

LES ORIGINES DE LA MESURE DE PRECISION ET L'ELABORATION DU SYSTEME METRIQUE.

Dans l'histoire des mesures, la création d'un système universel fut probablement l'événement le plus important que l'on puisse citer. Les conséquences de cette création ont été souvent commentées. Après la multiplication des unités dans tous les domaines que la physique et la technique moderne ont fait apparaître jusqu'à nos jours, et au moment où les pays de culture anglo-saxonne s'apprentent à adopter définitivement le système métrique, l'œuvre des savants et techniciens français du XVIII^e siècle apparaît dans toute son ampleur.

L'histoire de la création du système métrique est connue dans ses grandes lignes de tous les Français à qui les noms de Delambre et de Méchain sont familiers ainsi que la première définition du mètre donnant celui-ci comme la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre.

Cette histoire se trouve dans de nombreux ouvrages d'étude ou de vulgarisation et, d'une façon plus stéréotypée, dans tous les manuels scolaires. Mais elle devient beaucoup plus vivante lorsqu'on se trouve en présence de témoignages matériels qui ont été conservés après les grandes opérations. Ces témoignages sont nombreux et sont réunis pour la plus grande part soit à l'Observatoire de Paris, soit au Musée des Techniques du Conservatoire des Arts et métiers. Dans ce dernier établissement, on se propose de les ordonner suivant une nouvelle présentation qui restituera toutes les phases de cette longue aventure.

On sait quelles sont les raisons qui ont mis au premier rang des préoccupations scientifiques du XVIII^e siècle le problème de l'unification des mesures. La résolution de ce problème se heurtait à tant d'habitudes acquises et de préjugés qu'il a fallu l'atmosphère favorable du grand mouvement d'idées qui accompagna la Révolution française pour que la décision d'une réforme générale du système des mesures puisse être proposée et adoptée avec enthousiasme.

Si le mouvement révolutionnaire a été un facteur propice à cette décision, il ne faut pas ignorer que celle-ci n'aurait pu sans doute être prise quelques décennies plus tôt, car les facteurs scientifiques et techniques qui auraient permis d'en faire une réalité n'avaient pas atteint un degré suffisant de maturité.

L'idée de prendre comme base du-nouveau système de mesures une unité rattachée à une donnée naturelle a commencé à voir le jour dans la seconde moitié du XVII^e siècle. Cette époque est celle où furent entreprises les premières grandes opérations géodésiques à la suite des progrès de l'astronomie depuis Copernic, Galilée et Kepler.

En 1525 déjà, Jean Fernel avait tenté de mesurer l'arc de méridien entre Paris et Amiens en utilisant un odomètre, mais ce n'est qu'après l'invention de la méthode de triangulation par Snell van Roijen (Snellius) en 1615 que la géodésie proprement dite put prendre son essor. Snellius lui-même mesura un arc de méridien de un degré. Picard effectua une autre mesure en 1670 et à cette occasion mesura une base de triangulation entre Villejuif et Juvisy. C'est à partir de cette base que J.-D. Cassini effectua une triangulation de la France dans le but d'en dresser une carte exacte ; ses premiers travaux donnèrent la longueur du méridien de Paris entre Amiens et Perpignan. Ils furent repris ensuite par Cassini de Thury et plusieurs astronomes français ; la mesure du méridien fut étendue jusqu'à Dunkerque et la longueur du degré corrigée.

A ce moment-là les connaissances géodésiques réunies avaient fait naître entre les savants une longue discussion sur la forme exacte de la Terre. La mesure d'un degré à différentes latitudes pouvait permettre d'évaluer sa courbure et de mesurer les variations de cette courbure. Pour rassembler les données fondamentales nécessaires à la résolution de ce problème, différentes expéditions furent décidées par l'Académie des Sciences en 1733. La Condamine dirigea l'une de ces expéditions au Pérou et Maupertuis et Clairaut une autre en Laponie. La tâche principale de ces missions était de mesurer la longueur d'un arc de un degré aux latitudes extrêmes ; en outre, les astronomes devaient également déterminer sous ces latitudes la longueur du pendule battant la seconde.

