

La longueur du mètre 1795 1995

Suzanne Débarbat
Astronome - Obs. de Paris

L'auteur

est astronome titulaire de l'Observatoire de Paris où elle a effectué toute sa carrière.

Depuis le milieu des années 70, et à la demande d'historiens des sciences (tels René Taton et Pierre Costabel), elle a ajouté à ses travaux spécifiquement astronomiques des recherches de caractère historique exploitant les archives et les documents que conserve la Bibliothèque de l'Observatoire de Paris.

De 1985 à 1992 elle a été directeur de l'Unité de recherche associée du CNRS "Système de référence spatio-temporels" et, de 1987 à 1992, directeur du Département d'Astronomie fondamentale de l'Observatoire de Paris, lesquels comptent les équipes responsables du Bureau central du Service international de la Rotation terrestre et du Laboratoire primaire du Temps et des Fréquences, ainsi que des équipes de recherche sur les systèmes de référence pour l'espace, pour le temps et sur les aspects, théoriques et appliqués, de la rotation de la terre.

L'exposé présenté se fonde sur un ensemble de recherches menées depuis une douzaine d'années, principalement à l'Observatoire de Paris en raison des expositions que cet Etablissement y a montées et/ou de colloques à l'organisation desquels des membres de son personnel ont participé. Expositions ou colloques ont concerné soit le père de la géodésie française, Picard, soit Newton, soit les expéditions lointaines ou proches, soit encore la dernière définition du mètre, celle de 1983 à laquelle le personnel de l'Etablissement n'est pas étranger.

Ce qui s'écrit sur le Système métrique provient généralement, de première ou seconde main, des deux ouvrages fondamentaux, "Base du Système décimal" de Delambre (3 tomes, plus de 2 000 p), et "Le système métrique des poids et mesures" de G. Bigourdan (500 p)... L'Observatoire de Paris avait largement puisé dans ces ouvrages et dans ses archives pour établir différents dossiers sur le sujet et j'ai moi-même utilisé ces documents, notamment par un KIT-EXPO paru en 1989 et le dossier "La longueur du mètre et sa définition 200 ans après...", associé en 1995 à une présentation pédagogique, destinée aux élèves des lycées et collèges, soutenue par les Célébrations Nationales (Ministère de la Culture et de la Francophonie) à l'occasion du bicentenaire du mètre et de la nomenclature du Système métrique de 1795.

Ce sujet a fait l'objet d'une conférence prononcée au Palais de la Découverte le 18 mars 1995.

Le terme de mètre, repris du grec "metron" (mesure), comme l'avait été son homonyme employé en poétique, est né quand fut choisie la nouvelle unité de longueur devant permettre, enfin, une unification des unités en France, dans la foulée des modifications issues de la Révolution de 1789. Puis va s'imposer l'expression "Système métrique" pour le système des poids et mesures fondé sur le mètre et sur le système à base dix qui facilite les opérations.

La loi du 18 germinal an III précise : "Il n'y aura qu'un seul étalon des poids et mesures pour toute la République : ce sera une règle en platine sur laquelle sera tracé le mètre qui a été adopté pour l'unité fondamentale de tout le système des mesures".

L'année 1995 marque, à la fois, le bicentenaire de la fixation de la longueur du mètre et celui de l'établissement de la nomenclature du Système métrique. Ces décisions, en trois étapes, le 18 germinal (7 avril), le 21 prairial (9 juin) et le 18 messidor (6 juillet), constituaient l'aboutissement de plus d'un siècle de réflexions, de mesures, de considérations, de récriminations et de demandes parvenues finalement à Louis XVI par les cahiers de doléances, au moment de la réunion des Etats-généraux de 1789.

Quel est ce mètre, quelle est sa longueur en 1795, qu'en est-il en 1995 ?

RÉFLEXIONS, RECHERCHES ET MESURES AU SIECLE DES LUMIERES

Il faut, en France, remonter à l'époque de la création de l'Observatoire de Paris (1667) pour trouver des indications sur une possible réforme des unités de mesures. Gabriel Mouton (1618-1694) de Lyon semble être le premier à proposer, pour les longueurs, un système de mesures dites "géométriques", qu'il assujettit au système à base 10. Mouton se rapporte à la Terre en nommant milliare la longueur de l'arc terrestre dont l'amplitude angulaire vaut 1' (à l'époque, et pour tout le monde, la Terre est sphérique). Il propose également pour les subdivisions *centuria*, *decuria*, *virga* (qui en représente ainsi le millième), puis *virgula* (valant un peu plus de 6 pouces), *decima*, *centesima*, *millesima*.

