

LA « PRIVATISATION » DE L'ÉLECTRON

Propriété intellectuelle et capitalisme technoscientifique dans les industries des télécommunications

[Benoît Lelong](#)

La Découverte | « Réseaux »

2022/6 N° 236 | pages 287 à 316

ISSN 0751-7971

ISBN 9782348076206

DOI 10.3917/res.236.0287

Article disponible en ligne à l'adresse :

<https://www.cairn.info/revue-reseaux-2022-6-page-287.htm>

Distribution électronique Cairn.info pour La Découverte.

© La Découverte. Tous droits réservés pour tous pays.

La reproduction ou représentation de cet article, notamment par photocopie, n'est autorisée que dans les limites des conditions générales d'utilisation du site ou, le cas échéant, des conditions générales de la licence souscrite par votre établissement. Toute autre reproduction ou représentation, en tout ou partie, sous quelque forme et de quelque manière que ce soit, est interdite sauf accord préalable et écrit de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France. Il est précisé que son stockage dans une base de données est également interdit.

HISTOIRE DES TECHNIQUES

LA « PRIVATISATION » DE L'ÉLECTRON

Propriété intellectuelle et capitalisme technoscientifique
dans les industries des télécommunications

Benoît LELONG

Les *science and technology studies* (STS) et l'histoire économique ont beaucoup étudié les premiers usages de l'électron par les grandes compagnies industrielles. Relevant de la science la plus fondamentale, la plus éloignée du marché, cette particule fut néanmoins utilisée dès 1913 par General Electric, puis en 1916 par American Telephone and Telegraph. Cet intérêt précoce se généralisa dans les télécommunications, chez les équipementiers comme chez les opérateurs de réseaux. Devenu essentiel pour innover, l'électron permit de fabriquer de multiples appareils nouveaux, qualifiés en son nom d'*électroniques* (lampes, tubes ou ampoules cathodiques). Dans les travaux des STS sur les régimes de production des savoirs, les laboratoires des entreprises s'emparant de la particule électrique figurent parmi les premières manifestations d'une *technoscience* ainsi dénommée car associant intimement science fondamentale et développement technique (Pickstone, 2001, p. 173), en rupture avec les précédentes formes de recherche appliquée (Pestre, 2003, p. 56). Pour la sociologie historique des marchés (Fligstein, 1990, p. 75-85) et l'économie hétérodoxe (Boyer, 2015, p. 59-79), ces acteurs marchands de l'électrotechnique et des télécommunications sont révélateurs d'une nouvelle forme de capitalisme basée sur la firme chandlérienne, la privatisation des savoirs, la concurrence par l'innovation. Aujourd'hui, l'affaire est entendue : ce recours à l'électron marque l'avènement du capitalisme technoscientifique propre au XX^e siècle. Mais la question est-elle épuisée pour autant ?

De nouvelles sources primaires, pas ou peu exploitées jusqu'à présent, permettent de questionner deux convictions traversant les récits historiques¹. La première renvoie au rapport des grandes compagnies à la recherche scientifique. Les industriels auraient recruté physiciens et chimistes pour acquérir leurs compétences de laboratoire, leurs maîtrises pratiques de certains matériaux et instruments. Très rares, celles-ci étaient jugées incontournables pour

1. Ces sources, pour l'essentiel, sont d'une part les brevets déposés par les protagonistes, et d'autre part le fonds Richardson (AHQP/RDN) consulté à la Cité des Sciences et de l'Industrie. Les parties sur la France reposent principalement sur les revues d'électrotechnique et télécommunication, en particulier la *Lumière électrique* et les *Annales* des télégraphistes.

pouvoir prototyper et améliorer certains objets techniques ainsi que leurs procédés de fabrication. Mais l'inclination de ces salariés pour la recherche académique, pour la publication de nouveaux résultats scientifiques dans les revues savantes, n'apparaissait guère utile ; à défaut d'être véritablement encouragée, cette activité était tolérée pour que les chercheurs ne quittent pas l'entreprise (Shapin, 2008, p. 146-151). Deuxièmement, l'intérêt initial des compagnies pour la particule électrique aurait des origines purement scientifiques et techniques. Il est entièrement attribué à ces chercheurs récemment recrutés, à leur évolution conceptuelle, à leurs certitudes intellectuelles. Ce sont ces salariés qui, d'abord sceptiques, furent progressivement convaincus par les publications des universitaires sur cette entité si radicalement nouvelle (Servos, 1990, p. 131-132, p. 210). Commençant à l'étudier à leur tour, ils estimèrent peu à peu que manipuler des flux d'électrons permettrait de perfectionner divers appareils électriques au bénéfice de leurs employeurs, qu'ils entreprirent ensuite de persuader (Reich, 1985, p. 87, p. 122). De fait, la particule s'avéra une ressource cruciale pour développer et industrialiser de nouvelles technologies, bien plus compétitives et profitables, dans les secteurs de la téléphonie, de la radio, de l'éclairage et de la radiologie.

Revenant sur ces deux convictions, cet article propose un récit davantage centré sur les savoirs et les brevets. D'abord, ce furent bien les connaissances théoriques, et non seulement les compétences pratiques, qui devinrent économiquement déterminantes. Ensuite, c'est la propriété intellectuelle, et non seulement la matérialité des techniques, que les firmes purent faire évoluer à leur avantage. Pour l'établir, on se concentrera sur deux ensembles nationaux, souvent traités différemment par les historiens : les États-Unis, qui ont généralement valeur de modèle, et la France, souvent cantonnée au rôle de suiveur systématiquement retardataire. Or une comparaison plus équilibrée permet de mieux caractériser et différencier le poids des régulations propres à chaque pays. On peut ainsi montrer que les savoirs sur l'électron connurent des tentatives nationalement contrastées de privatisation, d'appropriation ou, mieux, d'*assetization*. Pour reprendre les formulations de Birch et Muniesa, il est possible d'affirmer, en un sens qui sera à expliciter, que l'électron devint l'une de ces « choses » (*thing*) que le capitalisme technoscientifique parvint à convertir en « atout » ou « actif » (*asset*), c'est-à-dire une ressource rare qui peut être contrôlée à défaut d'être véritablement possédée (Birch et Muniesa, 2020, p. 2). Cette valorisation inédite, dont bénéficièrent aussi les chercheurs, illustre l'une des multiples façons de posséder la science qui se sont déployées au temps du capitalisme industriel (Galvez-Behar, 2020).

La première partie de cet article porte sur l'apparition de l'électron dans les brevets de General Electric. On montre que la nouvelle entité y sert moins à améliorer matériellement une technologie qu'à la constituer juridiquement, à la différencier de celles déjà brevetées, et donc à en capter la propriété intellectuelle. La France ne présente pas une telle problématique et, significativement, l'électron est ignoré dans la description des inventions. L'étude du cas américain est ensuite élargie aux relations de General Electric avec le physicien Owen W. Richardson, spécialiste de la particule électrique à l'université de Princeton. Ignorée par l'historiographie, cette collaboration fut pourtant déterminante pour l'intégration de l'électron dans la firme, dans ses pratiques de laboratoire, mais aussi dans la rédaction de ses brevets. Ces derniers, dès lors, ne se contentèrent plus de simplement mentionner la particule : ils mobilisèrent également les résultats scientifiques des physiciens, renforçant ainsi le contraste avec la France. Étendues aux régulations du marché, les deux parties suivantes indiquent comment les reconfigurations politiques et juridiques de la rivalité économique conférèrent un fort surcroît d'intérêt à la recherche, qui concerna cette fois l'ensemble des entreprises et des inventeurs de nombreux secteurs industriels. Pouvoir produire, publier et mobiliser des connaissances scientifiques sur l'électron devint un atout crucial dans les vifs conflits autour de la propriété intellectuelle. Ces nouveaux cadrages de la concurrence éclairent aussi les différences entre les États-Unis et la France. En effet, introduire systématiquement le cas français rend visible une configuration nationale différente, peut-être moins évolutive, mais paradoxalement capable de rattraper en un an ses partenaires américains et de leur fournir des collaborations décisives. Parfaitement à même d'intégrer l'électron dans la recherche privée, les compagnies n'éprouvèrent pas en revanche la nécessité d'y recourir pour sécuriser leur propriété intellectuelle. Comme aux États-Unis, ces choix renvoyaient à des enjeux économiques et juridiques, et non à des logiques purement scientifiques et techniques. La dernière partie, plus analytique, revient sur les formes d'appropriation de la particule par les entreprises, et des bénéfices escomptés par les dirigeants et les actionnaires. Reconsidérer ainsi les savoirs sur l'électron et le texte des brevets permet de mieux comprendre les débuts du capitalisme technoscientifique propre aux industries des télécommunications.

