TSF et aviation militaire

La révolution électronique : 1917 à 1918

« La lampe miraculeuse »

par Aimé Salles

4e et dernière partie

Si l'on peut considérer que le problème du réglage de tir par TSF pour l'artillerie de campagne est résolu dès 1916 avec les émetteurs de bord à étincelles (ondes amorties) du type K (alimentation par alternateur et excitation directe de l'antenne) ou plus tard Y, celui du réglage de tir pour l'Artillerie Lourde à Grande Portée (A.L.G.P.) ne dispose, à la même époque, d'aucune solution satisfaisante.

TSF and military aviation, the "electronic" revolution of 1917-1918, "the miraculous lamp".

Whilst the problem of range finding for field artillery by TSF was considered to be resolved in 1916 with on-board spark (damped wave) transmitters - type K (powered by alternator and direct-coupled to the antenna) or, later, type Y, there was no satisfactory solution at that time for the long-range heavy artillery ("A.L.G.P").

En effet les besoins sont « en fuite à l'avant » permanente. Ainsi, si on croyait en 1916 tenir la solution, avec les émetteurs de bord à étincelles du type COK (alimentation alternateur et excitation de l'antenne indirecte) et en affectant une gamme particulière à ces émetteurs, il s'avérait, dès le début 1917, avec l'augmentation sensible de la portée des nouveaux canons longue portée mis en service, que tout le système de réglage ne répondait plus au besoin. D'abord la portée des appareils COK était devenue insuffisante et il était irraisonnable d'augmenter leur puissance au risque de perturber le dispositif de réglage de l'artillerie de campagne. Ensuite, l'objectif étant désormais situé à une trentaine de kilomètres de la pièce, l'avion avait à faire un parcours de 60 kilomètres entre les salves pour prendre ses ordres transmis depuis le sol par panneaux déployés ou par projecteur. Vu le prix de chaque projectile, il n'était plus question de les gaspiller, si bien que la durée séparant chaque tir était devenue insupportable.

Un nouvel avion a rejoint récemment le ciel du front. Il s'agit de l'avion d'infanterie (ou de commandement), terme général et peu précis qui est justifié par le manque de cadre encore bien clair autour de sa mission. Quand le front deviendra moins statique, on lui préfèrera le terme d'avion d'accompagnement de l'infanterie. Les succès enregistrés par les artilleurs avec le réglage de tir étaient venus à bout des réticences de l'infanterie vis-à-vis de l'avion et plus encore de son équipement en TSF. L'infanterie exprime donc à son tour le besoin d'un avion équipé de TSF pour la reconnaissance aérienne à petite portée. Cet avion n'a rien de commun avec l'avion de reconnaissance « lointaine » qui lui, ne sera jamais équipé en radio pendant la guerre. Ce dernier, qui ne comprend que du matériel photographique, reviendra à sa base après chaque mission de reconnaissance pour réaliser son rapport et décharger ses photos. L'avion d'infanterie lui, devait ou bien observer nos propres lignes et renseigner le commandement sur la façon dont avaient progressé nos troupes ou bien observer les lignes ennemies et signaler tout ce qui lui paraissait intéressant, rassemblements ou objectifs pouvant être battus par notre artillerie, mouvements et préparations visibles d'attaques. Le cadre ouvert de sa mission impliquait que cet avion puisse rencontrer beaucoup de situations imprévues et dignes d'être transmises au commandement. Aussi, alors que l'avion de réglage de tir n'attendait du sol qu'un nombre limité d'ordres qui s'accordaient bien d'une transmission par panneaux, la « richesse » des informations de natures très diverses fournies par l'avion d'infanterie pouvait justifier de la part du sol, après interprétation, de requêtes très variées. On avait bien tenté d'améliorer la « pauvreté » de la communication par le déploiement de trois panneaux sur le sol, ou par une transmission morse à l'aide d'un projecteur optique pointé sur l'avion ou enfin par l'utilisation de panneaux à éclipses. Ces procédés restaient néanmoins très inconfortables pour l'observateur auquel ils demandaient une grande concentration pour ne manquer aucun signe transmis quels que soient les mouvements de l'avion.

En bref, on est donc à la recherche de solutions permettant d'une part de pouvoir transmettre depuis l'avion à plus grande distance (cas avion d'A.L.G.P.) et d'autre part de pouvoir recevoir à bord des ordres du sol (cas avions d'A.L.G.P. et d'infanterie). Cependant rien dans la panoplie courante ne permet de répondre à ces besoins.

Pourtant, comme nous aurons souvent le loisir de le remarquer en parcourant l'histoire de la radio militaire, des besoins nouveaux, complètement imprévus, se verront très rapidement satisfaits par l'émergence de techniques nouvelles, dont peu d'acteurs étaient en mesure de cerner l'avenir quelques mois auparavant. Les temps de guerre seront, bien sûr, des catalyseurs particulièrement actifs.

Qui se souvient de Paul Pichon ?

Et pourtant ce déserteur a fait gagner à la France les quelques mois qui lui ont permis, ainsi qu'à ses alliés, de dominer l'adversaire, dès 1915 et jusqu'à la fin du conflit, dans le domaine de la TSF.

L'invention de l'audion (lampe à trois électrodes, appelée par la suite triode) par l'Américain Lee de Forest (dépôt du brevet en janvier 1907) n'a pas bouleversé le monde scientifique. Technicien de génie mais déplorable commercial, de Forest ne saura pas valoriser ses découvertes et réalisations (tel un amplificateur à trois étages dès 1912). De nombreux laboratoires travaillent néanmoins sur le sujet aux États-Unis et déposent des brevets d'application (détectrice à réaction en 1913), mais il faudra attendre 1914 pour les premières réalisations industrielles.

En France, Gustave Ferrié et son équipe de la Radiotélégraphie militaire s'intéresse aux travaux de Lee de Forest et lui offre en 1908 la Tour Eiffel pour procéder à des essais. Au début de 1914, Ferrié est en voyage d'études aux Etats-Unis et a connaissance des travaux entrepris sur l'audion. Il rencontre en particulier Fessenden qui travaille sur un amplificateur à trois étages pour la détection des sous-marins. Il se verra confier même, quelques mois plus tard un amplificateur complet ramené des États-Unis par Girardeau (patron de la jeune S.F.R.). Tout restera cependant dans un placard et il faudra attendre l'intervention de Paul Pichon.

Pichon qui avait « oublié » de faire son service militaire, est employé au service des brevets de la compagnie Telefunken. À la déclaration de guerre, de retour des États-Unis, il se trouve bloqué en Angleterre ne pouvant rejoindre l'Allemagne. Aux États-Unis, il a obtenu pour le compte de sa compagnie des exemplaires récents d'audions. Il se présente auprès du directeur de la compagnie Marconi pour demander conseil. Celui-ci l'incite à rentrer en France même s'il doit faire l'objet d'une peine de prison. Pichon qui connaît Ferrié prend contact avec ce dernier et « négocie » son retour en échange du dossier technique qu'il possède sur les audions et de quelques exemplaires de cette lampe. Si Ferrié n'a pas, par le passé, fait montre d'une très grande réactivité sur le sujet, il déclenche cette fois-ci immédiatement une campagne d'essais sur l'audion qu'il confie au professeur physicien Max Abraham. Pour la petite histoire, Ferrié, en s'entretenant avec Girardeau au sujet de Pichon, se verra rappeler par ce dernier qu'il dispose d'un amplificateur à audions complet dans son placard !

Les essais réalisés par Abraham étant concluants, Ferrié décide de pousser les études avec pour objectif de réaliser un audion fabricable industriellement. Pour cela, il consti-

Figure 1. — Une lampe TM de série (montage horizontal), les culots des lampes TM sont en cuivre pendant la guerre, puis en laiton après la guerre. Photo A. Salles.

Figure 2. — Notice sur la lampe TM et ses applications. La notice datée d'avril 1918 porte le numéro 0 ! Elle dévoile l'ensemble des réalisations de base rendues possibles par la lampe TM (oscillateurs, amplificateurs, détecteurs, ...). Toute la radioélectricité est là (ou presque) après moins de quatre ans de travaux menés par les équipes de la Télégraphie Militaire. Coll. A. Salles.

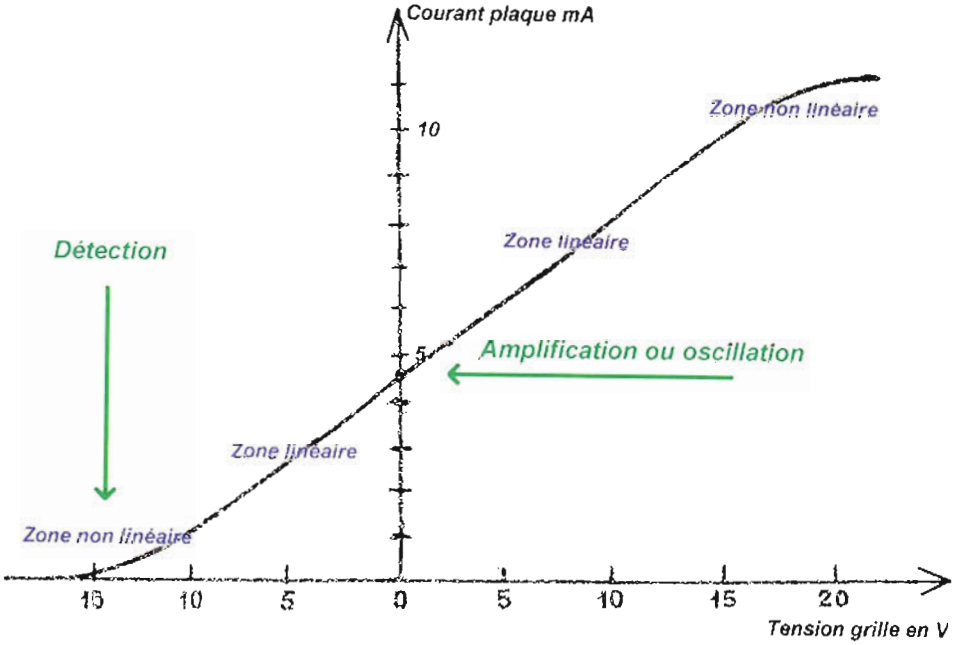
Figure 3. — La lampe TM est un objet précieux et fragile qu'il convient de protéger efficacement pendant les transports, c'est le cas pour cette boîte de rechanges. Photos M.G.

