

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Geschichte = Revue suisse d'histoire = Rivista storica svizzera

Herausgeber: Schweizerische Gesellschaft für Geschichte

Band: 55 (2005)

Heft: 1: Sciences, Etat, industrie = Wissenschaft, Staat, Industrie

Artikel: L'optique de précision et la Première Guerre mondiale

Autor: Bigg, Charlotte

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-81383>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 15.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

L'optique de précision et la Première Guerre mondiale

Charlotte Bigg

Summary

Only a few months into World War I, the French and British governments realized that most of their precision optics had been provided by German manufacturers. Faced with the abrupt interruption of supplies of such essential tools for warfare and industrial production, the Armed Forces, scientists and industrialists came together to face the most urgent needs. Simultaneously, long-term development policies for the optical industry were introduced by both nations. The optical industry provides an exemplary case for the analysis of the interdependence of science, industry and politics in the early twentieth century. I insist in particular on the growing importance of metrology in the period. The close collaboration of these actors during the war was accompanied by a generalisation of scientific standards in many branches of industrial production. The optical length measurement methods devised by the Bureau International des Poids et Mesures to measure the metre prototype with unprecedented precision thus became widespread in ammunition factories. The configuration of State, industry and science which emerged from the war appears to share many of technoscience's characteristics, a form of organisation whose origin is conventionally attributed to the Second World War.

Lorsqu'on évoque le rôle de la science pendant la Première Guerre mondiale, l'utilisation pour la première fois de gaz toxiques sur les champs de bataille est le plus souvent citée. Le 26 avril 1915 l'armée allemande répand 150 tonnes de chlore à Ypres, incapacitant deux divisions de l'armée française, bientôt imitée par les Alliés¹. Au compte des inventions attribuables à la Grande Guerre, on pourrait bien sûr aussi citer le char d'assaut ou la télégraphie sans fil. Que la nécessité de la guerre soit mère de l'invention n'est pas chose nouvelle au début du XX^e siècle. Le théoricien de la guerre et général Carl von Clausewitz écrivait déjà en 1832: «Die Gewalt rüstet sich mit den Erfindungen der Künste und Wissenschaften aus, um der Gewalt zu begegnen.»² La transgression des règles sociales, éthiques mais aussi

1 La première offensive chimique des Alliés a lieu le 25 septembre 1915. Guy Hartcup, *The War of invention: Scientific Developments, 1914–1918*, Londres, Brassey's, 1988, pp. 94–117.

2 Carl von Clausewitz, *Vom Kriege*, Berlin, Dümmlers Verlag, 1832, Livre I, Chapitre 1. Clausewitz ajoute plus loin: «Die Erfindung des Pulvers, die immer weitergehende Ausbildung des Feuergewehrs zeigen schon hinreichend, daß die in dem Begriff des Krieges liegende Tendenz zur Vernichtung des Gegners auch faktisch durch die zunehmende Bildung keineswegs gestört oder abgelenkt worden ist», *ibid.*

technologiques de la guerre fait partie prenante de sa pratique, et le XX^e n'est pas en reste, de l'attaque contre les populations civiles à la bombe atomique. On a là un miroir renversé de l'idéal d'un progrès scientifique et technologique bénéfique à l'humanité: le progrès vers des formes de destructions toujours plus massives.

J'examine dans cet article quelques aspects de la relation entre science, industrie et politique pendant cette période qui sont moins connus, peut-être parce qu'ils sont moins spectaculaires³. L'effroi suscité par des technologies aussi meurtrières que le gaz moutarde a certainement contribué à occulter d'autres objets scientifiques qui sont intervenus pendant la guerre; mais on peut aussi voir dans cette négligence relative une préférence longtemps entretenue en histoire des sciences et des techniques pour l'innovation, l'invention de nouveaux objets théoriques ou matériels; et ce au détriment des évolutions à plus long terme, certes moins dramatiques mais dont l'impact a été au moins aussi grand.

Mon étude porte sur le champ de l'instrumentation d'optique de précision et le rôle qu'elle a pu jouer pendant et après la Première Guerre mondiale. Après un bref rappel de l'histoire de la manufacture des instruments d'optique en Europe depuis le XIX^e siècle, j'analyserai comment en France et en Angleterre la crise de l'approvisionnement en verre optique et en instruments dès 1914–15 poussera scientifiques, militaires, industriels et pouvoirs politiques dans les deux pays non seulement à trouver des solutions d'urgence pour parer au plus pressé, mais aussi à réformer durablement les relations institutionnelles entre ces domaines. Simultanément, la nécessité d'harmoniser la production dans les usines de munitions se fera de plus en plus sentir, encourageant l'introduction de méthodes scientifiques, et notamment optiques, pour le contrôle des outils et des matériaux industriels. Les besoins de la guerre encourageront ainsi une standardisation des méthodes de production et des produits, et la généralisation progressive des métrologies scientifiques en milieu industriel. La volonté politique de développer une industrie optique nationale pour les besoins militaires, ainsi que l'émergence de nouveaux marchés pour les instruments de haute précision (les industries métallurgiques et de munitions) feront ainsi de l'industrie optique non seulement une branche prospère mais aussi un domaine stratégique à l'intersection des intérêts scientifiques, industriels et politiques. Je finirai par esquisser quelques conclusions sur les continuités que l'on peut identifier entre cette configuration et la «technoscience» dont l'origine est conventionnellement attribuée à la Seconde Guerre mondiale⁴.