L'APPARITION DE L'ÉLECTRON DANS LES BREVETS

Ce que les historiens ont déjà amplement montré, c'est que la propriété intellectuelle devint un enjeu majeur pour les grandes firmes américaines au début du XX^e siècle. Les nouvelles régulations, en particulier celles des brevets,

jouèrent un rôle essentiel pour l'internalisation de la recherche scientifique et pour l'émergence d'une rivalité reposant moins sur les prix et les ententes, davantage sur la conception de produits. Dans le marché des équipements électriques, ce sont principalement des logiques capitalistiques et industrielles, ajustées aux transformations de la concurrence, qui éclairent les deux ruptures radicales opérées par General Electric² : la création d'un laboratoire de recherche dès 1900 et le recrutement de scientifiques de haut niveau, titulaires d'un doctorat en chimie ou en physique. Mais une troisième rupture fut l'utilisation de la particule élémentaire d'électricité par Irving Langmuir³ et Willis Whitney⁴ (respectivement chercheur et directeur du laboratoire). Pour saisir leurs stratégies d'innovation et d'organisation, l'historiographie a cette fois ignoré la propriété intellectuelle et s'est concentrée sur leur conceptualisation des phénomènes électriques et sur l'expérimentation de laboratoire (Reich, 1985, p. 87, 120-127 ; Wise, 1983, p. 19). Documentant le recours à l'électron dans ces pratiques, elle en a ignoré d'autres : la définition juridique des inventions et la rédaction des brevets. Celles-ci, pourtant, ne sont pas moins révélatrices. C'est cette lacune historiographique qu'il importe d'abord de combler.

L'intégration de l'électron dans les activités et productions inventives de Langmuir répondait, pour une part, à des difficultés de positionnement symbolique et marchand. Ses projets de brevets, en effet, durent se différencier de ceux déjà déposés de 1906 à 1908 par l'inventeur Lee de Forest⁵ pour les *audions* (plus tard rebaptisés « triodes ») et ultérieurement acquis par American Telephone and Telegraph⁶. Dès 1911, Whitney avait demandé à Langmuir d'étudier ces objets en collaboration avec le département juridique de General Electric. La compagnie visait le nouveau marché des postes radio et l'audion était un des amplificateurs envisageables pour capter les ondes hertziennes. Les historiens ont surtout avancé que l'électron procura à la société un surcroît de maîtrise matérielle sur l'appareil. Interpréter son

2. GE, *General Electric Company*, entreprise fondée en 1892 par fusion entre la Edison General Electric Company et son principal concurrent, la Thomson-Houston Company.

3. Irving LANGMUIR (1881-1957). Doctorat en chimie (Göttingen, 1906). Recruté en 1909 au laboratoire de General Electric.

4. Willis Rodney WHITNEY (1868-1958). Doctorat en chimie (Leipzig, 1896). Recruté en 1900 par General Electric pour diriger le laboratoire de recherche.

5. Lee DE FOREST (1873-1961). Doctorat en physique (Yale, 1899).

6. ATT, *American Telephone and Telegraph Company*, filiale (créée en 1885) de l'American Bell Telephone Company.

fonctionnement avec l'électron permettait de rendre intelligibles ses défaillances (liées à l'apparition d'une « lueur bleue » dans l'ampoule) et de stabiliser ses performances (notamment avec un courant électrique de forte intensité). Mais ils n'ont guère prêté attention au rôle de la particule dans l'ordre de la propriété intellectuelle. Or, compte tenu du portefeuille de brevets détenu par la firme rivale, la nouvelle technologie de General Electric devait distinguer son propre territoire scientifique et juridique (Aitken, 1985, p. 232).

Le 16 octobre 1913, Langmuir dépose au Patent Office de New York une demande pour un « Appareil à décharge électrique et son procédé de préparation et d'utilisation ». Le texte constitue très explicitement la spécificité de l'objet technique à partir d'un électron présenté comme ésotérique, nouveau, inconnu du lecteur. « *La présente invention se rattache aux appareils* » à l'intérieur desquels se produit une « *décharge électrique* », l'électricité y étant transportée par des particules « *appelées électrons* ». Langmuir y fait un effort particulier d'explicitation du rôle joué par cette nouvelle entité, montrant par là son caractère inhabituel pour le lectorat de ce type de document, le justifiant par la nécessité « *de différencier les appareils à décharge par électron, construits selon mon invention, de ceux déjà existants* ». À cette fin également, il décrit ensuite les effets impliquant non pas les électrons du métal, mais d'autres particules totalement différentes, les ions du milieu gazeux, « *exploités par un objet [...] connu sous le nom d'Audion* ». Cette demande de brevet établit donc, grâce à l'électron, une nette différence entre l'appareil de Lee de Forest (fonctionnant grâce aux ions du gaz présent dans l'ampoule) et la nouvelle lampe de General Electric (utilisant en revanche les électrons provenant du métal des filaments)⁷. La nouvelle entité revêt donc ici une importance juridique et économique : elle sert à clairement distinguer le brevet de Langmuir vis-à-vis d'autres brevets, d'autres produits.

À cette époque, recourir aux particules électriques pour décrire une invention représentait une stratégie inédite. Mentionner ions et électrons dans le texte d'un brevet est alors d'une radicale nouveauté. Si leur usage pour comprendre une technologie ne l'est pas totalement, il est encore rare, limité aux quelques inventeurs formés à la plus récente physique académique. En 1899, Lee de Forest avait soutenu une thèse de physique sur les ondes radio. En

7. Langmuir, « Electrical discharge apparatus and process of preparing and using the same », U.S. patent 1558436, filed 16/10/1913, issued 20/10/1925.

1906, il présenta l'audion dans un colloque : il en expliqua le fonctionnement par la différence entre les divers ions circulant à l'intérieur de l'ampoule de verre. En revanche, le brevet demandé la même année n'évoque pas de telles particules. De même, le physicien et universitaire britannique J. A. Fleming⁸ avait développé en 1904 sa valve électrique (plus tard rebaptisée « diode » ou « valve thermionique ») en utilisant l'électron et la science fondamentale la plus récente, mais sans convoquer de telles entités en rédigeant ensuite son brevet (Hong, 2001, p. 119-154). Au cours de cette période, même un expert des ions et des électrons ne les mentionnait pas dans ses brevets. La stratégie de General Electric conduisait à introduire les nouvelles particules d'électricité dans ces textes destinés à des lectorats encore peu familiarisés avec elles : juristes, ingénieurs, entrepreneurs... Langmuir fut simplement le premier chercheur de la firme à le faire. Dès décembre 1913, Albert W. Hull⁹ dépose un brevet pour un « appareil à décharge par électron » dont le deuxième paragraphe introduit pédagogiquement « des particules d'électricité connues sous le nom d'électrons ».¹⁰ Peu après, son collègue W. D. Coolidge¹¹ en fit autant, mobilisant pour la première fois ions et électrons dans des brevets de tubes radiologiques, au risque de dérouter avocats, fabricants et radiologues, et le faisant lui aussi pour différencier ses inventions de celles d'un concurrent, J. E. Lilienfeld (Arns, 1997, p. 866).

Quel était exactement l'intérêt des particules électriques pour inventer ces lampes ? Comparer avec la France permet de préciser l'utilité des savoirs et compétences scientifiques. En 1915, un physicien spécialiste de l'électron, H. Abraham¹² sollicité par le général G. Ferrié¹³ (alors colonel), s'avère nécessaire pour concevoir le premier prototype de la lampe TM copiée sur

8. John Ambrose FLEMING (1849-1945). B.A. en physique (Cambridge, 1881). Professeur d'Electrical Engineering au University College de Londres (1885-1926).

9. Albert Wallace HULL (1880-1966). Doctorat en physique (Yale). Recruté en 1913 au laboratoire de GE.

10. A. Hull, « Electron-discharge apparatus », patent 1114697, filed 29/12/1913, patented 20/10/1914.

11. William David COOLIDGE (1873-1975). Doctorat en physique (Leipzig, 1899). Recruté en 1905 au laboratoire de GE.

12. Henri Azariah ABRAHAM (1868-1943). ENS (1886-1889). Professeur de physique à l'ENS (1912).

13. Gustave Auguste FERRIÉ (1868-1932). Polytechnicien (1887). Commandant de l'École de Télégraphie Militaire (1897).

l'audion¹⁴. En l'absence du physicien, les ingénieurs Jacques Biguet et Michel Péri se montrent incapables de reproduire son exploit technique, et fabriquent des lampes de qualité médiocre, suscitant la colère de leurs donateurs d'ordre, Ferrié et l'industriel F. Grammont.¹⁵ Un litige les oppose à Abraham qui, strict partisan d'une science pure et désintéressée, refuse de breveter. Professionnellement et éthiquement différents de lui, Biguet et Péri veulent tirer profit de leur travail, et invoquent la défense de la nation contre les innovations étrangères. Ils finissent par rédiger un brevet basé sur leurs seules contributions : celui-ci porte sur la forme et les matériaux des pièces de verre et de métal composant l'ampoule, ainsi que sur les procédés de construction¹⁶. Le texte ne mentionne ni l'électron ni la moindre entité de ce type comme les ions : de toute évidence, les universitaires sont indispensables pour développer une telle lampe, mais leurs savoirs ne le sont pas pour la caractériser juridiquement, pour la décrire dans un brevet. Toute la collaboration pilotée par Ferrié le confirme : les physiciens sont nécessaires jusqu'à la fin du prototypage et des premières fabrications, mais les ingénieurs s'en passent aisément ensuite, pour les brevets comme pour l'industrialisation, la formation et la maintenance¹⁷. En France, comme aux États-Unis, des spécialistes des particules électriques sont indispensables pour construire les premiers prototypes ; mais l'électron n'est ordinairement pas utilisé pour décrire un tel appareil dans un brevet. En 1913, les chercheurs de General Electric constituent encore une exception remarquable.

