1

Études

Métrologie légale : origine et choix des systèmes d'unités de mesure légales

M. Defix
Faculté des Sciences de Besançon

N.D.L.R. — Nous avons le plaisir de publier ici la conférence prononcée le 7 juin 1969 par M. Defix au cours des journées d'étude de l'A.P.M.E.P. Il aurait été regrettable que le nombreux et attentif auditoire qui suivit avec une attention passionnée l'exposé de notre Collègue fut le seul à en profiter. Aux remerciements que nous devons au conférencier s'ajoutent donc ceux que nous lui devons pour la rapide et précise rédaction qu'il nous a fournie dès le mois d'août.

La métrologie est un art fort ancien qui remonte à la nuit de la préhistoire. Certains peuples de l'Antiquité lui conféraient la plus haute origine puisqu'ils en attribuaient la création à Dieu lui-même. Il est dit, dans la Bible, aux proverbes de Salomon :

« Le poids et la balance juste viennent de l'Éternel,
Tous les poids du sachet sont son œuvre. »

De nos jours, métamorphosée en science, la métrologie a perdu ses lettres de fulgurante noblesse (c'est un signe des temps). Mais elle est, en revanche, devenue une des sources essentielles de la connaissance: « Si vous pouvez mesurer ce dont vous parlez, observait Lord Kelvin, et l'exprimer par un nombre, vous savez quelque chose de votre sujet; mais, si vous ne savez pas le mesurer, vos connaissances sont d'une pauvre espèce et bien peu satisfaisantes ».

En fait, les progrès de la métrologie suivent fréquemment ceux des autres sciences; souvent aussi ils les précèdent et les engendrent. Je citerai un seul exemple (1), puisé dans l'histoire de l'astronomie : c'est grâce aux mesurages d'angles, extrêmement précis pour la fin du seizième siècle, réalisés par Tycho Brahé (ne détermina-t-il pas les positions de certaines étoiles à moins d'une minute près?) que Johann Kepler, ce « romantique de l'astronomie », comme l'a appelé Paul Couderc, put énoncer les trois lois qui immortalisent son nom.

Il a eu la chance, il faut le noter au passage, que les résultats de Tycho Brahé ne fussent pas assez précis pour mettre en évidence les perturbations de Mars, qui avait servi, en l'espèce, de sujet d'expérience. Sinon il est probable qu'il n'eût pas songé à l'ellipse et se fût découragé. Ainsi la substitution de cette courbe au cercle, pour représenter les orbites planétaires, est-elle due à un progrès de la métrologie angulaire, mais à un progrès limité, laissant subsister des incertitudes bénéfiques.

Parmi les principales causes des progrès survenant dans la science des mesures se trouvent le perfectionnement des étalons et l'amélioration des définitions des unités. C'est précisément de l'origine et du choix des unités légales que je dois vous entretenir aujourd'hui.

Je vous exposerai, très succinctement il est vrai, l'évolution (jusqu'à son état présent et fort heureusement non définitif) du système métrique décimal ou plus exactement comment sont nés, se sont développés, succédés ou juxtaposés des systèmes rattachés au mètre et à la numération décimale, que Pérard appelait « formes du système métrique ». « Une conception quelconque, a écrit Auguste Comte, ne peut être bien connue que par son histoire. »

1. Systèmes cohérents et incohérents d'unités.

L'ensemble des unités utilisées, à une époque déterminée, soit par les membres d'une corporation, soit par les habitants d'un village, d'une ville ou d'une province, soit par un peuple ou un groupe de peuples, forment un système. Si certaines d'entre elles, appelées (2) par le décret du 3 mai 1961

(1) Tout aussi édifiante est l'expérience de MICHELSON (1881), reprise avec la collaboration de MORLEY (1887), interprétée par LORENTZ (1895), qui est à l'origine des théories relativistes.

(2) Conformément à la résolution 12 de la XI[e] Conférence générale des Poids et Mesures (1960).

« unités de base » (1), ont été ou semblent avoir été choisies au hasard, et si les autres, qualifiées par le même texte de « secondaires » (2), s'en déduisent par des équations ou relations dites « de définition », le système est « cohérent ». Dans le cas contraire, il est « incohérent ». Les lois de la physique et certains théorèmes de mathématiques s'expriment alors au moyen de formules contenant des coefficients numériques qui paraissent en général aberrants aux non-initiés.

2. Aperçu de quelques systèmes antérieurs à l'invention du mètre.

Avant de parler des diverses « formes du système métrique », pour reprendre l'expression d'Albert Pérard, effectuons, si vous le voulez bien, Mesdames, Mesdemoiselles, Messieurs, quelques sondages sporadiques dans le silo poussiéreux et encombré où gisent les unités successivement ou concomitamment utilisées au cours des millénaires qui précédèrent les dernières années du XVIII^{e} siècle.

Les premières apparues semblent avoir été liées aux dimensions du corps de l'homme, à son activité quotidienne, aux propriétés des objets qu'il manipulait couramment. Certaines, malgré quelques changements, d'ailleurs relativement légers de valeurs, se sont maintenues jusqu'à nos jours. Citons en exemples :

— pour les longueurs :

le doigt (djebâ) d'environ 19 millimètres, le palme (shesep) de 4 doigts, les diverses coudées (petite coudée de 45 cm, coudée royale de 52,4 cm, coudée sacrée de 635,6 mm, représentant avec une stupéfiante approximation la dix-millionième partie du rayon polaire terrestre), employés par les Égyptiens à l'aube de l'histoire, le pied (pes) de 29,57 cm (subdivisé en quatre palmes de quatre doigts), le pas (passus) de cinq pieds (1,48 m, en fait le double pas humain) en usage dans la Rome antique, le pied (foot) de 304,8 mm et le pouce (inch) de 25,4 mm encore utilisés en Grande-Bretagne (3) et aux États-Unis d'Amérique (4);

— pour les mesures agraires :

le journal, l'hommée, la béliée de certaines provinces françaises, représentant la superficie de terre arable qu'un homme ou une paire de bœufs pouvaient labourer en un jour;

---

(1) Les grandeurs correspondantes sont dites « fondamentales ».
(2) Les grandeurs correspondantes sont dites « dérivées ».
(3) Au Royaume-Uni, le « Weights and measures act » de 1963 spécifie que les unités de longueur sont :
— le mètre, conforme à la définition internationale en vigueur,
— le yard égal à 0,9144 m.
Le yard vaut 3 feet et 36 inches.
(4) Aux États-Unis d'Amérique, l'acte approuvé le 29 juin 1959 par le Secrétaire d'État au Commerce définit ainsi le yard et l'inch :
1 yard = 0,9144 mètre 1 inch = 25,4 millimètres.

— pour les masses :

le grain britannique (64,79892 mg), le grain de l'Ancienne France (à Paris 53,11 mg).

Notons toutefois que les systèmes aujourd'hui enfouis dans la nuit du passé n'étaient pas toujours entièrement incohérents. Ainsi les Égyptiens mesuraient-ils, dans l'Antiquité, les surfaces de leurs champs en verges carrées (setat ou aroure), la verge (khet) étant elle-même égale à 100 coudées. L'amphore (26,26 l), unité de capacité des Romains, se confondait pratiquement avec le pied cube. La toise carrée, le pouce carré servaient à exprimer les aires, dans notre pays, avant la Révolution de 1789.