1. L'industrie optique de précision avant la Grande Guerre

L'optique entretient depuis longtemps des liens étroits avec l'activité militaire, qui repose sur elle pour améliorer la vue des officiers (jumelles, périscope) et leur per-

3 Pour une vue d'ensemble du rôle de la science (médecine, physique, chimie) pendant la Grande Guerre, voir *Le Sabre et L'Éprouvette, l'Invention d'une Science de Guerre, 1914/1939*, Aubin David et Bret Patrice (éd.), Paris, Editions Noésis / Agnès Viénot / «14/18 Aujourd'hui» (6) 2003, 172 p. Sur l'arme chimique voir Olivier Lepick, *La Grande Guerre Chimique 1914–1918*, Paris, PUF, 1998, 384 p.

4 Dans son analyse de l'industrie biomédicale aux États-Unis dans les années 1940 et 1950, Nicolas Rasmussen insiste de manière similaire sur les continuités qui existent avec les formes d'organisation de l'entre-deux-guerres. Nicholas Rasmussen, «Of 'Small Men', Big Science and Bigger Business: The Second World War and Biomedical Research in the United States», *Minerva* (40) 2002, pp. 115–146.

mettre d'effectuer diverses mesures. On peut citer le théodolite et le goniomètre pour les opérations géodésiques (mesure des angles), le télémètre pour la navigation maritime (mesure des distances), ou la boussole à prisme, tous absolument indispensables aux armées en temps de paix comme en temps de guerre. L'évolution technologique des décennies avant 1914, en créant de nouveaux besoins, renforce par ailleurs la demande militaire en instrumentation optique. Dans les années 1900, une nouvelle génération de croiseurs de bataille et de vaisseaux rapides entraîne par exemple une adaptation des méthodes d'artillerie navale de grande portée. La vitesse accrue des cibles requiert un tir plus focalisé et plus flexible; dans ce but on équipe les canons de télescopes donnant l'élévation et l'azimut⁵. Il faut mentionner aussi l'invention de la poudre sans fumée dans les années 1880 qui augmente considérablement la portée et la précision du tir d'armes légères, et permet au tireur de mieux se dissimuler (puisque'il n'est plus repéré par le nuage de fumée produit par son arme). Son emploi contre les Britanniques lors de la guerre anglo-boer de 1899–1902 incite les Britanniques à généraliser l'usage des jumelles de très bonne qualité⁶. Pendant la Grande Guerre, la guerre des tranchées stimulera le développement d'une cartographie très détaillée, pour l'étude stratégique du terrain autant que pour calculer les tirs d'artillerie⁷.

La plupart des pays européens disposent au XIX^e siècle d'une industrie optique locale qui répond à leurs besoins scientifiques, militaires et commerciaux de base, même si souvent on a recours à l'importation pour certains instruments spécifiques ou de qualité supérieure. Si les fabricants anglais dominent globalement le marché international des instruments d'optique au XVIII^e siècle, ils laissent plus tard la place aux Français. La puissance industrielle des Allemands s'affirme dans les dernières décennies du XIX^e siècle, au moment où les fabricants américains font leur apparition sur la scène internationale. Un tournant majeur s'effectue à partir des années 1870–80 lorsque, stimulés par une demande de plus en plus populaire de lentilles et appareils photographiques, mais aussi de projecteurs, de microscopes et télescopes amateurs, quelques ateliers prennent une dimension véritablement industrielle. Le meilleur exemple en est Carl Zeiss, Jena, dont l'atelier est fondé en 1846 pour la production de microscopes simples (23 sont produits la première année). Avec l'aide du physicien Ernst Abbe, Zeiss transforme progressivement son entreprise en un géant de l'optique, qui en 1886 emploie 250 personnes et produit cette année-là son dix-millième microscope (et en 1910 son cinquante-millième). La firme diversifie sa palette de produits dès les années 1870, se focalisant sur trois grandes clientèles: les *scientifiques*, une petite communauté d'acheteurs très exigeants sur la qualité, qui souvent participent eux-mêmes à la conception des instruments; le *grand public* qui achète une palette de produits standard et bon

5 Hartcup, *The War...*, op. cit., p. 1.

6 Temoin de la guerre, Arthur Conan Doyle rapporte que «With black powder it was useless to hide the gun, as its smoke must betray it. With smokeless powder the guns are so invisible that it was only by the detection with powerful glasses of the dust from the trail on the recoil that the officers were ever able to localise the guns against which they were fighting», Arthur Conan Doyle, *The Great Boer War*, Londres, Smith, Elder & Co., 1902, chapitre XVI.

