

Les origines de la radio et le détecteur magnétique

par Jean Cudraz



Figure 1. — Reconstitution de la cabine radio dans le film *Titanic* de J. Cameron.

Un peu d'histoire...

Hertz a mis en évidence l'existence des ondes électromagnétiques en 1886.

Puis en 1890, Branly découvre les propriétés de la limaille de fer qui, sous l'action d'une onde électromagnétique, devient conductrice et reprend son état initial à la suite d'un léger choc. Ce dispositif qu'il appellera « radio-conducteur » sera baptisé *coherer* (cohéreur en français) par les anglo-saxons qui imposeront ce nom...

Dès 1894, un jeune étudiant italien, Guglielmo Marconi, passionné par les nouvelles découvertes, fait des essais dans la propriété familiale en compagnie de son frère. Il utilise une bobine de Ruhmkorff et le détecteur de Branly avec une antenne comme l'avait recommandé l'ingénieur russe Popov. Les résultats sont encourageants et à la fin de l'année 1895, il peut réaliser une liaison sur une distance de 2 400 m.

Persuadé de l'intérêt de son expérience, il essaie de déposer un brevet et d'obtenir une aide financière du gouvernement italien, mais sans succès. Il se tourne alors vers la Grande-Bretagne, car sa mère est irlandaise et sa famille est en mesure de lui fournir les appuis financiers et juridiques nécessaires.

Le 27 juillet 1896 il fait une démonstration devant les officiels londoniens qui ont tout de suite vu l'intérêt que l'on pourrait en tirer pour les transmissions navales et

militaires. À partir de ce moment tous les soutiens financiers et administratifs lui sont acquis, ce qui lui permettra de construire le matériel et les antennes nécessaires aux essais de transmission. Les résultats sont convaincants, avec 6 km en septembre 1896, puis 15 km en mai 1897. En juin 1897, Marconi installe la première station de télégraphie commerciale.

Puis en novembre 1898, Ducretet réalise la première transmission entre la tour Eiffel et le Panthéon distants de 4 km.

C'est le 28 mars 1899 que Marconi transmet le premier message entre South Foreland en Angleterre et Wimereux en France, soit 46 km. Ce message est adressé à Edouard Branly en ces termes : « M. Marconi envoie ses respectueux compliments pour la télégraphie sans fil à travers la Manche. Stop. Ce beau résultat étant dû en partie aux remarquables travaux de M. Branly. »

Le capitaine Ferrié avait été invité à participer à cette expérience comme représentant de l'Armée Française. Le ministre de la Guerre qui n'appréciait pas la suprématie de Marconi et par suite de l'Angleterre demanda à Ferrié « s'il se sentait capable de réaliser pour les besoins de l'armée, des appareils basés sur les principes qu'il venait de voir mettre en œuvre par Marconi ».

Sa réponse affirmative devait décider de la suite de sa carrière et de l'orientation du matériel français. Dès 1900,

Ferrié inventait le détecteur électrolytique qui était plus sensible que le cohéreur de Branly.

La même année a lieu la naissance de la société *Marconi Wireless Telegraph Company*, avec le dépôt du brevet 7777¹ dit « des quatre circuits accordés » sur le principe de l'accord entre poste émetteur et poste récepteur et sans lequel il serait impossible de faire fonctionner plusieurs émetteurs et récepteurs simultanément. Cette avance technique assurait le monopole des communications radio à Marconi.

Ensuite viendront les essais à plus grande distance et la traversée de l'Atlantique en 1901, après le perfectionnement et l'accroissement de la sensibilité du cohéreur de Branly. Le 3 novembre 1902, Marconi obtint le brevet français n° 326.064 sur le détecteur magnétique et il marque ainsi un point majeur dans l'état de l'art.

À partir de ce moment plusieurs systèmes étaient en concurrence : la France utilisait le cohéreur de Branly et le détecteur électrolytique de Ferrié et l'Angleterre utilisait le détecteur magnétique de Marconi², beaucoup plus fiable, surtout pour la marine.

Marconi, ayant breveté tous ses appareils, imposait des conditions d'utilisation et financière draconiennes, ce sont les raisons pour lesquelles le détecteur magnétique est peu connu en France.

