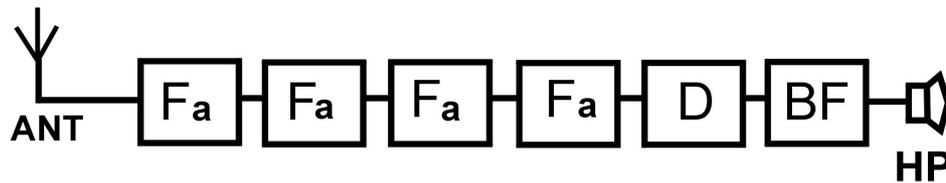


LE PRINCIPE DU CHANGEMENT DE FREQUENCE

1917 : Lucien Lévy, ingénieur à l'émetteur de la Tour Eiffel, dépose un premier brevet le 4 août sur le superhétérodyne, procédé de réception des signaux TSF. Il dépose un second brevet le 1^{er} octobre 1918. Son invention, contestée, puis reconnue est encore aujourd'hui l'objet de controverse.

1921 : la Télégraphie Militaire a révélé une partie des secrets de la TSF mise en oeuvre pendant la Guerre 14-18. Certains de ses ingénieurs deviennent des constructeurs d'appareils civils. Du côté technique, la fameuse lampe TM est à la base du progrès. Du côté « média » (mot inconnu à l'époque), ce sont les journalistes, écrivains et artistes lyriques qui vont pousser à la diffusion de l'information et de la culture par les ondes de la TSF (les politiques ne vont pas tarder...). L'industrie de la TSF est née. Bientôt, deux techniques de réalisation des récepteurs vont s'affronter: d'une part, l'amplification directe, souvent associée à la réaction, et de l'autre, le changeur de fréquence.

Dès l'origine de la TSF, le récepteur fonctionne sur le principe de l'**amplification directe** (fig. 1).



Récepteur à amplification directe.
Fa étages passe-bande réglés par condensateurs variables.
D détection AM. BF basse fréquence.

