

# THEORIE

COURS DE BASE  
ELECTRONIQUE

Avec la leçon théorique du treizième groupe, nous allons commencer l'étude des applications de l'électronique, c'est-à-dire plus simplement, l'étude des circuits permettant d'obtenir des signaux électriques de **FORME** et **D'AMPLITUDE** désirées pour un usage précis.

Le fait que nous introduisons la **RADIO** dans ce cours ne signifie pas que celui-ci ne concerne que cette application. En effet, à la fin **DU COURS DE BASE**, vous pourrez opter pour une spécialité de votre choix, mais la **RADIO** étant à l'origine du développement de l'électronique, nous y trouvons **TOUS LES CIRCUITS FONDAMENTAUX**, qui sous une forme ou une autre, existent dans toutes les techniques de l'électronique.

## 1 - ONDES RADIO

Les radiocommunications se font grâce aux **ONDES RADIO**, appelées aussi **ONDES ELECTROMAGNETIQUES** car elles sont constituées par un **CHAMP ELECTROMAGNETIQUE**, c'est-à-dire par l'ensemble d'un champ électrique et d'un champ magnétique.

L'existence des ondes radio fut démontrée expérimentalement pour la première fois en 1887 par l'Allemand Henri Rodolphe Hertz dont le nom a été donné, comme nous l'avons vu, à l'unité de mesure de la fréquence.

Au cours de ses expériences, *Hertz* constata qu'un champ électromagnétique produit en un point de l'espace arrivait à faire sentir sa présence en un autre point situé à une certaine distance du premier.

Cette distance n'était que de quelques mètres ; pourtant les expériences de Hertz démontrèrent qu'un champ électromagnétique peut se déplacer d'un point à l'autre de l'espace sous forme d'ondes électromagnétiques, c'est-à-dire d'ondes radio : on dit que dans l'espace se produit la **PROPAGATION** des ondes électromagnétiques.

En 1896, l'Italien Guillaume Marconi (1874-1937) réussit à capter les ondes radio en un point qui n'était pas directement visible de celui où elles étaient produites, et il réalisa ainsi pratiquement la première véritable liaison radio à distance.

Marconi utilisa une *ANTENNE*, c'est-à-dire un élément capable de *RAYONNER* les ondes radio dans l'espace environnant, d'où ces ondes se propagent ensuite dans toutes les directions.

On obtient le rayonnement des ondes par l'antenne en alimentant celle-ci avec un courant alternatif de fréquence déterminée : par conséquent, le champ électromagnétique rayonnant dans l'espace varie de la même façon et avec la même fréquence que le courant qui alimente l'antenne.

Par exemple, si l'on alimente une antenne avec un courant alternatif sinusoïdal qui a une fréquence de 500.000 Hz, c'est-à-dire qui accomplit 500.000 cycles en une seconde, l'antenne rayonne un champ électromagnétique qui varie lui aussi sinusoïdalement 500.000 fois par seconde comme le courant.

Comme nous le savons, les valeurs prises par ce courant sont indiquées par une sinusoïde qui représente un cycle de courant ; de la même façon, les valeurs du champ électromagnétique rayonné peuvent être indiquées par une sinusoïde qui représentera une onde électromagnétique.

Nous pouvons donc dire qu'à chaque cycle accompli par le courant alimentant l'antenne, celle-ci rayonne une onde radio ; et, de même que nous avons appelé fréquence du courant le nombre de cycles accompli par celui-ci en une seconde, de même nous appellerons *fréquence des ondes radio le nombre d'ondes rayonnées en une seconde par l'antenne*.

La fréquence est donc une caractéristique fondamentale des ondes radio, mais elle sert également à les distinguer pour leur emploi, car de la valeur de la fréquence dépend la façon dont ces ondes se propagent ainsi que l'application particulière qu'elles peuvent trouver dans le domaine des radiocommunications.

Actuellement, pour satisfaire les diverses exigences dans ce domaine, on utilise des ondes radio d'une fréquence comprise entre quelques kilohertz ( $1 \text{ kHz} = 1.000 \text{ Hz}$ ) et quelques milliers de mégahertz ( $1 \text{ MHz} = 1.000.000 \text{ Hz}$ ).

Malgré ces grandes différences de fréquences, les ondes présentent une caractéristique commune : elles se propagent toutes, quelle que soit leur fréquence, à la vitesse de la lumière, qui est de 300 millions de mètres par seconde ( $300.000 \text{ km/s}$ ).

Pour voir quelle conséquence entraîne ce fait, étudions les ondes radio qui ont une fréquence de 15 MHz, ou 15 millions de hertz : d'après ce que nous avons dit, l'antenne rayonne alors en une seconde 15 millions d'ondes qui se propagent dans l'espace à la vitesse de 300 millions de mètres par seconde.

Nous pouvons comparer l'antenne à une gare d'où part un train formé de 15 millions de voitures semblables qui voyagent à la vitesse de 300 millions de mètres par seconde !

Une seconde après le départ, la première voiture de ce train se trouvera déjà à la distance de 300 millions de mètres de la gare, tandis que la dernière voiture sortira à peine de la gare : en une seconde se développera donc un train ayant une longueur de 300 millions de mètres.

De la même façon, en une seconde l'antenne rayonne 15 millions d'ondes qui, parce qu'elles se succèdent d'une façon ininterrompue l'une derrière l'autre, comme les voitures du train, auront ainsi une longueur totale de 300 millions de mètres.

Pour connaître la longueur de chaque voiture du train, il suffira de diviser la longueur du train par le nombre de voitures qui le composent : cette longueur est donc de :

$$300.000.000 : 15.000.000 = 20 \text{ mètres.}$$

Nous pouvons calculer la longueur des ondes radio de la même façon, en divisant la vitesse de la lumière, qui indique l'espace parcouru par ces ondes en une seconde, par le nombre d'ondes rayonnées dans le même temps d'une seconde, c'est-à-dire par leur fréquence.

*En résumé, nous pouvons dire que l'on calcule la longueur des ondes radio en divisant la vitesse de la lumière par leur fréquence.*

*Inversement, quand on connaît la longueur des ondes radio, on peut déterminer la fréquence en divisant la vitesse de la lumière par la longueur des ondes.*

Nous en déduisons que la longueur des ondes radio est liée à la fréquence, et qu'on peut distinguer ces ondes en indiquant leur longueur aussi bien que leur fréquence : par exemple, on peut parler indifféremment d'ondes radio d'une fréquence de 15 MHz ou d'une longueur de 20 m.

Longueur des Ondes	Dénomination	Fréquence des Ondes	Dénomination	Dénomination anglaise et Abréviations
de 100 km à 10 km	ondes myriamétriques	de 3 kHz à 30 kHz	très basses fréquences	very low frequency (V. L. F.)
de 10 km à 1 km	ondes kilométriques	de 30 kHz à 300 kHz	basses fréquences	Low frequency (L. F.)
de 1000 m à 100 m	ondes hectométriques	de 300 kHz à 3000 kHz	moyennes fréquences	medium frequency (M. F.)
de 100 m à 10 m	ondes décamétriques	de 3 MHz à 30 MHz	hautes fréquences	high frequency (H. F.)
de 10 m à 1 m	ondes métriques	de 30 MHz à 300 MHz	très hautes fréquences	very high frequency (V. H. F.)
de 100 cm à 10 cm	ondes décimétriques	de 300 MHz à 3000 MHz	ultra hautes fréquences	ultra high frequency (U. H. F.)
de 10 cm à 1 cm	ondes centimétriques	de 3000 MHz à 30000 MHz	super hautes fréquences	super high frequency (S. H. F.)
CLASSIFICATION DES ONDES RADIO				

Figure 1



Il nous faut donc étudier, non seulement la fréquence des ondes radio mais aussi leur longueur, car celle-ci est plus pratique dans de nombreux cas (par exemple pour les antennes, qui sont constituées par des conducteurs dont la longueur dépend de la longueur des ondes à rayonner).

Les ondes radio sont communément classifiées d'après leur longueur, et l'on parle de "grandes ondes", de "petites ondes" ou bien "d'ondes courtes". Une classification précise des ondes radio, d'après leur longueur ou leur fréquence, est présentée dans le tableau de la *figure 1* qui permet tout de suite de relever que, en diminuant la longueur des ondes, on augmente leur fréquence.

La dernière colonne du tableau donne le nom des fréquences en Anglais, car les initiales des mots de cette dénomination sont les abréviations que l'on utilise généralement pour désigner chaque groupe de fréquences.

Maintenant que nous avons étudié les ondes radio, voyons comment on peut produire ces ondes, c'est-à-dire comment on obtient le courant alternatif alimentant l'antenne qui les rayonne dans l'espace.