C'est grâce au film *Titanic* de James Cameron qui a fait une très belle reconstitution de la cabine radio représentée sur la figure 1, que j'ai découvert le *multiple tuner* (figure 2) juste en dessous du détecteur magnétique de Marconi (figure 3) au centre de la photo.



Figure 2. — Le multiple tuner.

1. — Le fameux brevet 7777 qui a empoisonné les industriels pendant 10 ans n'était pas valable, car Lodge avait déjà publié sur la résonance et Ducretet l'avait mise en pratique avec ses bobines à réglage. C'est ce qui a permis à Me Millerand en 1913 de gagner enfin contre Marconi et de débarrasser les industriels de ses prétentions.

2. — Rappelons cependant les travaux de Valdemar Poulsen qui en 1898 obtint un brevet pour son enregistreur téléphonique sur fil magnétique appelé *Telegraphon*. On pourrait comparer le fonctionnement du détecteur magnétique à celui de l'enregistreur à fil, mais l'effacement s'opère ici avec un champ HF et non permanent. De plus l'auteur précise qu'il avait débuté ses essais avec du fil de magnétophone, sans succès : il faut impérativement utiliser du fil de fer doux guipé sous soie ayant une rémanence faible, à l'inverse du fil enregistreur.



Figure 3. — Le détecteur magnétique de Marconi.

Description du détecteur magnétique Marconi

Le détecteur magnétique reprend un principe qui avait été expérimenté par Lord Rutherford et Miss Brooks en 1896, après avoir été signalé par Lord Rayleigh. La mise au point de ce détecteur magnétique sera annoncée au public par Marconi en 1902 dans le cadre du *Proceeding of Royal Society*. La note initiale avait été présentée à la Royal Society par Sir John Fleming en personne, l'inventeur de la diode électronique, précurseur des tubes électroniques modernes.

Se reporter au plan de la figure 4. La figure 5 représente un exemplaire de ma construction.

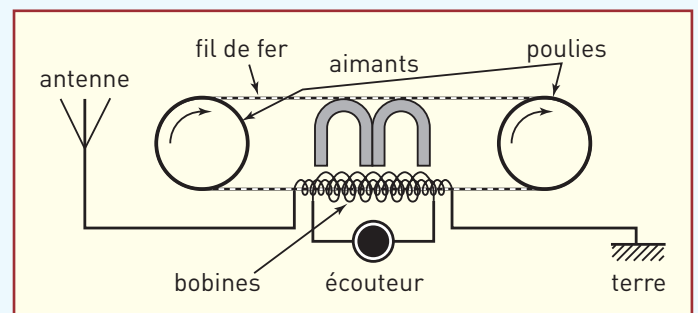


Figure 4. — Plan du détecteur magnétique.

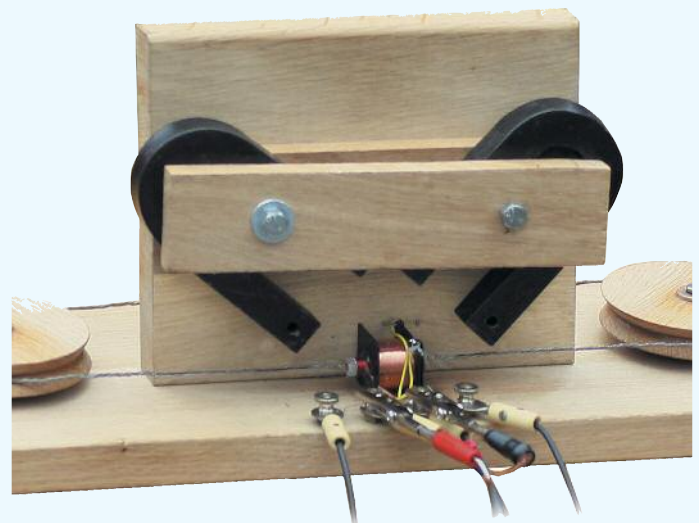


Figure 5. — Une réplique de détecteur magnétique.