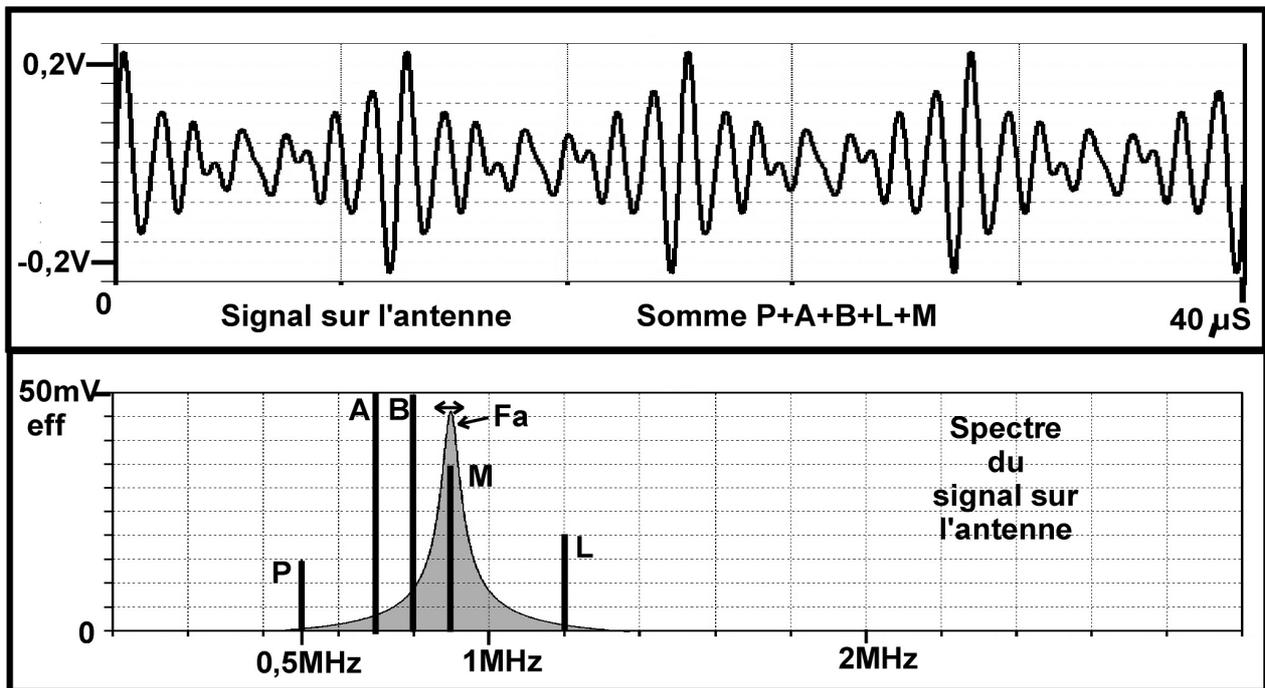


Fig. 1 Récepteur à amplification directe :
Le filtre Fa se déplace sur l'axe des fréquences où le spectre est fixe.

Puis, rapidement, apparaît le **changement de fréquence** (fig. 2 et 3). Dans les années qui vont suivre de multiples variantes du changement de fréquence vont susciter des conflits d'antériorité ou d'intérêts financiers. Au début, on parle de « changement de fréquence par détection » et de « superhétérodyne ». Lucien Lévy propose son « tropadyne » et son « ultradyne » ; d'autres opposent leur « superhotodyne », le « second harmonique » et « l'ultramodulateur » dérivé d'un

circuit de Jouaust ; avec l'apparition de la bigrille en 1924, R. Barthélemy présente le « radiomodulateur » repris par Ducretet, L. Chrétien expose son « trobodyne » et on parle aussi de « supradyne » et « d'infradyne »... Allez vous y reconnaître

