

LES ONDES

Introduction

Question : savez-vous ce qu'est une onde et les utilisez-vous ?

Nous sommes entourés par les ondes ; les ondes sonores, la radio, le WiFi, les GSM, le Bluetooth, la TV...

Nous allons essayer de vous expliquer ce qu'est une onde mécanique ainsi qu'une onde électromagnétique et de vous montrer les principales caractéristiques de celles-ci en réalisant des présentations visuelles des phénomènes physiques, sans entrer dans des explications complexes. Aucune formule sophistiquée ne sera abordée.

En ce qui les ondes Electromagnétiques une présentation historique de ce qui s'est réalisé dans les années 1890 vous sera dévoilée en fin d'exposé ; le radioconducteur de Branly et l'émetteur à étincelles ou bobine de Ruhmkorff.

Programme

1. Il existe trois types d'ondes :
 - A. Les ondes mécaniques, qui ont besoin d'un support matériel comme l'eau, elles font onduler la surface de l'eau lorsqu'un objet y tombe d'autres supports comme l'air, le bois, le fer.... propagent des ondes en déformant la matière.
 - B. Les ondes électromagnétiques qui sont la propagation de phénomènes « électro »/« magnétiques » n'ont pas besoin de support physique (matière), elles se propagent dans le vide mais aussi dans certains.
 - C. Les ondes gravitationnelles ne nécessitent pas support. Ce sont des déformations de la géométrie de l'espace-temps qui se propagent. La découverte et la mise en évidence de ces ondes est récent, nous n'aborderons pas ce sujet.
2. Comment produire une onde :
 - A. Par une perturbation unique, ce qui génère une onde amortie
 - B. Par des générateurs d'ondes mécaniques ou électromagnétiques
3. Ondes mécaniques :
 - A. Perturbation d'un fil en caoutchouc souple
 - Déplacement de l'onde sous forme d'une demi-sinusoïde qui soulève un bout de bois ;
 - Pas de déplacement de matière ;
 - Transport de l'énergie ; le bois ne sait pas se soulever seul, il faut de l'énergie pour le soulever ;
 - L'impulsion produite s'atténue au fur et à mesure de sa progression ; il y a des pertes.

- Conclusions :
 - Transfert d'énergie ;
 - Pas de déplacement de matière ;
 - Une seule impulsion qui s'amortit = onde amortie
- B. Générateur mécanique et ressort :
 - Description du système ;
 - Générateur d'onde entretenue ;
 - Fonctionnement à une fréquence quelconque ;
 - Une onde (énergie) se propage et lorsqu'elle atteint l'extrémité opposée elle n'a comme possibilité que de revenir en arrière ;
 - Il y a une « onde directe » et une « onde réfléchie ».
 - Les ondes directes et réfléchies se rencontrent de manière quelconque pas toujours au même endroit.
 - Pour une fréquence déterminée, l'onde directe et l'onde réfléchie créent une onde qui semble immobile, c'est une onde stationnaire ;
 - Mise en évidence des nœuds, ventres et de la polarisation d'une onde (verticale) en fonction du placement de l'antenne de réception ; notre œil.
- C. Ondes électromagnétique (~145 MHz) :
 - Description de l'appareillage (alimentation, émetteur, ligne de Lecher, antenne émission, réception + lampe, matériel mesure) ;
 - Ligne en CtCt, montrer les nœuds et les ventres ;
 - Avec une antenne montrer le transport d'énergie (alimentation d'une ampoule) ;
 - Diminution de l'énergie reçue en fonction de la distance ;
 - Importance de la dimension optimum de l'antenne pour récolter le max d'énergie ;
 - Les différentes orientations de l'antenne et les résultats obtenus.
 - La polarisation et l'analogie avec l'onde mécanique du ressort ;
 - Qu'est-ce qui se passe lorsqu'un écran est placé entre l'antenne d'émission et de réception – écran plat, tige et de différents matériaux.
 - Réflexion par un panneau placé à l'arrière de l'antenne et avec des matériaux différents.
 - Application pratiques des trois derniers points :
 - Antennes Yagi, communément appelée antenne râteau pour la réception de la TV ;
 - La porte du four à microwaves ;
- D. Un peu d'Histoire :
 - Le générateur d'ondes électromagnétiques amorties – explications – Bobine de Ruhmkorff
 - Le radioconducteur :
 - Comment a-t-il été découvert ;
 - Son fonctionnement ;
 - Qu'a-t-il permis.

