

Analyse documentaire préparatoire au TP

Modulation et démodulation

Expliquer l'intérêt et la nécessité de la modulation pour les transmissions hertziennes.

Document 1 : Modulation d'amplitude et modulation de fréquence

Adaptation d'un article de J.-M. Courty et E. Kierlik, Pour la Science n°363, Janvier 2008

La voix ou la musique sont des ondes sonores, associées à des variations de pression de l'air. Elles s'atténuent rapidement en se propageant. Pour les transmettre au loin, une première solution a été trouvée par l'orthophoniste américain Graham Bell en 1876. Grâce à un microphone, les variations de pression sont converties en signal électrique transmis par des fils de cuivre. C'est le principe du premier téléphone. Mais ce procédé a ses limites : il nécessite une liaison matérielle entre la source et l'auditeur, cette liaison ne peut transmettre qu'une seule conversation à la fois et la qualité de la transmission est rarement au rendez-vous, le signal étant très sensible aux parasites électriques. Et surtout, cette méthode est mal adaptée à la diffusion d'un même message à de nombreux destinataires. Comment faire mieux ?

On peut pour cela utiliser des ondes radio. Ces ondes électromagnétiques, dont la gamme de fréquence va du kilohertz au gigahertz, traversent certains obstacles et en contournent d'autres grâce au phénomène de la diffraction.

Comment coder du son avec une onde électromagnétique ? La méthode la plus simple consiste à moduler l'amplitude d'une onde monochromatique (de fréquence unique) dite porteuse, c'est-à-dire à multiplier l'amplitude de cette onde par l'amplitude du signal à transmettre. L'onde électromagnétique résultante n'est alors plus monochromatique : on montre que c'est une superposition d'ondes, dont les fréquences sont voisines de celle de l'onde porteuse.

Considérons par exemple la transmission du *la* du diapason, une onde sonore de 440 hertz, au moyen d'une onde radio de 220 kilohertz. L'onde modulée en amplitude (ou AM pour l'anglais *amplitude modulation*) produite par l'émetteur radio est la superposition de deux autres ondes, nommées raies latérales, dont les fréquences sont à 440 hertz de distance de part et d'autre de la fréquence porteuse (soit 219,56 kilohertz et 220,44 kilohertz).

Lorsque le son à transmettre n'est pas purement sinusoïdal, le résultat est similaire, mais toutes les fréquences composant le son interviennent. C'est pourquoi, pour transmettre le signal dans de bonnes conditions, on doit attribuer une bande de fréquence à chaque porteuse.

Si l'on veut transmettre la voix humaine, la gamme acoustique allant de 0,3 à 3,4 kilohertz suffit, ce qui nécessite une bande électromagnétique large de 7 kilohertz. La transmission de la musique nécessitera plutôt une largeur de 40 kilohertz.

Les ondes radio émises occupent ainsi une portion du spectre centrée sur la fréquence porteuse. Toutes les fréquences de cette région sont utilisées et ne sont donc pas disponibles pour d'autres transmissions. Pour cette raison, et afin que les multiples communications ne se brouillent pas, le spectre électromagnétique a été découpé en canaux de fréquences et de largeur bien déterminées, répartis entre utilisateurs potentiels par des conventions nationales ou internationales (figure 1).

Cependant, la modulation d'amplitude n'évite pas les affreux grésillements de certaines retransmissions. Comment éviter de telles perturbations et transmettre un signal de bonne qualité ? En utilisant la modulation de fréquence (FM), proposée par l'américain Edwin Armstrong en 1935. Le principe revient à émettre un signal de fréquence variable, dont la valeur est la somme d'une fréquence de référence (la porteuse) et d'un terme proportionnel à l'amplitude instantanée du signal à transmettre. La valeur maximale du changement de fréquence de l'onde est « l'excursion en fréquence » : c'est l'écart en fréquence qui correspond à l'amplitude maximale qu'on veut transmettre.

