

Guide de médiation des ateliers

« Histoire des techniques pour communiquer à distance »

Liste des 5 ateliers

1. [Communiquer à distance par un fil : gobelets, télégraphe Morse, téléphone](#)
2. [Communiquer par les ondes issues d'étincelles : expérience de Hertz et de Branly, naissance de la TSF](#)
3. [Communiquer en apprivoisant les électrons : expérience du tube de Crookes, la lampe diode qui détecte, la lampe triode qui amplifie, le poste de TSF de 1930 à 1950](#)
4. [Communiquer avec un poste de radio portatif : la révolution de la diode et du transistor bipolaire en germanium jusqu'au transistor MOSFET \(atelier regroupé avec l'atelier N°3\)](#)
5. [Transmettre des images avec un smartphone : le petit train des ondes](#)

Introduction générale (5 minutes)

Communiquer à distance c'est un vieux rêve de l'humanité. Il y a bien longtemps on a pu le faire un peu, mais comment ?



Par des feux et des signaux de fumée, de collines en collines. Il fallait souvent alerter une ville ou un village de l'arrivée d'un ennemi. On sonnait aussi de la trompette ou du cor, on envoyait des éclairs de lumière avec des miroirs...

Exemples du coureur de Marathon et de Roland à Roncevaux.

Au XVIIème siècle combien de temps fallait-il pour porter à cheval un courrier de Paris à Marseille ?

Il fallait 15 jours soit 359 heures !



Fig. 23. — En 1650, le Courrier anglais quinze jours (359 heures) pour porter les nouvelles de Paris à Marseille.

Présenter la gravure page 57 du livre Physique Populaire

Sur cette gravure on voit gobelets reliés par un fil. impossible d'entendre

Vous ferez l'expérience

Pas possible au-delà de



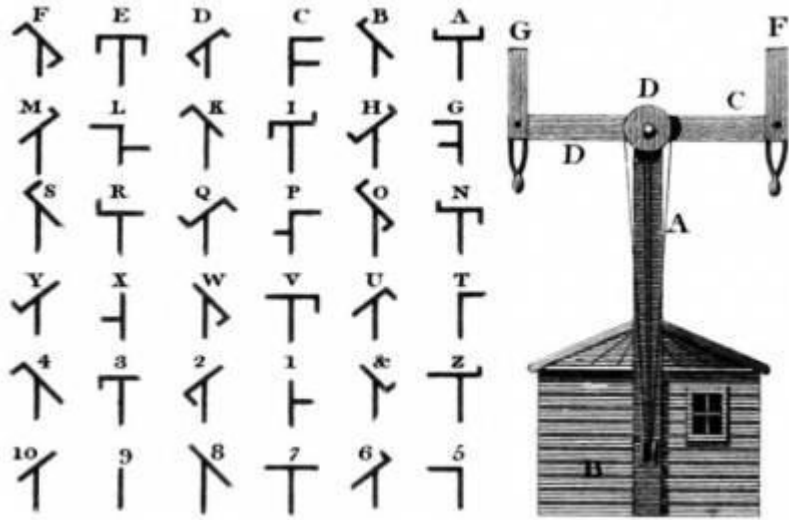
Avant le téléphone, in Le téléphone, le microphone et le phonographe, Comte Th. Du Moncel, 1878

un homme et une femme qui communiquent avec des Lecture du texte de 1667 sur le poster : « Il n'est pas un bruit à grande distance... »

dans l'atelier N°1

quelques dizaines de mètres !

Puis apparut le télégraphe Chappe et les sémaphores, mis en place en France à partir de 1793



Mais qu'est-ce qui a permis un réel progrès dans ce domaine ?

L'invention par Alessandro Volta de la pile électrique en 1800 !

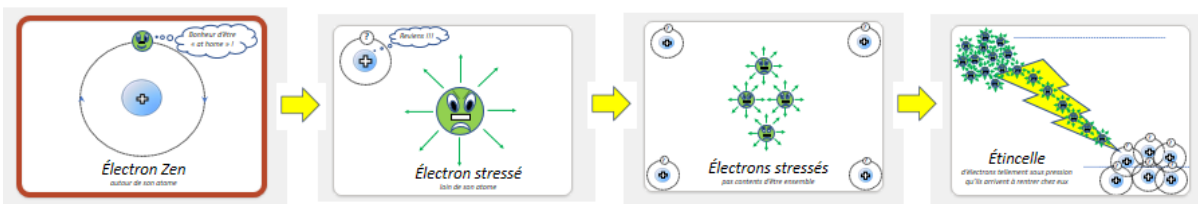
Avant cela l'électricité n'était perçue que sous la forme de phénomènes transitoires.

Récit de Thales : quand on frotte de l'ambre fossile avec une fourrure il y a attraction de corps légers. On s'est beaucoup amusé avec ça au XVIIIème siècle. Expérience d'électrostatique de l'électrophore de Volta (1775). Voyons ça...

Voir la vidéo : https://www.youtube.com/watch?v=X3t_dETJKbQ&t=14s

Qu'est-ce qui est étonnant dans cette expérience ?

Breve explication de ce qui se passe : quand on frotte le plastique avec le papier on crée des électrons malheureux qui vont tout faire pour retourner à la maison !



Les électrons sont des particules de matière chargée électriquement qui normalement « tournent » tranquillement autour de chaque atome. Tout va bien, ils sont zen, ils sont « at home ». Mais quand on frotte un corps contre un autre ils sont arrachés à leur atome et alors, rien ne va plus, ils sont stressés, ils manifestent une force électrique négative pour revenir tourner autour d'un atome. Ils sont **négatifs**, déprimés et fuient tous leurs collègues, négatifs comme eux. Ils sont en revanche très attirés par le positif – un peu comme nous. Les noyaux des atomes sont positifs et appellent les électrons à revenir au bercail. Quand ils le peuvent et qu'ils sont nombreux à pouvoir le faire ça fait des étincelles et ça dégage beaucoup d'énergie et de lumière. D'où l'émission des ondes électromagnétiques qui sont à la fois des forces électriques et magnétiques capables de se propager très très loin dans l'espace...

