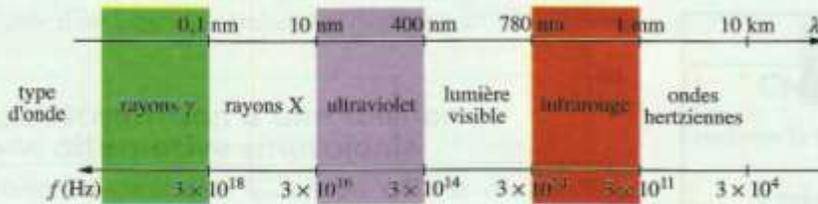


1. La transmission des informations

Il est possible actuellement de communiquer de manière quasiment instantanée sur de très grandes distances.



Doc. 1 Les ondes électromagnétiques : fréquences et longueurs d'onde dans le vide.

Les informations, peuvent être transmises par l'intermédiaire d'ondes électromagnétiques (Doc. 1) comme par exemple :

- un signal sonore transporté par de la lumière visible (voir page 92) ;
- La lumière visible, dont la longueur d'onde dans le vide est comprise entre 400 nm et 800 nm, fait partie de la gamme des ondes électromagnétiques.
- une information envoyée grâce à des ondes infrarouges dans le cas des télécommandes ;
- un signal numérisé transmis par des ondes électromagnétiques qui se propagent par fibres optiques dans la téléphonie ;
- un signal sonore transporté par les ondes hertziennes dans le cas de la radio.

Ces ondes électromagnétiques se propagent dans le vide ou dans l'air avec la célérité $c = 3 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Elles sont caractérisées par leur fréquence f et par leur longueur d'onde λ dans l'air ou le vide.

Ces grandeurs sont liées par la relation :

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

avec λ exprimé en mètre (m), c en mètre par seconde ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$) et f en hertz (Hz).



Doc. 2 Antennes d'émission de Radio-Vatican.

2. Les ondes hertziennes

En 1888, Heinrich HERTZ réussit à l'aide d'un circuit oscillant à produire des ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde est un million de fois plus grande que celle de la lumière. On leur donna le nom d'ondes radio ou ondes hertziennes (Doc. 1).

Les ondes hertziennes utilisées en radio, dont les longueurs d'onde dans le vide sont comprises entre 1 cm et 2 000 m, se propagent depuis une antenne d'émission (Doc. 2) jusqu'à une antenne de réception (Doc. 3).

Dans le cas de la radio, l'information est transmise à distance, sans déplacement de matière en modulant une onde hertzienne qui se propage entre un émetteur et un récepteur.



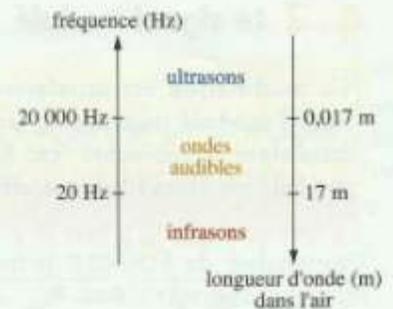
Doc. 3 Antenne de réception.

3. La transmission d'informations par modulation d'une tension

Une onde sonore est transformée en signal électrique de même fréquence par un microphone.

Ce signal électrique ne peut être transmis directement par voie électromagnétique. En effet, les ondes électromagnétiques, de faibles et de mêmes fréquences que les ondes sonores, se propagent mal dans l'air

[Doc. 4].



Doc. 4 Fréquences des ondes sonores.

On transmet l'information (signal modulant) en modulant une onde électromagnétique de haute fréquence (porteuse).

