La station radio Bordeaux-La Fayette

(2e partie)

par Daniel Maignan

Le 90e anniversaire de la station Radio Bordeaux-La Fayette donne l'occasion de retracer l'histoire de cette mythique station de télégraphie sans fil qui fut à l'époque la plus puissante du monde.

Grâce à notre expédition sur l'ancien site de l'émetteur à Croix-d'Hins, relatée dans *Radiofil magazine* n° 38, nous avons pu retrouver les quelques vestiges qui subsistent.

Cette deuxième partie est dédiée à la description et à l'évolution technique des installations pendant la première partie du xxe siècle.

The 90th anniversary of the Bordeaux-La Fayette radio station gives the opportunity to retrace the history of the station which was in the 1920s the most powerful in the world.

In the previous issue of* Radiofil magazine *we related our trip and the few vestiges we found on the ancient station site.

This second part is dedicated to the technical description and evolution of the station during the first part of the 20th century.

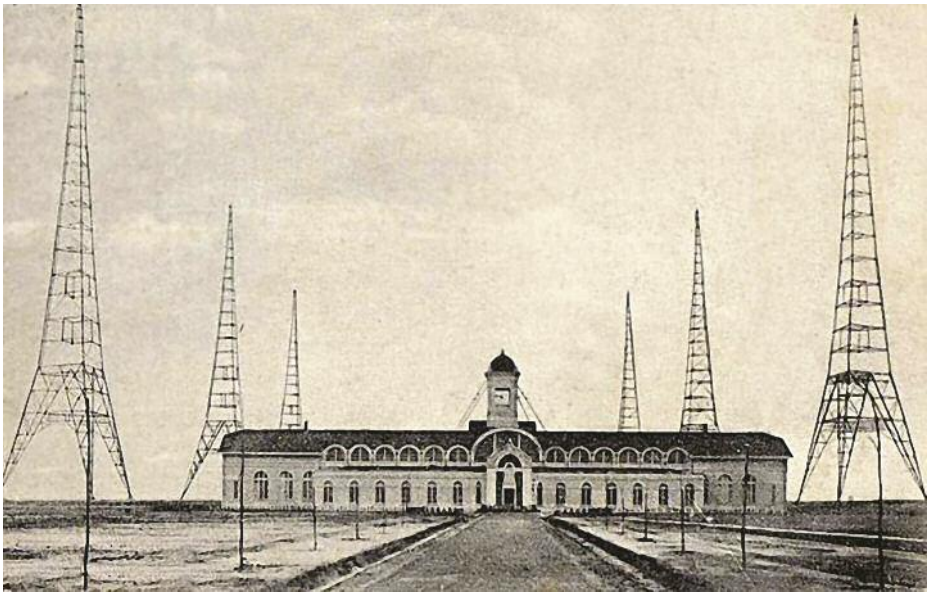


Figure 1. — Le bâtiment principal.

1. Description technique des installations d'origine

La photo de la figure 1 montre l'installation gigantesque avec le bâtiment principal et six des huit pylônes de 250 mètres espacés chacun de 400 mètres.

Les pièces de montage de ces pylônes tripodes qui avaient été fabriqués aux USA par les aciéries Pitt-Des Moines Co à Pittsburgh en Pennsylvanie furent déchargés dans le port de Bordeaux pour être ensuite acheminés par transport ferroviaire jusqu'au site de la future station. La nappe d'antennes dont la figure 2 représente un croquis, était soutenue par les huit pylônes et couvrait une surface de 1200 x 400 m^2 (48 ha).

Une terre artificielle de surface équivalente constituée de fils de cuivre était enfouie dans le sol entre les pylônes.

À l'extrémité, les fils arrivaient à la station en un toron enveloppé par un tube de cuivre pour pénétrer

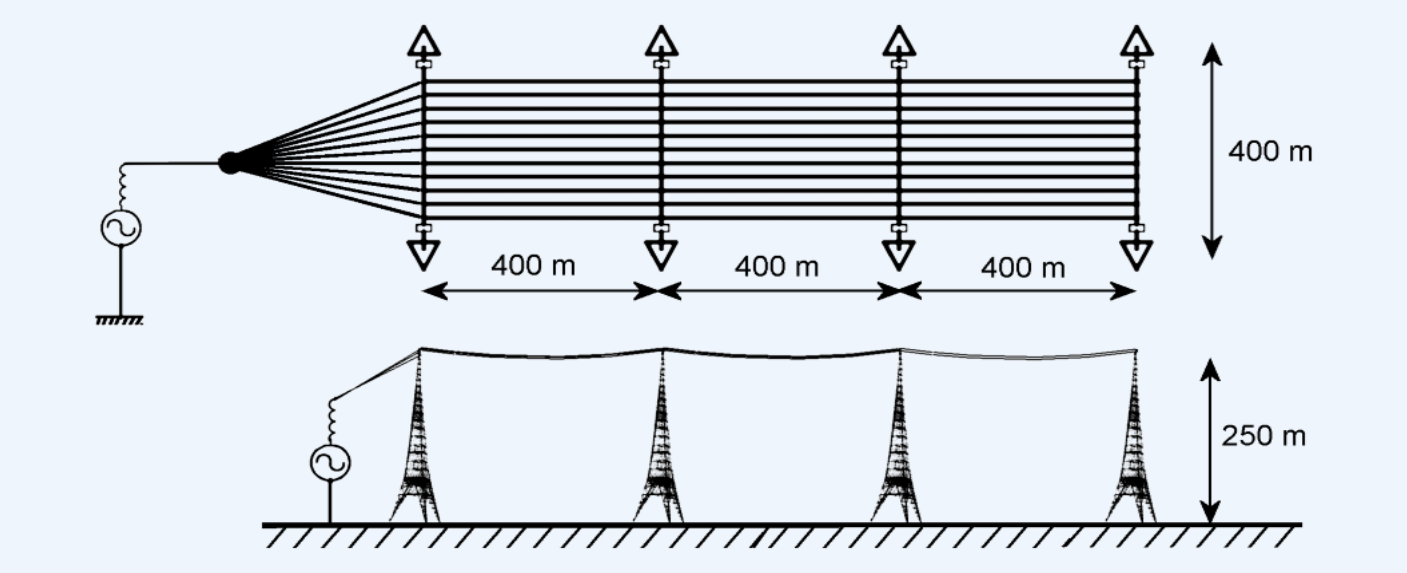


Figure 2. — Croquis de la nappe d'antenne.

dans la tourelle du bâtiment principal à travers un manchon isolant (figure 3).