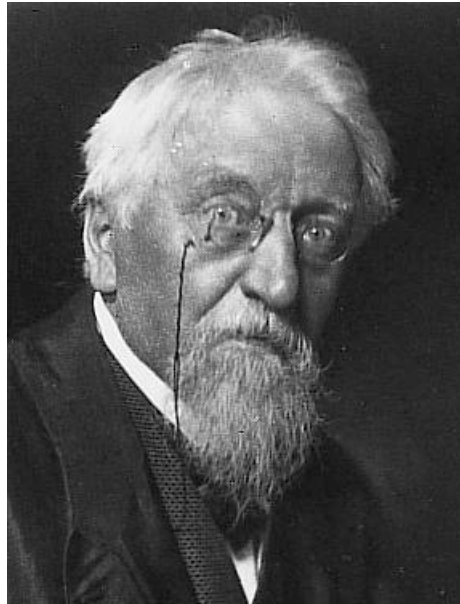
Un scientifique...Ernst LECHER (1856-1926)

Source : Wikipédia – Fiche expérience Musée de la Science.

Biographie

Il est né à Vienne et a effectué des recherches sur la calorimétrie et le rayonnement thermique à l'université de Vienne. Ces recherches l'ont amené à s'intéresser aux ondes électromagnétiques puisque la lumière visible et infrarouge rayonnée par les corps chauds pouvait être considérée comme étant de nature électromagnétique.

En 1895, Lecher fut nommé professeur à l'université allemande de Prague comme successeur du physicien Mach. En 1909, il devint directeur du premier institut de physique à l'université de Vienne.



Les prédécesseurs

Faraday (1791-1867) supposait qu'un corps peut agir sur un autre au moyen d'un champ qu'il visualisait en termes de lignes de force circulaires. Maxwell (1831-1879) se proposa d'établir les équations de ces champs électriques et magnétiques. Ces équations prévoyaient l'existence d'un nouveau type d'ondes capables de se propager dans le vide. Hertz (1857-1894) se rend compte que la théorie de Maxwell repose sur des hypothèses théoriques et essaie de trouver des confirmations expérimentales. Hertz arrive à créer une oscillation très rapide de charges électriques en couplant un conducteur à une bobine de RUHMKORFF. Il fallait trouver un détecteur de champs. Ce fut un petit circuit presque fermé produisant une étincelle visible quand il était bien accordé. Il venait de montrer l'existence des ondes électromagnétiques. Il montra aussi qu'elles se réfléchissaient sur un mur recouvert de plaques de zinc.

Une expérience : la ligne de Lecher

L'expérience d'origine Lecher utilisa deux fils métalliques parallèles constituant une " ligne de transmission " comme pour les communications téléphoniques, où les oscillations électriques sont plus lentes. Une extrémité des fils était couplée à un dipôle électrique oscillant, relié à une bobine de Ruhmkorff et entrant en résonance à une fréquence donnée. La longueur des fils était limitée et adaptée pour obtenir des ondes stationnaires. Les deux fils étaient traversés par des courants opposés et dans toute la section transversale, les charges étaient toujours de signes contraires (+ et -) malgré leurs variations très rapides. Les lignes de force électriques se refermaient donc sur elles-mêmes, tandis qu'elles divergeaient autour d'un conducteur unique. Par conséquent, les ondes

électromagnétiques guidées restaient plus concentrées près des fils de Lecher. Les interférences, mises en évidence au moyen d'un tube à fluorescence, prouvaient que la vitesse des ondes électromagnétiques guidées était pratiquement égale à celle de la lumière dans le vide. L'expérience a été réalisée par cet autrichien vers 1890. Hertz avait montré que Maxwell avait raison : un dipôle oscillant pouvait produire des ondes électromagnétiques. Lecher a essayé de mesurer la vitesse de ces ondes.