### 1 - 1 - RADIOEMETTEURS

Le courant alternatif qui alimente une antenne est appelé plus précisément courant *HAUTE FREQUENCE* nous l'indiquerons dorénavant par l'abréviation *HF*.

Le courant *HF* est produit par un ensemble d'appareils qui, unis à l'antenne, constituent l'*EMETTEUR-RADIO* appelé aussi plus simplement *EMETTEUR*.

Sur la *figure 2* nous voyons les éléments essentiels qui constituent un émetteur ; chacun d'eux est représenté simplement par un rectangle à l'intérieur duquel une inscription indique la fonction de cet élément ; ce type de représentation est appelé *BLOC - DIAGRAMME* et on l'utilise quand, comme dans le cas présent, on doit seulement indiquer les éléments d'un appareil déterminé, sans en décrire le circuit électrique.

Le *BLOC DIAGRAMME* (aussi appelé *SCHEMA SYNOPTIQUE*) permet d'un seul coup d'œil de voir clairement les différents *ETAGES* utilisés, c'est-à-dire la constitution de l'appareil.

On appelle *ETAGE*, un ensemble de composants reliés entre-eux et formant un circuit homogène bien défini (exemple : un *AMPLIFICATEUR* - un *DETECTEUR* etc...).

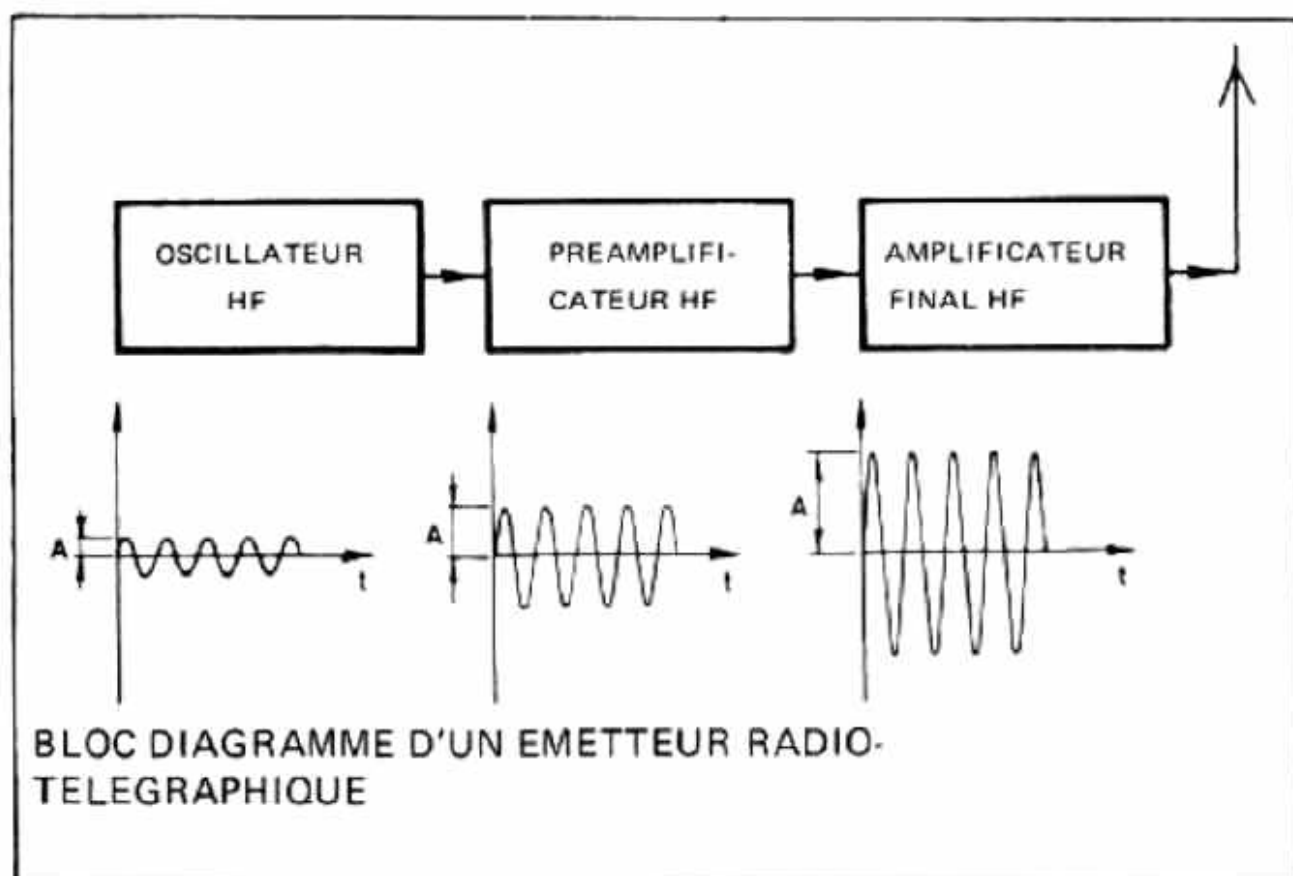


Figure 2

Sur la figure 2, nous pouvons ainsi voir qu'un **EMETTEUR** comprend un **OSCILLATEUR HF**, un **PREAMPLIFICATEUR** et un **AMPLIFICATEUR FINAL**.

Notez d'ailleurs que ces trois étages ne sont pas des circuits exclusivement utilisés en radio ; on les retrouve en **TELEVISION**, en **MESURES ELECTRONIQUES** et en **ELECTRONIQUE INDUSTRIELLE**.

Comme nous le savons, pour faire circuler un courant il faut une tension et, dans l'étude des différents éléments d'un appareil, nous devons également tenir compte de la puissance en jeu, qui dépend justement de la tension et du courant.

Parmi les différents étages, il n'y en a que quelques uns qui fournissent une puissance notable ; pour les autres la puissance en jeu est très faible car ils ne donnent pas un courant appréciable, et par conséquent nous nous limiterons à étudier la tension qu'ils fournissent.

Dans les prochaines leçons, nous distinguerons les différents **ETAGES** qui constituent un appareil **ELECTRONIQUE** selon qu'ils fournissent une tension ou une puissance. Pour le moment, nous ne nous occuperons pas de cette distinction et nous nous limiterons à indiquer généralement par le terme de **SIGNAL HF** la grandeur électrique obtenue par chaque élément d'un émetteur.

Le signal HF est produit par le premier élément de l'émetteur, c'est-à-dire par l'oscillateur HF de la *figure 2* ; ce signal a une fréquence bien déterminée et il varie sinusoïdalement dans le temps, comme on le voit sur le graphique reporté sous l'oscillateur.

L'axe horizontal du graphique représente le temps alors qu'aucune grandeur n'est indiquée sur l'axe vertical car, comme nous l'avons dit, on n'a pas spécifié pour le moment quelle grandeur constituait le signal.

Mais on a indiqué par la lettre A la valeur maximum de la sinusoïde, valeur maximum appelée *AMPLITUDE* du signal.

Nous voyons ainsi que le signal HF a une amplitude très petite ; il est donc nécessaire de l'amplifier avant de le faire rayonner dans l'espace.

L'opération qui permet d'augmenter l'amplitude du signal est appelée *AMPLIFICATION* et elle est accomplie d'abord par le préamplificateur HF puis par l'amplificateur final HF.

D'après les graphiques reportés sous ces éléments (*figure 2*), on voit en effet que le signal augmente en amplitude au fur et à mesure qu'il s'avance vers l'antenne.

Notons que *l'amplification ne fait qu'augmenter l'amplitude du signal sans faire varier sa fréquence* : en effet, sur les trois graphiques de la *figure 2* nous voyons que le signal accomplit toujours le même nombre de cycles pendant le même temps.

Le signal obtenu de l'amplificateur final avec l'amplitude voulue est alors envoyé à l'antenne, d'où les ondes électromagnétiques rayonnent, puis se propagent dans l'espace, comme nous l'avons dit précédemment.

Notons toutefois que dans le cas de la *figure 2*, les ONDES conservent dans le temps la MEME AMPLITUDE et la MEME FREQUENCE.

Ces ondes, appelées ONDES ENTRETENUES PURES, ne servent de support à aucun message.

Elles se succèdent uniformément toujours égales les unes aux autres, comme on peut le voir *figure 3 a*.



Pour communiquer au moyen des ondes radio, il faut donc modifier en quelque sorte leur succession uniforme.

Le système le plus simple pour obtenir ceci consiste à faire fonctionner l'émetteur par intervalles de temps plus ou moins longs, de façon à ce que les ondes rayonnées soient morcelées en plusieurs groupes de durée différente.

