

Du Système métrique au Laboratoire d'essais : le Cnam et la Métrologie nationale (1795–1960)

Claudine Fontanon

Centre Alexandre Koyré, EHESS et HT2S, Cnam.

Loïc Petitgirard

HT2S, Cnam.

Résumé

Au fil du XIX^e siècle, le Conservatoire est devenu un des lieux techniques assurant la diffusion du Système métrique. Il prend une place centrale dans le dispositif national de métrologie, aboutissant à la création du Laboratoire d'essais en 1900. L'article vise à caractériser les trois phases de cette dynamique : entre 1795 et 1848, le Conservatoire accompagne le Système métrique ; de 1848 à 1900, l'action d'Arthur Morin propulse le Conservatoire comme acteur technique majeur de la Métrologie française et internationale ; après 1900, on montre la perte de leadership, les divergences et crises qui marquent l'institution, avant l'orchestration de la restructuration de la Métrologie nationale dans les années 1960.

Introduction

Les relations entre le Cnam et la Métrologie nationale se sont construites au cours du XIX^e siècle, en plusieurs étapes et aboutissements. Soulignons que le terme « métrologie » recouvre progressivement au XIX^e siècle celui de « Poids et Mesures », qui englobe la conservation et le développement des références pour les longueurs, les masses, etc. Selon les périodes nous emploierons alternativement l'un ou l'autre terme. Nous allons montrer qu'au fil du XIX^e siècle, le Conservatoire est devenu un lieu technique majeur dans le projet d'élaboration et d'extension du Système métrique, qui le conduit au centre du dispositif métrologique national. Mais passé 1900, plusieurs acteurs prennent leur marque et responsabilité en métrologie : le Laboratoire central d'électricité (dès sa création en 1880), l'Observatoire de Paris (pour les références de temps), le

CEA pour les questions de mesures en radioactivité après 1945. Ces négociations ont pour toile de fond le développement du BIPM (Bureau international des poids et mesures) assurant la coordination des références métrologiques à l'échelle internationale, et situé lui aussi sur le territoire français, à Sèvres. Au fil des répartitions des missions métrologiques se pose plusieurs fois la question de la réorganisation possible de la Métrologie nationale, dans un système centralisé et intégré, qui doit composer avec un Cnam toujours central. Mais rien ne s'engage véritablement dans ce sens avant le tournant des années 1960.

Nous allons voir que cet héritage est constitué d'une histoire d'acteurs, de normes, d'institutions, qui remontent aux temps de la Révolution française et de l'industrialisation de la France. L'héritage est un tissu de relations construites sur cette longue période entre État, industrie, militaires, savants et ingénieurs. Ce réseau trouve des homologues dans d'autres pays mais dans lesquels les relations se sont institutionnalisées selon d'autres modalités, d'autres chronologies. La Grande-Bretagne, l'Allemagne et les États-Unis sont les trois points de références qui sont convoqués dans les projets des années 1960 : nous porterons la comparaison au XIX^e siècle concernant le domaine des « Poids et Mesures ».

L'héritage c'est aussi une dépendance à la précision. La montée en puissance de la science, la technique et l'industrie, d'une part, et de la centrali-

sation des états d'autre part, sont les deux motivations, concomitantes, qui génèrent un besoin croissant de quantification, d'étalons et de précision. La précision va de pair avec la construction d'instruments, d'accords (entre personnes, entre institutions), de normalisation (selon des normes édictées par des états ou institutions) et de standardisation de produits manufacturés. Les grands établissements en charge de ces questions sont construits à la fin du XIX^e siècle dans tous les pays industrialisés. D'une certaine manière, en France, c'est le Cnam qui a été positionné pour cette responsabilité au fil du XIX^e siècle.

Cette histoire est dense, longue, indispensable pour éclairer ce qui se joue dans les années 1960, au milieu des Trente Glorieuses. Pour comprendre cet héritage, nous allons en donner les lignes de force, en prenant le Cnam comme point focal et comme prisme. En nous appuyant à la fois sur l'historiographie existante et sur les archives de l'institution, nous proposons une histoire de ces relations à la métrologie en trois périodes, articulée par deux dates essentielles dans l'institution : 1848, qui marque le transfert du Bureau des poids et mesures du ministère du Commerce vers le Conservatoire ; et 1900, qui correspond à la création du Laboratoire national d'essais (LNE) intégré au Conservatoire (qui devient Conservatoire « national » des arts et métiers dans ce moment de restructuration de l'établissement). À chacune de ces périodes nous rapporterons les évolutions

des missions métrologiques confiées au Cnam, au contexte et enjeux à l'échelle nationale et internationale, sur le terrain économique, politique, institutionnel et industriel.

Dans la première période, de 1790 à 1848, nous verrons que le Conservatoire est un participant parmi d'autres au développement du Système métrique, jusqu'à l'établissement du Bureau des poids et mesures au Conservatoire. De 1848 à 1900, le Conservatoire prend en charge la diffusion du système, réalise des travaux sous la houlette de Tresca et Morin. Le Conservatoire est acteur, voire pilote, de la métrologie à l'échelle nationale et internationale, avec un enjeu de prestige autant que de développement économique et industriel. La création du Laboratoire d'essais, qui prend en charge les questions de contrôles, d'essais et de métrologie, ouvre la troisième période : de 1901 aux années 1960, c'est une période marquée par les turbulences et des crises récurrentes, avec pour problématique essentielle, celle de la mise en place d'un organisme central, national, pour la métrologie et les essais. Nous concluons sur l'état des relations entre la Métrologie nationale et le Cnam, à l'aube des restructurations des années gaulliennes (qui font l'objet du texte de Loïc Petitgirard dans le présent dossier).

Première période – 1790-1848 : accompagner le Système métrique

Le Conservatoire des arts et métiers et le Système métrique sont créés par décrets de l'an III¹. Pour caractériser le rôle du Conservatoire sur cette période, et saisir la responsabilité qu'il endosse à partir de 1848, il est nécessaire de préciser le contexte dans son ensemble, et de revenir aux racines du Système métrique. Car au-delà de la conjonction de dates de création, il existe des déterminants communs à ses créations dans la phase révolutionnaire, qui orientent les développements consécutifs de ces relations.

Qu'est-ce que le Système métrique ?

En se référant aux textes de loi successifs des années 1790, le Système métrique instaure un nouvel ensemble de « Poids et Mesures », un système d'unités, décimalisé, uniformisé, cohérent, à base scientifique : le mètre comme référence pour les longueurs, le kilogramme pour la masse, le Franc pour la monnaie, etc. Une autorité administrative, l'Agence temporaire des Poids et Mesures accompagne ce proces-

¹ Le Conservatoire des arts et métiers est créé le 10 octobre 1794 (19 Vendémiaire, an III). Le 7 avril 1795 (18 Germinal, an III) la Convention adopte le Système métrique.

sus de transformation² pour une courte période (Legendre, 1795 ; Prieur, 1795), et cette fonction sera transférée à différents bureaux des ministères successifs s'occupant des travaux publics (Garnier, 1990 ; Marquet, 1997).

Selon Ken Alder, dans les esprits et dans la réalité, les enjeux liés à la mise en œuvre du Système métrique sont complexes, autant scientifiques, qu'économiques, politiques et philosophiques (Alder, 1995). Le Système métrique n'est pas seulement un projet d'uniformisation des étalons de mesure, qui étaient jusque-là très éclatés, incohérents à l'échelle du territoire français et dont la définition était laissée à des pouvoirs locaux. Il est la première occurrence d'un processus de normalisation à grande échelle dans les sociétés modernes. La norme est fixée par les savants, transformée en lois par et pour un état, et son système bureaucratique : c'est cette conjonction qui sous-tend la standardisation qui se généralisera aux pays industrialisés aux XIX^e et XX^e siècles. Auparavant, les communautés locales veillaient sur leurs étalons, leurs standards, pour préserver leur économie locale de la compétition³.

² L'Agence temporaire est créée le 11 avril 1795, avec plusieurs commissaires aux travaux, dont Vandermonde. Pour les détails de cette mise en œuvre administrative, voir (Marquet, 1997), (Alder, 2005, pp. 247-248).

³ Précisons, en outre, qu'il y a une grande latitude entre le système proposé et les demandes formulées dans les Cahiers de doléances (ce sont les registres, tenus dans l'Ancien Régime, renseignant les vœux et doléances des assemblées en charge d'élire les députés aux États généraux). Parmi les doléances, celle de l'uniformisation

Dans une perspective économique et politique, c'est un projet d'une élite parvenue au pouvoir à la faveur de la Révolution française, pour renverser le modèle économique de l'Ancien Régime et instaurer une économie de marché. Le Système métrique est un nouveau langage rationnel pour les échanges économiques, autant qu'un ciment de la République. Un système qui participe du projet de faciliter les échanges, entre des régions lointaines, avec des ressources complémentaires mais qui n'avaient pas pu se rencontrer faute de normes communes.