Les étalons étaient déposés en des lieux sacrés ou hautement respectables : les Hébreux les conservaient dans le temple de Jérusalem; les Romains, sur le Capitole, à l'intérieur du temple de Jupiter; Justinien dans la principale église de Constantinople, au VI^e^ siècle après Jésus-Christ Dagobert et Charlemagne leur réservaient une place au palais royal ou impérial.

En France, à la veille de la Révolution, les unités variaient de ville en ville, de village en village, et, dans la même agglomération, entre les professions. Par exemple, l'aune, employée par les marchands de tissus, pour en mesurer les longueurs, valait 1,432 m à Laval, 1,191 m à Bordeaux, 0,808 m à Bourges, 0,677 m à Metz. A Paris, le menuisier qui posait une fenêtre en exprimait les dimensions en toises d'environ 1,949 m; le tapissier qui fournissait les rideaux en évaluait la longueur et la largeur en aunes valant à peu près 1,188 m. Cette diversité engendrait des fraudes et gênait considérablement les transactions.

Les étalons de longueur étaient généralement à becs, comme l'aune de 0,815 m, datant du XVI^e^ siècle, encore fixée à la façade de l'hôtel de ville de Besançon. Pour vérifier une mesure, on l'introduisait entre les talons dont on usait ainsi lentement les faces internes. Il en résultait un allongement progressif de la distance séparant ces faces, c'est-à-dire de l'étalon lui-même. Pouvaient s'y ajouter les détériorations provenant de la maladresse, du caractère facétieux ou de la malignité d'un passant. C'est ainsi que la toise en fer, scellée dans le mur du Grand Châtelet, à Paris, et accessible au public, fut plusieurs fois renouvelée. En 1766, Louis XV fit construire quatre-vingts copies de l'excellent étalon (cette fois à traits, à points et à bouts) emporté en 1735 par Godin, Bouguer et La Condamine en Amérique du Sud (1), pour y mesurer des arcs de méridien et surtout la longueur du pendule battant la seconde, à l'équateur (2). La distance séparant les repères extrêmes de cet étalon devint alors la toise du Pérou ou de l'Académie. Les copies en furent réparties entre les principales villes du royaume et quelques pays étrangers. Ce fut, en quelque sorte, un étalon international.

---

(1) La mission dura neuf ans.

(2) RICHER avait découvert, en 1673, que la période d'un pendule donné est plus grande à Cayenne qu'à Paris.

Néanmoins l'allongement, maintes fois constaté, des prototypes des unités de longueur, avait incité les savants à en rechercher un dans la nature. Ainsi serait-il possible (du moins le croyaient-ils) d'en retrouver en permanence et sans difficulté la valeur. Ils refusaient donc la solution que plusieurs rois (1) et conseillers de la couronne avaient, en vain il est vrai, tenté de faire appliquer : étendre les unités de Paris à la totalité du territoire.

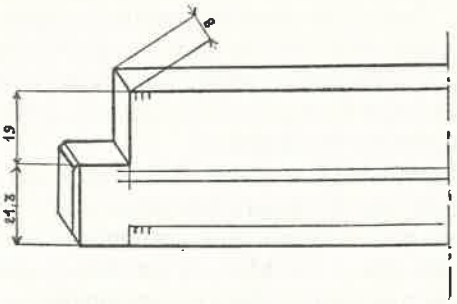


FIG. 1. — Représentation schématique de l'une des extrémités de la « Toise du Pérou » (cotes en millimètres), d'après un dessin de M. Moreau.

Parmi les précurseurs peuvent être cités (2) :

— Simon Stévin, inspecteur des digues aux Pays-Bas qui, en 1585, exposa, dans « la Disme », les avantages de la subdivision décimale des unités;

— Jean Picard qui participa à la restauration de la toise du Châtelet en 1668, mesura par triangulation l'arc de méridien séparant Sourdon, au sud d'Amiens, de Malvoisine, au sud de Paris (3), et proposa de prendre comme étalon la longueur du pendule battant la seconde;

— l'abbé Gabriel Mouton qui suggéra, en 1670, d'adopter comme unité de longueur la virga, millième partie de l'arc de méridien correspondant à une minute.

3. Création du système métrique.

Tel était l'état des unités de mesure françaises quand éclata la Révolution.

Je vais maintenant exposer brièvement, car il s'agit d'un sujet bien connu, les conditions dans lesquelles fut créé le système métrique décimal.

En 1790, Talleyrand, évêque d'Autun (il s'agissait, comme vous le savez, d'un évêque non conformiste), présenta à l'Assemblée constituante un projet d'unification des poids et mesures.

---

(1) Philippe le Bel, Philippe le Long, Louis XI, Louis XII, François Ier, Henri II, Louis XIV.

(2) Voir Maurice DANLOUX-DUMESNILS, Étude critique du système métrique (Gauthier-Villars & Cie).

(3) Il trouva que la Terre, supposée par lui sphérique, avait un rayon dont la longueur était voisine de 6 372 kilomètres.

Après avoir exposé quelques-unes des solutions antérieurement envisagées par les savants ou les administrateurs et avoir rejeté notamment l'extension des unités de Paris à tout le territoire (ce qui, selon lui, eût fait refuser la réforme par les autres peuples), il suggéra d'adopter comme étalon, pris dans la nature, la longueur du pendule battant la seconde à la latitude de 45 degrés.

Le projet voté, l'Académie des Sciences, chargée d'une partie de son application, nomma une première commission, composée de Borda, Lagrange, Tillet et Condorcet. Celle-ci se prononça pour l'assujettissement à l'échelle arithmétique, c'est-à-dire décimale, de tous les poids, mesures et monnaies. Sans doute est-il dit, dans son rapport, que l'échelle duodécimale aurait quelques avantages de plus mais que ce changement, ajouté à tous les autres « rendrait le succès presque impossible ».

Évidemment le nombre 12, multiple de 2, 3 et 4, qui correspondent aux divisions classiques de l'esprit humain (on demande la moitié, le tiers ou le quart d'une chose, on n'en demande qu'exceptionnellement le cinquième), est, en l'occurrence, préférable à 10. Mais, si on l'avait adopté, il aurait fallu changer la base de la numération. Les révolutionnaires y ont avec prudence renoncé, bien que la Convention nationale, qui vota les deux premières lois instituant le système métrique, ne fut pas, comme vous le savez, une assemblée timide.

Une autre commission composée de Borda, Lagrange, Laplace, Monge et Condorcet, considéra que trois bases prises dans la nature étaient à examiner :

— la longueur du pendule à secondes,
— un quart de l'équateur,
— un quart du méridien, entre le pôle et l'équateur.

La première fut rejetée parce qu'elle faisait intervenir le temps et l'accélération de la pesanteur, grandeurs étrangères aux longueurs. La seconde fut aussi repoussée parce que les régions équatoriales étaient d'accès difficile.

On retint donc la troisième et décida que l'arc de méridien compris entre Dunkerque et Barcelone, à cheval sur le parallèle 45°, serait mesuré. Il suivait la méridienne de Paris déjà déterminée deux fois, ce qui fournissait des vérifications précieuses (1).