D'autres suggestions émanent d'astronomes de l'Académie des sciences et de l'Observatoire de Paris, tel Jean Picard (1620-1682) qui propose de choisir pour unité de longueur celle du pendule battant la seconde. Mais bientôt, à l'occasion du voyage à Cayenne où Richer (1630-1696) se rend (1672-73), notamment pour observer Mars et en déduire sa parallaxe qui fait intervenir le diamètre de la Terre, les astronomes s'aperçoivent que la longueur de ce pendule varie. Il faut "l'accourcir" de presque trois de nos modernes millimètres pour le voir à Cayenne battre la seconde. La

L'histoire - l'histoire - l'histoire - l'histoire - l'histoire - l'histoire

grandeur mais aussi la figure de la Terre et sa forme se révèlent donc d'une particulière importance quelle que soit la référence à choisir.

Grandeur et figure de la Terre

Si l'on veut rattacher l'unité de longueur à la Terre sous la forme proposée par Mouton ou sous celle que propose, en 1720, Jacques Cassini (1677-1756), il faut connaître ses dimensions. Cassini le fils, comme on disait à l'époque, suggère le "*ped géométrique*" représentant un centième de la longueur de l'arc de 1" du méridien terrestre ; la toise, de 6 pieds, serait alors telle qu'il y en aurait 60 000 dans un degré du méridien.

Il s'agit de prendre en compte non seulement les questions posées par le voyage de Richer mais aussi l'ensemble des mesures portant sur un degré de méridien effectuées au cours du 17^e siècle. Les valeurs s'échelonnent de 55020 toises pour Snellius (1580-1626), en 1617, à 57300 toises pour Norwood (1590-1665), en 1635, tandis que Picard trouvera, en 1669-70, 57060 toises. Cette dernière valeur avait été obtenue, de part et d'autre de Paris (+49°), avec une méthode astro-géodésique et à l'aide d'instruments de précision mis au point par Picard lui-même (quart-de-cercle, secteur, niveau) ; Newton (1643-1727) en avait obtenu une confirmation numérique de sa théorie de l'attraction universelle de laquelle il déduisait, entre autre, que la Terre en rotation doit être aplatie aux pôles.

Grandeur et forme de la Terre

Choisir pour unité une fraction d'un des cercles de la Terre ou préférer la longueur du pendule battant la seconde impose donc de connaître avec précision la forme de la Terre. Si cette forme, que l'on postule de révolution, n'est pas sphérique, la longueur d'un arc de méridien d'amplitude angulaire fixée variera avec la latitude et il en sera de même, du fait de la gravitation, pour la période d'oscillation d'un pendule de longueur donnée.

La controverse sur la forme de la Terre ne sera close qu'avec les expéditions que commandite l'Académie des sciences pour envoyer ses astronomes le plus près possible de l'équateur, le plus près possible du pôle. Une première expédition quitte la France pour le Pérou en 1735 et se rend dans la région de Quito, maintenant en Equateur ; elle aura de nombreux problèmes liés aux conditions de vie, de déplacements, de transport, sans oublier des pertes humaines tel, en 1739, l'assassinat du chirurgien du Roi, membre de l'expédition. Les protagonistes tels Bouguer (1698-1758), La Condamine (1701-1774) ne reviendront qu'en 1744 et 1745, rapportant le quinquina (d'où sera issue, plus tard, la quinine) et le caoutchouc, mais bien après le retour de l'expédition de Laponie. Celle-ci connût aussi quelques difficultés ; ainsi page 64 le rédacteur du récit, l'Abbé Outhier (1694-1744), écrit : "... l'air y étoit rempli de très petites Mouches qui piquoient fort vivement jusqu'au sang", et plus loin pages 140 et 141 "*M. de Maupertuis a eu seulement quelques doigts du pied gelés ... M. de Maupertuis et moi versions continuellement, si nous voulions nous relever d'un côté avec notre bâton, nous*

renversions de l'autre. M. de Maupertuis se froissa même un bras". Il faut évidemment imaginer le traineau sur lequel sont les astronomes mais aussi ceux qui transportent le matériel scientifique. Une illustration de l'ouvrage montre un "*Lappon marchant sur la neige avec une planche de sapin à chaque pied, et un bâton garni d'un cerceau pour ne pas enfoncer dans la neige*". Il s'agit des skis dont l'expédition ramènera des exemplaires et les fera ainsi connaître.