Rappels techniques

Une lampe triode est constituée de trois électrodes logées dans une ampoule de verre scellée dans laquelle on a réalisé le vide : une cathode ou filament, une plaque (anode) et une grille placée entre les deux autres électrodes.

Lorsque l'on chauffe la cathode en y faisant passer un courant (courant de chauffage fourni par une source de basse tension B.T.) et que l'on porte l'anode à une tension positive par rapport à la cathode (on parle de haute tension H.T.), des électrons présents dans la charge d'espace autour du filament (cathode) sont attirés par l'anode. Il s'établit donc un courant d'électrons ou courant anodique. Si la grille est portée à une tension négative (tension grille) par rapport à la cathode, elle va constituer une barrière pour les électrons ce qui se manifeste par une réduction du courant anodique. Si cette tension est positive, la grille participe à l'extraction des électrons de la cathode.

Figure E1. — Contrôle du courant anodique par la tension grille.



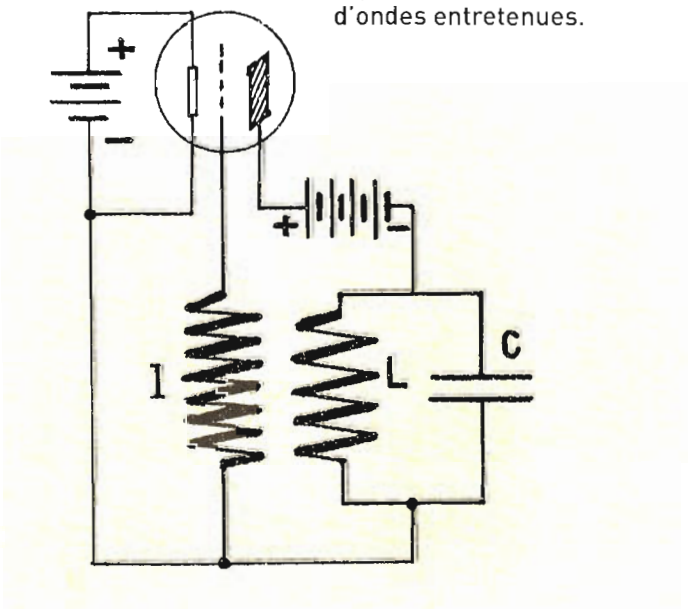
Le courant anodique est contrôlé par la tension grille (figure E1).

On constate que, dans une plage de tension grille donnée (autour de 0 V), une faible variation de la tension de grille provoque des variations importantes du courant anodique, et ceci en mettant en jeu une énergie très faible puisque le courant circulant dans la grille est très faible. Au-delà de la plage de tension grille précédemment définie, où le courant anodique est une fonction linéaire de la tension grille (zone de linéarité), le courant anodique devient soit nul, soit n'évolue plus (zones de non-linéarité, saturation). Suivant le point de fonctionnement on peut constituer un générateur ou un amplificateur (zone linéaire) ou un détecteur (zone non linéaire).

Utilisation en générateur

À la mise sous tension, le circuit oscillant *LC* est l'objet d'oscillations. La self *l*, située dans le circuit grille et couplée à la self *L*, va provoquer des variations de tension de la grille qui elles-mêmes vont créer des variations du courant plaque à la même fréquence. Ces variations vont entretenir les oscillations dans le circuit oscillant. On constitue ainsi un générateur d'ondes entretenues (figure E2).

Figure E2. — Générateur d'ondes entretenues.



Utilisation en amplificateur

L'exemple proposé est celui d'un amplificateur de signal basse fréquence. Les faibles variations du signal sont transmises à la grille qui provoque de grandes variations du courant plaque à la même fréquence. Ces variations sont audibles dans l'écouteur (figure E3).

Utilisation en détecteur

Si la lampe est utilisée dans la zone non linéaire de sa caractéristique, les alternances positives d'un signal haute fréquence collecté par exemple sur une antenne, produisent

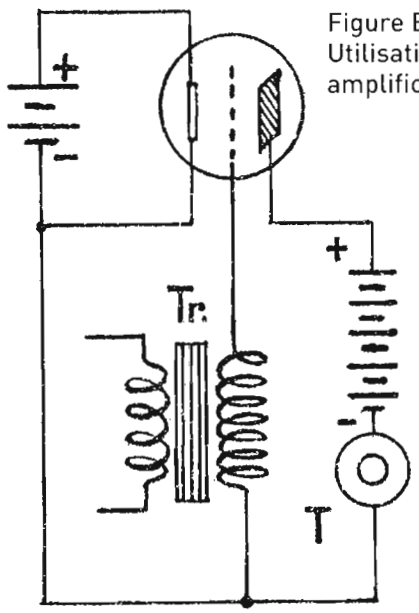


Figure E3. — Utilisation en amplificateur.

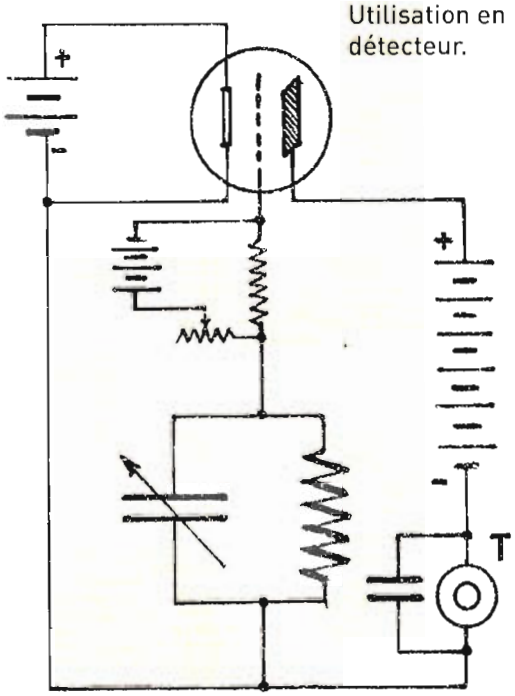


Figure E4. — Utilisation en détecteur.

un accroissement plus grand du courant plaque que les alternances négatives. Il s'établit un courant moyen qui traverse l'écouteur.

Si le signal HF est porteur d'une modulation (son ou voix), ce courant va changer d'intensité au rythme de celle-ci, la rendant audible dans l'écouteur (figure E4).

tue autour d'Abraham une équipe de spécialistes (dont le physicien Beauvais et l'ingénieur Biguet) qu'il installe « à l'abri des combats » dans la station TSF de Lyon La Doua (double de la Tour Eiffel) nouvellement constituée et placée sous la responsabilité du Capitaine Michel Péri. Dès fin octobre 1914, un premier prototype d'audion français est réalisé et breveté. Il faudra cependant attendre février 1915 pour qu'une première pré-série d'une version améliorée puisse être réalisée dans les usines Grammont à Lyon (François Grammont patron de cette usine spécialisée dans les lampes d'éclairage est démobilisé à cette intention). Ces premières lampes à montage vertical et culot à vis restent fragiles et supportent difficilement le transport. Elles permettent cependant le démarrage tous azimuts des études sur des amplificateurs, des détecteurs (par la grille) et d'oscillateurs. Le modèle définitif de la lampe rebaptisée TM (pour Télégraphie Militaire) sort de production en novembre 1915. Elle se présente sous la forme d'une ampoule de verre sphérique, comparable aux lampes à incandescence de l'époque, avec un queusot sur son dessus (permettant de réaliser le vide). Le support est à quatre broches montées sur une embase en porcelaine cerclée d'une bague de cuivre (de laiton après guerre). Le montage des électrodes est du type horizontal beaucoup moins fragile que le montage initial. Le filament de chauffage au centre est en tungstène, la grille en molybdène qui l'entoure se présente sous la forme d'un ressort à boudin, enfin une plaque cylindrique en nickel entoure le tout pour constituer la plaque. Les performances sont extraordinaires pour l'époque avec coefficient d'amplification de 10. La production initialement réalisée par Grammont (marque Fotos) sera aussi confiée par la suite à la Compagnie des Lampes à Paris (marque Métal). 100 000 lampes TM seront fabriquées en 1916, la production atteindra 1 000 lampes par jour à l'armistice. La radioélectricité moderne est née.

La lampe, « qu'est ce que cela change ? »

... Tout ou presque ! Si on se limite à la seule TSF, il est devenu possible de produire simplement [1] des émetteurs à ondes entretenues. Contrairement aux ondes amorties, les ondes entretenues « O.E. » permettent de concentrer l'énergie dans un spectre étroit en améliorant le rendement de l'émission et donc de « porter » plus loin. Cette caractéristique offre aussi la possibilité de multiplier sans perturbations réciproques le nombre d'émetteurs dans une gamme donnée. Leur amplitude constante les rend par ailleurs aptes à être « modulés ». On peut découper l'onde émise par un signal télégraphique « tout ou rien » (on parle alors de télégraphie pure ou non modulée, on parlera plus tard de A1) comme pour les ondes amorties, mais il devient possible, et c'est là la nouveauté, de « moduler » l'onde par un son audible pur découpé (télégraphie modulée ou A2) ou par la parole (téléphonie ou A3). L'onde devient ainsi « porteuse » de ces signaux audibles. Il faudra cependant attendre les années trente pour que le terme TSF (T pour télégraphie) se voit remplacé par celui de radio [2] plus générique. Mais cela n'est pas tout, puisque à la réception, *la boîte de réception* complètement passive fait place à un appareil de conception entièrement nouvelle, le *récepteur* qui intègre une

1. — On savait déjà produire des ondes entretenues avec « l'arc Poulsen » ou des alternateurs à haute fréquence. Ces solutions lourdes resteront utilisées pour la réalisation d'émetteurs de puissance jusqu'à ce qu'il soit possible de réaliser des lampes de puissance.

