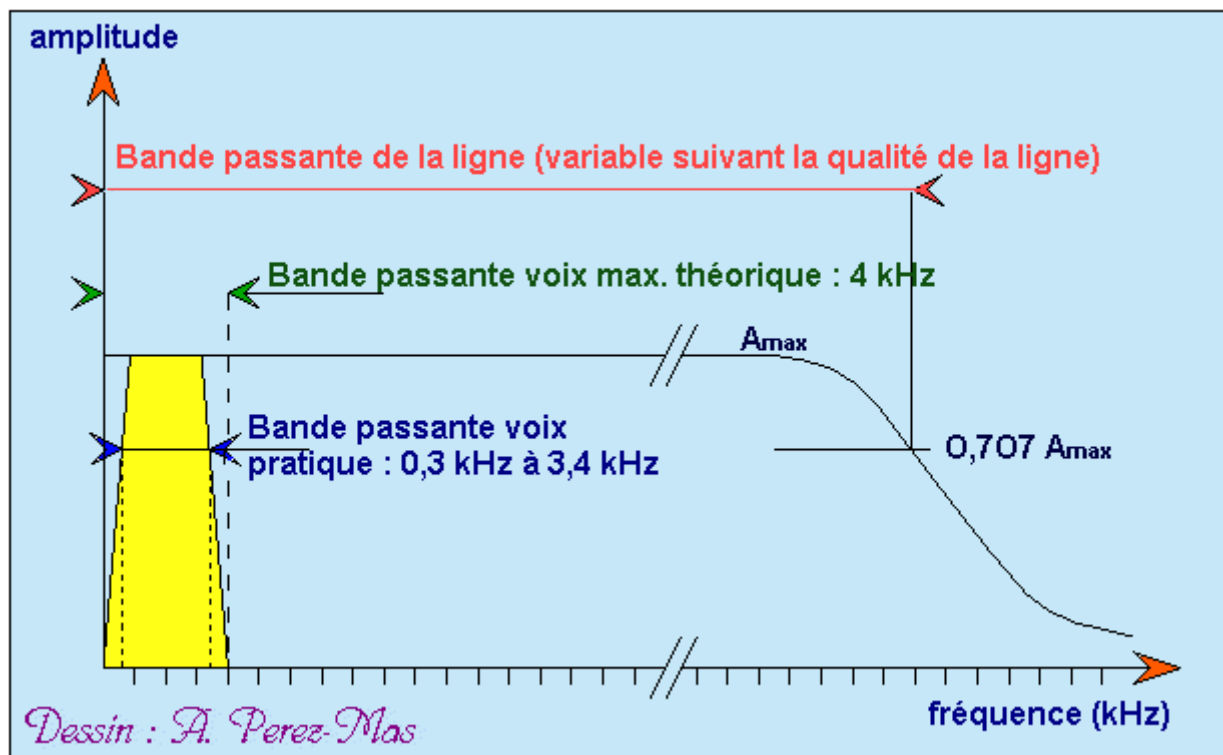
C'est ce que l'on appelle une **transmission en bande de base**.

3 Transmission en Large Bande



Si les ou des harmoniques du signal se trouvent en dehors de la bande passante de la ligne, il faut utiliser d'autres modes de transmissions : **la modulation**.

3.1 Exemple 1 : Téléphonie classique



Les installations téléphoniques domestiques d'abonné, ainsi que la plupart des liaisons entre abonnés et centraux téléphoniques sont câblées à l'aide de paires métalliques (une par ligne téléphonique) dites **paires téléphoniques à continuité métallique**.

Ces lignes ont une bande passante pouvant atteindre 1 à plusieurs MégaHertz suivant leur qualité et leur longueur.

Or, une conversation téléphonique (ce qu'on appelle un canal voix) a une bande passante théorique admise maximale de 4 kHz. Beaucoup moins en pratique.