A son retour, en 1737, l'expédition conduite par Maupertuis (1698-1759) compare ses résultats avec ceux obtenus à la latitude de la France. La conclusion est que la courbure de la Terre est plus faible vers le pôle ; la théorie de Newton peut donc être admise sans réserve. Plus tard on reconnaîtra que ces résultats, compte tenu de la faiblesse des différences à détecter et des erreurs de mesures, ne pouvaient - en fait - apporter la preuve formelle de l'aplatissement de la Terre.

Il faut maintenant répondre à une nouvelle interrogation : quelle définition de l'unité de longueur adopter pour que l'étalon matériel, s'il venait à disparaître, puisse être exactement reproduit ?

Grandeur de la toise

En France comme dans les autres pays, la grande diversité dans les mesures entraînait nombre de difficultés dont se plaignaient marchands, artisans et savants. Ces derniers, compte tenu de l'accroissement de la précision des mesures, soulignent les inconvénients de cette diversité qui fait que l'on exprime, par exemple, les longueurs en coudées, pieds de roi, de Paris, du Piémont, pieds anglais, aunes ou toises. Il existe aussi le problème de la conservation des étalons, souci qu'avait déjà Picard en ayant soin de rattacher sa toise à la longueur du pendule battant la seconde à Paris puisque cette longueur varie selon la position sur le globe terrestre.

	Pied en cm	Aune en m	Livre en g
Angleterre	30,48	1,143	453,6
Bavière	29,10	0,831	560,0
Espagne	27,85	0,836	460,1
France	32,48	1,188	489,5
Prusse	31,39	0,66	467,7
Suède	29,69	0,594	425,1

La toise comprend 6 pieds ; celui "de Paris" conservé à l'Observatoire de Paris équivaut à 32.5 cm. Le pied est généralement divisé en 12 pouces. Les étalons utilisés en pratique diffèrent un peu selon les régions et déjà, dans une même région. Ainsi, à Bordeaux il y a quatre pieds différents dont l'un, le pied de vitrier, est nettement inférieur aux autres ; le plus employé, le pied de Saint-Eloi, se retrouve non loin (à Bazas) avec une longueur inférieure de deux lignes et un septième (soit un quart de centimètre). Dès lors s'expliquent les abus, les bénéfices substantiels ou les pertes subies lors des

ventes ou des échanges. D'autant qu'il en allait de même dans le cas des mesures agraires, des mesures de capacités, etc.

Tout au long du 18^e siècle, tandis que les savants mesurent la Terre et que se définissent les positions des uns et des autres, en faveur d'une fraction de la Terre comme Cassini ou en faveur du pendule battant la seconde comme La Condamine, les récriminations et les demandes d'unification parviennent au roi et à ses ministres. Louis XV, comme Louis XVI demandent que le sujet soit mis à l'étude. En 1789, les cahiers de doléances affluent pour les Etats généraux avec le vœu "qu'il n'y eût qu'une mesure pour tout le royaume".

LA LONGUEUR DU METRE AUTOUR DE 1795

Après un rapport de Talleyrand (1754-1838) l'Assemblée Nationale décide, le 8 mai 1790, d'un décret par lequel elle se donne six mois pour réaliser et adopter un nouveau système des poids et mesures. La loi du 22 août suivant sanctionne ce décret ; des études sont confiées à l'Académie des sciences qui se met à l'oeuvre. Mais alors des questions se posent.