À l'intérieur, le toron était raccordé à l'inductance d'antenne, via le commutateur de longueurs d'onde (figure 4).

Le système d'aérien et la terre artificielle formaient les armatures d'un gigantesque condensateur qui, avec l'inductance, constituaient un circuit accordé siège d'un courant haute fréquence très important qui, en traversant l'antenne, engendrait un rayonnement d'énergie sous la forme d'ondes électromagnétiques. L'inductance réalisée avec du câble de 100 mm de diamètre faisait six mètres de haut pour un diamètre de six mètres, avec des prises intermédiaires sélectionnées par un commutateur (figures 6a et 6b). De ce fait, il était possible d'émettre sur sept longueurs d'ondes différentes comprises entre 19 150 m (15 666 Hz) et 23 450 mètres (12 793 Hz).

Les pylônes de 560 tonnes assemblés avec 24 000 rivets étaient des tripodes composés d'une pyramide triangulaire de 190 mètres s'appuyant sur trois pyramides inversées de 60 mètres, les côtés du triangle à la base mesurant 66 mètres. Ils pouvaient supporter une force de 10 tonnes au sommet (figure 5).

Une échelle permettait d'aller jusqu'au sommet où se trouvait une plateforme de 3 m^2.

Figure 3. — Entrée des fils dans la tourelle de la station.

Principe de l'émetteur à arc

L'émetteur à arc de Poulsen, selon le nom de son inventeur Valdemar Poulsen, chercheur danois, était utilisé au début de la radio pour convertir du courant continu en énergie radioélectrique. Cet appareil qui pouvait générer des fréquences jusqu'à 200 kHz fut breveté en 1903. Après quelques années de mise au point, la technologie de l'émetteur à arc est transférée en Allemagne et en Grande-Bretagne en 1906. Les développements en Europe et aux États-Unis sont très différents. En Europe la technologie de Poulsen rencontre de grosses difficultés à s'implanter pendant plusieurs années, alors qu'aux États-Unis un système de radiotélégraphie largement répandu a très vite vu le jour. Plus tard, l'US Navy adopte le système Poulsen à son tour. Seul l'émetteur à arc à conversion de fréquence passive peut convenir à l'usage portable ou maritime. L'émetteur à arc de Poulsen fut le système de radio mobile le plus important durant une dizaine d'années, jusqu'à l'apparition des tubes électroniques.

Principe de l'émetteur à arc

Soit un arc électrique se produisant entre deux électrodes. Si on place en dérivation sur celui-ci un condensateur en série avec une inductance, on constate que ce circuit est le siège d'oscillations entretenues (figure A). Pour émettre, le circuit est couplé à une antenne qui permet de propager l'oscillation sous forme d'ondes radioélectriques. Le dispositif est simple et robuste et délivre un rendement d'environ 40 %.

Sous son aspect industriel pour la marine, l'arc est soufflé par un électroaimant. La cathode (–) est en carbone, l'anode (+) en cuivre et refroidie par une circulation d'eau ; l'arc jaillit dans une atmosphère de vapeur d'alcool.

L'émetteur consiste en une chambre de bronze à atmosphère d'hydrogène et refroidie à l'eau dans laquelle se produit l'arc entre une cathode de carbone et une anode de cuivre refroidie elle aussi par un circuit d'eau. Sur le dessus et le dessous de cette chambre se trouvent les bobinages qui entourent les deux pôles du circuit magnétique de l'électroaimant. Ces pôles pénètrent dans la chambre, de part et d'autre de l'arc, et génèrent un champ magnétique (figure B).

Description du fonctionnement

Contrairement à l'émetteur à étincelles, l'émetteur à arc de Poulsen génère une onde entretenue, ce qui est un avantage considérable, car les ondes amorties sont moins efficaces et très riches en harmoniques. L'arc de Poulsen est basé sur la découverte de Duddell qui démontra que si un arc électrique est connecté à un circuit comprenant un condensateur C et une inductance L, celui-ci entre en oscillations à une fréquence qui est fonction de la valeur L et C. Le phénomène est dû au fait que la relation entre la tension aux bornes de l'arc et le courant qui le traverse présente une résistance dynamique négative, autrement dit lorsqu'on son courant augmente, la tension à ses bornes diminue.

Supposons un circuit LC connecté aux bornes de l'arc. À un instant donné, le condensateur se charge en dérivant une partie du courant de l'arc. La tension de l'arc augmente, entraînant une charge plus importante du condensateur. Le condensateur une fois complètement chargé ne dérive plus aucun courant, le courant dans l'arc augmente et sa tension diminue, entraînant une décharge du condensateur. Par son apport d'énergie, l'arc électrique désamortit le circuit LC qui entre dans un régime d'oscillations entretenues.

Le système de Duddell ne pouvait fonctionner qu'avec un condensateur d'au moins 1 µF, ce qui limitait l'utilisation de l'arc en haute fréquence.

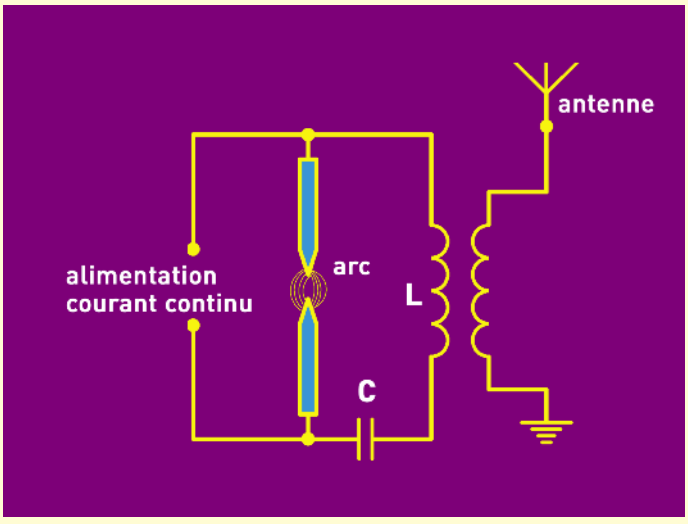


Figure A.