La pile électrique c'est comme une pompe à électrons qui reproduit en permanence ce phénomène d'électrons exilés qui reviennent « at home » en permanence : c'est le courant électrique !

Cette invention a tout changé. Nous allons voir tous les progrès accomplis dans 5 ateliers que vous allez découvrir par groupe de 3.

1 - L'invention du télégraphe Morse et celle du téléphone : on communique avec un fil électrique.

- 2 - L'invention de la télégraphie sans fil : on communique sans fil, par les ondes, avec des messages codés par des impulsions courtes ou longues
- 3 - L'invention de la lampe radio qui a permis la transmission de la voix et de la musique
- 4 - L'invention du transistor qui a permis aux émetteurs et récepteurs d'être petits et portables
- 5 - Et pour finir la transmission des images, comme dans vos smartphones.

Nous vous convions à un petit voyage dans le temps. Nous allons rencontrer des personnes qui ont rêvé de rendre la communication à distance possible et qui ont œuvré avec ténacité pour que ça se réalise.

Répartition des élèves par groupes de 5.

3 groupes circulent pendant 40mn sur les ateliers 1, 2 et 3-4 tandis que 3 groupes circulent sur les ateliers jeu de carte sur la ligne des temps et l'atelier 5 (petit train). Puis permutation des groupes.

ATELIER N°1 - Communiquer à distance par un fil : gobelets, télégraphe Morse, téléphone – 10 minutes par atelier

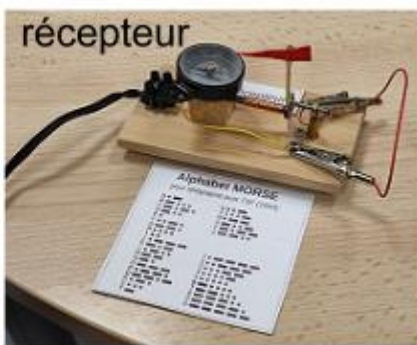
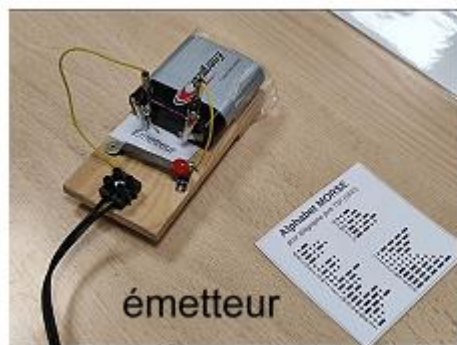


On propose de faire l'expérience de la transmission de la parole par les pots de yaourt reliés par une ficelle. 2 élèves communiquent en chuchotant un message secret : « Le son c'est de l'air qui vibre » celui qui l'écoute le répète à son tour. Le 3^{ème} au milieu essaie d'entendre ce qu'ils se disent. Puis, inversion des rôles.

En 1820, avec la pile Volta le danois Hans Oesterd découvre qu'un courant électrique fait dévier l'aiguille d'une boussole. La même année André-Marie Ampère multiplie les expériences à ce sujet. Une bobine de fil multiplie la force magnétique du courant électrique.

Faire faire l'expérience sur la table. (Cf aussi <https://www.youtube.com/watch?v=oNKx4UYlhqE>)

Qu'est-ce qu'on peut faire d'utile avec ça pour communiquer à distance ? Ampère avait pensé relier une personne qui émet un message à une personne qui le reçoit par 26 fils en parallèle, chaque fil correspondant à une lettre... Le plus ancien émetteur de SMS du monde !

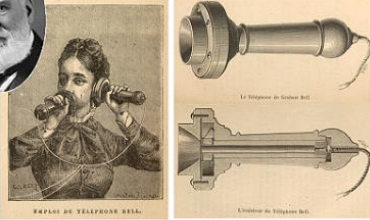


Samuel Morse a fait beaucoup plus simple en 1837 et voici son invention sur la table. Poste émetteur : une pile et un interrupteur. Poste récepteur : ici un clou sur lequel on a bobiné une centaine de tour de fil de cuivre isolé. Cela fait un électroaimant. Observez l'aiguille de la boussole quand passe le courant.

Pour s'envoyer des messages on utilisait un code inventé par un collaborateur de Morse, Alfred Vail. Voici le code. A vous de vous envoyer un petit message l'un à l'autre. Suggestion : SOS ou ALO... etc. invitation à permuter les rôles.

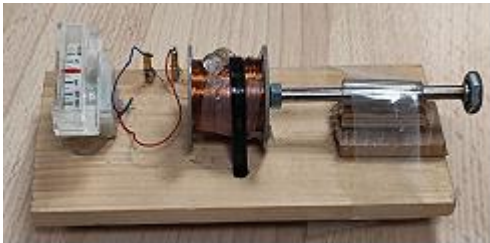
Le fil peut faire des milliers de km, ça marche encore. On a pu avec ce genre d'appareil communiquer entre l'Europe et les Etats Unis par un câble sous-marin à partir de 1858.

Mais comment communiquer par la parole ?



Graham Bell et son téléphone

Voici sur cette image un homme qui a rêvé de faire passer la parole dans un fil électrique. Il s'appelle Graham Bell. C'était un Écossais émigré aux Etats unis. Son père était professeur d'élocution et apprenait aux sourds à parler et à lire sur les lèvres. Sa mère étant devenue progressivement sourde, il cherchait à communiquer toujours avec elle en lui transmettant les vibrations de sa voix sur son front. Il se passionna alors pour l'acoustique. Il poursuivit les travaux de son père pour aider les sourds à parler. Il voulait aussi transformer les ondes sonores en impulsions électriques pour reproduire avec un électroaimant ce qu'il avait réussi à faire avec sa mère à l'aide d'un cornet acoustique.



Il savait comme tous les scientifiques de l'époque qu'en déplaçant un aimant devant une bobine de fil de cuivre on crée un courant électrique → démonstration par les élèves. Si l'aimant était déplacé par une plaque vibrant au son de la voix cela pourrait donc faire un microphone !

