

Modulation

1°) Les audiofréquences

Les sons se propagent dans l'air à la vitesse de 300m/s, ce sont des variations de pression de l'air qui de proche en proche se dirigent vers notre tympan. La gamme des fréquences audibles s'étend de 50 Hz (les plus graves) à 16000Hz environ (les plus aiguës).

Dans le domaine radioamateur, c'est le contenu du message qui importe, le signal **BF (basses fréquences)** ou **AF (audiofréquences)** est filtré, et on se contente donc de n'en transmettre qu'une bande de **3kHz** environ (pour les fréquences inférieures à 30 MHz et 7,5 kHz pour les bandes supérieures). Ce faible encombrement spectral va permettre de faire tenir côte à côte un plus grand nombre de stations, la largeur des bandes allouées aux radioamateurs n'étant pas infinie (200 kHz pour la bande des 40m par exemple).

2°) Comment transmettre une information par radio ?

Les **audiofréquences** (AF) ne sont pas rayonnées par une antenne (à 3kHz, la longueur d'onde serait de 100km – vous pouvez vérifier. La taille de l'antenne étant reliée à la longueur d'onde, on ne pourrait pas construire de telles antennes.

Les radiofréquences (RF) ($f > 100\text{kHz}$) sont rayonnées.

Les radiofréquences serviront donc de **support de l'information** à transmettre. Il faut **moduler** le signal radiofréquences (RF) par le signal audiofréquence (AF). A la réception, le signal RF sera démodulé, les signaux HF et AF seront séparés.

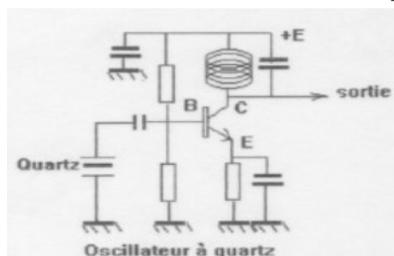
Dans le cas particulier de la transmission **A1A (code morse ou CW)**, le signal RF est transmis à un certain rythme, le récepteur va réagir en produisant une note audible des l'apparition du signal RF. Ce type de modulation est appelée **tout ou rien**.

3°) Génération d'un signal radiofréquence, les différents types d'oscillateurs

En audiofréquences, il est fréquent, lors du branchement d'un micro d'entendre un sifflement aigu, c'est l'effet Larsen, une partie du signal issu du haut parleur est réinjectée dans le micro, et ressort amplifiée et ainsi de suite. L'amplificateur oscille.

Un oscillateur est un amplificateur dans lequel une partie du signal de sortie est réinjectée en phase à l'entrée (on dit que le système est bouclé).

Il existe différents types d'oscillateurs, Colpitts, Hartley (voir l'abondante documentation sur le net). D'autres types sont signalés ci-dessous.



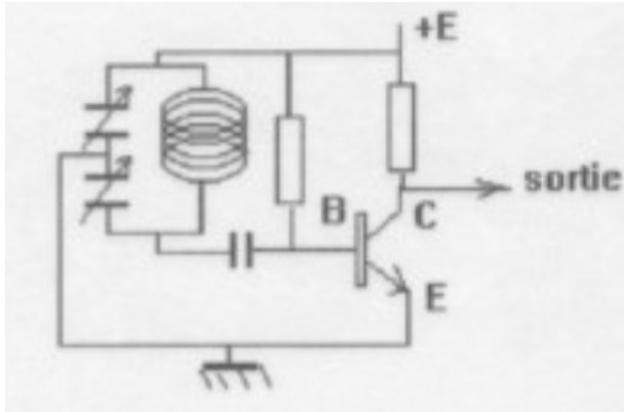
a) L'oscillateur à quartz (VXO)

Il oscille à une **fréquence fixe**, (celle du quartz)
Un quartz est un constitué d'une lamelle de roche (le quartz), coincée entre deux lamelles métalliques. Si une tension alternative est appliquée à ses bornes, il

se dilate et se contracte . Si la fréquence appliquée est sa fréquence propre de résonance, *l'oscillation est très stable*.

On peut également obtenir à partir d'un seul quartz, en réglant convenablement le circuit LC de sortie un multiple de la fréquence propre du quartz.

b) le VFO (variable frequency oscillator)



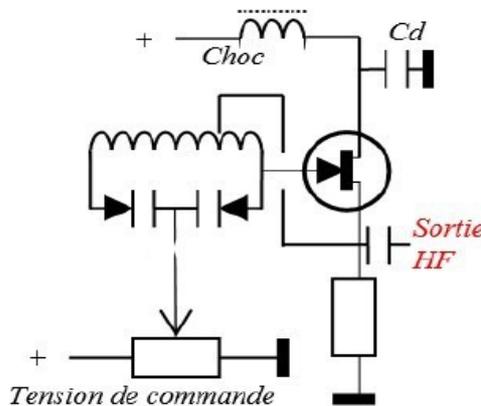
Le double condensateur (les deux cages sont liées) permet de changer la fréquence d'oscillation.

La stabilité dépend de la qualité et des variations de température des composants utilisés, des variations de tension de l'alimentation et du blindage pour éviter les effets de main. Afin d'éviter que le signal ne se propage via les fils d'alimentation, il faut découpler efficacement avec des condensateurs (qui vont diriger la HF vers la masse).

condensateurs (qui vont diriger la HF vers la masse).

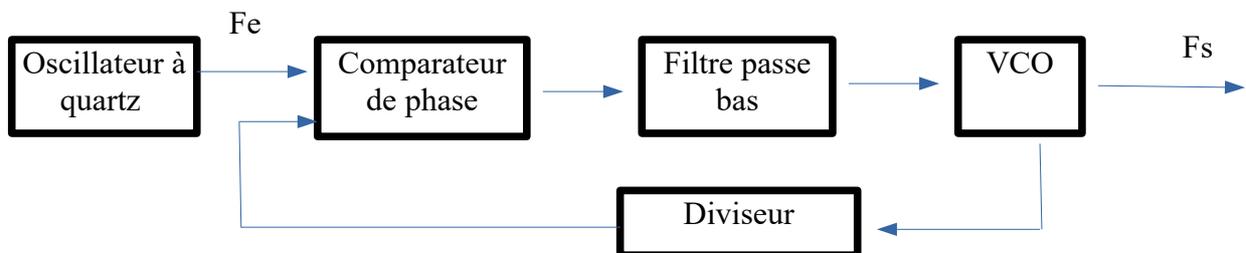
c) le VCO (voltage controlled oscillator)

La fréquence est déterminée par la *tension appliquée à des diodes varicap*.



Une tension continue est appliquée à des *diodes varicap* (elles se comportent comme des condensateurs commandés en tension), la capacité aux bornes de la bobine change et par conséquent la fréquence d'oscillation.

d) Le circuit PLL



Le principe de fonctionnement) d'un **PLL** (de l'anglais : Phase Lock Loop, ou boucle à verrouillage de phase) est le suivant :

Un signal de référence, le VXO (oscillateur à quartz), très stable, est la fréquence d'entrée (F_e), prenons par exemple 1 kHz

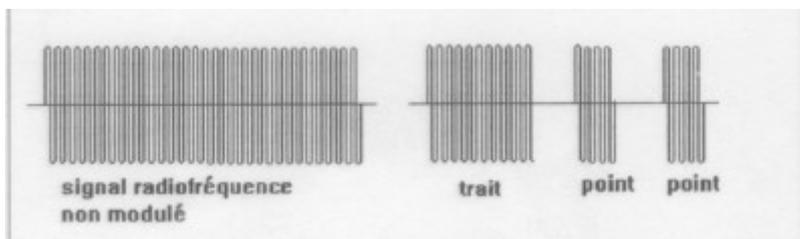
Le VCO génère un signal HF, un diviseur programmable divise sa fréquence par un nombre n que l'on choisit. Prenons pour n par exemple 200.