Sur le graphique de la *figure 3-b*, on voit comment l'on peut modifier le signal envoyé à l'antenne et donc les ondes rayonnées par celle-ci, quand l'émetteur fonctionne par intervalles de temps en ne produisant pas le signal HF entre les instants indiqués par A et B.

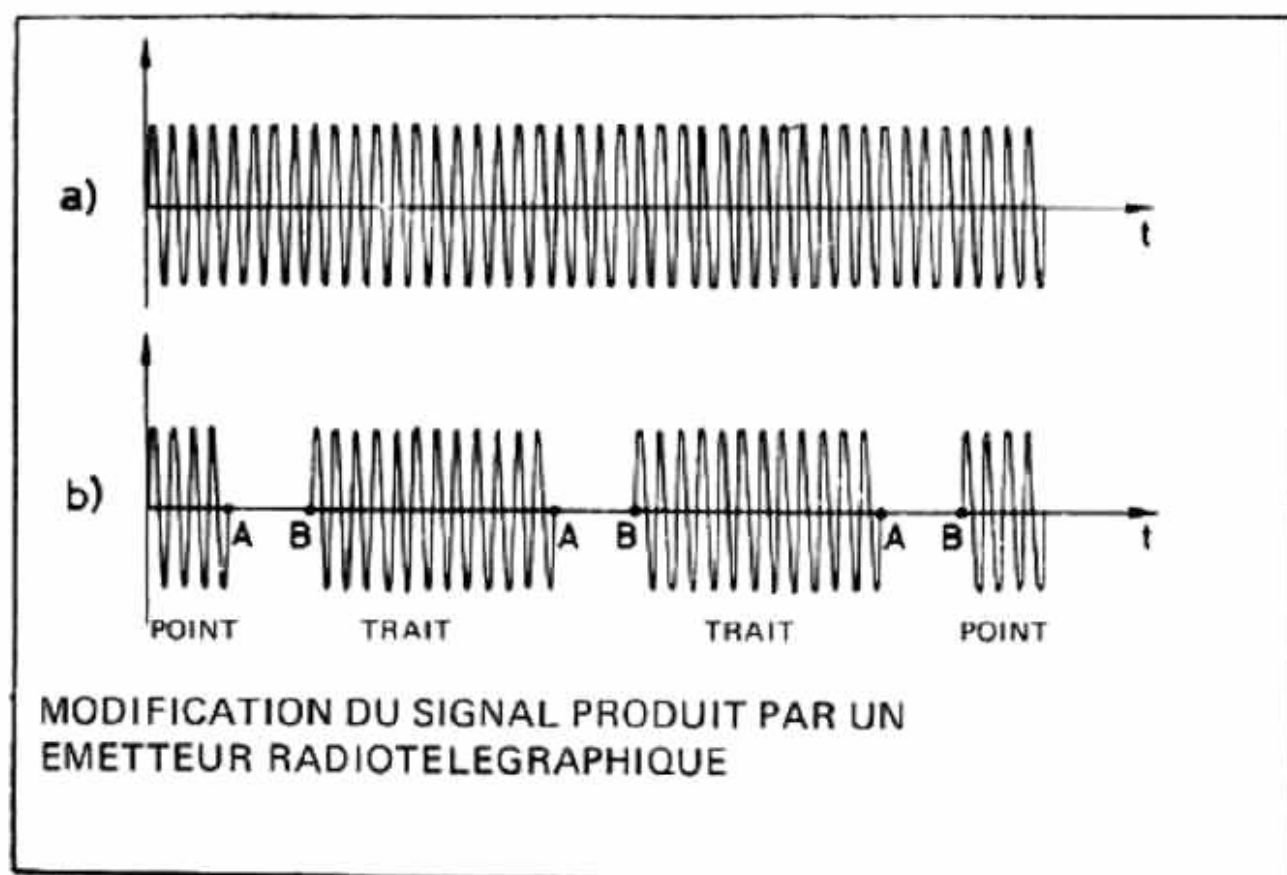


Figure 3

Ainsi on a pu aussi utiliser pour les émissions radio, le code Morse, introduit par l'Américain Samuel Morse (1791 - 1872) pour les communications télégraphiques sur fil.

Selon ce code, aux lettres et chiffres correspondent des points et des traits qui se succèdent selon un ordre conventionnel et différent pour chaque lettre ou chiffre, comme on le voit sur la *figure 4*.

Dans le cas des radiocommunications, un point est émis en rayonnant un groupe d'ondes de courte durée, tandis que pour émettre un trait, on rayonne un groupe d'ondes de durée trois fois supérieure à celle d'un point.

Par exemple, le signal qui est indiqué sur la *figure 3 - b* représente un point suivi de deux traits et d'un autre point ; comme on peut le voir sur la *figure 4*, cette succession de points et de traits correspond à la lettre P.

Les émetteurs de ce type sont appelés **RADIOTELEGRAPHIQUES**, car ils permettent d'émettre des messages au moyen du code utilisé en télégraphie.

On appelle au contraire **RADIOTELEPHONIQUES** les émetteurs qui permettent une émission directe des sons, comme cela se produit dans une communication téléphonique normale.

Pour émettre des sons il faut également modifier la succession uniforme des ondes radio ; on obtient alors ceci, non pas en interrompant le fonctionnement de l'émetteur, mais en ayant recours à la modulation du signal HF qui consiste à modifier ce signal d'après le son à émettre.

Un signal HF peut être modifié en faisant varier son amplitude ou bien sa fréquence et l'on a donc deux types d'émetteurs : les émetteurs à **MODULATION D'AMPLITUDE**, dans lesquels l'amplitude du signal HF varie, et les émetteurs à **MODULATION DE FREQUENCE**, dans lesquels varie au contraire la fréquence de ce même signal.

Pour voir avec plus de précisions comment le signal HF est modifié par la modulation, étudions la *figure 5*.

Rappelons-nous que les sons à émettre sont recueillis par un **MICRO-**

A	• —	S	• • •
B	— • • •	T	—
C	— • — •	U	• • —
D	— • •	V	• • • —
E	•	W	• — —
F	• • — •	X	— • • —
G	— — •	Y	— • — —
H	• • • •	Z	— — • •
I	• •	1	• — — — —
J	• — — —	2	• • — — —
K	— • —	3	• • • — —
L	• — • •	4	• • • • —
M	— —	5	• • • • •
N	— •	6	— • • • •
O	— — —	7	— — • • •
P	• — — •	8	— — — • •
Q	— — • —	9	— — — — •
R	• — •	0	— — — — —

CODE MORSE

Figure 4

*PHONE* qui les transforme en courants ou en tensions alternatives dont l'amplitude et la fréquence dépendent de la nature des sons.

Dans le cas d'un SON D'AMPLITUDE et de FREQUENCE toujours égales (une note de musique par exemple, dont l'intensité sonore est maintenue constante) le SIGNAL fourni par le MICROPHONE a une ALLURE SINUSOIDALE.

Ce signal ayant une fréquence très inférieure à celle des signaux HF normalement utilisés pour les émetteurs radio, il est appelé signal BASSE FREQUENCE, terme qui, dorénavant, sera indiqué par l'abréviation BF.

Le signal HF de la *figure 5 - b* accomplit en effet de nombreux cycles, pendant le temps employé par le signal BF pour en accomplir seulement deux

Sur la *figure 5 - c* on voit comment se modifie ce signal HF quand il est modulé en amplitude par le signal BF de la *figure 5 - a*.

L'amplitude du signal HF n'est plus la même à chaque instant, comme sur la *figure 5-b*, mais elle varie d'un instant à l'autre selon la variation du signal BF, en augmentant pendant les demi-périodes positives et en diminuant pendant les demi-périodes négatives. Cette variation s'appelle la MODULATION.