14. En 1919, Ferrié estime qu'Abraham a joué le « rôle principal » dans la « création » de la lampe TM, notamment par les « études techniques » qu'il a menées jusqu'à la réalisation du premier « modèle ». Ceux qui l'ont assisté, notamment Biguet et Péri, n'ont contribué qu'à des « détails » comme le mode de fixation des pièces métalliques à l'intérieur de l'ampoule, et l'industrialisation de la fabrication. Lettre Ferrié à Péri, 4/11/1919. Courrier reproduit in Champeix (s.d.), appendice VI, p. 42.

15. Lettre J. Biguet à F. Grammont, 29/06/1916. Courrier reproduit in Champeix (s.d.), appendice VIII, p. 44.

16. Péri M., Biguet J., « Dispositif de montage des éléments des tubes à vide "genre Audion" », brevet d'invention n° 492.657 demandé le 23/10/1915, délivré le 29/03/1919.

17. On dispose d'une vaste historiographie sur l'origine de la lampe TM et le *reverse engineering* de l'audion collectivement opéré sous la direction de Ferrié. Paradoxalement, l'une des meilleures reconstructions est anglaise (Hackmann, 1984, p. 80-81). La raison est simple : les sources primaires françaises, vraisemblablement réutilisées dans l'immédiat après-guerre pour les conflits de priorité inventive entre nations, ne semblent pas toutes accessibles. En revanche, les pièces d'archives du Bureau of Investigation and Research, issues de l'actif renseignement militaire anglais, sont très détaillées et toujours disponibles au Public Record Office à Londres.

DES SAVOIRS SCIENTIFIQUES POUR SINGULARISER LES INVENTIONS

Si General Electric recourut à l'électron, ce ne fut pas seulement pour la possibilité *matérielle* de construire un prototype au fonctionnement attendu, et ensuite pour en stabiliser la production industrielle. Les dirigeants de Langmuir furent aussi convaincus qu'un usage *discursif* de la particule permettrait de différencier les innovations de la compagnie vis-à-vis de ses rivales (et de sécuriser une très profitable position de marché pour la fabrication et la vente des postes radio). Cette évolution a connu une étape décisive, omise par les historiens, due à la rencontre de Langmuir en 1913 avec le physicien Richardson¹⁸, professeur à l'université de Princeton. Anglais, formé à la physique de l'électron au laboratoire Cavendish de Cambridge en Angleterre, ce dernier est arrivé aux États-Unis en 1906, y poursuivant ses travaux sur les électrons émis par les métaux. Whitney est chargé d'expertiser un article scientifique proposé par l'universitaire au colloque de l'American Electrochemical Society¹⁹. Langmuir a réclamé le manuscrit et Whitney écrit pour mettre en contact les deux hommes²⁰. Très vite, une rencontre a lieu et une collaboration régulière se met en place. Échanges et entraide suscitent des remerciements et citations croisés dans les publications scientifiques. C'est grâce à ce travail en commun que le chercheur de General Electric se familiarise peu à peu avec la notion d'électron, mais aussi avec les méthodes instrumentales et calculatoires du physicien britannique²¹.

L'alliance avec le physicien de Princeton fut donc une ressource capitale, permettant de constituer au laboratoire de General Electric un programme expérimental de production et d'étude de l'électron, et de lui conférer une véritable légitimité académique. Mais si Langmuir entreprend de réaliser et publier des recherches sur la particule en reprenant l'approche de Richardson, ce n'est pas seulement pour entretenir de bonnes relations avec le physicien, ou pour être reconnu dans les milieux universitaires ; c'est aussi parce que ces nouveaux *savoirs* vont s'avérer une arme redoutable pour défendre les brevets contrôlés

18. Owen Willans RICHARDSON (1879-1959). Doctorat en physique (Londres, 1904). Professeur de physique (à l'université de Princeton, 1906-1913, puis à King's College, Londres).

19. Whitney à Richardson, 4/01/1913, AHQP/RDN-20.

20. Whitney à Richardson, 17/06/1913, AHQP/RDN-20.

21. Langmuir à Richardson, 25/11/1913, AHQP/RDN-1 ; Richardson à Langmuir, 9/12/1913, AHQP/RDN-4.

par la compagnie. En 1915, Langmuir publie un long article reprenant tous ses travaux sur l'électron, et notamment des équations et résultats propres à Richardson. Son texte les utilise pour définir deux nouvelles catégories d'appareils, les kénotrons et les pliotrons, fonctionnant grâce aux électrons émis par un métal. Il y insiste sur leur différence profonde avec les audions, fonctionnant grâce au gaz, même si tous ces objets techniques ont au final les mêmes usages en radiotélégraphie et radiotéléphonie²². Significativement, ces deux types de lampes électroniques sont produits par l'entreprise, et l'article paraît dans la *General Electric Review*, un support interne rendu public à partir de 1908, principalement destiné aux ingénieurs de l'électrotechnique, où Langmuir publiera chaque année en 1913-1916 et 1919-1927. En 1913, c'était simplement la présence de l'électron qui permettait à Langmuir de différencier son appareil de l'audion. En 1915, c'est maintenant la théorie de Richardson (et sa description quantifiée du mouvement des électrons) qui distingue les tubes électroniques de General Electric vis-à-vis de leurs concurrents.

Pour la firme, disposer d'un laboratoire et de chercheurs spécialisés sur l'électron devenait un atout déterminant pour sécuriser juridiquement une position éminemment profitable dans les nouveaux marchés des télécommunications. À nouveau, le cas français confirme l'importance de collaborer avec un physicien, mais le caractère non nécessaire des savoirs scientifiques sur l'électron pour définir juridiquement une invention dans cet autre contexte national. En 1914, Ferrié demande à Abraham d'étudier l'audion pour en accroître les performances et préparer son industrialisation. Comme Langmuir, le physicien français distingue alors les électrons émis par le métal (qu'il envisage d'intensifier pour améliorer l'appareil) et les ions du gaz (qu'il projette au contraire d'éliminer le plus possible). Comme lui, il entreprend de se débarrasser du gaz par chauffage et pompage, utilisant de rares appareils de laboratoire pour produire et surtout pour contrôler cette élimination. Ce contrôle est effectué grâce à des instruments de mesure, exceptionnellement sensibles et précis, qu'Abraham a conçus et construits lui-même, et dont il possède les uniques exemplaires. Comme Richardson, il sait créer et diriger des flux d'électrons : il parvient à bombarder d'électrons les pièces métalliques et ainsi à les chauffer jusqu'à l'incandescence²³. Tels sont les savoir-faire et les appareils, propres à

22. Langmuir (1915), « The pure electron discharge and its applications in radio telegraphy and telephony », *GE Review*, 18, p. 327.

23. Abraham H., Bloch E. (1919), « Entretien des oscillations d'un pendule ou d'un diapason avec un amplificateur à lampes », *Journal de physique*, 9, 225-233, p. 227. Abraham, *Notice sur les travaux scientifiques*, 1934, reproduit in Champeix (s.d.), 47.

de rares scientifiques, qu'un ingénieur comme Biguet ne maîtrise pas et qu'il est incapable de déployer seul. Quant aux *savoirs* dont Abraham dispose sur l'électron, il lui arrivera après la guerre de les utiliser pour décrire le fonctionnement des lampes TM dans des articles scientifiques destinés à un lectorat de physiciens académiques. Mais il se contentera de quelques phrases mentionnant la présence des électrons, en net contraste avec les dizaines de pages détaillées publiées par Langmuir. De surcroît, il ne s'agira alors nullement pour lui de défendre sa propriété intellectuelle : il refusera toujours qu'un brevet soit pris en son nom pour ces lampes²⁴. À nouveau, le contraste franco-américain est très significatif : l'usage extensif et sophistiqué, par Langmuir, de ses connaissances scientifiques sur l'électron (pour décrire ses divers appareils électroniques) renvoie à sa volonté de les différencier des innovations concurrençant General Electric.

AVANT LA GUERRE : RÉGULATION DU CAPITALISME ET PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

Si l'appropriation de l'électron par General Electric fut à ce point contextuelle et contingente, comment rendre compte de sa généralisation ? De fait, la période voit d'autres sociétés subir les mêmes transformations, les menant à des réactions similaires. Ce mouvement général ne semble pas attribuable à des traditions scientifiques régionales ou locales, mais plutôt à des recadrages politiques et juridiques. Aux États-Unis, les nouvelles régulations nationales du marché et de la propriété intellectuelle reconfiguraient l'innovation technique, la gestion du capital et le jeu concurrentiel. Ce changement socio-économique d'ensemble, analysé par Fligstein (1990), peut d'abord être détaillé avec la compagnie d'électricité elle-même. L'entreprise résultait d'une fusion avec Thomson-Houston, finalisée en 1892 par le banquier J. P. Morgan²⁵, supprimant une rivalité des ventes et des brevets jugée néfaste financièrement. La concurrence avec Westinghouse faisant malgré tout baisser prix et profits, un cartel est établi en 1897 pour coordonner l'évolution des lampes et les parts de marché. Cette séquence s'inscrit pleinement dans le premier régime concurrentiel décrit par Fligstein, reposant sur la cartellisation, les ententes cachées sur les prix, le secret industriel, les monopoles obtenus par absorption

24. Abraham H., Bloch E., Bloch L. (1920), « Appareil à lecture directe pour les mesures en courants alternatifs : voltmètre-amplificateur », *Journal de physique*, n° 2, p. 44-56, p. 44-45.