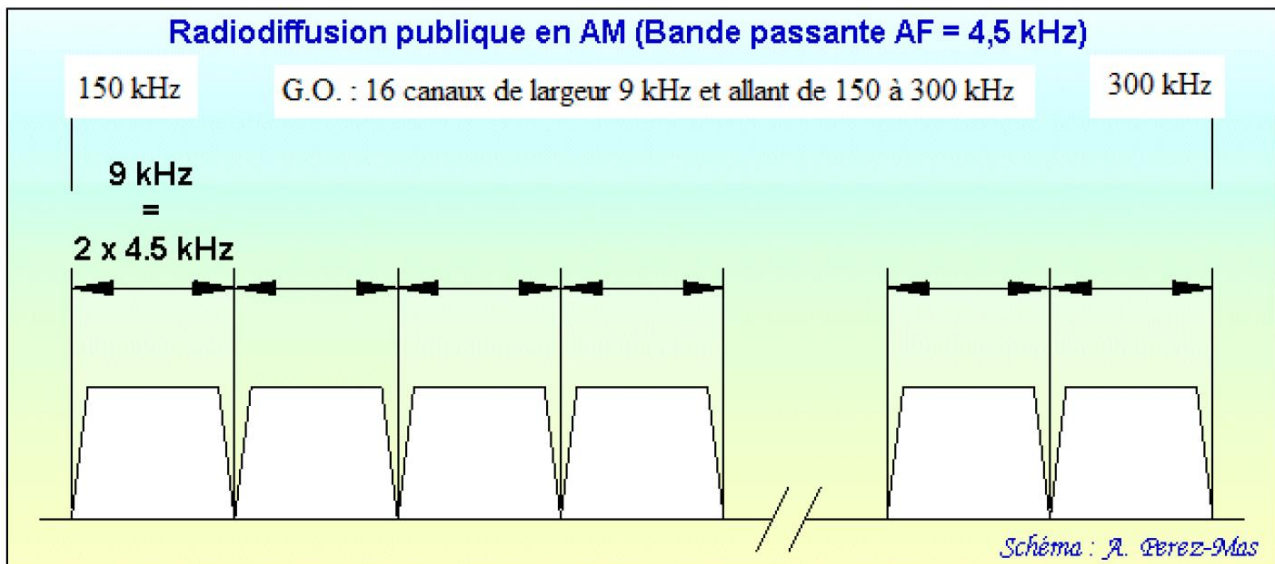


Figure 1 : Canaux de radiodiffusion Grandes Ondes (modulation d'amplitude).

Comme pour la modulation d'amplitude, le signal émis n'est pas une onde monochromatique, mais équivaut à une superposition d'ondes de fréquences différentes. Dans le cas de la transmission en FM du *la* du diapason, l'onde modulée est ainsi composée de toute une famille d'ondes sinusoïdales aux fréquences espacées deux à deux de 440 hertz.

Pour la modulation de fréquence de haute fidélité, la fréquence porteuse est comprise entre 88 et 108 mégahertz, et l'excursion en fréquence est de 75 kilohertz. Ainsi, un *la* du diapason d'amplitude maximale fait intervenir dans sa transmission plus de 100 raies différentes. Par conséquent, si l'une des ces raies est perturbée, le signal global est peu affecté. C'est aussi cela qui permet de se verrouiller sur une station de radio donnée lorsque sa fréquence est proche d'une autre. Autre avantage, la puissance en FM est indépendante du signal à transmettre. Inconvénient de la FM : leurs fréquences étant élevées, les ondes FM diffractent peu, ce qui limite la portée des émetteurs de radiodiffusion.

Document 2 : Fonctionnement d'un récepteur radio

Extrait d'un TP de TS spécialité physique

http://www.lyc-vinci-st-witz.ac-versailles.fr/IMG/pdf/J_Reception_d_une_emission_radio.pdf

On s'intéresse ici à au fonctionnement d'un dispositif permettant de recevoir une onde radio modulée en amplitude. Une antenne réceptrice est sensible aux nombreuses émissions radio existantes. Il est donc nécessaire de filtrer les signaux reçus, pour sélectionner la porteuse correspondant à l'émetteur recherché. Cette opération peut s'effectuer au moyen d'un filtre passe – bande. Le filtre passe-bande utilisé est un circuit LC parallèle, appelé circuit d'accord.