Après d'inévitables désistements, les opérations incombèrent à Jean-Baptiste Delambre, pour la partie située au nord de Rodez, et à Pierre Méchain

(1) La première détermination relativement précise de la longueur d'un méridien semble être celle que fit, vers 200 av. J.-C., le mathématicien grec ERATOSTHÈNE de Cyrène, directeur de la Bibliothèque d'Alexandrie et précepteur de Ptolémée IV Philopator. Il mesura la longueur de l'ombre d'un style, au solstice d'été, à Alexandrie. Sachant qu'à la même époque le soleil se mirait dans les puits à Syène et supposant (ce qui n'est pas rigoureusement vrai) les deux villes sur le même méridien, il en déduisit l'angle formé par les rayons terrestres aboutissant à ces deux villes. La connaissance de cet angle et celle de la distance des dites localités (déterminée peut-être par les arpenteurs de la Vallée du Nil) lui permit d'évaluer, selon certains auteurs anciens (tous ne sont pas d'accord), à 250 000 stades la longueur du méridien. HIPPARQUE porta ce nombre à 252 000. Cela correspond à 39 690 km si, comme d'aucuns le pensent, il s'agissait du stade égyptien (157,5 m), à 44 755 ou 46 620 km si l'unité employée était l'un ou l'autre des deux stades grecs (177,6 m ou 185 m).

pour la partie située au sud de cette ville. Elles s'avérèrent longues et difficiles, en des temps troublés, d'autant plus que la guerre ne tarda pas à surgir entre la France et l'Espagne. Les deux astronomes faillirent plusieurs fois y laisser leurs têtes.

Bien avant la fin de ces opérations, la Convention nationale vota la loi du 1er août 1793 puis celle du 18 germinal an III (7 avril 1795) relatives au nouveau système d'unités (il faut noter au passage que les actes de cette assemblée étaient alors appelés décrets, mais il s'agissait évidemment de lois selon la terminologie du droit actuel). La seconde définissait le mètre comme la « dix-millionième partie de l'arc de méridien terrestre compris entre le pôle boréal et l'équateur » et le gramme comme le poids absolu (1) d'un volume « d'eau pure égal au cube de la centième partie du mètre, à la température de la glace fondante ». Ce n'est que plus tard, au cours des travaux effectués par Lefèvre-Gineau et Fabbroni, pour déterminer la valeur en grains du kilogramme, que l'on adopta la température correspondant au maximnm de densité, soit 4 °C.

La principale raison de cette entorse à la loi, commise à aussi bref délai, fut que les expérimentateurs, qui pesaient successivement dans l'air et dans l'eau un cylindre de laiton, dont le volume était déduit de ses dimensions, ne purent jamais opérer à une température inférieure à 0,3 °C. Aussi, par une honnêteté scientifique qu'on ne saurait trop louer, renoncèrent-ils à procéder à une extrapolation. Ils craignaient en effet qu'au voisinage du point de solidification se produisît une variation brusque de la densité du liquide.

Deux autres raisons furent données, *a posteriori* semble-t-il : la première était que le maximum de densité de l'eau représentait une anomalie dont l'adoption de la température s'imposait; la seconde, à mon avis plus péremptoire, qu'au voisinage de cette température les variations de masse volumique, engendrées par le fait qu'on s'en écarte, sont plus faibles.

Une question a été maintes fois posée à propos de la définition du gramme. Comment les conseillers scientifiques de la Convnetion nationale entendaient-ils le mot « poids »? S'agissait-il d'une force ou d'une masse? La question paraît tranchée en faveur de la seconde hypothèse par le rapport établi le 11 prairial an VII (30 mai 1799) par le physicien suisse Trallès, président de la commission chargée de vérifier les opérations relatives à la détermination du kilogramme. Il y est dit qu'il représente « l'unité adoptée pour la quantité de matière (2) ou l'unité de poids parce que nous mesurons le plus ordinairement la quantité de matière par son poids ».

Ainsi la loi du 18 germinal an III crée un système d'unités de longueur, de surface, de volume et de masse (les seules qui, avec le franc, y sont nom-

---

(1) Corrigé de la poussée de l'air.

(2) Le mot masse (latin : massa, masse, amas de choses pressées et comme pétries, bloc, tas) paraît s'être surtout introduit en physique au cours du XIXe siècle.

mément mentionnées (1)) comportant une seule unité de base : le mètre.

Les travaux de géodésie et de pesée hydrostatique terminés et interprétés, on conclut que le mètre était égal à 3 pieds 11 lignes, 296 et le kilogramme à 18 827,15 grains. On construisit alors deux étalons en platine. Celui du mètre était à bouts, conformément à la technique de l'époque, bien que la loi du 18 germinal an III semble avoir envisagé une mesure à traits. C'était une règle ayant la forme d'une bande plate de 25,3 mm de largeur et de 4 mm seulement d'épaisseur, qui est encore conservée aux Archives nationales et qu'on appelle, pour cette raison, « le mètre des Archives ». Elle définissait l'unité de longueur à 20 microns près environ. Quelques années après, Delambre reconnut qu'elle était plus courte que la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre. Bessel le confirma en 1841.

Pour la masse on préféra établir un étalon du kilogramme, bien que, comme je l'ai déjà dit, l'unité prévue par la loi du 18 germinal an III fût le gramme. Le kilogramme est en effet d'une « taille » plus convenable, c'est-à-dire qu'il se rapproche davantage de la masse des objets couramment pesés.

Cet étalon, également en platine, avait la forme d'un cylindre. Il fut présenté, avec celui du mètre, au Conseil des Anciens et au Conseil des Cinq-cents, le 4 messidor an VII (22 juin 1799), puis déposé le même jour aux Archives qui se trouvaient alors dans l'enceinte des Tuileries.

Peu de temps après, sous le Consulat, la loi du 19 frimaire an VIII (10 décembre 1799) précisa que la règle et le cylindre, dont il vient d'être question, « étaient les étalons définitifs des mesures de longueur et de poids dans toute la République ». Comme, en fait, leurs valeurs différaient légèrement de celles attribuées au mètre et au kilogramme par la loi du 18 germinal an III, il s'agissait, en réalité, d'une seconde définition de chacune de ces unités et de l'institution, non expressément avouée, de deux grandeurs fondamentales. Mais, du point de vue purement théorique, rien n'était changé.

4. Mise en application du système métrique.

Ainsi se trouvait établi par la France, à la fin du XVIII[e] siècle, le système métrique décimal. Restait à résoudre le problème le plus difficile : en rendre l'application effective. Nous, qui avons assisté à un simple changement d'unité monétaire, n'avons aucune peine à imaginer les obstacles auxquels se sont, en l'occurrence, heurtés les pouvoirs publics. Encore faut-il souligner la répugnance éprouvée par la quasi-unanimité de la population pour la terminologie gréco-latine adoptée (2). Aussi Napoléon tenta-t-il, malgré l'opposition de

(1) Les réformateurs évitèrent soigneusement, pour ne pas dresser davantage contre eux toute l'opinion publique, de faire figurer les unités de temps dans la loi, notamment d'y maintenir la disposition de la loi du 4 frimaire an II (24 novembre 1793) prescrivant la division décimale du jour.

(2) Les chansonniers ne poussaient-ils pas l'humour jusqu'à prétendre que l'Académie devrait « fournir des épiciers »?

Laplace, de familiariser le public avec les valeurs des unités métriques par un artifice. Il signa le 12 février 1812 un décret instituant un système dit des « unités usuelles ». Elles avaient les noms de celles qui étaient employées avant 1789, mais leurs valeurs se déduisaient des unités métriques à l'aide de coefficients simples. Ainsi apparurent une toise de deux mètres, une aune de 120 centimètres. Cette décision fut un échec. Sa principale conséquence fut d'accroître encore la confusion.