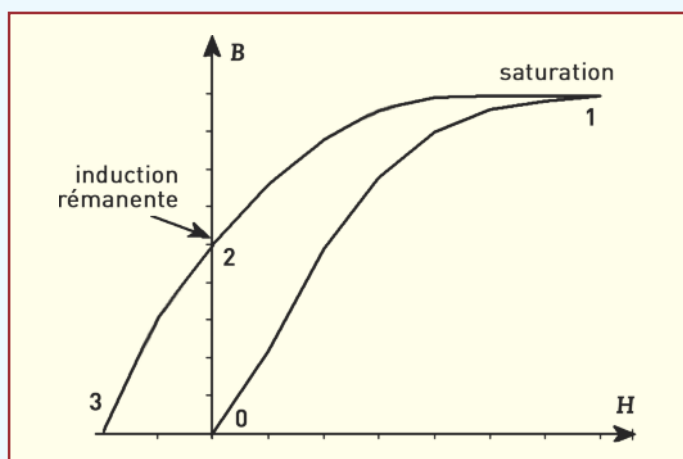


Figure 6. — Induction en fonction du champ magnétisant (cycle d'hystérésis du fer doux).

Principe de fonctionnement du détecteur

Soumettons un morceau de fer doux à un champ magnétique variable H et relevons sur un graphe l'induction produite correspondante B (figure 6). En partant de zéro, augmentons ce champ jusqu'à son maximum et relevons l'induction, on obtient le tracé 0 à 1. Si maintenant on décroît le champ à zéro, l'induction suit la courbe 1 à 2 et il faudra lui soumettre un champ contraire pour l'annuler jusqu'en 3. On dit que le cycle d'induction suit le champ magnétisant avec une certaine hystérésis et le fer doux présente une induction rémanente, les particules restant aimantées lorsque le champ magnétisant retombe à zéro. C'est ce champ rémanent qui est annulé par le courant haute fréquence.

Le détecteur magnétique est constitué d'un câble sans fin comprenant 70 brins de fil de fer doux de 0,13 mm isolé à la soie qui tourne entre deux poulies entre lesquelles il est raisonnablement tendu. Les poulies sont mises en rotation constante par un système d'horlogerie ou manuellement avec une translation de 4 ou 5 cm/s. Le câble passe dans l'axe d'une bobine primaire enroulée sur un tube de verre de 5 mm de diamètre qui est intercalée dans le circuit antenne terre de réception.

Concentriquement à cette première bobine est montée une seconde bobine comportant plusieurs milliers de tours de fil fin de 5/100 mm qui est reliée à un écouteur téléphonique. Un couple d'aimants en fer à cheval dont les pôles de même nom se touchent est disposé au-dessus du câble et des bobines.

Supposons que le fil de fer soit immobile. Une partie du fil est située dans le champ magnétique des aimants et acquiert une certaine induction. Le fil se déplace et si la bobine primaire est soudain traversée par une impulsion de courant haute fréquence, il se produit une brusque variation de l'induction dans une portion du fil qui induit une force électromotrice dans la bobine secondaire en excitant l'écouteur qui reproduit la modulation avec un bruit de fond assimilable à du souffle. L'induction rémanente est annulée et les lignes de force dans cette partie du fil sont redistribuées.

Le fil qui se déplace le long des pôles des aimants est soumis à un véritable cycle d'hystérésis. Il en résulte une variation correspondante de l'aimantation du câble au point considéré et par suite une variation du champ magné-

tique en ce point et une tension induite dans la bobine secondaire.

À l'époque, on ne pouvait recevoir que les ondes amorties produites par des émetteurs à étincelles et l'on ne se doutait pas qu'un détecteur magnétique pouvait aussi bien détecter les ondes entretenues que la galène ou les diodes à semi-conducteur. Ce détecteur sera utilisé pendant de longues années et jusqu'en 1918 dans les récepteurs de la compagnie Marconi qui équipaient les navires, à cause de sa simplicité et de sa fiabilité.

Le multiple tuner

Avant l'invention du *multiple tuner* Marconi, la capacité de réglage des récepteurs était limitée car il n'y avait pas de moyen efficace de distinction entre les signaux de plusieurs émetteurs émettant simultanément.