Comme cette dernière est bien inférieure à la bande passante d'une paire, le signal électrique représentant la voix téléphonique va pouvoir être appliqué tel quel sur l'une des extrémités du fil. Il parviendra intégralement à l'autre extrémité.

Nul besoin d'une opération de modulation dans ce cas.

D'ailleurs, même le son HiFi (Bande Passante : 20 kHz en mono et 40 kHz en stéréo) passerait fort bien dans ces lignes téléphoniques si elle n'était pas bridée par les centraux.

La raison pour laquelle la voix téléphonique est limitée à un maximum théorique de 4 kHz est que dans les voies entre centraux, elle est multiplexée, sur le même support de transmission avec de très nombreux autres canaux téléphoniques de même bande passante provenant des autres abonnés, et que l'ensemble occuperait une bande passante qui excéderait celle des câbles inter-centraux, pourtant de grande qualité.

Ces multiplexages furent jadis analogiques, ils sont aujourd'hui numériques.

3.2 Exemple 2 : Radiodiffusion

Le support de transmission des émissions radio et de la télévision se fait certes actuellement en partie par câbles métalliques ou en fibre optique. Il ne faut cependant pas oublier que la plupart de ces émissions se font actuellement encore par le support Hertzien.

Une antenne d'émission diffuse un signal électromagnétique capté par des antennes de réception à grande distance.

Or, si on appliquait directement sur l'antenne un signal tel que la voix humaine (entre 200 et 1000 Htz) celui-ci aurait du mal à se propager (quelques centimètres seulement).

Seules les hautes fréquences se propagent loin. Pour la télévision, par exemple, les fréquences porteuses sont de l'ordre de 600 à 800 MégaHertz. Le spectre des harmoniques de la voix humaine est totalement en dehors de ces bandes.

Or, vous constatez tous le jours que non seulement la voix, mais l'image animée sont également transportées.

L'émission de ce type de signaux est précédée par une opération dite de **Modulation**.

4 Modulation

4.1 Définition

On appelle **modulation** toute opération s'appliquant à un signal porteur d'information et qui permet, suivant les applications :

- De transmettre ce signal ainsi transformé, sur une ligne ou un canal de transmission dont la bande passante est inadéquate pour transmettre le signal initial tel quel.

Les signaux électriques de basse fréquence correspondant aux sons ou à la vidéo sont incapables de se propager dans l'air ou le vide sur des longues distances. Alors que des variations de courants de haute fréquence peuvent se propager très loin. On module ces porteuses de haute fréquence par les signaux sonores ou vidéo qu'on démodule à leur arrivée dans les récepteurs.

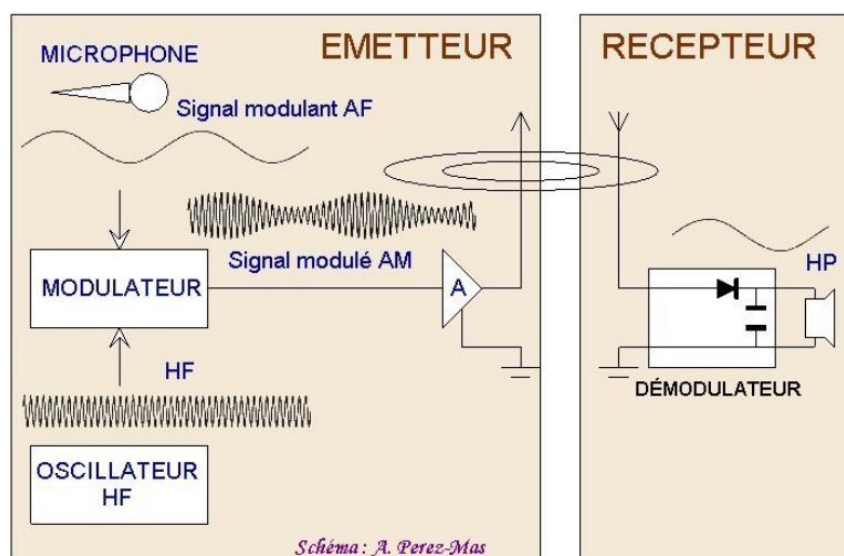
- De transmettre sur un même support de transmission (ligne métallique ou canal hertzien) plusieurs signaux indépendants tout en conservant la possibilité de les séparer à l'arrivée. On appelle cela le **multiplexage** de divers signaux.