Il faut tout de même noter que l'article 5 du décret précité prévoyait que le « système légal » (c'est-à-dire métrique) continuerait « à être seul enseigné dans toutes les écoles ». Même si elle ne fut pas rigoureusement observée, cette prescription eut des conséquences bénéfiques pour l'avenir.

C'est finalement sous le règne de Louis-Philippe que la loi énergique du 4 juillet 1837 rendit le système métrique décimal obligatoire à partir du 1er janvier 1840. L'exécution d'une telle décision fut surtout assurée grâce aux pouvoirs précis donnés par l'article 7 aux vérificateurs des poids et mesures.

Est-ce à dire que les anciennes unités disparurent aussitôt sur la totalité du territoire? Évidemment non puisqu'aujourd'hui encore les imprimeurs parlent de cicéros de 4,5 mm, se décomposant en 12 points typographiques, et que certains cultivateurs continuent à évaluer les surfaces agraires en cartades, cartonnées ou arpents.

Signalons que, avant la promulgation de la loi du 4 juillet 1837, le système métrique décimal avait été adopté par les Pays-Bas, dès 1816, et par la Grèce en 1836.

5. Création des systèmes électrostatique et électromagnétique C.G.S. et du système pratique des électriciens.

Vers 1825, Gauss établit un système électrostatique dont le millimètre, le milligramme et la seconde étaient des unités de base. La relation $f = m\gamma$, dépourvue de tout coefficient numérique autre que 1, y formait l'une des équations de définition. Un peu plus tard, Weber créa un système électromagnétique fondé sur ces mêmes unités.

Les deux inventions précédentes sont à l'origine du système électromagnétique C.G.S., conçu, entre 1863 et 1873, par l'Association britannique pour l'Avancement des Sciences (1), entériné et complété par les Congrès des Électriciens tenus respectivement à Paris, en 1881, et à Londres, en 1908.

Il convient de signaler que le système électrostatique C.G.S. ne fut jamais sanctionné officiellement par une assemblée d'électriciens. Mais son unité de quantité d'électricité est mentionnée, à propos de la définition du rœntgen, dans le tableau annexé au décret n° 61 501 du 3 mai 1961.

---

(1) Parmi les physiciens qui participèrent à son élaboration se trouvaient notamment James Clerck Maxwell et William Thomson, le futur Lord Kelvin. La « British Association » fut instituée en 1831.

Le susdit Congrès de 1881 créa quelques unités électriques qualifiées de « pratiques », à savoir : l'ohm, le volt, l'ampère, le coulomb, le farad. En 1893, le Congrès de Chicago leur adjoignit le henry.

Il est possible de lier ces six unités à un système mécanique qui forme avec elles un ensemble cohérent et dont les unités de base sont :

— le quadrant (10 000 km, sensiblement le quart du méridien terrestre) pour la longueur,
— l'eleventh-gramme (10^{-11} g) pour la masse,
— la seconde pour le temps.

Maxwell suggéra de le désigner par le sigle Q.E.S.

6. Organismes internationaux institués par la Convention du Mètre (1875).

Au cours du troisième quart du XIX^{e} siècle, les expositions internationales contribuèrent à faire connaître et apprécier hors de nos frontières le système métrique. Le prince Albert, mari de la reine Victoria d'Angleterre, en étant le promoteur, la première fut ouverte à Londres le 1er mai 1851. Lors de celle qui eut lieu à Paris en 1867 et qui reçut plusieurs millions de visiteurs, un « Comité des poids, mesures et monnaies », comprenant les délégués de nombreux états, fut institué.

Les unités métriques furent autorisées au Royaume-Uni en 1864, rendues légales et facultatives aux États-Unis d'Amérique en 1866, introduites sur le territoire allemand par le Reichstag en 1868, admises au Canada en 1871 et en Égypte en 1873.

A la même époque, l'Association géodésique, établie à Berlin et composée de représentants de nombreux pays européens, observait que les règles à bouts, longtemps employées d'une manière quasi exclusive, offraient moins de sécurité que les règles à traits. Elle constatait avec regret que les grandes triangulations effectuées présentaient, aux côtés de jonction, des différences systématiques empêchant de les combiner. Aussi, dans sa séance du 5 octobre 1867, se prononça-t-elle pour le choix d'une unité de longueur internationale, en l'occurrence le mètre, pour la construction d'un nouveau prototype et pour la création d'un bureau des poids et mesures.

L'Académie des Sciences de Paris et celle de Saint-Pétersbourg avaient, de leur côté, émis des vœux pour que le gouvernement français convoque une commission internationale et lui demande d'étudier comment devraient être exécutées les copies du mètre et du kilogramme destinées aux divers pays, sur l'invitation des autorités impériales, les délégués de vingt-quatre états se réunirent à Paris le 8 août 1870. Mais, en raison de la guerre franco-prussienne, cette commission dut ajourner ses travaux. Ils reprirent en 1872.

Il fut alors décidé de ne pas mesurer une nouvelle fois la méridienne,

mais de déduire la longueur du nouveau prototype, à traits, du mètre de celle de la règle déposée aux Archives (1).

L'intérêt psychologique de la définition basée sur le quart du méridien terrestre avait disparu (2). De plus, pour ne pas modifier l'ensemble des mesures existantes, il convenait d'adopter un nouvel étalon qui fût plus précis mais dont la longueur restât comprise entre les valeurs limitant la zone d'incertitude de l'ancien. On avait depuis longtemps compris que le maintien de la définition donnée par la loi du 18 germinal an III imposerait un changement de la longueur du mètre après chaque nouvelle détermination de la distance du pôle boréal à l'équateur. Voici, d'ailleurs, pour préciser la question quelques ellipsoïdes successivement proposés, depuis 1799, comme susceptibles de représenter la surface de la Terre (3), relief éliminé (les dimensions indiquées comportent parfois un nombre de chiffres décimaux un peu présomptueux) :

Ellipsoïde de	Date	Demi-grand axe a (km)	Aplatissement $\alpha = \frac{a-b}{a}$ b étant le demi-petit axe
La Commission générale des poids et mesures (4)	1799	6 375,7387	1/334,29
Delambre	1810	6 376,9850	1/308,64
Bessel.....	1837-1841	6 377,39715	1/299,1528
Clarke	1880	6 378,2492	1/293,466
Hayford (5)	1909	6 378,388	1/297
Krassovsky	1942	6 378,245	1/298,3
Union astronomique internationale	1964	6 378,160	1/298,25 (6)

Notons que le quart du méridien de l'ellipsoïde d'Hayford (7) (admis en 1924, à Madrid, par l'Association de Géodésie de l'Union géodésique et géophysique internationale comme surface de référence) a une longueur de

(1) En 1808, les Archives avaient été transférées dans l'ancien Hôtel de Soubise, rue des Francs-Bourgeois. Les étalons sanctionnés par la loi du 19 frimaire an VIII s'y trouvent encore. Mais ils ne sont pas présentés au public. Le kilogramme, en meilleur état que le mètre, est un cylindre dont le diamètre est de 39 mm et la hauteur voisine de 39,5 mm.

(2) Dès 1830 on commença à ne plus considérer le mètre comme la valeur d'un « étalon naturel », mais comme une longueur arbitraire.