Il savait aussi que si on fait passer un courant électrique dans une bobine de fil, celle-ci devient comme un aimant comme dans le télégraphe.

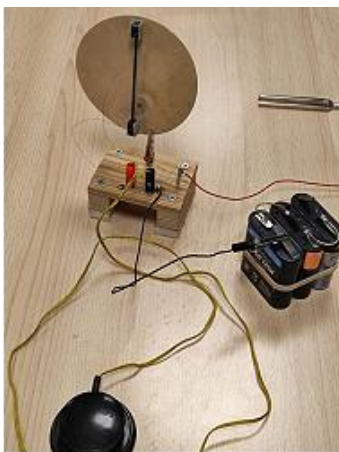
Mais ses premiers essais furent infructueux. Il répétait pourtant : « J'ai réussi à faire parler des sourds, j'arriverai bien à faire parler un fil de fer ! »

Il travaille pendant des années d'arrache-pied pour réussir son projet jusqu'au **10 mars 1876** où il parvient à se faire entendre de son collaborateur dans une pièce voisine : « Venez Watson, j'ai besoin de vous... » et son collaborateur arrive !



Voici une maquette de son écouteur dans un pot de yaourt : il y a une bobine de fil de cuivre reliée à la sortie d'un petit enregistreur. En approchant un aimant de la bobine vous allez entendre le son...

Il a fait un microphone avec le même appareil mais c'est très peu sensible. Aussi 2 ans plus tard, un autre américain, Mr Hughes mit au point un microphone très sensible qui détectait paraît-il les pas d'une mouche !



En voici une maquette : des mines de crayon sont ici suspendue entre 2 bouts de cubes de fusain fixés sur un fond de boîte de camembert. Vous effleurez du doigt la plaquette de bois et cela s'entend distinctement dans l'écouteur. Vous posez un diapason sur la table et vous entendez les vibrations.

En quelques années le téléphone de Mr Bell fut perfectionné et il a pu conquérir le monde malgré beaucoup d'incrédulité au début. Comment était-ce possible de transporter la voix humaine le long d'un fil électrique ?

Vous allez faire l'expérience avec 2 téléphones anciens : l'un date de 1930 et l'autre de 1950.

On a pu communiquer ainsi sur quelques centaines de km. Mais on n'a pas pu aller plus loin tant qu'on n'a pas su amplifier le signal électrique. C'était déjà merveilleux pour les gens de l'époque ! Aujourd'hui, qui s'en étonne encore ?

Mais il restait un gros problème à résoudre : comment communiquer avec les navires en mer ? Comment se passer du fil électrique ? C'est ce qu'on va voir dans l'atelier suivant.

ATELIER N°2 - Communiquer par les ondes issues d'étincelles : expérience de Hertz et de Branly, naissance de la TSF

Nous allons refaire ici les expériences qui ont permis de communiquer par les ondes, ce qu'on a appelé la Télégraphie Sans Fil, la TSF.

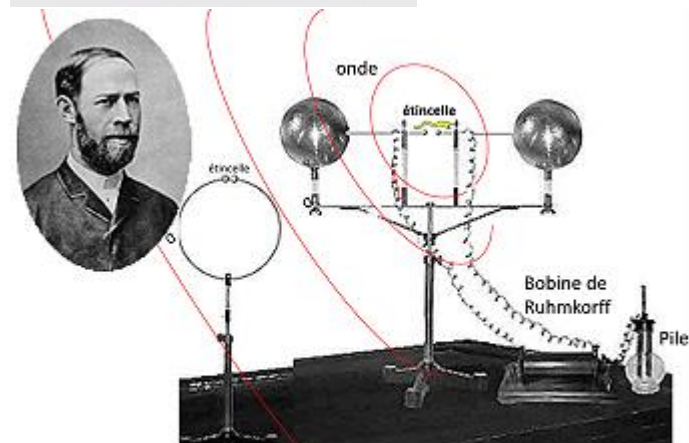
Vous voyez ici d'un côté ce qu'on appelle une bobine de Ruhmkorff.



Ce monsieur Ruhmkorff avait réussi en 1850 à créer des tensions électriques de plusieurs dizaines de milliers de volts avec cet appareil – un transformateur électrique - relié à une pile Volta. Cela permettait de faire de remarquables étincelles.

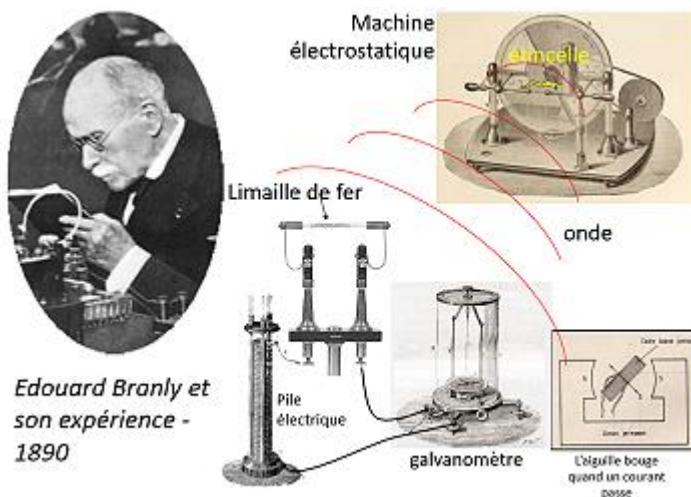
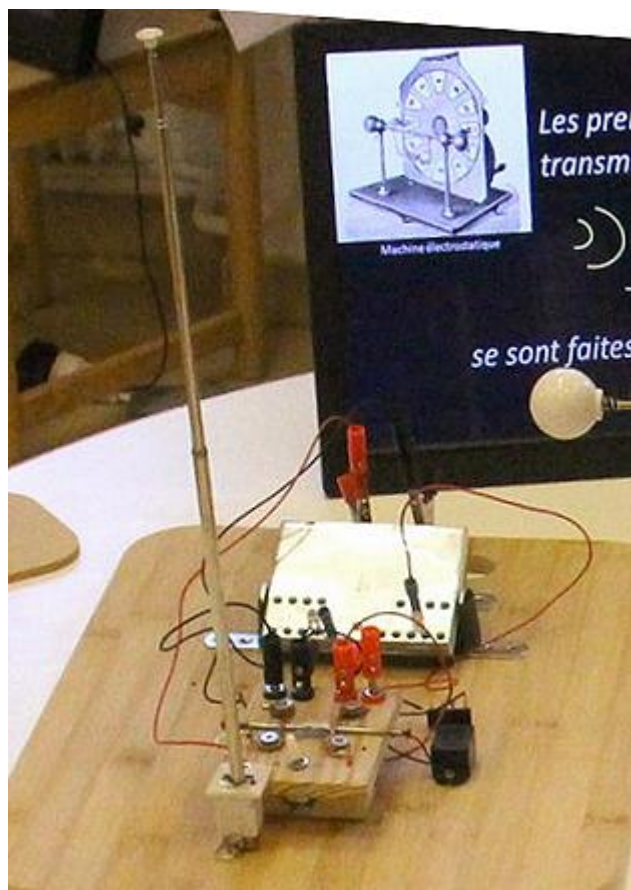
L'existence des ondes électriques et magnétiques a été démontrée par Mr Hertz en 1884 – 1888 à partir d'une bobine de Ruhmkorff comme celle-ci.