Les assemblées s'interrogent

Une Commission composée de Borda (1733-1799), Lagrange (1736-1813), Laplace (1749-1827), Monge (1772-1818) et Condorcet (1743-1794) présente le 19 mars 1791 un rapport relatif au choix de l'unité de base à retenir. La longueur du pendule battant la seconde, proposée en 1790, est rejetée et la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre recommandée. Le rejet de la longueur du pendule provenait pour une part du fait qu'il fallait choisir une latitude de référence et, pendant qu'en France on songeait à 45°, aux Etats-Unis on envisageait 38°, latitude moyenne du pays : cela s'accordait mal avec l'idée d'une unité qui soit la plus universelle possible. La difficulté d'effectuer des mesures de haute précision influait dans le même sens.

Dès le 26 mars 1791, l'Assemblée nationale accepte les termes du rapport, en confie l'exécution à l'Académie et, par décret, choisit de réaliser un système de mesures "ne présentant rien d'arbitraire ni de particulier à la situation d'aucun peuple sur le globe". Les membres de l'Assemblée ne perdent pas de vue l'importance de réaliser un système accepté dans le monde entier.

L'information des populations n'est pas oubliée puisque dès 1790 "Sa Majesté sera suppliée de charger l'Académie des sciences (...) de composer ensuite, pour l'usage de ces municipalités, des livres usuels et élémentaires où seront indiquées avec clarté toutes ces proportions" (Décret du 8 mai 1790 ; il s'agit des rapports aux unités anciennes). Ce qui sera fait effectivement, comme en témoigne le livre de l'Abbé Haüy (1743-1822) édité à Nancy en l'an II.

Les nouvelles unités proposées avaient, en tout état de cause, une longueur commode pour les manipulations courantes. Le mètre, dix-millionième partie du

quart du méridien terrestre, est voisin de la demi-toise (qui mesure sensiblement 1.95 mètre), à peine plus long que le pendule battant la seconde à Paris (3 pieds 8 lignes 3/5) et un peu plus court que l'aune (1.188m) laquelle était bien adaptée à la mesure des étoffes.

Lacaille, Delambre et Méchain mesurent

La dix-millionième partie du quart du méridien terrestre, pour être fixée de manière linéaire, nécessite des mesures qui sont confiées en 1791 à une équipe de scientifiques sous la responsabilité de l'Académie des Sciences. Celle-ci étant supprimée par le décret du 8 août 1793, les mêmes savants continueront la tâche à titre personnel jusqu'à ce que renaisse l'institution désormais incluse dans l'Institut de France en 1795. Comme le temps passe, et dans l'attente de la fin des mesures, le décret du 1^{er} août 1793 fixe provisoirement l'unité de longueur d'après la mesure de Lacaille (1713-1762) de 1740 effectuée sur le méridien de Paris. La longueur du mètre est ainsi définie : 3 pieds 11,44 lignes de la Toise du Pérou à 13° Réaumur soit 0.513243 toise. Différents étalons sont fabriqués, quatre exemplaires en sont comparés et l'un d'entre eux est choisi comme étalon provisoire.

A la fin de 1794 les travaux sur le terrain, confiés à Delambre et Méchain, sont interrompus ; ils reprennent en avril 1795. A Delambre (1749-1822) revient la partie nord des mesures à partir de Dunkerque tandis que Méchain (1744-1804) se voit confier la partie sud depuis Barcelone ; ce choix donnait un arc de près de 10° dont les deux extrémités se trouvaient au niveau de la mer. L'arc se partageait mieux de part et d'autre du parallèle de 45° que celui des Cassini et La Hire, avec 6° du côté du nord et plus de 3° du côté du sud. La jonction doit se faire à Carcassonne. Tout ceci ne va pas sans difficultés ; Delambre, par exemple, expose aux membres composant la Commission des poids et mesures les réactions des citoyens inquiets de voir des hommes travailler dans les clochers des églises, perchés sur des "échafauds", observant avec des instruments d'usage peu courant dans les campagnes..., des "suspects" en quelque sorte.