25. John Pierpont MORGAN (1837-1913), financier, fondateur en 1871 de la banque J. P. Morgan & Co.

ou élimination des concurrents. Deux évolutions favorisent alors une nouvelle configuration (*ibid.*, p. 33-74). D'une part, les fusions suscitent peu à peu le doute des hommes d'affaires, n'ayant pu empêcher l'apparition d'innovations concurrentes. D'autre part, la montée des politiques anti-trust des gouvernements Roosevelt et Taft mène à de spectaculaires démantèlements d'entreprise. Dès lors, les firmes font évoluer leurs stratégies, mais réclament la sécurisation de leurs portefeuilles de brevets (*ibid.*, p. 5-78, p. 84-85). L'effort d'innovation est accru pour développer de nouveaux marchés que les concurrents sont découragés d'investir du fait de l'avance technique de l'entreprise et de sa propriété intellectuelle. Attaquée par le Department of Justice, General Electric renonce aux ententes. Mais le décret de 1911 lui laissant le champ libre pour l'utilisation de ses brevets, elle exploite ceux de ses nouvelles lampes à tungstène pour dominer à nouveau le marché par des ventes liées et des accords de licence (Reich, 1985, p. 81-82). En parallèle, l'entreprise dévoile de plus en plus ses innovations, par des démonstrations publiques et des publications détaillées dans la *General Electric Review* et les revues scientifiques. Le recours à l'électron apparaît comme une conséquence directe de ce revirement stratégique. Les nouveaux cadrages conduisirent les firmes à s'affronter par la conception et la révélation d'offres nouvelles, à internaliser la science en créant leurs propres laboratoires de recherche, et à utiliser la propriété intellectuelle pour combattre ou dissuader la concurrence (Lécuyer, 2015, p. 426-428).

La France voit évoluer autrement les régulations de l'action économique et inventive. Galvez-Behar (2008) rappelle que le début du XX^e siècle est un temps majeur d'institutionnalisation, de création de corps intermédiaires, de réforme des cadres du capitalisme et de la propriété intellectuelle. Le secteur « électricité et téléphonie » accuse de 1890 à 1913 une croissance des brevets légèrement inférieure à la moyenne, sans doute parce qu'il s'agit d'industries faiblement capitalistiques (*ibid.*, p. 211-212). Ici, la distribution d'électricité est un cas emblématique. En 1898, selon l'ingénieur Florent Guillain²⁶, les capitaux « n'osent guère s'aventurer » dans ce domaine, n'y bénéficiant pas de la sécurité « que peut donner un contrat passé avec l'autorité publique ». Il propose donc le dispositif de concession municipale repris tel quel par la loi de 1906²⁷. Les équipements électriques d'énergie, d'éclairage et de communi-

26. Florent Antoine GUILLAIN (1844-1915). Polytechnicien, ingénieur des Ponts-et-Chaussées (1868).

27. Marnot (1999). Citation p. 38.

cation subissent alors une rationalisation scientifique, industrielle, administrative et économique orchestrée par un réseau d'ingénieurs, majoritairement des polytechniciens, présents dans les institutions de normalisation, les grandes banques et les cercles politiques (Morsel, 1991). En 1912, la revue la *Lumière électrique* salue ces efforts assurant une meilleure régulation du secteur et un meilleur rendement en bourse. « Il s'est créé toute une "Électrotechnique économique" dont les règles sont fixées, et qui commence à être bien connue des hommes d'affaires et des financiers. » Les sociétés d'électricité voient désormais leur valeur boursière augmenter régulièrement : « leurs cours, longtemps incertains, se sont stabilisés ; leur rendement croît progressivement ; les capitalistes s'accordent à les considérer comme très sûres et leurs perspectives d'avenir sont généralement très intéressantes »²⁸. Comme aux États-Unis, la construction des compromis vise à sécuriser des évolutions futures auparavant trop incertaines, et prennent en compte les intérêts des entrepreneurs et des investisseurs. Mais la rivalité marchande n'est pas réglée par des affrontements directs impliquant le droit de la concurrence et de la propriété intellectuelle. Le cas français s'en écarte par le rôle essentiel joué par les ingénieurs d'État, les institutions qu'ils contrôlent, leur positivisme se méfiant des théories. La coordination est ici technocratique et centralisée, l'innovation et la normalisation étant impulsées et cadrées par des structures publiques comme le Laboratoire Central d'Électricité et le Comité Électrotechnique Français. Ces experts et ces laboratoires restent à distance de la physique la plus récente : l'électron n'est pas ignoré, mais vu comme une simple hypothèse théorique, forcément provisoire, qu'il est donc impensable d'utiliser pour développer de nouvelles technologies électriques (Lelong, 2017).

Le contraste franco-américain, industriel et savant, gestionnaire et marchand, peut être précisé à partir d'*American Telephone and Telegraph* et de son évolution déjà abondamment documentée (Flichy, 1991, p. 133-135). À partir de 1902, J. P. Morgan entre dans le capital, accroît ses parts, et prend finalement le contrôle grâce à la panique financière de 1907. Son ami Theodore N. Vail²⁹ imposé à la présidence, les deux hommes collaborent étroitement pour réorganiser le système Bell, augmenter les bénéfices et la rentabilité du capital, et obtenir un quasi-monopole sur certaines liaisons téléphoniques. Mais les actions publiques recadrant le marché deviennent toujours plus menaçantes,

28. Études économiques, *Lumière électrique*, n° 18, 1912, p. 155-157.

29. Theodore Newton VAIL (1845-1920), président d'ATT de 1885 à 1889, puis de 1907 à 1919.

le Mann-Elskins Act de 1910 amenant la Interstate Commerce Commission dans le domaine de la téléphonie. D'autre part, les progrès de la radio la font apparaître comme une technologie pouvant prochainement se substituer au téléphone, car de plus longue portée et spatialement moins contrainte que le réseau filaire ; actionnaires et clients envisagent explicitement de basculer, et le comité exécutif est très inquiet pour la valeur de l'action et les parts de marché (Douglas, 1987, p. 242-246). Vail est finalement convaincu par John J. Carty³⁰, son ingénieur en chef, de développer et breveter de nouveaux *répéteurs*. Installés le long d'une ligne téléphonique, ces appareils augmentent sa longueur utilisable. Placés dans les récepteurs radio, ils permettent d'amplifier et donc de mieux capter les ondes hertziennes. Mais Carty et son assistant Frank B. Jewett³¹, ingénieur et docteur en physique de l'université de Chicago, estiment que les répéteurs les plus prometteurs sont ceux conçus en utilisant les compétences des physiciens spécialistes des particules fondamentales constituant la matière et l'électricité (Reich, 1985, p. 140-142, p. 151-160). Les points communs avec General Electric sont nombreux : intervention directe des rationalités capitalistiques sous l'égide de J. P. Morgan, et stratégie nouvelle privilégiant les changements brutaux et la prise de risque ; adaptation à la nouvelle donne régulatrice en abandonnant les ententes et les cartels, remplacés par l'innovation et les brevets pour diminuer la pression concurrentielle sur les prix ; internalisation de la recherche scientifique pour sécuriser les futures évolutions économiques et techniques. Contrairement à la France, les régulateurs ne prennent en charge ni les transformations des équipements matériels ni la coordination entre acteurs marchands, et se contentent de combattre les abus de position dominante.

D'autres convergences rapprochent les stratégies des deux sociétés américaines : le développement d'appareils inspirés des audions de Lee de Forest, le recours à la physique des électrons, l'utilisation des brevets pour délimiter un territoire technico-économique. Jewett écrit à son ancien mentor, le physicien R. Millikan³², professeur à l'université de Chicago, qui lui envoie un de

30. John Joseph CARTY (1861-1932), ingénieur ayant occupé diverses fonctions de direction dans les entreprises du système Bell, notamment à Western Electric en 1887-1889, à la Metropolitan Telephone and Telegraph Company, pour devenir ingénieur en chef d'ATT en 1907.

31. Frank Baldwin JEWETT (1879-1949). Doctorat en physique (Chicago, 1902). Recruté en 1904 au laboratoire d'ATT.

32. Robert Andrews MILLIKAN (1868-1953). Doctorat en physique (Columbia, 1895). Professeur assistant (1896) puis professeur de physique (1910) à l'université de Chicago.

ses jeunes expérimentateurs, Harold D. Arnold³³, finalement recruté en 1911 (Aitken, 1985, p. 244). Dès son arrivée dans l'entreprise, sa maîtrise des ions et des électrons lui permet d'inventer un nouvel amplificateur utilisable en téléphonie. Pour autant, les brevets qu'il dépose à partir de 1912 pour cet appareil ne mentionnent aucune particule d'électricité.³⁴ À ce moment, on l'a vu, ces entités intéressant les physiciens sont encore largement étrangères à l'électrotechnique.