Pour ces promoteurs, à l'image de Condorcet⁴, le système s'inscrit dans la recherche d'un langage assurant une plus grande justice sociale, par une simplification du calcul de l'intérêt de chacun. Le système assure les mêmes droits à tout citoyen, et un accès au savoir, pour qu'il puisse devenir réellement libre. La Révolution consacre les noces de la science et de la démocratie, et l'accent porté sur le rapport à la « Nature » est tout à fait significatif : le mètre est défini par rapport à la longueur du méridien terrestre, pour élever cette création au-dessus des intérêts, le faire passer pour

du système de référence est récurrente. Mais au-delà de l'expression de ce souhait, le Système métrique prend des références reposant sur « la nature » alors qu'il était envisagé une généralisation des mesures parisiennes. La décimalisation est aussi une nouveauté, car le système en base 12 était répandu (Alder, 1995, p. 49).

⁴ C'est ce qu'il dessine dans son « Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain » (Condorcet, 1794). Cf. également (Baker, 1975) et (Alder, 1995, p. 40).

« non arbitraire » et indépendant de ses créateurs (Alder, 1995, pp. 49-50).

Dans cette période de turbulences politiques et de reconstruction des systèmes de légitimité, c'est aussi un projet de contrôle du territoire national, de contrôle social, de contrôle économique. D'ailleurs, le Système métrique mettra plusieurs décennies à s'installer dans les pratiques quotidiennes, et même scientifiques et techniques. Les gouvernements révolutionnaires n'ont pas réussi à l'imposer et les tentatives ont semé la confusion sur les places de marché. On peut adhérer à l'interprétation selon laquelle les ramifications de l'État n'étaient pas suffisantes et profondes pour assurer le basculement des systèmes de référence (Wise, 1995, pp. 92-93).

On saisit les parallèles entre les philosophies sous-jacentes aux projets du Système métrique et du Conservatoire, leur caractère complémentaire également, avec la perspective du développement économique, industriel d'une part, et la volonté de donner accès aux savoirs et aux techniques, pour l'émancipation des citoyens.

En outre, dès les premiers temps de la mise en place du Système métrique, le Conservatoire est un établissement mis à contribution pour la confection et la diffusion des étalons métriques. L'académicien Alexandre Vandermonde (1735-1796) est intervenu dans la mise en place du Système métrique (Guedj,

2000⁵), et devient un des premiers démonstrateurs du Conservatoire. Dès 1795, il poursuit les travaux scientifiques sur l'étalon du mètre. Le Conservatoire reçoit à ce moment-là, en dépôt, le prototype d'étalon de longueur de Lenoir⁶, et, sous le pilotage de Vandermonde, lui incombe la charge de réaliser des copies à envoyer ensuite dans les départements (Morin, 1870a, p. 602). Alors que le Conservatoire n'est pas encore organisé complètement, un atelier est mis en place pour cette série de réalisations.

Imposer le Système métrique

Durant la phase révolutionnaire, l'an III particulièrement, se tissent les premières relations entre le Conservatoire, le Système métrique et l'activité métrologique. Sortie de cette phase, le contexte napoléonien impose une inflexion de trajectoire. Napoléon en effet renvoie la France à des anciens standards et c'est seulement sous la Monarchie de Juillet que le système sera installé, par la loi. En 1837, sous le ministère Guizot, le Système métrique est rendu obligatoire à partir de janvier 1840, à l'exclusion de tout autre système d'unités⁷. Le 17 avril 1839 est également organisé le Service de véri-

⁵ Voir en particulier le chapitre XIV.

⁶ Ce prototype en laiton est présenté au Comité d'Instruction publique le 6 juillet 1795.

⁷ Pour cette partie, nous renvoyons à l'ouvrage sur la diffusion du Système métrique en France et à l'étranger (Garnier, 1990).

ficateurs départementaux des poids et mesures sous la surveillance des préfets. Ils sont en charge de la vérification de l'application des unités métriques et de la précision des instruments de mesure, pour assurer de justes échanges.

La diffusion s'organise et s'amplifie en France comme à l'étranger. Le ministre du Commerce Cunin-Gridaine déclare en novembre 1841 son intention d'étendre les comparaisons avec les puissances commerciales en relation avec la France et d'offrir à chaque état une collection d'étalons métriques (mètre, kilogramme et litre). Le Conservatoire a produit et diffusé ces étalons métriques aux états, et 18 pays seront destinataires. C'est de cette époque que date l'entrée dans les collections du Musée des séries de poids et mesures étrangères en particulier russes, italiennes, allemandes, etc. Selon la loi de 1837, une première vérification des étalons devait avoir lieu avant 1849. Malgré l'insistance d'Arthur Morin, professeur de mécanique appliquée au Conservatoire, récemment nommé directeur du Conservatoire, et fervent industrialiste, rien n'est engagé avant 1848.

Dans cette première période, le Conservatoire joue son rôle d'acteur du développement économique, industriel, prenant part à l'emprise de l'administration étatique sur la société. Peu à peu le Conservatoire s'impose comme le partenaire adéquat du Système métrique, un lieu technique essentiel, bien loin des trajectoires des autres

Écoles de l'an III à caractère scientifique que sont l'École polytechnique et l'École normale supérieure. Il se construit des relations entre savants, industries et État, au niveau national et déjà international. Ces relations sont sous-tendues par le projet révolutionnaire d'imposer le Système métrique « *à tous les temps, à tous les peuples* » et conduiront le Conservatoire au centre de ces relations, après 1848 (Moreau, 1975)⁸. L'uniformité est une valeur cardinale pour les bureaucrates, les marchands, les consommateurs, les savants. La précision est nécessaire pour assurer, maintenir, autoriser cette uniformité (Wise, 1995, p. 93). L'uniformité et la précision correspondent à des besoins économiques, industriels, scientifiques et ils sont inscrits dans les gènes du Système métrique. Le Conservatoire assure progressivement une fonction de partenaire technique indispensable à la fabrication de la précision. Mais, alors qu'il avait été pensé comme un système émancipateur, le Système métrique est finalement imposé par la contrainte⁹.

⁸ Voir aussi (Garnier, 1990), (Alder, 1995) et (Alder, 2005).

⁹ Benjamin Constant (1767-1830) voyait dans l'uniformisation des « Poids et Mesures » le symbole de la tyrannie de l'uniformité, celle qui atomise les pouvoirs et coutumes locales, relayé par l'État moderne. Chapitre XIII « De l'uniformité » *in* (Constant, 1813).

Deuxième période – 1848-1900 : promouvoir le Système métrique

En avril 1848, le Conservatoire devient le dépôt central des étalons et prototypes du Système métrique, mission confiée par le ministre de l'Agriculture et du Commerce « *dans l'intérêt de la science et de l'industrie* » (Bernard, 1994, pp. 43-44; Le Moël et Fontanon, 1994). Le dépôt est désormais placé sous la tutelle de l'administrateur et physicien, Claude Pouillet. Il s'agit d'assurer la fonction de conservation des étalons de mesure, et leur mise à disposition des usagers. Le Conservatoire est pleinement dans les missions qui ont présidé à sa création : conserver une collection de machines en état de marche, pour les « démontrer » au public, les mettre à disposition des artisans, des industriels, dans une œuvre de développement technique et industriel national.

En prolongement des liens tissés avant 1848, le Conservatoire devient le cœur de toute l'activité de promotion du Système métrique décimal, dans un contexte encore complexe eu égard à la lente diffusion des références sur le territoire. Cette décision a pour effet immédiat de faire entrer dans les collections du Conservatoire plus de 200 appareils, notamment : la pile de Charlemagne comparée au kilogramme par Lavoisier, le mètre prototype en platine identique à celui des Archives et plusieurs kilogrammes en laiton provisoires de 1793 (Borda et Brisson) ainsi que tous les instruments

de précision du service de vérification du ministère (balances, comparateurs).

Dans les vingt ans qui suivent cette décision s'engage un vaste programme de vérification des étalons départementaux. Cela dit, la faiblesse des crédits ne permet pas de distribuer également les étalons prototypes aux départements dès 1848. La vérification décennale de ces étalons avait été prescrite par l'ordonnance de 1839, et, en 1852, sous le directorat d'Arthur Morin, un projet d'exécution est élaboré au Conservatoire mais ne reçoit aucune réalisation. Il faut attendre 1863 pour que cette vérification soit enfin mise à l'étude, conséquence des accords internationaux en train de se mettre en place (cf. *supra*).

Au fil du XIX^e siècle se construit ainsi le système de confiance adjacent à la transformation et à l'uniformisation des poids et mesures. Pour les pratiques quotidiennes, comme pour les échanges commerciaux et les travaux scientifiques, la question clé est : « à qui fait-on confiance » ? La symbiose entre l'État, l'industrie, le commerce et les savants, se comprend dans la mesure où il s'agit de donner une réponse solide, uniforme à cette question.