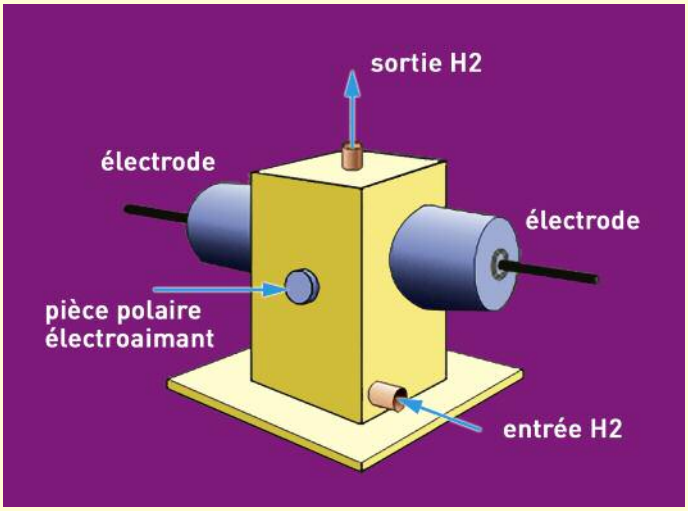


Figure B.

La grande découverte de Poulsen fut de faire fonctionner l'arc dans une atmosphère d'hydrogène qui, en refroidissant l'arc, augmentait la pente de la caractéristique courant-tension et aussi de réduire fortement le courant en plaçant un champ magnétique transversal très intense pour souffler l'arc, afin d'obtenir une tension plus élevée.

Cela lui permit d'utiliser des condensateurs de plus faibles valeurs et donc d'augmenter la fréquence de fonctionnement.

À noter que l'émetteur de Radio La Fayette est une déclinaison quelque peu différente de l'émetteur d'origine, en ce sens que l'oscillation de relaxation est totalement créée par l'action de l'électroaimant.

Étant donné que l'arc met un certain temps à s'amorcer et à se stabiliser, on ne peut pas manipuler l'émetteur par tout ou rien pour la télégraphie. On utilise une manipulation par déplacement de fréquence. Dans ce cas, l'arc est en fonctionnement permanent et une partie du circuit LC (une ou deux spires) sera en court-circuit lorsque le manipulateur est abaissé (ou l'inverse, comme dans le cas de Radio La Fayette). Ainsi l'émission se fera sur deux fréquences différentes selon que le manipulateur est abaissé ou non. Si ces fréquences sont suffisamment différentes (de l'ordre de 5 %), et que la station de réception est suffisamment sélective, l'opérateur pourra entendre de la télégraphie classique lorsqu'il est réglé sur la fréquence correspondant au manipulateur en position abaissée.

Le système était très efficace sur les bandes de fréquences s'étendant de quelques kilohertz à quelques dizaines de kilohertz. On employait des multiplicateurs de fréquence passifs pour élever la fréquence d'émission à la valeur souhaitée. Le multiplicateur de fréquence et l'adaptateur d'antenne devaient être suffisamment sélectifs pour éliminer le fort taux d'harmoniques.

Source : The Poulsen System from *Wireless Telegraphy* by W.H. Marchant (1914)

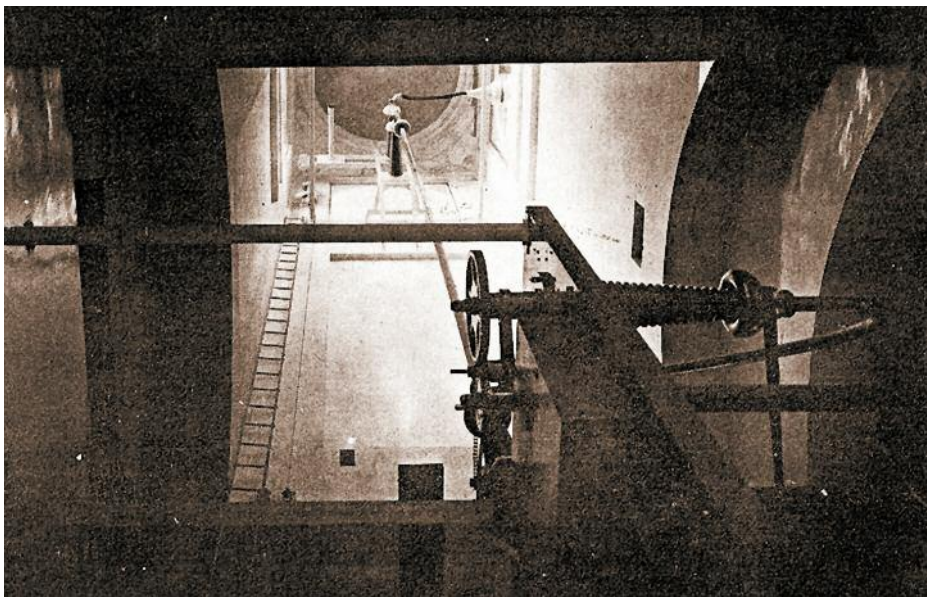


Figure 4. — Raccordement du toron à l'inductance d'antenne.