Le signal à la sortie du diviseur (F_d) est appliqué au comparateur de phase. Tant que F_d n'est pas égal à 1 kHz, le filtre passe-bas (en général un circuit RC) génère une tension continue qui modifie la fréquence du VCO pour l'amener à 200 kHz.

Quand F_s , la fréquence de sortie est égale à 200 kHz, à la sortie du diviseur on trouve bien à 1 kHz, donc égale à la fréquence de référence, le signal F_s ne varie plus.

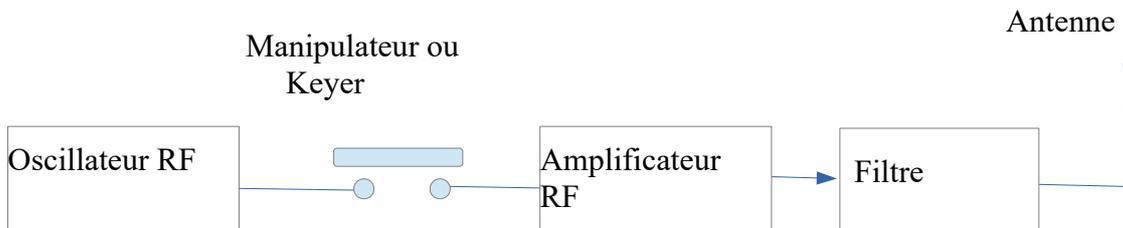
Comparateur de phase et diviseur programmable (microprocesseur, roues codeuses) sont des circuits logiques.

4°) La modulation, en tout ou rien Le Morse ou CW – A1A



L'oscillogramme ci-contre montre un signal radiofréquence sinusoïdal non modulé à gauche. Si on interrompt l'émission régulièrement on peut

émettre des traits et des points. Le trait dure trois fois plus longtemps que le point, l'espace entre traits et points dure le temps d'un point. La succession de points et de trait sera décodée en connaissant le code Morse



Synoptique d'un émetteur CW

Le signal radiofréquence d'un oscillateur réglé sur la fréquence à émettre est transmis à un amplificateur. Le signal est transmis ou interrompu au rythme du manipulateur ou keyer.

Un filtre passe bande réglé sur la fréquence à émettre élimine les produits indésirables, les harmoniques par exemple.

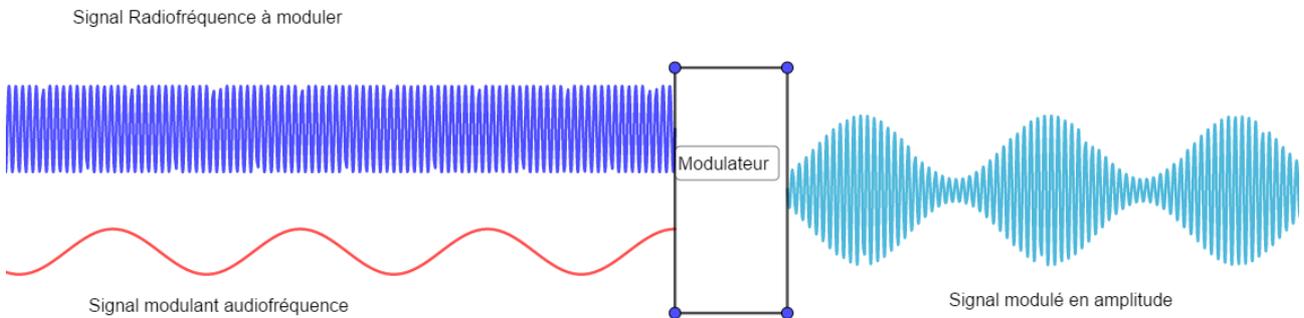
La manipulation CW peut apporter à la réception des piaulements, dus à la stabilité en fréquence et des claquements

5°) La modulation d'amplitude AM ou A3E

Pour introduire ce paragraphe, cliquez sur le lien ci-dessous :

<https://youtu.be/5rUttUA6ol4>

a) le principe



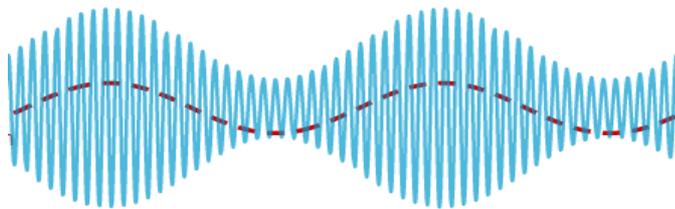
Dans le modulateur (un multiplieur de fréquences) sont introduits deux signaux :

le signal radiofréquence pur (RF), qui ne contient aucune information

le signal audiofréquence (AF) issu d'un micro par exemple, qui contient l'information à transmettre (il a en plus une **composante continue**).

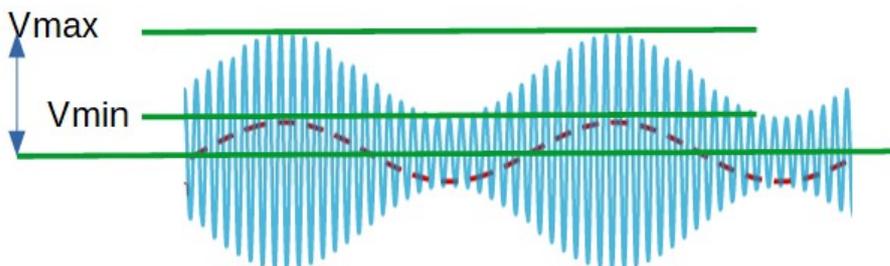
A la sortie du modulateur, le signal est **modulé en amplitude** (qu'il conviendra de démoduler afin d'en extraire l'information).

b) Indice et taux de modulation



On voit ici que la variation l'amplitude du signal modulé ressemble au signal modulant (en rouge)

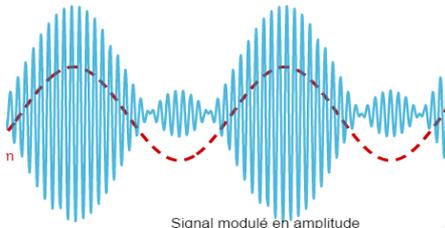
Nous allons définir l'indice et le taux de modulation



L'indice de modulation se définit de la façon suivante :

$$h = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{min}}$$

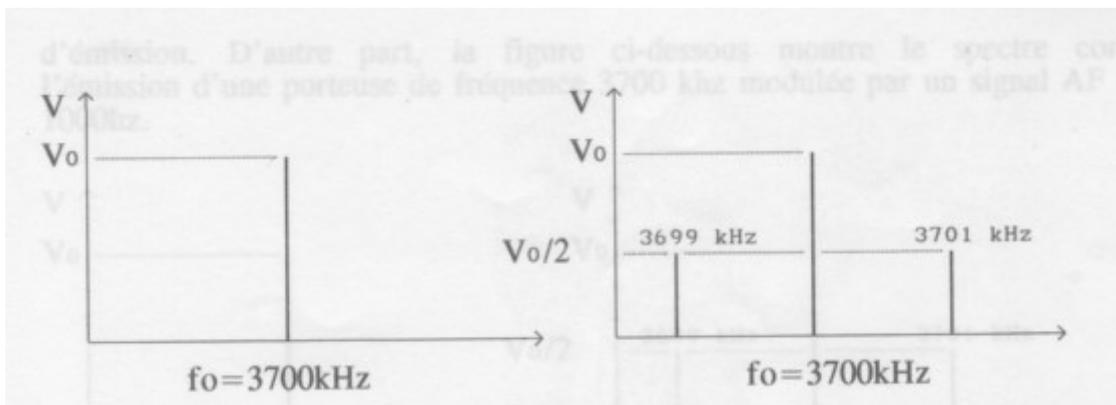
Le taux de modulation est : $T = 100 \times h$ (en%)



Si V_{min} est inférieure à 0, h est supérieur à 1 et le taux T est supérieur à 100 %. Il y a alors **surmodulation**, **distorsion** du signal

$T > 100\%$, surmodulation

c) spectre d'une modulation AM



La figure ci-dessus montre à droite le spectre correspondant à une porteuse de fréquence 3700 kHz modulée en amplitude à 100 % par un signal AF de 1 kHz.