Il détectait de toutes petites étincelles à distance des grosses étincelles générées par sa machine. C'est bien ce qu'on observe avec cette bobine de Ruhmkorff quand on la fait fonctionner. C'était intéressant mais il ne voyait pas à quoi ça pouvait bien servir !



Heinrich Hertz et son expérience - 1884

extraordinaire qu'a faite – par hasard - Mr Edouard Branly, un scientifique français, en 1890. Il étudiait dans son laboratoire la limaille de fer pour voir dans quelles conditions elle pouvait conduire l'électricité. Il avait, comme ici, une pile électrique et des fils métalliques qui touchaient de la limaille de fer. Rien ne se passait. Pas de conduction électrique. Et puis, tout-à-coup, voilà que la limaille de fer se met à conduire... Que s'est-il passé ? En fait, un de ses collaborateurs était en train de faire des expériences avec une machine comme ça à une vingtaine de mètres dans une pièce à côté.

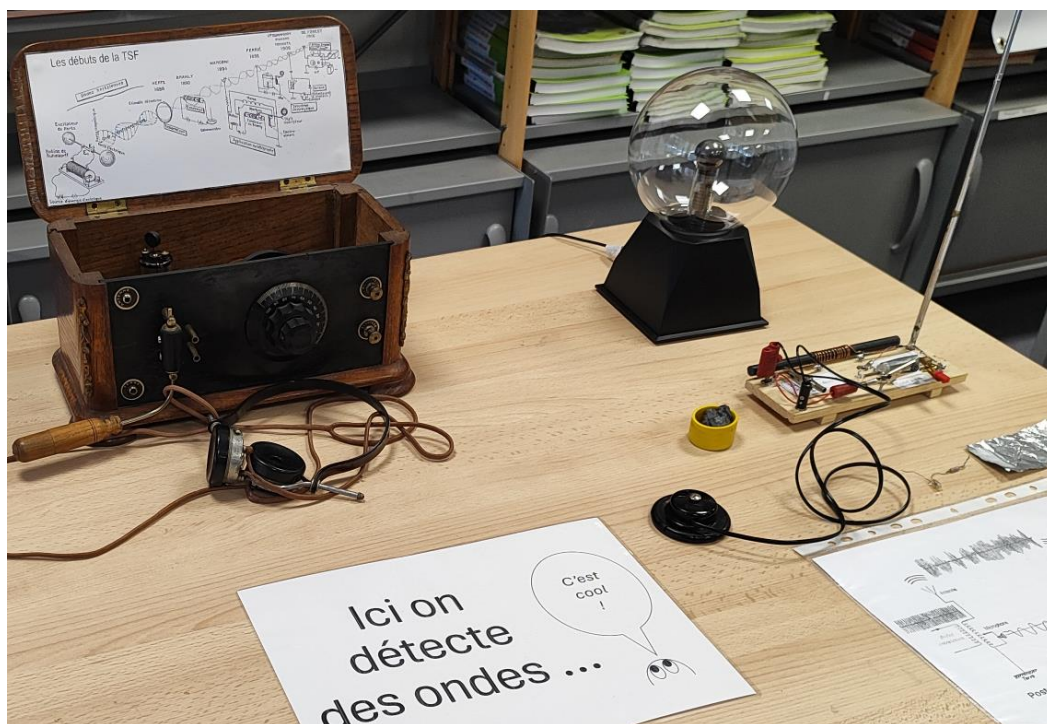


Edouard Branly et son expérience - 1890

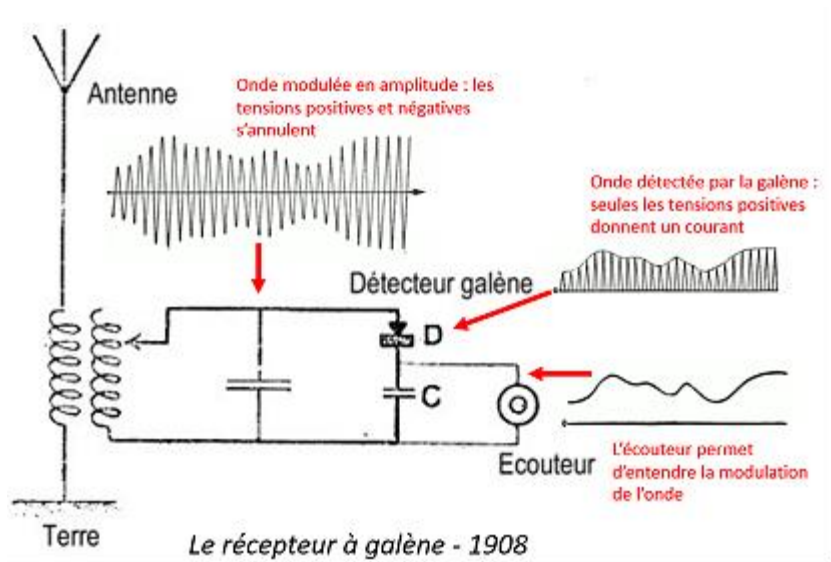
Faisons, nous aussi, l'expérience... voici de la limaille de fer déposée entre 2 clous. Une pile, une petite ampoule LED... Faisons une étincelle... La limaille de fer se met à conduire quand l'étincelle se produit ! Mr Branly en a déduit que