Marconi connaissait bien cette limitation que le D^r J. Ambrose Fleming lui a rappelée douloureusement, lors d'une démonstration de son appareil en 1903. Selon l'histoire, Fleming était sur le point de démontrer l'efficacité du détecteur, lorsque l'imprimante morse inscrivit un message provenant d'un rival qui voulait discréditer Marconi. Cet incident, bien que très gênant, démontra à Marconi qu'il était indispensable que les appareils de radio puissent sélectionner les émissions provenant de plusieurs émetteurs différents. Dans ce but, il demanda à l'un de ses plus brillants ingénieurs, C. S. Franklin, de résoudre le problème.

Celui-ci mit au point le *multiple tuner* qui fut un travail remarquable d'ingénierie et d'innovation pour lequel Marconi obtint un brevet en 1907. L'ensemble qui est une étape importante dans le développement de la radio, a introduit de nouveaux dispositifs comprenant :

- les circuits accordés,
- les inductances variables type variomètres,
- les condensateurs variables.

Le *multiple tuner* se compose d'un ensemble de trois circuits accordés composés d'un condensateur variable et d'un variomètre. Le *multiple tuner* et le détecteur magnétique constituent un récepteur complet fiable et performant. Il fallait malgré tout une antenne très importante pour compenser la faible sensibilité du détecteur, car à cette époque les amplificateurs n'existaient pas. À titre d'exemple, l'antenne du *Titanic* comprenait 4 câbles en parallèle de 183 m de long et situés à une hauteur moyenne de 52 m (voir la figure 7).

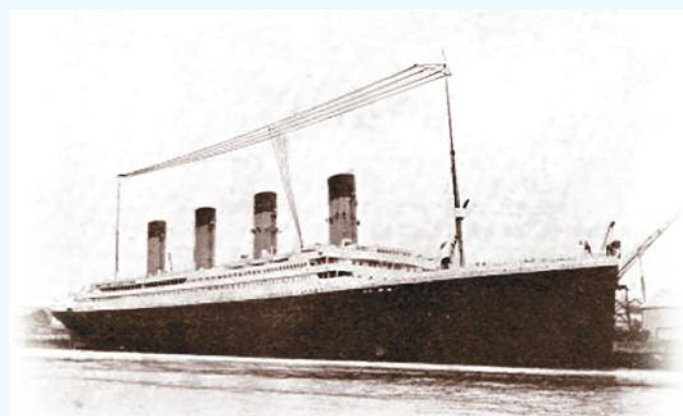
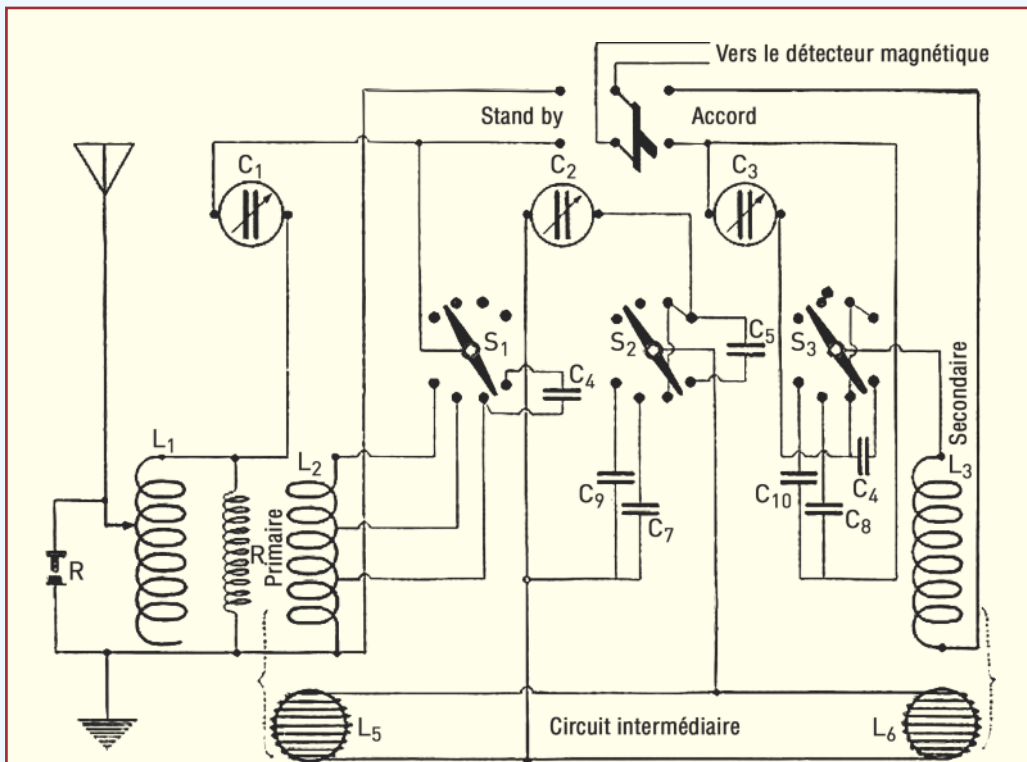