On avait déjà envisagé, depuis plus d'un demi-siècle, d'adopter cette longueur comme base d'un système universel de mesures mais des observations faites par Jean Richer en 1672 à Cayenne avaient fait pressentir que le pendule battant la seconde n'avait pas la même longueur sous toutes les latitudes ; en outre on avait déjà observé que cette longueur subissait également des variations en fonction de la température ambiante.

Vers le milieu du XVIII^e siècle, les opérations astronomiques et géodésiques devinrent de plus en plus nombreuses, en particulier en 1760 et en 1769 à l'occasion de deux passages de Vénus sur le Soleil les astronomes des principaux pays européens et américains gagnèrent les principaux points du globe où on pouvait suivre le phénomène avec le plus de facilité. Entre 1763 et 1784, l'Angleterre et l'Irlande furent couvertes de triangulations et le réseau français fut relié au réseau de triangles de l'Angleterre par des relevés entre Greenwich et Paris effectués en 1787.

C'est ainsi que furent créées toutes les conditions scientifiques et techniques qui permettaient d'envisager l'élaboration d'un système universel de mesures avec succès. En effet les connaissances scientifiques n'étaient pas les seules nécessaires à une telle entreprise ; la conduite des vastes missions géodésiques imposait l'emploi d'instruments de mesure de précision.

A cette époque, les ateliers anglais étaient les plus réputés pour la qualité de leur fabrication et devaient conserver cette suprématie jusqu'aux premières années du XIX^e siècle. Mais en France, grâce aux activités que nous avons évoquées ci-dessus, il se forma successivement deux générations de constructeurs d'instruments de mesure qui marquèrent leur époque et donnèrent aux savants français les moyens matériels de réaliser leurs opérations. Entre 1720 et 1750 environ, c'est Claude Langlois qui fabriqua tous les instruments utilisés par les astronomes et les géomètres dans leurs travaux. Il fournit les quarts de cercle emportés par La Condamine au Pérou et par Maupertuis en Laponie. Il fabriqua également en 1735, deux copies de la toise du Châtelet destinées aux deux missions ; ces copies étaient constituées chacune par une règle de fer terminée par un redent à chaque extrémité, ces règles constituaient les étalons proprement dits, et entre les deux redents se plaçait une autre règle plate qui était l'instrument de mesure dont on se servait et dont on vérifiait la longueur en la présentant devant l'étalon. Les étalons construits par Langlois demeurèrent à l'Académie, les règles furent emmenées l'une à Quito et l'autre en Laponie. L'étalon qui correspondait à la première de ces règles, dite Toise du Pérou, devait plus tard jouer un grand rôle comme terme de comparaison dans l'établissement du système métrique.

Claude Langlois, qui porta le titre d'Ingénieur du Roi, eut le droit d'établir son atelier aux galeries du Louvre. Cet atelier fut repris successivement par son neveu Canivet, ensuite par l'ouvrier de celui-ci Lenel, enfin par la veuve de ce dernier de sorte que l'atelier resta en activité probablement jusque vers 1785.

Ce sont des ouvriers comme ceux que nous venons de citer qui ont fait faire en France de très grands progrès à la fabrication des instruments de mesure. Ils ont adopté les méthodes anglaises, développé ou inventé de nouvelles méthodes, en particulier pour la division des règles graduées ou des limbes des instruments de géodésie ou d'arpentage. Ces derniers instruments ont fait de grands progrès au cours du XVIII^e siècle. En 1669, Picard avait été le premier, ou l'un des premiers, à équiper les quarts de cercle et secteurs de lunettes composées. Auzout venait d'inventer le micromètre avec le principe de l'utilisation d'un cheveu placé au foyer de la lunette. Les lunettes remplacèrent rapidement les pinnules sur les instruments mais n'apportèrent dans cette utilisation un progrès sensible que lorsque, à partir de 1755, on sut fabriquer des objectifs achromatiques. A partir de ce moment on put

réduire considérablement la taille des instruments et c'est grâce à cette progression régulière de la technique de construction que Etienne Lenoir put réaliser le cercle à réflexion dont le principe avait été découvert par Borda.