7 Martina Schiavon, «Des savants-officiers entre science, armée, Etat et industrie de précision: les géodésiens du service géographique de l'Armée, 1870–1920», dans *Le Sabre et L'Éprouvette, l'Invention d'une Science de Guerre, 1914/1939*, op. cit., pp. 61–74. Voir aussi Martina Schiavon, *Itinéraires de la Précision: Géodésiens, Artilleurs, Savants et Fabricants d'Instruments en France, 1870–1939 (environ)*, Thèse de Doctorat (EHESS, Paris, 2003).

marché; et enfin le *gouvernement* est approvisionné en divers instruments standardisés mais de bonne qualité utilisés par les inspecteurs (sanitaires, etc.) et par les forces armées. Les ventes importantes d'instruments simples fabriqués en série permettent d'investir dans le développement et la manufacture à la main d'instruments de haute précision, moins rentables mais porteurs de prestige⁸.

Zeiss est l'exemple le plus marquant de cette évolution, à tel point qu'il en constitue presque un cas à part. Car si toutes les manufactures d'instruments optiques élargissent leur clientèle, adoptent (plus ou moins) des méthodes de production en série et s'agrandissent, à fin du XIX^e siècle, la plupart excèdent rarement quelques dizaines d'employés, et souvent se spécialisent dans la fabrication d'instruments soit de haute précision (Jobin, Hilger), soit à usage populaire (Molténi). Autrement dit, si l'expansion du marché de l'instrumentation optique profite à toute la branche, c'est Zeiss (et les fabricants allemands en général) qui en profite le plus et qui s'impose comme la référence mondiale.

2. 1914–1915: crise de l'approvisionnement et mesures d'urgence

Ce déséquilibre est la cause principale du désarroi des gouvernements alliés, qui, la Grande Guerre à peine entamée, réalisent à la suite de l'interruption brutale de leur approvisionnement en instruments d'optique à usage militaire qu'ils provenaient en grande partie d'Allemagne⁹. En Grande-Bretagne, un département de munitions et de verre optiques est créé en 1915 par le nouveau Ministère de la Guerre qui lance plusieurs initiatives pour procurer aux armées les instruments nécessaires (collectes publiques, requête auprès des Français et des Américains) et surtout du verre optique pour la fabrication de lentilles et de prismes. Le Royaume-Uni était particulièrement dépendant du verre de Schott, entreprise créée à Jena avec le soutien d'Abbe pour fournir Zeiss en verre optique et qui, elle aussi, avait acquis une réputation internationale. Dans un premier temps, le département tentera d'obtenir du verre Schott par l'intermédiaire de la Suisse neutre. Ces tentatives ayant plus ou moins échoué, le Ministère se tourne vers les fabricants britanniques pour les aider à atteindre la productivité requise: pour donner un ordre d'idée, entre fin juillet et le 21 août 1915, le Ministère passe commande pour 150000 instruments, y compris 116000 paires de jumelles, alors que la branche n'est capable d'en livrer que 1000 par semaine¹⁰. Comme pour d'autres industries, le Ministère incite les fabricants à se placer sous sa tutelle de façon à contrôler globalement la production d'instruments. Il encourage alors la simplifi-

8 Zeissarchiv, Jena. Voir aussi Stuart Feffer, «Ernst Abbe, Carl Zeiss and the transformation of microscopical optics», dans *Scientific Credibility and Technical Standards / Archimedes* (1996), Jed Buchwald (éd.), pp. 23–66; Friedrich Schomerus, *Geschichte des Jenaer Zeisswerkes, 1846–1946*, Stuttgart, Piscator Verlag, 1952.

9 La supériorité de la marine allemande lors de la bataille navale de Jutland en 1916 est attribuée par les Britanniques à la qualité de leurs télémètres (Zeiss), ce qui incitera les Alliés à reconnaître l'importance stratégique de l'instrumentation optique. Voir Ian Russell, «Purely by coincidence: the rangefinders of Barr & Stroud at the battle of Jutland, 1916», dans *Studies in the History of Scientific Instruments*, C. Blondel et al. (éd.), Londres, Roger Turner Books, 1989, pp. 283–290.

10 Mari Williams, *The Precision Makers, A History of the Instruments Industry in Britain and France, 1870–1939*, Londres, Routledge, 1994, p. 66.

cation des procédés et des modèles, ainsi que la mécanisation des méthodes de production¹¹.

En France, on estime à 70% la proportion d'instruments optiques importés d'Allemagne à la veille de la guerre¹². Dès les premiers mois du conflit, le Service Géographique de l'Armée dirigé par le général Bourgeois se charge de la centralisation de la demande des forces armées en instrumentation optique et de la coordination de la production, c'est-à-dire le polissage des lentilles et l'assemblage des jumelles et des télémètres. La production mensuelle de verre augmente de 4000 kg en 1914 à 12000 kg en 1918, celle de jumelles de 1500 à 130000¹³. En France et au Royaume-Uni, l'industrie optique obtient le statut d'industrie «stratégique» au même titre que l'industrie métallurgique ou les usines de munitions.