Figure 7. — L'antenne du *Titanic*.



Pour les longueurs d'onde entre 80 et 150 mètres

Les condensateurs C4 et C1 sont en série.
Les condensateurs C5 et C2 sont en série.
Les condensateurs C6 et C3 sont en série.

Pour les longueurs d'onde entre 150 et 600 mètres

Le condensateur C1 est en série avec l'antenne.
Le condensateur C2 est en parallèle avec le circuit intermédiaire.
Le condensateur C3 est en série avec le détecteur magnétique.

Pour les longueurs d'onde entre 1600 et 2000 mètres

Le condensateur C1 peut être dans le circuit d'antenne ou en dehors selon besoins.
Les condensateurs C7 et C2 sont en parallèle.
Les condensateurs C8 et C3 sont en parallèle.

Pour les longueurs d'onde entre 2000 et 2600 mètres

Le condensateur C1 peut être dans le circuit d'antenne ou en dehors selon besoins.
Les condensateurs C9 et C2 sont en parallèle.
Les condensateurs C10 et C3 sont en parallèle.

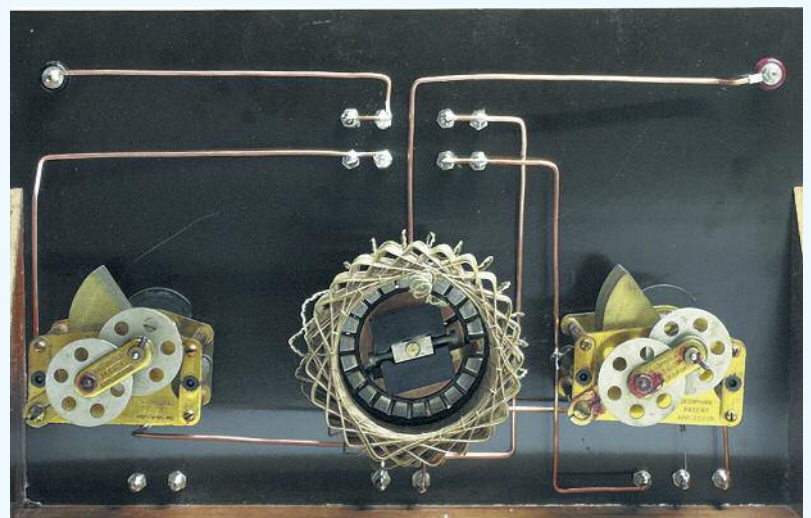
En choisissant la combinaison adéquate de l'antenne et des commutateurs des selfs, des variomètres et des condensateurs variables, l'opérateur peut accorder le multiple tuner dans une gamme de 80 à 2600 mètres (figure 8).

Une self L1 à prises avec commutateur permet d'ajuster la longueur électrique de l'antenne. Cette self L1 est raccordée à un premier condensateur variable C1 en série avec une self L2 de manière à constituer un premier filtre.

La self L2 est couplée à un premier variomètre L3 accordé par le deuxième condensateur variable C2. Ce premier variomètre est relié à un deuxième variomètre L4 couplé au dernier L5 et accordé par le troisième condensateur variable C3 et qui comprend en série la self du détecteur magnétique. Ce dernier circuit assure en plus de la sélectivité, le maximum d'intensité dans la bobine du détecteur magnétique.