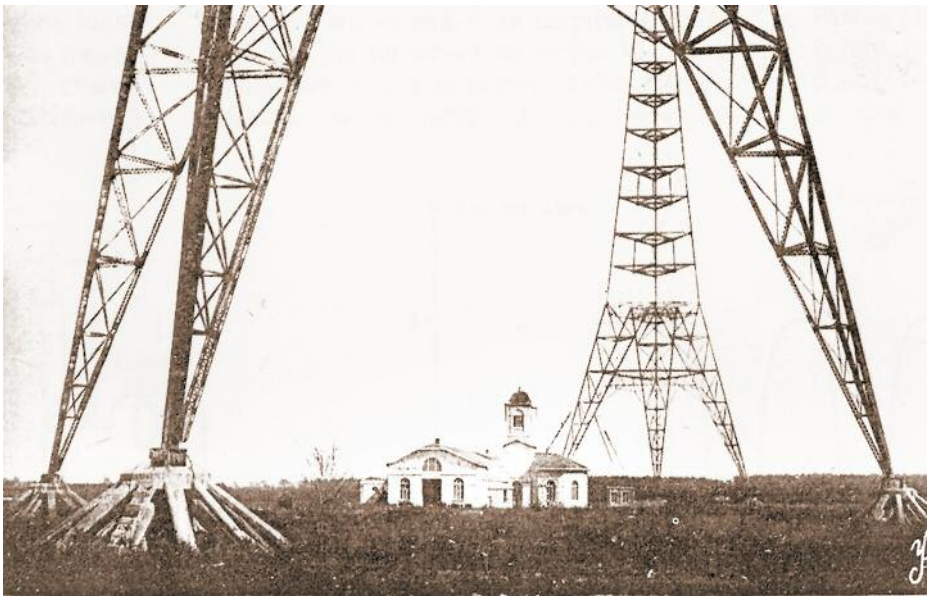


Figure 5. — Pyramides inversées à la partie inférieure des pylônes.

2. L'émetteur à arc (1920 à 1923)

La station était équipée de deux arcs identiques dont un en secours.

a. Principe

L'intensité d'un arc électrique varie périodiquement afin de produire une oscillation entretenue au rythme de la haute fréquence désirée (voir l'encadré 1).

Pour ce faire, l'arc est contrôlé par un système de soufflage magnétique selon l'effet Laplace-Lorentz. Un champ magnétique très important appliqué perpendiculairement à l'axe des électrodes produit une incurvation de l'arc qui tend vers la coupure. Dès que le champ magnétique disparaît l'arc se rétablit automatiquement grâce à la forte ionisation du milieu. La fréquence du courant d'arc est proportionnelle à l'intensité du champ magnétique : plus le champ est important, plus la coupure de l'arc se produit rapidement (figures 7a et b).

L'arc consommait 800 ampères sous 1250 volts, avec un rendement de conversion de l'ordre de 50 %.

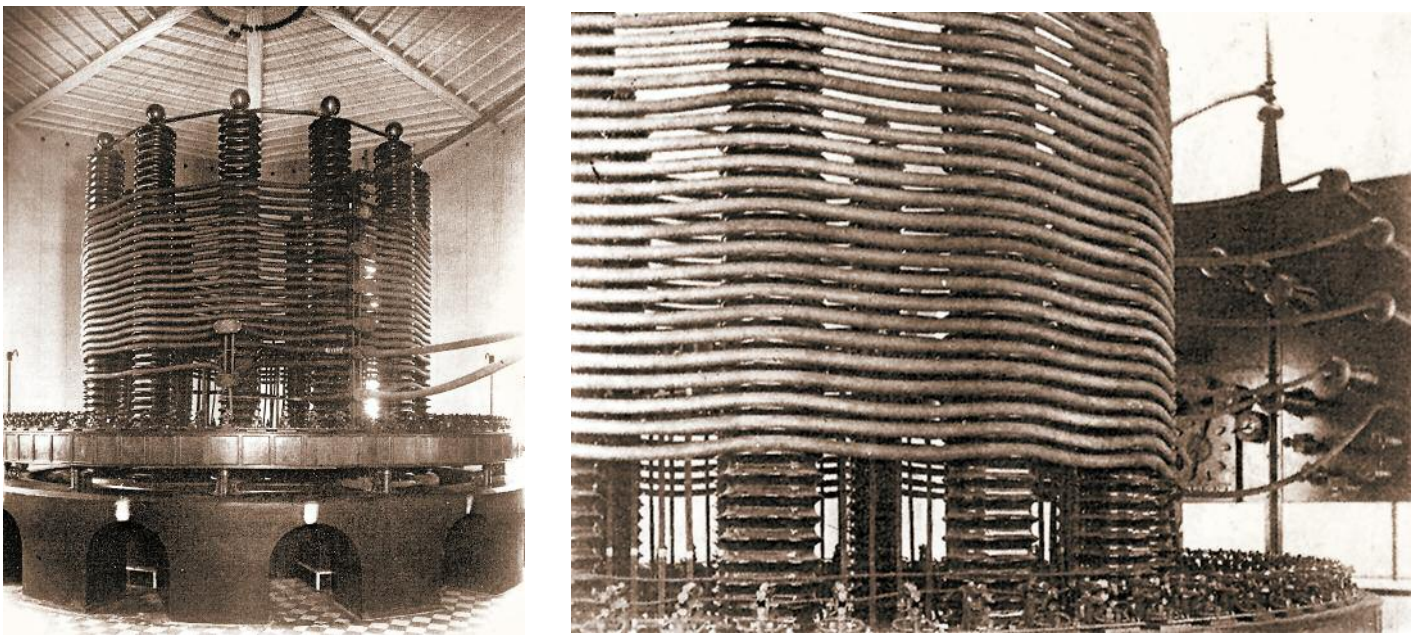


Figure 6. — L'inductance d'antenne, *a* : vue d'ensemble ; *b* : vue partielle avec le commutateur de longueurs d'ondes.

