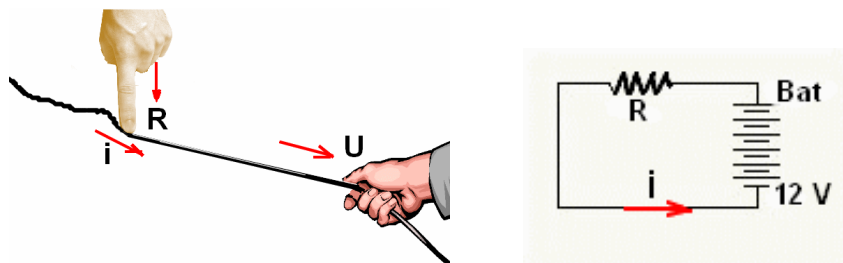


L'électricité et la radio bouts de ficelles pour les 9 à 99 ans

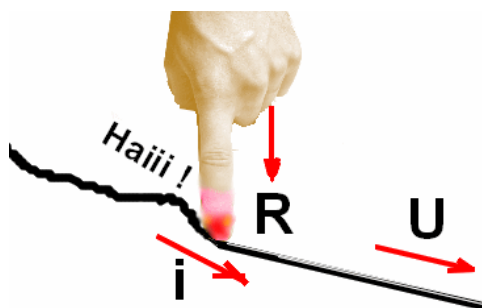
La loi d'Ohm

Plus on tire (tension = U en volts), plus le fil se déplace avec intensité (I en ampères).
Si le doigt appuie sur la ficelle il offre une résistance (R en ohms) et freine son passage.
Pour une même tension, plus on appuie, moins il y a de courant.



$I=U/R$ (si R augmente, I diminue) ce qui peut s'écrire $U=R*I$

La loi de Joule

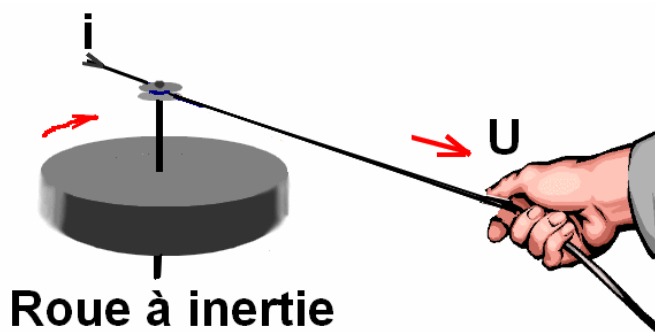


Si le doigt appuie sur la ficelle (Résistance R), s'il y a du courant de ficelle (I) et si ça dure (T): ça chauffe (W) !

$$W= R*I^2*T$$

La self (bobine, inductance)

Une self c'est comme une roue à inertie.



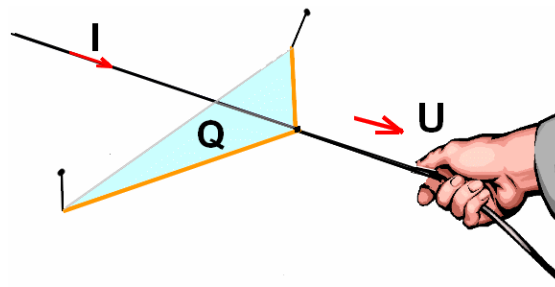
Pour faire tourner la roue, il faut exercer une tension (U) sur la ficelle. Au départ, la roue offre une résistance au defilement de la ficelle, mais une fois lancée son inertie tend à poursuivre le mouvement. La roue s'oppose au démarrage puis à l'arrêt avec une tension instantanée (E) d'autant plus importante que la masse et le diamètre de la roue (L en Henri *) sont importants et que le mouvement est brutal ($\Delta I / \Delta t$)

$$E = * L * (\Delta I / \Delta t)$$

En cas de mouvements brusques au démarrage ou au blocage la tension induite sur la ficelle peut devenir énorme et entraîner sa rupture par "claquage". C'est l'étincelle qui apparaît lorsqu'on manipule l'interrupteur d'un circuit électrique.