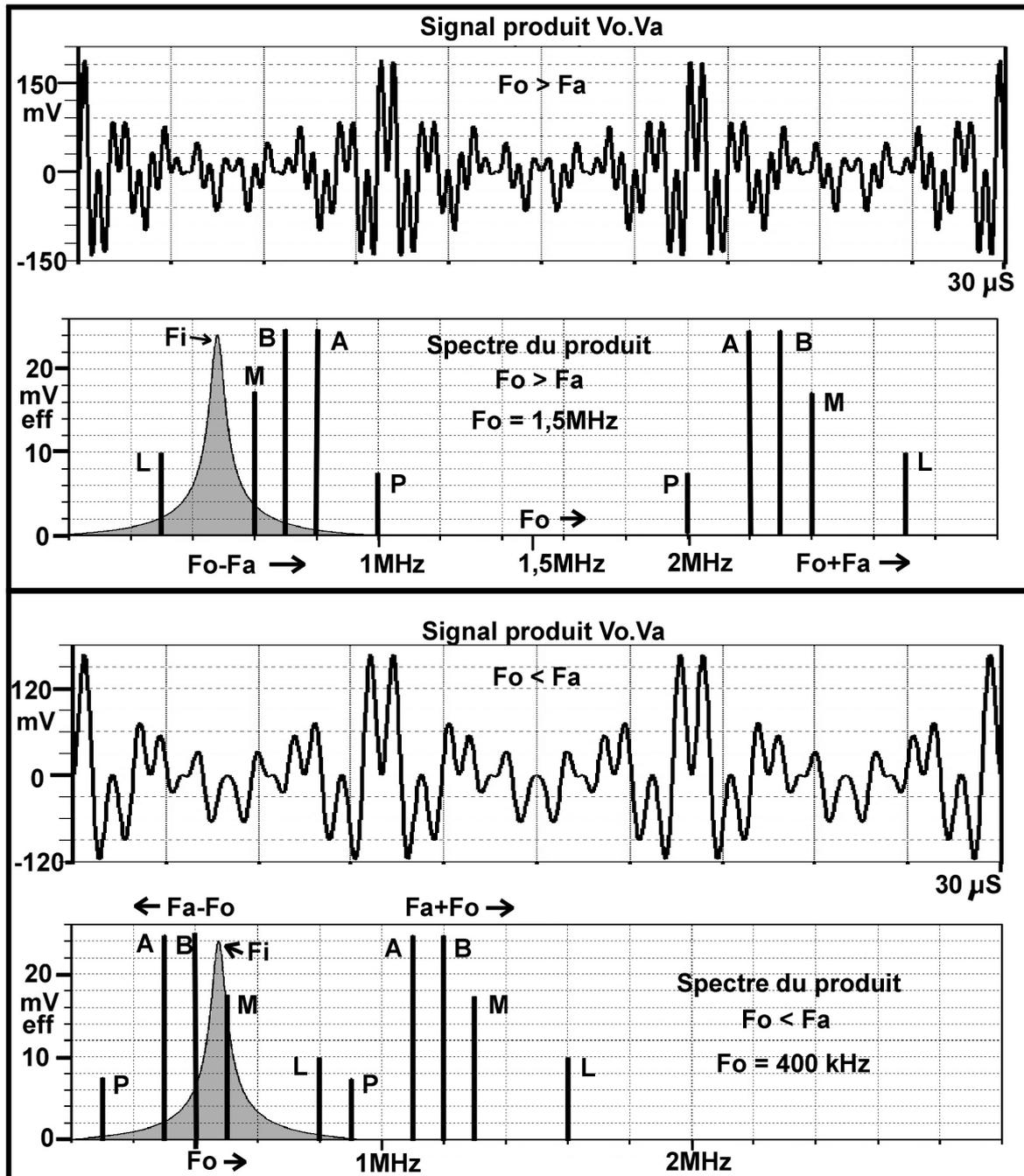
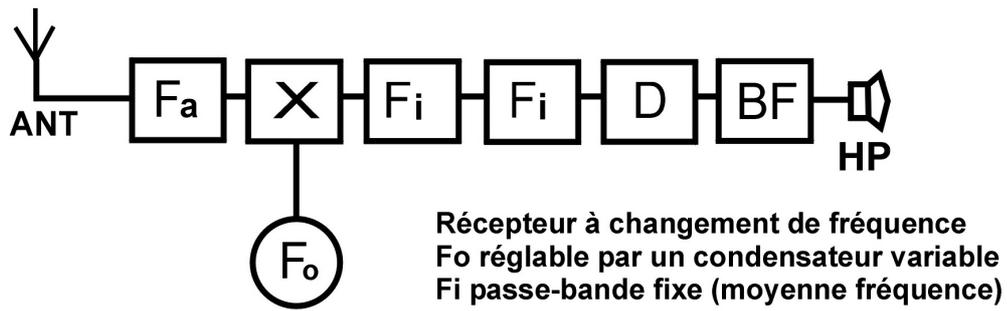


Fig. 2 Récepteur à changement de fréquence :
 Le filtre F_i est fixe et le spectre se déplace sur l'axe des fréquences.

Le spectre présenté est un exemple fictif dont la ressemblance avec un spectre réel serait une pure coïncidence : A pour Ajaccio, B pour Bastia, L pour Lyon, M pour Marseille, P pour Paris...