A gauche, la **porteuse pure**, il n'y a qu'une seule **raie** à 3700 kHz.

A droite, après modulation, la porteuse pure est accompagnée de deux raies

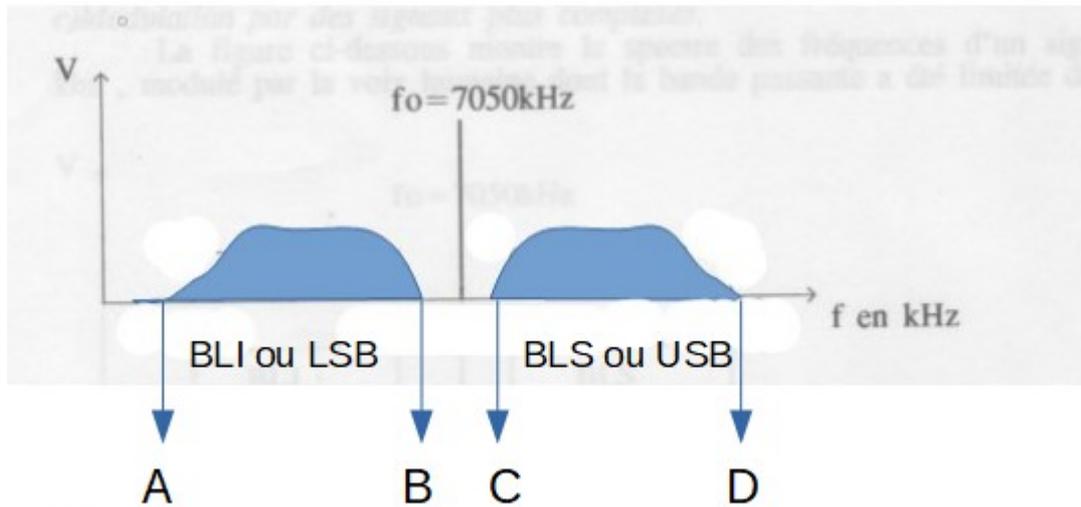
l'une à 3699 kHz ($3700 - 1$)

l'autre à 3701 kHz ($3700 + 1$)

Quand le taux de modulation est 100 %, la tension de chaque raie latérale est la moitié de la raie centrale, on rappelle que la raie centrale ne comporte aucune information. La puissance contenue dans chacune des raies est 25 % de la puissance émise (50% de cette puissance ne contient aucun message). Les deux raies latérales contiennent le même message ;

La largeur de bande occupée par ce signal est 2 kHz ($3701\text{kHz} - 3699\text{kHz}$)

d) Modulation par la voix humaine



A = 7047 kHz B = 7049,7 kHz C = 7050,3 kHz D = 7053 kHz

Nous avons vu par ailleurs que le spectre de la voix humaine s'étend de quelques centaines de hertz à 16 kHz, et qu'il est nécessaire de filtrer ce spectre afin de n'en garder que 3kHz environ (de 300 à 3000 Hz).

Nous observons une porteuse à 7050 kHz et de part et d'autre, deux bandes latérales symétriques qui contiennent la même information, dont la largeur a été ramenée à 3kHz environ

La **bande latérale inférieure (BLI ou LSB)** a un encombrement spectral de 3kHz environ

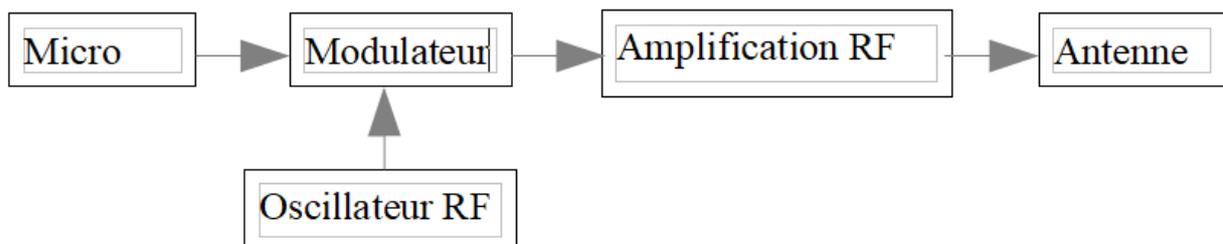
La **bande latérale supérieure (BLS ou USB)** a un encombrement spectral de 3kHz environ également

L'encombrement spectral de ce signal est donc de **6 kHz**

BLI et BLS contient le même message utile.

Si la puissance de la porteuse est 100W, chacune des bandes latérales aura une puissance de 25W. **Le message utile ne représentera que 17 % de la puissance émise (25/150).**

f) synoptique d'un émetteur AM



Le **VFO, oscillateur RF** produit le signal radiofréquence à la fréquence désirée. Le signal est alors appliqué si nécessaire à un multiplicateur de fréquences.

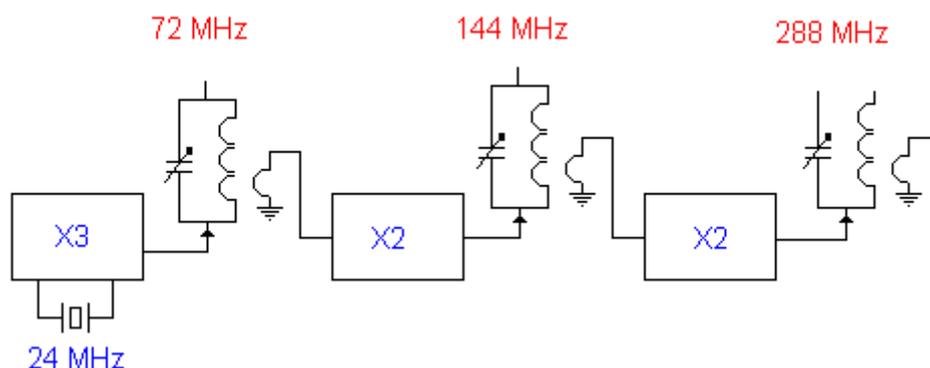
Voici un exemple qui explique le principe d'un **multiplicateur de fréquence** :

- Je veux obtenir une fréquence stable de 288 MHz, je dispose d'un quartz de 24 MHz.

Je le fais osciller et j'applique ce signal à un élément non-linéaire qui va générer des harmoniques.