De très nombreuses conversations téléphoniques simultanées peuvent être transmises sur un seul câble entre deux centraux.

Ou encore la radiodiffusion ou la télévision hertziennes dont d'innombrables émetteurs diffusent leurs ondes sur le même support : l'espace hertzien.

4.2 Procédés

On a recours à un signal sinusoïdal dit : **Porteuse** choisi de telle fréquence qu'il convienne à la transmission dans le support ou canal choisi et on rend l'une de ses caractéristiques (amplitude, fréquence ou phase) proportionnelles au signal à transmettre. A l'arrivée, on extrait le signal de la porteuse (**Démodulation**).



5 3 types de modulation

Que veut dire "moduler" une "porteuse" par un signal ?

D'abord on génère une sinusoïde pure de fréquence assez élevée pour être largement contenue dans la bande passante du support de transmission.

Cette sinusoïde s'appellera désormais la **porteuse** : 'carrier' en anglais

$$A \times \sin(2\pi Ft + \Phi)$$

On lit souvent : "Porteuse HF" (Haute Fréquence) pour souligner la différence avec le signal à transporter dont la fréquence est bien inférieure.

Ce signal transporté est souvent qualifié de BF (Basse Fréquence) ou AF (AudioFréquence) s'il s'agit de sons.

Comme toute sinusoïde, la porteuse peut être définie par trois paramètres :

- son amplitude "A",
- sa fréquence "F",
- sa phase 'Phi '

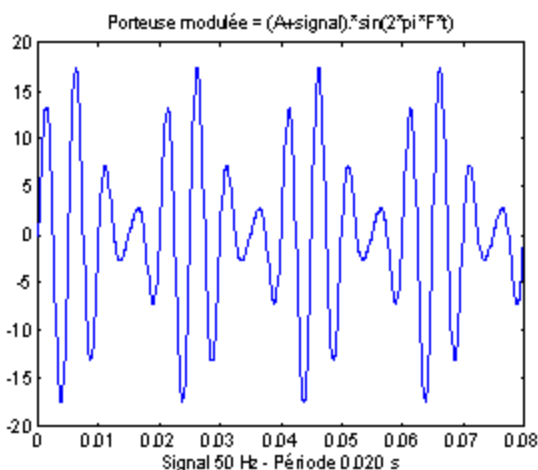
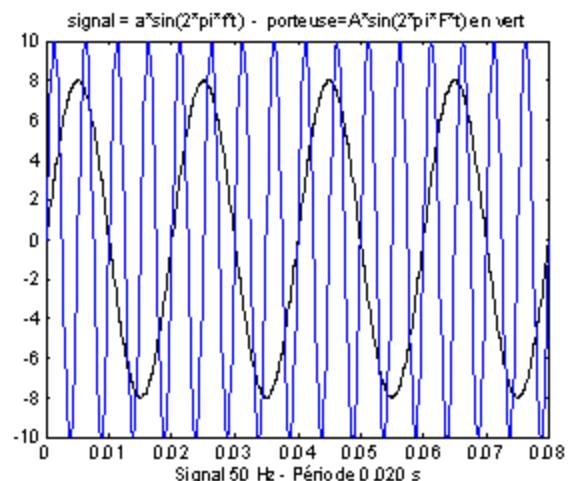
Chacun des trois paramètres de la porteuse (A, F, Phi) peut être séparément rendu proportionnel au signal à transmettre. Ce qui donne lieu aux trois types fondamentaux de modulation :