Le schéma complet du circuit de réception est donné à la figure 2.

On retrouve différents éléments dans ce montage.

1) L'antenne

La réception est assurée par une antenne, c'est-à-dire par un fil métallique d'une longueur de 1 m environ. Le signal perçu est complexe car de nombreuses radiations électromagnétiques se propagent dans l'espace : il s'agit d'un mélange de signaux modulés envoyés par les différents émetteurs existants.

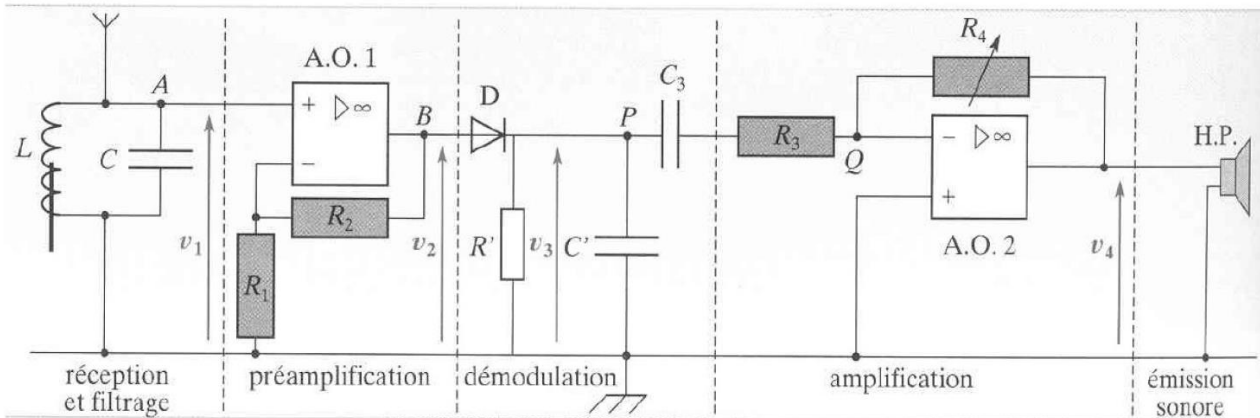


Figure 2 : Schéma du circuit de réception d'une onde radio AM

2) Le filtre

Pour sélectionner, parmi toutes les ondes captées par l'antenne, celle correspondant à un émetteur de fréquence donnée, il faut utiliser un filtre passe-bande. Le circuit LC peut alors être utilisé en choisissant les valeurs de capacité C et d'inductance L par rapport à la fréquence de la porteuse f_p , grâce à la relation :

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Pour une réception de bonne qualité, il faut que :

- la bande passante du filtre passe-bande ait une largeur minimale : $[f_p - f_{\text{Max}} ; f_p + f_{\text{Max}}]$, où f_{Max} est la fréquence la plus élevée du signal à émettre ;
- la bande passante du filtre passe-bande ait une largeur maximale : en effet deux bandes passantes correspondant à deux émetteurs différents (émettant avec deux fréquences de porteuse différentes) ne doivent pas se chevaucher.

Si l'on prend en compte l'existence d'une résistance dans le circuit d'accord (pour simplifier, on supposera que le circuit est alors un circuit RLC parallèle), l'expression de la bande passante en fréquence s'écrit alors :

$$\Delta f = \frac{1}{2\pi RC}$$

À la sortie du filtre, la tension v_2 correspond à celle du signal modulé envoyé par l'émetteur que l'on souhaite écouter.

3) La préamplification

La tension aux bornes du dipôle LC, étant très faible (quelques dizaines de millivolts), il est nécessaire de l'amplifier.