Cette onde électromagnétique est engendrée par une tension sinusoïdale que l'on modélise par une fonction mathématique de la forme :

$$u(t) = U_m \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \phi_0) \text{ [Doc. 5].}$$

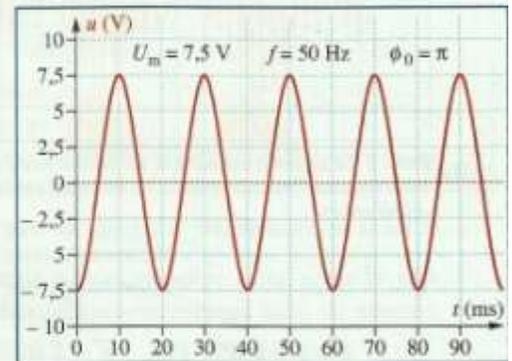
Ses paramètres sont :

- U_m , l'amplitude ;

- f , la fréquence ($f = \frac{1}{T}$) ;

- ϕ_0 , la phase à l'origine des dates. Sa valeur dépend de la date de déclenchement de l'acquisition.

La transmission de l'information peut être réalisée par modulation de l'amplitude, de la fréquence ou de la phase à l'origine de l'onde porteuse par le signal informatif à transmettre.



Doc. 5 Tension modélisée par la fonction mathématique : $u(t) = 7,5 \cdot \cos(2\pi \cdot 50t + \pi)$.

On étudiera la transmission par modulation d'amplitude.

4. La modulation d'amplitude

4.1 Le montage multiplieur

On utilise un circuit intégré appelé multiplieur afin de réaliser une modulation d'amplitude. Le multiplieur comporte deux entrées. On applique sur l'une des entrées la tension modulante $u_1(t)$, somme de la tension $u(t)$ (signal à transmettre) et d'une tension continue U_0 nommée tension de décalage.

On applique la tension porteuse $u_2(t)$ de haute fréquence F sur la deuxième entrée [Doc. 6].

Pour simplifier, nous supposons que l'information à transmettre se limite à une seule grandeur sinusoïdale de fréquence f .

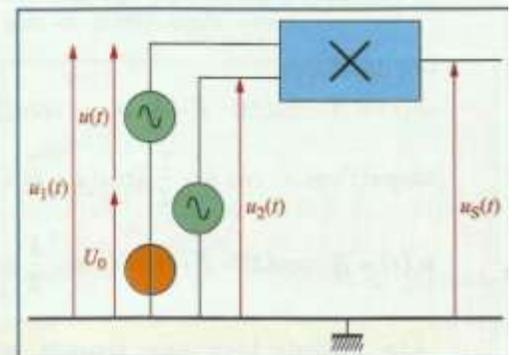
Le circuit multiplieur donne en sortie une tension $u_5(t)$ telle que :

$$u_5(t) = k \cdot u_1(t) \cdot u_2(t) = k \cdot [u(t) + U_0] \cdot u_2(t).$$

Le coefficient multiplicateur k dépend du multiplieur, il est exprimé en V^{-1} .

Cette tension u_5 engendre des oscillations électriques dans l'antenne reliée à la sortie du multiplieur.

Ces oscillations électriques créent une onde électromagnétique qui se propage alors dans tout l'espace.

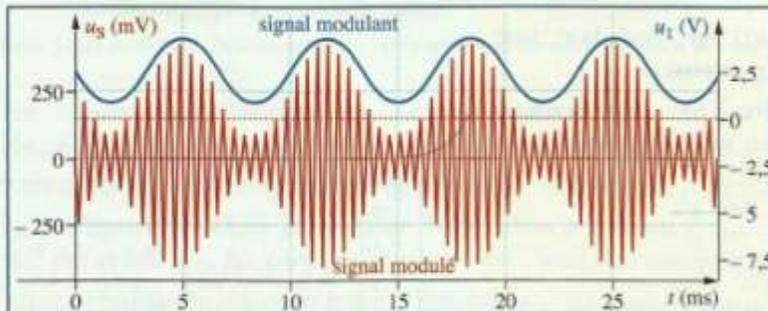


Doc. 6 Montage multiplieur.
 $u_2(t)$: porteuse de fréquence $F = 2\,000$ Hz ;
 $u(t)$: signal à transmettre de fréquence $f = 150$ Hz.