- **Modulation d'Amplitude**
- **Modulation de Fréquence**
- **Modulation de Phase**

5.1 Modulation d'amplitude

Signal analogique

D'abord le signal initial ($f = 50$ Hz) et la porteuse ($F = 200$ Hz) séparément sans modulation du second par le premier ►

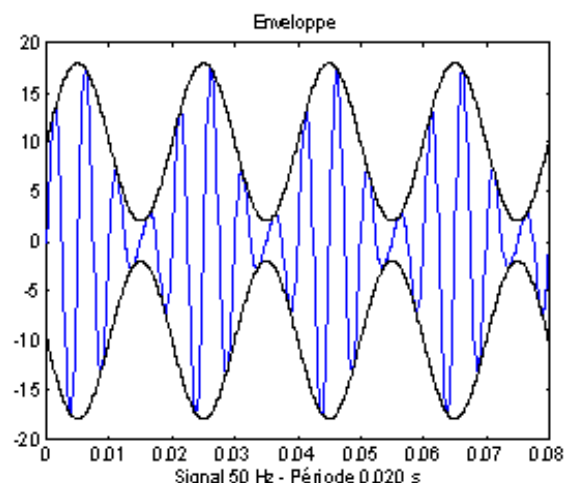


◀ Ensuite la même porteuse modulée par le signal.

Mis en évidence de l'enveloppe de modulation ►

La fonction tracée est :

$$S_n = [A + a \sin(2\pi ft + \varphi)] \times \sin(2\pi Ft + \Phi)$$

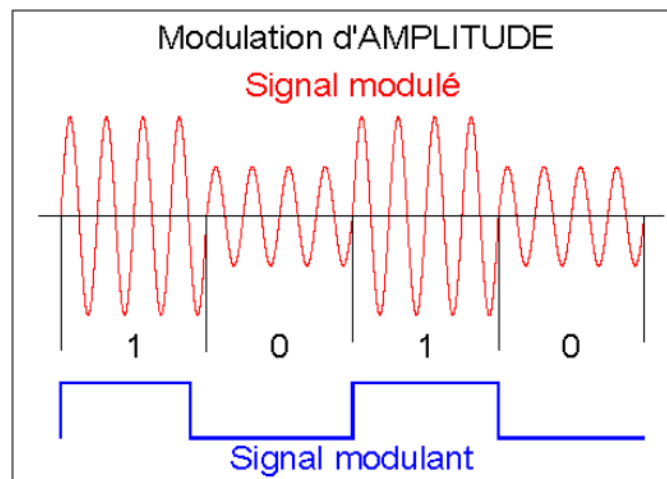


Signal numérique : modulation d'amplitude ASK

ASK = *Amplitude Shift Keying* (Shift = déplacement, keying = codage)

Voici un exemple de modulation ASK d'une porteuse sinusoïdale par un signal numérique binaire.

Valence	2
Nb. de bits transmis par symbole	1
Rapidité de modulation	R(en Bd)
Débit binaire	R(en bps)



Symboles. Chaque "train" de sinusoïdes représentant ici un **nombre binaire** de 1 bit (0 ou 1 suivant la fréquence des sinusoïdes).

Ces "trains" de sinusoïdes ont tous la **même durée T**.

Valence. Dans ce type de modulation, chaque symbole peut représenter l'une des **deux** valeurs : 0 ou 1. C'est un symbole **bivalent**. (**Valence = 2**)

Rapidité de modulation. La durée T de ces symboles étant égale leur fréquence $1/T$ (nombre de symboles par seconde) est la évaluée en **Baud**.

Débit binaire : Dans ce cas particulier de modulation : Débit binaire en bps = Rapidité de modulation $\times 1$

Voici une autre manière d'utiliser la modulation d'amplitude pour transmettre des signaux binaires.