l'étincelle n'émettait pas seulement de la lumière mais aussi une onde qui se propage dans l'espace et vient influencer la conduction de la limaille de fer. Un autre scientifique de l'époque, Mr Hertz, avait lui aussi observé 2 ans plus tôt qu'une onde sortait des étincelles d'une bobine de Ruhmkorff. Mais il n'avait pas pu la détecter au-delà de quelques mètres. Il aurait même dit : « C'est vraiment intéressant, mais je ne vois pas à quoi ça peut servir ! » Ici l'expérience de radio-conduction peut se faire à des dizaines de mètres de distance voire des dizaines, des centaines de km, cela dépend seulement de la puissance de la machine émettrice et des antennes réceptrices. C'est ce que démontra Mr Marconi à qui Edouard Branly avait communiqué sa découverte. Il réussit même en 1901 à détecter des ondes au Canada émises depuis l'ouest de l'Angleterre avec d'énormes bobines de Ruhmkorff ! La Télégraphie sans fil, la TSF était née. On s'était d'abord moqué de lui : la terre étant ronde et les ondes se déplaçant en ligne droite, on ne voyait pas comment c'était possible. On ne savait pas encore que les ondes électromagnétiques peuvent se réfléchir sur les hautes couches de l'atmosphère. Voilà un homme – Marconi - qui avait des intuitions très justes et qui a su persévérer malgré l'incompréhension de son entourage. C'est arrivé à pas mal d'innovateurs !

Vous pouvez refaire cette expérience à la maison, pas besoin de bobine de Ruhmkorff : juste d'un côté une feuille de plastique que vous frottez avec un chiffon + une plaque de métal pour accumuler des charges électriques et de l'autre côté un peu de limaille de fer soupoudrée entre 2 clous, une petite LED et une pile électrique. Faites vous-même ici l'expérience !



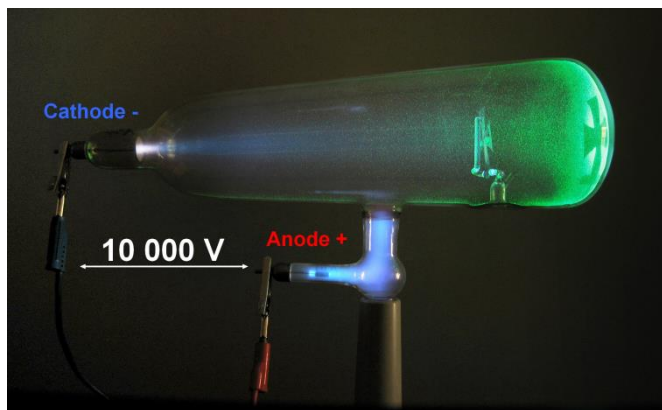
Un peu plus tard on a remplacé la limaille de fer par un cristal de galène. Cela permet d'**entendre** l'onde détectée (et non pas seulement de faire passer un courant continu pour actionner un électro-aimant ou allumer une lampe).



Mais il faut vraiment tendre l'oreille pour entendre quelque chose.

Il nous faudrait pouvoir amplifier tout ça ! Cela nous permettrait aussi de communiquer avec la voix et pas seulement en Morse... C'est ce qu'on va voir dans les ateliers N°3 et 4.

Atelier N°3 - Communiquer en apprivoisant les électrons : expérience du tube de Crookes, la lampe diode qui détecte, la lampe triode qui amplifie, le poste de TSF de 1930 à 1950



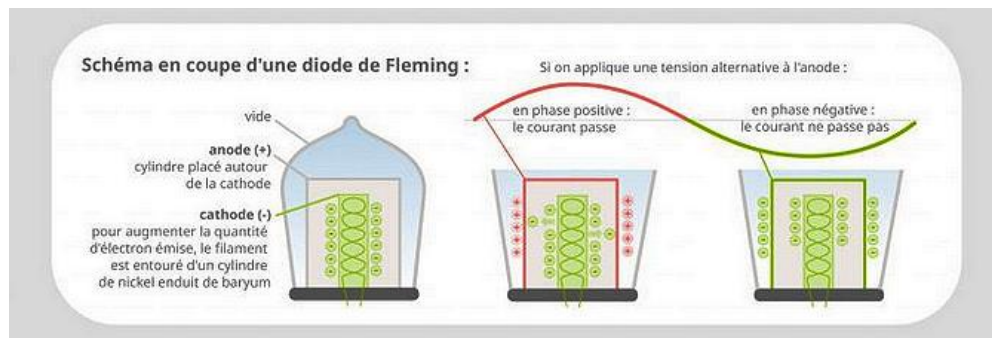
Vous voyez ici une ampoule en verre avec une croix à l'intérieur. Un scientifique de l'époque, Mr Geissler a eu l'idée de produire des étincelles avec une bobine de Ruhmkorff dans une ampoule comme celle-ci dans laquelle il enlevait l'air à l'aide d'une pompe à mercure, appareil lui permettant de faire le vide. Il a d'abord observé de belles lumières comme des aurores boréales. Puis, en baissant encore la pression du gaz résiduel, ce que firent ses successeurs, en particulier Mr Crookes, ils ont été très étonnés de ce qui s'est passé.