La situation changea en 1913 quand le Patent Office des États-Unis refusa plusieurs brevets jugés trop similaires. L'un d'eux, par Lee de Forest, présentait une nouvelle version de l'audion intéressant ATT. Un autre était celui de Langmuir pour sa lampe pourtant présentée comme bien distincte de l'audion. Dès lors, les deux sociétés ne purent que constater la proximité technique et marchande de leurs deux innovations (Hong, 2001, p. 155-156). L'opposition s'envenime en 1915, quand le Patent Office refuse à nouveau des demandes jugées trop proches, issues cette fois-ci de Langmuir et Arnold. Langmuir déclare que l'autre appareil est différent du sien puisque Arnold a utilisé des filaments métalliques (les cathodes de Wehnelt) ne pouvant émettre d'électrons sans gaz dans l'ampoule. Sa publication sur le sujet dans la *Physical Review* est mentionnée pour l'appuyer. Dès lors, les publications scientifiques se succèdent, notamment pour montrer que les filaments de Wehnelt émettent des électrons de façon spontanée comme le tungstène de GE (et donc fonctionnent dans le vide) et non sous l'effet du bombardement des ions positifs du gaz (ce qui nécessiterait la présence d'un gaz)³⁵. La controverse se déploie alors tant au tribunal que dans ces arènes académiques que sont la *Physical Review* et l'*American Physical Society*, et les électrons sont mobilisés par les deux camps. En septembre 1915, Arnold rédigea une première demande de brevet mentionnant la particule d'électricité.³⁶ À partir des suivantes, déposées par Arnold en 1919, les électrons devinrent une composante omniprésente et banalisée de ses brevets.

33. Harold DeForest ARNOLD (1883-1933). Doctorat en physique (Chicago, 1911).

34. Arnold H., « Method of reproducing electrical variations », 1118172, 15/07/1912, 24/11/1914 ; « Alternating-current generator », 1118174, 12/06/1913, 24/11/1914 ; « Electric relay apparatus », 1118175, 08/01/1914, 24/11/1914.

35. Wilson W., « The loss of energy of Wehnelt cathodes by electron emission », *National Academy of Sciences Proceedings*, 3, 1917, 426-427.

36. Arnold, « Power-limiting device », patent 1200796, filed 3/09/1915, issued 10/10/1916.

Comment rendre compte du revirement opéré de 1915 à 1919 par American Telephone and Telegraph ? Pourquoi les électrons firent alors leur apparition dans ses brevets ? L'entreprise mettait en œuvre un changement général de stratégie : le développement de la radio et les actions anti-trust du gouvernement américain imposaient désormais de combattre la concurrence en s'appuyant non plus sur des ententes secrètes, mais sur des innovations radicales rendues publiques. Si ce changement est bien connu des historiens, un élément a toutefois été négligé jusqu'à présent. La firme décida finalement de s'offrir les services de Richardson, devenu entre-temps professeur au King's College de Londres. En novembre 1916, celui-ci reçoit en Angleterre la visite d'Arnold et de G. E. Folk du service des brevets d'ATT. Un contrat de consultance est signé, et le mois de décembre voit Richardson envoyer dix lettres très détaillées fournissant des arguments scientifiques contre General Electric³⁷. L'entreprise d'électricité s'est-elle alors sentie trahie ? La correspondance de Richardson ne permet pas de le savoir, mais force est de constater que l'alliance scientifique avec Langmuir ne cessa pas pour autant.

La suite de la controverse voit l'électron devenir un enjeu toujours plus central dans les luttes pour la construction symbolique des inventions. Le 3 décembre 1916, Richardson envoie à ATT les références d'un article scientifique allemand de 1911, montrant que les cathodes de Wehnelt peuvent bel et bien produire « une pure décharge par électron ». Le surlendemain, il précise que l'article attribue la plus grande part des électrons au gaz et non au métal ; mais cette interprétation lui semble fragile et il indique comment la contester³⁸. Dans un troisième courrier, Richardson joint des tirés à part de ses propres articles, et il estime alors avoir fragilisé tous les arguments de General Electric. « Je pense avoir discuté tous les points dans ces publications qui peuvent être utilisés par l'autre partie. » Ayant consolidé la défense de ses commanditaires, il prépare ensuite l'attaque contre leurs adversaires. « Après cela, je propose d'écrire une analyse de la question centrale de la pure décharge par electron telle qu'elle m'apparaît à partir des publications précédentes, en prenant en compte les arguments du Patent Office et les affirmations de Langmuir³⁹. » Selon General Electric en effet, ses appareils étaient les seuls basés sur ce phénomène dit de « pure décharge par electron ». Par ailleurs, le soutien apporté par Richardson ne se réduisit pas aux propriétés

37. Correspondance entre Richardson et Folk, 1916-1920, AHQP/RDN-2.

38. Richardson à Folk, 3/12/1916 ; 5/12/1916.

39. Richardson à Folk, 6/12/1916.

des phénomènes physiques et des objets techniques. Dans un autre courrier de décembre 1916, il indique les « *précautions* » à prendre en présentant un autre dossier, composé d'articles et de brevets de Lilienfeld. « Il sera nécessaire, et très probablement pas du tout facile, de mettre l'examineur dans un état d'esprit favorable pour le recevoir. » Richardson utilisait ainsi son expertise de physicien pour évaluer finement la crédibilité des chercheurs et des inventeurs, et il pouvait donner des conseils tactiques pour la gestion relationnelle et émotionnelle du litige.⁴⁰ Son assistance fournie à ATT montre que ses *connaissances* des publications savantes, autant que ses *compétences* de laboratoire, étaient devenues hautement stratégiques. Ces controverses autour de la propriété intellectuelle rendent visible une profonde évolution de l'innovation aux États-Unis dans ce secteur de l'électrotechnique et des télécommunications : désormais, les savoirs scientifiques sur l'électron faisaient partie intégrante des technologies et des brevets. L'électron était devenu un élément constitutif de ce qu'on appellerait bientôt une lampe ou un tube *électronique*.

LA GUERRE ET SES SUITES : CONVERGENCES ET DIVERGENCES INTERNATIONALES

Dès le milieu des années 1910, les laboratoires d'entreprise et les lampes à électron se trouvaient au cœur des mutations à l'œuvre dans les télécommunications américaines. Si la France ignore d'abord ce nouveau modèle d'innovation, la situation changea brutalement avec la première liaison radio transatlantique, opérée depuis Paris. En octobre 1915, American Telephone and Telegraph a obtenu l'autorisation d'utiliser la station de la tour Eiffel, reçu l'aide de Ferrié, et réussi à joindre Arlington en Virginie (Griset, 1994, p. 26-27). Aux États-Unis, ce premier contact est utilisé pour valoriser les intérêts d'ATT, notamment pour faire de la firme privée le nouvel acteur essentiel de la recherche et de l'innovation, et pour relégitimer les valeurs de richesse et de propriété alors durement contestées dans l'espace public (Douglas, 1987, p. 240-241, p. 248-251). Les réactions en France sont autres, mais la stupeur non moins vive, en particulier dans les revues des ingénieurs d'État. À partir de janvier 1916, les *Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* multiplient les articles sur les exploits téléphoniques américains. Leur perception est imprégnée par la vision scientifique, positiviste et technocratique de ces milieux, les décrivant comme un « progrès » (autant humain que

40. Richardson à Folk, 13/12/1916.

technique) entièrement attribuable à la « science » (comme catégorie générale embrassant toutes les disciplines) principalement actionnée par des « ingénieurs » comme Carty (et non des physiciens, tels Jewett ou Arnold, passés sous silence). La défense de l'enrichissement et de la propriété privée est ici ignorée. On s'étonne des différences avec la France, notamment le recours aux lampes comme l'audion et les colossaux moyens scientifiques des entreprises (en équipement et nombre de chercheurs).⁴¹ En particulier, l'utilisation de l'électron est soulignée dans l'amélioration et l'invention des technologies. Significativement, l'article publié en 1913 par Langmuir paraît dans la *Lumière électrique*, assorti d'une préface rédigée par la revue française, précisant que les nouvelles lampes de Langmuir, le kénotron et le pliotron, « les deux employant l'émission d'électrons purs », sont un moyen « très simple et très pratique » pour « envoyer et recevoir des messages radio-télégraphiques et radio-téléphoniques »⁴².

Les années 1917 à 1919 voient une intensification de l'innovation militaire à base scientifique, ainsi qu'une exacerbation des enjeux de propriété intellectuelle. Les États-Unis entrent en guerre, mobilisent les laboratoires de GE et ATT, engagent leurs physiciens dans le développement accéléré des équipements radio, redistribuent la production parmi les entreprises en ignorant leurs brevets, lancent des actions de renseignement chez les alliés anglais et français. Les dispositifs de transmission et détection mis au point par les savants, en particulier par Paul Langevin⁴³, suscitent de multiples tentatives d'appropriations. En juillet 1918, un brevet est déposé pour un poste radio à lampes hétérodynes, conçu par le physicien français et des collaborateurs, dont la fabrication serait confiée à la Compagnie Générale de Radiotélégraphie⁴⁴. Ce projet exclut et crispe des contributeurs militaires (dont Ferrié qui avait

41. « Progrès réalisés en télégraphie et en téléphonie sans fil pendant l'année 1915 », *Annales des postes, télégraphes et téléphones*, 1916, p. 65 ; « La communication téléphonique New York – San-Francisco », p. 67 ; « Expériences de téléphonie sans fil transatlantique », p. 78 ; « Progrès de la téléphonie à grande distance depuis la découverte de Pupin », p. 207 ; « L'avenir de la téléphonie sans fil, par M. J. J. Carty, Ingénieur en Chef de la Compagnie Bell », p. 483 ; « Une interview de M. Theodor M. Vail, Président du Conseil d'Administration du système Bell », p. 558.

42. I. Langmuir, « De la décharge des électrons purs et de ses applications en radio-télégraphie et en radiotéléphonie », *Lumière électrique*, vol. 29, n° 12-24, 1915, p. 241, p. 272.