Remarques: Au démarrage, la roue commence à se lancer (I) alors que toute la tension (U) est sur la ficelle. On dit alors que la tension (U) est en avance sur le courant (I).

* Dans cette analogie, L représente la valeur de l'inertie de la roue



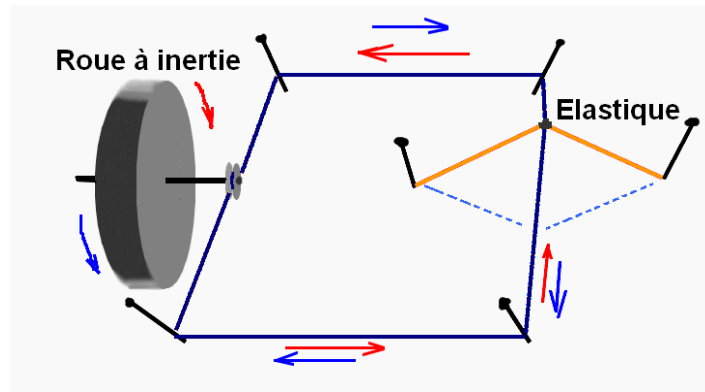
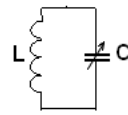
En tirant sur la ficelle (tension U) celle-ci se déplace (I) et met l'élastique sous tension. Plus la tension sur la ficelle est importante, plus l'élastique (C) se tend et se charge d'une quantité d'énergie. (Q) en Coulomb.

(C) en Farad, c'est la caractéristique de l'élastique: sa capacité à se déformer pour emmagasiner une charge sous une même tension. C'est une constante de l'élastique

$$Q = C * U$$

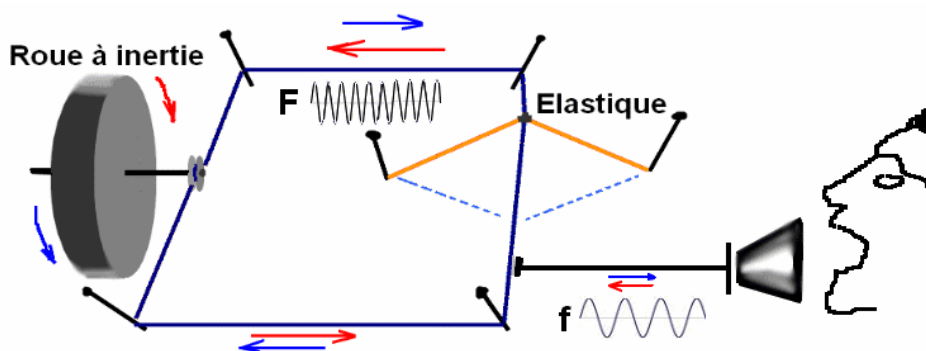
Attention, au delà d'une certaine tension, ça claque. Il est donc important de ne pas prendre le risque de dépasser cette tension. On remarque par ailleurs qu'il est possible de tirer **alternativement** la ficelle de part et d'autre de l'élastique. L'élastique permet le passage d'une certaine longueur de ficelle dans un sens et dans l'autre (courant alternatif), mais interdit son passage en continu. On constate également, qu'à tension égale, on déplace plus de ficelle au début qu'à la fin. Ce qui revient à dire que le courant (I) est en avance sur la tension (U): c'est le déphasage. Il est l'inverse de celui d'une self. Cette remarque est importante: elle sera à l'origine du circuit oscillant.

Le circuit oscillant



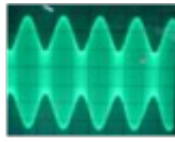
Imaginons ce qu'il se passe lorsqu'on tire et qu'on relâche la ficelle (impulsions)le circuit oscille. Les déphasages de la roue et de l'élastique sont antagonistes. La masse de la roue (L) et la capacité de l'élastique à se tendre définissent la "fréquence de résonance". Le système retrouve son équilibre après un certain nombre d'oscillations dont l'amplitude va en diminuant. Le maintien de l'oscillation dans le temps est fonction du "facteur de qualité" du circuit (des frottements). En modifiant l'élastique ou la roue on modifie la fréquence d'oscillation du système. (masse de la roue, longueur initiale de l'élastique). Comme pour une balançoire, il suffit de donner de petites impulsions, mais au bon moment (à la fréquence propre du système –en phase–) pour entretenir l'oscillation. Seules les impulsions qui sont en phase sont efficaces. Les mouvements qu'on peut faire avant ou après n'apportent rien de positif aux mouvements de la balançoire. Le circuit oscillant est la première pierre de notre récepteur radio bout de ficelle. Il oscillera avec une amplitude maximum lorsque sa fréquence d'accord (sa fréquence propre) sera identique à la fréquence du signal reçu par exemple par l'antenne.