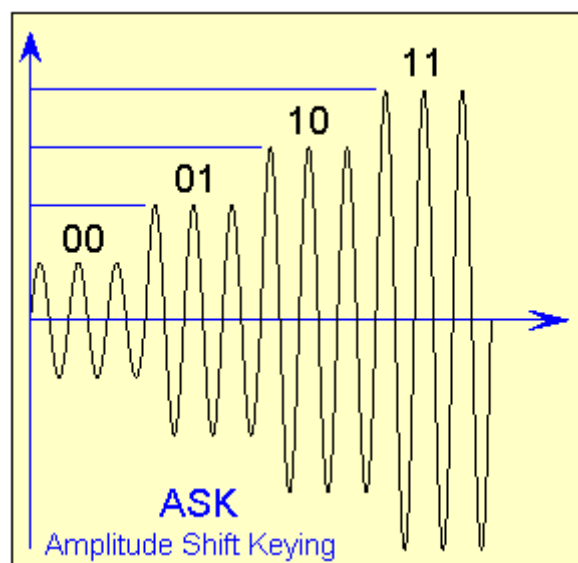
C'est un système "quadrivalent" (valence 4) chaque élément de représentation - dit "symbole" - pouvant prendre 4 valeurs :

00 01 10 11.

correspond non plus à deux états binaires mais quatre.

Ce qui permet de doubler la vitesse de transmission par rapport au système bivalent précédent)

Valence	4
Nb. de bits transmis par symbole	2
Rapidité de modulation	R(Bd)
Débit binaire	$2 \times R(\text{b.p.s.})$



5.2 Modulation de fréquence

Elle a été la première modulation utilisée dans les premières transmissions numériques sur le réseau téléphonique.

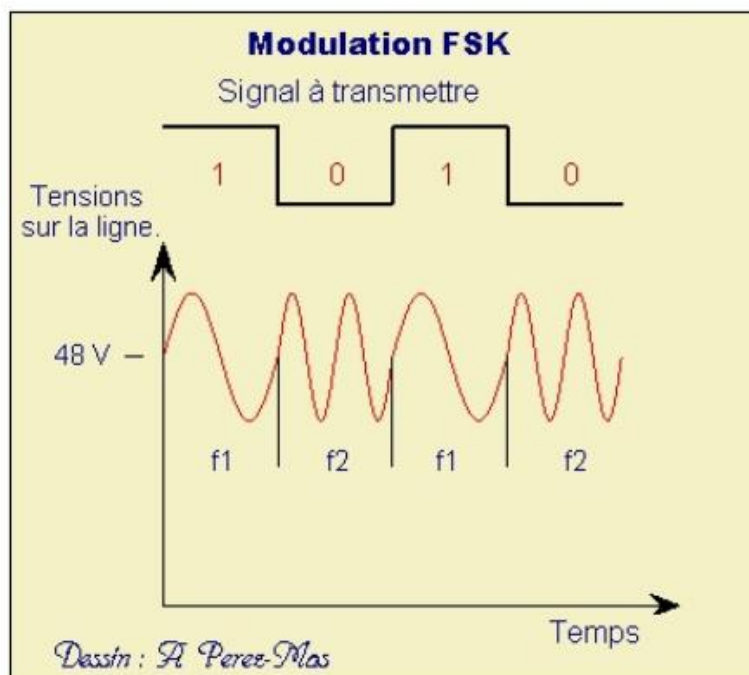
Ce réseau RTC fut jadis créé pour transmettre seulement les sons et la voix. Les lignes étaient incapables de transmettre directement un signal binaire à deux tensions représentant 0 et 1. En effet, elles "passaient" très

mal le continu et les basses fréquences vu qu'elles mettaient en oeuvre des éléments inductifs tels que des transformateurs et des bobines en ligne pour compenser les pertes et améliorer la portée.

A chacune des extrémités de la ligne on plaçait un MODEM (MODulateur-DÉModulateur), appareil qui réalisait la modulation de type FSK au départ et la démodulation à l'arrivée.