Vers le milieu du XVIII^e siècle, astronomes et physiciens avaient à peu près abandonné l'idée de trouver l'unité de mesure universelle liée à une grandeur naturelle ; de multiples observations sur le pendule battant la seconde et les vérifications de la longueur du degré du méridien ne donnaient pas un ensemble de chiffres très concordant. Les autorités avaient surtout le souci de conserver et de restaurer les étalons classiques existant. A Paris les différents étalons de longueur, de capacité et de poids étaient confiés à la garde de diverses institutions : les marchands merciers conservaient, rue Quincampoix, l'étalon de l'aune, les mesures de grains et de liquides étaient à l'Hôtel de ville, l'étalon de poids de marcs dit Pile de Charlemagne était déposé à l'Hôtel de la Monnaie, enfin la toise de fer était scellée dans le mur du Châtelet. Cette toise avait été remise en état en 1668 mais on ne savait plus au XVIII^e siècle sur quelles bases cette restauration avait été effectuée.

Les copies établies plus tard par Langlois devinrent, comme nous l'avons dit, les étalons officiels ; mais cela n'alla pas sans discussions car l'astronome Mairan avait établi pour son usage personnel une autre copie de la toise qu'il considérait comme plus exacte.

En 1766 une décision royale commanda à Canivet quatre-vingts copies de la toise du Pérou qui furent distribuées aux Parlements des provinces et à l'étranger. Des échanges d'étalons avaient déjà eu lieu entre la France et l'Angleterre. En 1742, le grand horloger et mécanicien Georges Graham avait fait exécuter sous sa direction des copies du *yard*, déposé à la tour de Londres, de la livre de *Troy* et de la livre *Avoir du poids* ; ces copies furent envoyées à Paris où l'Académie des Sciences fit procéder à des comparaisons avec les étalons français. Sur l'une des règles anglaises fut portée la longueur de la demi-toise de Paris à côté de la division du yard et la règle fut renvoyée à Londres accompagnée de deux poids de marc.

De certains de ces événements il reste encore de nombreux instruments ou règles de mesure. Le Musée du Conservatoire des Arts et Métiers possède des instruments fabriqués par les constructeurs que nous avons cités, l'une des règles du *yard* anglais portant les comparaisons avec la toise, une copie de la toise de Mairan. La toise du Pérou se trouve à l'observatoire de Paris ainsi que de nombreux instruments de géodésie et d'astronomie. Enfin, il faut signaler que la Pile de Charlemagne, ancien étalon de poids, figure en bonne place dans les collections du Musée des Techniques.

Les circonstances dans lesquelles la création du système métrique fut décidée sont bien connues. Les promoteurs de la réforme furent les

mathématiciens, les astronomes et les géomètres de l'Académie des Sciences de Paris.

Le premier projet prévoyait que l'unité fondamentale du nouveau système serait la longueur du pendule battant la seconde à une latitude de 45° au niveau de la mer. La Grande-Bretagne et les Etats-Unis d'Amérique envisagèrent, sur l'invitation des Français, de s'associer aux travaux préparatoires mais pour des raisons personnelles les savants de l'Académie abandonnèrent rapidement l'idée d'utiliser la longueur du pendule. On trouve dans des papiers inédits de Delambre cette déclaration formelle que la décision de mesurer une nouvelle fois un arc de méridien aussi étendu que possible fut prise pour essayer de trancher la querelle qui divisait les astronomes français sur la forme exacte de la Terre. Les deux Etats étrangers ne donnèrent pas suite à leur perspective de collaboration.