Néanmoins, en allant de sommet en sommet de triangle, et en dépit des interruptions et des difficultés rencontrées sur le terrain, Delambre et Méchain ne mettront que 6 ans pour achever l'entreprise. La méthode de mesure est identique à celle de Picard un siècle auparavant mais les instruments, notamment le cercle de Borda, ont apporté des perfectionnements dans les mesures par la répétition des angles. Ceux-ci, associés à la connaissance d'un au moins des côtés d'un triangle, permettent d'en déterminer tous les éléments. Si, en outre, on choisit un des côtés d'un triangle, qu'on appelle base et que l'on mesure avec grand soin et précision, on en déduira la longueur de tous les autres. Il faut, par ailleurs, déterminer la mesure linéaire d'un arc de méridien, et lui associer sa valeur angulaire. Cela se fait par la mesure des différences de latitude entre plusieurs sommets de la triangulation, grâce à des observations de hauteur d'une même étoile au méridien.

Le mètre de 1795 et le système des poids et mesures

La loi du 18 germinal an III (7 avril 1795) établit la structure du Système métrique et fixe la dénomination nouvelle des unités qui seront "distinguées dorénavant par le surnom de républicaines ; leur nomenclature est définitivement adoptée comme il suit :

On appellera : *mètre*, la mesure de longueur égale à la dix-millionième partie.... *Are*, ... *Stère*,... *Litre* (c'est le cadil des décisions précédentes)..., *Gramme* (c'est le millième du kilogramme, précédemment appelé grave).

Enfin l'unité des monnaies prendra le nom de franc, pour remplacer celui de livre usité jusqu'à aujourd'hui", quoique le terme "*franc*" soit aussi employé comme équivalent depuis longtemps. Ainsi trouve-t-on dans "Le Bourgeois Gentilhomme" (acte 3, scène IV) Dorante qui additionne, pour sa dette à M. Jourdain, des livres, des louis (qui valent onze livres) et conclut : "cela fera juste dix-huit mille francs, que je vous paierai au premier jour".

Puis viennent les définitions de *décimètre*, *centimètre*, *décamètre*, *hectomètre*, *kilomètre* et *myriamètre*. Des définitions similaires sont données pour le *litre*, le *gramme* et le *franc*, pour lequel on avait choisi *décime* et *centime*. La loi ne comporte pas moins de 28 articles..., le dernier s'énonçant : "*Il est enjoint à toutes les autorités constituées, ainsi qu'aux fonctionnaires publics, de concourir de tout leur pouvoir à l'opération importante du renouvellement des poids et mesures*".

Le 21 prairial an III (9 juin 1795) le nouvel étalon "provisoire" reçoit ses lettres de noblesse. Au Conservatoire National des Arts et Métiers, le Musée national des techniques conserve l'exemplaire établi par Lenoir (1744-1832), le meilleur fabricant de l'époque, d'après les calculs de deux des membres de la Commission des poids et mesures : Borda (1733-1799) et Brisson (1723-1806). Ce mètre porte deux inscriptions ; d'un côté "*Mètre égal à la dix-millionième partie de la distance du pôle à l'équateur, vérifié d'après la toise de l'Académie, suivant le procès-verbal de ce jour. Paris le 21 prairial, an III de la République (9 juin 1795). Borda, Brisson*" ; de l'autre côté "*Étalon provisoire des mesures de la République, fait en exécution de la loi du 1er août 1793 (vieux stile), adopté par les commissaires chargés de sa détermination et remis par eux au Comité d'instruction publique, le 18 messidor, 3e année*". C'est donc le 6 juillet 1795 que cet étalon, vérifié le 9 juin pour être conforme aux décisions antérieures, a été remis très solennellement au Comité d'instruction publique.

Pour les monnaies, dont le franc aura 5 grammes, elles seront doublement liées au mètre puisque, par ailleurs, leur diamètre en millimètres permettra d'astucieuses combinaisons pour le trouver ou pour le retrouver. Les possibilités de peser ou de mesurer des longueurs sont mentionnées dans de nombreux ouvrages. Un siècle plus tard, elles le seront encore dans les traités d'arithmétique ; le fait est aussi bien connu de Jules Verne dont le héros, Hector Servadac (Voyages et aventures à travers le monde solaire), sait comment obtenir un mètre et un kilogramme à partir de pièces de monnaies d'argent...

Le mètre de l'an VIII

Rentrés à Paris après leur jonction à Carcassonne, Delambre et Méchain y trouvent, arrivés depuis le 15 vendémiaire an VII (6 octobre 1798), les représentants de différents pays étrangers dont le Danemark et l'Espagne. Delambre et Méchain font exécuter à nouveau leurs calculs qui aboutissent à donner au mètre la longueur 3 pieds 11,296 lignes de la Toise du Pérou.