43. Paul LANGEVIN (1872-1946). Normalien (1893-1897). Doctorat en physique (Paris, 1902). Professeur de physique au Collège de France (1909).

44. CGR, *Compagnie Générale de Radiotélégraphie*, société créée en 1908 par la fusion des ateliers Carpentier, Gaiffe et Rochefort (trois constructeurs d'instruments de précision).

fourni le matériel et les « renseignements relatifs aux nouveaux appareils à lampes ») et Langevin intervient pour le retirer. Après la guerre, la compagnie lui propose de déposer un autre brevet, réduit à ses seules inventions, dont elle entend profiter. Les intérêts en jeu sont économiques (pour les inventeurs comme pour les entreprises), mais aussi et surtout nationaux. Sollicité par les Anglais, Langevin présente ses inventions en mars 1917 à Londres. Chaque nation belligérante réclame l'aide des autres, tout en voulant préserver ses technologies de défense, sa force de frappe, son indépendance industrielle. Des conférences interalliées ont lieu à Washington en juin 1917 et à Paris en octobre 1918 pour coordonner l'innovation et préciser la propriété intellectuelle de chaque inventeur et de chaque pays, impliquant Anglais, Américains (dont Langmuir et Millikan), Français (dont Abraham et Langevin) et Italiens. Les contacts internationaux se multiplient. En 1919, Carty est intéressé par les brevets de Langevin et lui propose de faire affaire avec ATT⁴⁵. Le profit, la propriété intellectuelle et le renseignement sont au cœur de plusieurs logiques contraires de territorialisation et de circulation, de libération et de protection, de nationalisation et d'internationalisation. Les actions composant le capital des entreprises, ainsi que leurs brevets, sont l'objet de complexes tractations lors de la création de la CSF en France en 1918 et surtout de la RCA aux États-Unis (Douglas, 1987, p. 268-291 ; Flichy, 1991, p. 151 ; Hackmann, 1984, p. 41-42, p. 83-91).

Ces échanges brutalement accrus avec les États-Unis et l'Angleterre se superposent à de profondes divergences. Léon Brillouin⁴⁶, un physicien normalien proche d'Abraham et Langevin, a rejoint pendant la guerre le petit groupe rassemblé par Ferrié pour étudier l'audion, et conçu dès 1917 des amplificateurs pour la téléphonie et la radio⁴⁷. Il poursuit ces travaux pendant l'entre-deux-guerres, mettant au point des amplificateurs à résistance et des dispositifs

Principal fournisseur de la marine de guerre en équipements radio. Premier président : professeur Arsène d'Arsonval (Collège de France).

45. P. Langevin à d'Arsonval, s.d., ESPCI, L137/164 (Langevin précise : « C'est en grande partie grâce à ces renseignements qu'a été possible l'établissement du poste en question ») ; L. Tronchon à P. Langevin, 14/03/1919, L137/007-01 ; R. Glazebrook à P. Langevin, 12/03/1917, L138/148 ; J. J. Carty à P. Langevin, 25/06/1919, L138/166.

46. Léon Nicolas BRILLOUIN (1889-1969). Normalien (1908). Doctorat en physique (1921).

47. Brillouin, « Perfectionnements apportés aux amplificateurs pour installations téléphoniques, tels, notamment que ceux pour télégraphie sans fil », 507.761, demandé 19/10/1917, délivré 03/07/1920 ; « Perfectionnements apportés aux installations téléphoniques, telles, notamment, que celles pour télégraphie sans fil », 503.766, demandé 08/10/1917, délivré 25/03/1920.

d'émission et de détection d'ondes hertziennes⁴⁸. Comme ceux de 1917, ses brevets ne mentionnent aucunement l'électron, ni même les atomes et les molécules. Pourtant, il en est un spécialiste reconnu, publiant de 1921 à 1929 des articles scientifiques sur l'agitation moléculaire, le moment magnétique de l'électron, la théorie des électrons dans les métaux (Mosseri, 1999). Cela semble une caractéristique générale des brevets français des années vingt qui, néanmoins, se voient parfois reformulés dans le lexique des électrons et des ions quand il s'agit de les faire reconnaître aux États-Unis ou en Angleterre. C'est le cas du prolifique inventeur Marius Latour, lui aussi membre du groupe de Ferrié. Un premier brevet sur l'audion, demandé en France en 1916, se voit récrit en utilisant plusieurs fois l'adjectif « thermionique » dans sa version américaine acceptée en 1922.⁴⁹ À partir de 1922, le qualificatif « électro- nique » apparaît pour la première fois dans le titre d'une demande de brevet sans que le mot « électron » soit pour autant dans le corps du texte⁵⁰. Pourtant, dans la version déposée aux États-Unis, des « flux d'électrons » sont mention- nés à de multiples reprises dans des paragraphes supplémentaires ajoutés à la fin⁵¹. Ces adjectifs, ces noms et ces ajouts témoignent d'une véritable spécifi- cité nationale, et d'un timide début d'atténuation. À l'évidence, un inventeur français pouvait alors se passer de l'électron et des ions pour rendre intelli- gible et légitime une nouvelle lampe dans son pays, mais pas pour qu'elle le soit dans ces autres mondes technologiques et juridiques qu'étaient devenus les États-Unis et l'Angleterre.

Cet évitement de l'électron rajouté pour un lectorat anglo-saxon se retrouve dans la constellation d'entreprises, contrôlée par Émile Girardeau⁵², centrée sur la Société Française Radio-électrique (SFR)⁵³ et la Compagnie générale

48. Brillouin et Émile Fromy, « Dispositifs d'émission et de réception sur plusieurs ondes simultanément ou alternativement et applications de ce dispositif », 601.976, demandé 10/11/1924, délivré 16/12/1925.

49. Latour, « Audion or lamp relay or amplifying apparatus », 1405523, filed 03/12/1917, patented 07/02/1922.

50. Latour, « Perfectionnements dans les valves électroniques de grande puissance dites magnétrons », 571.740, demandé 21/12/1922, délivré 07/02/1924.

51. Latour, « High-power thermionic valve », patent 1607467, filed 05/12/1923, patented 16/11/1926.

52. Émile GIRARDEAU (1882-1970). Polytechnicien (1902). Fondateur de la SFR et de la CSF.

53. SFR, *Société Française Radio-électrique*, entreprise fondée en 1910 par Émile Girardeau et Joseph Béthenod, installée d'abord à Suresnes, puis en 1921 à Levallois, spécialisée dans le matériel radio (émetteurs, récepteurs, antennes, alternateurs).

de télégraphie sans fil (CSF)⁵⁴. Parmi elles, la Radiotechnique⁵⁵ (spécialisée sur les lampes et postes pour le grand public) et la CSF elle-même brevettent plusieurs dizaines de lampes de 1921 à 1929. L'électron n'apparaît jamais plus d'une ou deux fois dans le texte, pour désigner des éléments matériels, jamais pour décrire scientifiquement le comportement de l'appareil. En 1923, un brevet pour des « Perfectionnements aux tubes à cathode émettrice et analogues » utilise une fois le mot « électron », deux fois l'adjectif « électronique », jamais l'adjectif « thermionique », et orthographe « Longmuir » le chercheur américain ayant mis en évidence la pure décharge par électron⁵⁶. Dans sa version acceptée en 1926 en Angleterre, il s'agit désormais d'un brevet pour des « *Improvements in thermionic valves and the like* », le nom de Langmuir est orthographié correctement, le mot « electron » apparaît trois fois, « electronic » deux fois, et « thermionic » deux fois⁵⁷. Ces différences peuvent sembler mineures, mais leur systématisme dessine une fracture entre un univers anglo-saxon dominé symboliquement par la physique des électrons (ses concepts, ses auteurs, sa terminologie) et un groupe de sociétés françaises demeurant à distance de l'électron, où l'innovation relève presque exclusivement de militaires et d'ingénieurs, polytechniciens pour la plupart : J. Béthenod⁵⁸, A. Blondel⁵⁹, P. Brenot⁶⁰, G. Ferrié, É. Girardeau. La situation change quand la Radiotechnique recrute Yves Rocard⁶¹ en 1928 et Maurice Ponte⁶² en 1929, deux jeunes physiciens normaliens, et qu'un laboratoire est spécifiquement créé pour l'étude des tubes électroniques. Dès lors, l'étude scientifique des électrons devient centrale et conduit à des

54. La *Radiotechnique*, entreprise créée à Lyon en 1919, rachetée en 1920 par CSF, déménagée en 1921 à Suresnes dans les anciens locaux de la SFR, spécialisée dans les lampes et tubes électroniques.

55. CSF, *Compagnie générale de télégraphie Sans Fil*, société créée en 1918, devenant en 1920 la holding d'un groupe comprenant la SFR et la Radiotechnique, puis en 1921 la compagnie Radio-France.

56. CSF, « Perfectionnements aux tubes à cathode émettrice et analogues », 588.187, demandé 21/11/1923, délivré 28/01/1925.

57. CSF, « *Improvements in thermionic valves and the like* », 225234, application 21/11/1924, accepted 02/02/1926.

58. Joseph Frédéric Julien BÉTHENOD (1883-1944). École Centrale de Lyon (1900). Assistant d'André Blondel. Co-fondateur de la SFR. Dirigeant de la CSF.