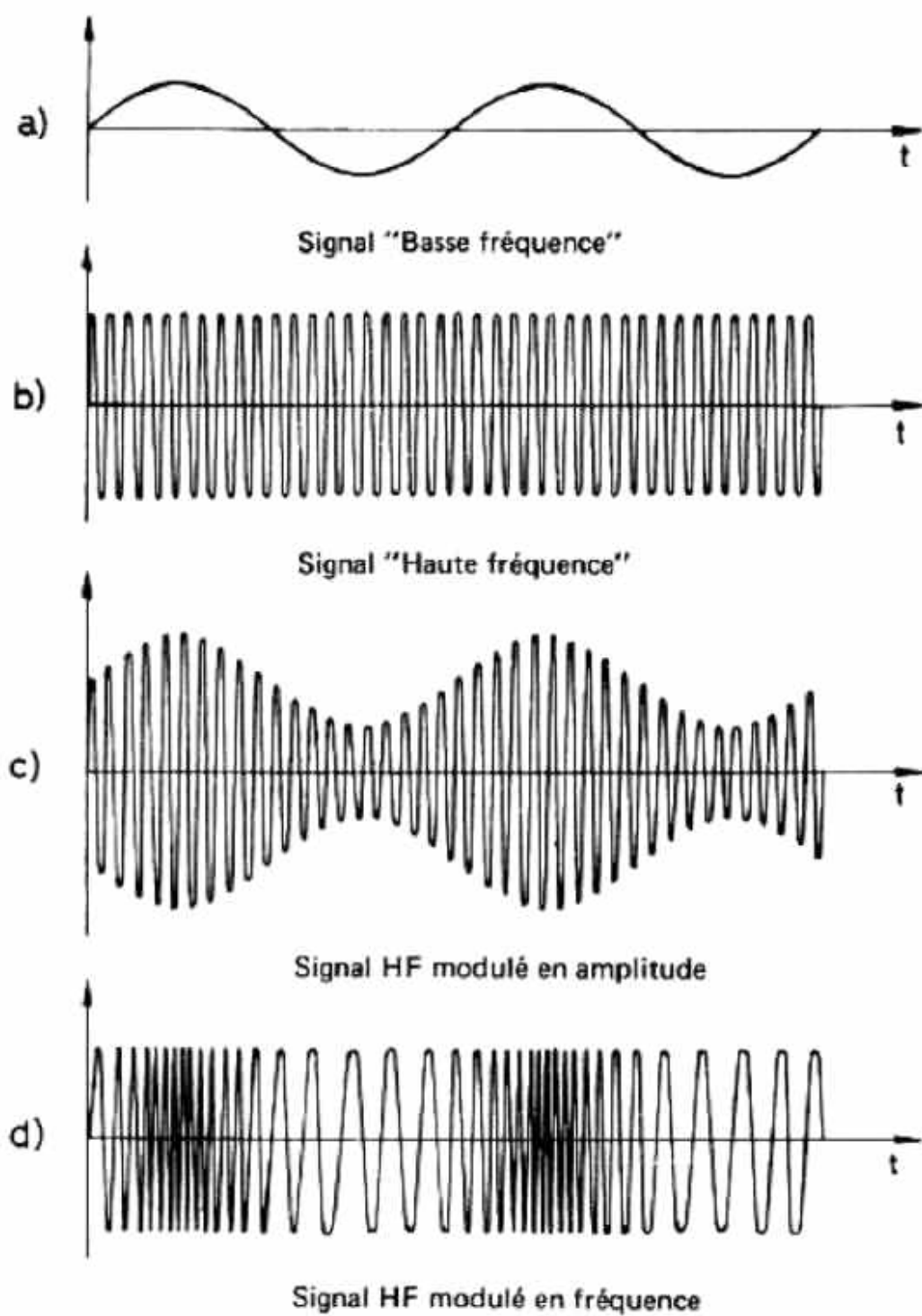
Si on traçait une ligne qui passe par toutes les valeurs maxima de tous les cycles du signal HF, on obtiendrait une sinusoïde semblable à celle de la *figure 5 - a*, qui indique l'allure du signal BF.

Grâce à la MODULATION, le signal HF conserve du signal BF, une espèce "d'empreinte" représentant l'équivalent électrique du son à émettre.

Quand on fait varier l'amplitude du signal HF, la modulation ne fait pas varier la fréquence de ce même signal ; le contraire se produit dans le cas de la modulation de fréquence, car l'amplitude du signal HF reste constante tandis que sa fréquence varie.

Sur la *figure 5 - d*, on peut voir comment le signal HF de la *figure 5-b* se modifie quand il est modulé en fréquence au moyen du signal BF de la *figure 5 - a*.

La fréquence du signal HF augmente durant les demi-périodes posi-



# MODULATION D'AMPLITUDE ET DE FREQUENCE

Figure 5



ves du signal BF, tandis qu'elle diminue pendant les demi-périodes négatives de ce signal ; l'augmentation de la fréquence est indiquée, sur la *figure 5 - d*, par l'épaississement des cycles, tandis que la diminution de la fréquence est indiquée par l'éclaircissement des cycles.

Dans ce cas encore, le signal HF a bien une caractéristique : sa fréquence, variant avec le signal BF, représentant le son à émettre.

Evidemment, les émetteurs radiotéléphoniques sont plus complexes que les émetteurs radiotélégraphiques car, en plus de la production du signal HF, ils doivent aussi s'occuper de sa modulation au moyen du signal BF.

Si nous étudions sur la *figure 6 - a*, le bloc-diagramme d'un émetteur à modulation d'amplitude, nous voyons la partie HF, semblable à celle décrite sur la *figure 2*, mais aussi la partie relative à la BF.

Cette partie comprend le MICROPHONE, le PREAMPLIFICATEUR BF et le MODULATEUR. Celui-ci délivre la puissance nécessaire pour la modulation du signal HF. L'amplitude de ce dernier varie donc en fonction du signal BF.

Pour des raisons techniques sortant du cadre de ce cours, la modulation d'AMPLITUDE ne peut être introduite que sur le dernier étage de l'émetteur. Il faut donc amplifier séparément le signal HF et le signal BF.

Dans les émetteurs à modulation de fréquence, au contraire, la modulation peut être effectuée directement à l'origine du signal HF, c'est-à-dire dans l'oscillateur HF, et il suffit donc d'amplifier le seul signal HF désormais modulé.

L'émetteur à modulation de fréquence est donc plus simple, comme on le voit en étudiant son bloc-diagramme sur la *figure 6 - b* : en effet, immédiatement après le microphone il y a le modulateur, d'où le signal BF passe à l'oscillateur HF, de façon à faire varier sa fréquence comme on l'a vu sur la *figure 5 - d*.

Les détails sur les différences entre MODULATION D'AMPLITUDE et MODULATION de FREQUENCE en ce qui concerne les circuits, seront traités en détails dans le COURS SPECIALISATION RADIO, ces sujets n'étant pas d'intérêt général, mais propres à la Radio.