Dans le cadre des expériences qui vous sont proposées, la ligne est constituée de 2 tubes en cuivre supposés être conducteurs parfaits. Cette ligne est couplée à une antenne émettrice (dipôle demi-onde).

L'antenne est reliée à un émetteur radio dont la fréquence d'émission est égale à 145 MHz (mégahertz).

Un émetteur produit des oscillations électriques entretenues de haute fréquence qui, après amplification, sont transmises à une antenne. L'antenne émettrice est parcourue par un courant alternatif de haute fréquence ; c'est un circuit oscillant ouvert qui rayonne de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques provenant de l'alimentation. L'émetteur est connecté à l'antenne par un câble coaxial. Pour établir un régime d'ondes progressives, on utilise un coupleur d'antenne (un adaptateur d'impédance).

Si on déplace sur la ligne de Lecher placée devant l'antenne un tube fluorescent, on observe qu'il s'éclaire à certains endroits de la ligne et pas à d'autres. Un tube fluorescent est un tube en verre qui contient sous faible pression de l'argon avec quelques gouttes de mercure. Quand on se trouve à un ventre de potentiel, une petite décharge électrique se produit dans le tube. Il apparaît alors un gaz ionisé appelé plasma. Cette ionisation permet l'émission de lumière.

On met en évidence des ventres et des nœuds de champ électrique. Cette expérience montre que pour une longueur déterminée de la ligne, il s'établit un régime d'ondes stationnaires. Cette expérience s'interprète comme la propagation d'une onde sonore dans un tube fermé.

Longueur de la ligne = multiple impair de longueur d'onde/4

Distance entre deux nœuds successifs = longueur d'onde /2

On connaît la fréquence et la longueur d'onde (qu'on mesure)

Vitesse = longueur d'onde X fréquence = vitesse lumière avec 1% d'erreur.

Sur la ligne, la fréquence est 145 MHz (Mégahertz) et la longueur d'onde mesurée est 2.06 mètres.

L'antenne est un dipôle demi-onde.

Reproduction de l'expérience

Si vous êtes titulaire d'une licence de radioamateur, vous pouvez utiliser votre station pour reproduire ces expériences. Utilisez un émetteur VHF et choisissez une fréquence comprise dans le segment 145,175-145,575 MHz.

Vous vérifiez, conformément à la législation, que la fréquence choisie est libre.

Il existe aussi une fréquence réservée pour l'enseignement : 163,450 MHz. Il faut alors modifier la longueur des antennes et de la ligne de Lecher en fonction de cette fréquence.

Pour en savoir plus :

- Ondes électromagnétiques et télécommunications ; Félix Godfraind **ON1LGF** + ; éd Maison de la Science.
- Bulletin de l'ABPPC ; janvier 2001 ; professeur Meesen (Ucl).
- <http://www.aeiou.at/aeiou.encyclp.l/1336666.htm>
- Et https://drive.google.com/file/d/0B-5N_KEubK8yWTdDcWhnT3dPamM/edit
- Plus de renseignements théoriques ; voyez votre professeur de Physique
- Plus de renseignements pratiques ; un petit message à : on5ham@uba.be

Un peu d'histoire

Maxwell

Physicien Mathématicien Ecossais

Démontre mathématiquement, en 1864, A partir d'équation mathématiques l'existence d'une onde associée aux oscillations des champs **électrique** et **magnétique** et se déplaçant dans le vide à une vitesse facilement accessible expérimentalement.

Il écrit :

L'accord des résultats semble montrer que la lumière et le magnétisme sont deux phénomènes de même nature et que la lumière est une perturbation électromagnétique se propageant dans l'espace suivant les lois de l'électromagnétisme.