Le constructeur Lenoir est chargé du contrôle des étalons prototypes conformes à cette nouvelle longueur du mètre. Ils sont présentés au corps législatif le 4 messidor an VII (22 juin 1799). Le Conseil des Cinq-Cents et le Conseil des Anciens réunis à cette occasion sont enthousiastes et remarquent "*que c'est au milieu d'une crise salutaire, et au moment où le cri aux armes se fait entendre pour repousser des barbares, ennemis de toutes les lumières et de toute civilisation, que le travail constant et opiniâtre des savans et des artistes perfectionne et exécute, avec la confiance d'une fierté mâle et républicaine, ce que le génie avoit conçu et disposé aussi au milieu des plus grands mouvements révolutionnaires...*".

Restait à officialiser le nouveau mètre. Ce sera fait avec la Loi du 19 Frimaire an VIII (10 décembre 1799) qui précise : "*La fixation provisoire de la longueur du mètre à trois pieds onze lignes quarante quatre centièmes, ordonnée par les lois du 1er août 1793 et 18 germinal an III demeure révoquée et comme non avenue. La dite longueur, formant la dix-millionième partie de l'arc de méridien terrestre, compris entre le pôle nord et l'équateur, est définitivement fixée, dans son rapport avec les anciennes mesures, à trois pieds onze lignes deux-cent quatre vingt seize millièmes*".

Cette définition, bien qu'appuyée sur une fraction du quart du méridien terrestre, abandonne le recours à un étalon naturel et universel, comme cela avait été primitivement prévu.

Du fait du rapport aux anciennes mesures, le nouvel étalon se trouvera représenté par la longueur d'une barre métallique fraction de la Toise du Pérou (conservée dans les Collections de l'Observatoire de Paris) laquelle a servi de référence pour les mesures sur le terrain.

La longueur de l'étalon, en vue des comparaisons, devra être établie dans des conditions précises ; il faudra déterminer aussi celles de sa conservation puisque, barre métallique, il est susceptible de dégradation et de destruction.

HEURS ET MALHEURS

DU SYSTEME MÉTRIQUE ET DU MÈTRE

La réforme du système des poids et mesures, bien que réclamée depuis plus d'un siècle par tous ceux qui avaient à utiliser un système non homogène et mal défini, ne pouvait d'emblée entrer dans les mœurs. La plupart des unités, pour échanger, pour acheter, pour vendre mettent en jeu des éléments de la vie courante. Les difficultés de l'introduction des nouveaux francs en 1960, pour lesquels on constate - après plus de trente ans passés - qu'ils ne sont pas encore en usage généralisé, permet de comprendre celles qui attendaient le nouveau système à l'aube du 19e siècle.

Arrêté et décret napoléoniens

Une première mesure rétrograde intervient avec l'arrêté du 13 brumaire an IX (4 novembre 1800). Aux dénominations nouvelles, adoptées l'année précédente, on substitue celles d'anciennes mesures pour désigner les mesures "métriques". Par exemple on appellera mille le kilomètre, perche le décamètre et, si mètre lui-même est conservé, le décimètre sera désigné par palme, le centimètre par doigt et le millimètre par trait.

Même confusion avec le kilogramme qui est dénommé livre, l'hectogramme once, le décagramme gros et le gramme denier. Quant au franc, au lieu d'être divisé en décimes et en centimes, il l'est en sol et denier. Ce dernier mot s'applique ainsi, simultanément au gramme et au centième de franc ; comme ce dernier pèse 5 grammes le denier correspond à un vingtième de gramme d'argent ...

Il est d'ailleurs aisé de constater que, pour les opérations de triangulation de l'époque, les toises continuent d'être employées. Ainsi en témoigne un manuscrit anonyme de 1804 où l'on trouve le détail de mesures alors menées sur le terrain entre un verger, un rez-de-chaussée, un perron, ... ; y figurent les angles, les hauteurs, les longueurs y compris celle de la base, qui vaut 341.34 toises.