Je vous invite à découvrir ce qu'ils ont vu : appuyons quelques secondes sur l'interrupteur. Une tension élevée est appliquée entre 2 électrodes de part et d'autre de l'ampoule et ça donne quoi ? ...

Cette lumière verte fut pour les scientifiques de l'époque une véritable énigme. Pendant 20 ans, de l'Europe aux Etats Unis tout le monde cherchait à comprendre ce qui se passait. Les Allemands disaient que c'était une onde, les Anglais que c'étaient des particules qui sortaient de l'électrode négative de l'ampoule – appelée cathode. (Un de ces scientifiques – Mr Röntgen - découvrit même que cette ampoule génère en plus des rayons X). Enfin, en 1897, Joseph Thomson mit tout le monde d'accord en démontrant que des particules de matière sortaient bien de la cathode, qu'elles portaient une charge électrique négative qui avait même une masse qu'il réussit à mesurer. On appela ces particules électrons.

Nous allons voir maintenant des perfectionnements importants qui ont permis à la TSF de se développer dans le monde entier.

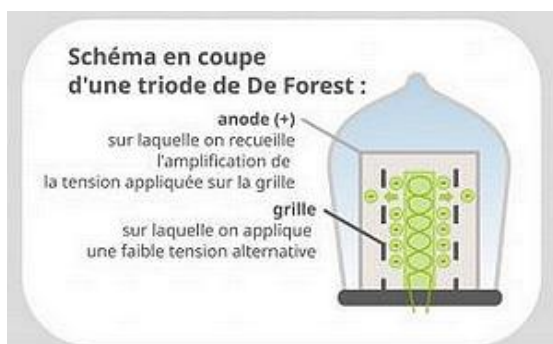
En 1903 Mr Fleming met au point un premier tube électronique dans lequel le courant électrique ne passe que dans un seul sens. Dans une ampoule en verre on chauffe un métal qui peut émettre ainsi des électrons dans le vide. C'est ce qu'on appelle la cathode. En face, toujours dans l'ampoule on met une plaque métallique –



l'anode - qui peut avoir soit un potentiel électrique positif (des atomes qui ont tous perdu leurs électrons), soit un potentiel électrique négatif (plein d'autres électrons).
Que font les électrons de la cathode à votre avis ?

Il se précipitent vers l'anode si elle est positive. Ils la fuient si elle est négative.

DETECTER LES ONDES

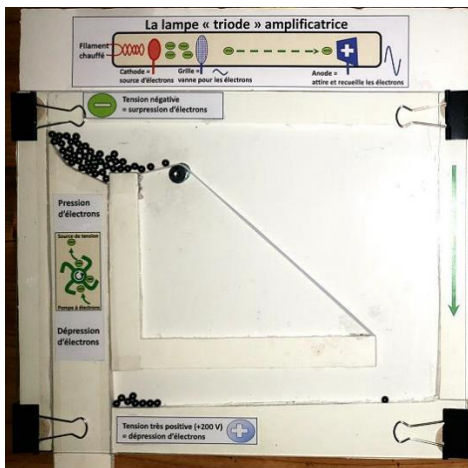


Le courant électrique ne passe que si l'anode est positive ! C'est super pratique pour détecter les ondes électromagnétiques émises par les bobines de Ruhmkorff de Marconi. D'ailleurs il a utilisé la diode de Fleming dès 1905 en remplacement de la limaille de fer de Branly. Pourquoi est-ce super pratique ? Il faut savoir que lorsqu'une onde électromagnétique rencontre un bout de fil conducteur comme une antenne elle agit les électrons tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre. Une fois c'est ce bout de

l'antenne qui est positif, l'instant d'après c'est l'autre bout. Les électrons ne savent plus où donner de la tête, ils courent d'un côté et de l'autre pour rentrer à la maison mais finalement, en moyenne c'est comme s'ils n'avaient pas bougé : le courant dans une sens annule celui qui s'est produit dans l'autre. Si on place une diode dans le circuit on leur permet d'aller une bonne fois que vers du positif et là – avec un écouteur par exemple – on peut détecter le passage d'un courant électrique. A l'époque ce n'était pas encore de la parole mais seulement du tout ou rien. Alors on employait l'alphabet Morse. A = un courant bref puis un courant long, B = un courant long puis trois courants brefs etc...

AMPLIFIER

Mais l'amplitude de ces courants était encore bien faible. Pour entendre quelque chose, il fallait vraiment tendre l'oreille. Heureusement en 1907 Mr Lee de Forest eut l'idée géniale d'ajouter une petite grille sur le trajet des électrons entre la cathode et l'anode. Une très faible variation de potentiel électrique de cette grille permet de contrôler le passage d'un courant électrique très important. C'est comme un robinet qui peut s'ouvrir et se fermer avec le tout petit signal électrique capté par l'antenne et détecté par la diode. C'est ce que nous pouvons prendre le temps d'observer sur cette maquette où nous allons voir l'influence de la grille.



La cathode chauffée par le filament émet des électrons dans le vide du tube. Ceux-ci sont contenus ou libérés par la grille selon que son potentiel est négatif ou légèrement positif. Ils sont ensuite recueillis par l'anode et renvoyés vers la cathode par un générateur de tension. Une petite variation du potentiel électrique de la grille provoque une grande variation du courant d'électrons.

C'est le premier amplificateur électronique qui va équiper par la suite tous les récepteurs radio comme celui-ci qui date de 1937 et qui fonctionne encore, comme vous l'entendez. On entend le grésillement lorsqu'on fait une étincelle avec la bobine de Ruhmkorff à l'autre bout de la pièce.

Dans l'usine CSF de St Egrève, pas loin d'ici, des dizaines de milliers de tubes électroniques furent fabriqués, en particulier des petites triodes comme celle-ci qui permirent à partir des années 50 d'amplifier régulièrement le signal électrique dans les câbles sous-marin et d'y faire enfin passer la parole. Car auparavant seuls des signaux télégraphiques étaient transmis d'un continent à l'autre.