Les opérations des membres de l'Académie exigèrent un matériel important dont quelques pièces n'avaient pas encore leur équivalent au monde. Chacune des deux équipes, celle de Méchain et celle de Delambre, emporta deux cercles répéteurs construits par le seul constructeur capable de les exécuter : Etienne Lenoir. Cet instrument de géodésie est dérivé du cercle à réflexion de Borda utilisé en astronomie nautique. Il semble bien que seul Lenoir soit responsable de sa conception et de sa réalisation. Il existe dans les collections du Conservatoire un modèle de cercle répéteur construit par Bellet, ouvrier de Lenoir, qui fut l'assistant de Delambre pendant toutes ces opérations. Lenoir fut chargé aussi de la confection de règles employées pour la mesure des bases de Melun et de Perpignan et pour la mesure du pendule qui devait être répétée une fois de plus. Il s'agissait de règles bi-métalliques platine et cuivre de 12 pieds de long — 4 m. environ — munis à leur extrémité d'un petit dispositif à coulisse et vernier pour assurer le raccord exact au moyen d'une réglette graduée entre deux règles placées bout à bout pendant la mesure. L'exécution de ces règles et des dispositifs à vernier révèle de la part de Lenoir une très grande maîtrise.

La comparaison des règles entre elles et la comparaison de l'une d'elles, prise comme module, avec la toise du Pérou furent faites grâce à un comparateur construit par Lenoir en 1792 qui donnait une précision de $1/100000$ de toise ou $1/116$ de ligne. (1) Ce comparateur fut aussi utilisé en 1794 pour étalonner le mètre provisoire et en 1799 pour l'établissement du mètre définitif. Remanié entre ces opérations par Lenoir, il donnait finalement le millionième de la toise, c'est-à-dire environ $1/500000$ de mm. C'est encore Lenoir qui exécuta en 1799 les deux mètres en platine à bout dont l'un devint l'étalon définitif déposé aux Archives.

(1) 1 ligne = 2,25 mm.

Un autre grand « artiste » de la même époque, Nicolas Fortin, joua un rôle important dans les travaux de la commission du système métrique. Fortin construisit trois cylindres métalliques qui servirent à Lavoisier, et à Haüy en 1793 à déterminer le poids du décimètre cube d'eau distillée. Les deux savants exécutèrent leurs opérations de pesée sur trois balances de précision qui appartenaient à Lavoisier et dont l'une était due à Fortin ; celle-ci avait été construite en 1788 et elle pouvait être considérée comme la plus sensible de l'époque, on a calculé plus tard que sa sensibilité atteignait $1/400000$. D'autres balances du même type furent commandées à Fortin pour la commission du système métrique. Fortin construisit également en 1791 un comparateur pour mesurer les cylindres sur lequel on pouvait lire le $1/2000$ de ligne et c'est lui qui ajusta en 1799 à l'aide de cet appareil quatre cylindres de platine dont l'un devint l'étalon définitif du kilogramme.

D'autres mécaniciens d'une grande habileté tels que Fourché, balancier de la Monnaie, Mercklein, Kutsch, Jecker effectuèrent des travaux du même ordre et un fondeur de cloches, Janetti, fut rappelé spécialement de Marseille pour fondre les règles et les cylindres de platine destinés à la confection des étalons. Il faut rappeler que le platine était connu en Europe que depuis quelques dizaines d'années seulement et que Janetti a été à cette occasion le premier métallurgiste à le traiter.

Les constructeurs qui furent les auxiliaires indispensables des réalisateurs du système métrique ne furent pas oubliés dans les actes des officiels. Les signatures de Fortin et de Lenoir figurent avec celles des savants sur le procès-verbal de dépôt des étalons du système métrique aux Archives, le 22 juin 1799.

De très nombreuses pièces utilisées par la commission du système métrique et fabriquées par les différents constructeurs que nous avons cités ont été conservées jusqu'à nos jours ; parmi elles figurent la plupart des règles en platine et naturellement le mètre-étalon. Si le comparateur de Lenoir a disparu, il en reste un dessin dans le portefeuille industriel du Conservatoire des Arts et Métiers. Le comparateur de Fortin est à l'Observatoire de Paris. En outre, les mètres provisoires établis par Lenoir et le kilogramme établi par Fortin en vertu de la loi du 1er août 1793 existent encore en plusieurs exemplaires dans les collections du Conservatoire. Plusieurs balances de Fortin sont également conservées ; outre celle de Lavoisier il existe encore d'autres types de balances exactement semblables à celles qui ont été construites pour la commission. Il faut mentionner également l'étalon original du litre en verre qui portait alors le nom provisoire de Cadil qui a été établi par Fourché.