3. Réformes structurelles: éducation, coopération, standardisation

Tandis que les Etats français et britannique prennent le contrôle de pans entiers de leur économies, une réflexion est lancée dans les deux pays sur les causes profondes de la crise de l'industrie optique et sur les solutions à long terme à y apporter. Les fabricants le répètent à l'envie, Zeiss n'a pu atteindre une telle taille et un tel dynamisme que grâce au soutien actif des pouvoirs allemands, qui n'ont pas hésité à subventionner largement la création et l'expansion de Schott et Zeiss. Leurs commandes régulières et très importantes d'instrumentation optique militaire leur ont donné une assise économique solide et donc la possibilité de prendre des risques et d'innover. Les forces consacrées à la production pour l'exportation ont pu être réorientées en temps de guerre vers la production nationale et faire face à la demande accrue. De plus, le gouvernement allemand soutient la recherche et l'éducation scientifique. De nombreuses institutions de formation professionnelle et scientifique (Gewerbeschulen, Technische Hochschulen, Universités) ont été créées dans les décennies précédentes¹⁴.

Dans les deux pays, des mesures concrètes sont prises, et ce dès avant la fin de la guerre, pour éviter qu'une telle situation ne se reproduise. Pour réduire le plus possible la dépendance sur les réseaux étrangers il faut assurer l'existence d'une industrie optique de précision nationale capable d'approvisionner les forces armées en toutes circonstances. L'Institut d'Optique Théorique et Appliquée en France et le British Scientific Instrument Research Association seront le résultat d'initiatives communes de la part des forces armées, des gouvernements et des industries optiques. L'inspiration en est clairement allemande, les différentes parties souhaitant émuler leur voisin en souhaitant plus d'interventionnisme de la part de l'Etat, en renforçant la coopération dans la branche et en créant des infrastructures pour l'enseignement, la recherche, et les travaux de contrôle et de calibration. Pour

11 Ibid., pp. 60–72.

12 Le chiffre est donné pour 1914. La Direction de l'Institut d'Optique Théorique et Appliquée, «L'Institut d'Optique Théorique et Appliquée», *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale*, 1922, p. 636.

13 Ibid.

14 Ces arguments sont avancés depuis plusieurs décennies par les fabricants eux-mêmes. Voir par exemple: Syndicat des Constructeurs en Instruments d'Optique et de Précision, *L'Industrie Française des Instruments de Précision* (Paris, 1906). Pour une discussion du soi-disant 'déclin' de la France et de la Grande-Bretagne dans ce domaine voir Williams, *The Precision Makers...*, op. cit.

beaucoup, La Deutsche Gesellschaft für Mechanik und Optik fondée en 1878 et son journal, *Zeitschrift für Instrumentenkunde*, sont le modèle à suivre¹⁵.

L'idée de l'Institut d'Optique est lancée en France par le Syndicat Général de l'Optique et de la Précision, qui depuis 1906 avait alerté les pouvoirs au déclin relatif de l'industrie par rapport à l'Allemagne. L'idée est reprise par l'astronome Henri Chrétien et Armand de Gramont, riche aristocrate qui avait transformé son laboratoire privé en atelier optique pour parer à l'urgence nationale¹⁶. Elle trouve des échos favorables parmi les militaires et le gouvernement: en mars 1917 l'Institut est fondé par une commission nommée par les ministres de l'Instruction Publique et du Commerce¹⁷. Jusqu'en 1926 il occupera les bâtiments de l'École d'Application du Génie Maritime, ce qui souligne les liens étroits entre l'Institut et les forces armées. L'École se compose de trois sections, l'École Supérieure (formation scientifique d'ingénieurs), l'École Professionnelle (formant des ouvriers pour l'industrie optique) et le Laboratoire de Recherche et d'Essais. Il publie la *Revue d'Optique théorique et instrumentale*.

En Angleterre, des mesures similaires sont prises, bien que ces différentes activités ne soient pas regroupées dans une seule institution. Le National Physical Laboratory s'occupe du calibrage et contrôle des instruments, alors que la British Scientific Instrument Research Association¹⁸ effectue des recherches sur les sujets intéressants scientifiques et industriels. L'État soutient par ailleurs l'industrie optique par la mise en place de mesures protectionnistes (taxes à l'import d'instruments étrangers). Un enseignement est prévu par le nouveau département d'optique technique d'Imperial College à Londres. La nouvelle Optical Instrument Manufacturers' Association et son *Journal of Scientific Instruments* (fondé en 1922) doivent pour leur part favoriser la communication entre les membres de la branche¹⁹.

'Education, standardisation, coopération'²⁰ sont les mots clés de cette politique qui doit permettre aux industries optiques nationales de se consolider, de

15 Sur les fabricants d'optique en Allemagne au XIX^e siècle, voir T. Shinn, «The research-technology matrix: German Origins, 1860–1900», dans *Instrumentation between Science, State and Industry*, Bernward Joerges et Terry Shinn (éd.), Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2001, pp. 29–50.

16 Charles Fabry, «Allocution à l'Occasion de la nomination de M. Armand de Gramont à l'Académie des Sciences le 20 Juin 1931», Dossier Biographique Armand de Gramont (Archives de l'Académie des Sciences, Paris), pp. 3–8.