À Saint-Égrève



Marquage des tubes électroniques à l'usine CSF de Saint-Égrève



Tube Triode CSF, 1962



Tube Diode haute tension, 1970



Tubes électroniques TH-CSF, années 70

À partir de **1910**, date à laquelle **Émile Girardeau** fonde la **SFR**, devenue plus tard **CSF**, des millions de diodes et de triodes furent fabriquées en France pour équiper les postes de radio. L'**usine Thomson-CSF de Saint-Égrève** a hérité de ce savoir-faire. Des milliers de tubes électroniques y furent fabriqués, en particulier pour les amplificateurs des câbles téléphoniques sous-marins.

ATELIER N°4 Communiquer avec un poste de radio portatif : la révolution de la diode et du transistor bipolaire en germanium jusqu'au transistor MOSFET

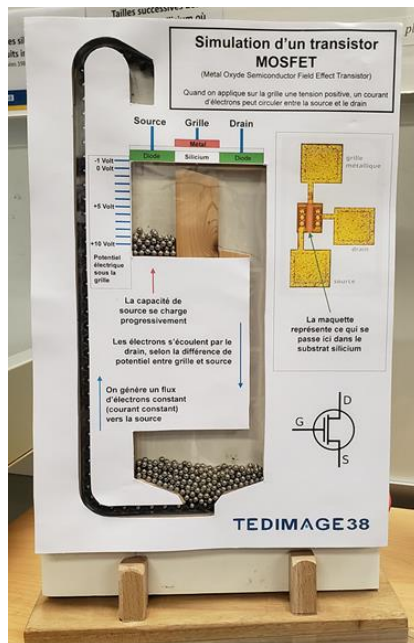
Nous revenons en 1947 pour présenter une découverte qui fut une révolution dans le monde de l'électronique. Cela s'est passé dans les laboratoires Bell, aux USA – entreprise fondée autrefois par Graham Bell lui-même, l'inventeur du téléphone. Une équipe de chercheurs essayait de réaliser dans des matériaux semi-conducteurs la même chose que Lee de Forest avait réussi à faire dans un tube électronique : contrôler le passage d'un courant électrique important avec une très faible tension électrique. Autrement dit : **réussir à faire un amplificateur à l'état solide** (et non plus dans un tube à vide). Ils avaient réussi à faire déjà des diodes en posant une pointe métallique sur un cristal de germanium. Un excellent théoricien William Shockley avait prouvé par des calculs qu'une plaque métallique positive ou négative pourrait favoriser ou bloquer le passage d'un courant électrique entre 2 points de contacts rapprochés sur la surface d'un semi-conducteur comme le silicium ou le germanium. Il travaillait avec un autre théoricien John Bardeen et un excellent expérimentateur Walter Brattain. Tous s'acharnaient depuis des mois pour concrétiser l'idée de Shockley mais ça ne marchait pas ! Mais pas du tout ! Le théoricien était très déstabilisé. Quelque chose faisait écran entre la plaque métallique et la surface du semi-conducteur. Après de multiples tentatives, Brattain et Bardeen purent obtenir une légère amplification entre les 2 points de contacts en posant sous le métal une goutte d'eau qui permettait de passiver la surface du silicium. Ils ont eu l'idée de passer au germanium qui est recouvert d'une mince couche d'oxyde. Et puis, le 23 décembre 1947, fortuitement le miracle se produisit. Suite à une manipulation de Brattain, par inadvertance le contact en or perça la couche d'oxyde et établit un troisième contact entre les autres. Un son amplifié se fit entendre. La trouvaille étant d'une telle importance qu'elle fut d'abord tenue secrète. Puis il leur fallut beaucoup d'effort pour stabiliser et reproduire cet effet amplificateur. **Ils appelèrent ce nouveau composant « transistor »**. Shockley qui n'avait pas participé à l'expérience était à la fois ravi et mécontent car ce n'était pas son idée qui avait été mise en œuvre. Alors il s'ingénia à trouver une façon plus industrielle de réaliser ce transistor, ce qui permit de passer du transistor à pointes au transistor en jonctions. C'est seulement 2 ans plus tard que celui-ci commença à être fabriqué aux USA. En France les laboratoires de la CSF maîtrisent cette technologie en 1953 avec l'idée de faire un poste de radio portable dont ils réalisent un prototype.

C'est alors que Maurice Ponte, directeur de la CSF ayant décidé de construire à Saint-Egrève une grande usine de fabrication pour les tubes électroniques change d'avis en 1955 et décide de commencer la fabrication de diodes et transistors. Après 2 années de déboires les transistors commencent à y être fabriqués à un coût acceptable. La société Clarville met en vente ce premier poste à transistors fabriqué en France : le Solistor, que vous voyez dans cette vitrine. C'est un succès considérable. Au début des années 60 le poste à transistor connaît un engouement semblable à celui du smartphone aujourd'hui : enfin je peux me promener partout en écoutant de la musique et les infos !

Nous allons voir à l'œuvre une diode germanium et des transistors, tous fabriqués par la CSF Saint-Egrève au début des années 60.

Ici un fil électrique bobiné sur un cylindre magnétique est relié à une antenne et à une diode germanium. Nous branchons les extrémités de ce circuit à l'entrée d'un transistor monté dans cette boîte (basculer l'interrupteur). J'approche de l'antenne cet allume gaz piézoélectrique qui génère de minuscules étincelles quand on appuie très légèrement sur la gâchette. Qu'entendez-vous dans l'écouteur ? Maintenant, pour que tout le monde puisse entendre, branchons le circuit sur l'entrée d'un amplificateur à 4 transistors (mise en route avec le bouton) ... Nous venons de reproduire avec des composants solides semi-conducteur une expérience qui date des tous débuts de la TSF !

Voici enfin le transistor MOSFET, (= transistor à effet de champ) qui fut mis au point - toujours aux laboratoire Bell – au début des années 60.



Toute la microélectronique d'aujourd'hui l'utilise.