Les choses ne s'améliorant aucunement, Napoléon Ier prend, par décret du 12 février 1812, une nouvelle mesure rétrograde, confirmée par l'arrêté d'application du 28 mars suivant. Ainsi, on aura une toise de 2 mètres et une aune de 12 décimètres à côté de la toise et de l'aune anciennes un peu plus courtes dans chaque cas. La différence sur la mesure d'une longueur de quelques toises ou d'une pièce d'étoffe de quelques aunes n'est pas trop sensible ; mais sur des éléments de grande longueur, les gains ou les pertes deviennent importants.

Loi du 4 juillet 1837

La situation devient si complexe que les savants de l'époque s'en émeuvent et multiplient les efforts pour qu'une décision ferme et définitive soit prise. Il faudra pourtant attendre l'année 1837 pour voir abrogé le décret de 1812 et pour redonner pleine validité à la loi du 18 germinal an III. Le Système métrique sera obligatoire à partir du 1er janvier 1840 ; aucune dérogation ne sera tolérée. Des affiches font connaître les unités, les multiples et soulignent la diversité des anciennes mesures sur le territoire français ainsi que l'apport

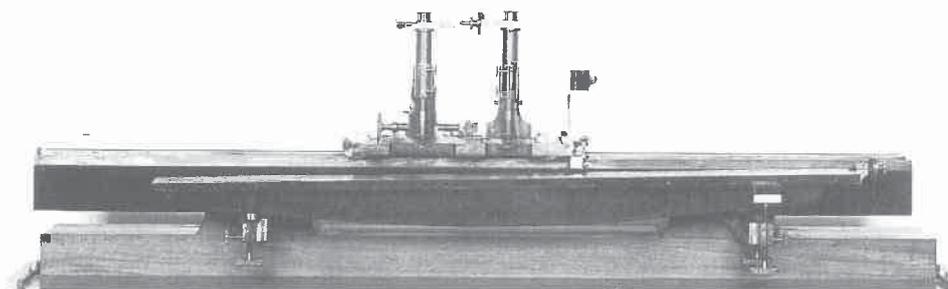
incontestable de l'unification.

Des bureaux de vérification des poids et mesures voient le jour avec des fonctionnaires assermentés qu'on appellera "vérificateurs des poids et mesures". De tels bureaux fonctionneront dans les mairies ; souvent, pour interdire tout retour en arrière, on ira jusqu'à la destruction des anciennes mesures. Les préfets soutiennent l'action entreprise ; ainsi en témoigne Chateaubriand dans les Mémoires d'Outre-Tombe dès 1828-1829 ; il écrit "Si vous rencontrez un homme qui, au lieu d'arpents, de toises et de pieds, vous parle d'hectares, de mètres et de décimètres, vous avez mis la main sur un préfet".

La rue n'est pas étrangère aux récriminations ; ainsi dans une chansonnette comique intitulée "Nouveau tarif des poids et mesures" peut-on lire qu'une ménagère demandant trois pieds de veau, se voit servir un morceau de viande de belle longueur ; comme elle s'étonne le boucher répond qu'à la chambre il faut qu'elle s'adresse pour qu'il compte différemment. Quant à la pêche à la ligne, elle est évidemment prohibée, à cause du mot... et on devra dire pêcher au millimètre ; ou encore, pour le pied, on dira flanquer un coup de trentetrois centimètres quelque part.

Chez les savants, les réactions positives ont été beaucoup plus immédiates. Parallèlement à l'introduction du calendrier républicain, cependant le plus souvent simultanément aux dates dites ancien style, les registres de l'Observatoire de Paris conservent d'abord les anciennes mesures, par exemple pour les lectures des baromètres ; mais comment procéder autrement quand des instruments nouveaux n'ont pas encore pu être réalisés. Un "baromètre décimal" apparaîtra bientôt et le 1er pluviôse an XII (22 janvier 1804) la lecture sera faite dans le nouveau système ; sa transformation en pouces et lignes permettra d'assurer le raccordement avec les valeurs anciennes. A partir de 1810 il y aura abandon progressif de cette procédure. Pour ce qui est de la hauteur de pluie, le pluviomètre "décimal" sera lu pour la première fois le 1er nivôse an XII (23 décembre 1803).