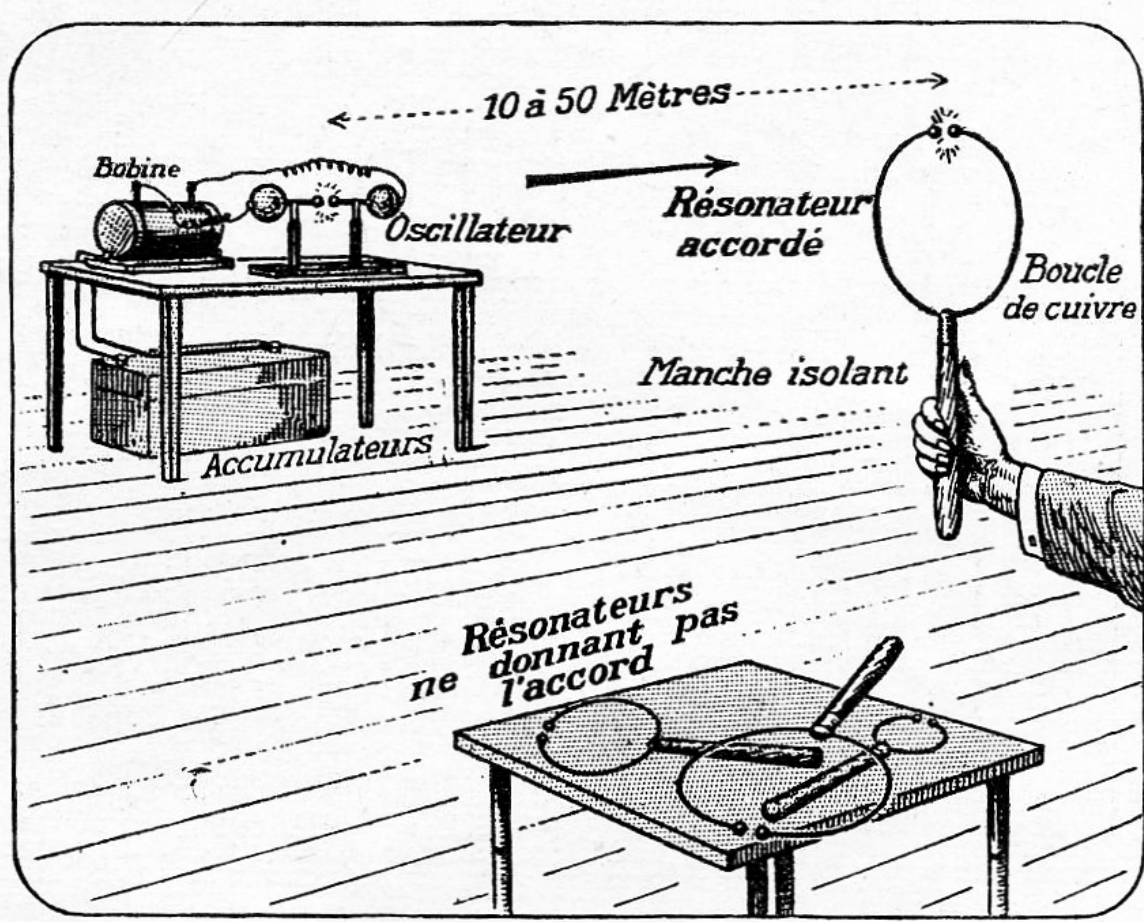
C'est une découverte purement mathématique, à l'époque aucune présence pratique des ondes électromagnétiques n'est faite.