59. André Eugène BLONDEL (1863-1938). Polytechnicien (1883-1885).

60. Paul Jacques Antide BRENOT (1880-1967). Polytechnicien (1903). Dirigeant de la CSF.

61. Yves ROCARD (1903-1992). Normalien (1922-1925). Docteur en mathématiques (1927) et en physique (1928).

62. Maurice PONTE (1902-1983). Normalien (1920). Doctorat en physique (1927).

appareils radicalement nouveaux, tels la pentode de Rocard et le magnétron de Ponte. Les brevets, en revanche, continuèrent à n'évoquer l'électron que de manière marginale et allusive. Si l'on adjoint l'autre grand acteur français de la recherche privée en électronique, l'entreprise Le Matériel Téléphonique (LMT)⁶³ et son laboratoire sur les tubes à hyperfréquence, le constat peut être généralisé. Quand éclate le second conflit mondial, l'électron est devenu une entité fondamentale pour les deux grands groupes français d'électrotechnique et télécommunication : il est notamment au cœur de la compréhension et de l'amélioration continue de leurs principales innovations respectives, les magnétrons pour CSF et les klystrons pour LMT. Pour autant, il ne joue toujours qu'un rôle relativement insignifiant dans la définition et la défense des brevets en France.

Ces usages et non-usages de l'électron s'inscrivaient dans des reconfigurations technologiques et marchandes mobilisant des opérations bancaires et la gestion de la propriété intellectuelle, comme l'illustre à nouveau le cas CSF. Si Rocard et Ponte sont recrutés, c'est notamment parce qu'ils détiennent des compétences scientifiques très rares dans l'étude expérimentale des électrons. Leur intégration répond aussi à de nouvelles rationalités industrielles et financières. La période voit en effet se dégrader l'environnement économique et politique de CSF. Les postes radio grand public, dont les profits étaient déjà modestes, sont concurrencés à partir de 1930 par de nouveaux modèles sur secteur. La crise de 1929 fragilise le groupe dont les principaux revenus proviennent de la vente du matériel radio et de l'exploitation des communications radio, télégraphiques et téléphoniques. De surcroît, l'État resserre son contrôle sur la radiodiffusion et Girardeau abandonne la direction de Radio-Paris nationalisée en 1933. CSF s'adapte en se recentrant progressivement sur le marché professionnel. Les lampes et équipements grand public sont concentrés à la Radiotechnique qui est cédée à société hollandaise Philips par la vente de la moitié des actions et par des accords sur les brevets, le tout opéré par la Banque de Paris et des Pays-Bas. Le laboratoire, en revanche, est récupéré et transféré à CSF, et se spécialise sur les tubes électroniques destinés aux entreprises et aux militaires (lesquels tubes ne subiront plus la concurrence de Philips selon les termes de l'accord). Les magnétrons et autres lampes développés par l'équipe de recherche de Ponte

63. LMT, *Le Matériel Téléphonique*, société française créée en 1889 par G. Aboilard pour exploiter les brevets d'ATT, rachetée en 1925 par l'entreprise américaine ITT (International Telephone & Telegraph).

répondaient donc à la volonté de restaurer des profits en baisse, et ceci grâce à des innovations radicales susceptibles d'ouvrir de nouveaux marchés faiblement concurrentiels. En parallèle, le groupe préserve ses marges à l'international dans le matériel radio grand public en passant des accords avec Marconi, Telefunken, et RCA, menant à cette fin des échanges croisés de brevets (sur les postes, mais aussi sur les tubes électroniques eux-mêmes) ainsi que des ententes sur les volumes de production et de vente. Cette géopolitique commerciale est conduite sous l'égide de la Société des Nations, plus précisément de l'Union internationale de la radiodiffusion. Une fois de plus, la propriété intellectuelle jouait ici un rôle essentiel dans la délimitation des territoires technico-économiques et dans la gestion des relations entre entreprises rivales⁶⁴. L'ensemble de la stratégie d'innovation du groupe, y compris ses usages technologiques et juridiques de l'électron, renvoyait à des positions de marché soumises à des régulations nationalement différenciées. La création et l'évolution d'un laboratoire, le recrutement d'un scientifique, l'investissement dans un nouveau produit, la rédaction et l'exploitation d'un brevet : autant de décisions étroitement dépendantes des logiques capitalistiques et entrepreneuriales.

L'ÉLECTRON DES BREVETS COMME ATOUT CONCURRENTIEL

La présente comparaison franco-américaine invite à préciser analytiquement les utilisations de l'électron par les entreprises. De nombreux termes et concepts sont disponibles pour les décrire et les interpréter : appropriation, privatisation, marchandisation, commercialisation, ainsi que la récente notion d'*assetization* de Birch et Muniesa. Cette dernière conceptualisation, construite pour analyser le début du XXI^e siècle, n'est pas sans vertu heuristique pour cet épisode bien plus ancien. Un *asset* est une ressource rare qui peut être acquise, contrôlée, et développée en y investissant du capital, initialement valorisée par l'anticipation de futurs profits, et supposée procurer ensuite une rente quasi monopolistique. C'est une forme (et non une entité) comme l'est la forme marchandise, mais *assetization* et *commodification* sont deux processus de valorisation profondément différents l'un de l'autre (Birch et Muniesa, 2020, p. 2-7). Dans notre cas, cette distinction permet de

64. Sur les stratégies d'innovation et de marché de CSF, la meilleure source demeure la thèse de François Jacq (1996) portant sur la période 1944-1962, mais documentant précisément l'évolution du groupe pendant l'entre-deux-guerres. Par ailleurs, de nombreux extraits d'archives peuvent être trouvés sur les sites et dans les publications des membres de l'AICPRAT.

décentrer le regard, qui s'est principalement focalisé, jusqu'à présent, sur la marchandisation des lampes électroniques. Certes, on l'a vu, la particule élémentaire a facilité la mise au point de ces nouveaux objets matériels, de ces nouveaux produits éminemment profitables. Mais si les firmes investissent tant dans l'électron, c'est aussi et surtout parce qu'il leur permet de mieux garantir la propriété exclusive de leurs technologies, d'accroître fortement l'extraction de la plus-value, de préparer une future position dominante au sein de marchés en plein bouleversement. Cet investissement fut d'abord la création et l'aménagement de laboratoires internes recrutant des scientifiques sachant créer et diriger des flux d'électrons (tels Langmuir et Arnold aux États-Unis, ou Rocard et Ponte en France). Cette coûteuse capacité de production et d'usage de l'électron aboutit peu à peu à des innovations de rupture creusant brutalement l'écart avec la concurrence.

L'installation de ces laboratoires s'inscrivait incontestablement dans une logique d'*assetization*, et non de marchandisation ou de commercialisation de la science fondamentale, comme en témoignent les instabilités de leurs premières années, étroitement indexées à l'obtention de rentes régulières et de retours sur investissement. En France, le laboratoire de la Compagnie Générale d'Électricité⁶⁵ est créé dès 1899, sa direction est confiée au physico-chimiste Georges Urbain⁶⁶ recruté à cette fin, et tout cela est explicitement considéré comme une dépense pour l'avenir, consentie pour sécuriser une future position de marché et garantir de prochains revenus réguliers⁶⁷. Mais le laboratoire voit son existence contestée dès 1904, son personnel réduit, et ses dépenses soumises à des autorisations de crédit. Ce changement s'inscrit dans l'évolution du mode de gestion industrielle et financière⁶⁸. Dans les premières années, la priorité fut donnée aux investissements, à la construction des réseaux de distribution et des usines de fabrication. Comme le souligne Bouvier (2005), la direction et les banquiers contrôlant la compagnie privilégiaient d'abord de faibles dividendes au profit des amortissements comptables. Puis la rentabilité du capital prit une importance croissante, et le taux de dividende connut une augmentation continue, dépassant 5 % en

65. CGE, *Compagnie Générale d'Électricité*, entreprise créée en 1898 par les ingénieurs Pierre Azaria et Paul Bizet.

66. Georges URBAIN (1872-1938). Licence de sciences physiques (1894). Doctorat en chimie (1899).

67. Conseil d'administration de la CGE, 17/04/1899. Cette source et la suivante ont été aimablement communiquées par Yves Bouvier.

68. Conseil d'administration de la CGE, 18/10/1904.

1906 et atteignant 10 % en 1913. La fermeture du laboratoire de recherche, finalement décidée, renvoyait à de nouveaux arbitrages entre investissement et profit. De même, ce sont bien les logiques *capitalistiques* (et non le simple jeu des contraintes économiques) qui détermineront le destin du laboratoire américain. General Electric avait résulté d'une fusion orchestrée en 1891 par le banquier J. P. Morgan dont les intérêts dominaient le bureau des directeurs et le comité exécutif (alors les principales instances de décision). La crise financière de 1907 conduisit la direction à réduire d'un tiers le budget et les effectifs du laboratoire, jugé incapable d'éviter de coûteux achats de brevets et de licence (Reich, 1985, p. 47-48, p. 79). Recruter des scientifiques et financer leurs recherches ne pouvaient conduire à la formation d'un *asset* que si les rentes futures escomptées au départ finissaient par apparaître et se stabiliser.