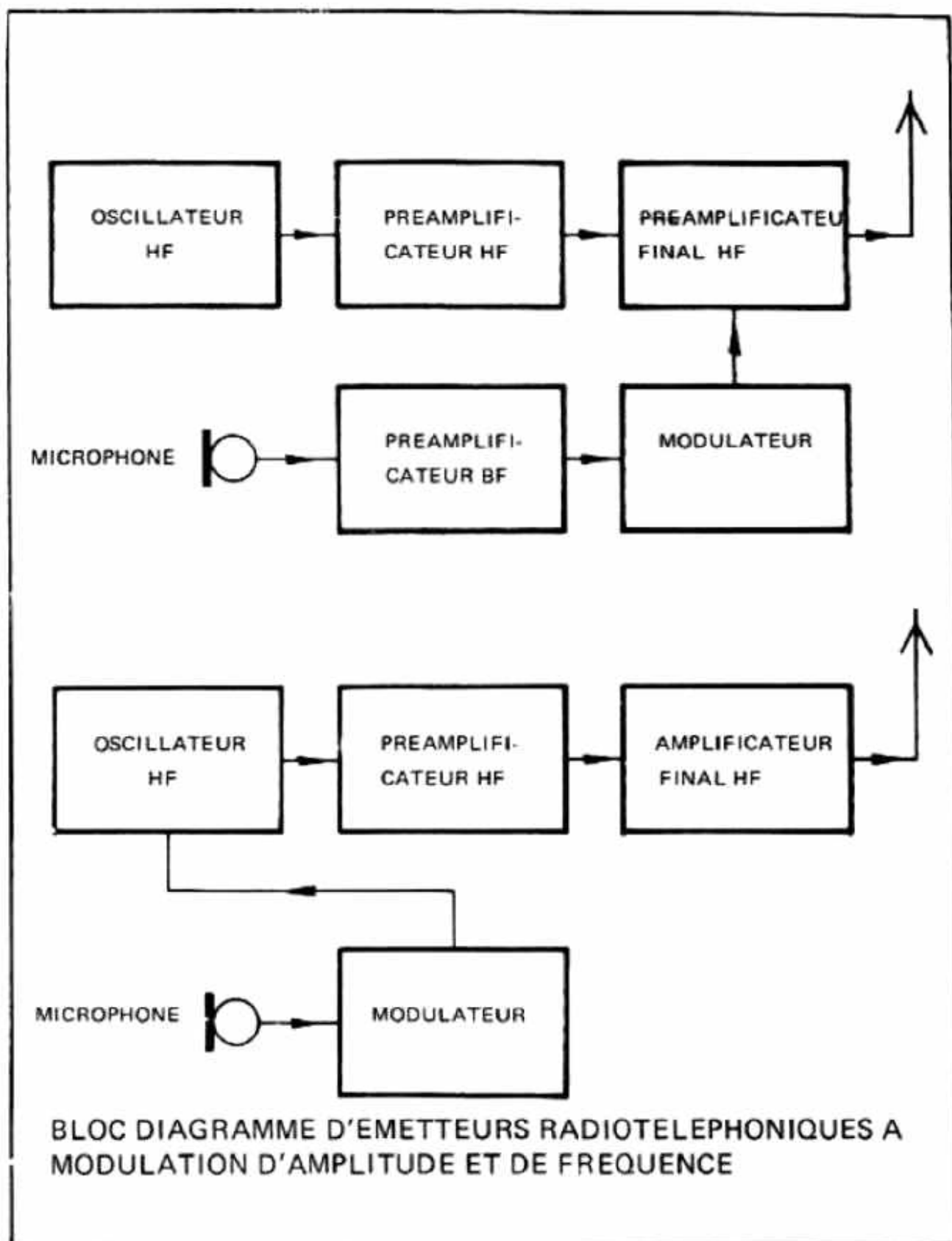


Figure 6

Après cette introduction sur les principes de L'EMISSION, nous devons voir maintenant les principes de la RECEPTION, car une EMISSION n'aurait aucune signification, s'il n'existait pas un système susceptible de la capter.

## 1 - 2 - RECEPTEURS RADIO

Comme nous l'avons vu, au moment de l'émission radio-téléphonique les sons sont transformés en signaux BF avec lesquels on module un signal HF qui est envoyé à l'antenne d'où rayonnent les ondes électromagnétiques.

Pour pouvoir recevoir le message confié à ces ondes, il faut refaire en sens inverse toutes ces opérations, jusqu'à ce qu'on obtienne de nouveau les mêmes sons que ceux produits devant le microphone de l'émetteur ; c'est le RECEPTEUR RADIO qui fait cela (on l'appelle plus simplement, RECEPTEUR).

Le premier élément d'un récepteur est l'antenne réceptrice que l'on voit sur la *figure 7*. Quand le champ électromagnétique rayonné par l'émetteur arrive à cette antenne, il y induit un signal HF qui a la même allure que celui de la *figure 5-c* s'il est modulé en amplitude, ou celui de la *figure 5-d* s'il est modulé en fréquence.

La première opération accomplie dans le récepteur est donc l'opposée de la dernière opération accomplie dans l'émetteur : en effet, tandis que l'antenne émettrice, en recevant un signal HF rayonne un champ électromagnétique, l'antenne réceptrice, atteinte par ce même champ, le transforme de nouveau en un signal HF.

Normalement de nombreux émetteurs fonctionnent, et chacun d'eux rayonne son propre champ électromagnétique avec une fréquence bien définie, caractéristique de l'émetteur.

Dans l'antenne réceptrice s'induisent donc de nombreux signaux HF, et chacun d'eux a une fréquence déterminée, différente des autres ; entre tous ces signaux, il faut pourtant choisir celui qui est dû à l'émetteur que

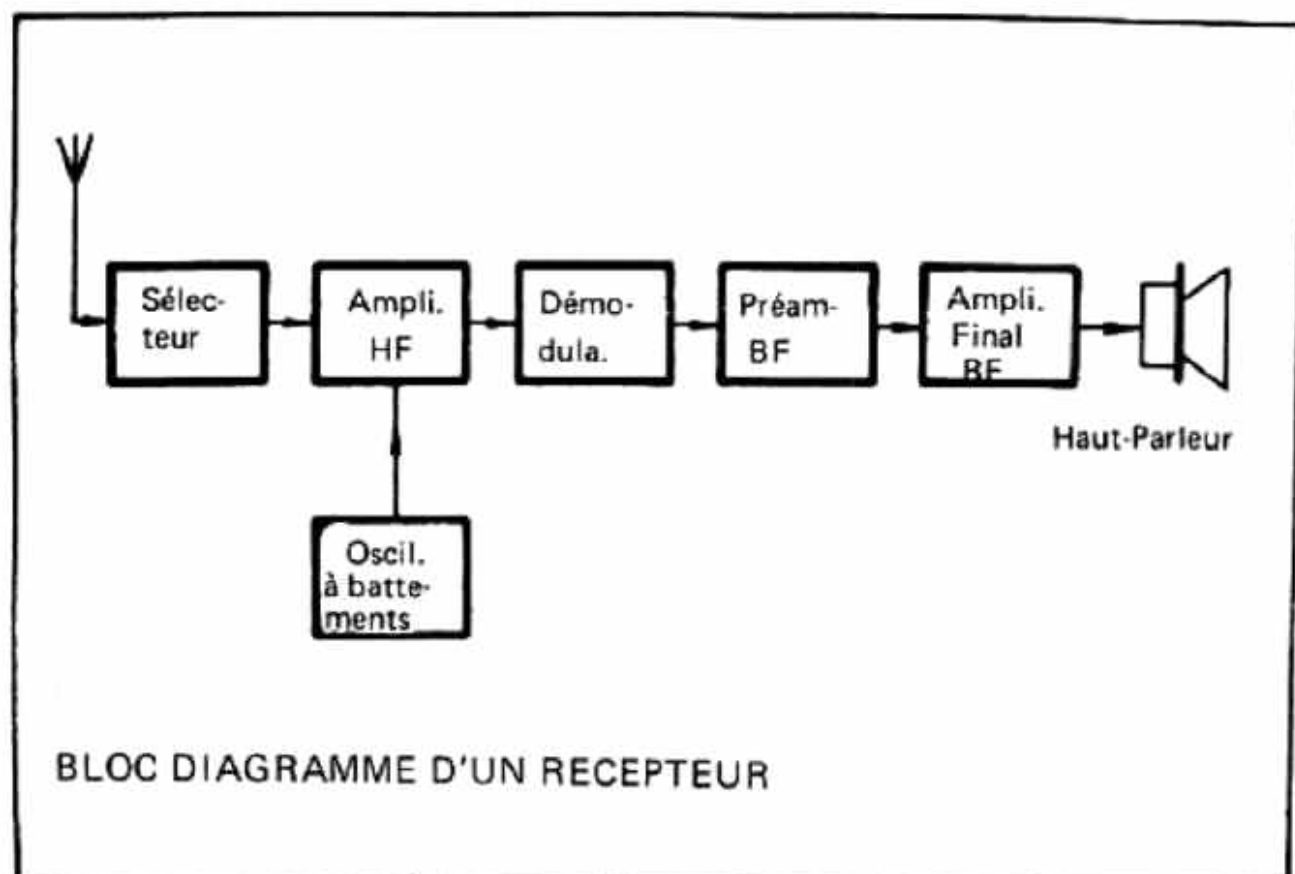


Figure 7

l'on désire recevoir. C'est le travail du *SELECTEUR*, qui suit immédiatement l'antenne réceptrice, comme on le voit sur la *figure 7*.

Le sélecteur ne fournit un signal HF que pour la fréquence de l'émetteur que l'on veut recevoir, en éliminant ainsi tous les autres émetteurs qui ont des fréquences différentes ; dans ce cas on dit que le récepteur est en accord avec l'émetteur choisi.

En général, le sélecteur est muni d'organes qui permettent de faire varier l'accord, c'est-à-dire d'accorder le récepteur avec l'un ou l'autre des différents émetteurs.

Le signal HF obtenu par le sélecteur a une amplitude trop petite pour pouvoir être utilisé convenablement ; c'est pourquoi il est amplifié par un *AMPLIFICATEUR HF* et ensuite appliqué au *DEMODULATEUR*, appelé également *DETECTEUR*.

Cet élément effectue la DEMODULATION, opération inverse de la modulation effectuée dans l'émetteur qui consiste à retirer du signal HF modulé en amplitude ou en fréquence un signal BF qui a la même allure que le signal BF indiqué sur la *figure 5-a*.

Comme on le voit sur la *figure 7*, le démodulateur est suivi par un PREAMPLIFICATEUR BF, qui amplifie le signal BF fourni par le démodulateur pour le porter à une valeur apte à exciter l'AMPLIFICATEUR FINAL BF, dont on obtient enfin le signal BF nécessaire au fonctionnement du HAUT-PARLEUR.

Ce dernier élément du récepteur accomplit l'opération inverse de celle accomplie par le microphone, car il transforme les signaux BF en sons.