Hertz

Ingénieur et physicien Allemand

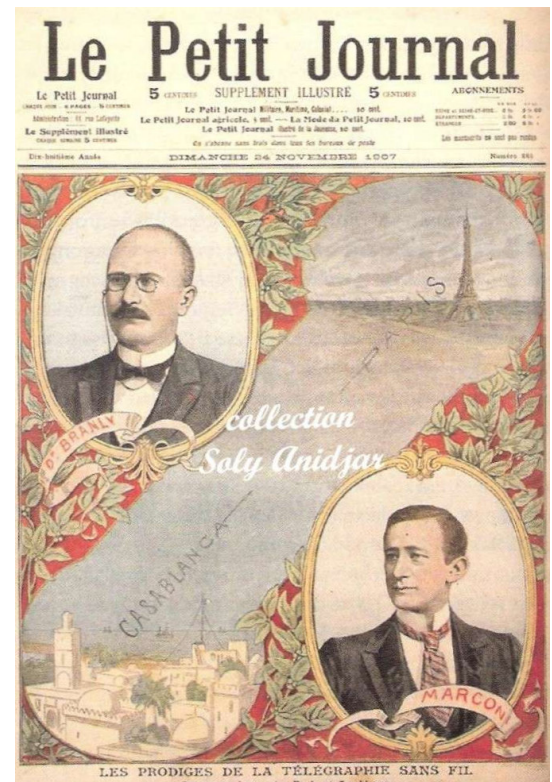
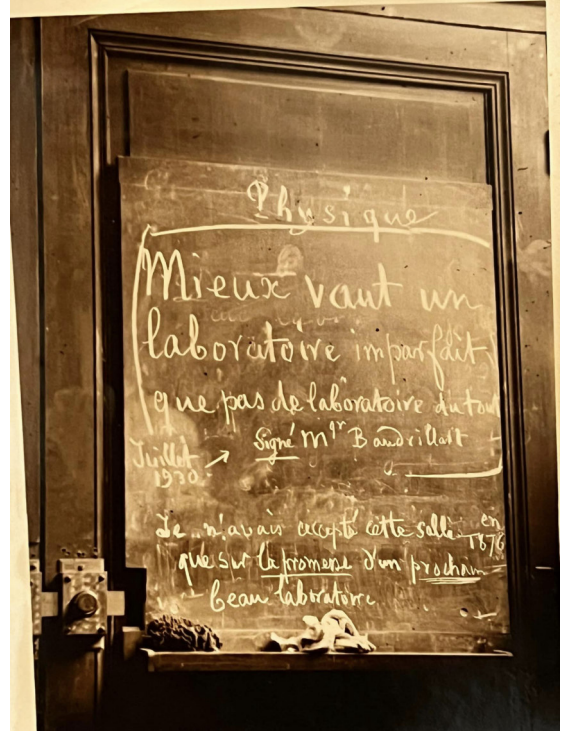
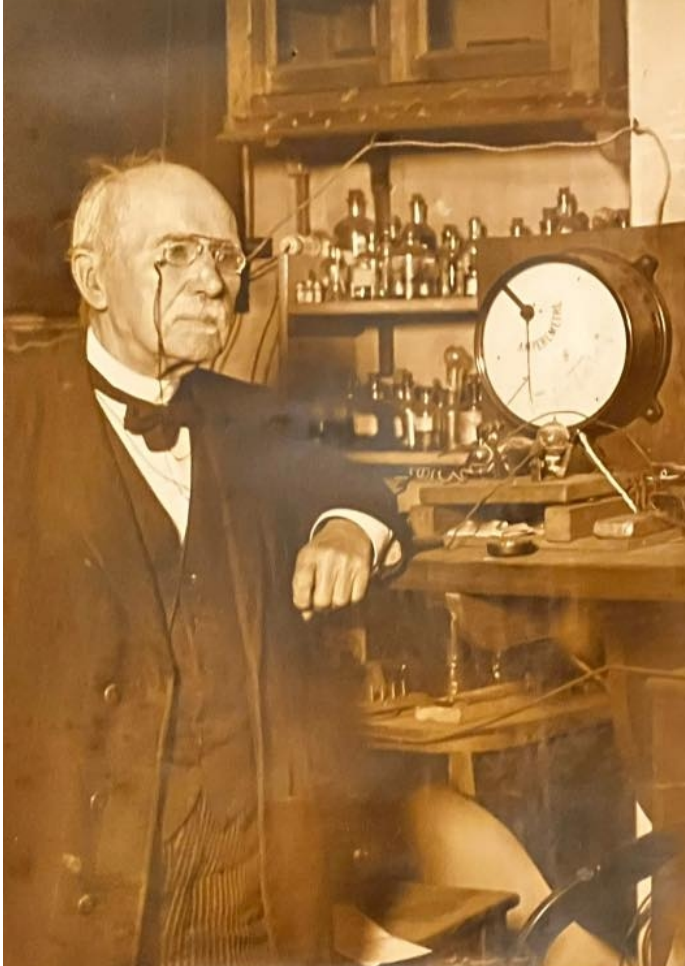
Il met en évidence en mars 1885 l'existence des ondes électromagnétiques appelées par la suite également les ondes « hertziennes », dénomination donnée en, soit plus de 20 ans après les prévisions mathématiques de Maxwell.