En effet, le circuit de démodulation comportant une diode en entrée, la tension délivrée par l'antenne doit être supérieure à sa tension de seuil.

Cette amplification peut être réalisée en utilisant un montage amplificateur non-inverseur comportant un Amplificateur Opérationnel (A.O.) et deux résistances R_1 et R_2 dont la valeur sera choisie en fonction du facteur d'amplification souhaité.

4) La démodulation

Cette partie du montage permet de détecter l'enveloppe du signal modulé, puis de supprimer sa composante continue.

5) L'amplification

Cette partie du montage permet d'amplifier le signal démodulé afin qu'il soit audible au moyen d'un haut-parleur.

Document 3 : Taille des antennes

Issu du site *Je comprends .. Enfin !*

<http://www.je-comprends-enfin.fr/index.php?/Communiquer-avec-les-satellites/taille-de-lantenne-et-longueur-donde/id-menu-47.html>

Il existe un rapport direct entre la taille et la forme de l'antenne et les ondes qu'elle est capable de capter.

Sur une antenne râteau, si les ondes de toutes fréquences peuvent théoriquement avoir un impact électrique, ce sont surtout celles dont la longueur d'onde est en rapport avec la structure qui vont générer le signal le plus fort. Pour cela, la taille d'une partie de la structure doit correspondre à un multiple ou sous-multiple de la longueur d'onde. Sur une antenne râteau, ce sont les brins de l'antenne qui vont définir la plage de fréquence cible.

On peut voir la différence entre des antennes utilisées en UHF (Ultra High Frequency ; entre 300 et 3000 MHz) et en VHF (Very High Frequency ; entre 30 et 300 MHz) sur la figure 3.

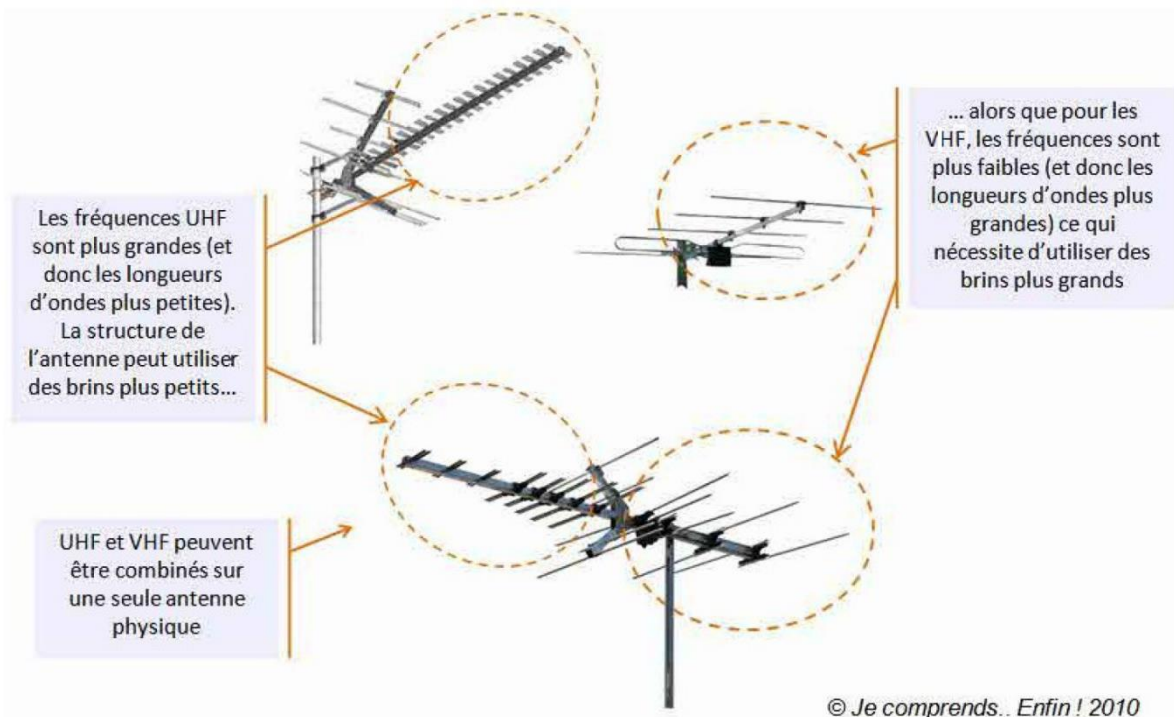


Figure 3 : Taille des antennes râteaux en fonction de la gamme de fréquence à émettre ou recevoir.