La modulation d'amplitude



Considérons le circuit oscillant en mode entretenu (un système est là pour le maintenir en oscillation). On place sur la ficelle un microphone. C'est une plaque métallique qui vibre avec la voix. Cette plaque (membrane) est munie d'une tige avec un patin qui vient appuyer plus ou moins fort sur la ficelle en fonction de la fréquence de la voix et de sa force. Que ce passe-t-il ?

L'amplitude des oscillations varie au rythme de la membrane du microphone.

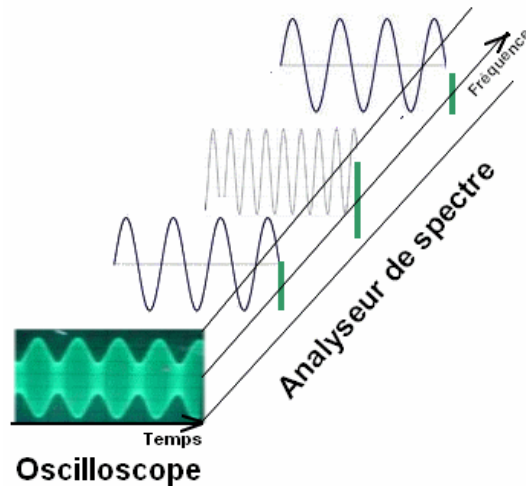


Le dessin ci-dessus représente le signal du circuit oscillant auquel on a appliqué les modifications d'amplitude du signal microphonique . L'amplitude trop grande du signal microphonique peut freiner complètement l'oscillation: c'est la "surmodulation". Pour éviter ceci on limitera le "taux de modulation" à 90%



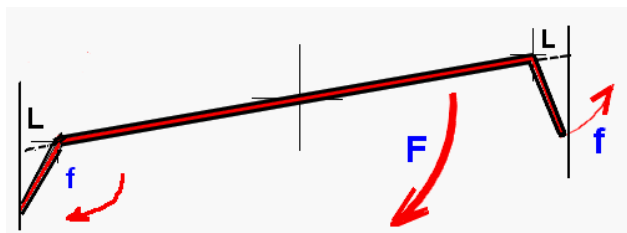
Analyse spectrale d'un signal modulé en amplitude.

Ce que nous pouvons dire c'est que la modulation d'amplitude est la superposition ou le mélange de deux fréquences dont une varie en amplitude. Il y a deux façons de visualiser le phénomène. Soit on regarde le résultat du côté analyse temporelle avec un oscilloscope soit du côté analyse spectrale qui permet, sous cet angle, de voir chacune des composantes formant le signal .



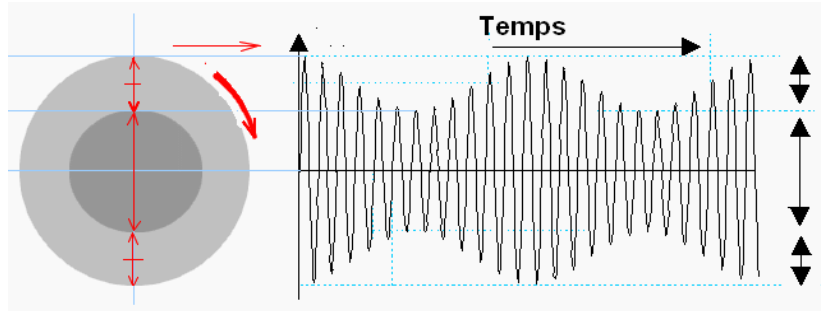
Nous allons nous intéresser à cette seconde analyse.