Le haut-parleur reproduit fidèlement le son émis, du moment que le signal qui lui est envoyé a la même allure que celui qui est fourni par le microphone quand le même son est produit devant lui.

Sur la *figure 7*, on voit aussi un OSCILLATEUR A BATTEMENTS (BFO), qui sert à obtenir la réception des émissions télégraphiques.

Comme nous l'avons vu, ces émissions se produisent en rayonnant des groupes d'ondes (*figure 3-b*) qui, n'étant modulées ni en amplitude ni en fréquence, ne produiraient aucun son audible dans le haut-parleur.

En effet, pour qu'un SON soit AUDIBLE il doit être compris entre 20 et 15 000 Hz environ alors que les fréquences d'émissions s'échelonnent entre 200 kHz et 3 000 MHz.

L'OSCILLATEUR à BATTEMENT est donc prévu pour engendrer une fréquence qui après mélange avec la fréquence captée, donnera une fréquence audible. Après détection et amplification, on aura ainsi un SON d'une durée plus ou moins longue, selon qu'il s'agit d'un point ou d'un trait du code MORSE.

Le récepteur de la *figure 7* est l'un des plus simples que l'on puisse imaginer. En pratique on utilise des appareils beaucoup plus complexes, dans le but d'améliorer la SENSIBILITE (possibilité du récepteur de pouvoir capter des émissions très lointaines donc très faibles) et la SELECTIVITE (possibilité du récepteur de pouvoir séparer nettement deux émissions de fréquences voisines).



Dans les bloc-diagrammes étudiés, on n'a jamais indiqué, par souci de simplicité, l'ALIMENTATION, c'est-à-dire le dispositif qui fournit les tensions continues nécessaires au fonctionnement des appareils émetteurs et récepteurs ; ces alimentations seront étudiées dans les futures leçons.

La nécessité de disposer de tensions continues fournies par une alimentation spéciale est due au fait que, dans tous les appareils dont nous avons parlé, on emploie des LAMPES ou des TRANSISTORS, qui doivent précisément être alimentés avec des tensions continues d'une valeur appropriée.

Avant d'aller plus loin, nous devons donc étudier en détail ces nouveaux composants que sont les LAMPES et les TRANSISTORS.

Rappelons à ce sujet que les LAMPES aussi appelés TUBES ELECTRONIQUES ainsi que les circuits relatifs à celles-ci, sont passées en revue dans les leçons "THEORIE", alors que les TRANSISTORS et les circuits TRANSISTORISES, figurent dans les leçons "SEMI-CONDUCTEURS".

## 2 - EMISSION THERMO-ELECTRONIQUE

Dans cette seconde partie de la leçon, nous commencerons à nous occuper des tubes électroniques, appelés ainsi parce qu'à la base de leur fonctionnement il y a des électrons.

Dans les leçons précédentes, nous avons étudié les effets produits par les électrons libres de se mouvoir dans les conducteurs, soit solides (métaux) soit liquides (solutions électrolytiques). Nous nous trouvons maintenant devant un aspect tout à fait nouveau de ces conducteurs, car, dans les tubes, les électrons se meuvent dans un espace vide.

Les tubes électroniques sont formés en effet d'une enveloppe, appelée plus précisément *AMPOULE*, en général en verre, dans laquelle on a effectué un vide poussé, en absorbant l'air avec une pompe et en fermant hermétiquement cette ampoule.

Voyons d'abord comment on obtient dans l'ampoule d'un tube les électrons nécessaires à son fonctionnement.

A cet effet on utilise l'EMISSION THERMO-ELECTRONIQUE, qui consiste en l'émission d'électrons à partir d'un métal porté à une haute température.

Les électrons émis sont ceux qui sont libres dans le métal, où ils se meuvent d'une façon désordonnée en changeant continuellement de direction comme on l'a vu dans une des leçons précédentes.

Dans des conditions normales, ces électrons ne peuvent pas sortir du métal parce qu'ils n'ont pas l'énergie suffisante pour surmonter l'obstacle constitué par les atomes situés à la surface du métal.

Pour comprendre en quoi consiste cet obstacle, étudions la *figure 8* où sont représentés quelques atomes superficiels d'un métal, c'est-à-dire les atomes qui séparent l'intérieur du métal de l'espace extérieur.

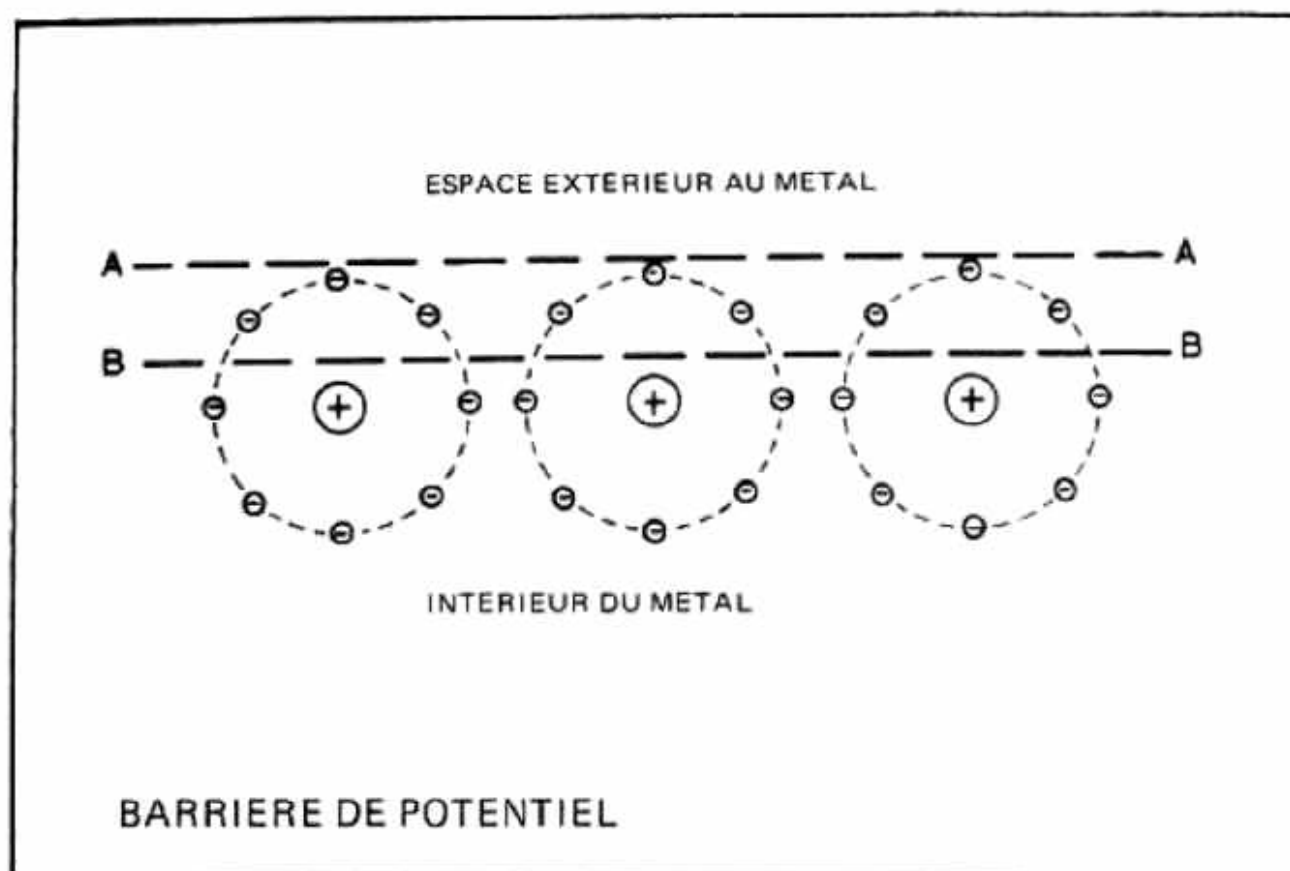


Figure 8

Pour sortir de l'intérieur du métal et atteindre l'espace extérieur, les électrons libres doivent passer à travers ces atomes ; sur la *figure 8*, on voit que, dans la zone comprise entre les lignes de pointillés indiquées par A et B, on trouve exclusivement des électrons qui appartiennent aux atomes superficiels et forment dans leur ensemble une couche très mince au potentiel négatif.

Cette couche constitue une *BARRIERE DE POTENTIEL* pour les électrons libres, car elle les empêche de passer dans l'espace extérieur en les repoussant vers l'intérieur du métal.