(3) Une surface qui, en chacun de ses points, est normale à la direction du fil à plomb est une « surface de niveau ». Celle qui passe par le point dont la cote est par convention égale à zéro est appelée « géoïde ». Bien qu'elle soit de forme irrégulière, les géodésiens l'assimilent à un ellipsoïde de révolution. Les écarts sont, d'ailleurs, faibles : ils dépassent rarement l'hectomètre (voir, à ce sujet, l'Annuaire du Bureau des Longitudes pour l'année 1968).

(4) Cet ellipsoïde a servi pour déterminer la valeur initiale du mètre.

(5) La longueur de la circonférence équatoriale est de 40 076,594 km.

(6) Cet aplatissement résulte de l'étude des mouvements des satellites artificiels.

(7) Ellipsoïde déduit des nombreuses déterminations faites sur le territoire des États-Unis d'Amérique.

10 002,288 km. Ainsi le mètre actuel est-il inférieur de 228,8 microns à sa dix-millionième partie.

Quant au kilogramme, il fut également décidé qu'il serait déduit de l'étalon des Archives, dans son état du moment, et que la matière constitutive du prototype serait l'alliage, comportant 90 % de platine et 10 % d'iridium, que l'on venait d'adopter pour l'étalon international du mètre. Cet alliage avait été proposé par le chimiste Henri Sainte-Claire Deville dans un rapport où il éliminait le quartz, le verre, les métaux qui s'altèrent à l'air pur ou chargé d'hydrogène sulfuré, l'or qu'il estimait trop mou.

Peu après, le 1er mars 1875, se réunit à Paris, sous la présidence du duc Decazes, ministre des Affaires étrangères, une « conférence diplomatique », groupant les plénipotentiaires de vingt états, assistés de techniciens, dont les travaux aboutirent à la « Convention du Mètre » du 20 mai 1875.

Celle-ci institua trois organismes, à savoir :

— le Bureau international des Poids et Mesures,
— le Comité international des Poids et Mesures,
— la Conférence générale des Poids et Mesures.

a) Le Bureau international des Poids et Mesures.

Le premier est permanent. Installé, depuis sa fondation, au Pavillon de Breteuil, situé sur un terrain enclavé dans le parc de Saint-Cloud (1) et offert par le gouvernement français, il est entretenu, à frais communs, par les états signataires de la Convention du Mètre.

Il doit notamment :

— établir les « étalons fondamentaux » des principales grandeurs physiques,
— conserver les prototypes internationaux,
— effectuer les comparaisons des étalons nationaux et internationaux de longueur, masse, température, électricité, photométrie, et radiations ionisantes,
— étalonner les règles et les fils géodésiques.

b) Le Comité international des Poids et Mesures.

Le Bureau international fonctionne sous la direction et la surveillance du Comité international, placé lui-même sous l'autorité de la Conférence générale.

Ce Comité est composé de dix-huit membres appartenant à des états

(1) Le Pavillon de Breteuil, construit au XVIIIe siècle, habité sous le Second Empire par la princesse Mathilde, incendié en 1871, occupe l'emplacement de l'ancien « Trianon de Saint-Cloud ».

différents. Il choisit son président et son secrétaire. Il se réunit au moins une fois tous les deux ans.

Il peut s'adjoindre, pour l'étude de certaines questions, des comités consultatifs (1).

c) **Conférence générale des Poids et Mesures.**

La Conférence générale, formée des délégués de tous les gouvernements ayant signé la Convention du Mètre (actuellement au nombre de quarante), se réunit au moins une fois tous les six ans, sur la convocation du Comité international.

Elle a pour mission de discuter et de provoquer les décisions nécessaires pour la propagation ou le perfectionnement du système métrique, ainsi que de sanctionner les nouvelles déterminations métrologiques fondamentales faites dans l'intervalle des sessions. Elle reçoit le rapport du Comité international sur les travaux accomplis.

Les votes y ont lieu par état, chaque état ayant droit à une voix.

Les membres du Comité international siègent de droit à la Conférence. Ils peuvent être en même temps délégués de leurs gouvernements.

La Conférence prend des résolutions que les états contractants ont l'obligation morale d'appliquer. Elles sont préparées par le Comité international, éventuellement secondé par le comité consultatif compétent.

Il faut signaler qu'en 1954 la X^{e} Conférence générale des Poids et Mesures, sortant du cadre classique des questions traitées par ses devancières, a recommandé l'emploi d'un système à six unités de base (mètre, kilogramme, seconde, ampère, degré Kelvin, candela).

7. Définitions du mètre et du kilogramme données en 1889.

Mais reprenons l'ordre chronologique.

a) **Le mètre.**

Une fois organisé et installé, le Bureau international mit au point les étalons de longueur et de masse, en platine iridié, prévus en 1872.

Le prototype du mètre, qui fut alors établi, était, comme chacun sait, constitué par une règle, d'environ 102 centimètres, sur laquelle deux traits transversaux marquaient les extrémités de l'unité. Il est encore conservé, avec les mêmes soins qu'avant 1960 (année où il fut détrôné au profit d'une longueur d'onde), à côté du kilogramme international (placé, lui, sous des

(1) Exemples : Comités consultatifs d'électricité, de photométrie, de thermométrie, de définition du mètre, de définition de la seconde, des étalons de mesurage des radiations ionisantes.

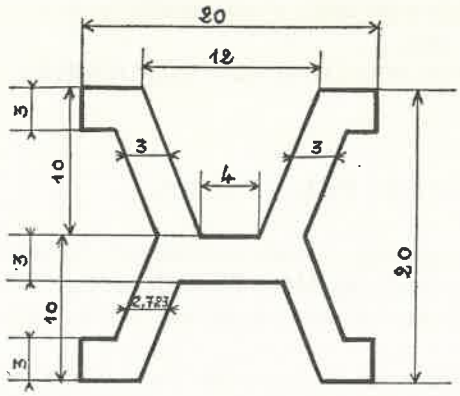


FIG. 2. — Section de l'ancien prototype international du mètre (cotes en millimètres).

cloches en verre) et de certains témoins, dans une armoire en fer, située à l'intérieur d'un caveau, au Pavillon de Breteuil.

La section a la forme d'un X à talons. Elle a été imaginée par Henri Tresca, professeur de mécanique au Conservatoire des Arts et Métiers. La largeur, égale à la hauteur, est de vingt millimètres. Le plan neutre est mis à nu sur toute la longueur et sur une largeur d'environ 4 mm. A chaque extrémité de cette bande de plan se trouve une mouche polie spéculairement, portant deux traits parallèles longitudinaux, distants d'à peu près 0,2 mm, définissant l'axe de la règle, et trois traits transversaux qui coupent les précédents à angle droit et sont situés à sensiblement 0,5 mm l'un de l'autre. La partie médiane (c'est-à-dire comprise entre les segments de droite longitudinaux) du trait transversal central de chaque mouche constituait une des extrémités du mètre quand la règle se trouvait à zéro degré Celsius.

La VII[e] Conférence générale des Poids et Mesures avait complété la définition. La règle devait être disposée horizontalement, sur deux rouleaux d'au moins 1 cm de diamètre, symétriquement disposés par rapport au plan médiateur de la règle et situés à 571 mm l'un de l'autre. La différence entre la lon-

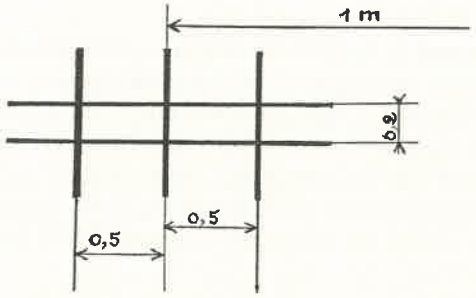


FIG. 3. — Représentation schématique des traits gravés sur l'une des mouches de l'ancien prototype international du mètre (cotes en millimètres).

gueur de la fibre neutre (voisine, comme il a été dit, de 102 cm) et celle de sa projection horizontale passait alors par un minimum (1).