Le signal en sortie est dirigé vers un circuit RLC accordé sur l'harmonique 3, j'obtiens donc du 72 MHz

Le signal est ensuite doublé—144Mhz puis doublé à nouveau ---j'obtiens donc du 288Mhz



Ce schéma est extrait du site :

<https://radioamateur.org/formation/technique-radio-mel>

Le signal RF est **modulé en amplitude** par le signal AF issu du **micro** après amplification, dans l'amplificateur RF. Le signal modulé est alors amplifié à la puissance recherchée, à la sortie de l'amplificateur, un **filtre passe bande élimine** les fréquences indésirables (harmoniques par exemple)

Remarque : l'AM est sensible aux parasites, un signal indésirable peut augmenter encore l'amplitude du signal et se retrouver en réception.

6°) La BLU (Bande Latérale Unique) ou SSB (Single Side Band)

a) Le principe

L'information dans une émission AM est contenue entièrement dans une des bandes latérales. La BLU consiste à supprimer à l'émission la porteuse et une des bandes latérales qui sont inutiles.

Le mode sera **BLI ou LSB** si la bande supérieure est supprimée

Le mode sera **BLS ou USB** si la bande inférieure est supprimée

b) Pourquoi la BLU

En AM, nous avons vu que seulement de 17 % de la puissance émise est utile. **En BLU 100W émis sont 100W d'information utile**

L'encombrement spectral sera plus faible qu'en AM.

La détection BLU se fait sans détérioration du rapport signal/bruit (en AM ou FM, celui-ci est nettement moins bon après qu'avant la détection).

c) Étude d'un émetteur BLU sur 144 MHz (voir schéma ci-dessous)

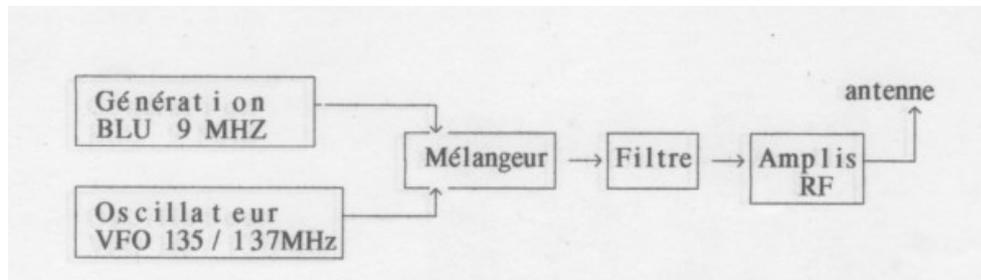


Schéma synoptique d'un émetteur BLU sur 144 MHz

1. *Génération du signal BLU*

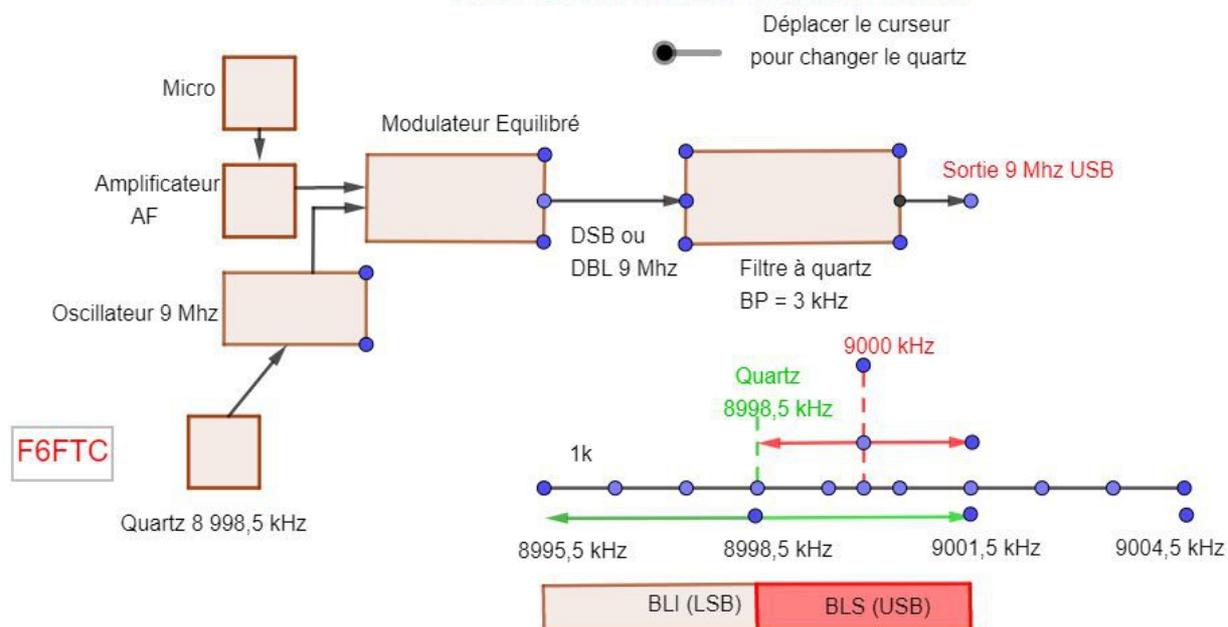
Le signal BLU est généré sur la fréquence 9MHz (fréquence intermédiaire très utilisée)

Le signal AF issu du micro est amplifié dans l'étage AF est mélangé à un signal 9MHz très stable piloté par quartz dans le **modulateur équilibré**. Sans AF, le signal de sortie est pratiquement nul, On obtient un signal DBL (double bande latérale) ou DSB en anglais

Le signal sinusoïdal 9MHz est piloté par deux quartz, un de 8,9985MHz et l'autre de 9,0015 MHz.

Le filtre à quartz, filtre passe-bande à flancs très raides élimine la bande non désirée. Sa bande passante est 3 kHz et sa fréquence centrale 9MHz

GENERATION BLU 9 Mhz



Si on utilise le quartz de 8,9985MHz :

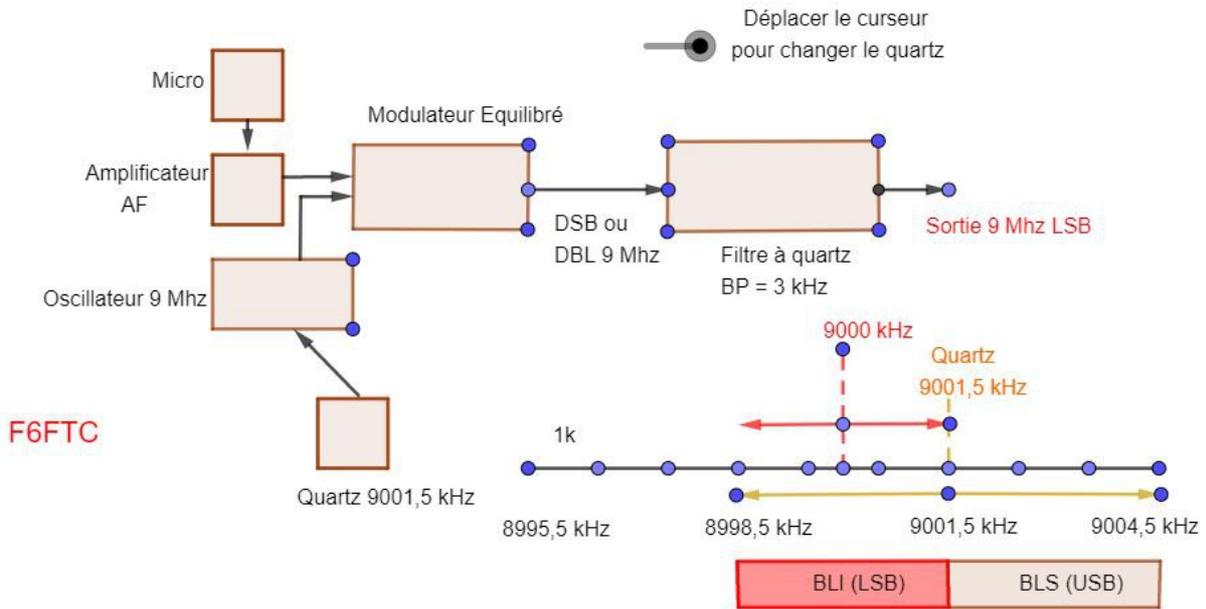
Le modulateur équilibré reçoit à la fois le signal du quartz, 8,9985 Mhz soit 8998,5 kHz, son rôle est d'éliminer la fréquence de la porteuse en ne laissant qu'un signal DBL. Ce signal DBL (double bandes latérales sans porteuse) n'est constitué que les deux bandes latérales LSB (bande latérale inférieure) et USB (bande latérale supérieure. Ces bandes latérales contiennent l'information à transmettre.