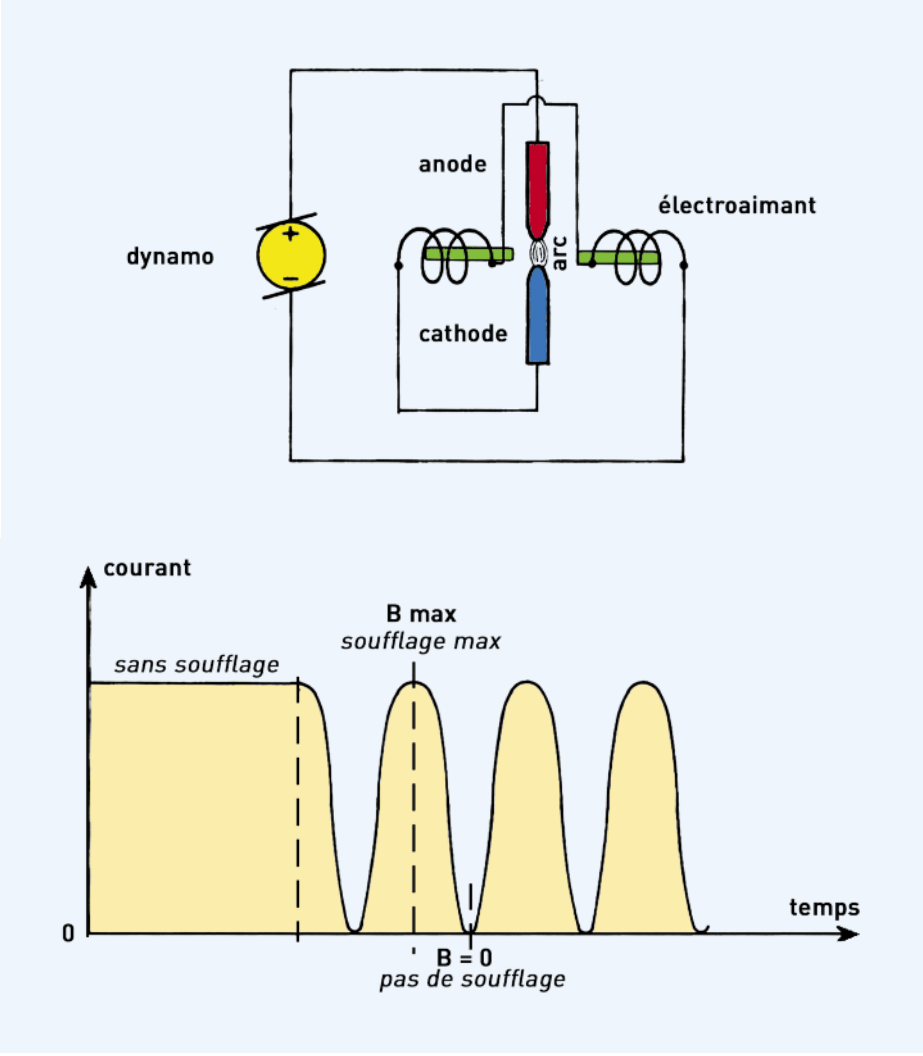
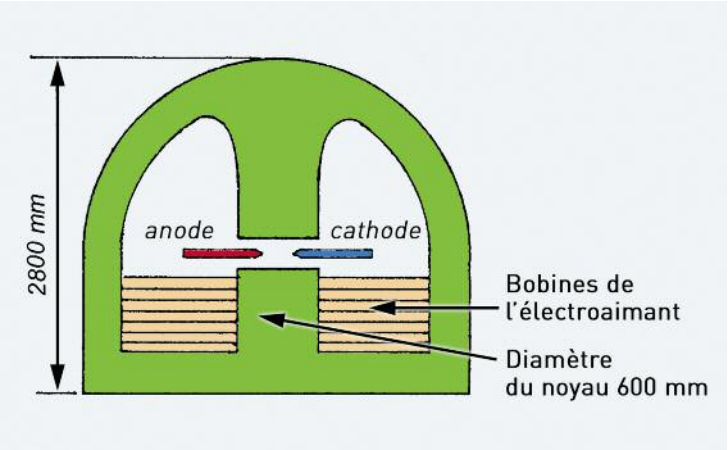


Figure 7. — *a*, en haut : arc soufflé. *b*, en bas : génération des oscillations hautes fréquences

Des bassins fournissaient la source de refroidissement indispensable pour évacuer les 500 kW d'énergie perdue en chaleur dans l'émetteur.

b. La chambre de l'arc et l'électroaimant

La figure 8a représente schématiquement l'ensemble de l'équipement qui pesait environ 80 tonnes dont 70 pour le circuit magnétique à lui seul et qui pouvait produire une induction de 17 000 gauss. Les bobinages du circuit magnétique étaient refroidis par une circulation d'huile. Pour faire fonctionner le dispositif, l'enroulement principal est en série avec l'arc, ce qui évite en plus le retour des oscillations vers l'induit de la génératrice. Un enroulement auxiliaire chargé de délivrer un champ réglable qui s'oppose au champ principal est alimenté par un groupe de 30 kW. L'anode de l'arc est constituée d'un tube de cuivre de 10 mm refroidi par une circulation d'eau. Le charbon de cathode qui est changé toutes les 24 heures, est un bâton de 40 mm de diamètre et d'une longueur initiale de 500 mm. Un petit moteur électrique fait tourner lentement l'électrode afin d'uniformiser l'usure. Dans la chambre à arc est injecté à raison de 20 litres par jour, un mélange d'alcool et de pétrole vaporisé qui améliore l'état de surface du char-



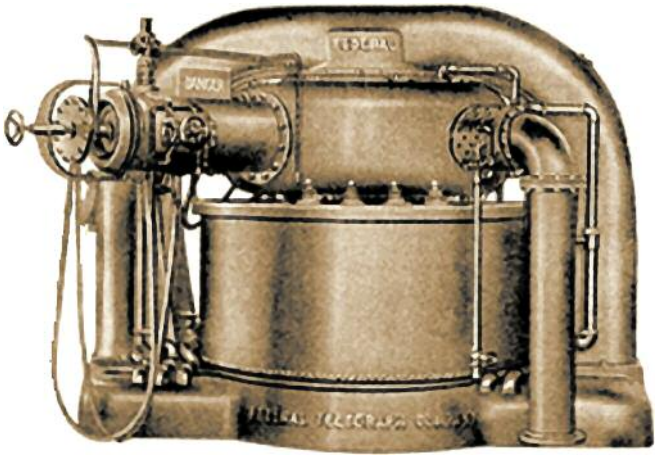


Figure 8. — *a*, à gauche : coupe schématisée de la chambre. *b*, à droite : l'émetteur.