La règle devait en outre être soumise à la pression atmosphérique normale car dans le vide, elle aurait eu environ 0,21 micron de plus (2).

Les traits, gravés au diamant, qui ont à peu près 8 μ d'épaisseur (3), étaient visés, au microscope, par la « méthode des plages ». Comme vous le savez, dans un tel procédé, le micromètre à deux fils parallèles est disposé de manière que les aires des surfaces comprises entre l'image du trait et celle de chacun de ces fils paraissent à l'observateur équivalentes (fig. 4).



FIG. 4. — Pointage de la partie centrale du trait transversal médian par la méthode dite « des plages. »

Ainsi pouvait-on, avec un grossissement de l'ordre de 100, repérer « l'axe du trait » avec une précision de 0,2 μ.

Les conditions d'observation furent plus tard améliorées par l'emploi d'une photodiode au germanium et d'un faisceau lumineux animé d'un mouvement alternatif.

Vers 1888, en même temps que l'ancien prototype, avaient été faits une trentaine d'autres mètres (4), dont quelques-uns ont été conservés au Bureau international des Poids et Mesures et les autres répartis au sort entre les divers pays adhérant à la Convention du Mètre. Avant 1960, la plupart servaient d'étalons nationaux.

Celui qui échut à la France porte le numéro 8. Il avait pour équation :

$$l = 1\ \text{m} - 0{,}4\ \mu + (8{,}649\ t + 0{,}00100\ t^2)\mu$$

t étant la température de la règle en degrés Celsius.

---

(1) 102 cm × 0,5594 ≈ 571 mm.
Cette distance est donc pratiquement égale à celle des points de Bessel. Un faible écart des supports par rapport aux positions ainsi prévues a une influence négligeable sur la longueur du segment de droite limité par les deux traits.
Si les génératrices portantes des rouleaux se trouvent aux extrémités de la règle les traits se rapprochent d'environ 0,4 μ.

(2) Suspendue par une extrémité, elle aurait, dans l'atmosphère normale, sensiblement 0,55 μ de plus que lorsqu'elle est en position horizontale.

(3) Aujourd'hui on sait, grâce aux travaux de M. VOLET et de la Société genevoise d'Instruments de Physique, graver des traits plus profonds, plus réguliers et plus symétriques, de 4 à 5 μ d'épaisseur.

(4) En fait, on avait choisi comme prototype international, celle des règles ainsi fabriquées dont la longueur, entre traits, se rapprochait le plus de celle du « mètre des Archives ».

Il est encore conservé, avec le prototype français du kilogramme, au Laboratoire national d'Essais (1), rattaché au Conservatoire national des Arts et Métiers.

Le nouvel étalon international du mètre fut sanctionné par la Ire Conférence générale des Poids et Mesures, tenue à Paris en 1889. La résolution, adoptée à l'unanimité à cet effet, déclarait : « ce prototype représentera désormais, à la température de la glace fondante, l'unité de longueur ».

Cette définition fut rendue officielle en France par la loi du 11 juillet 1903.

Les qualités d'un étalon s'expriment en général à l'aide de trois termes : permanence, précision, facilité de reproduction. A cet égard, plus particulièrement en ce qui concerne les deux premiers volets du triptyque, le prototype du mètre, admis en 1889, s'est avéré excellent. Il a d'ailleurs résisté pendant soixante et onze ans aux progrès des sciences et des techniques. Il définissait l'unité à 0,2 μ (en valeur relative 2.10^{-7}) près (2).

Deux sortes de phénomènes précipitent les variations de la matière, notamment les changements de dimensions engendrés par le temps : les sautes de températures et les secousses. Pour s'assurer de la stabilité du platine iridié, on a soumis des barres constituées par cet alliage à des écarts répétés de température, entre 0 et 40 °C, ainsi qu'à des vibrations, obtenues à l'aide de trembleurs électriques, pendant des journées entières. Aucune modification de longueur dépassant les erreurs possibles d'expérience n'a jamais été constatée.

Il n'en est pas de même pour l'étalon britannique du yard, constitué par une règle de bronze, à section carrée, d'un inch de côté : il se raccourcit d'environ 4 μ par siècle (3).

***b*) Le kilogramme.**

La Ire Conférence générale des Poids et Mesures décida également que le kilogramme serait désormais la masse du prototype en platine iridié (90 % de platine, 10 % d'iridium; masse volumique voisine de 21,5 kg/dm³) adopté par le Comité international.

Celui-ci avait été choisi, en 1883, dans un groupe de trois étalons apparemment identiques, parce que son poids dans le vide coïncidait avec celui du « kilogramme des Archives » dans la limite d'incertitude de la comparaison. Entre temps 40 autres étalons du même modèle, destinés à devenir, pour la plupart, des prototypes nationaux, avaient été fabriqués.

Le « kilogramme international » a la forme d'un cylindre, dont le diamètre, sensiblement égal à la hauteur, est d'environ 39 mm. La surface a été parfaitement polie dans le triple but (4) :

---

(1) Situé 1, rue Gaston-Boissier, à Paris (15e).

(2) Ce qui correspond sensiblement à une précision de 2 dm sur la distance de Paris à Marseille.

(3) Les traits sont gravés sur des pastilles d'or incrustées aux fonds de trous pénétrant dans la barre jusqu'au milieu de son épaisseur.

(4) Voir à ce sujet l'article d'Albert PÉRARD, paru dans le numéro de janvier 1944 de la Revue de Métrologie pratique et légale.

— de mettre en évidence la compacité de l'alliage,

— de faire disparaître les anfractuosités ou rugosités où pourraient se loger des poussières inexpugnables ou rebelles au passage du blaireau,

— de rendre facilement observables les altérations qu'aurait éventuellement subies le cylindre.

La masse d'un corps diminue peu à peu sous l'effet des manipulations. Aussi le meilleur moyen de conserver un prototype dans sa valeur initiale est de l'utiliser le moins possible. C'est pourquoi le « kilogramme international » n'a jamais été employé entre 1890 et 1938.

Ainsi constitué, le prototype international définit l'unité de masse à environ 2/100 de mg près (en valeur relative 2.10^{-8}). Il excède d'à peu près 27 mg la masse du décimètre cube d'eau prise à son maximum de densité.

La définition du kilogramme donnée par la I^re^ Conférence générale des Poids et Mesures fut adoptée, en France, par la loi, déjà citée, du 11 juillet 1903. Elle a été conservée par les différents textes parus depuis à ce sujet.

8. Le système des unités légales françaises prévu par le décret du 3 mai 1961.

Continuant à suivre l'ordre chronologique, je citerai simplement le choix, fait par notre pays, du système M.T.S., en 1919 (loi du 2 avril, décret du 26 juillet), et les modifications apportées aux définitions de certaines unités électriques ou optiques en 1948 (loi du 14 janvier, décret du 28 février), pour m'attarder davantage sur la réforme de 1961 qui nous régit encore.