L'action de Morin et Tresca au Conservatoire

Le Conservatoire porteur des « Poids et Mesures » à l'échelle française, par l'entremise de son directeur Arthur Morin, intervient dès 1851 à l'Exposition universelle de Londres pour

faire la promotion du Système métrique (Bigourdan, 1901)¹⁰. C'est également la date de la première rencontre avec Henri Tresca qui jouera par la suite un rôle important comme professeur de mécanique, comme directeur adjoint et membre de la commission spéciale des poids et mesures de l'établissement (Fontanon, 1994; Belhoste, 1994). Ensemble, ils vont initier au Conservatoire le Laboratoire d'essais de machines, en 1851-52¹¹. Dans l'église du Conservatoire est installée une Salle des machines en mouvement. Ce laboratoire servira de modèle pour d'autres à l'étranger, puis inspirera le futur Laboratoire d'essais. Les comptes rendus des opérations réalisées dans ce laboratoire seront publiés dans les *Annales du Conservatoire* après 1861. Le Conservatoire, avec ce lieu technique sans équivalent, peut devenir le fer de lance de l'activité métrologique en France. Il est, avant les développements dans les pays voisins, le lieu où s'articulent les besoins industriels, les recherches plus académiques et les intérêts de l'État, civils et militaires. Faut-il encore souligner qu'Arthur Morin, de par son long mandat à la tête du Conservatoire (1849-1880), et sa promotion de général en 1854, est le personnage central de cette aventure.

L'Exposition universelle de Paris en 1867 est décisive dans le déploiement du Système métrique. Morin et Tresca jouent un rôle moteur qui aboutira par

¹⁰ Voir ci-après pour plus de détails sur ce contexte des Expositions universelles.

¹¹ Voir les notices biographiques, *ibid.*

exemple à faire adopter le système dans 14 pays¹², en même temps qu'ils assurent, en 1868, que tous les bureaux départementaux français soient dotés des trois étalons secondaires.

Peu de temps auparavant, en octobre 1863, le général Morin avait demandé la création d'une commission interne (composé de son adjoint Tresca, Froment, fabricant d'instruments de précision et Sibermann, conservateur des collections du musée) afin de procéder à la comparaison officielle des deux étalons du Conservatoire et de ceux des Archives (Morin, 1870b). L'opération terminée, les étalons et les instruments de précision sont réunis pour former une collection du musée sous la responsabilité de Silbermann.

Le Conservatoire, dans cette période, acquiert une place grandissante dans les « Poids et Mesures », par les travaux de Morin et Tresca, jusqu'à l'établissement du Laboratoire d'essais. Le Conservatoire devient le lieu d'où émanent les étalons, il faut réaliser la portée symbolique de cette prouesse technique pour mesurer l'aura de Morin, Tresca, du Conservatoire et de la France dans cette période, chargée

¹² En 1868, le Reichstag adopte un projet de loi portant sur l'introduction du Système métrique dont l'usage légal sera mis en vigueur en 1872, puis ce sera le tour de l'Autriche, du Danemark, de la Belgique et de la Hollande, de l'Espagne, etc. En 1872, ce sont 28 états et 490 millions de personnes qui dans le monde ont adopté le Système métrique des poids et mesures (Bigourdan, 1901; Moreau, 1875; Garnier, 1990).

de l'héritage révolutionnaire, républicain, universalisant. Nous sommes à l'apogée de la construction du réseau impliquant l'État, le Conservatoire et la Métrologie nationale.

L'institutionnalisation de l'activité métrologique au Conservatoire va de pair avec une extension du domaine du Système métrique. En septembre 1869, Napoléon III approuve le rapport proposant la création d'une Commission spéciale chargée de préparer les travaux d'internationalisation du Système métrique¹³. Morin aura convaincu de créer une commission internationale des Poids, Mesures et Monnaies, avec une section française. Cette section française devait être composée de Claude-Louis Mathieu (président), du général Morin (vice-président), de Tresca (secrétaire), d'Urbain Le Verrier, Auguste Laugier, Hyppolite Fizeau et Henri Saint-Claire Deville.

Après invitation des puissances étrangères, 26 pays acceptent, 15 délégués seront présents finalement, du fait de la guerre de 1870 (Marquet, 1975, p. 5-9). En août 1870 les savants se réunissent à la première Commission du mètre, au Conservatoire. Peu de temps après, à

¹³ La commission est prévue pour être présidée par l'académicien (depuis 1817), Mathien, arguant que « *comme toute économie de travail, tant matériel qu'intellectuel équivalant à une véritable augmentation de richesse, l'adoption du Système métrique qui se range dans le même ordre d'idées que les machines et les outils, les voies ferrées, les télégraphes, les tables de logarithmes, se recommande particulièrement sous le point de vue économique* » (Bigourdan, 1901, p. 250 ; Moreau, 1975).

Paris, se tient la Conférence diplomatique du mètre (1^{er} mars au 20 mai 1875) à laquelle 17 états signent le traité connu sous le nom de « Convention du mètre ».

Il n'est pas question ici de faire l'histoire de cette Commission internationale du mètre qui se tient à Paris, dans les locaux du Conservatoire, de 1870 à 1875. Mais de rappeler que Morin et Tresca y jouèrent un rôle de premier plan comme organisateurs. Une bonne partie des procès-verbaux des séances a été publiée dans les *Annales du Conservatoire* par les soins de Morin. Un temps fort a été, fin 1871, le choix du métal du mètre prototype européen soumis à la section française : le choix est celui du platine iridié dont la fonte eut lieu au Conservatoire le 1^{er} mai 1874 sous la direction de Saint-Claire Deville en présence du président de la République, Mac Mahon (Marquet, 1975, p. 7).

La création en janvier 1876 d'un « Bureau international des poids et mesures » BIPM installé sur recommandation du Général Morin au Pavillon de Breteuil, à l'entrée du parc de Saint Cloud, est un événement qui ne fut pas sans conséquence sur l'activité du Conservatoire. Depuis cette date, le Conservatoire a livré aux états qui ont adhéré à la Convention du mètre 30 étalons en platine du mètre à trait, 6 étalons en platine du mètre à bout de 40 kilogrammes.

La décennie 1880 débute sous d'autres auspices, même si le nouveau directeur du Conservatoire, Aimé Laussédats

(1819-1907), souhaite poursuivre l'entreprise de Morin. Le Laboratoire de Morin et Tresca est fermé, faute de crédits pour fonctionner, et cette fermeture sera définitive. Laussédats est lui aussi polytechnicien (X 1838), professeur de géométrie appliquée au Conservatoire (1871), général introduit dans la sphère militaire, mais il ne bénéficie pas des mêmes appuis politiques que son prédécesseur. Le Conservatoire entame un léger déclin, jusqu'à sa restructuration au tournant de 1900.

Dans le même temps, l'action internationale en « Poids et Mesures » a pour conséquence l'instauration d'un « Bureau national scientifique et permanent des Poids et Mesures » en 1880. Dans le rapport préalable au décret de création, il est écrit : « *Si le Conservatoire des arts et métiers satisfait aux besoins de la métrologie usuelle, rien n'avait été constitué en vue de la métrologie scientifique* »¹⁴. Le Bureau siège au Conservatoire, dans la logique de développement depuis 1848. Il est constitué de 14 membres¹⁵, représen-

tant les grandes institutions impliquées en France, en « Métrologie usuelle » et « Métrologie scientifique » (on notera que ces termes apparaissent probablement pour la première fois dans des textes officiels). Les prérogatives et les missions de ce Bureau sont la conservation des étalons, la construction de prototypes et le maintien des relations avec le BIPM.

Ce qui se noue au Conservatoire au milieu du XIX^e siècle prend d'autres formes en Angleterre et en Allemagne, avec des chronologies différentes. Mais on retrouvera la même grande constante de mise en symbiose des parties prenantes, dans la perspective d'établir des références et étalons nationaux, nécessaires à chacune. Ces comparaisons sont importantes pour comprendre l'évolution nationale vers le Laboratoire d'essais, et mieux saisir, à l'horizon international, la naissance, annoncée plus haut, du Bureau international des poids et mesures après 1875.

La Grande-Bretagne et le National Physical Laboratory

Pour proposer un raccourci des développements en métrologie dans le royaume britannique, disons qu'il est initié par quelques physiciens éminents : William Thomson (1824-1907), James C. Maxwell (1831-1879), Lord Rayleigh

Monnaie de Paris), Debray (maître de conférences à l'École normale supérieure), Mascart (professeur au Collège de France), Mayer (École centrale), Girard (directeur du Commerce intérieur au ministère) et Génot (vérificateur en chef des poids et mesures à Paris).

¹⁴ Décret du 8 octobre 1880 et rapport au Président du 7 octobre 1880 (au Journal Officiel).