L'une des originalités principales du nouveau système avait été l'adoption de la division décimale. Lavoisier a été certainement l'un de ceux qui ont le plus insisté pour obtenir le système métrique ; Lavoisier avait fait exécuter des étalons de mesures dans l'ancien système

portant des divisions décimales ; c'est ainsi qu'une pile de poids d'une livre avec ses divisions décimales réalisée par Fouché, existe encore au Conservatoire des Arts et Métiers.

Les dispositions législatives de l'Empire ne furent pas favorables à la mise en application du système métrique et ce n'est qu'une loi de Louis-Philippe, en 1837, qui l'établit comme système légal de mesure en France à partir du 1^{er} janvier 1840. A cette époque seuls la Belgique, les Pays-Bas et le Grand-Duché de Luxembourg l'avaient déjà adopté.

La France se préoccupa de faire connaître et de propager le système dans les pays étrangers. Elle commanda au mécanicien français Gambey qui jouissait alors d'une réputation mondiale trente séries de mesures en laiton dont un certain nombre furent envoyées dans les principaux pays d'Europe.

Ce fut essentiellement à l'occasion des Expositions internationales de Londres en 1851 et de Paris en 1855 et 1867 qu'un mouvement d'opinion commença à se déclencher en faveur du système métrique. Presque simultanément l'Académie des Sciences de Paris et celle de St-Petersbourg ainsi que l'Association géodésique adoptèrent des résolutions qui posaient le problème de l'internationalisation des prototypes du système métrique.

La multiplication des copies du mètre étalon imposait que l'on songe à remplacer cet étalon à bouts par un étalon à traits et que ce dernier dûment vérifié ait le caractère non plus d'un étalon français mais d'un étalon international. C'est ainsi que l'on se trouva placé devant l'obligation non seulement de créer un organisme international auquel seraient confiées la responsabilité de la garde de cet étalon et la multiplication de ses copies, mais aussi que l'on entreprenne une série de travaux pour la réalisation d'un étalon international indiscuté.

On sait que les opérations préliminaires commencées au mois d'août 1870 furent interrompues par la guerre entre la France et la Prusse, puis furent reprises en 1872 et devaient finalement se prolonger jusqu'en 1889.

Après un siècle de progrès techniques et surtout de progrès dans la précision des mesures, les savants réunis à cette époque pour étudier à nouveau le problème d'un étalon universel abandonnèrent l'ambition, assez idéaliste, de leurs prédécesseurs de lier la longueur de cet étalon à une longueur prise dans la nature, de façon à pouvoir la remesurer à n'importe quelle époque. Déjà dès la fin des opérations de triangulation, Méchain s'était rendu compte que celle-ci ne donnait pas un résultat absolu ; effectuant une ultime vérification il avait relevé un écart de trois secondes entre ces dernières mesures. Il est certain que si l'on avait repris, à la fin du XIX^e siècle, des opérations semblables à celles de Méchain et Delambre on ne serait pas retombé sur une longueur du mètre à l'étalon de 1799 défini comme un fraction du quart du méridien terrestre. La précision dans la mesure ne devant cesser de

croître, l'étalon universel de longueur aurait dû changer de valeur d'époque en époque.

C'est ainsi que les savants de la seconde commission du mètre décidèrent de prendre comme terme de comparaison le mètre en platine déposé aux Archives et d'établir un nouveau prototype international se rapportant à lui. Naturellement, le kilogramme en platine des Archives fut également pris comme terme de comparaison pour le prototype des étalons de poids. Cette décision impliquait un certain nombre d'opérations extrêmement délicates.

On commença par procéder à un examen complet du mètre et du kilogramme des Archives qui furent trouvés en excellent état. Puis il fut décidé d'effectuer les comparaisons de longueur à une température de 0° et les pesées dans le vide. Le problème le plus difficile consistait à comparer une règle à traits avec une règle à bouts en raison de la difficulté de pointer exactement les extrémités d'une règle à bouts ; on décida pour cela d'adopter les procédés optiques mis au point par le physicien français Fizeau qui évitaient le frottement des faces terminales de la règle par les pièces d'un comparateur ordinaire. L'utilisation de la méthode de Fizeau devait d'ailleurs elle-même soulever certaines difficultés et être perfectionnée au fur et à mesure des opérations. Il s'agissait non seulement de réaliser un prototype international à traits mais également des prototypes à traits et à bouts qui seraient distribués aux différents Etats qui le demanderaient. On décida d'utiliser un comparateur à déplacement longitudinal pour la détermination des mètres à traits et un comparateur à déplacement transversal muni de deux microscopes pour la comparaison des mètres à traits au mètre des Archives.