Un système oscillant est symétrique autour d'un axe. Prenons une balançoire, à laquelle nous superposons un mouvement. Lorsqu'on tire la balançoire vers la droite, l'autre extrémité va à gauche, lorsqu'on tire vers le haut, l'autre extrémité va vers le bas...Le mouvement se décompose en mouvements diamétralement opposés afin de conserver la symétrie. Imaginons, sur le même principe, la même balançoire qui tourne sur son axe à la fréquence "F" tout en modifiant sa longueur "L" (amplitude) à la fréquence "f"



Cela revient à fixer aux extrémités de la balançoire deux pièces en mouvement rotatif et opposé, d'une fréquence f . En faisant tourner très rapidement la balançoire, on voit une roue qui change progressivement de diamètre. Quelles sont les fréquences présentes lorsque tout le système est en rotation ? D'abord la fréquence de l'ensemble (F) puis, à chaque

extrémité une fréquence qui est la fréquence "F" à laquelle s'ajoute ou se retranche selon l'extrémité une fréquence "f". (Une autre image pour mieux comprendre: Si un plateau qui fait 1/tour mn est placé sur un plateau qui fait 10 tours/mn dans le même sens, le plateau supérieur fait alors 11 tours/mn) On a finalement 3 fréquences en jeu $(F+f) + F + (F-f)$. c'est le point de vue fréquentiel de l'analyseur de spectre. L'image de la roue qui tourne en modifiant son diamètre dans le temps, c'est le point de vue temporel de l'oscilloscope.



La fréquence fixe F s'appelle la "porteuse". Les fréquences $(F+f)$ et $(F-f)$ s'appellent les bandes latérales. Ce sont les bandes latérales qui contiennent l'information utile c'est à dire les variations du signal à transmettre. La porteuse, comme son nom l'indique n'est que le moyen de transport. (*)

Bande latérale unique: BLU

Transmettre une fréquence musicale en utilisant la modulation d'amplitude, revient à transmettre trois groupes de fréquences, alors qu'une seule des bandes latérales contient tous les signaux utiles. c'est évidemment une perte d'énergie. La modulation BLU consiste, par un système de filtres, à n'émettre qu'une de ces bandes. L'ensemble du signal est ensuite reconstitué par le récepteur.

Mélange, changement et multiplication de fréquences

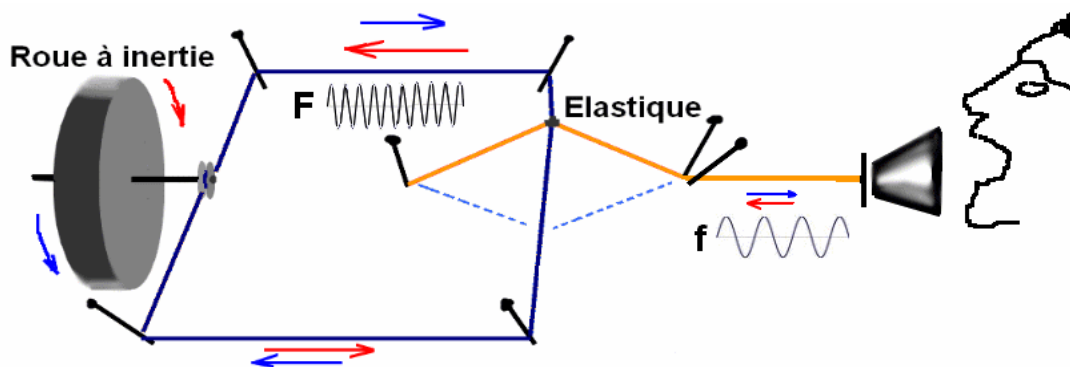
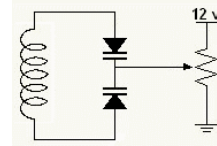
Nous avons déjà parlé de mélange de fréquences en évoquant plus haut l'analyse spectrale d'un signal modulé en amplitude. Il s'agissait du mélange d'une porteuse Haute Fréquence (HF) et d'une Basse Fréquence (BF). Rien ne s'oppose à ce qu'on remplace la fréquence BF par une fréquence HF modulée ou non. Seuls les moyens mis en oeuvre sont différents. Ensuite, la compréhension et le résultat $(F+f) + F + (F-f)$ restent identiques. L'intérêt ? Et bien par exemple: si $F = f$ on obtient une fréquence double $(F+f)$ et d'autre part une fréquence nulle $(F-f)$ battement zéro. Ainsi, en faisant varier "f" et en sélectionnant par filtre l'un des termes du résultat on peut obtenir toutes les fréquences comprises entre 0 et $2 * F$.