Pour que les électrons libres soient en mesure de surmonter l'obstacle constitué par la *BARRIERE DE POTENTIEL* et de sortir du métal il faut augmenter leur énergie ; ceci peut s'obtenir de plusieurs manières, et celle qui nous intéresse consiste à augmenter la température du métal.

L'augmentation d'énergie acquise par les électrons quand la température du métal augmente se traduit par une augmentation de leur vitesse.

Ainsi les plus rapides parmi les électrons libres peuvent sortir du métal, car la barrière de potentiel ne réussit plus à arrêter leur course rapide et à les repousser à l'intérieur.

L'émission thermo-électronique dépend de la température à laquelle est porté le métal, et de la nature du métal.

Il est évident que l'émission des électrons est d'autant plus abondante que la température du métal est plus élevée et donc que l'énergie possédée par ses électrons libres est plus importante ; mais on ne peut élever la température à l'infini car le métal, sa température de fusion atteinte, passerait à l'état liquide.

Pour obtenir la même émission d'électrons de métaux divers, il faut les porter à des températures qui diffèrent sensiblement d'un métal à l'autre.

Dans la pratique, les électrons nécessaires au fonctionnement des tubes sont obtenus à partir de métaux qui fournissent une bonne émission à des températures pas trop élevées et suffisamment éloignées de la température de fusion.

Parmi tous les métaux, le plus adapté à cet objet est le tungstène pur, qui a une température de fusion de  $3.370^{\circ}\text{C}$  et peut déjà fournir une émission satisfaisante à une température d'environ  $2.200^{\circ}\text{C}$ .

L'emploi du tungstène pur est limité aux tubes de grande puissance,

tandis que, pour les tubes de moyenne puissance on emploie du tungstène mélangé avec de l'oxyde de thorium qui, à une haute température, se transforme en thorium métallique en se répandant à la superficie du tungstène.

On obtient ainsi une émission électronique non seulement bien supérieure à celle qui est fournie par le tungstène pur, lorsque ce thorium métallique est porté à une température de seulement 1600° C.

Le tungstène mélangé au thorium ne peut pas être utilisé pour les tubes de grande puissance car les hautes tensions appliquées à ces tubes causeraient sa détérioration, pour une raison que nous verrons dans la prochaine leçon.

Pour les tubes d'une puissance limitée, on obtient l'émission à partir d'oxydes de baryum et de strontium disposés pour former une mince couche sur un métal (en général du nickel) qui sert de support.

L'émission obtenue est encore plus abondante que dans les cas précédents, et cela pour une température moins élevée tournant aux alentours de 700° C.

L'émission à partir des oxydes n'est utilisée que pour les tubes de petite puissance, dans lesquels on a des tensions peu élevées car, dans ce cas encore, de fortes tensions pourraient causer la destruction de la couche d'oxydes déposée sur le nickel.

Il faut tenir compte du fait que toutes ces substances n'émettent pas indéfiniment des électrons car, après un certain nombre d'heures de fonctionnement des tubes, elles subissent des altérations qui ont pour conséquence de réduire considérablement le nombre d'électrons émis ; dans ces conditions on dit que le tube est *EPUISÉ* ; il devient pratiquement inutilisable, le nombre d'électrons disponibles pour son fonctionnement normal étant désormais insuffisant.

Les substances à partir desquelles on obtient l'émission électronique sont portées à la température nécessaire au moyen de l'effet thermique du courant électrique.

Sous cet aspect, les tubes électroniques se divisent en deux grandes catégories : les *TUBES A CHAUFFAGE DIRECT* et les *TUBES A CHAUFFAGE INDIRECT*.

Dans les tubes à chauffage direct, l'élément destiné à l'émission des électrons est formé d'un fil parcouru par un courant d'une intensité apte à

le porter à la température voulue ; cet élément est appelé *FILAMENT*.

Le fil qui constitue le filament est en général replié sur lui-même et placé à l'intérieur d'une ampoule comme on le voit, par exemple sur la *figure 9 - a*, où est représenté un tube normal pour récepteur.

L'extrémité supérieure du filament est soutenu par un ressort qui le maintient tendu même quand ce filament s'allonge sous l'effet de la température. Les extrémités inférieures sont fixées à deux petites broches qui sortent de l'ampoule et permettent de relier ce filament au circuit extérieur d'où provient le courant *DE CHAUFFAGE* qui le parcourt et le porte à la température voulue.

On dit que le filament "s'allume" car, quand on observe un tube en fonctionnement, on voit que son filament prend une couleur rouge plus ou moins vive.

Dans les tubes à chauffage direct, ce *filament, porté à une haute température, émet donc des électrons.*

*Au contraire, dans les tubes à chauffage indirect les électrons sont émis par un élément, appelé CATHODE, porté à la température voulue par le filament, qui est électriquement isolé de la cathode et qui n'a pour rôle que de chauffer celle-ci*

La cathode a la forme d'un petit cylindre disposé autour du filament, comme on le voit sur la *figure 9 - b* ; elle doit aussi être reliée au circuit extérieur du tube et est donc munie d'une petite broche spéciale qui sort par la partie inférieure de l'ampoule, près du filament.

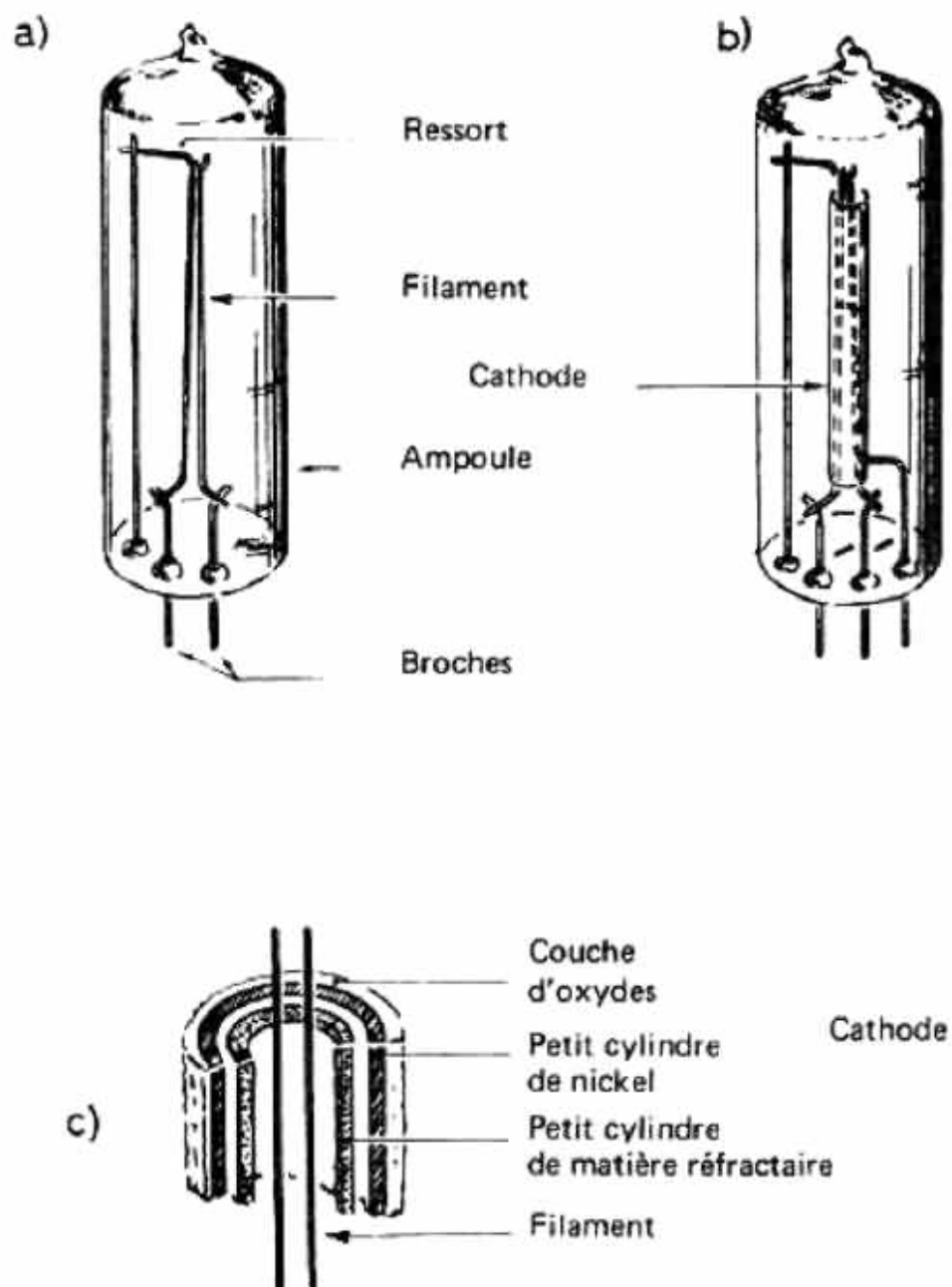
La *figure 9 - c* montre la section d'un morceau de cathode très agrandie : pour isoler électriquement le filament de la cathode, il y a entre les deux éléments un petit cylindre en matière réfractaire, c'est-à-dire une matière qui résiste à de très hautes températures.