2. — Colin et Jeance ont mené en 1909, pour le compte de la Marine, les premiers essais, en France, de téléphonie sans fil.

fonction « révolutionnaire » irréalisable sans la lampe : l'*amplification*. L'infime onde faisant « vibrer » l'antenne peut désormais être amplifiée avant d'en extraire le signal utile dans le détecteur. Ce signal pouvant lui-même être amplifié avant d'activer un écouteur. En bref, la réception est devenue plus sélective (apte à sélectionner un signal par rapport à un autre) et plus sensible (apte à rendre « copiable » un signal faible). A contrario, elle peut être ressentie, à l'époque, comme plus « pointue » par des opérateurs peu habitués à des réglages aussi fins et délicats.

En ce qui concerne le sujet qui nous préoccupe ici, la lampe et avec elle la réalisation d'émetteurs et de récepteurs à ondes entretenues tombe à point dans la quasi-impasse dans laquelle on était au regard des nouveaux besoins émis pour le réglage de tir de l'A.L.G.P. et pour l'accompagnement de l'infanterie.

Il était jusqu'alors absolument impossible d'envisager l'utilisation d'une « boîte de réception » à bord, tout juste bonne à rendre sourd un opérateur mais certainement pas à extraire le moindre signal utile noyé dans les parasites violents émis par l'équipement électrique du moteur mais aussi par les décharges atmosphériques. C'est désormais possible grâce aux récepteurs à lampes offrant une sensibilité inconnue jusqu'alors (et pour cause puisque l'on ne savait pas amplifier le signal) et une sélectivité incomparable (grâce à la nature des ondes entretenues utilisées mais aussi à la faculté, offerte par les lampes, de réduire l'amortissement des circuits d'accord.). La qualité d'une liaison bilatérale (et le confort auditif de l'opérateur qui va avec) entre l'avion et le sol, devenue ainsi réalisable, reste encore bien sommaire. De nombreuses années seront encore nécessaires pour maîtriser l'antiparasitage des équipements électriques de bord et disposer d'un montage beaucoup plus sélectif (le récepteur superhétérodyne).

Il est même devenu possible de réaliser des liaisons en phonie. On verra que dans la pratique cette possibilité sera bien peu exploitée jusqu'à la fin du conflit.

Les récepteurs de bord à ondes entretenues

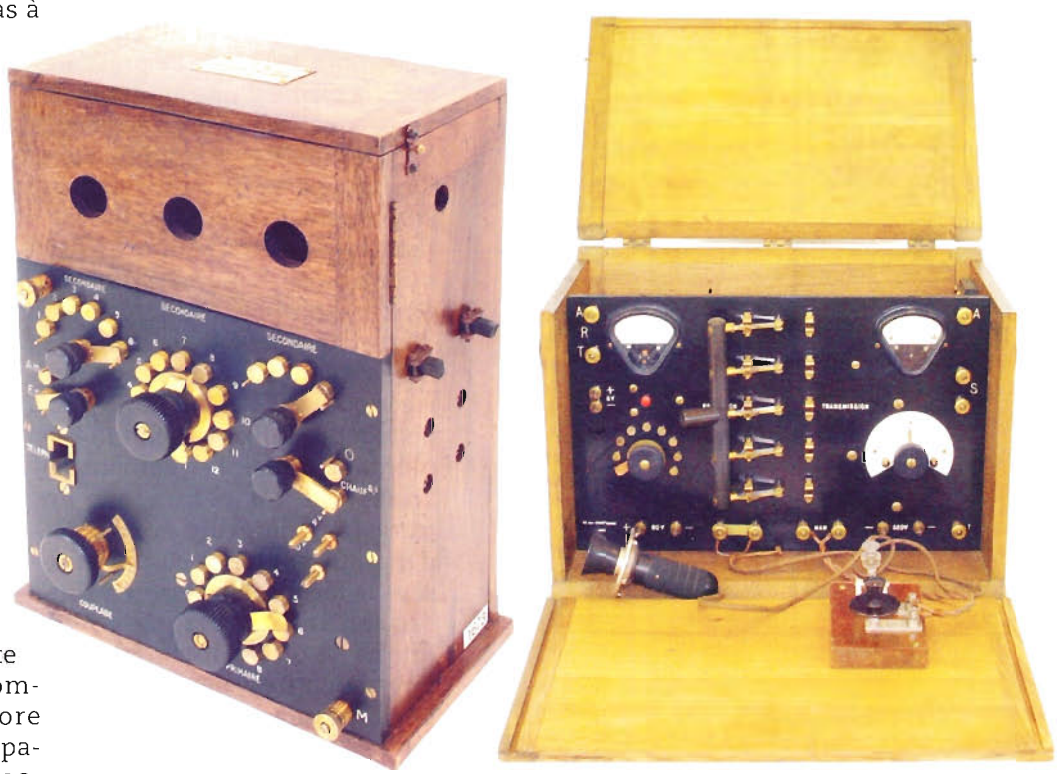
Les premiers récepteurs de bord sont expérimentés au début de 1917 en vue d'équiper les avions de l'A.L.G.P., de l'infanterie ou les hydravions de la Marine. L'émission de bord s'effectue avec un émetteur à étincelles d'un type classique basé sur un alternateur K ou Y. Le sol répond à l'avion au travers d'un ensemble à ondes entretenues du type E 3 [3].

3. — Le E 3 est un ensemble constitué essentiellement d'un émetteur et d'un récepteur construit avec une boîte de réception E 3 similaire à la boîte A suivie d'un amplificateur 3 ter. Cet ensemble est destiné à la liaison des grandes unités (au-dessus de la Division), des terrains d'aviation entre eux ou avec le Commandement où il remplace à partir de 1917 les postes à ondes amorties. Il fonctionne en télégraphie et téléphonie.

Six modèles de récepteurs vont se succéder jusqu'à la fin de la guerre, les « récepteurs sur avion » n° 2, n° 3, n° 4, n° 5, n° 6, n° 7. Ils sont tous aptes à recevoir les ondes amorties ou entretenues sur une antenne déroulée de 80 à 100 m.

Ils comprennent tous une lampe détectrice (avec une fonction hétérodyne, on dit aussi autodyne, qui permet la réception de la télégraphie en ondes entretenues) et deux lampes d'amplification basse fréquence « B.F. » permettant l'écoute au casque. Les modèles n° 6 et n° 7 sont équipés d'une lampe supplémentaire utilisée comme amplificatrice haute fréquence « H.F. » (amplification du signal capté sur l'antenne avant sa détection). Ils diffèrent par la conception des circuits d'accord et de couplage. Ils couvrent enfin des gammes de longueurs d'ondes différentes.

Tous ces récepteurs ont été conçus par l'Établissement Central du Matériel de la Radiotélégraphie Militaire (E.C.M.R.M ou l'équipe Ferrié), mais leur réalisation a été



Figures 4 et 5. — Récepteur n° 2 et émetteur E 3. Ces deux appareils ouvrent la voie à une réelle révolution. Grâce à ces réalisations rendues tout récemment possibles grâce au développement de la lampe TM. Il est désormais possible de transmettre des informations (autres que des signaux conventionnels que l'on savait déjà transmettre par panneaux) entre le sol et l'avion. Photos M.G.

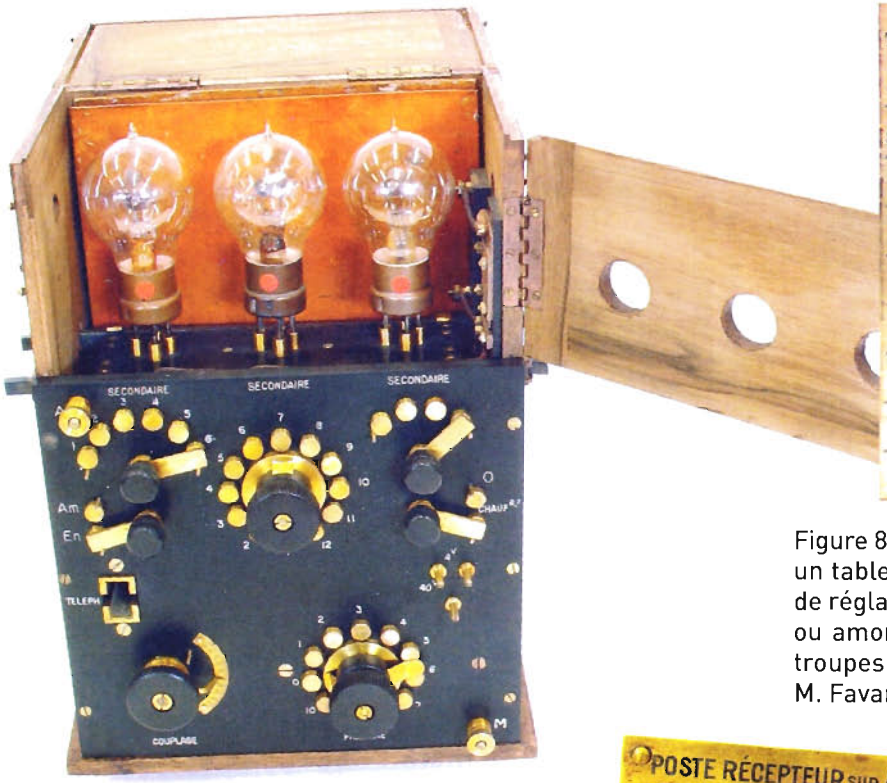
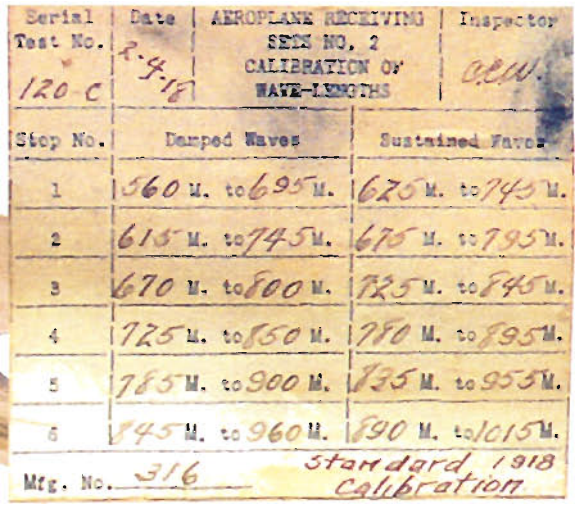


Figure 6. — Un récepteur n° 2. On distingue en haut de la face avant les trois réglages du circuit secondaire constitué d'une self fractionnée en trois pour le réglage de fréquence, au milieu à gauche un interrupteur M/A (du circuit de chauffage) et à droite un commutateur permettant de basculer du mode ondes entretenues au mode ondes amorties, en bas à droite un commutateur à 10 positions permettant d'accorder le circuit primaire d'antenne, à gauche un bouton permettant le couplage entre les circuits primaire et secondaire. On distingue sur le côté les points d'ancrage pour la fixation élastique sur l'avion. Panneau avant et couvercle sont ouverts découvrant les trois lampes montées sur support élastique. Photo M.G.