En octobre 1960, la XI^e^ Conférence générale des Poids et Mesures avait donné une nouvelle définition du mètre, basée sur la longueur d'onde, dans le vide, de l'une des radiations orangées du krypton 86. Six ans auparavant la X^e^ Conférence avait, comme je l'ai déjà dit, recommandé l'adoption d'un système à six unités de base, constituant une extension de celui qui était désigné par le sigle M.K.S.A. et qu'avait proposé en 1901 l'ingénieur italien Giovanni Giorgi. Ce dernier avait alors montré que quatre unités de base étaient nécessaires pour englober les domaines mécanique et électrique.

Son invention avait l'indéniable mérite de faire figurer, dans un ensemble cohérent, à la fois les unités électriques dites pratiques et des unités mécaniques de taille convenable.

La France avait donc l'obligation morale de changer encore une fois de système d'unités.

Les réformes antérieures comportaient une loi fixant les généralités et définissant les unités de base, un règlement d'administration publique concernant les unités secondaires. Mais l'article 34 de la Constitution du 4 octo-

bre 1958, qui énumère limitativement les questions réglées par la loi, ne prévoit pas les unités de mesure. En application de l'article 37, elles doivent donc faire l'objet d'un acte du gouvernement.

C'est pourquoi le texte fondamental est maintenant un décret, celui du 3 mai 1961 (1), qui a pu abroger certaines dispositions des lois traitant du même sujet. Il a été rendu en Conseil d'État, après avis de la Commission technique des Instruments de Mesure, du Bureau national scientifique et permanent des Poids et Mesures et de l'Académie des Sciences. La partie concernant les unités ne peut être modifiée ou complétée que par un texte de même nature, élaboré dans des conditions identiques.

Le système ainsi institué coïncide, en grande partie, avec le système international SI, préconisé par la Conférence générale. Il comporte six unités de base, à savoir :

— le mètre, unité de longueur,
— le kilogramme, unité de masse,
— la seconde, unité de temps,
— l'ampère, unité d'intensité de courant électrique,
— le degré Kelvin, unité de température,
— la candela, unité d'intensité lumineuse.

Des définitions nouvelles sont données pour le mètre (1 650 763,73 longueurs d'onde, dans le vide, de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux $2p_{10}$ et $5d_5$ de l'atome de krypton 86), et la seconde (fraction 1/31 556 925,9747 de l'année tropique pour 1900, janvier zéro, à 12 heures de temps des éphémérides). Le mètre semble ainsi défini à 3.10^{-9} près (au lieu de 2.10^{-7}) et la seconde à 10^{-9} (au lieu de 10^{-7}) près. Il faut toutefois noter que, par une prudence louable, le Comité international indique seulement une précision de 10^{-8} à propos de l'unité de longueur.

Le tableau annexé au décret donne les définitions de toutes les unités, qu'elles soient « de base », « secondaires » ou « hors système » (comme le mille (2), le carat métrique (3), le nœud (4), l'ampère-heure (5)). Il en fixe les symboles. Ces derniers doivent être soigneusement observés. Il est interdit de leur ajouter la lettre *s* pour marquer le pluriel. Cela en changerait d'ailleurs la signification puisque cette lettre représente la seconde.

En règle générale, le symbole d'une unité dont le nom dérive de celui d'un savant comporte comme première lettre une majuscule. Par exemple, les symboles du pascal, du stokes, du poiseuille, de l'ohm sont respectivement : Pa, St, Pl, Ω.

---

(1) Modifié par celui du 5 janvier 1966.
(2) 1 852 mètres (autorisé seulement en navigation maritime ou aérienne).
(3) 200 mg (employé dans le commerce des diamants, perles fines et pierres précieuses).
(4) Unité de vitesse égale à 1 mille par heure, c'est-à-dire $\frac{1\,852}{3\,600}$ m/s.
(5) 3 600 coulombs.

Le décret du 5 janvier 1966, rendu dans les conditions précédemment indiquées, a complété la liste des préfixes servant à former les noms des multiples et sous-multiples en y adjoignant « femto » (*f*) et « atto » (*a*). Ils correspondent aux facteurs 10^{-15} et 10^{-18}. Ils dérivent des mots signifiant quinze et dix-huit en danois, c'est-à-dire femten et atten.

9. Modifications devant prochainement intervenir.

Mais, dès maintenant certaines modifications des textes en vigueur s'imposent et notre pays ne pourra pas s'y soustraire.

La XIII[e] Conférence générale des Poids et Mesures, réunie à Paris, en octobre 1967, a modifié la définition de la seconde en la rapportant au temps atomique (durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133 (la précision relative atteint probablement 10^{-12}, au lieu de 10^{-9}).

Bien que sa valeur reste la même, le degré Kelvin (symbole : °K) devient le kelvin (symbole : K) ainsi défini : « fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau ».

Enfin, également sans changer de valeur, la candela est désormais « l'intensité lumineuse, dans la direction perpendiculaire, d'une surface de 1/600 000 m^2 d'un corps noir à la température de congélation du platine (1), sous la pression de 101 325 pascals » (2).

Peut-être faut-il, avant de terminer, signaler que le mot kilogramme déplaît à beaucoup de métrologistes. Il leur semble, avec raison, anormal que le préfixe « kilo » apparaisse dans le nom d'une unité de base. De nombreuses solutions ont été proposées. Mais, jusqu'à maintenant aucune n'a été officiellement retenue.

Nous venons de survoler, très rapidement il est vrai, le maquis des unités de mesure passées, présentes et futures. Nous n'en avons vu ou deviné que les grandes masses. Je serais heureux si j'avais réussi à vous faire sentir la ténacité déployée par les générations de métrologistes pour s'approcher de plus en plus des valeurs vraies des grandeurs physiques, tout en sachant qu'il est impossible de les atteindre. On ne saurait trop louer un effort aussi soutenu. Seul peut lui être comparé celui que vous avez fait en m'écoutant jusqu'au bout.

Réponses aux questions posées.

M. Defix a ensuite répondu aux nombreuses questions posées par les auditeurs. Il a notamment donné les explications suivantes à propos de la définition du mètre.

(1) 1 772 degrés Celsius (échelle internationale pratique de température de 1968).

(2) La Conférence générale des Poids et Mesures n'emploie pas le mot « pascal ». Elle le remplace par l'expression « newton par mètre carré ».

1° Conditions pour qu'une longueur d'onde soit un bon étalon.

En 1827, Jacques Babinet estimait qu'une longueur d'onde lumineuse serait un excellent étalon. Mais, en fait, le problème était beaucoup plus complexe qu'il croyait. Des difficultés insoupçonnées ont surgi au fur et à mesure que se développait la spectroscopie.

Les longueurs d'onde des raies spectrales sont soumises à maintes causes de variation.

L'agitation thermique des molécules contenues dans un gaz correspond à une vitesse moyenne quadratique proportionnelle à $\sqrt{\frac{T}{M}}$, M étant la masse moléculaire du corps dont est constitué ce gaz et T sa température absolue. Il en résulte un élargissement, par effet Doppler-Fizeau, des raies de l'élément envisagé. Cet accroissement de largeur est donc d'autant plus faible que le corps émetteur a une masse atomique plus élevée et qu'il se trouve à une température plus basse.

Si le même gaz est soumis à une induction magnétique importante chacune de ses raies spectrales se décompose en plusieurs autres (effet Zeeman). Il en est de même quand agit sur lui un champ électrique (effet Stark). Ainsi, par les actions réciproques de leurs champs électriques et aussi par leurs collisions, les atomes voisins provoquent un élargissement supplémentaire des raies (effet de pression). Le phénomène est encore accru par la présence d'ions dans la source lumineuse (1).