17 La commission comprend des scientifiques, des industriels et des militaires: Bourgeois, Jobin, de Gramont, Cotton, Poincaré, Lippmann, et Fabry. Pour une histoire détaillée de la fondation de l'Institut d'Optique voir Gérard Roblin, «L'Institut d'Optique a 75 ans», *Opto* (118) 1996, pp. 13–24.

18 Le programme des Research Associations est lancé par le nouveau Department for Scientific and Industrial Research (créé en 1916) pour encourager la coopération entre scientifiques et industriels, avec le soutien financier de l'État. La BSIRA est l'une des premières organisations de ce type. Voir Ian Varcoe, «Scientists, government and organised research in Great-Britain, 1914–16: the early history of the DSIR», *Minerva* 7 (2), 1970, pp. 192–216.

19 Williams, *The Precision Makers...*, op. cit., pp. 61–100; Roy MacLeod et Kay MacLeod, «War and economic development: government and the optical industry in Britain, 1914–1918», dans *War and Economic Development*, Jay M. Winter (éd.), Cambridge, Cambridge University Press, 1975, pp. 165–203.

20 C'est le titre du discours de Richard Glazebrook (directeur du NPL) à l'Optical Society en 1904, se référant aux mesures à prendre pour développer l'industrie optique, et qui reflète la politique pendant la guerre. Richard Glazebrook, «The work of the optical society. Co-

prosperer et d'innover. Dans la dernière partie de la discussion, je m'attarderai sur la dimension de la standardisation et du calibrage des instruments optiques eux-mêmes, mais aussi leur nouvel usage pour contrôler les calibres industriels; car la guerre encourage la standardisation des méthodes de production et des produits dans tous les domaines. Dans l'entre-deux-guerres, de nombreuses industries, en particulier métallurgiques, adopteront en effet des méthodes scientifiques de contrôle de la production et des produits. Ces méthodes sont parfois plus précises que les procédures traditionnelles basées sur le savoir-faire des artisans et ouvriers, mais elles sont surtout 'objectives' dans le sens où elles sont quantitatives et permettent la comparaison entre les produits et les procédés. La généralisation de ces méthodes optiques de mesure en milieu industriel permet ainsi l'extension des métrologies scientifiques à ces nouveaux domaines.

4. Les réseaux métrologiques

La notion de *métrologie*, dérivée du mot grec *metron*, apparaît dans les années 1780 à peu près en même temps que le système métrique, et reflète l'ambition universalisante des sciences physiques, alors qu'à la fin du XVIII^e siècle, elles se lancent dans un programme majeur visant à mesurer toujours plus précisément toutes les dimensions naturelles, humaines et sociales. C'est la science qui fonde la mesure, c'est-à-dire l'activité d'étudier, de définir, de conserver, et de disséminer les étalons matériels représentant les systèmes de mesure employés par les sociétés pour la production et l'échange de biens. La métrologie est donc l'élaboration scientifique de pratiques industrielles et commerciales bien plus anciennes. Dans sa forme la plus primitive elle était incarnée par un réceptacle conservé dans chaque mairie et qui servait d'unité de mesure pour mesurer les volumes de grains. Cette diversité de standards faisait elle-même partie intégrante des pratiques d'échange jusque dans les années 1850–60²¹. A partir de cette époque, les métrologies englobent des espaces et des populations toujours plus grands: le temps est standardisé (réseaux de distribution de l'heure, fuseaux horaires, unification de l'heure dans chaque pays), mais aussi l'électricité (boîtes de résistance, câbles, l'ohm) et même la musique (métronome, 'la' standard). Cette évolution accompagne l'intensification et la rationalisation de la production industrielle, mais aussi la généralisation de modes de transports rapides des personnes, des biens et des informations (réseau ferré, télégraphie)²².

operation, education, standardisation», *Transactions of the Optical Society* (5), 1904, pp. 134–144.

21 Ken Alder, «A revolution to measure: the political economy of the metric system in France», dans *The Values of Precision*, M. Norton Wise (éd.), Princeton, Princeton University Press, 1995, pp. 39–71. Sur les implications politiques et économiques de la standardisation des unités de mesure commerciales, voir Daryl M. Hafter, «Measuring cloth by the elbow and a thumb: resistance to numbers in France of the 1780s», dans *Cultures of Control*, Miriam Levin (éd.), Amsterdam, Harwood, 2000, pp. 69–80.

22 Voir par exemple Samuel L. Macey, *The Dynamics of Progress*, Athens, University of Georgia Press, 1989, 273 p.; Stephen Kern, *The Culture of Time and Space 1880–1918*, Cambridge, MA., Harvard University Press, 1983, 372 p.; Simon Schaffer, «Late Victorian metrology and its instrumentation: a manufactory of ohms», dans *Invisible Connections, Instruments, Institutions and Science*, Robert Bud et Susan Cozzens (éd.), Bellingham, SPIE, 1992, pp. 23–55.