J'ai construit une version simplifiée du multiple tuner représentée sur les figures 9

◁ Figure 8. — Schéma du multiple tuner.



Figures 9 et 10. — Version simplifiée du multiple tuner, sans le système de variomètres.

Explication simple, voire simpliste, du fonctionnement du détecteur Marconi à l'usage de ceux qui n'ont pas fait d'études avancées en physique, ou de ceux qui sont allergiques aux maths

Le câble est constitué de plusieurs brins de fil de fer. Pourquoi isolés entre eux ? Afin de réduire au plus bas l'action de courants de Foucault induits dans la masse métallique par son mouvement dans le champ magnétique des aimants permanents. Et, de plus, on évite l'effet de freinage du mouvement relatif au même phénomène. En prime, le court rayon d'enroulement du câble est possible, ce que ne supporterait pas un fil de fer plein.

Fonctionnement magnétique statique

Le fil de fer est porté à saturation magnétique par le champ des aimants permanents. Admettons qu'une portion de fil en mouvement passe d'abord sous un pôle Nord, les atomes de fer vont être orientés Nord. Le mouvement se poursuivant, la même portion du câble passe sous deux pôles Sud accouplés, c'est-à-dire dans un champ magnétique double du précédent. Les atomes de fer se placent en orientation opposée à la précédente et sont magnétiquement saturés, l'induction « plafonne ». Le mouvement se poursuivant, la magnéti-

sation est de nouveau inversée sous l'autre pôle Nord.

L'inversion d'orientation de l'induction dans le métal doit normalement provoquer un bruit de fond dans l'écouteur, ce qui se traduit par un chuintement.

Fonctionnement magnétique dynamique

Quand un signal de H.F. parcourt la bobine de réception, les alternances d'un sens créent un champ magnétique de même orientation que le magnétisme chargé à saturation dans le fil. Il n'y a pas de variation du champ magnétique, donc pas de courant induit dans la bobine d'écouteur. L'alternance suivante va, au contraire, provoquer la désaturation du fer, avec variation du champ magnétique et création d'un courant induit dans la bobine d'écouteur. Le fil se déplaçant, les portions prémagnétisées subissent les mêmes contraintes successivement. Dans le cas du Morse, l'écouteur produira un souffle rythmé comme les signaux. Dans le cas d'une HF modulée, les variations d'induction seront plus ou moins prononcées selon la profondeur instantanée de la modu-

lation et l'écouteur reproduira celle-ci.

Ceci explique pourquoi, le fil étant immobilisé (après être passé sous les pôles magnétiques), lorsqu'un signal se présente, on n'entend qu'un « toc » une seule fois dans l'écouteur. C'est la variation d'induction provoquée par la première alternance HF du sens favorable à cette variation.

Le champ magnétique provoqué par la HF est infiniment moins grand que celui des aimants permanents et la variation d'induction due à la HF ne joue que sur une faible portion de la courbe d'hystérésis, suffisante toutefois puisqu'il y a variation de champ magnétique, pour induire le courant d'écouteur.

Si on apportait un signal HF d'une forte puissance, engendrant dans la bobine primaire un champ magnétique équivalent à celui des aimants permanents, il est probable que l'on obtiendrait un « toc » à chaque alternance, à la fréquence de la HF ! Mais ceci ne présente pas d'intérêt et la bobine utilisée ne supporterait sans doute pas l'expérience.

Jean-Claude B. Montagné.

Figure 11. — Signal HF (trace inférieure) et signal détecté (trace supérieure) ▽

et 10, qui délivre cependant une sélectivité suffisante, sans le système de variomètres.

En un lieu situé à 30 km de l'émetteur de Tramoyes (près de Lyon) dont la puissance est de 300 kW sur 603 kHz, avec le détecteur magnétique de ma fabrication connecté entre une antenne de 80 mètres et la terre, je reçois un signal HF de 2 volts, ce qui donne 200 millivolts après détection.

L'oscilloscope sur la figure 11, montre le signal HF (trace inférieure) et le signal détecté (trace supérieure).

Jean Cudraz.