Tout le matériel de mesure créé à cette époque par les meilleures entreprises spécialisées dans ces travaux a souvent été décrit et est bien connu.

On sait que la forme de l'étalon du mètre a été longuement discutée et que finalement la commission adopta entre diverses propositions le profil en X proposé par Henri Tresca ; le profil des extrémités des étalons à bouts fut aussi décidé après de soigneuses études.

Un autre aspect des travaux effectués pendant cette période concerne l'étude et la préparation d'un alliage dans lequel les prototypes internationaux seraient réalisés. Les étalons réalisés en platine de 1799 contenaient en réalité un certain pourcentage d'iridium car à cette époque on ne soupçonnait pas la présence de cette impureté. Les physiciens de 1872-74 décidèrent que les futurs étalons seraient réalisés en platine iridié à 10% d'iridium pour que leur coefficient de dilatation soit le plus voisin possible de celui des étalons des Archives.

La préparation de cet alliage était une opération extrêmement difficile. Bien que la métallurgie du platine et des métaux de la mine

du platine ait fait de grands progrès, surtout avec l'Ecole des chimistes français travaillant autour de Saint-Claire Deville et de Henri Debray, on était loin de savoir obtenir du platine pur et encore moins de l'iridium pur en assez grandes quantités pour réaliser tous les prototypes nécessaires à la nouvelle organisation internationale. Un industriel anglais Matthey fournit une certaine quantité de platine et d'iridium, le complément nécessaire de ces métaux fut préparé en France. Saint-Claire Deville et ses collaborateurs durent inventer des méthodes particulières pour isoler, au laboratoire de l'Ecole Normale, l'iridium nécessaire. On jugea ensuite indispensable de préparer en une seule fonte un lingot de platine iridié assez important pour qu'on puisse en tirer tous les étalons que l'on se proposait de fabriquer afin que ceux-ci soient tous de la même composition.

Cette fonte d'une masse de platine iridié de 250 kg exigea la création d'un four particulier chauffé avec un chalumeau à gaz d'éclairage et à hydrogène. Après divers essais, la fonte définitive du lingot fut effectuée le 13 mai 1874 au Conservatoire des Arts et Métiers. L'alliage obtenu prit le nom d'Alliage du Conservatoire ou Alliage de 1874. On s'aperçut par la suite que malgré toutes les précautions prises le métal contenait des traces d'impuretés représentées par quelques milligrammes de fer et de ruténium ; cependant l'Alliage du Conservatoire fut adopté pour l'établissement des prototypes.

De cette longue série de travaux, il reste des témoignages d'autant plus nombreux que la plus grande partie des opérations a eu lieu au Conservatoire des Arts et Métiers. Certains objets et documents y ont été conservés, en particulier une maquette du four qui a servi à fondre l'alliage de 1874.

L'évocation des circonstances dans lesquelles peu à peu a pris naissance la technique des mesures de précision montre quelles sortes de difficultés sans cesse nouvelles ont dû être surmontées à chaque étape. Si les moyens employés pendant chacune d'elles nous paraissent maintenant désuets et même pour certains un peu primitifs, il faut penser que pour les hommes qui avaient à les mettre en œuvres, ils représentaient l'ultime effort possible d'habileté et de savoir-faire. Ils ont été chacun en leur temps à l'extrême pointe du progrès et c'est leur succession qui a rendu possible l'avènement des techniques actuelles de mesures dans tous les domaines. En fait, cette sorte de préhistoire est très proche de nous car ces événements les plus éloignés ne datent pas de plus de deux siècles.

Maurice DAUMAS,
conservateur du Conservatoire
des Arts et Métiers de Paris.