Les alternateurs haute fréquence

Les ingénieurs qui ont développé ces machines à la Société Française Radioélectrique sont Joseph Bethenod et Marius Latour.

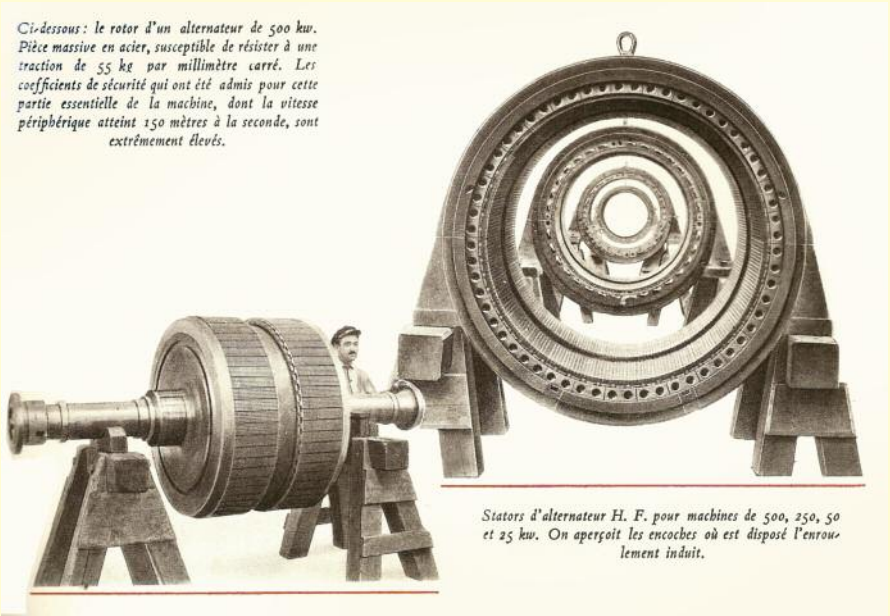
La réalisation mécanique de ces dispositifs pour obtenir directement des fréquences élevées soulevait des difficultés considérables.

Cela conduisait à adopter des vitesses de rotation inusitées, des pas polaires très faibles et des entrefers extrêmement réduits. Ces vitesses élevées augmentaient les pertes par frottement, des déformations et des trépidations dangereuses. De plus avec un entrefer très petit, la précision devait être extraordinaire. Les efforts conjugués de la Société Française Radioélectrique et de la Société Alsacienne de Constructions Mécaniques de Belfort ont résolu ces problèmes avec un succès inégalé.

La première machine de 5 kW fut mise en service en 1915 au poste de Lyon La Doua, puis une seconde de 125 kW y fut ensuite installée en 1918 . Le fonctionnement et la fiabilité se révélèrent impeccables, l'onde était dépourvue d'harmoniques et très stable. Ce type d'alternateur a été construit pour des puissances diverses, depuis 25 kW jusqu'à 500 kW, pour des longueurs d'ondes de 8000 à 20000 mètres. La vitesse de rotation de ces machines variant de 2500 tours par minute pour l'alternateur de 500 kW à 6000 tours par minute pour l'alternateur de 25 kW était maintenue constante par un régulateur à action très rapide, quelles que fussent les variations de charge. Tournant dans une atmosphère raréfiée pour éviter les pertes par frottement sur l'air et énergiquement refroidi par circulation d'huile sous pression, l'alternateur offrait un rendement très élevé (84 % pour la machine de 500 kW (figure 1 enc2).

Ces alternateurs pouvaient être couplés entre eux sur la même antenne, afin d'augmenter la puissance, selon les nécessités du trafic ou de la propagation ou bien encore transmettre en multiplex, simultanément sur des fréquences différentes sur la même antenne, en évitant l'interaction des alternateurs entre eux.

Source : 25 années de TSF Société Française Radioélectrique 1935



Ci-dessous : le rotor d'un alternateur de 500 kw. Pièce massive en acier, susceptible de résister à une traction de 55 kg par millimètre carré. Les coefficients de sécurité qui ont été admis pour cette partie essentielle de la machine, dont la vitesse périphérique atteint 150 mètres à la seconde, sont extrêmement élevés.

Stators d'alternateur H. F. pour machines de 500, 250, 50 et 25 kw. On aperçoit les encoches où est disposé l'enroulement induit.