De ces conflits, en témoigne **la polémique de 1926**. Elle s'installe à propos des principes de fonctionnement des circuits changeurs de fréquence. Elle est très vive et la revue « l'Onde Electrique » s'en fait l'écho. L. Lévy est opposé à M.J. de Mare, R. Barthélemy et H. de Bellescize. Ces personnages sont d'éminents chercheurs de la TSF, mais, bien que possédant certains principes de base, ils n'ont pas tous les outils pratiques, théoriques ou informatiques d'aujourd'hui. Aussi, leurs explications laissent planer le doute. Par exemple, R. Barthélemy, dans son exposé visant à démontrer que le radiomodulateur est un procédé de changement de fréquence différent du superhétérodyne défendu par L. Lévy, s'appuie sur une expression **linéaire** du courant plaque de la bigrille... or cette lampe, tout comme la diode ou la triode, présente d'importantes **non linéarités** qui seules expliquent le phénomène du changement de fréquence dans ces éléments. Les équations utilisées par R. Barthélemy sont, je le crains, peu réalistes. Dans son article de 1926, il utilise un modèle linéaire pour la bigrille. Puis il déclare que la tension d'une grille agit sur l'amplitude de l'autre pour obtenir le produit des signaux. Or, ce phénomène définit justement une opération non linéaire. La notion de non linéarité ne semblait pas très claire pour Barthélemy et ses partisans. Quant à P. Berché, il aggrave les choses en écrivant dans son édition de 1927 de Pratique et Théorie de la TSF, que «...dans le changement de fréquence par détection du type général superhétérodyne, il y a addition d'oscillations et non pas produit... », affirmation erronée, car s'il n'y avait pas produit, il n'y aurait pas changement de fréquence. Les principes de la Physique prennent souvent dans leur réalisation pratique **des formes inattendues faisant croire à de nouvelles découvertes qui trompent leurs inventeurs**. Et puis, caprice ou farce et finalement raison, la bigrille ayant disparu, les circuits ont évolué. Les thèmes de discussions aussi. En reprenant les principes de base, dans les lignes qui suivent, on tente d'expliquer pourquoi **L. Lévy avait vu juste**. Aujourd'hui, tous nos récepteurs fonctionnent sur le principe du changement (ou conversion) de fréquence qu'il avait initié (fig. 2 et 3).

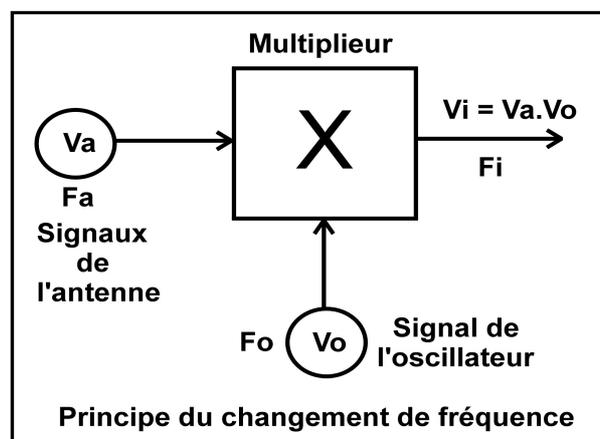


Fig. 3 Le principe du changement de fréquence

Le récepteur à amplification directe (fig.1) est un amplificateur passe-bande dont on règle la fréquence de résonance F_a avec des condensateurs variables à chaque étage. Il faut généralement 4 CV pour accorder les filtres sur la même fréquence. Cette technique aboutira aux « **dinosaures** » des années trente, appareils lourds et encombrants.

Le principe du changement de fréquence (fig. 2). On dit aussi “**translation**” ou “**conversion**” de fréquence. En faisant le produit des valeurs instantanées du signal de l'antenne de fréquence F_a et d'un signal délivré par un oscillateur local F_o , on obtient :

$$\text{Signal antenne: } v_a = V_a \cdot \sin(\omega_a \cdot t) \qquad \omega_a = 2\pi \cdot F_a$$

$$\text{Signal oscillateur : } v_o = V_o \cdot \sin(\omega_o \cdot t) \qquad \omega_o = 2\pi \cdot F_o$$

d'après la formule trigonométrique classique :

$$v_i = v_a \cdot v_o = V_a \cdot V_o \cdot \sin(\omega_a \cdot t) \cdot \sin(\omega_o \cdot t)$$

$$v_i = \frac{1}{2} \cdot V_a \cdot V_o \cdot (\cos(\omega_a - \omega_o) \cdot t - \cos(\omega_a + \omega_o) \cdot t)$$