Transformer l'électron en atout concurrentiel ne se limita pas à la création de laboratoires privés visant l'amélioration des objets fabriqués et des procédés industriels de production. Si la particule fut mise au service de l'industrie et du capital, ce ne fut pas seulement, grâce aux compétences pratiques des chercheurs, pour intervenir matériellement sur des technologies. D'abord délaissés, les nouveaux *savoirs* sur l'électron, furent peu à peu utilisés, directement incorporés dans la rédaction des brevets. Certes, les grandes compagnies ne purent jamais exercer des droits de propriété sur la particule elle-même. En revanche, elles purent utiliser leur maîtrise des connaissances et compétences sur l'électron pour mieux définir et protéger leurs innovations contre leurs rivales. Ainsi, la particule électrique entra progressivement dans la définition symbolique des inventions – de la lampe de Langmuir, puis des kénotrons, pliotrons, thyatron, magnétron, klystron et autres tubes électroniques. La publication de ces savoirs, en lieu et place de leur dissimulation d'abord privilégiée, constitua une arme pour décourager ou combattre les innovations rivales dans les secteurs de l'électricité et des télécommunications. Dans les litiges ultérieurs sur la propriété intellectuelle (Douglas, 1987, p. 288-289 ; Hong, 2001, p. 187-189), pouvoir mobiliser les publications académiques sur l'électron devint une ressource décisive, monétisable par des contrats de consultance scientifique et juridique comme ceux passés avec des chercheurs universitaires comme Richardson ou Millikan. Ces savoirs ne permirent pas uniquement de fabriquer physiquement un nouvel objet technique jugé plus performant : les publications, les notions et la terminologie des scientifiques (en particulier celles de Richardson) servirent aussi à le singulariser juridiquement comme propriété exclusive, à le distinguer et protéger des offres concurrentes.

CONCLUSION

Dans son autobiographie, le physicien Robert A. Millikan commente cette nuit de juillet 1914, quand l'entreprise American Telephone and Telegraph put enfin relier par téléphonie vocale les côtes atlantique et pacifique. Cette prouesse technique avait été rendue possible par les répéteurs téléphoniques développés en utilisant l'électron. « À partir de cette nuit, l'électron – qui n'avait été jusqu'alors que le jouet des scientifiques – venait clairement d'entrer sur le terrain comme un puissant agent permettant de satisfaire les besoins industriels et commerciaux de l'homme » (Millikan, 1950, p. 117). Auparavant, en effet, la particule d'électricité ne se manifestait guère que pour quelques chercheurs académiques, dans leurs laboratoires, congrès et revues savantes. À partir de 1914, l'électron permit de transporter la voix humaine de New York à San Francisco. Dès lors, il constitua un atout déterminant pour la stratégie entrepreneuriale et financière conçue par le président Theodore Vail et l'actionnaire et banquier J. P. Morgan. Grâce aux lignes transcontinentales, protégées par les brevets des répéteurs, l'entreprise allait fortement distancer ses rivaux, les réduisant à de simples opérateurs locaux, et se trouver bientôt en situation de quasi-monopole sur les communications à longue distance (Flichy, 1991, p. 135 ; Reich, 1985, p. 179). Les bénéfices obtenus garantirent alors des rendements considérables aux capitaux investis, et ce fut notamment grâce à la propriété intellectuelle. Un éventuel concurrent, en effet, ne pouvait plus investir la téléphonie longue distance sans inventer et breveter ses propres répéteurs. Une telle tâche était devenue considérablement difficile, d'abord parce que ce domaine technique était déjà amplement couvert par des brevets très nombreux et âprement défendus, d'autre part parce que concevoir et protéger des répéteurs nécessitaient désormais une excellente connaissance de l'électron.

Cet usage inédit de l'électron est le produit du nouveau capitalisme technoscientifique alors en pleine mutation dans ses rapports avec l'État et le droit. Les diverses intégrations de la *basic science* dans l'entreprise privée, nationalement très contrastées, montrent le rôle essentiel des régulations légales et politiques. Aux États-Unis, les étapes du recours à l'électron dépendirent fortement des actions anti-trust des gouvernements successifs et de la judiciarisation des pratiques inventives. En France, l'omniprésence des ingénieurs d'État permit une régulation plus centralisée et moins conflictuelle des recherches savantes, de l'innovation technique, de la propriété intellectuelle et des profits financiers. Ce modèle minorant la rivalité économique, privilégiant l'ordonnancement technocratique, peut difficilement être jugé inférieur

ou retardataire : il n'empêcha en rien l'industrialisation des lampes électroniques et l'apparition des premiers laboratoires d'entreprises utilisant l'électron (tels ceux de SFR et CSF). La particule n'apparut presque pas dans les textes des brevets, mais y fut rajoutée pour les faire valoir aux États-Unis. La transformation de l'électron en atout concurrentiel et financier fut donc hautement contextuelle. Ces appropriations différenciées de la particule rappellent combien la croissante exploitation marchande et juridique des savoirs au XX^e siècle fut cadrée par les États-nations, tour à tour facilitée ou contrainte par des arrangements institutionnels propres à chaque pays (Bonneuil et Pestre, 2015 ; Galvez-Behar, 2020).

RÉFÉRENCES

- AITKEN H. (1985), *The continuous wave: technology and American radio, 1900-1932*, Princeton University Press.
- ARNS R. (1997), The high-vacuum X-ray tube: technological change in social context, *Technology and culture*, vol. 38, n° 4, p. 852-890.
- BIRCH K., MUNIESA F. (2020), *Assetization: turning things into assets in techno-scientific capitalism*, MIT Press.
- BONNEUIL C., PESTRE D. (2015), « Le siècle des technosciences », in BONNEUIL C., PESTRE D. (dir.), *Histoire des sciences et des savoirs*, t. III, Paris, Seuil, p. 9-24.
- BOUVIER Y. (2005), Un siècle de dividendes d'une entreprise de réseaux. CGE-Alcatel, 1898-2004, *Flux*, n° 59, janvier-mars 2005, p. 76-78.
- BOYER R. (2015), *Économie politique des capitalismes : théorie de la régulation et des crises*, Paris, La Découverte.
- CHAMPEIX R. (s. d.), *Grande et petite histoire de la lampe TM*, Anciens de la Radio et de l'Électronique, [En ligne] disponible à l'adresse : <http://ia800901.us.archive.org/11/items/GrandeEtPetiteHistoireDeLaLampeTm/GrandeEtPetiteHistoireDeLaLampeTM.pdf> (consulté le 25/10/2022).
- DOUGLAS S. (1987), *Inventing American broadcasting, 1899-1922*, Johns Hopkins University Press.
- FLICHY P. (1991), *Une histoire de la communication moderne : espace public et vie privée*, Paris, La Découverte.
- FLIGSTEIN N. (1990), *The transformation of corporate control*, Harvard University Press.
- GALVEZ-BEHAR G. (2008), *La République des inventeurs : propriété et organisation de l'innovation en France (1791-1922)*, Presses universitaires de Rennes.
- GALVEZ-BEHAR G. (2020), *Posséder la science : la propriété scientifique au temps du capitalisme industriel*, Paris, Éditions de l'EHESS.
- GRISSET P. (1994), « La radio et l'effort de guerre français pendant la Première Guerre mondiale », colloque du Centre des Hautes Études de l'Armement du 19 novembre 1993, *Histoire de l'Armement en France 1914-1962*, ADDIM, p. 11-38.
- HACKMANN W. (1984), *Seek and strike: sonar, anti-submarine warfare and the Royal Navy, 1914-1954*, London, HSMO.
- HONG S. (2001), *Wireless: from Marconi's black box to the audion*, MIT Press.
- JACQ F. (1996), « Pratiques scientifiques, formes d'organisation et représentations politiques de la science dans la France de l'après-guerre : la "politique de la science" comme énoncé collectif (1944-1962) », thèse de doctorat, Mines-ParisTech.

LÉCUYER C. (2015), « Manager l'innovation », in PESTRE D., BONNEUIL C. (dir.), *Histoire des sciences et des savoirs*, t. III, Paris, Seuil, p. 423-439.

LELONG B. (2017), L'électron, la modernité et les ingénieurs d'État : des imaginaires et des réseaux pour rationaliser les savoirs et la société, *Réseaux*, vol. 5, n° 205, p. 177-201.

MARNOT B. (1999), Téléphone, électricité : étude comparée de deux législations fondatrices, *Bulletin d'histoire de l'électricité*, n° 34, p. 29-49.

MILLIKAN R. (1950), *The autobiography of Robert A. Millikan*, Prentice-Hall, New York.

MORSEL H. (1991), « Les producteurs d'électricité. Leur organisation et leurs politiques », in Caron, François et Cardot, Fabienne (dir.), *Histoire générale de l'électricité en France. Tome premier. Espoirs et conquêtes, 1881-1918*, Paris, Fayard, p. 733-801.

MOSSERI R. (1999), *Léon Brillouin : à la croisée des ondes*, Paris, Belin.

PESTRE D. (2003), *Science, argent et politique : un essai d'interprétation*, Paris, INRA.

PICKSTONE J. (2001), *Ways of knowing: a new history of science, technology and medicine*, University of Chicago Press.

REICH L. (1985), *The making of American industrial research: science and business at GE and Bell, 1876-1926*, Cambridge University Press.

SHAPIN S. (2008), *The scientific life: a moral history of a late modern vocation*, University of Chicago Press.

SERVOS J. (1990), *Physical chemistry from Ostwald to Pauling: the making of a science in America*, Princeton University Press.

WISE G. (1983), Ionists in industry. Physical chemistry at General Electric, 1900-1915, *Isis*, n° 74, p. 11.