Serial Test No. 120-C	Date 2-4-18	AEROPLANE RECEIVING SETS NO. 2 CALIBRATION OF WAVE-LENGTHS	Inspector O.E.W.
Step No.	Damped Waves	Sustained Waves	
1	560 M. to 695 M.	625 M. to 745 M.	
2	615 M. to 745 M.	675 M. to 795 M.	
3	670 M. to 800 M.	725 M. to 845 M.	
4	725 M. to 850 M.	780 M. to 895 M.	
5	785 M. to 900 M.	835 M. to 955 M.	
6	845 M. to 960 M.	890 M. to 1015 M.	
Mfg. No. 316		Standard 1918 Calibration	

Figure 8. — Récepteur n° 2, détail du couvercle montrant un tableau de préréglages du commutateur à six plots de réglages du secondaire en modes ondes entretenues ou amorties. Ce récepteur est un modèle destiné aux troupes américaines. Musée des arts et métiers, photo M. Favareille.

Figure 9. — Récepteur n° 2 : son étiquette faisant apparaître le nom du constructeur Gaumont. Photo M.G.

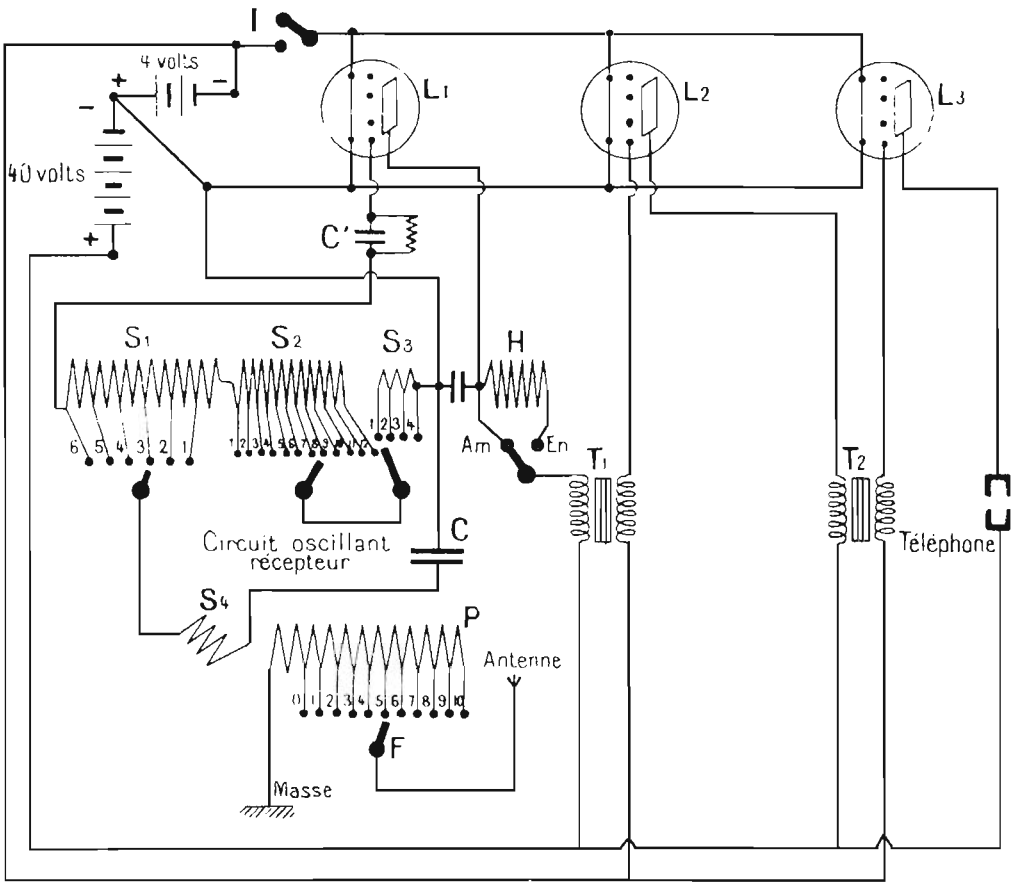


Figure 7. — Schéma du récepteur n° 2, il est constitué d'un étage détecteur et hétérodyne suivi de deux étages BF et permet la réception des ondes entretenues ou amorties.

confiée à des constructeurs privés (Gaumont, Compagnie des Compteurs, Bardon, ...).

On notera aussi le récepteur AR 3 (600 à 1400 m) à trois lampes. Ce récepteur conçu par la SFR était destiné à accompagner un émetteur à ondes amorties de 500 watts pour l'équipement des dirigeables de la Marine (marché de janvier 1918).

Figure 10. — Récepteur n° 3, son réglage est beaucoup plus simple que celui du récepteur n° 2, sachant que le réglage du circuit primaire d'antenne s'effectue sur un commutateur à quatre positions et celui du secondaire par un bouton entraînant un condensateur variable. Musée des arts et métiers, photo M. Favareille.

Figure 11. — Récepteur n° 4, les circuits primaire et secondaire sont accordés ici par des condensateurs variables (gros boutons avec cadrans gradués). Musée des arts et métiers, photo A. Salles.

Figure 12. — Récepteur n° 4, panneau avant et couvercle ouverts découvrant les trois lampes montées sur support élastique. En médaillon : son étiquette montrant le nom du constructeur Bardon. Musée des arts et métiers, photo M. Favareille.

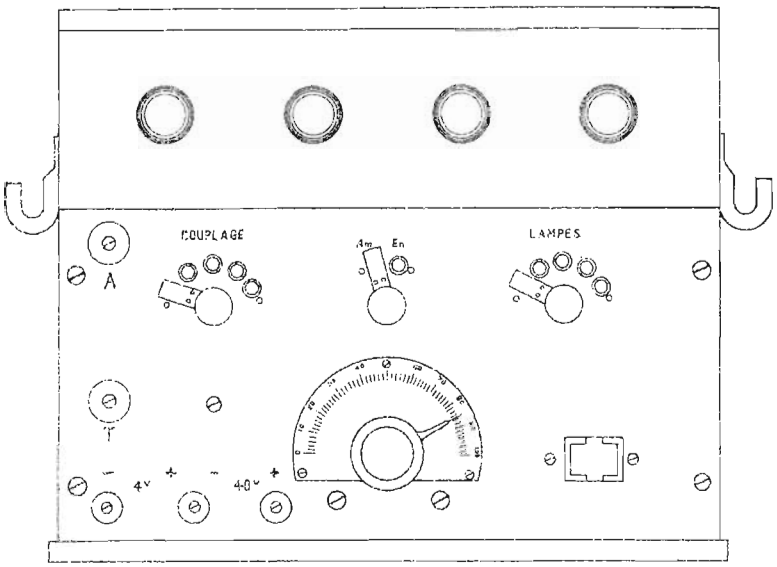


Figure 13. — Récepteur n° 6, il est équipé par rapport aux récepteurs n°s 2, 3, 4 d'une lampe supplémentaire destinée à assurer une amplification haute fréquence du signal avant détection. Le circuit primaire d'antenne n'est pas accordé. Coll. A.Salles.