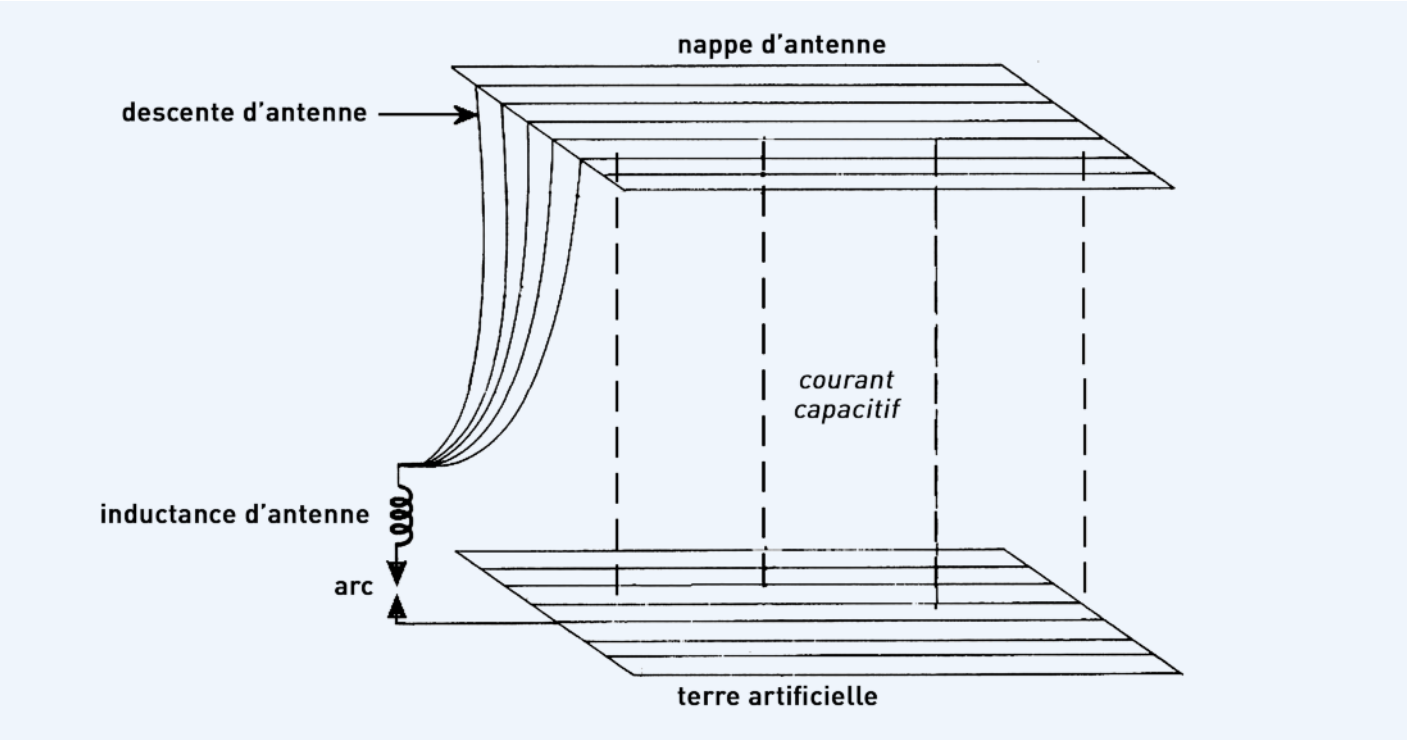


Figure 9. — Réglage de la fréquence.

bon et l'efficacité de l'arc. Une porte permet de pénétrer dans la chambre pour en effectuer le ramonage (figure 8b).

c. Alimentation

Chaque émetteur était alimenté par une dynamo Gramme entraînée par un moteur synchrone fonctionnant sous 2200 volts et pouvant délivrer 800 ampères sous 1250 volts.

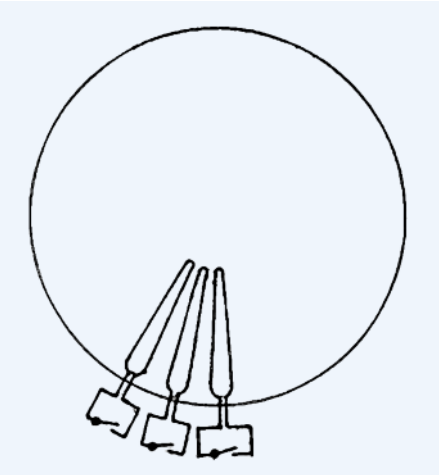


Figure 10. — Schéma simplifié de la manipulation par amortissement : court-circuit simultané des 78 spires dans les blancs de manipulation.

d. Réglage de la fréquence

L'arc est placé entre l'inductance d'antenne et la prise de terre (figure 9). L'ajustage du courant dans l'enroulement auxiliaire permet de faire varier la fréquence d'émission.

e. Transmission de l'information en Morse

Le Morse fonctionne normalement en tout ou rien, le manipulateur est un simple interrupteur : fermé, le courant passe, l'onde porteuse est émise pour produire un point ou un trait, ouvert pas de courant donc pas d'onde porteuse pour un espace ou un blanc (ou l'inverse).

Mais l'établissement de l'arc n'est pas instantané, il n'était donc pas possible de couper l'émission au rythme du manipulateur. On a adopté une manipulation par déplacement de fréquence, de F1 à F2, dont le fonctionnement est décrit ci-dessous.

Soixante-dix-huit petites spires sont disposées à la base de l'inductance d'antenne et couplées à celle-ci. Lorsque le manipulateur est ouvert, ces spires sont mises simultanément en court-circuit, ce qui provoque l'amortissement du circuit oscillant et une variation de charge accompagnée d'un déplacement de fréquence sur F2 à cause du désaccord engendré (figure 10).

À l'écoute, l'opérateur décodait les signaux par battement avec le récepteur syntonisé sur F1. L'onde F2 était néanmoins proche de F1 et il devait s'en affranchir en favorisant la note musicale correspondant à F1.

Le poste à arc est générateur d'harmoniques d'amplitude importante jusqu'à des rangs élevés, de ce fait la réception des autres stations peut être sérieusement perturbée.

Par conséquent il sera envisagé rapidement de modifier le procédé d'émission.

3. Installation d'un alternateur haute fréquence en 1923 (indicatif FYL)

Un alternateur type Béthenod-Latour (voir encadré 2) est installé en 1923. Ce type de génératrice permet d'obtenir une fréquence trois fois plus élevée qu'un alternateur

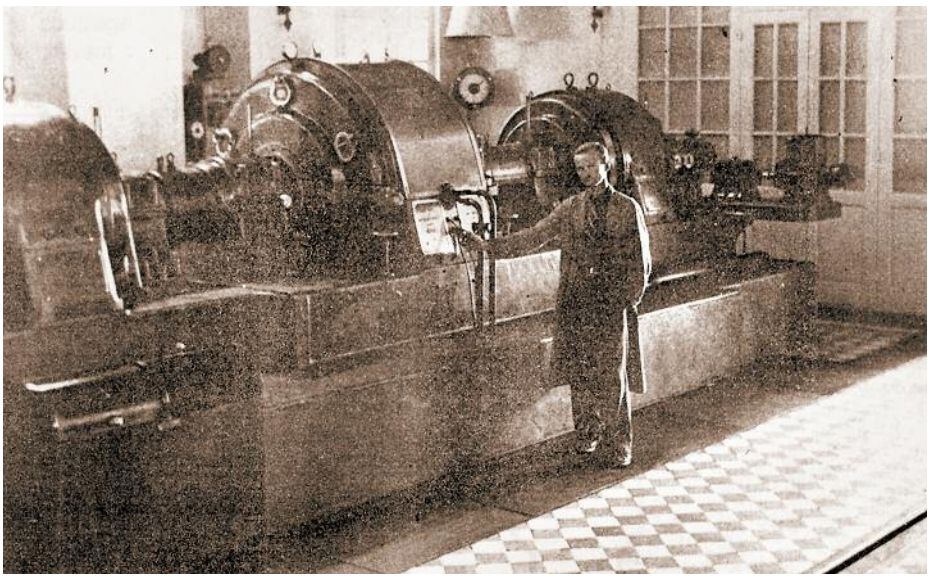


Figure 11. — Alternateur haute fréquence.