Le signal DBL s'étendra de : $8998,5 - 3 = 8995,5$ KHz
à : $8998,5 + 3 = 9,0015$ KHz

Une seule des bandes latérales suffit à recevoir l'information transmise, l'autre est éliminée par le filtre à quartz, centré sur 9MHz, la BLI (LSB) est ainsi éliminée et le filtre ne transmet que la BLS (USB).

Si on utilise le quartz de 9,0015MHz :

GENERATION BLU 9 Mhz



Le signal DBL s'étendra de : $9001,5 - 3 = 8998,5$ kHz

à : $9001,5 + 3 = 9004,5$ kHz

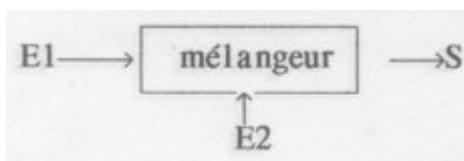
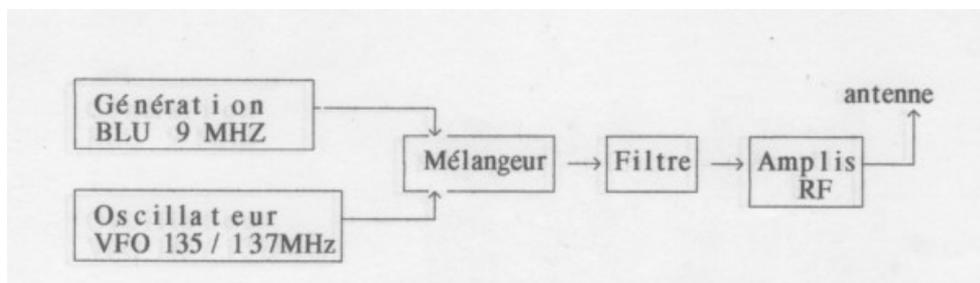
Le filtre à quartz tant centré sur 9MHz, la BLS sera éliminée.

2. Génération du signal 144 MHz

Le signal 9Mz BLI ou BLS est mélangé à un oscillateur très stable dont la fréquence varie de 135 à 137 MHz

3. Le mélangeur

Revenons sur le schéma précédent :



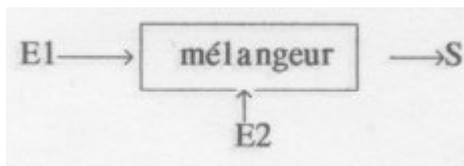
Du générateur BLU sort une des deux bandes latérales. que l'on peut choisir.

Le mélangeur possède deux entrées E1 et E2, et une sortie S.

Le **mélangeur** ci-dessus va donc avoir en entrée E1 un signal SSB $F_1 = 9\text{MHz}$, et un signal entre 135 et 137MHz, et F_0 , l'oscillateur local. Choisissons par exemple 135,2 MHz pour l'oscillateur local. Il sera mélangé avec le signal SSB (9 MHz).

Seule la fréquence 144,2 Mhz est utile, on éliminera donc la fréquence 126 ,2 Mhz par filtrage.

4. infradyne, supradyne



Si l'entrée E1 reçoit la fréquence utile $F_1 = 14,2\text{MHz}$ par exemple et que l'oscillateur local a une fréquence $F_0 = 5,2\text{Mhz}$,

En réalité, il y a d'autres produits issus du mélange

- des harmoniques des signaux d'entrée $2F_0 ; 2F_1...$
- des mélanges complexes $2F_0 - F_1 ; 2F_1 - F_0$ par exemple, appelés **mélanges du troisième ordre**, qu'il est difficile d'éliminer s'ils sont proches de la fréquence recherchée. Ce sont des produits d'**intermodulation**

Bien qu'en sortie, on trouve $F_1 + F_2$, $F_1 - F_2$ et d'autres produits, **le mélangeur est un multiplicateur de fréquences.**

4. amplification RF

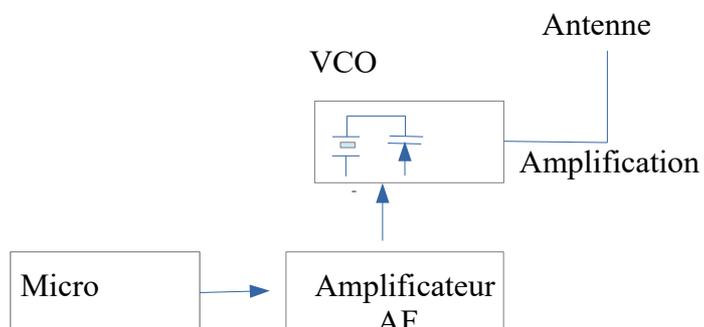
Une fois filtré, le signal RF 144,2 MHz sera envoyé vers une chaîne d'amplification, un nouveau filtrage sera effectué avant d'être envoyé vers l'antenne.

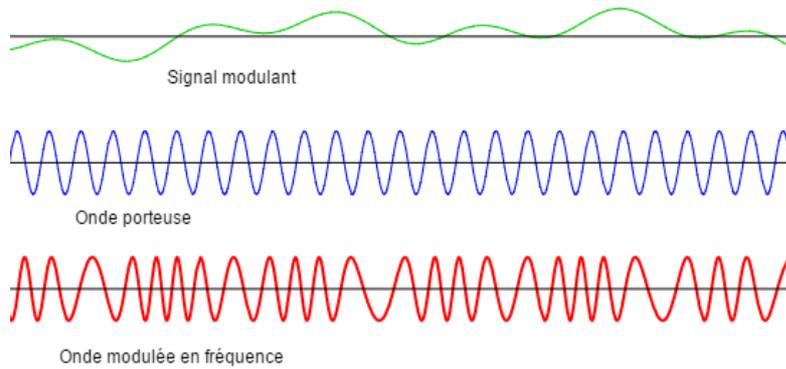
7°) La modulation de fréquence FM – F3E

Pour introduire ce paragraphe, cliquer sur le lien ci-dessous

<https://youtu.be/Bqwi6EasPvY>

a) le principe.





Le signal modulant issu du micro est amplifié, une tension continue qui varie avec le signal AF est appliquée au VCO, le signal RF est alors **modulé en fréquence** et amplifié avant d'être dirigé vers l'antenne. La fréquence va varier au rythme de la fréquence AF modulante.

D'autres formes de modulateurs à transistors, utilisant des microphones à

effets capacitifs ou des circuits à diode varicap sont utilisés.