Ici c'est une grille qui ouvre ou ferme le passage pour des électrons amassés du côté de la source et qui voudraient bien rejoindre du positif du côté du drain. C'est un vrai robinet à électrons. C'était l'idée de Shockley qui ne put être réalisée que lorsque l'on sut passiver la surface du silicium en l'oxydant grâce aux travaux d'un égyptien Mohamed Attala et d'un coréen Dawon Kahng, toujours dans les laboratoires Bell (1959).

Pour comprendre comment ça marche voici une petite expérience. Ici la grille, la source, le drain. Les petites billes métalliques ce sont les électrons. Pour le moment la tension appliquée sur la grille est légèrement négative. Les électrons qui sont ici vont-ils avoir envie d'aller de l'autre côté ? Non bien sûr. Rappelons-nous : les électrons sont comme nous, ils n'aiment pas aller vers du négatif !

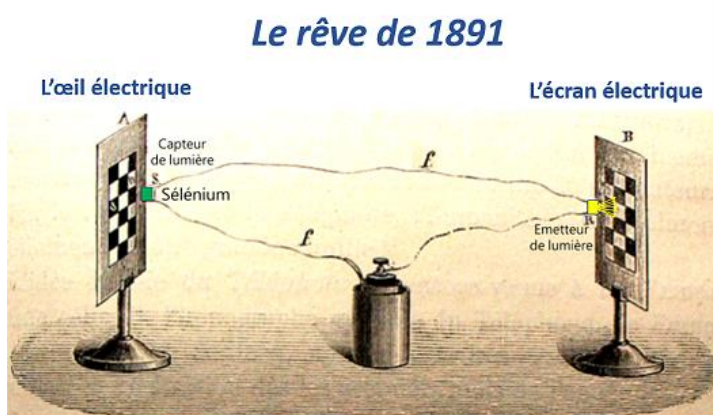
Maintenant commençons à appliquer sur la grille une tension légèrement positive. Que va-t-il se passer ? Vous voyez que je contrôle le

courant d'électrons en faisant varier le potentiel électrique de la grille. Normalement, quand les électrons sont passés ils sont aspirés par le pôle positif d'une pile qui les ramène au pôle négatif – on ne les laisse jamais tranquilles ! Ici on cette chaîne qui remonte permet réalimenter notre pôle négatif – plein d'électrons qui se bousculent pour s'évader – ils sont sous tension... et nous pouvons reproduire l'expérience...

Ce composant très simple est la base de tous les circuits de la micro-électronique : les microprocesseurs et les mémoires. Il est réalisé sur des tranches de silicium qui sont devenues d'année en année de plus en plus grandes alors que ce composant devenait de plus en plus petit. Vous avez ici un aperçu des tranches de silicium et ici des micro-photos des circuits correspondants. Vous pouvez observer une tranche de silicium sous le microscope.

Atelier N°5 : Transmettre des images avec un smartphone : le petit train des ondes

Dans tous les ateliers précédents nous avons transmis la parole à distance, codée en Morse ou bien par le son produit par la parole elle-même.



Mais comment transmettre des images à distance. Ca aussi c'est un vieux rêve, comme l'indique cette image qui date de 1891 :

Faisons l'expérience : ici nous avons un composant qui devient conducteur quand il est éclairé (une photodiode – c'est le capteur de lumière en sélénium de l'image) et ici une petite ampoule électrique qui s'allume que si le capteur de lumière est éclairé. Le problème à l'époque c'était : comme balayer l'image à envoyer avec le sélénium pour la reproduire à l'identique côté réception ?



Si seulement c'était possible on pourrait suivre une pièce de théâtre à distance : on aurait à la fois le son et l'image comme l'indique cette image tirée du même livre.

Nous allons donc observer comment ça fonctionne aujourd'hui, avec un capteur CMOS qui prend une photo pour ensuite l'envoyer vers un écran à cristaux liquides où elle va s'afficher. Nous allons utiliser cette simulation qui ressemble à un petit train.

Vous êtes à Grenoble. Vous voulez envoyer une photo sur le smartphone de votre ami à Paris. Vous êtes équipé d'un capteur CMOS de haute définition 5x5 pixels qui est ici ! L'image projetée sur le capteur par une optique est ici une simple croix lumineuse.

Je vous invite à faire ce que fait la lumière : déposez une bille (un paquet d'électrons) dans chaque pixel éclairé. J'éteins maintenant la lumière : je dispose à présent d'une mémoire de l'image sous la forme de paquets d'électrons. Je vais faire voyager les informations de ces paquets d'électrons de Grenoble à Paris sans les



mélanger.

J'avance le premier wagon de mon TGV à électrons (en fait une onde électromagnétique qui va transporter le signal à 300 000 km/s). En appuyant sur cette languette j'envoie l'information des électrons de la première ligne du capteur dans le premier wagon du train. Puis j'avance le train pour que le second wagon se trouve en face de la sortie du capteur. J'envoie l'information des électrons de la deuxième ligne dans le 2ème wagon et ainsi de suite jusqu'au 5ème wagon. Dans la réalité, tout cela se fait en 20 ou 30 millisecondes. Puis le train démarre et arrive presque instantanément en gare de Paris. Là les passagers, les informations du premier wagon, sont invités à sortir pour être accueillis dans cette rampe d'affichage de l'écran LCD. Basculer l'interrupteur, situé sur le côté. Avec cette fiche conductrice on balaie chaque compartiment tout en appuyant sur le bouton de commande de la première ligne de l'afficheur. S'il y a de l'information, la lumière s'allume. Ensuite on remercie les porteurs de cette information qui vont pouvoir sortir de la gare. On avance le train jusqu'à pouvoir vider le 2ème wagon. On appuie sur la commande de la 2ème ligne de l'afficheur tandis que l'on teste la présence des informations avec la fiche conductrice. Une LED s'allume qui correspond au 2ème pixel de la croix lumineuse. On évacue les passagers. On avance le train d'un wagon et ainsi de suite. Finalement on retrouve sur l'écran LCD de la lumière là où se trouvait la croix lumineuse au niveau du capteur CMOS !

Voilà comment se passe le transfert d'une image avec vos smartphones !