NB: Pour ne pas alourdir la démonstration par analogie, nous avons jusqu'alors éludé le fait qu'en créant de nouvelles fréquences, celles-ci ne pouvaient qu'interférer entre elles pour créer, sur le même principe, d'autres fréquences encore. Ces nouvelles fréquences sont toujours des multiples de f qui s'additionnent ou se soustraient à F c'est à dire le couple $(F+f*2)$ et $(F-f*2)$ puis : $(F+f*3)$ et $(F-f*3)$ etc etc. Se sont les harmoniques qu'il est toujours possible de conserver ou de rejeter à l'aide de filtres. C'est quoi, ces filtres ? c'est une des applications du circuit oscillant. Puisque celui-ci "oscille avec une amplitude maximum lorsque sa fréquence d'accord est identique à la fréquence du signal reçu". il suffit de l'accorder pour sélectionner une fréquence. Bien entendu, le circuit oscillant doit être étalonné.



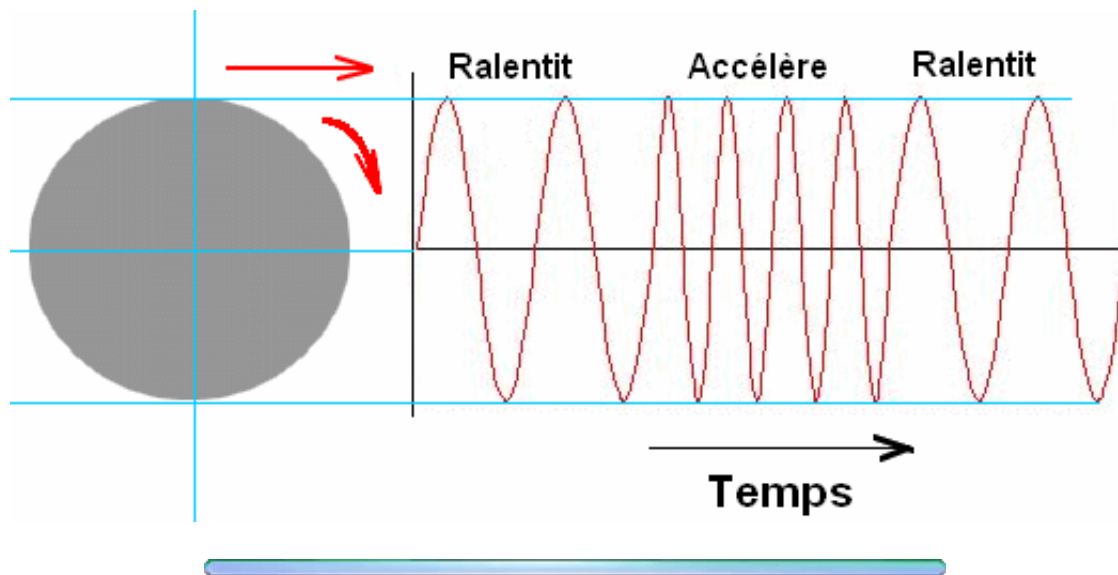
générateur de fréquences

La modulation de fréquence

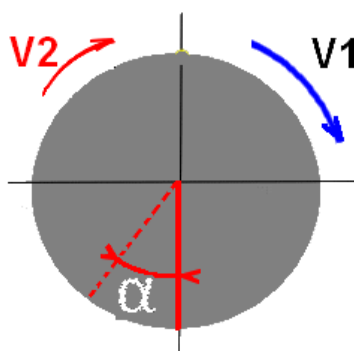


Considérons le circuit oscillant en mode entretenu. On relie cette fois-ci la membrane du microphone à une extrémité de l'élastique. Lorsque cette membrane vibre avec la voix, elle modifie les caractéristiques de l'élastique (sa capacité C) et donc la fréquence de résonance du circuit oscillant. Siffions dans le micro (1000 Hz par exemple). Deux termes qualifient le signal sur la membrane: Sa fréquence (1000Hz) et son amplitude (le volume). Ce qui se traduit 1000 fois par seconde par une modification de la fréquence du circuit oscillant. Cette modification peut être (c'est toujours un exemple) de 1350 à 5000 Hz pour un signal faible et 15200 à 54525 Hz pour un signal fort. Pour résumer: la fréquence du circuit oscillant varie autour de sa fréquence de base F (sans modulation). Cette variation se fait au rythme f avec un écart (excursion) de fréquence proportionnelle au volume du signal modulant.