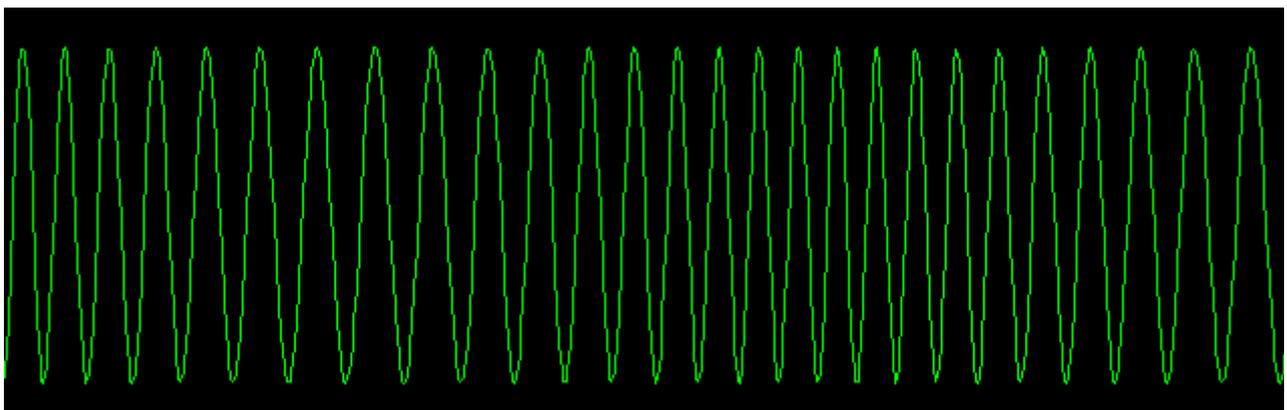
Tous ces modulateurs sont à réactance variable

On appelle **excursion en fréquence** la différence entre la fréquence maximum du signal et la fréquence de la porteuse au repos, ou entre la fréquence de la porteuse et la fréquence minimale du signal. Elle est notée Δf , elle dépend de l'amplitude du signal modulant.

On appelle **indice de modulation** le rapport entre l'excursion et la fréquence du signal modulant (F_m). L'indice de modulation est fonction de l'amplitude du signal modulant.

$$m = \Delta f / F_m$$

b) l'oscillogramme d'une émission FM



Voici l'oscillogramme d'une émission FM

fréquence de la porteuse : $f_p = 10 \text{ kHz}$

fréquence modulante : $F_m = 500 \text{ Hz}$

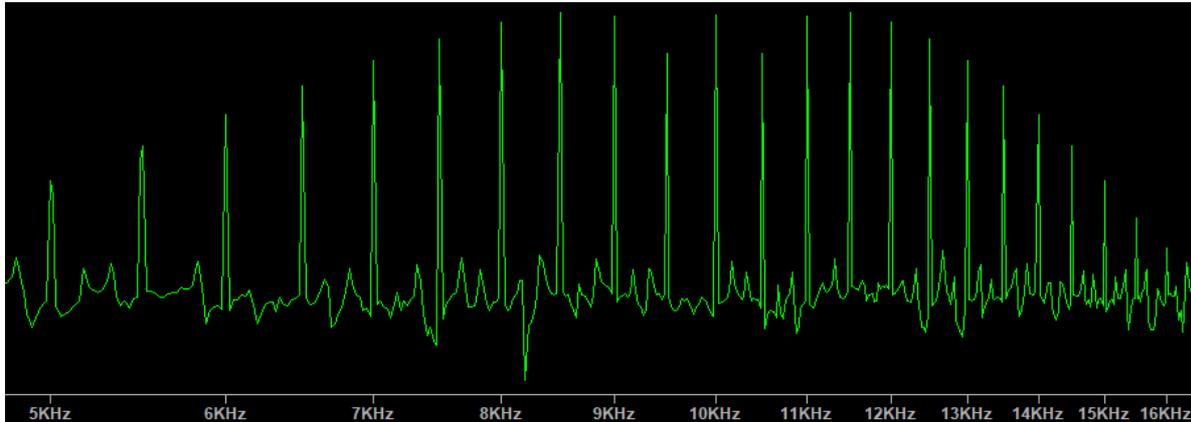
indice de modulation : 4

Dans ce cas, $\Delta f = m(F_m) = 5 \times 500 = 2000 \text{ Hz} = 2 \text{ kHz}$

L'oscillogramme ci-dessus montre une évolution de la fréquence en fonction du temps. La fréquence **instantanée** évolue entre :

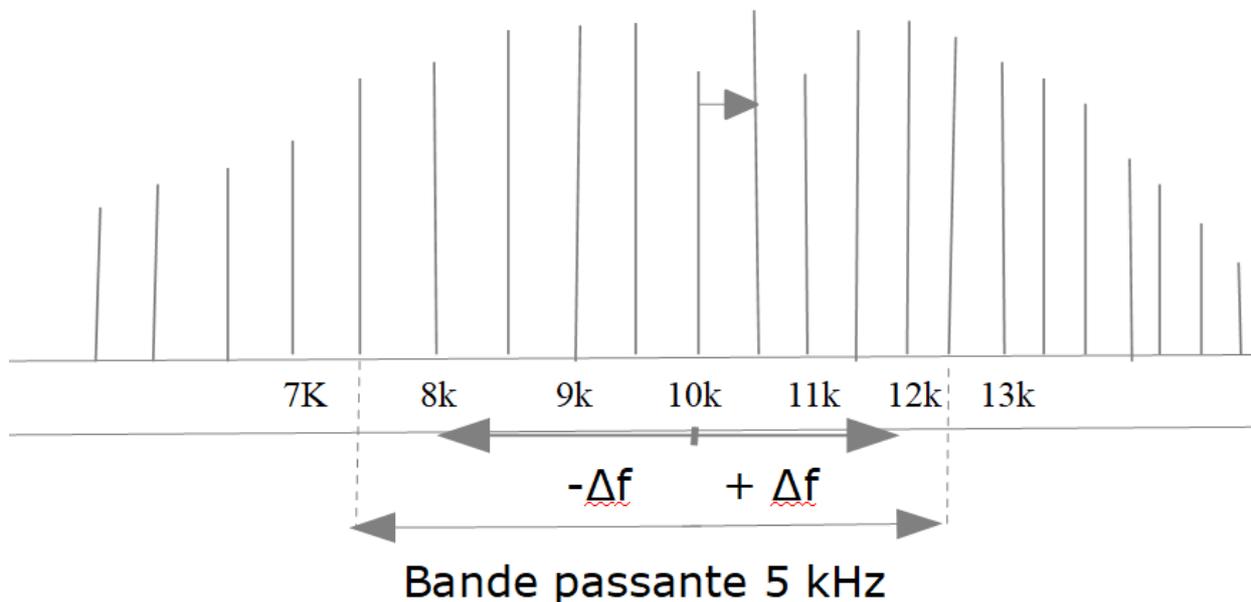
$$f_p + \Delta f = 10 \text{ kHz} + 4 \times 0,5 \text{ kHz} = 12 \text{ kHz}$$

$$\text{et : } f_p - \Delta f = 10 \text{ kHz} - 4 \times 0,5 \text{ kHz} = 8 \text{ kHz}$$



Spectre d'une émission FM, l'indice de modulation est 4, la fréquence modulante 500 Hz et la fréquence modulée 10 kHz

c) le spectre



²Le spectre d'une émission FM est complexe, il est constitué de raies parallèles. La raie centrale indique la fréquence modulée soit 10 kHz. De part et d'autre, la distance entre deux raies est 500 Hz, la fréquence modulante.