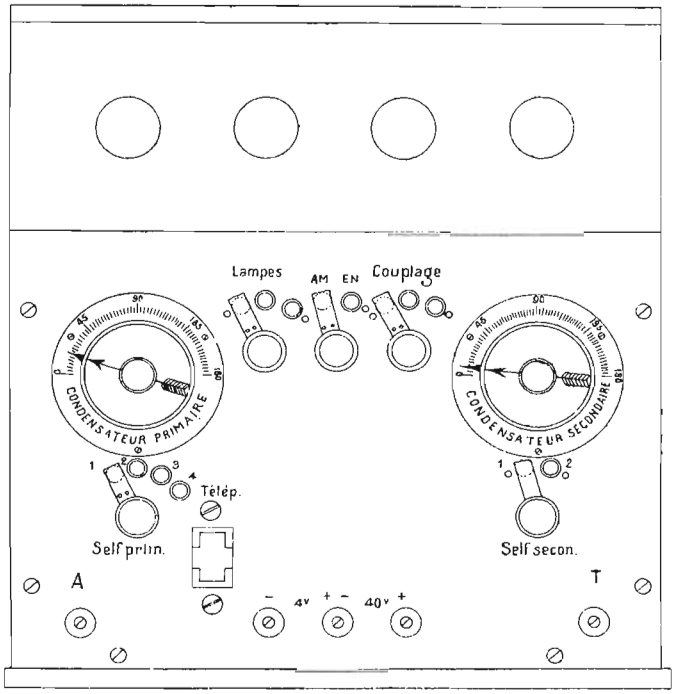
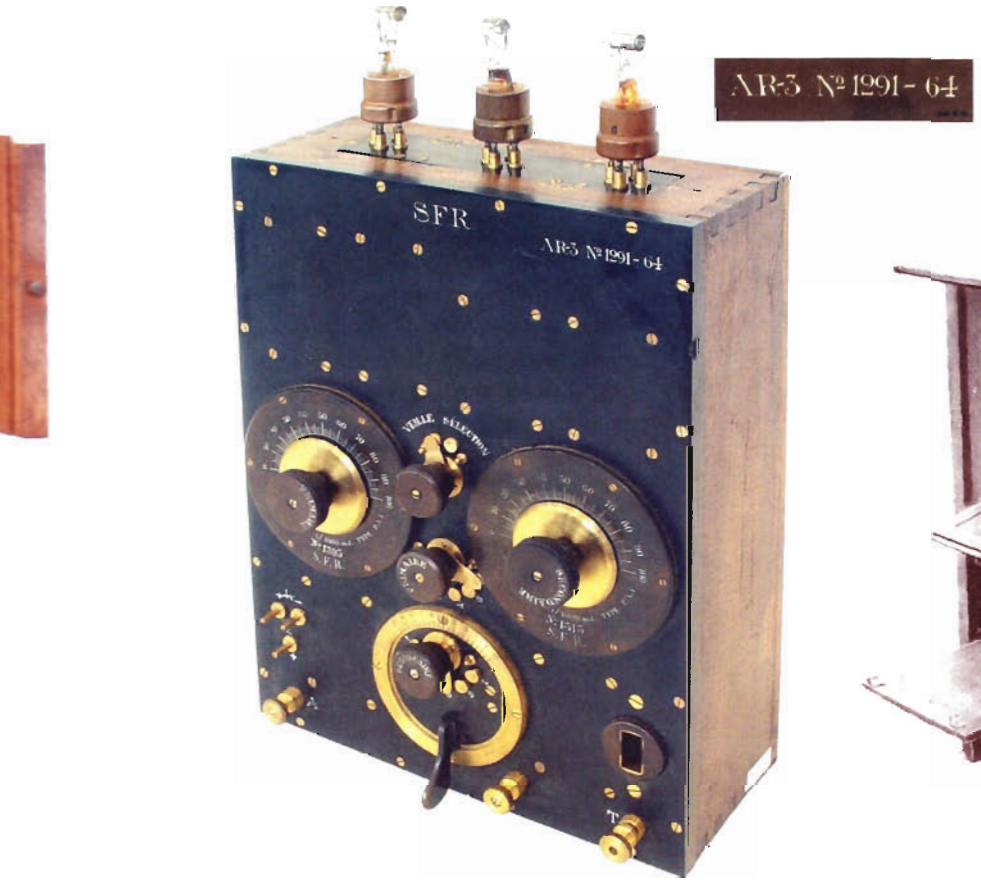
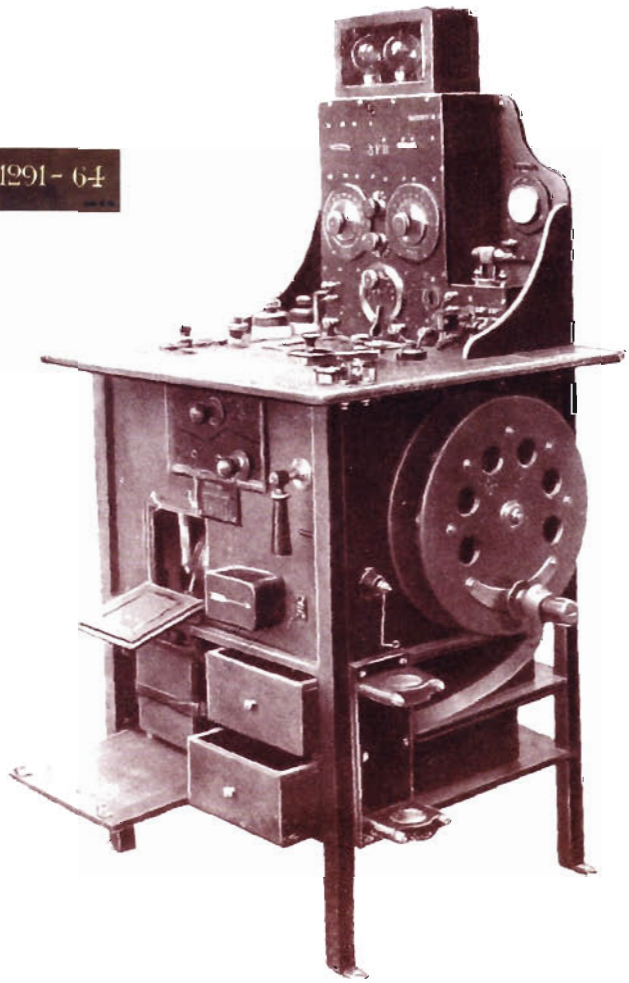


Figure 14. — Récepteur n° 7, il est comparable au récepteur n° 6. Le circuit primaire d'antenne est par contre ici accordé par un condensateur variable. Coll. A.Salles.





Figures 15 et 16. — À gauche : récepteur AR 3, c'est une réalisation SFR à trois tubes. Les circuits primaire et secondaire sont accordés par des condensateurs variables. Notons aussi la présence d'une position veille, permettant comme pour une boîte A de réduire la sélectivité lors de la recherche initiale d'une émission. Avec son étiquette. Photo M.G. — À droite : le récepteur AR 3 est généralement couplé à l'émetteur SFR de 500 W à impulsions pour constituer un ensemble émission-réception pour dirigeable de la Marine. Coll. A. Salles.

Les émetteurs de bord à ondes entretenues

La réalisation d'émetteurs de bord à ondes entretenues pour de faibles portées, qui auraient pu en particulier remplacer les petits émetteurs à ondes amorties, n'a pas constitué une priorité jusqu'à la fin de la guerre. Il est vrai que les matériels K et Y à alternateur, très largement diffusés, remplissaient parfaitement leur rôle. Seule une demande d'appareils fonctionnant en téléphonie aurait pu modifier cette situation. Or la téléphonie, personne, ou presque, n'en voulait.

On notera cependant, courant de l'année 1917, plusieurs tentatives sans lendemain, de réalisations d'émetteurs à ondes entretenues (« P », « Q », appareil « Ditte », appareil « Latour », « E 2 ») dont les lampes sont alimentées par alternateur du type K. Ces appareils n'apportent pas grand-chose par rapport aux émetteurs K ou Y à ondes amorties, même si certains peuvent fonctionner en téléphonie, à l'exception peut-être d'une meilleure qualité du son (mais unique) de la télégraphie modulée. De plus les portées restent du même ordre de grandeur, ce qui ne peut convenir à la situation d'alors de l'A.L.G.P. qui a exprimé d'autre part le besoin de disposer d'un poste émetteur-récepteur.

Figure 17. — E 10 avion, l'ensemble laisse une impression de complexité qui a dû dérouter plus d'un sapeur, même si la disposition des commandes s'inscrit dans une cohérence technique. À droite se trouvent les organes de l'émetteur et à gauche ceux du récepteur. La bande de couleur bleue, qui encadre normalement le couvercle, est ici à peine visible. Coll. 8e R.T. Photo A. Salles.

Figure 18. — E 10 avion : son étiquette. Coll. 8e R.T. Photo A. Salles.

Figure 19. — E 10 avion : 8e génie en manœuvre vers Nantes en 1927, il s'agit d'un E 10 avion utilisé à terre dans une configuration non homologuée. Le E 10 avion se distingue des autres E 10, outre la marque de peinture, par l'absence de commutateur PO/GO. Cette configuration terrestre d'un E 10 avion reste utilisable à performances réduites. La photo montre aussi une boîte de rechange pour 6 TM dans laquelle chaque TM est soigneusement emballée. Coll. Klamerek.

Le besoin d'émetteurs de bord de puissance, qui avait constitué une priorité avant guerre et que l'on avait oublié depuis, faute de réelle application, réapparaît en milieu de guerre avec la Marine qui se doit d'équiper ses hydravions. La solution la plus évidente alors est de constituer un émetteur à ondes amorties utilisant un alternateur de puissance dont la technologie était parfaitement maîtrisée. Toutefois à l'approche de la fin de la guerre, quand on commença à envisager des bombardements à longue dis-

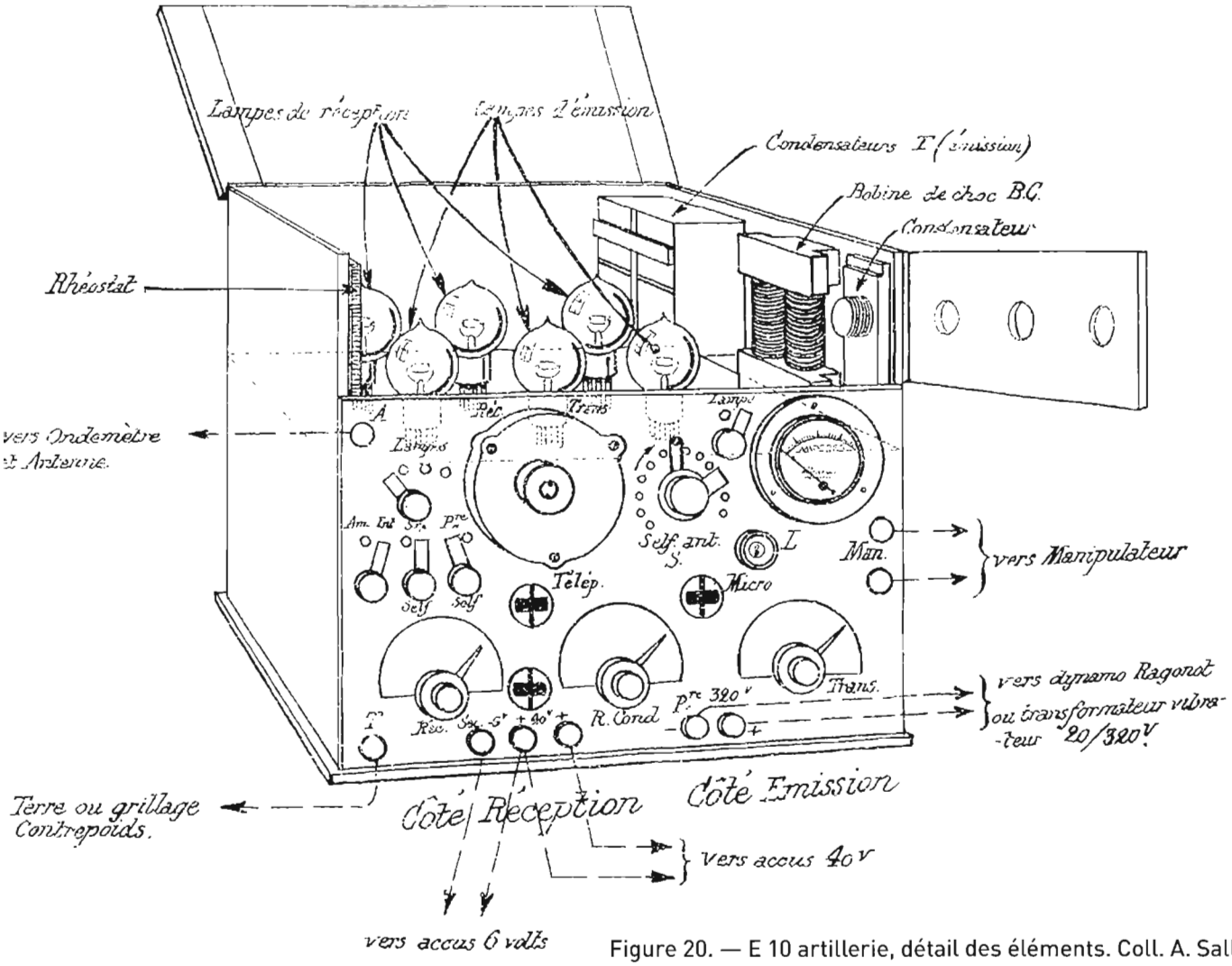


Figure 20. — E 10 artillerie, détail des éléments. Coll. A. Salles.