Fi = Fo + Fa, ou Fi = Fo – Fa, si Fo est > Fa,

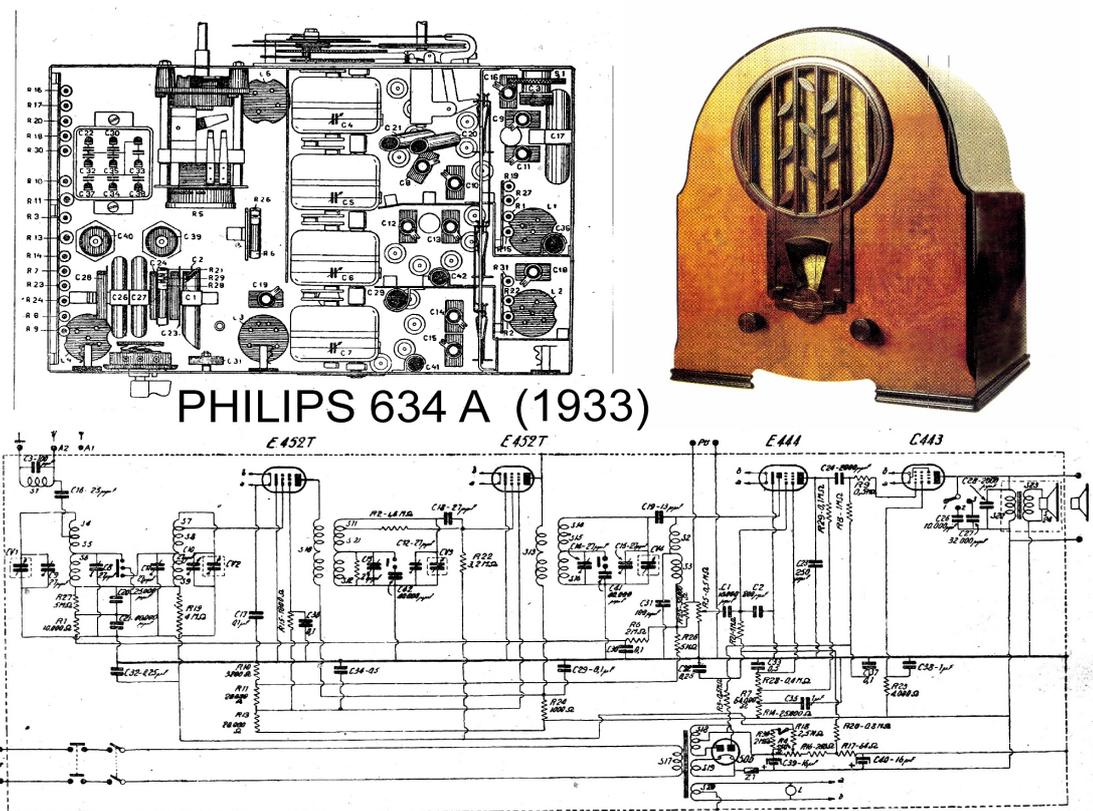
Fi = Fa + Fo, ou Fi = Fa – Fo, si Fo est < Fa

Fi étant fixe, on voit que le **seul réglage de Fo** par un condensateur variable permet la translation de fréquence de Fa à Fi. Le multiplieur a souvent été **baptisé “mélangeur” ou “mixer”**, appellations incertaines quant à la fonction exacte de cet élément.

A quoi il sert.

On l'explique sur un exemple où est présenté un ensemble de stations de radio (*) repérées par leurs fréquences porteuses sur l'axe horizontal (sans leur modulation). Le graphe s'appelle “spectre des émissions”. Le signal sur l'antenne est la somme de toutes ces valeurs (fig.1).

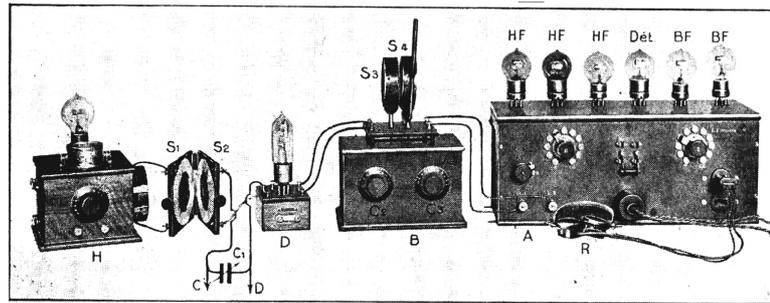
Dans le cas de **l'amplification directe**, pour recevoir une émission Fa, il faut régler la résonance des filtres passe-bande sur cette fréquence. Donc, l'effet du réglage consiste à **déplacer la résonance** sur l'axe des fréquences du **spectre fixe**. Le problème est de bien caler les filtres sur la valeur Fa souhaitée, d'avoir stabilité, sensibilité et largeur de bande constantes. Dans la réalité cela s'avère assez compliqué et a donné naissance aux monstres des années 30, “les dinosaures”, comme le Philips 634 A de 1933 (fig.4).