¹⁵ Le président est J.-B. Dumas (secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences), le vice-président est Joseph Bertrand (secrétaire perpétuel de l'Académie des sciences), signent de l'importance prise par les « savants ». Les autres membres sont : Maury (directeur général des Archives nationales), Hervé-Mangon (directeur du Conservatoire des arts et métiers – il s'agit de la transition entre Morin et Laussédats), Sainte-Claire Deville (professeur à la Faculté des sciences), le Colonel Perrier (membre du Bureau des longitudes), l'Amiral Mouchez (directeur de l'Observatoire de Paris), Laussédats (alors directeur des études de l'École Polytechnique), Pélignot (directeur des essais à la

(1849-1919). Thomson, après ses études à Cambridge est venu en France, chez le physicien Henri Victor Régnauld (1810-1878), spécialiste des mesures thermométriques et ayant réalisé des travaux sur la normalisation des mesures de température. Thomson est impliqué par ailleurs, dans la Philosophical Society of Glasgow où se nouent les relations entre monde académique, commercial et industriel (Wise, 1995, p. 225). Thomson devient au milieu du XIX^e siècle un personnage central dans le complexe industriel-académique britannique, avocat de la mesure de précision en physique, acteur incontournable de ces questions dans les années 1840-1860. Il est aussi un artisan des réseaux télégraphiques, des liaisons intercontinentales du télégraphe électrique dont l'importance doit être soulignée. Thomson est au carrefour de la science, de l'ingénierie, du marché et du gouvernement britannique. Mais il n'existe pas de lieu dédié aux travaux de précision sur les étalons avant que Maxwell oriente le Cavendish Laboratory sur ce sujet, vers 1874 (Tunbridge, 1992 ; Smith, 1992).

Comme le rappelle Simon Schaffer dans (Wise, 1995), le lien entre la métrologie et les valeurs commerciales étaient très en vogue parmi les physiciens et ingénieurs victoriens. William Thomson disait à Maxwell en 1871 que l'établissement de nouvelles unités électriques serait propulsé par les nouveaux marchés¹⁶. Maxwell

défendait ce *credo*, articulant les rôles du savant, de l'industriel et de l'État :

Physics must set up its standards as "national treasures". The man of business requires these standards for the sake of justice, the man of science requires them for the sake of truth, and it is the business of the state to see that our measures are maintained uniform.¹⁷

Le successeur de Maxwell au Cavendish en 1879 sera le « gourou » de la précision parmi les physiciens britanniques : John William Strutt, Lord Rayleigh. Il sera l'artisan, avec son assistant (et futur administrateur) Richard Glazebrook (1854-1935) du National Physical Laboratory installé à Teddington en 1899. Loin de se résumer à ces filiations entre professeurs de Cambridge, le développement du NPL, un des tout premiers grands laboratoires nationaux de métrologie, est appuyé par un ample réseau de collaborations, entre plusieurs institutions, qui travaillent ensemble à la définition des références, et à la notion de précision adéquate à ce projet¹⁸. Le rôle des militaires a été souligné par

express it in numbers, you know something about it; but when you cannot express it in numbers, your knowledge is of a meagre and unsatisfactory kind; it may be the beginning of knowledge, but you have scarcely, in your thoughts, advanced to the stage of science, whatever the matter may be. » (Wise, 1995, p. 136).

¹⁷ Citation reprise de (Wise, 1995, p. 136 et p. 164), tirée d'un texte de Maxwell datant probablement de 1867 « Dimensions of physical quantities » (Cambridge University Library).

¹⁸ Cf. en particulier les textes de S. Schaffer et N. Wise dans (Wise, 1995).

¹⁶ C'est dans ce cadre d'ailleurs qu'il faut interpréter la célèbre citation de Thomson : « *I often say that when you can measure what you are speaking about, and*

Martina Schiavon¹⁹, Alexandre Strange et Douglas Galton sont deux officiers qui suscitent l'implication de l'État sur ces questions. Ils font en sorte de concilier les prétentions des scientifiques et les intérêts de l'État.

Le NPL devient le lieu clé de voûte du système de confiance qui se construit en Grande-Bretagne. Il faut réaliser qu'il s'agit d'un processus de 30 ans de débats, de réflexions, sur les missions et enjeux d'un tel établissement. Son caractère « national » est également circonstancié : il est lié à la question d'un financement par l'État, qui est un enjeu et non un acquis à ses débuts ; cette prise plus directe de l'État sur le NPL est congruente aussi à l'extension de l'Empire et la standardisation des produits dans les colonies.

L'Allemagne et le Physikalisch-Technische Reichanstalt

La trajectoire allemande est différente, sur le fond, car la construction de la confiance et la crédibilité des étalons reposent davantage sur des choix de méthodes et de procédures. Les méthodes visant à éliminer les erreurs, fiabiliser les mesures, sont plus importantes que la confiance dans des savants ou des laboratoires prestigieux : confiance dans les procédures, plus que confiance dans ceux qui opèrent les mesures (Wise, 1995, p. 228). La méthode des « moindres

carrés » pour la réduction des erreurs de mesure se développe sans conteste en Allemagne à cette période (initié par Carl Gauss, Friedrich Bessel et Heinrich Dove). Kathryn Olesko souligne que les universités Allemandes, accueillant des étudiants de la classe moyenne, en particulier issue des services publics, partagent cet attachement aux procédures : la vie de ces étudiants au sortir de ce moule entre d'autant plus en résonance avec les sirènes de la bureaucratie, privilégiant elle-même les procédures uniformes. Alors que des universités comme Cambridge et Oxford, universités privées, sans le contrôle direct de l'État, dont les professeurs ne sont pas serviteurs de l'État, assurent une fonction de gentrification : elles conduisent les étudiants ainsi formés à adhérer à d'autres valeurs que ces procédures, privilégiant la reconnaissance des pairs.

La création du Physikalisch-Technische Reichanstalt, en 1887 la première institution nationale scientifique et technique, répond aux besoins de l'Empire bismarckien²⁰. Le pays est dans une ère d'unification politique, de modernisation de l'État, de développement industriel sans précédent : les références nationales, les standards sont des ingrédients indispensables à ce processus indissociablement scientifique, industriel et politique. Le PTR est très directement associé au développement des industries électriques et optiques qui ne peut pas

¹⁹ Voir les pp. 337-38 tout particulièrement de (Schiavon, 2014).

²⁰ L'étude la plus complète et approfondie, dont nous tirons les grandes lignes, « An Institute for an Empire », résume cette perspective (Cahan, 1989).

faire sans une recherche technologique à base de recherches scientifiques de premier plan. Terry Shinn a montré que la genèse du PTR est le fruit de négociations entre plusieurs groupes d'acteurs : les industriels, les ingénieurs et savants, les fabricants d'instruments, tout particulièrement ceux de mécanique et d'optique (Joerges et Shinn, 2001).

Les principaux artisans du PTR sont ses promoteurs et leaders : Werner Siemens (1816-1892) et Heinrich Helmholtz (1821-1894). Le premier est un scientifique accompli et industriel de renom ; c'est lui qui va financer la construction du PTR, et placer le second, son ami et physicien probablement le plus célèbre de son temps, Helmholtz, à la tête du PTR. Le PTR tel qu'ils le conçoivent est un établissement de l'État impérial mais Siemens ne veut pas seulement un laboratoire dédié aux besoins technologiques directs, et rentables. Il souhaite un laboratoire de recherches « pures » s'intéressant aux questions technologiques, ce qui ne s'instaurera pas sans réticences. Au final, le PTR parvient à concilier les intérêts des parties prenantes, en un programme clair.

Divergences nationales, convergence internationale

Les situations allemande, anglaise et française ont des dynamiques différentes, tout en répondant aux mêmes enjeux qui sont à la fois de définir un système de référence, de construire une confiance dans ce système pour

l'adhésion de tous, d'assurer sa dissémination dans une économie et sur un territoire. Il faut également entretenir dans le temps le système, le perfectionner, améliorer la précision. La création d'un laboratoire national marque la maturité scientifique, industrielle et politique de l'État, et il entérine ces relations symbiotiques. C'est un aboutissement du processus, à la fin du XIX^e siècle, dont les fruits viendront au fil du XX^e siècle.

Nous avons vu, en outre, que la dynamique en France, entre Système métrique et Conservatoire, repose sur un système qui mûrit depuis 1790. La clarification de cette organisation est en quelque sorte décalée dans le temps par rapport à la maturité de son assise scientifique. L'entreprise de l'étalonnage du mètre sur la méridienne, et de nombreux autres travaux sur les masses ou les températures, ont donné un certain prestige à la France et permis d'installer un système pour assurer la qualité des mesures. Mais à l'inverse de la situation britannique et allemande, il faut souligner qu'avec la création du Laboratoire central de l'électricité, la dynamique sur la fin du XIX^e siècle n'est pas à la convergence organisationnelle. En effet, après l'Exposition internationale de l'Électricité en 1881 et le Congrès des électriciens, se met en place, en 1882, le Laboratoire central de l'électricité (LCE) (Caron et Cardot, 1991 ; Grelon, 1997). Il s'agit au départ de prolonger les travaux du congrès, sur les études des étalons électriques. Il prendra en charge les questions scientifiques et techniques

d'une industrie électrique en plein essor, devenant un service technique pour l'industrie. C'est ce que fait le PTR en Allemagne par exemple. Le LCE fera émerger parallèlement l'École supérieure d'électricité pour former les ingénieurs de cette industrie.