Les scientifiques contribuent à formaliser et à garantir ces standards; réciproquement, la prise de conscience généralisée de l'importance de la métrologie ne reste pas sans effet sur la pratique scientifique. Le programme de physique expérimentale et de mesure de précision de la fin du XIX^e siècle est structuré par ces problèmes, avec par exemple les recherches sur les standards électriques lors de la pose du premier câble télégraphique transatlantique²³. Cette alliance entre industrie, commerce et science mène à la fondation d'institutions spécifiques pour la pratique de la métrologie: le National Bureau of Standards aux Etats-Unis, le Bureau International des Poids et Mesures en France, mais aussi le National Physical Laboratory au Royaume-Uni ou le Physikalisch-Technische Reichsanstalt en Allemagne. Les étalons prototypes y sont conservés, sur lesquels reposent les systèmes de mesure. Ces institutions sont responsables dans chaque pays du contrôle et de la calibration des instruments, outils, et matériaux industriels, et délivrent des certificats de conformité à la métrologie légale.

Les institutions métrologiques sont la face visible d'une immense infrastructure qui intervient dans toutes les sphères de la société et sans lesquelles un objet scientifique ou technologique est impuissant: il perd son sens, sa fonction et son utilité, comme un train privé de rails²⁴. L'artefact technologique ne peut fonctionner qu'au sein d'une infrastructure qui comprend le réseau ferré et sa maintenance, ainsi que toutes les compétences qui les sous-tendent. Comme l'a montré Bruno Latour, c'est ainsi que la science devient universelle, en transformant graduellement un environnement pour permettre aux pratiques techno-scientifiques de s'y installer. La métrologie permet à des pratiques et des technologies standardisées de produire des effets identiques dans le monde, mais seulement lorsque celui-ci a été lui-même standardisé. Ainsi, comme on le verra, l'introduction d'instruments scientifiques en milieu industriel nécessite une transformation de ce milieu pour leur permettre d'y fonctionner: il faudra relier les industries au réseau métrologique scientifique. En retour, le réseau métrologique permet et encourage une plus grande circulation de ces produits industriels, et il donne des garanties de confiance sur la qualité de ces objets²⁵.

5. Des standards scientifiques pour la production industrielle

Cette tendance vers l'unification métrologique s'intensifie pendant la Grande Guerre. La Première Guerre mondiale joue un rôle important en raison de l'échelle sans précédent à laquelle la production industrielle, en particulier de munitions, opère pendant cette période. Plusieurs études ont montré que les théories Taylor-Fordistes de la rationalisation et de la standardisation de la production industrielle de la fin du XIX^e siècle restent en grande partie théoriques jusqu'au conflit. L'organisation du travail et les modes de production qu'elle suppose ne se

23 Bruce Hunt, «The ohm is where the art is: British telegraph engineers and the development of electrical standards», dans *Instruments / Osiris* (9) 1994, Albert von Helden et Thomas Hankins (éd.), pp. 48–63.

24 Même si, bien sûr, de nouveaux sens et de nouvelles pratiques peuvent toujours être élaborés dans de nouveaux contextes.

25 Bruno Latour, *La Science en Action*, Paris, Gallimard, 1989, pp. 515–626; Bruno Latour, *Pasteur, Guerre et Paix des Microbes*, Paris, La Découverte, 2001, 370 p. Voir aussi Witold Kula, *Measures and Men*, Princeton, Princeton University Press, 1986, 386 p.

matérialisent que pendant la guerre²⁶. La performance des munitions pendant les premiers mois de la guerre est en effet tellement désastreuse que les gouvernements sont contraints d'intervenir pour promouvoir une plus grande uniformisation des pièces. Ils donnent des spécifications plus restreintes et des tolérances plus étroites des tailles et des formes de pièces mécaniques produites, pour éviter les gaspillages dans la production, les explosions prématurées et pour faciliter la réparation et la substitution des pièces. Par exemple, aux États-Unis plus de 8000 usines produisent les pièces nécessaires à la construction de dispositifs d'artillerie à la fin de la guerre. Il devint rapidement évident qu'une standardisation des dimensions de ces pièces à l'échelle de la nation était nécessaire pour permettre leur assemblage. Le nombre des composants et la précision requise dans leur forme et leur taille sont telles que non moins de 800 calibres (les étalons physiques qui servent de référence pour vérifier la taille des pièces mécaniques) sont nécessaires à la manufacture d'une cartouche²⁷.

Un système unifié de calibres de haute précision est ainsi progressivement introduit dans les usines, comme s'en souvient l'ingénieur britannique F. H. Rolt:

«Up to the beginning of the First World War, Johansson gauges [calibres à bouts] were generally looked upon as a novelty and tended to find a place in a glass case in a laboratory rather than in the workshops, where their need originated. [...] The art of engineering measurements entered quite a new era during the First World War, which brought with it an unprecedented demand for the large-scale production of weapons, ammunition, military vehicles and aircraft, all calling for precision in manufacture. It was then that slip gauges found their way into many tool rooms.»²⁸