L'excursion autour de la fréquence centrale est

$$\Delta f = 4 \times 500 = 2000 \text{ Hz} = 2 \text{ kHz}$$

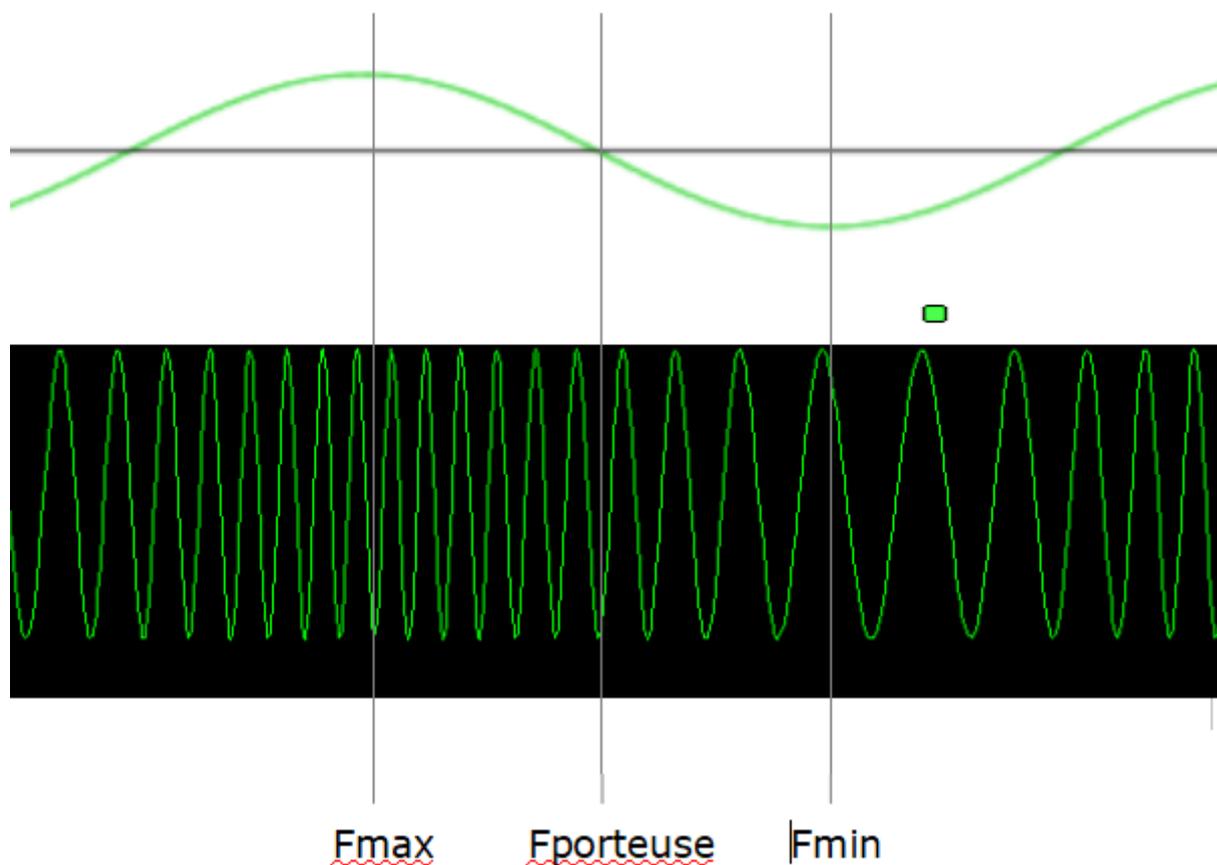
La fréquence instantanée varie entre 10kHz + ou moins 2 kHz soit entre 8 et 12 kHz

La bande passante $B = 2 (\Delta f + \text{fréquence modulante})$

$$B = 2 (2000 + 500) = 5000 \text{ Hz} = 5 \text{ kHz}$$

98% de la puissance se trouve dans cette bande passante.

d) principe

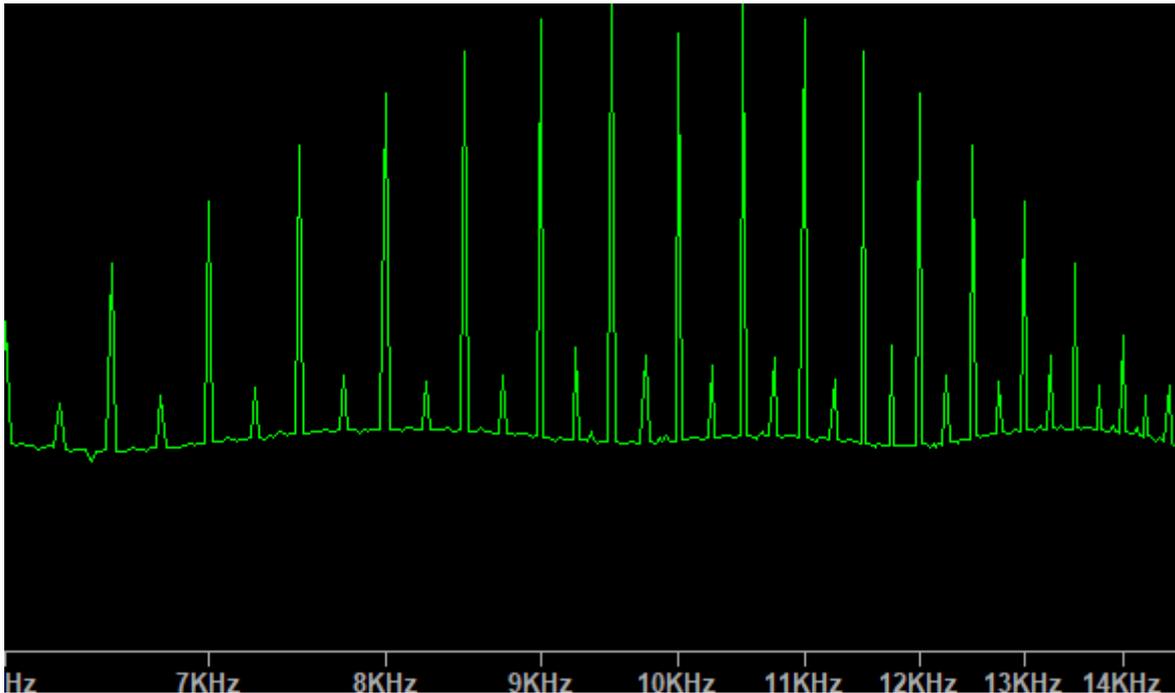


Quand le signal modulant atteint la tension maximum, la fréquence de la porteuse est maximum.

Quand la tension du signal modulant est nul, la porteuse retrouve sa fréquence initiale

Quand le signal modulant atteint la tension maximum en négatif, la fréquence de la porteuse est minimum.

e) Un autre exemple si $m = 2$



Spectre d'une émission FM, l'indice de modulation est 2, la fréquence modulante $f_m = 500$ Hz et la fréquence modulée $f_p = 10$ kHz

L'excursion $\Delta f = 2 \times 500 = 1000$ Hz = 1 kHz

La fréquence instantanée varie entre 10kHz + ou moins 1 kHz soit entre 9 et 11 kHz

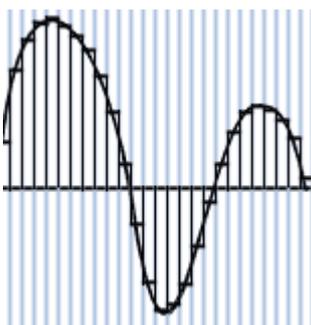
La bande passante $B = 2 (\Delta f + \text{fréquence modulante}) = 2 (1000 + 500) = 3000$ Hz = 3 kHz

Cette émission occupera moins de place sur la bande que pour $m = 4$

8°) La modulation par déplacement de phase- FSK - F1B

La modulation par déplacement de phase ou FSK (phase shift keying) est un mode de transmission numérique.

a) analogique, numérique.