En même temps que s'organisent ces réseaux nationaux, le dernier quart du XIX^e siècle est très marqué par la recherche d'accords transnationaux et internationaux. Chaque trajectoire nationale a, là encore, ses spécificités : alors que l'Empire britannique, en 1824, avance son Système d'unités impériales²¹, auquel il restera longtemps attaché (malgré les tolérances introduites à l'égard du Système métrique), l'État allemand introduit le Système métrique entre 1868 et 1872. Mais plusieurs motivations président aux tractations pour définir des accords internationaux sur les systèmes de référence. D'un point de vue politique et commercial, les marchés et le libre-échange s'organisent à l'échelle européenne, avec la signature de traités entre la France, l'Angleterre et d'autres pays, dès 1860. L'entourage saint-simonien de Napoléon III, et le général Arthur Morin, en première ligne, organise ces traités. Sa mission au Conservatoire est un écho à cette perspective de développement économique et industriel. Morin est persuadé que pour affronter la concurrence, l'économie française doit être soutenue par une réforme pro-

fonde de l'enseignement technique et industriel.

D'un point de vue scientifique et technique, les questions du télégraphe et de l'électricité sont une motivation importante pour faire converger les standards. Les réseaux télégraphiques transcontinentaux, transocéaniques comme les théories de l'électromagnétisme et les mesures de précision, sont des défis pour la communauté scientifique internationale. Thomson comme Siemens en sont deux figures et promoteurs majeurs.

Dans le domaine de la géodésie, les savants et les militaires constatent les différences systématiques entre les grandes triangulations européennes en cours (Moreau, 1875, p. 48). La définition du mètre révolutionnaire, sur la base du méridien, est progressivement contestée, insuffisante pour les applications. En 1867, la seconde Conférence générale de l'Association géodésique internationale réunie à Berlin reconnaît la nécessité de fixer l'unité commune de mesure pour tous les pays de l'Europe et elle se prononce, dans l'intérêt de la science en général et de la géodésie en particulier, pour le choix du Système métrique, la construction d'un nouveau mètre prototype européen et pour la création d'un « Bureau international européen des poids et mesures ».

L'internationalisation procède parallèlement par les Expositions universelles, dont on a déjà souligné l'importance. Elles sont autant des lieux

21 « Weight and Measure Act », 1824.

de célébration des progrès de la science et la technique, d'échanges, de prestige et de rivalités politiques à travers la mise en valeur de puissances industrielles et d'empires en construction. Dès 1851, à la première exposition de Londres, le visiteur est « *en présence de l'immense variété de produits envoyés de toutes les contrées du monde, et dont la valeur, ainsi que les quantités, étaient rapportées à toutes sortes d'étalons de mesure* » (*ibid.*, pp. 47-48). En parallèle de ces expositions sont organisées des Conférences et Congrès internationaux²². C'est le terrain investi par les promoteurs du Système métrique, pour son extension à l'échelle mondiale.

Le choix des systèmes de référence est un sujet majeur à l'international, il n'en reste pas moins que la question de l'organisation nationale, de la définition des prérogatives sur la métrologie est loin d'être résolue en France : la création du LCE, puis du Laboratoire d'essais engage une phase de crises, non résolues avant les années 1960.

Troisième période – 1901-1960 : le Laboratoire d'essais du Cnam peut-il être « national » ?

Le xx^e siècle s'ouvre au Cnam par une réforme profonde des statuts de l'institution, notamment avec la création d'un conseil d'administration contrebalançant le pouvoir jugé trop important par le ministère du corps professoral (Fontanon, 1998). La création d'un Laboratoire d'essais grâce au financement de 500 000 francs par la Chambre de commerce de Paris constitue par ailleurs un tournant avec la création d'une section de métrologie. C'est un moment décisif mais qui n'aboutit pas à la dynamique de laboratoire national anglais ou allemand, alors en plein essor. Le LE prend l'adjectif « national » surtout parce que le Conservatoire devient lui-même « national ». Ce malentendu n'en est qu'un parmi d'autres. Surtout, les missions et les objectifs du LE ne sont pas clarifiés et il est nécessaire de pointer les choix de son promoteur, Gaston Hartmann, pour comprendre le développement du laboratoire. Cet état de fait se poursuivra jusque dans les années 1960, avec la répétition de crises d'identités successives. Par ailleurs, si une expertise dans ce domaine est confiée au Conservatoire, aucun enseignement n'est alors envisagé dans cette institution de formation, pas même dans le cours de physique générale donné par Jules Violle, puis Jules Lemoine, et ce jusqu'en 1936.

²² De la géodésie précédemment citée, à la mécanique, l'électricité... jusqu'aux arts et lettres, anthropologie, etc. (Rasmussen, 1989).

Le LNE : une naissance sous tension

Le Laboratoire est créé en 1900 dans un contexte où le scientifique se mêle au politique, et sur fond de tensions, à l'intérieur du Cnam²³. La Société des ingénieurs civils s'est faite l'avocat d'un laboratoire destiné à revivifier l'effort de l'entreprise passée d'Arthur Morin et Henri Tresca, feu le Laboratoire d'essais des machines. Le projet des ingénieurs civils est rival du LCE qui a été institué en 1882, alors en pleine croissance. Le tout se déroule sur fond d'Exposition universelle à venir, en 1900, et d'une question de prestige national, de rayonnement scientifique et technique de la France. Dans le gouvernement Waldeck-Rousseau (1899-1902), Alexandre Millerand prend fait et cause pour les ingénieurs civils et instaure le Laboratoire d'essais, sous la responsabilité de l'Office du commerce extérieur et de la Chambre de commerce. Le Laboratoire doit être placé au Cnam. Au fond reste en suspens la question de la fonction exacte de ce laboratoire : quelles missions est-il censé remplir ? Quelles relations doit-il entretenir avec les industriels ? De 1900 jusqu'à la crise des années 1960, la réponse à cette question a changé plusieurs fois et les tensions naissent précisément entre acteurs incapables de s'accorder sur ces missions.

²³ Voir notamment (De Monzie, 1948) et (Bernard, 1994). Le chapitre IV de (Schiavon, 2014) en donne le compte rendu le plus rigoureux et actualisé.

Martina Schiavon a montré les tenants et aboutissants de l'imbroglio lié à la création du LE, nous nous référons à ses travaux, tout particulièrement concernant l'acteur principal, mais pourtant mal connu des historiens : Gaston Louis Hartmann (1851-1922). Il entre dans cette histoire bien avant que le laboratoire ouvre ses portes : délégué par Millerand, il agit en qualité de chef du Bureau national scientifique et permanent des poids et mesures (qu'il préside en 1899) pour dessiner le laboratoire²⁴. Hartmann a plusieurs ambitions, celle d'uniformiser les mesures dans les industries civiles et militaires, et plus personnellement, de généraliser l'emploi de ses inventions dans toute l'industrie. Il a formé des projets au niveau de l'armement pour cela, et entre 1899 et 1901, il agit activement pour créer un laboratoire adéquat. Son expérience et son ambition l'incitent à chercher une solution hors du Bureau national, à l'écart du BIPM. Dans l'esprit d'Hartmann le Laboratoire de Morin et Tresca avait été couronné de succès et il regrettait sa fermeture. Soulignons aussi que le Conservatoire a des rapports privilégiés au militaire, et à l'École polytechnique,

²⁴ Il préside la Commission technique destinée à instituer le Laboratoire. Hartmann, polytechnicien (X 1872), officier d'artillerie, est l'inventeur d'un comparateur-enregistreur (vers 1891) qui lui vaut une réputation importante au BIPM et à la Commission française du mètre. Son instrument permet de contrôler des objets à partir du mètre-étalon. Hartmann est directeur de l'Atelier de précision à partir de 1891 et c'est là qu'il conçoit le comparateur. Le physicien Alfred Cornu le fait connaître à l'Académie des sciences (Schiavon, 2014, pp. 245-46).

et qu'Hartmann est membre du conseil d'administration du Conservatoire. La rencontre d'intérêts avec le projet des ingénieurs civils conduira à instaurer le LE au Conservatoire.

Avec le premier projet pour le LE esquissé par Hartmann, arrive l'opposition ferme des physiciens Eleuthère Mascart et Jules Violle. Pour défendre son projet Hartmann fait un rapport sur la situation à l'étranger, avec les yeux rivés sur les réalisations allemandes au sein du PTR²⁵. Celui-ci est organisé par un programme défini selon les besoins de la science et de l'industrie, et délivre en particulier les procès-verbaux d'essais pour les industriels: Hartmann préjuge que ce service est le seul indispensable. Dans la *Revue scientifique* en 1901 la perspective dressée par Hartman est résumée clairement :

[...] Nous le répétons, il faut des laboratoires d'essais véritables, des laboratoires destinés aux essais dont le public a besoin, et non des laboratoires de recherches scientifiques où l'argent de service ne servira qu'à acheter un matériel destiné à des expériences scientifiques imaginées par un théoricien. Personnel et matériel ne devant pouvoir servir qu'aux essais industriels, l'un et l'autre devant être choisis en vue de cette fin très précise seule.²⁶

²⁵ L'activité métrologique est en plein essor au PTR (Cahan, 1989). Le seul titre du rapport de Hartmann publié en 1901 est éloquent: *Annales du Conservatoire*, 1901, 3^e série, Tome III, « Rapport de la commission d'enquête sur les laboratoires officiels d'essai de Berlin, Munich, Dresde, Vienne et Prague », pp. 93-162.