tance, le problème devait rebondir à nouveau. On tenta donc de réaliser des émetteurs à lampes. Ces réalisations se heurtèrent à un double problème. D'abord aucune lampe puissante (on maîtrisait déjà à peu près au sol) mais surtout suffisamment fiable dans l'environnement sévère de l'avion, n'était disponible. Ensuite, il était difficile d'installer à bord une source très haute tension pour l'alimentation des plaques des lampes. Bref, il fallut renoncer provisoirement à cette idée et poursuivre les études des alternateurs (alternateur S allégé 1918 de SFR...). Ces émetteurs de 500 watts à excitation indirecte par choc (à étincelles courtes avec éclateur dit fractionné) qui autorisent des portées de plus de 300 kilomètres, sont par contre le plus souvent associés à un récepteur à lampes.

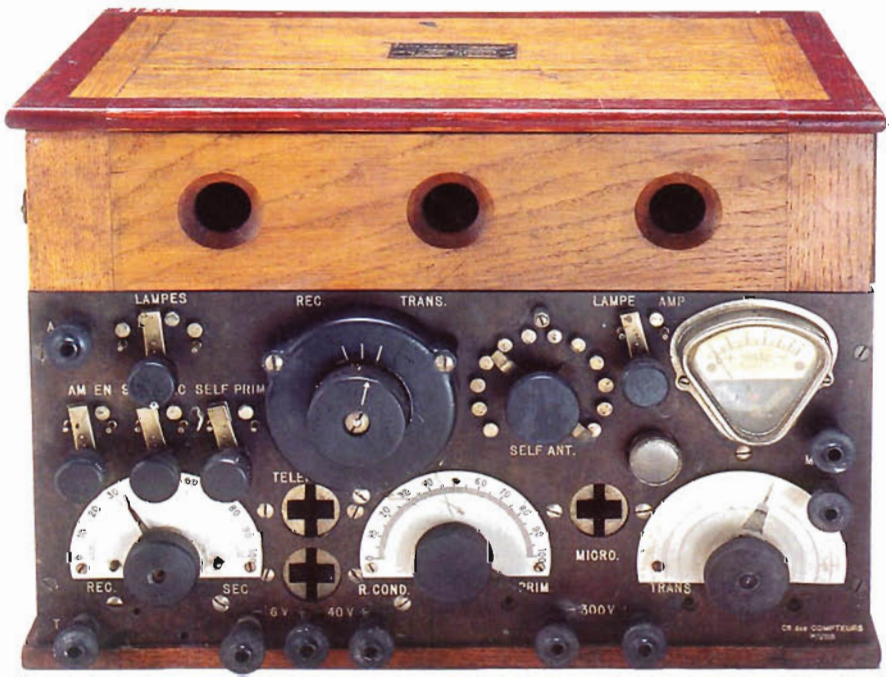


Figure 21. — E 10 artillerie, il se distingue des autres E 10 par la bande de peinture rouge qui encadre le couvercle, ici clairement visible. Musée des arts et métiers, photo M. Favareille.

Figure 22. — E 10 artillerie, on trouvera encore très longtemps après guerre des E10 en particulier à l'instruction, ici en décembre 1931. Coll. A Salles.

Le E 10 le premier émetteur/récepteur de bord à O.E.

Rappelons que depuis début 1917, du fait de l'amélioration de la portée des canons à longue portée, l'avion d'A.L.G.P. se voit obligé de quitter son point d'observation pour se rapprocher de ses lignes afin de transmettre ses informations, la portée des émetteurs à ondes amorties K ou Y étant, elle, devenue insuffisante. De plus, il est assez mal vu, à ce moment, par l'artillerie de campagne car il perturbe la réception des émissions de ses propres avions. Seule amélioration acquise depuis le début de 1917, il peut être équipé d'un récepteur de bord qui évite qu'il ait à survoler la station au sol d'A.L.G.P. pour prendre ses consignes sur des panneaux déployés au sol.

Le E 10 est la réponse au problème de l'A.L.G.P. . Ce matériel installé à bord et au sol permet une liaison bilatérale, à l'alternat, en ondes entretenues, en mode télégraphie pure ou en téléphonie (mode exceptionnel) entre la batterie d'artillerie et son avion de réglage de tir.

Le E 10 dont les premiers exemplaires sont mis en service à la fin 1917 marque probablement le mieux les considérables progrès réalisés en un peu plus de trois ans (après le rocambolesque retour en France de Paul Pichon !). Ces progrès sont dus, bien entendu, à l'équipe de physiciens et d'ingénieurs mobilisés autour de Ferrié (c'est au sous-lieutenant Gutton que l'on doit plus particulièrement le E 10), aux industriels mais aussi au 8e régiment du Génie (créé le 1er janvier 1913) sur lequel reposera la formation des personnels à une technique complètement nouvelle et à la mise en place du matériel. Le E 10 dont certains exemplaires seront encore en service en 1939, concentre l'ensemble des techniques d'émission et de réception qu'il a fallu mettre au point en quelques mois. Mieux, en intégrant les fonctions émission et réception dans un même boîtier (et non la juxtaposition d'un émetteur et d'un récepteur dans un même coffre, comme le E 3 par exemple), il constitue le premier émetteur-récepteur français.

C'est l'un de très rares cas dans l'histoire des matériels français où

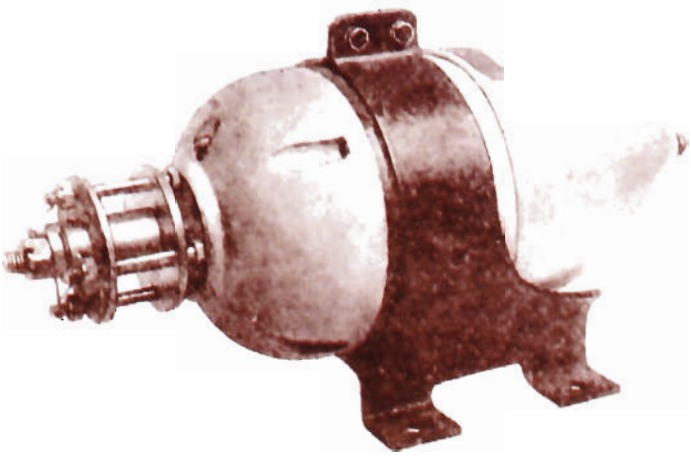


Figure 23. — Dynamo R, équipée d'une hélice à pale unique et montée sur une aile de l'avion, elle assure l'alimentation en HT de l'émetteur E 10 avion. Coll. A. Salles.

Figure 24. — Microphone de E 10. En pratique la phonie n'est que très rarement utilisée, d'ailleurs ce mode de fonctionnement s'avère mal conçu sur l'E 10 dont les micros sont détruits après quelques heures d'utilisation. Coll. B. Pigelet. Photo A. Salles.

un poste est utilisé (à des détails de conception près) par autant d'acteurs (infanterie, artillerie, marine et aviation). Il est décliné, en effet, en plusieurs versions, dont seules les deux premières nous intéressent ici : E 10 dit aussi E 10 avion, E 10 artillerie et sa variante A.L.G.P./A.L.V.F.[4], E 10 bis (infanterie), E 10 ter (chars). Ils ont tous une présentation identique[5]. Chaque version dispose d'une gamme de fréquences propre, à l'exception bien sûr du E 10 avion et du E 10 artillerie qui couvrent tous deux la même gamme : 550 à 750 m. S'il s'appuient sur un schéma similaire, ils diffèrent néanmoins par le dispositif d'adaptation d'antenne et le système d'alimentation. C'est ainsi que le E 10 avion est adapté à une antenne déroulante déployée sous l'avion d'une longueur 80 à 100 m, alors que le E 10 artillerie est raccordé à une antenne en V (2 brins de 50 m à 60° montés sur perches à 7 m ou 12 m du sol).

Tous les E 10 se présentent sous la forme d'une boîte en bois très compacte (400 × 230 × 300 mm), enfin pour l'époque ! Le panneau avant en ébonite porte les organes de commande et de raccordement. La boîte dispose d'un volet en face avant et un couvercle sur le dessus qui permettent d'accéder aux lampes.

L'ensemble comprend six lampes du type TM montées sur un support élastique. L'émetteur est constitué de trois lampes en parallèle. Il comprend une self d'antenne dont la valeur peut être modifiée par plots pour permettre l'adaptation de l'antenne. La manipulation s'effectue sur le circuit plaque. La modulation par un micro à charbon éventuel se fait par la grille. Un ampèremètre permet de mesurer le courant plaque. Le récepteur comprend trois lampes. La première est montée en détectrice hétérodyne, les deux autres lampes en amplificatrices basse fréquence (couplage à transformateurs B.F.). Le circuit d'antenne est accordé par un condensateur variable et couplé à un circuit accordé secondaire réglable lui aussi par un condensateur variable. Pour la réception de la télégraphie non modulée, un montage autodyne permet de déclencher, par couplage entre la sortie de la lampe détectrice et le circuit d'accord secondaire, des oscillations qui « battent » avec les oscillations en ondes entretenues qui proviennent de l'antenne. Pour la réception des ondes amorties ou modulées la lampe autodyne fonctionne en simple détectrice. L'écoute

4. — Dans les premiers temps le E 10 artillerie sera décliné en deux versions, une version artillerie à proprement parler et une variante A.L.G.P. (artillerie lourde longue portée)/A.L.V.F. (artillerie lourde sur voie ferrée). Ces deux versions diffèrent par la hauteur de l'antenne (7 m pour l'artillerie, 12 m pour l'A.L.G.P./A.L.V.F.) et surtout le système d'alimentation H.T. (batterie ou convertisseur, ou machine à main pour artillerie, machine tournante Ragonot pour A.L.G.P./A.L.V.F. Un seul modèle, l'E 10 artillerie, sera retenu après guerre couvrant les deux versions. Pour simplifier, seule la dénomination E 10 artillerie sera utilisée dans la suite du texte pour couvrir la version de base et sa variante.