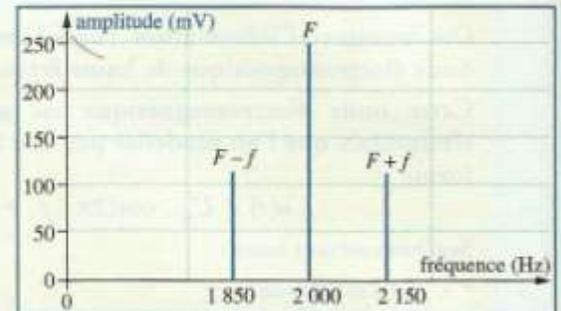
4.2 Le signal modulé

La modulation est satisfaisante lorsque l'enveloppe supérieure du signal modulé (représenté en rouge) « suit » les variations du signal modulant (représenté en bleu) [Doc. 7]. L'amplitude du signal modulé est alors fonction affine du signal modulant.

Une analyse de FOURIER permet d'obtenir le spectre de fréquences du signal modulé $u_S(t)$ [Doc. 8].



Doc. 7 Le signal modulant u , de fréquence $f = 150$ Hz et le signal modulé u_S . Pour une meilleure lisibilité, les échelles verticales des courbes u_S et u , sont différentes.



Doc. 8 Spectre de fréquences.

On observe trois fréquences. Le signal modulé est donc composé de la somme de trois signaux sinusoïdaux de fréquences respectives [Doc. 8] :

$$F - f = 1\,850 \text{ Hz}, \quad F = 2\,000 \text{ Hz} \quad \text{et} \quad F + f = 2\,150 \text{ Hz}.$$

Retrouvons ces fréquences en calculant l'expression de la tension modulée dans le cas de tensions sinusoïdales. L'expression de la tension modulante est :

$$u_1(t) = U_0 + U_m \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t).$$

L'expression de la tension porteuse est :

$$u_2(t) = U_{2m} \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t).$$

Afin de simplifier les calculs, on considère que les phases à l'origine sont égales à zéro.

$$u_S(t) = k (U_0 + U_{1m} \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)) \cdot U_{2m} \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t).$$

On écrit généralement :

$$u_S(t) = A (1 + m \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t)) \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t)$$

en posant $A = k \cdot U_0 \cdot U_{2m}$ et $\bar{m} = \frac{U_m}{U_0}$ (taux de modulation).

On développe :

$$u_S(t) = A \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t) + A \cdot m \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t) \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t).$$

Rappel : $\cos a \cdot \cos b = \frac{1}{2} [\cos(a + b) + \cos(a - b)].$

$$u_S(t) = A \cdot \cos(2\pi \cdot F \cdot t) + A \cdot m \cdot \frac{1}{2} [\cos(2\pi(F + f)t) + \cos(2\pi(F - f)t)].$$

On obtient bien une tension $u_S(t)$, somme de trois fonctions sinusoïdales de fréquences :

$$F, F - f \quad \text{et} \quad F + f.$$

4.3 Les signaux réels modulés

En réalité, pour un émetteur radio dont la porteuse est $F = 162 \text{ kHz}$, les fréquences des signaux réels à transmettre [Doc. 9] vont de 100 Hz à 5 kHz (signaux audio).

Le spectre va donc, outre la porteuse, comporter deux bandes latérales [Doc. 10] $[162 - 5 ; 162 - 0,1]$ et $[162 + 0,1 ; 162 + 5]$.

Chaque station d'émission radio en modulation d'amplitude peut légalement émettre sur une bande de 9 kHz de largeur centrée sur la porteuse.

Les fréquences supérieures à 4,5 kHz ne pourront donc pas être transmises. La modulation d'amplitude ne permet donc pas de reproduire fidèlement des signaux sonores complexes.

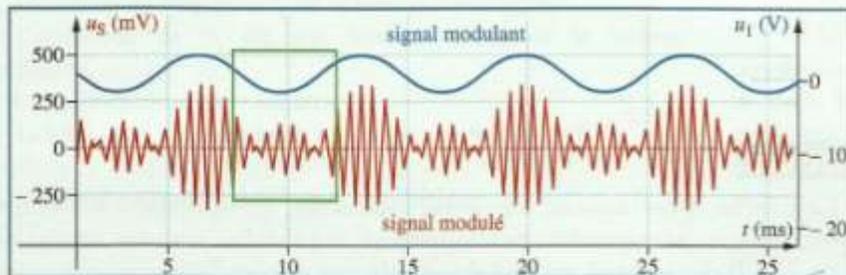
4.4 La surmodulation

Pour obtenir une modulation satisfaisante, la tension de décalage U_0 doit être supérieure à l'amplitude de la tension du signal $u(t)$ (signal à transmettre) transportant l'information : dans ce cas, le taux de modulation m est tel que :

$$m = \frac{U_{\max}}{U_0} < 1 .$$

Si le taux de modulation est supérieur à 1, on observe un phénomène de surmodulation [Doc. 11].