Les fréquences f_1 et f_2 (300 Hz à 3200 Hz) furent choisies à l'intérieur de la bande passante de la ligne (30 Hz- 4 kHz).

Valence	2
Nb. de bits transmis par symbole	1
Rapidité de modulation	R(Bd)
Débit binaire	R(b.p.s.)



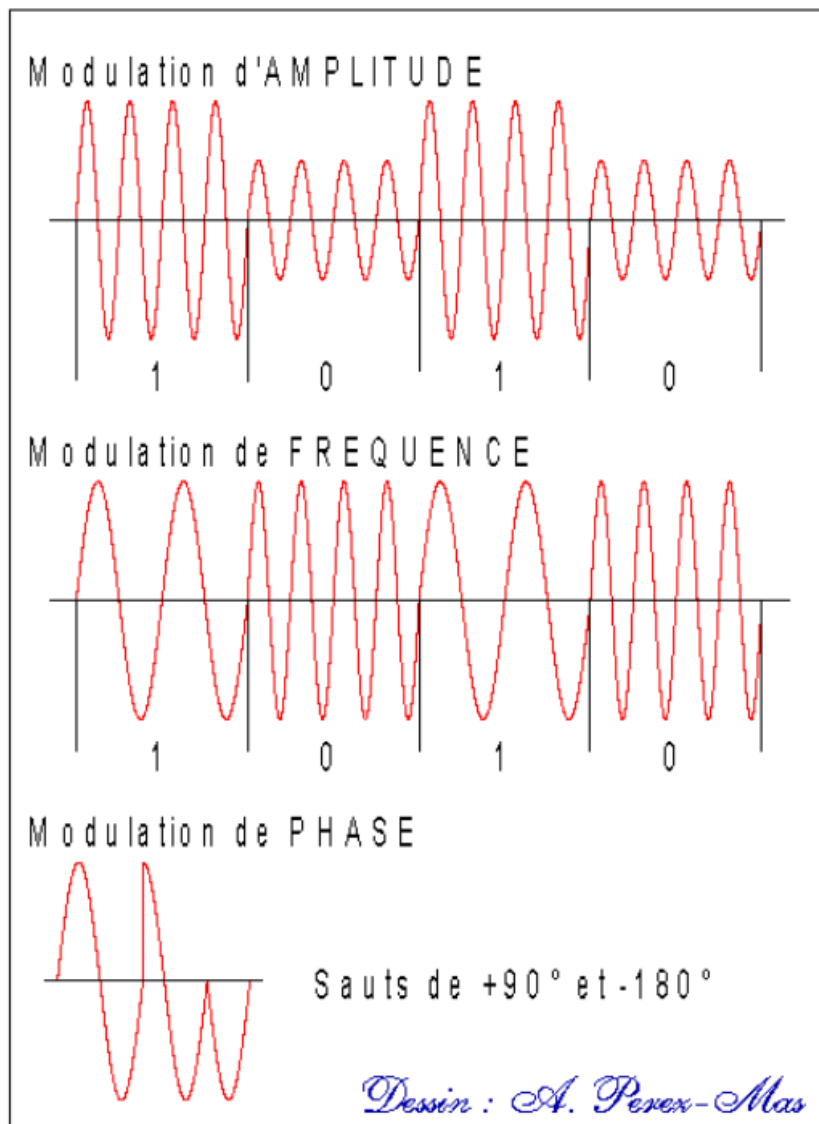
FSK = *Fréquence Shift Keying*
Modulation par changement de fréquence

5.3 Résumé

Remarque :

Seules les deux dernières offrent de réels avantages.

La première est trop sensible aux perturbateurs radioélectriques.



5.4 Modulations composites

Pour les besoins des transmissions modernes, en particulier pour la télévision et les transmissions numériques à haut débit, ont été mises au point des méthodes de modulation combinant plusieurs des trois types de base de modulations que nous venons de décrire très succinctement.