5. — Les appareils E 10 se distinguent les uns les autres par la couleur de la bande de peinture qui encadre le couvercle : bleue pour E 10 avion, rouge pour E 10 artillerie, jaune pour E 10 bis, noire pour E 10 ter.

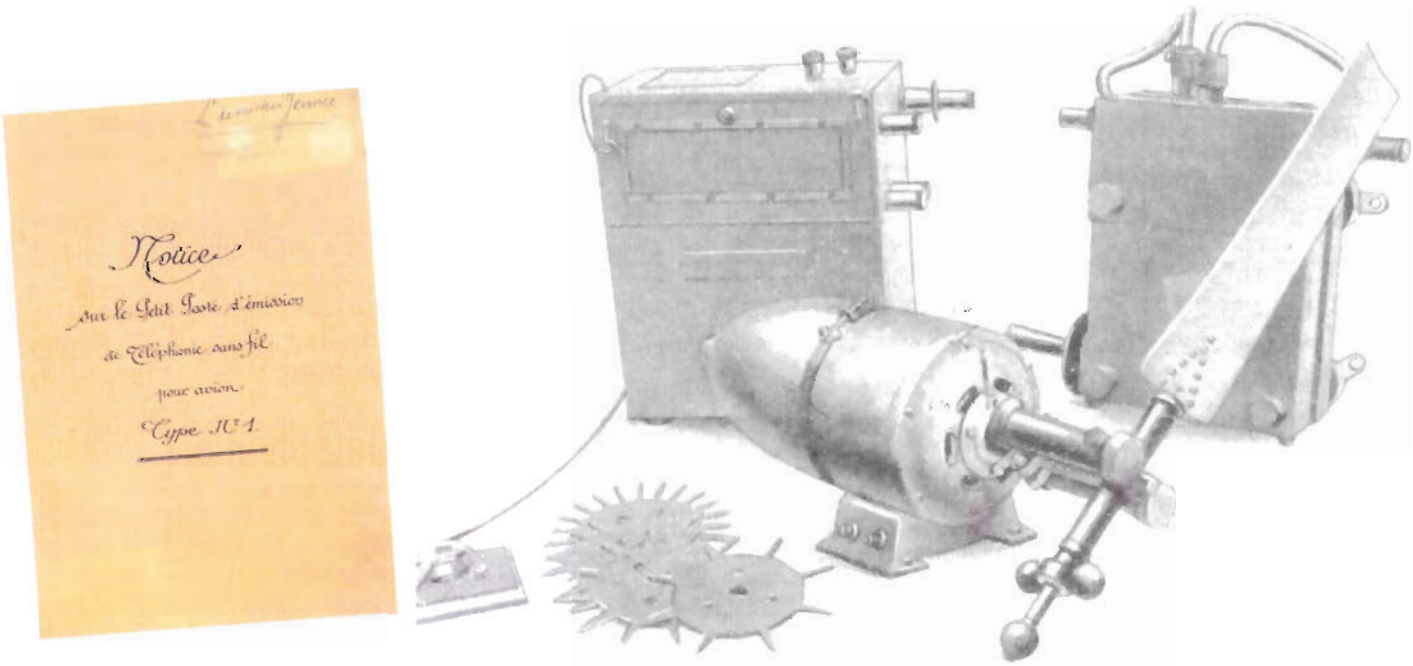


Figure 25. — Curieusement les premiers émetteurs de bord à ondes entretenues ne fonctionnent exclusivement qu'en phonie, comme l'atteste cette notice du petit poste d'émission n° 1 datée de 1916. Coll. 8e R.T.

Figure 26. — Émetteur de 500 W pour hydravion construit par la S.F.R. Les émetteurs de moyenne puissance resteront encore quelques années le domaine privilégié des alternateurs. D.R.

Caractéristiques des matériels

	Gamme	Lampes	Dim. (mm)	Poids(kg)	Utilisateur
N° 2	600 à 1000 m	3	240 x 340 x 135	6	Guerre
N° 3	600 à 1400 m	3	280 x 250 x 120	4,7	Marine et guerre
N° 4	500 à 1000 m	3	250 x 340 x 125	5	Guerre
N° 5	800 à 1200 m	3	?	?	Marine
N° 6	900 à 1600 m	4	320 x 280 x 145	5,9	Guerre
N° 7	250 à 1200 m	4	320 x 340 x 145	7	Marine et guerre

Caractéristiques des récepteurs à ondes entretenues.

	E 10 avion	E 10 artillerie
Ensemble		
Peinture distinctive	bleue	rouge
Gamme	550 à 750 m	
Accord	Continu dans la gamme	
Antenne	pendante 80 à 100 m tendue par poids de Pb	en V, 2 brins de 50 m à 60° à 7 ou 12 m du sol
Contrepoids	structure avion	Toile souple au sol
Fonctionnement	à l'alternat, commutateur à plots ou à couteaux	
Source alimentation BT	accumulateurs 6 V	
Poids du poste	9 kg poste avec lampes, casque et microphone	
Dimensions poste	400 x 230 x 300 mm	
Émetteur		
Architecture	auto-oscillateur	
Accords	circuit oscillant par condensateur variable, accord d'antenne par self à plots	
Mode	A1, A3 (mode exceptionnel)	
Modulation	A1 par coupure courant plaque, A3 modulation par la grille	
Tubes	3 lampes TM montées en //	
Puissance plaque	45 W environ	
Alimentation	HT : 200 à 320 V, BT : 6 V	
Source alimentation HT	dynamo type R entraînée par une hélice	batterie d'accumulateurs ou convertisseur à vibreur ou machine à main ou convertisseur rotatif
Récepteur		
Architecture	autodyne suivie de 2 étages basse fréquence à transformateurs	
Accords	primaire antenne et secondaire par condensateurs variables	
Mode	A1, A2, A3, amorties	
Tubes	3 lampes TM	
Alimentation	HT : 40 V, BT : 4 V (résistance en série sur la source d'alimentation)	
Source alimentation HT	pile ou batterie d'accumulateurs	

Caractéristiques E 10 « avion » et « artillerie ».

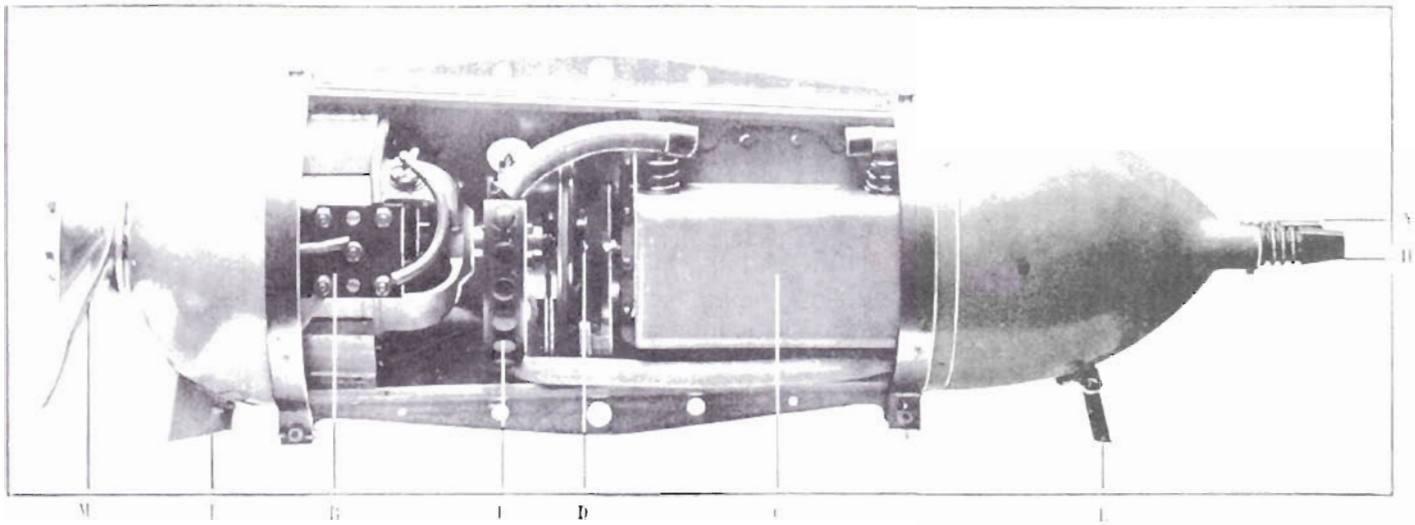
se fait sur casque. Le poste est alimenté en 320 V pour la H.T. émission, 40 V pour la H.T. réception et 6 V pour le chauffage des lampes. L'ensemble n'est pas très stable, l'émetteur étant un simple oscillateur (mais on ne sait pas mieux faire à l'époque). Il est affublé de l'effet dit « pick-up » ou « de cloche » qui provoque un bruit désagréable à l'écoute provoqué par les vibrations du filament de la lampe TM, lampe qui supporte mal les vibrations (figures 17 à 22).

L'alimentation B.T. et H.T. réception des E 10 avion et E 10 A.L.G.P. est fournie par des accumulateurs. L'alimentation H.T. de l'émetteur du E 10 avion provient d'une dynamo du type R (4500 tr/mn en vitesse nominale). Cette dynamo est montée sur une aile de l'avion (mêmes ferrures de fixation que les alternateurs K ou Y) et est mue par une hélice monopale (figure 23). Un convertisseur continu/continu Ragonot raccordé à une batterie de 20 V fournit la H.T. dans le cas du E 10 artillerie. D'autres dispositifs d'alimentation pour la H.T. émission (vibreur ou machine à main) sont aussi proposés mais réservés à l'artillerie de campagne.