Sur une antenne parabolique, ce sont toutes les ondes qui peuvent être captées car la parabole n'est pas une antenne en soi-même mais simplement un réflecteur qui concentre les ondes reçues vers le point focal où se trouve la véritable antenne (voir figure 4).

En termes d'efficacité toutefois, seules certaines longueurs d'ondes peuvent être captées en quantité suffisante pour être considérées comme un signal utilisable :

- Celles dont la taille est inférieure à la taille de la parabole
- Celles dont la taille est un multiple de la taille de la parabole (demi-onde, quart d'onde). Les longueurs d'onde trop importantes ne sont pas captées par la parabole

La tête placée au centre du foyer décompose ensuite l'ensemble des ondes reçues pour ne sélectionner que celle souhaitée par l'appareil connecté à l'antenne (récepteur et décodeur de télévision par satellite, etc.). La taille de l'antenne parabolique déterminera par contre la quantité d'onde captée et focalisée : plus l'antenne sera grande, plus le gain sera important. Pour les transmissions audiovisuelles, les paraboles de 50 cm ont une taille très largement supérieure à la longueur d'onde utilisée. Pour des transmissions qui utilisent des longueurs

d'onde beaucoup plus importantes, il est nécessaire d'augmenter, souvent considérablement, la taille de la parabole.



Figure 4 : Taille des antennes paraboliques. Par exemple, le radiotélescope d'Effelsberg a un diamètre de 100 m.

Questions

- 1) Quelles sont les limites de la transmission d'information par voie filaire ?
- 2) Pourquoi utilise-t-on des porteuses haute fréquence pour transmettre des ondes hertziennes ?
- 3) Comparer les modulations d'amplitude et de fréquence en précisant leurs avantages et inconvénients respectifs.
- 4) Justifier la dernière phrase du document 1 « Inconvénient de la FM : leurs fréquences étant élevées, les ondes FM diffractent peu, ce qui limite la portée des émetteurs de radiodiffusion ».
- 5) France Inter et Europe 1 émettent en modulation d'amplitude sur les grandes ondes avec des longueurs d'onde respectives de 1850 m et 1640 m; il n'existe pas d'autres stations entre elles.
 - a) Lorsque ces stations émettent un son de fréquence 1000 Hz, quelle bande de fréquence occupent-elles l'une et l'autre ? Même question pour la transmission d'un son de 20 kHz.
 - b) Que se passerait-il pour les auditeurs si ces deux stations étaient autorisées à émettre des sons de 20 kHz ?
 - c) Proposer des valeurs de composants L et C pour le circuit d'accord d'un récepteur radio recevant ces deux stations (pour cela, on évaluera d'abord la largeur optimale de la bande passante évitant le brouillage entre les deux stations et on prendra pour valeur de résistance $R = 10 \text{ k}\Omega$).
 - d) Proposer des valeurs réalistes de résistances R_1 et R_2 permettant d'obtenir un facteur d'amplification voisin de 1000.
- 6) En supposant que la taille caractéristique d'une antenne est le quart de la longueur d'onde pour laquelle l'émission/réception est optimale, déterminer la taille caractéristique d'une antenne :
 - a) pour émettre des fréquences de la voix humaine
 - b) pour émettre la fréquence de France Inter
 Commentez les valeurs obtenues.
- 7) Le réseau 3G utilise des fréquences autour de 2 GHz. Pourquoi n'y a-t-il pas d'antenne visible sur les téléphones portables ?