Sur la *figure 9 - c*, on peut voir que la cathode est formée d'un petit cylindre de nickel, sur lequel est déposée la couche d'oxydes de baryum et de strontium à partir de laquelle se produit l'émission électronique.

Dans les tubes à chauffage indirect les électrons sont toujours obtenus de la couche d'oxydes qui recouvre la cathode, tandis que pour les tubes à chauffage direct on utilise des filaments émetteurs de tungstène pur ou de tungstène avec du thorium.

Les tubes à chauffage direct entrent plus rapidement en fonctionnement, après mise sous tension, que les tubes à chauffage indirect, car, dans ces derniers, la chaleur produite par le filament met un certain temps pour atteindre





TUBES A CHAUFFAGE DIRECT ET INDIRECT

Figure 9

la cathode et la porter à la température à laquelle se produit l'émission. C'est pour cela que sur un appareil à lampes, il faut attendre quelques secondes avant d'obtenir un fonctionnement normal.

Les tubes à chauffage indirect présentent cependant l'avantage de pouvoir être alimentés par le courant alternatif, facilement obtenu du réseau. Les tubes à chauffage direct, au contraire, réclament dans de nombreux cas un courant de chauffage continu, car le courant alternatif présenterait des inconvénients, comme nous le verrons dans la leçon théorique 17.

Dans la prochaine leçon, nous étudierons le comportement de ces électrons libres de se mouvoir dans le vide et nous commencerons l'étude des différentes façons de les utiliser.



## NOTIONS A RETENIR

- Les ONDES ELECTROMAGNETIQUES se propagent dans l'espace à la VITESSE DE LA LUMIERE, c'est-à-dire à 300.000 km/s.
- On calcule la LONGUEUR D'ONDE, en divisant la VITESSE par la FREQUENCE. Cette définition peut être exprimée plus simplement par la formule :

$$\lambda = \frac{V}{F} \quad \text{avec}$$

$\lambda$  = longueur d'ondes en mètres

$V$  = vitesse de la lumière en km/s

$F$  = fréquence des ondes en kHz

EXEMPLE : Quelle est la longueur des ondes dont la fréquence est de 600 kHz.

On applique la formule :

$$\lambda = \frac{V}{F} = \frac{300\,000}{600} = 500 \text{ m}$$

Connaissant la LONGUEUR D'ONDE, on peut de la même façon calculer la FREQUENCE, en divisant la vitesse de la lumière par la longueur d'onde.

Cette définition peut être exprimée plus simplement par la formule :

$$F = \frac{V}{\lambda} \quad \text{avec}$$

$F$  = fréquence en kHz

$V$  = vitesse de la lumière en km/s

$\lambda$  = longueur d'ondes en m.

**EXEMPLE :** Quelle est la fréquence correspondant à une longueur d'ondes de 500 m.

On applique la formule :

$$F = \frac{V}{\lambda} = \frac{300\,000}{500} = 600 \text{ kHz}$$

- Les **EMETTEURS RADIO**, travaillent sur des fréquences comprises entre 200 kHz et 16 MHz environ et les **EMETTEURS de TELEVISION** sur des fréquences comprises entre 40 et 900 MHz environ.

Ces fréquences correspondent à l'**ONDE PORTEUSE**, c'est-à-dire à l'onde dont la fréquence est assez élevée pour se propager facilement dans l'espace.

Or la gamme des fréquences **AUDIBLES** à l'oreille humaine est comprise entre 20 et 15 000 Hz environ, seulement. La **PORTEUSE** est donc **INAUDIBLE**.

Pour cette raison la **PORTEUSE** est **MODULEE** en **AMPLITUDE** ou en **FREQUENCE**, au rythme d'une fréquence audible.

- On appelle **A.F.** (Audio-fréquences) la gamme des fréquences audibles. En France cependant, on utilise plus couramment le terme de **BF** (basse fréquences).

Ainsi, l'appellation de : **AMPLIFICATEUR BF**, désigne un dispositif amplificateur, en mesure de reproduire les **SONS** audibles, c'est-à-dire les sons dont la fréquence est comprise entre 20 et 15 000 Hz.

- Le terme H.F. (hautes fréquences) bien que désignant normalement les fréquences comprises entre 3 et 30 MHz, est souvent utilisé pour désigner indifféremment n'importe quelle FREQUENCE INAUDIBLE.

En radio par exemple, on parle de la PORTEUSE HF, sans toujours préciser s'il s'agit d'une fréquence L.F, M.F ou vraiment HF (voir tableau figure 1 de cette leçon).

Il suffit donc de retenir à ce sujet que le terme HF désigne la PORTEUSE, c'est-à-dire l'ONDE ENTRETENUE PURE, dont la FREQUENCE EST TOUJOURS INAUDIBLE.

A noter également que depuis quelques années, ce terme de HF tend à être remplacé par le terme de RADIO FREQUENCE.

Cette nouvelle normalisation se présente donc comme ci-dessous :

AUDIO FREQUENCE = Fréquences audibles (20 à 15 000 Hz)

RADIO FREQUENCE = Bande de fréquence dans laquelle s'effectuent les émissions de radio-communications (y compris le Radar)  $\left\{ \begin{array}{l} \text{de 20 kHz} \\ \text{à} \\ \text{100 000 MHz} \end{array} \right.$

- Les LAMPES ou TUBES ELECTRONIQUES fonctionnent sur le principe de l'émission THERMO-ELECTRONIQUE (émission d'électrons par un métal porté à haute température).
- La BARRIERE DE POTENTIEL est constituée par les ELECTRONS des atomes dont le potentiel négatif repousse les électrons libres.
- Sous l'effet de la température, certains électrons libres peuvent acquérir assez d'énergie pour vaincre la barrière de potentiel.
- Il existe essentiellement deux types de TUBES :
  - a) les tubes à CHAUFFAGE DIRECT. Dans ce cas le filament sert de cathode.
  - b) les tubes à CHAUFFAGE INDIRECT. Dans ce cas le filament chauffant est isolé de la cathode.



**EXERCICE DE REVISION SUR "THEORIE 13"**

- 1 - Quelles sont les caractéristiques qui permettent de classer les ondes radio ?
- 2 - Comment détermine-t-on la fréquence des ondes radio quand on connaît leur longueur ?
- 3 - Qu'entend-on par ondes entretenues ?
- 4 - Quels sont les deux types de modulation utilisés dans les émetteurs radio-téléphoniques ?
- 5 - Quelle est la fonction du détecteur d'un récepteur ?
- 6 - Qu'entend-on par émission thermo-électronique ?
- 7 - De quelles substances obtient-on l'émission des électrons nécessaires au fonctionnement des tubes électroniques ?
- 8 - Par rapport au système de chauffage, en quelles catégories peut-on diviser les tubes ?
- 9 - Dans un tube à chauffage indirect, l'émission des électrons se produit-elle à partir du filament ?



**REPONSES A L'EXERCICE DE REVISION SUR "THEORIE 12"**

- 1 - Le fonctionnement d'un galvanomètre est dû généralement à l'effet magnétique .
- 2 - Le calibre d'un appareil est le courant maximum que l'instrument peut mesurer.
- 3 - La résistance interne d'un galvanomètre est la résistance que le courant à mesurer rencontre quand il traverse cet appareil.
- 4 - Pour mesurer le courant qui circule dans un circuit, on relie en série l'appareil au circuit.
- 5 - Pour doubler le calibre d'un appareil, pour la mesure du courant, on doit lui relier en parallèle un shunt dont la résistance est égale à la résistance interne de l'appareil.
- 6 - Pour mesurer les tensions aux extrémités d'une "résistance" on relie le voltmètre en parallèle sur cette résistance.
- 7 - La valeur que l'on doit donner à la résistance additionnelle d'un voltmètre s'obtient en divisant la tension maximum que l'on veut mesurer par le courant de fin d'échelle de l'appareil et en soustrayant du résultat obtenu la résistance interne de l'appareil.
- 8 - Le zéro se trouve à l'extrême droite du cadran de l'ohmmètre.