L'installation sur avion reste rudimentaire, le poste est monté sur un support. Il repose sur deux morceaux de tubes épais en caoutchouc et est haubané par quatre cordes à piano munies de tendeurs. Sur Breguet 14 A 2, il est situé derrière la carlingue du pilote et fait face à l'observateur. Les batteries d'accumulateurs sont logées dans le caisson de droite en dessous de la carlingue du pilote.

Et la téléphonie ?

Si les ondes entretenues peuvent être modulées, encore faut-il être en mesure de transformer la parole en signal électrique. Une invention récente qui a bouleversé le monde du téléphone permet d'assurer cette fonction. Il s'agit du microphone « à charbon » conçu d'abord sous la forme d'un cylindre de charbon par Ader (1878) ou sous la forme plus élaborée de grenaille par Edison



Vue du poste L. 16, plaque de visite de gauche démontée

M Moulinet.
T Tube d'entrée d'air pour la ventilation intérieure.
B Bornes de connexion.
E Éclateur.
D Distributeur de mécanomorse.
C Cuve du condensateur.
L Levier de réglage de l'accouplement.
A et H Bornes de branchement de l'antenne et du contrepoids.

Figure 27. — Émetteur à étincelles Rouzet, il présente la particularité d'être équipé d'un dispositif « mécanomorse » permettant la transmission de séquences morse préétablies. D.R.

(déposé en 1877 le brevet ne lui sera accordé qu'en 1892).

La modulation obtenue reste sommaire et peu efficace. Ainsi, la portée d'une liaison en téléphonie est sensiblement réduite par rapport à celle d'une liaison télégraphique. La faible qualité du son délivre cependant une parole audible (figure 24).

Curieusement, le premier émetteur de bord à ondes entretenues « référencé » (conçu lui aussi par le S/L Gutton) fonctionne exclusivement en téléphonie et ceci dès le début de 1916 (notice datée de février 1916). Il s'agit du « petit poste d'émission de téléphonie sans fil pour avion type n° 1 ». Le poste est rudimentaire. Il comporte trois lampes TM en parallèle montées sur une suspension élastique. Il est alimenté par une batterie de piles (300 V pour la H.T.) et un accumulateur (4 V pour la B.T.). Il sera utilisé à titre expérimental et avec succès durant la bataille de Verdun (figures 25 et 26).

En pratique la téléphonie, malgré tous ses avantages, alors que la réalisation des matériels de bord en téléphonie peut être considérée comme maîtrisée dès 1917, alors qu'elle aurait pu « soulager » les observateurs d'une manipulation et d'une réception morse auquelles ils sont souvent mal formés, restera quasi absente de l' « éther » jusqu'à la fin de la guerre. Elle se heurte essentiellement à deux problèmes majeurs. D'abord les nombreux émetteurs à ondes amorties présents sur le front constituent de puissants brouilleurs et rendent son exploitation difficile. Ensuite l'infanterie est loin d'être prête à accepter un mode de communication aussi indiscret et quand elle l'accepte, les messages doivent être codés ! (avec tous les risques d'erreurs de chiffres, amplifiés d'ailleurs par l'usage de la téléphonie). Cette situation perdurera jusqu'en 1939 où l'usage de la téléphonie sera tout juste toléré et encore en situation exceptionnelle !!!

Restent deux exceptions à l'écart de la ligne de front, l'A.L.G.P. qui utilisera, toutefois très rarement, ce mode disponible sur les E 10[6], mais surtout la Marine, avec en particulier l'émetteur/récepteur E 8, pour l'établissement de liaisons bilatérales à courtes distances entre hydravions (point à souligner,

6. — Le montage du microphone à charbon sur l'E 10 est particulièrement mal conçu (preuve du peu de pression apportée par la guerre auprès des concepteurs). En pratique en effet le microphone « chauffe » et se détériore très rapidement.

puisqu'il s'agit des premières liaisons entre avions) ou entre hydravions (en complément de l'équipement à ondes amorties prévu lui pour les longues distances) et le sol.

Conclusion : « il faut moduler »

Si de nouvelles voies ont été largement ouvertes pendant la guerre grâce aux ondes entretenues [7], il n'en reste pas moins que les fabuleuses possibilités désormais offertes seront assez peu exploitées jusqu'à la fin de la guerre dans le domaine de l'aviation, mis à part pour l'A.L.G.P.

D'abord parce que les ondes amorties avec les excellents émetteurs de bord à alternateurs K, Y ou U répondent parfaitement aux besoins de l'avion d'observation pour le réglage d'artillerie ou à ceux de l'avion d'infanterie [8]. Ces émetteurs rustiques et complètement autonomes présentent par ailleurs les avantages de leur défaut principal : « cracher » dans un large spectre de fréquence. Certes, il n'est pas possible de multiplier à l'infini le nombre d'émetteurs pouvant trafiquer sur une zone de front, mais le nombre déjà élevé que l'on a réussi à aligner avec les appareils de cette génération (différenciation par la fréquence mais aussi par la tonalité émise) ne constitue plus une contrainte opérationnelle. Par contre, tout avion émettant dans la zone peut être reçu au sol dans cette même zone par plusieurs entités concernées sans qu'il soit nécessaire de procéder à des réglages d'accord pointus comme pour la réception d'un émetteur à ondes entretenues.

Ensuite la possibilité de pouvoir monter un récepteur à bord, aussi séduisante que puisse paraître l'idée aujourd'hui, ne suscite pas alors le même enthousiasme. La transmission depuis le sol par panneaux pour le réglage d'artillerie est considérée alors comme particulièrement efficace. Si rustique qu'elle soit, la procédure est optimisée et exhaustive en offrant une concision évitant tout bavardage qui nuirait à la clarté. L'observateur de bord est déjà suffisamment occupé, il est donc préférable d'éviter de surcharger son attention dans la réception au casque de signaux morse souvent noyés dans le bruit, alors qu'un simple coup d'œil sur les panneaux permet de capter la demande du sol. L'avion de réglage de l'artillerie de campagne restera donc sourd pendant toute la guerre. Il le sera d'ailleurs jusqu'en 1940, le dispositif de signalisation par panneaux restant alors le seul réglementaire.

Quant à l'avion d'infanterie, la possibilité de réception à bord en télégraphie n'aura pas non plus le succès que l'on pouvait en attendre. D'abord pour la même raison que celle donnée pour l'avion de réglage de tir, l'observateur est tout entier consacré à son travail d'observation et ne peut être perturbé dans celui-ci. Ensuite, le contour de la mission donnée à l'observateur au départ au sol est suffisamment riche pour ne pas nécessiter d'être ajusté pendant le vol, sachant par ailleurs que la durée de celui-ci reste à l'époque encore très limitée pour cause d'autonomie de carburant. Il faut bien convenir aussi que rares sont encore les observateurs, même ceux des avions A.L.G.P., aptes à « copier » couramment le morse.

Enfin les alternateurs n'ont pas dit leur dernier mot pour l'émission à bord, c'est déjà le cas pour les alternateurs K ou Y déjà mentionnés, mais cela est surtout le cas pour la constitution d'émetteurs de bord de puissance. On continue même à concevoir des systèmes originaux à base d'alternateur comme par exemple l'émetteur de bord Rouzet pour les hydravions de la Marine. Cet émetteur est en effet équipé d'un dispositif « mécano morse » permettant la transmission automatique de séquences morse préréglées (figure 27).

Si bien des voies ont été désormais ouvertes, la lampe en ouvrira bien d'autres. La guerre électronique est commencée. La France a largement gagné cette première manche et a fait bénéficier ses alliés de son avance technologique. Celle-ci fondée sur la mobilisation pendant quatre ans de la science française et d'une excellente coordination de ses travaux ne survivra pas aux années qui suivront l'armistice (réduction drastique des crédits affectés en priorité à la reconstruction, démobilisation des savants rendus à la vie civile, etc.). D'autres « Pichon » se représenteront néanmoins à l'avenir, mais c'est une autre histoire...

7. — On tentera même de monter des émetteurs-récepteurs à bord des avions de chasse pour assurer une liaison bilatérale en téléphonie entre eux. Le matériel de cette époque était bien mal adapté aux acrobaties de ces derniers. Il faudra bien sûr y renoncer, mais l'idée fera son chemin...

8. — Ces matériels continueront à être développés après guerre (COK 12 à 12 fréquences préréglées), ils seront néanmoins supplantés par les E 31 bis et E 34 à ondes entretenues dans les années trente.

Références

1. — Instruction sur l'emploi du matériel de TSF à ondes entretenues type E 10 avion, bis, ter, artillerie, vibrateur transformateur ECMRM N°57/23. Direction de l'aéronautique. *Manuel de radiotélégraphie aéronautique*, 1924.

2. — Notice concernant les postes de télégraphie sans fil pour avion, *TSF* n° 1.

3. — Notice sur les récepteurs radiotélégraphiques de bord, ECMRM, n° 8/23.

4. — *Manuel de l'observateur d'hydravion*, Marine Nationale, 1918.

5. — *Manuel de Radiotélégraphie aéronautique*, Ministère de la Guerre, juillet 1924.

6. — *Schéma de montage des postes de TSF 500 W*, notice SFR, 1918.

7. — *Instruction d'emploi de l'électricité dans l'aviation*, section technique de l'aéronautique militaire, 1919.

8. — Les liaisons par TSF dans l'aviation militaire, Capitaine P. Franck, *Revue de l'aéronautique militaire*, janvier-février 1922.

9. — Utilisation de l'électricité à bord des avions, Capitaine Petitalot, *L'aéronautique pendant la guerre mondiale*, De Brunoff éditeur, 1919.

10. — Cours de l'école de TSF de Plessis-Belleville, 1917

12. — La Radio aérienne, revue *La Nature*, avril 1920.

13. — Les étapes de la radiotélégraphie dans l'aviation, M. Bernard, revue *Radioélectricité*, juin 1921.