Pour que l'interchangeabilité des pièces puisse devenir une réalité, il est aussi nécessaire d'organiser des systèmes de contrôle des calibres. Au Royaume-Uni, le contrôle des calibres étalons se fait à une échelle sans précédent au National Physical Laboratory. En 1917, 10 000 calibres de munition y sont contrôlés chaque semaine par une équipe de 420 personnes, une augmentation énorme par rapport aux 1000 calibres contrôlés par an auparavant²⁹. En France, la section Technique de l'Artillerie continue d'être responsable de ce travail pendant la guerre, assistée par le Laboratoire d'Essais placé temporairement sous l'égide du Ministère de l'Armement. La précision requise des nouveaux calibres entraîne à son tour l'application de méthodes scientifiques de mesure pour les contrôler. C'est ce que sou-

26 Le meilleur exemple de cette évolution est la série d'usines construites par Ford, qui culmine avec l'usine de River Rouge, édiflée à partir de 1917, décrite par Lindy Biggs comme le prototype de l'usine rationnelle, «a factory planned to fit the production process rather than the constraints of building technology or power transmission». Lindy Biggs, *Rational Factory, Architecture, Technology and Work in America's Age of Mass Production*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 1996, p. 162. Sur l'histoire de la production industrielle voir aussi Nathan Rosenberg, «Technological change in the machine tool industry, 1840–1910», *Journal of Economic History* (23), 1963, pp. 414–443; David Noble, *Forces of Production, A Social History of Industrial Automation*, New York, Knopf, 1984, 409 p.

27 Rexmond C. Cochrane, *Measures for Progress, A History of the National Bureau of Standards*, Washington, Arno Press, 1966, p. 199.

28 F. H. Rolt, «The development of engineering metrology», *Lecture to the Institution of Production Engineers on 19th March 1952* (Archive du BIPM), pp. 2 et 6.

29 Eileen Magnello, *A Century of Measurement*, Bath, Canopus Publishing, 2000, pp. 61–63.

lignent deux employés du Bureau of Standards américain, C. G. Peters et H. C. Boyd en 1922:

«The extensive use of precision gages necessitated by the small tolerances allowed in the manufacture of interchangeable machine parts has required more accurately determined end standards and more rapid and more precise methods for comparing gages with these standards than have been previously available.»³⁰

Les institutions métrologiques avaient, depuis les années 1890, développé de nouvelles méthodes de mesure qui promettaient une précision très supérieure aux méthodes conventionnelles. Les physiciens Albert Michelson, Alfred Perot et Charles Fabry se basent sur l'interférence des rayons lumineux pour mesurer des longueurs. Ils montrent que les longueurs d'onde lumineuses, étant considérées absolument stables et de dimensions très réduites, se prêtent à la mesure extrêmement précise de longueurs telle que le mètre étalon. En effet, une des tâches du Bureau International des Poids et Mesures est de mesurer régulièrement et très précisément ce mètre pour s'assurer qu'il ne varie pas au cours du temps. En 1892 et en 1907, le BIPM entreprend de le mesurer à l'aide des interférences lumineuses³¹. Ces techniques interférentielles de très haute précision, deviendront couramment utilisées pendant la guerre pour la mesure des calibres étalons qui sont envoyés dans les usines de munitions où ils servent de référence pour tous les autres calibres industriels. Dans les années 1920–1930 les différentes institutions métrologiques développent des comparateurs interférométriques qui progressivement seront commercialisés pour un usage industriel³².

6. Conclusion

C'est ainsi qu'entre 1890 et 1930, les méthodes optiques interférométriques de mesure des longueurs se répandent des laboratoires de physique et des institutions métrologiques à une grande diversité de sites industriels où l'ingénierie de précision participe à la production de pièces mécaniques³³. Bien sûr, et comme les ingénieurs eux-mêmes le soulignent, cela ne signifie pas qu'auparavant ces travaux n'étaient pas précis:

30 C. G. Peters et H. C. Boyd, «Interference methods for standardizing and testing precision gage blocks», *Scientific Papers of the Bureau of Standards* (17), 1922, p. 677.

31 Finalement l'étalon lui-même sera remplacé dans la définition officielle du mètre par une longueur d'onde, celle du krypton, en 1966.

32 A. Pérard, «Procédés actuels pour l'étude des calibres industriels au moyen des interférences lumineuses», *Revue d'Optique Théorique et Instrumentale* (1), 1922, pp. 223–231; W. Kösters, «Anwendung der Interferenzen zu Messzwecken», dans *Handbuch der Physikalischen Optik*, E. Gehrcke (éd.), Leipzig, JA Barth, 1926, pp. 485–490; Rolt, «The development...», art. cit., p. 4.

33 K. J. Hume, *A History of Engineering Metrology*, Londres, Macdonald & Co., 1980, p. 129–131 et 171–177; Laboratoire d'Essais Mécaniques, Physiques, Chimiques et de Machines, *Rapport sur le Fonctionnement pendant l'Année 1929* (1929), p. 32; L. Gages, *Standardisation, Théorie et Pratique des Calibres pour la Production en Série*, Paris, 1919, pp. 4–5; G. Guadet, «La normalisation des dimensions», *Revue d'Optique Théorique et Instrumentale* (1), 1922, pp. 246–249.