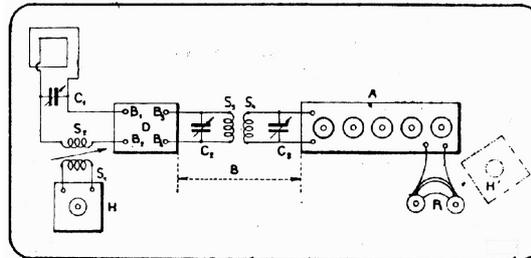
Fig, 4 Philips 634 A, récepteur à amplification directe

Dans le cas du **changement de fréquence**, on voit que le réglage de Fo de l'oscillateur local permet de **déplacer le spectre des émissions** sur l'axe des fréquences devant le **filtre moyenne**

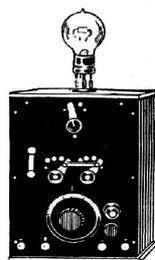
fréquence Fi fixe. Le changement de fréquence du signal de l'antenne permet de remplacer une partie des filtres de l'amplification directe par un **amplificateur passe-bande** fonctionnant à une **fréquence fixe** Fi dite "moyenne fréquence" ou "fréquence intermédiaire". Le réglage est simplifié, stabilité et sensibilité augmentent. Gain et largeur de bandes sonr constants. Les bobinages et leur commutation sont moins compliqués que ceux de l'amplification directe. Toutes les fréquences reçues par l'antenne sont converties à la valeur Fi. Au début de la TSF, les ondes courtes commençaient à 500kHz. On cherchait à les ramener dans les grandes ondes, vers 20kHz, plus faciles à amplifier. Le terme "moyenne fréquence" n'existait pas encore. Un seul CV (sur l'oscillateur) remplace deux ou trois CV du système à amplification directe. Le bilan de cette technique s'est avéré positif dès le début de sa mise en œuvre (Fig. 5 a,b) au point qu'on la retrouve pratiquement dans tous nos récepteurs actuels, y compris télévision, téléphones portables, etc...



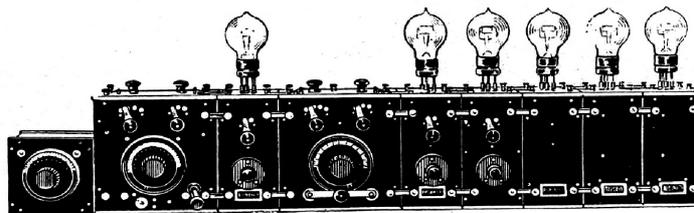
Récepteur
hétérodyne de
Lucien Lévy
(1922)



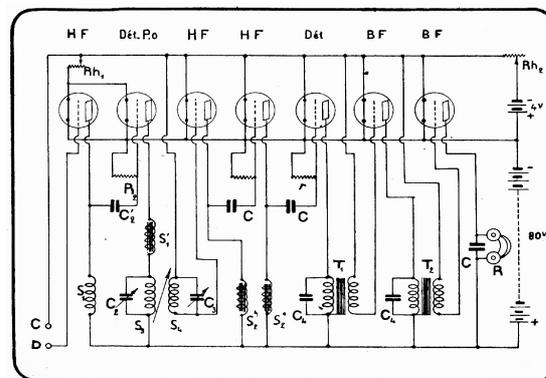
Fig, 5a



SUPERHÉTÉRODYNETTE (Brevets L. Lévy)



(1924)



Fig, 5b