²⁶ Précisons que le texte en questions n'est pas

En cela il s'oppose à ceux qui n'imaginent pas un service aux industries sans un travail de métrologie scientifique, sur les références et la conservation des étalons. Au sein du Conservatoire, Mascart appuie la candidature du physicien Alfred Pérot²⁷ (1863-1925) à la direction du Laboratoire en 1901. Pérot représente une spécialité française de la mesure de précision, avec des physiciens attachés à développer leur propre instrumentation. Mais cette voie de la métrologie, appuyée par des recherches en optique, c'est précisément tout ce qu'Hartmann veut éviter²⁸.

Malgré cette opposition, Pérot est nommé directeur du Laboratoire par le conseil d'administration du Cnam. Hartmann démissionne de la Commission (mais reste au conseil d'administration du Cnam), en protestation. L'Académie des sciences (représentée par Mascart) et le BIPM soutiennent Pérot. Le projet de Pérot était de faire du LE l'atelier technique du Bureau national et du BIPM. En ce sens, sa crédibilité du point de vue des industriels s'est affaiblie.

explicitement signé Hartmann, mais de manière énigmatique il est signé « Z. » : le texte rentre dans de nombreux détails de l'enquête, il est polarisé par le PTR et à travers les conclusions qu'il dresse, il n'y a que peu de doute sur l'auteur (Hartmann, 1901, pp. 806-809).

²⁷ Polytechnicien, physicien, spécialiste d'optique, inventeur avec Charles Fabry de l'interféromètre Fabry-Pérot, un instrument essentiel dans les mesures physiques.

²⁸ Pour plus de détails sur Pérot, ses travaux, les opticiens français, nous renvoyons à (Schiavon, 2014).

Ce n'est que le début des tensions, qui conduiront Pérot à démissionner en 1907²⁹. Les chefs de section du LE sont en désaccord avec Pérot, en particulier dans le type de relations à établir avec les industriels: ils souhaitent construire une relation de service d'expertise, plus proche des intérêts industriels et qui serait rentable. Le successeur de Pérot sera le Capitaine Ferdinand Cellerier, adoubé par Hartmann, et qui cantonnera le Laboratoire dans les essais et contrôles pour l'industrie (De Monzie, 1948, pp. 107-120). Ainsi se conclut une première période très conflictuelle, avec beaucoup de tensions internes au Cnam, et surtout une absence de projet pour ce laboratoire. Impossible de trouver un consensus entre les deux parties qui s'opposent, qu'on peut qualifier de « savants » versus « industriels » ou encore « physiciens » versus « techniciens ». La situation est très différente du NPL et du PTR, dans lesquels ces questions ont déjà été posées et résolues au XIX^e siècle.

Nouvelle tentative d'établir un laboratoire « national » de métrologie et d'essais

Le LNE se retrouve à un nouveau carrefour de son histoire dans les années 1930. Jules Lemoine, professeur de physique au Cnam, et par ailleurs di-

²⁹ Il faudrait plutôt dire qu'il est destitué, et qu'il poursuivra sa carrière à l'École polytechnique et à l'Observatoire.

recteur de l'École supérieure des poids et mesures³⁰, obtient que Pierre Fleury vienne donner les premiers cours de métrologie au Cnam (voir ci-dessous). C'est un élève de Fleury, George-Albert Boutry (1904-1983) qui, au sortir de sa thèse, prendra en charge la direction du LE, succédant à Cellerier. En mission de rénovation du LE, Boutry développe un projet privilégiant la métrologie primaire du fait que la mission de conservation des étalons devient effective et importante pour le Cnam et le LE. Et sans perdre de vue la mission de service à l'industrie qui doit aussi être celle du LE³¹.

La ligne de Boutry ne fait cependant pas l'unanimité, il se trouve face à des conceptions différentes des missions du LE, au sein même du Cnam. La situation de 1900-1907 semble se

³⁰ Cette école est dénommée aujourd'hui « École supérieure de métrologie », créée par décret en 1929. Elle forme les agents du Service des instruments de mesure (anciennement Service des poids et mesures), c'est-à-dire les agents de la métrologie légale.

³¹ Boutry exprime ainsi cette double perspective en 1938: « *L'usine et l'atelier ont besoin d'appareils de mesure capables d'une extrême précision. Il est nécessaire de contrôler ou de vérifier périodiquement le fonctionnement et les propriétés de ces appareils. Il doit donc exister, dans la Nation, un organisme central capable de réaliser des étalons de mesure définis sans ambiguïté avec une précision supérieure à l'incertitude la plus petite de la mesure dans l'industrie; cet organisme doit aussi disposer de méthodes de mesure qui garantissent une précision supérieure à celle dont sont capables les appareils à vérifier eux-mêmes. Ainsi les USA disposent du National Bureau of Standards, la Grande-Bretagne du National Physical Laboratory, l'Allemagne du Physikalisch-Technische Reichsanstalt* », cité dans la notice de George-Albert Boutry (Fontanon, 1994).

rejouer³². Par ailleurs, le problème des moyens est récurrent, malgré ou à cause de la construction du nouveau bâtiment, rue Gaston Boissier : cette construction promet d'apporter des équipements de pointe au Laboratoire, mais il grève le budget du LE pour de nombreuses années³³. Ce cumul de problèmes conduit Boutry à démissionner de la direction du LE en 1949. Maurice Bellier lui succède (voir l'article de Loïc Petitgirard dans ce dossier pour les détails sur cette succession).

Encore une fois, la trajectoire s'écarte de celle de l'Allemagne et de la Grande-Bretagne. La question administrative est importante également : le Cnam est une institution de formation

³² En 1949, à l'heure de désigner le successeur de Boutry, Albert Métral, professeur au Cnam, rédige une lettre à l'adresse du président du conseil d'administration du Cnam, l'Amiral Lucien Lacaze, pour soutenir la candidature de Louis Longchambon, qu'il considère comme un futur directeur excellent. Ce faisant, il critique la gestion de George-Albert Boutry, qu'il estime coupable d'avoir transformé un laboratoire d'essais en laboratoire de recherches ne faisant plus assez d'essais. Et il tacle également la candidature de Maurice Bellier, qu'il juge déplacée étant donné son curriculum [Archives du Cnam, Dossier Maurice Bellier, Candidature au LNE].

³³ La construction est coûteuse car de tels bâtiments, adéquats aux besoins métrologiques du milieu du xx^e siècle, doivent avoir des fondements très solides, isolés de toute vibration pour ne pas perturber les mesures. C'est le cas dans tous les laboratoires métrologiques, PTR, NPL, etc. Cela explique en partie la durée des travaux et leur coût. La consultation des bilans financiers du LNE des années 1960 montre un déséquilibre persistant lié au remboursement du coût de cette construction inauguré 20 ans auparavant (ce qui est un des facteurs de la crise du Laboratoire à ce moment-là) [Archives du Cnam, Procès-verbal du conseil de perfectionnement – 1960-67].

technique qui accueille un laboratoire de service à l'industrie et dont les liens au reste de l'établissement se sont distendus rapidement. Le LE a pesé sur le Cnam étant donné sa taille, et le conseil d'administration a géré une structure double, avec des missions non convergentes. Ce qui a handicapé aussi bien le développement du LE que du Cnam.

À côté du LE, le LCE poursuit son chemin, la comparaison est peu flatteuse pour le LE : hormis sur les questions d'électricité et d'éclairage, la France, n'est pas représentée dans les Comités internationaux des poids et mesures. La métrologie est écartelée entre le LE, le LCE, le BIPM et les laboratoires disséminés dans les universités et institutions s'intéressant à cette question. Dans cette configuration, le soutien de l'État au LE n'est plus assuré. C'est dans les grandes lignes, la situation des années 1960, avant la création du Bureau national de métrologie³⁴.

Des inquiétudes jusqu'au premier cours de métrologie au Cnam

Parallèlement à l'histoire du LE, c'est en 1932 et sous la présidence du mathématicien et ministre Paul Painlevé que la création d'un cours de métrologie est proposée, financement à l'appui, par la Chambre de Commerce de Paris, dont le président Henri Garnier est membre du conseil d'administration

³⁴ C'est l'objet du texte de L. Petitgirard dans ce dossier.

du Cnam³⁵. Cette dotation fait suite à une lettre du sous-secrétaire d'État à l'enseignement technique, Charles Pomaret, le 10 février 1932, demandant au Cnam de créer un cours public traitant des unités métriques, des techniques de construction et de contrôle des appareils de mesure³⁶.