L'analyse spectrale nous dit qu'il n'y a toujours qu'une seule fréquence, mais que celle-ci est variable. Notre balançoire tourne, mais avec des accélérations et des décélérations rythmées à la fréquence du signal modulant et plus ou moins importantes selon son volume



Modulation de phase et analyse vectorielle



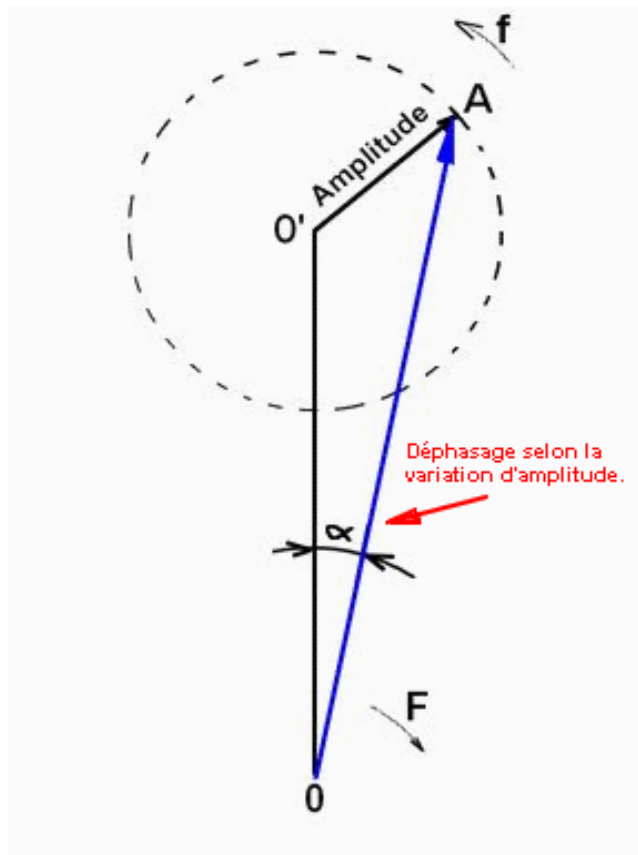
Lorsqu'on regarde à chaque instant la position d'un rayon d'une roue dont on modifie la vitesse, on constate un décalage. Cet angle, c'est « l'angle de déphasage » ou « phase » s'il est comparé à une position de référence.

Modulation de fréquence et modulation de phase sont deux approches d'un même phénomène. On passe de l'une à l'autre par une astuce mathématique.

Pourquoi une nouvelle approche « vectorielle » après avoir vu l'analyse temporelle et spectrale ? (position et ... longueur du rayon s'il y a modulation d'amplitude). Et bien ce sera, dans un prochain chapitre, une bonne façon de modéliser et visualiser la " modulation numérique " ...

En radio analogique on parle parfois de modulation de phase lors de faibles excursions en bande étroite.

(*) Pour aller un peu plus loin avec la modulation d'amplitude....



En regardant de plus près notre porteuse modulée en amplitude (c'est la résultante OA) on voit, qu'en fait, celle-ci est également modulée en phase !. C'est une autre approche qui permet de comprendre pourquoi il est possible de démoduler (mal) de l'AM avec un récepteur FM décalé en fréquence ainsi que des phénomènes plus complexes touchant la modulation d'amplitude ou la modulation de phase.



suite



En construction