Branly

Un peu par hasard, il découvre lors d'études qu'il réalise sur la conductivité des limailles métalliques que leur résistivité change en présence d'une onde radioélectrique.

Il met au point en 1890 ce qu'il appela le radioconducteur, détecteur qui permis à Marconi, physicien inventeur, de réaliser la première liaison trans-manche par radio. Le message transmis est un télégramme d'hommage à Edouard BRANLY, inventeur du radioconducteur appelé parfois cohéreur, sans lequel cette liaison n'aurait pas été possible.



Annexe 1 Maxwell

Les équations de Maxwell expliquées simplement (avec l'aide de l'IA)

Les équations de Maxwell sont quatre équations fondamentales qui unifient les phénomènes électriques et magnétiques. Voici leur signification physique :

1. Loi de Gauss pour l'électricité

Décrit comment les charges électriques génèrent un champ électrique.

Explication : Une charge électrique crée un champ électrique qui rayonne autour d'elle comme les épines d'un hérisson en boule. En termes simples, cela signifie qu'une charge électrique produit un champ électrique autour d'elle. Cette équation peut être représentée sous la forme suivante

Formulation : $\nabla \cdot E = \rho/\epsilon_0$

Ici, $\nabla \cdot E$ représente la **divergence des champs** électriques, ρ est la densité de charge, et ϵ_0 est la permittivité du vide.

2. Loi de Gauss pour le magnétisme

Indique qu'il n'existe pas de "charge magnétique" isolée (monopôle). Il y a toujours un pôle sud et un pôle nord. Si on coupe une barre aimantée qui a un pôle nord et un pôle sud on obtient deux barres, chacune avec un pôle nord et un pôle sud

Explication : Les lignes de champ magnétique forment toujours des boucles fermées,

Formulation : $\nabla \cdot B = 0$

3. Loi de Faraday

Elle indique qu'un champ magnétique variable engendre un champ électrique. Formellement, elle s'exprime ainsi :

Formulation : $\nabla \times E = -\partial B/\partial t$

Explication : C'est le principe des dynamos et transformateurs. Dans cette équation, $\nabla \times E$ représente le **rotationnel des champs** électriques, tandis que $\partial B/\partial t$ est la variation temporelle du champ magnétique B.

4. Loi d'Ampère-Maxwell

Démontre que les courants et champs électriques variables produisent un champ magnétique.

Explication : Maxwell y a ajouté le "courant de déplacement" pour compléter la théorie.

$\nabla \times B = \mu_0(J + \epsilon_0 \partial E/\partial t)$

Ici, $\nabla \times B$ représente le **rotationnel des champs** magnétiques, J est la densité de courant, et μ_0 est la perméabilité du vide.

Conséquences majeures :

- Ces équations prédisent l'existence des ondes électromagnétiques (lumière, radio) ;
- Elles unifient électricité, magnétisme et optique ;
- Leur forme montre que les champs électrique et magnétique sont interdépendants ;
- Bien que mathématiquement complexes, leur principe de base est simple : les charges et courants créent des champs, et ces champs interagissent dynamiquement ;
- En mettant ensemble ses équations, Maxwell découvrit que les variations des champs électriques et magnétiques pouvaient se propager dans l'espace sous forme d'**ondes électromagnétiques**. Cela a été une avancée majeure, car ces ondes incluent non seulement la lumière visible, mais aussi les ondes radio, micro-ondes, rayons X, etc. Cette découverte a eu des applications pratiques énormes, ouvrant la voie aux technologies de communication modernes telles que la radio, la télévision et les satellites.