L'enveloppe supérieure du signal modulé ne « suit » plus les variations du signal modulant.



Doc. 11 Surmodulation. Pour une meilleure lisibilité, les échelles verticales des courbes u_s et u_1 sont différentes.

Dans l'encadré vert, l'enveloppe supérieure du signal modulé ne « suit » pas les variations du signal modulant.

Dans ce cas, l'émission radio est de mauvaise qualité. La réception radio sera également de mauvaise qualité.

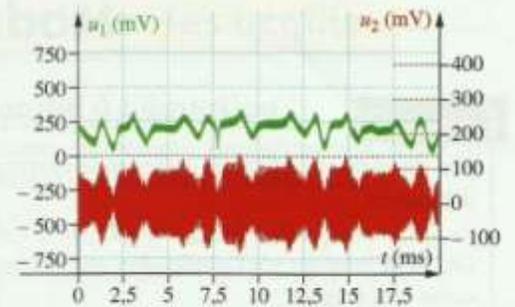
4.5 La qualité de la modulation

Afin de vérifier si la modulation est satisfaisante, on utilise la méthode du « trapèze ».

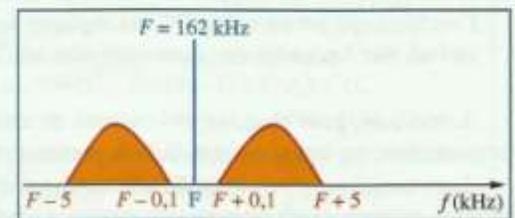
On représente le graphique de la tension de sortie $u_s(t)$ en fonction de la tension modulante $u_1(t)$.

La modulation est satisfaisante lorsque le graphique obtenu a la forme d'un trapèze [Doc. 12. a].

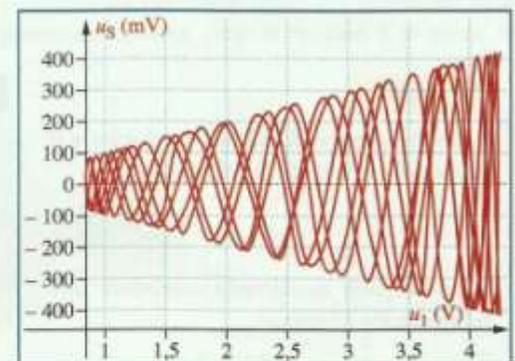
En revanche, lorsqu'il y a surmodulation le graphique n'a plus la forme d'un trapèze [Doc. 12. b].



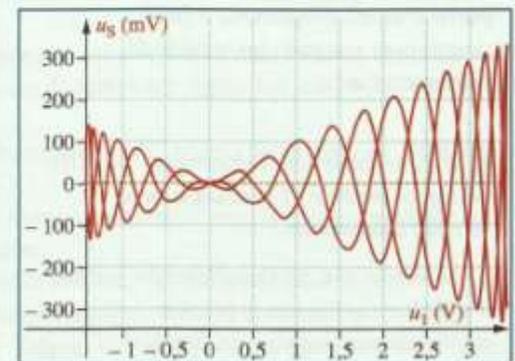
Doc. 9 Un exemple de signal réel modulé. Le signal modulant est représenté en vert et le signal modulé en rouge. Pour une meilleure lisibilité, les échelles des courbes u_1 et u_2 sont différentes.



Doc. 10 Spectre de fréquences dans le cas d'une modulation réelle.



Doc. 12. a Modulation correcte.



Doc. 12. b Modulation incorrecte.