«The mechanic of those days was quite skilled in 'fitting' one component to another, and used his craftsmanship to provide just the right amounts of clearance or interference to suit the particular working conditions. These clearances or interferences were seldom reckoned in so many thousandths of an inch, but more often were judged simply by feel.»³⁴

Il faut interpréter cette évolution comme la substitution de formes locales de précision et d'adresse incarnées dans la pratique des mécaniciens par une forme de précision plus quantifiable et généralisable incarnée par les calibres et les comparateurs.

Le moteur de cette évolution est donc le besoin renforcé d'interchangeabilité dans les industries mécaniques. Pour que cette évolution puisse avoir lieu, et la standardisation des dimensions des pièces mécaniques être effectuée, il aura fallu construire des réseaux convergeant vers les institutions métrologiques. Le Bureau International des Poids et Mesures, le Physikalisch-Technische Reichsanstalt, le National Physical Laboratory et le National Bureau of Standards sont des acteurs clés puisqu'ils possèdent les étalons de référence, ainsi que les ressources matérielles et humaines qui permettent de transférer ces standards aux ateliers et usines par l'intermédiaire du contrôle des calibres. Ces institutions se constituent en passages obligés pour la communication et traduction entre les pratiques scientifiques et industrielles, mais aussi en arbitres et coordinateurs de la standardisation de branches entières de l'industrie.

Pour conclure: la Première Guerre mondiale a donc incité une réorganisation de la production d'instruments optiques en France et au Royaume-Uni qui vise à rendre les deux nations indépendantes de la puissance industrielle allemande à court et à long terme. Des structures sont mises en place qui visent à assurer un avenir à l'industrie optique: création de formations d'artisans opticiens, d'associations d'industriels de la branche, de centres de recherche et de contrôle de la production, soutien direct de l'Etat. Dans l'immédiat, l'Etat, les Forces Armées et l'industrie optique s'efforcent d'atteindre la productivité requise par les besoins de la guerre en rationalisant et standardisant la production et les instruments essentiels sur le champ de bataille. Dans cette branche, comme dans les autres industries stratégiques, en particulier de munitions, cette standardisation implique la construction de réseaux métrologiques centrés sur les institutions nationales métrologiques, qui conservent les étalons prototypes des systèmes de mesures, et qui effectuent le contrôle des calibres étalons avant de les envoyer dans les usines et ateliers. La Première Guerre mondiale joue donc un rôle clé dans l'introduction de méthodes, et donc de métrologies scientifiques en milieu industriel, une évolution qui ne cessera de se confirmer au cours du XX^e siècle. Une conséquence importante, qui ne peut être abordée ici, est la généralisation du système métrique en milieu industriel, et même en partie dans le monde anglo-saxon, grâce aux calibres métriques et à la coopération interalliée³⁵.

34 Rolt, op. cit., p. 1.

35 «With the coming of the war, the [Metric] system was rapidly brought before British manufacturers, very many of whom were called upon to manufacture for Allied governments, who would, of course, specify wholly in metric measurements. The rapid development of the new aircraft industry, which has been of an international character, has resulted in this branch using the Metric System very freely.» C. B. Clapham, *Metric System for Engineers*, Londres, 1921, p. 1.

L'intervention de l'Etat dans l'organisation des industries, de la production et des produits conduit par ailleurs à la formalisation des procédures, en particulier de contrôle, l'unification des spécifications, et une spécialisation accrue à l'intérieur des nouveaux réseaux métrologiques. Car l'introduction de méthodes instrumentales de contrôle implique un transfert de compétence des laboratoires scientifiques (où ces méthodes sont développées) vers les bureaux métrologiques, et finalement les sites industriels. Dans le même temps, les pratiques tacites de contrôle antérieures, effectuées par les ouvriers, sont remplacées par des procédures instrumentales effectuées par des scientifiques industriels. Cette spécialisation s'accroît dans l'entre-deux-guerres. La production industrielle sera de plus en plus théorisée par de nouveaux groupes d'experts (concepteurs d'usines, experts en gestion et contrôle de la production³⁶), alors que les premiers laboratoires de recherche industrielle apparaissent, dans les compagnies et à l'extérieur (associations de fabricants, projets de collaboration entre l'Etat et les branches, institutions métrologiques). Cette configuration qui émerge pendant la Première Guerre mondiale possède ainsi de nombreuses caractéristiques de la technoscience, avec ses réseaux couvrant de grands domaines de la société, une standardisation généralisée de la production industrielle, et le rapprochement entre science, industrie et Etat. L'importance des questions militaires, centrales à la technoscience, a aussi été démontrée. Ceci suggère une réévaluation de la chronologie associée à cette configuration: car loin d'apparaître dans les années 1940, elle prend sa source dans les décennies précédentes et en particulier la Première Guerre mondiale.

36 Le terme même de contrôle prend un nouveau sens dans les années 1920–30, alors qu'un nouveau groupe de professionnels imbu d'enthousiasme technocratique pénètre les industries et les gouvernements. M. R. Levin, «Contexts of control», dans *Cultures of Control*, op. cit., p. 25.