Préliminaire à l'organisation du cours, un rapport daté de juin 1932 souligne qu'il doit être orienté vers les applications techniques sans négliger le côté scientifique³⁷. Car pour les recherches en métrologie, le rapporteur note que la France est tributaire de l'Allemagne, de la Grande-Bretagne, des États-Unis, de la Suisse et du BIPM. La prise de conscience de cette dépendance est assez claire, bien avant les années 1960, et sous-entend des aménagements d'ampleur mais qui ne se concrétiseront que sous forme de cours, pour l'heure.

Sur la base de ce rapport, le cours devait avoir pour objectif de former des techniciens pour l'industrie en deux années. Une commission d'examen des

candidatures à la Chaire est formée en juin 1932 ; elle se réunit le 20 octobre pour l'audition des deux candidats, Pierre Fleury et René Audubert, futur professeur d'électrochimie au Conservatoire (1946). Ce dernier ne recueillant aucune voix lors du vote de la commission, c'est Pierre Fleury (1894-1976) qui est recruté le 4 novembre 1932 alors que le président de la Chambre de Commerce de Paris accepte de présider la leçon inaugurale du nouveau professeur. Son programme de cours de métrologie générale et industrielle est adopté par le conseil de perfectionnement, le 4 juillet 1932. Il propose un tour d'horizon sur les mesures, les mesures géométriques, les mesures mécaniques, de la chaleur et de la thermodynamique de l'acoustique et de l'optique³⁸.

Pierre Fleury³⁹ a 38 ans lorsqu'il est nommé. Normalien, il a conduit ses recherches à l'École normale supérieure, sous la direction de Henry Abraham, dans le domaine de la photométrie. Ses publications témoignent d'une intense activité de recherche dans le domaine de

35 [Archives du Cnam : fonds CDHT [4-5], Lettre du président de la Chambre de commerce de Paris au directeur du Cnam, 31 mai 1932.] Ce dernier est remercié par le directeur pour la subvention de 50000 francs .

36 [Archives du Cnam : fonds CDHT [4-5], Lettre de Charles Pomaret, sous-secrétaire d'État à l'enseignement technique au directeur du Cnam, 10 février 1932.]

37 [Archives du Cnam : fonds CDHT [4-5], Procès-verbal de la commission du programme du cours de métrologie, 26 juin 1932.]

38 [Archives du Cnam : fonds CDHT [4-5] ; Cours de métrologie : les mesures dans l'industrie et le commerce (programme), 1932.]

39 Fleury a été reçu premier au concours d'agrégation de sciences physiques en 1920, avant de s'engager dans la recherche, et obtenir le grade de docteur en 1925. Il fait alors une carrière d'enseignant, de chercheur et d'administrateur. À la faculté de Lille, il enseigne de 1928 à 1936 la physique classique, thermodynamique, électricité, optique géométrique, rayonnement et astrophysique. À Lille, il entreprend des études sur l'application des récepteurs photo électroniques à divers problèmes de photométrie et de spectrophotométrie (Mathieu, 1994).

l'optique. Il est nommé en 1936 à la succession de Jules Lemoine, à la Chaire de physique générale, tout en conservant la charge de l'enseignement de métrologie. Il restera au Cnam, dans cette chaire, jusqu'à sa retraite en 1964.

Il faut souligner ce point singulier : Fleury fait un cours de métrologie, mais n'est pas attaché à une chaire de métrologie. Cette chaire ne sera créée qu'après son départ en retraite, dans un tout autre contexte (voir le texte de Loïc Petitgirard sur cette création).

Au Cnam, Pierre Fleury semble s'être totalement investi dans sa mission. Très vite, il met sur pied des travaux pratiques, il obtient l'affectation d'un ingénieur des poids et mesures, Costa Magna, et entend constituer un embryon de laboratoire de recherche⁴⁰. Il veut y installer un densitomètre à cellule photoélectrique mis au point par Georges-Albert Boutry, professeur au lycée Saint Louis qui a fait sa thèse sous sa direction : il sera bientôt le directeur du LNE. On saisit l'opportunité à ce moment précis d'un rapprochement des activités d'enseignement et de recherche en métrologie.

⁴⁰ En juin 1938, dans un rapport sur le fonctionnement de son cours, Fleury précise que, comme chaque année, les leçons ont été accompagnées d'expériences et de démonstrations d'appareils provenant du Musée ou de constructeurs, des clichés ont été projetés, le cours photocopié, des entreprises visitées : avec ses élèves, il visite les ateliers de métrologie des Établissements Citroën, les laboratoires des poids et mesures du ministère du Commerce (1935) [Archives du Cnam : Fonds Thiercelin n° 68, lettre du 4 décembre 1933].

Le cours de Fleury subsiste jusqu'en 1964 à raison de 20 leçons par an. Les effectifs des cours varient entre 55 et 79 élèves entre 1936 et 1940. Fleury publie chez Hermann ses *Leçons de métrologie* de 1935 à 1938 et participe aux *Journées internationales de métrologie* en juin 1938 à Paris⁴¹. Les effectifs de son cours atteignent une centaine d'auditeurs dans les années 1945-1955, mais s'effritent au début des années 1960. On ne recense plus que 22 auditeurs en 1960⁴².

Le nombre d'auditeurs s'étiolle pour diverses raisons, que nous n'avons certainement pas toutes élucidées. Dans les années 1930, les cours du Cnam bénéficient d'une faible, voire inexistante concurrence, ce qui n'est plus le cas après 1950. Parallèlement, il semble que Fleury ait partagé son temps entre le Cnam et la direction de l'Institut d'optique après la disparition de Charles Fabry en 1945, direction qu'il conserve jusqu'en 1968. Ajoutons que Fleury est un physicien, spécialiste de l'optique, mais de moins en moins un spécialiste de métrologie : difficile d'imaginer que ses cours puissent bénéficier d'une publicité soignée dans un tel contexte.

⁴¹ [Archives du Cnam : Fonds Thiercelin, n° 68.] (Fleury, 1935, 1938.)

⁴² [Archives du Cnam, Procès-verbal du conseil de perfectionnement – 1945-1964, Statistiques de l'enseignement (cours de métrologie).]

Conclusion

Au sortir de la seconde guerre mondiale, le panorama de la Métrologie nationale est modifié par l'entrée en jeu d'un acteur, le CEA (Commissariat à l'énergie atomique) qui est une priorité scientifique et technique dans la reconstruction. Le CEA s'occupe des activités liées à la radioactivité. L'Observatoire de Paris continue à émettre les signaux horaires de référence. Le LCIE a la tutelle sur la métrologie électrique, suite aux négociations avec le Cnam (depuis 1942). Au Cnam le LNE poursuit ses activités, mais Boutry claque la porte en 1949 considérant qu'il lui est impossible de maintenir les activités de recherche et d'essais dans le cadre existant. Fleury continue ses cours au Cnam, même si le public suit de moins en moins. Cette situation se double d'une certaine absence des comités internationaux (à l'exception notable des comités de l'électricité, à travers le LCIE), alors que la France, dans tous les esprits, est la nation qui a inventé le Système métrique. La situation est bien loin de celle projetée par Morin et Tresca au XIX^e siècle.

Dans les années 1960, le système métrologique français a déjà une histoire chargée et des lacunes qui seront assez évidentes pour les acteurs et analystes du moment. Au centre du dispositif se trouve le Cnam, fruit de ces relations complexes, constamment renforcées même si d'autres institutions ont pris leur part de la Métrologie nationale au fil du XX^e siècle. Si à la fin du XVIII^e siècle, ces relations étaient surtout de circonstances, une sorte

d'évidence de l'an III, elles ne se sont pas démenties. L'évidence a été renforcée par l'institutionnalisation progressive au XIX^e siècle, appuyée par les convictions et l'ampleur du travail d'Arthur Morin. Le fait d'avoir été piloté par des polytechniciens et plusieurs généraux, Morin et Laussédats tout particulièrement, n'y est pas étranger : au XIX^e siècle, ces ingénieurs militaires étaient particulièrement bien informés des besoins des industries militaires et civiles.

Le Conservatoire s'est fait relais et promoteur du Système métrique, la dynamique de l'un allant avec l'internationalisation de l'autre. Mais le Cnam semble progressivement sortir de la partie. Le LNE s'enfonce dans une crise commencée au début du XX^e siècle qui s'aggrave : crise financière, crise d'identité, tensions autour de la définition de ses missions. Il ne parvient pas à maintenir et faire coexister les activités de contrôle légal et celles de métrologie scientifique : c'est un point d'achoppement récurrent de ce laboratoire. L'histoire de la section de métrologie du LNE reste cependant à faire dans le détail, pour déterminer les tenants et aboutissants de ces travaux pourtant nombreux. Peut-être faut-il compter ces divergences entre activités d'essai et de recherche comme un paramètre essentiel parmi ce qui a fait défaut dans l'organisation nationale. En Grande-Bretagne et en Allemagne, la bonne entente de ces deux pans de l'activité métrologique a été une condition du développement du NPL et PTR. Le cas français est différent. Comment

expliquer cette impossible entente à partir de 1900 et avant la restructuration des années 1960 ? Le dialogue difficile entre physiciens et industriels⁴³ (de manière générale), la perte de lien fort et stable entre militaires et scientifiques, les différenciations et spécialisations croissantes des formations des scientifiques, des ingénieurs et des militaires : chaque paramètre a peut-être sa part dans le bilan, sans qu'il soit possible d'en singulariser un spécifiquement.