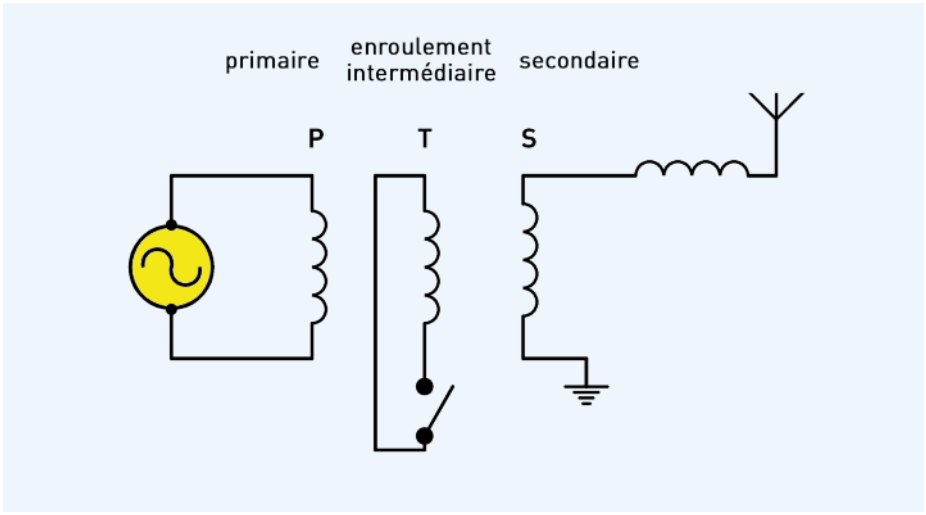


Figure 12. — Couplage Tesla.

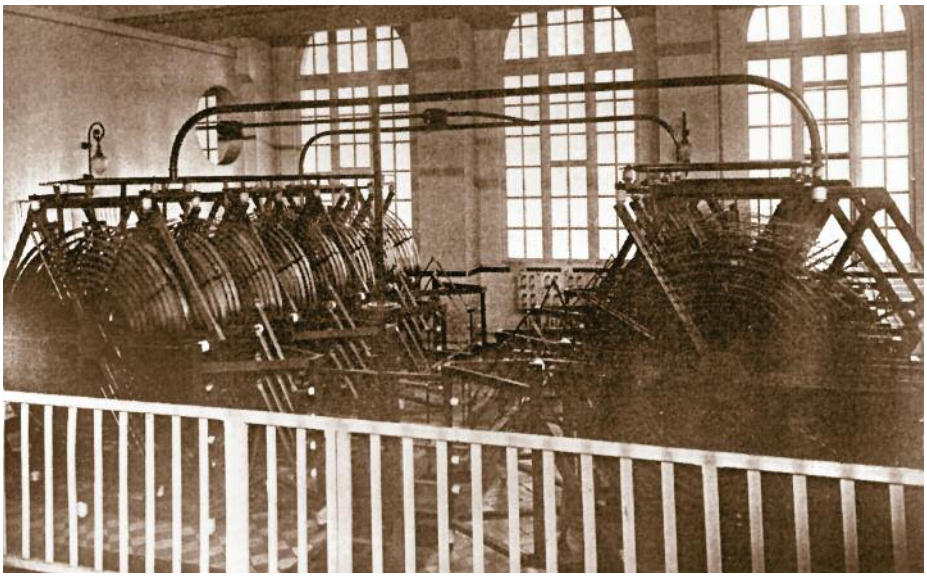


Figure 13. — Les transformateurs Tesla et les jeux de contacteurs.

classique. L'entrefer fait seulement 1 mm. La machine tourne dans une atmosphère à air raréfié pour diminuer les forces de frottement. Le rotor en acier forgé qui est pourvu sur sa périphérie de tôles au silicium de 0,5/10e d'épaisseur, ne comporte aucun bobinage.

La machine est entraînée par deux moteurs électriques placés de part et d'autre de l'arbre et est dotée d'un régulateur de vitesse qui stabilise la fréquence (figure 11).

La fréquence d'émission est désormais fixe sur 15 666 Hz (19 150 mètres). Les postes à arc sont conservés en secours.

Les huit bobines de l'alternateur sont couplées à l'antenne par des transformateurs Tesla à trois enroulements dont le schéma de principe est représenté sur la figure 12.

Les bobines sont des enroulements plats confectionnés avec du ruban en cuivre de 50 x 2 mm. Le principe de fonctionnement est assez rudimentaire : l'enroulement du milieu est court-circuité pour interrompre l'émission, celui-ci se comporte dans ces conditions comme un écran et réduit à néant le couplage entre le primaire et le secondaire. La charge de l'alternateur devient très faible et la puissance consommée réduite. On aperçoit les transformateurs Tesla avec les jeux de contacteurs sur la figure 13.

Cela présentait un énorme avantage par rapport à la précédente technique : meilleur rendement, peu de puissance consommée dans les blancs de manipulation, une réception plus aisée et moins d'harmoniques.

4. Installation de postes émetteurs en OC à lampes sur 6802 kHz

Plus tard, des postes émetteurs ondes courtes furent installés. Le premier en 1937. Sa puissance était de 50 kW sur 6 802 kHz (indicatif FYM) et le second en 1938 avec 15 kW sur 17 530 kHz (FYM2).

Source : *Historique de la Station Bordeaux – La Fayette.*