L'évolution de la température d'une pièce est un **phénomène continu**. La courbe que l'on va tracer pour montrer cette évolution ne sera pas interrompue.

On peut découper cette courbe (**échantillonner**) et la transformer en une suite de rectangles dont on mesurera la hauteur. Le **taux d'échantillonnage** caractérise la « largeur du découpage ».

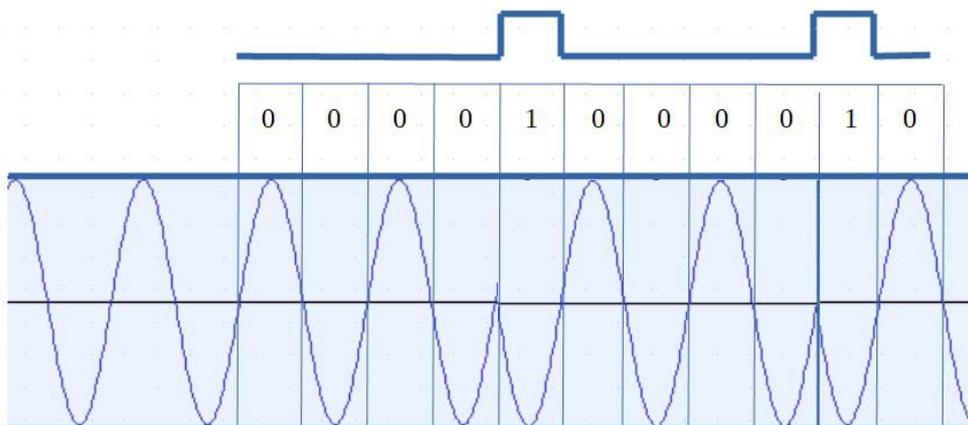
On obtient une suite discontinue de nombres que l'on va transformer en une suite de 0 et de 1 (système binaire)

. Cette opération se fait dans un **CAN ou ADC, convertisseur analogique-numérique**.

On trouve des CAN dans les scanners, souris, cartes son (pour l'enregistrement).

Le CNA ou DAC va reconstituer le signal numérique en analogique (sortie d'une carte son par exemple).

b) Le BPSK



Un signal sinusoïdal est modulé de la façon suivante :

Pour chaque alternance, si le nombre binaire est 0, on ne fait rien, si c'est 1, on ajoute 180° à la phase (voir schéma ci-dessus).

Le décodage se fait facilement avec les CNA.

Un des avantages de ce système est la **faible bande passante**.

9°) Pour conclure, un peu de législation

CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES À RESPECTER LORS DE L'UTILISATION D'UNE INSTALLATION DE RADIOAMATEUR

https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/article_jo/JORFARTI000019564246

a) Stabilité des émetteurs :

La fréquence émise doit être connue et repérée avec une précision de : **± 1 kHz pour les fréquences inférieures à 30 MHz ou de $\pm 1.10^{-4}$ (1/10 000) pour les fréquences supérieures à 30 MHz.** La précision sera au moins équivalente pour les fréquences supérieures à 1260 MHz, selon l'état de la technique du moment.

b) La stabilité des fréquences émises doit être telle que la dérive en fréquence ne doit pas excéder 5.10^{-5} (1/100 000) de la valeur initiale au cours d'une période de fonctionnement continu de dix minutes, après trente minutes de mise sous tension ininterrompue. En limite de bande, il doit être tenu compte de la largeur de bande transmise.

c) Bande occupée :

Dans toutes les bandes de fréquences attribuées pour le fonctionnement des installations de radioamateurs, et pour toutes les classes d'émissions autorisées, la largeur de bande transmise ne doit pas excéder celle nécessaire à une réception convenable. La largeur de bande occupée par le signal émis doit rester dans la bande attribuée : 6 kHz pour les fréquences inférieures à 28 MHz, 12 kHz entre 28 et 144 MHz (donc sur les bandes des 28 et 50 MHz), 20 kHz entre 144 et 225 MHz (225 MHz = fin de bande attribuée en région 2) et aucune limite n'est fixée au-delà de 225 MHz (soit au-delà de 430 MHz). La bande occupée par l'émission ne doit en aucun cas sortir des limites de la bande de fréquences autorisée.

d) Rayonnements non essentiels :

Le niveau relatif des rayonnements non essentiels admissible au-dessus de 40 MHz, mesuré à l'entrée de la ligne d'alimentation de l'antenne, est :

- d'au moins - 50 dB (pour les émetteurs de puissance inférieure ou égale à 25 W) ;
- d'au moins - 60 dB pour les émetteurs de puissance supérieure à 25 W.

Le filtrage de l'alimentation de l'émetteur est obligatoire lorsque cette alimentation provient du réseau de distribution électrique ; en particulier, les tensions perturbatrices réinjectées dans le réseau, mesurées aux bornes d'un réseau fictif en V d'impédance de 50 ohms, ne doivent pas dépasser :

- 2 mV pour des fréquences perturbatrices entre 0,15 MHz et 0,5 MHz ;
- 1 mV pour des fréquences perturbatrices entre 0,5 MHz et 30 MHz.

Pour la mesure de ces valeurs, l'émetteur est connecté sur charge non rayonnante et il n'est pas tenu compte de l'émission fondamentale.

1.	Fréquence modulante?
A. 1000Hz	C. 2000Hz
B. 21150kHz	D. 4kHz

2.	Type de modulation?
A. porteuse pure	C. DBL
B. porteuse modulée	D. DSB

3.	Spectre d'une émission
A. AM	C. BLS (USB)
B. FM	D. BLI (LSB)

4.	Spectre d'une émission
A. AM	C. DBL
B. BLS	D. BLI

5.	Taux de modulation en % ?
<p>Dans un signal AM modulé, la tension maximale est $V_{max}=25V$. $V_{min}=15V$ Le taux de modulation en % est</p>	
A. 100%	C. 15%
B. 20%	D. 25%

6.	Bande occupée
<p>Le spectre d'une émission modulée en amplitude s'étend de 3,678 MHz à 3,684 MHz La largeur de bande occupée est</p>	
A. 3kHz	C. 7,362Mhz
B. 6kHz	D. 450kHz

7.	Gamme des audiofréquences
<p>A. de 0 à 1MHz environ B. de 10MHz à 100MHz environ C. de 10 à 20 000Hz environ D. de 10 à 1000Hz environ</p>	
A.	C.
B.	D.

8.	Le trafic dans la bande des 20m est effectué en
<p>BLS plutôt qu'en AM avec porteuse car: A: la bande passante est plus réduite B: la qualité est meilleure C: à puissance égale, l'efficacité est meilleure</p>	
A. A-B	C. A-C
B. B-C	D. B

9.	En FM
<p>A. Seule la fréquence varie B. Seule l'amplitude varie C. Fréquence et amplitude varient D. Ni fréquence, ni amplitude ne varient</p>	
A.	C.
B.	D.

10.	Une émission surmodulée
<p>A. permet une meilleure compréhensibilité du message. B. favorise l'apparition d'harmoniques et de produits d'intermodulation C. est plus puissante</p>	
A. A-B	C. A-C
B. B	D. C

Préparation à la licence Radioamateur. Questionnaire n°23.F6FTC