Signalons aussi que la structure hyperfine (raies formées de plusieurs composantes dont l'intervalle est inférieur à 1 Å) provient de la présence de plusieurs isotopes dans le gaz émetteur et des spins des noyaux.

Dès lors, pour qu'une raie spectrale soit un bon étalon (2), il faut que :

— le corps dont elle émane ne soit pas composé de plusieurs isotopes et comporte un noyau à spin nul (absence de structure hyperfine),

— la masse atomique de ce corps soit élevée et sa température, au moment de l'émission, très basse (réduction de l'effet Doppler-Fizeau),

— la pression (qui est d'ailleurs une fonction de la température) de la partie gazeuse (c'est-à-dire de la fraction émettrice) soit faible (diminution des actions mutuelles des atomes).

(1) En fait les champs électriques dont il s'agit produisent un élargissement et non une décomposition des raies par effet Stark parce que ces champs varient constamment.

(2) Voir Jean TERRIEN, La spectroscopie (Presses universitaires de France; Collection « Que sais-je?)

2° Définition actuelle du mètre (1).

La définition actuelle du mètre repose, comme je l'ai dit, sur la longueur d'onde, dans le vide, de l'une des nombreuses radiations orangées (2) du krypton 86, celle qui correspond à la transition entre les niveaux $2p_{10}$ et $5d_5$. Elle doit être émise par un atome non perturbé. Or il est évidemment impossible de supprimer entièrement l'effet de pression et l'effet Doppler-Fizeau. Il faut donc recourir à une extrapolation. La lampe utilisée peut avoir la forme schématiquement représentée ci-dessous. La partie utilisée est le capillaire AB. Elle se trouve plongée dans l'air liquide.

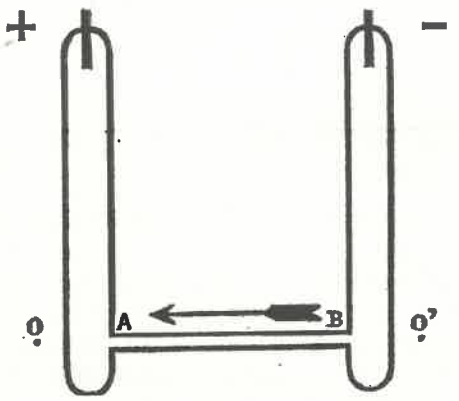


FIG. 5. — La flèche indique le sens du déplacement des électrons dans le capillaire.

Les électrons, se déplaçant de B vers A, engendrent, par entraînement, un mouvement d'ensemble des atomes et consécutivement un effet Doppler-Fizeau. Ainsi la longueur d'onde varie-t-elle suivant que l'observation a lieu du côté O ou du côté O′.

En opérant successivement des deux côtés, et en abaissant progressivement la température (à laquelle est liée la pression), on peut tracer les deux arcs de courbes C_{BA} et C_{AB}. Le premier correspond aux longueurs d'onde de la radiation orangée vue de O, le second à celles de cette même radiation vue de O′ (fig. 6).

La courbe représentative de la moyenne arithmétique des ordonnées est sensiblement un segment de droite. En la prolongeant jusqu'à son intersection avec l'axe Oy, c'est-à-dire en faisant une extrapolation, on trouve

---

(1) Lire à ce sujet la conférence faite, en 1960, au Palais de la Découverte, par M. Jean TERRIEN, Directeur actuel du Bureau international des Poids et Mesures, et intitulée « Le Changement de la définition du mètre et le rôle du B.I.P.M. ». Au cours de cet exposé, a été projeté le graphique dont j'ai été aimablement autorisé à me servir pour établir la figure 6.

(2) Parmi la multitude des radiations correspondant au spectre visible, il y a plus de dix radiations orangées principales. Le rayonnement global doit donc traverser un monochromateur avant de pénétrer dans l'interféromètre. L'atome de krypton 86 $\left(^{86}_{36}\mathrm{Kr}\right)$ comporte 36 électrons ainsi répartis : $1s^2$, $2s^2$, $2p^6$, $3s^2$, $3p^6$, $3d^{10}$, $4s^2$, $4p^6$. Le krypton atmosphérique est composé de six isotopes (nombres de masse : 78, 80, 82, 83, 84, 86).

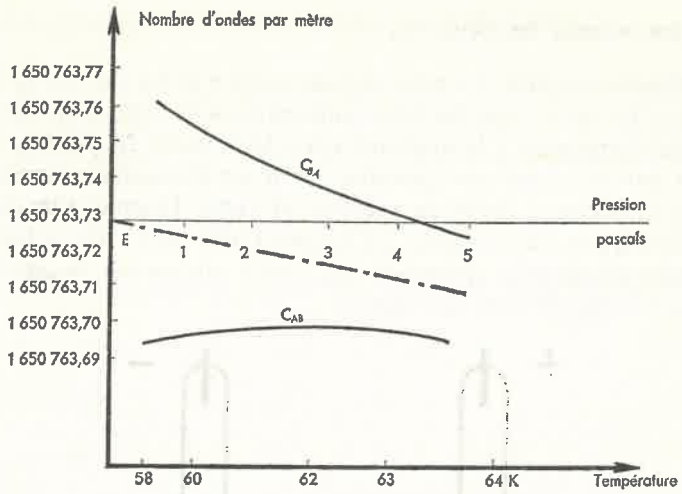


FIG. 6. — Graphique établi d'après un dessin de M. Jean Terrien.

qu'elle coupe cet axe au point E d'ordonnée 1 650 763,73. On admet que c'est le nombre d'ondes par mètre de l'atome non perturbé de krypton 86. La parallèle menée par E à l'axe O*x* coupe la courbe C_{BA} en un point d'abscisse comprise entre 63 et 64 K. Ainsi peut-on considérer la longueur d'onde de la radiation idéale (non accessible à l'expérience) comme celle de la raie observée du côté O quand la lampe se trouve à cette dernière température. Il faut noter qu'alors la quasi-totalité du krypton est à l'état solide.

Les remarques précédentes justifient les instructions ci-après, données, en 1960, par le Comité international des Poids et Mesures.

Il est recommandé « que la radiation du krypton 86 adoptée comme étalon fondamental de longueur soit réalisée au moyen d'une lampe à décharge à cathode chaude contenant du krypton 86 d'une pureté non inférieure à 99 %, en quantité suffisante pour assurer la présence de krypton solide à la température de 64 K, cette lampe étant munie d'un capillaire ayant les caractéristiques suivantes : diamètre intérieur : 2 à 4 mm, épaisseur des parois : 1 mm environ.

On estime que la longueur d'onde de la radiation émise par la colonne positive est égale, à un cent-millionième (10^{-8}) près, à la longueur d'onde correspondant à la transition entre les niveaux non perturbés, lorsque les conditions suivantes sont satisfaites :

1) le capillaire est observé en bout de façon que les rayons lumineux utilisés cheminent du côté cathodique vers le côté anodique;

2) la partie inférieure de la lampe, y compris le capillaire, est immergée dans un bain réfrigérant maintenu à la température du point triple de l'azote, à 1° près;

3) la densité du courant dans le capillaire est $0{,}30 \pm 0{,}1$ A/cm² ».

Il convient de signaler, pour terminer, qu'une légère dissymétrie de la raie adoptée pour définir l'unité de longueur a été récemment constatée.

A. D.