Au fond, malgré tout, c'est l'État, la République sous de Gaulle, avec l'émergence d'une politique scientifique, technique et industrielle nationale qui reprend le système en main. Car la question de la métrologie scientifique, son organisation, le bon développement des contrôles légaux, sont déterminants économiquement, scientifiquement, industriellement parlant. La sphère militaire considère ce champ également comme stratégique dans les années 1960, comme cela a été le cas au XIX^e siècle. À la manœuvre de la restructuration sous de Gaulle on retrouvera trois acteurs essentiellement⁴⁴ : le Cnam (du fait de ses missions et l'héritage construit durant 150 ans), la DRME (Direction des recherches et moyens d'essai, c'est-à-dire la

direction pilotant les recherches militaires en France) et la DGRST (Délégation générale à la recherche scientifique et technique, chargée de construire un pilotage de la recherche civile). Tout concorde alors pour relancer les relations entre État, industrie, militaire et métrologie, certes sur une dynamique renouvelée, mais avec les mêmes préoccupations de développement économique, stratégique et de contrôle (social, industriel, économique) de l'État moderne.

43 (Pestre, 1984) montre l'attachement des physiciens de l'entre-deux-guerres à la « science pure », à une forme de scientisme et de « désintéressement ».

44 Nous renvoyons au texte de L. Petitgirard dans ce dossier pour comprendre le rôle du Cnam dans les transformations des années 1960, comme lieu de convergence organisationnelle, qui semblait impossible à trouver auparavant.

Bibliographie

- Alder, K. (1995). « A Revolution to Measure – The Political Economy of the Metric System in France. » In Wise, N. (éd.) *The Values of Precision*. Princeton (N.J.): Princeton University Press, pp. 39-71.
- Alder, K. (2005). *Mesurer le monde: 1792-1799*. Paris: Flammarion.
- Baker, K. M. (1975). *Condorcet: from Natural Philosophy to Social Mathematics*. Chicago: Chicago University Press.
- Belhoste, B. (1994). « Henri Tresca (1814-1885). Professeur de mécanique appliquée (1874-1885). ». In Fontanon, C. et Grelon, A. (dir.), *Les professeurs du Conservatoire national des arts et métiers. Dictionnaire biographique 1794-1955*. Paris: INRP/Cnam (Collection Histoire biographique de l'enseignement, 2 volumes), pp. 624-632.
- Bernard, M.-Y. (1994). *Le Conservatoire national des arts et métiers: vers le XXI^e siècle*. Paris: Eyrolles, DL 1994.
- Bigourdan, G. (1901). *Le Système Métrique Des Poids et Mesures: Son Établissement et Sa Propagation Graduelle*. Paris: Gauthier-Villars.
- Buchwald, J. Z. (1996). *Scientific Credibility and Technical Standards in 19th and Early 20th Century Germany and Britain*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Cahan, D. (1982). « Werner Siemens and the Origin of the Physikalisch-Technische Reichsanstalt, 1872-1887. » *Historical Studies in the Physical Sciences* 12 (2), pp. 253-83.
- Cahan, D. (1989). *An Institute for an Empire: the Physikalisch-Technische Reichsanstalt (1871-1918)*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Caron, F. et Cardot, F. (dir.) (1991). *Histoire générale de l'électricité en France*. Paris: Fayard.
- Condorcet, J. A. N. (1794). *Esquisse d'un tableau historique des progrès de l'esprit humain. Ouvrage posthume de Condorcet*. Paris: Agasse, An III.
- Constant, B. (1813). *De L'esprit de Conquête et de L'usurpation Dans Leurs Rapports Avec La Civilisation Européenne*. Paris: Ficker, 1813 (édition 1914).
- Fleury, P. (1935). *Généralités sur les mesures*. Paris: Hermann, 1935.
- Fleury, P. (1938). *Leçons de métrologie générale et appliquée*, Paris: Hermann, 1938.
- Fontanon, C. (1994). « Arthur Morin (1794-1880). Professeur de mécanique appliquée à l'industrie (1839-1854). Directeur (1849-1880). » In Fontanon, C. et Grelon, A. (dir.), *Les professeurs du Conservatoire national des arts et métiers. Dictionnaire biographique 1794-1955*. Paris: INRP/Cnam (Collection Histoire biographique de l'enseignement, 2 volumes), pp. 311-322.
- Fontanon, C. (1998). « Le Conservatoire national des arts et métiers (1794-1920). » In Bergeron, L., Bourdelais, P. (dir.), *La France n'est-elle pas douée pour l'industrie?* Paris: Belin, pp. 275-304.
- Garnier, B. et Hocquet, J.-C. (éds.) (1990). *Genèse et diffusion du système métrique*. Caen: Diffusion du Lys.
- Gooday, G. (1990). « Precision Measurement and the Genesis of Physics Teaching Laboratories in Victorian Britain. » *The British Journal for the History of Science* 23 (01), pp. 25-51.
- Guedj, D. (2000). *Le mètre du monde*. Paris: Seuil.

- Joerges, B. et Shinn, T. (2001). *Instrumentation: Between Science, State and Industry*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Legendre, A.-M., Coquebert de Montbret, C.-E. et Gattey, F. (1795). *L'agence temporaire des poids et mesures aux artistes et aux amateurs éclairés des arts*. Paris.
- Le Moël, M., Saint-Paul, R. et Fontanon, C. (éd.) (1994). *Le Conservatoire national des arts et métiers au cœur de Paris, 1794-1994*. Paris: Conservatoire national des arts et métiers/Délégation à l'action artistique.
- Marquet, L. (1975). « La convention du Mètre. » *Bulletin du Bureau national de métrologie*, n° 20, avril 1975, pp. 5-9.
- Marquet, L., Le Bouch, A. et Roussel, Y. (1997). *Le système métrique, hier et aujourd'hui*. Amiens: Association pour le développement de la culture scientifique, DL 1997.
- Mathieu, J.-P. (1994). « Pierre Fleury (1894-1976). Professeur de métrologie; Professeur de Physique générale dans ses rapports à l'industrie (1936-1964). » In Fontanon, C. et Grelon, A. (dir.), *Les professeurs du Conservatoire national des arts et métiers. Dictionnaire biographique 1794-1955*. Paris: INRP/Cnam (Collection Histoire biographique de l'enseignement, 2 volumes), pp. 510-515.
- Moreau, H. (1975). *Le système métrique: des anciennes mesures au système international d'unités*. Paris: Chiron.
- Morin, A. (1870a). « Notice historique sur le système métrique, sur ses développements et sur sa propagation. » *Annales du Conservatoire des arts et métiers* – 1^{re} série, tome IX, 1870-1872, pp. 573-640.
- Morin, A. (1870b). « Rapport au ministre de l'Agriculture et du Commerce sur la révision des étalons du bureau de vérification des poids et mesures. » *Annales du Conservatoire des arts et métiers* – 1^{re} série, tome IX, 1870-1872, pp. 5-64.
- Olesko, K. M. (1991). *Physics as a Calling: Discipline and Practice in the Königsberg Seminar for Physics*. Ithaca: Cornell University Press.
- Pestre, D. (1984). *Physique et physiciens en France, 1918-1940*. Paris: Archives Contemporaines, 1984 (2^e édition 1992).
- Prieur, C.-A. (1795). *Rapport fait au nom du Comité d'instruction publique, sur la nécessité et les moyens d'introduire dans toute la République les nouveaux poids et mesures précédemment décrétés*. Par C. A. Prieur. Imprimés par ordre de la Convention nationale. Paris: Imprimerie nationale.
- Rasmussen, A. (1989). « Les Congrès internationaux liés aux Expositions Universelles de Paris (1867-1900). » *Cahiers Georges Sorel* 7 (1), pp. 23-44.
- Schiavon, M. (2014). *Itinéraires de la précision: géodésiens, artilleurs, savants et fabricants d'instruments de précision en France*. Nancy, France: PUN-Éditions universitaires de Lorraine.
- Smith, C. et Wise, N. (1989). *Energy and Empire: a Biographical Study of Lord Kelvin*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Tunbridge, P. (1992). « Lord Kelvin: his influence on electrical measurements and units. » *History of Technology* 18. London: Peter Peregrinus Ltd.
- Wise, N. (1995). *The Values of Precision*. Princeton: Princeton University Press.