Pour pouvoir aller plus loin dans l'introduction du système métrique, il faudra non seulement réaliser des étalons, ce qui a été fait rapidement, mais aussi des comparateurs, tel celui conservé dans les collections de l'Observatoire de Paris. Commandé en 1840, il sera livré en 1847, permettant à la fois la comparaison des mètres "à bouts" et des mètres "à traits". Cet instrument servira souvent pour les comparaisons d'étalonnage de règles destinées à différents usages tant en France qu'à l'Étranger. A titre d'exemple on note les mesures faites sur les règles destinées à la Compagnie du Canal de Suez, l'une des opérations d'envergure menée avec les éléments du Système métrique.



Comparateur de Gambey : commandé en 1840 et livré en 1847, l'instrument permet la comparaison des mètres "à bouts" et "à traits" (Collection Observatoire de Paris)

Le mètre en 1875

L'exposition universelle de 1867 présentait, dans un "Pavillon des monnaies, poids et mesures" l'état de la question dans différents pays dont certains, ayant reconnu les avantages d'un système unique et simple comme le Système métrique, n'avaient pas hésité à l'adopter. Parmi les premiers à le faire on trouve les pays composant de nos jours le Benelux qui s'y rallient dès 1816. Le Chili, l'Espagne, le Portugal, la Colombie, Monaco, le Mexique, le Venezuela font de même entre 1840 et 1860, bientôt suivis par l'Italie, le Brésil, le Pérou, l'Uruguay...

La confrontation de 1867 met en évidence le caractère hétérogène des systèmes de poids et mesures pour les pays qui n'ont pas adopté le Système métrique. Par ailleurs il est constaté que si le raccordement des réseaux géodésiques de France et de Prusse, par triangulation, se ferme mal c'est que la répétition d'une non-conformité des mètres utilisés en Prusse et de l'étalon des Archives de France a entraîné des divergences. Une "remesure" du méridien en Europe centrale est imminente ; si bien que la France propose, en 1869, la création d'une "Commission internationale du mètre" convoquée en 1870 mais dont les réunions sont interrompues par la Guerre franco-prussienne.

Les travaux reprennent en 1872 ; trente-deux pays y participent et décident que les étalons français du mètre et du kilogramme deviendront internationaux. Des copies en seront faites toutes issues de la même coulée de platine iridié, coulée qui sera réalisée au Conservatoire National des Arts et Métiers en 1874. La proportion d'iridium qui devait être comprise entre 9 et 11% se révéla être de 11.1% d'où le rejet de cette coulée laquelle sera remplacée par une nouvelle fonte de métal en 1889.

Dans l'intervalle le Gouvernement français avait convoqué, dès 1875, une "Conférence diplomatique du mètre" en vue de la signature d'une convention internationale. Vingt pays délèguèrent des représentants. Ce qui permit, le 20 mai 1875, la signature officielle de la "Convention du mètre".

Un Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) était créé ainsi que différents organes telle la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM). La France mettait à la disposition du BIPM, dès 1876, le Pavillon de Breteuil (à Sèvres) maintenant universellement connu pour détenir en son sein les différents étalons internationaux.

Un vase de Sèvres, remis à tous les participants de la Commission internationale du mètre de 1872, au nombre de 55, et une médaille commémorative de cette même réunion, rappellent - dans les différents pays - cette manifestation survenant près de quatre-vingts ans après la rencontre de l'an VII. Mais c'est bien cette dernière que l'on doit considérer comme la toute première réunion internationale sur le Système métrique.

Le mètre dont la réalisation est fixée par la Convention de 1875 n'a pas, à proprement parler, une définition différente de la précédente puisque dans les deux cas il s'agit de la longueur d'une barre métallique dont les extrémités "à bouts" ou "à traits" sont repé-

rées pour en matérialiser la longueur.

On est loin de la besogne que menaient les astronomes du 18e siècle ; les opérations géodésiques n'en ont pas disparu pour autant. Alain Schiffres, à notre époque, en a parfaitement connaissance : dans "Les Hexagons", paru en 1994, il écrit : "Au moment où le satellite lui mange son travail, le géodésien reste entouré du respect de la nation" ; il ajoute, plus loin : "Sans le géodésien, il y aurait du mou dans l'hexagone et du flou dans les reliefs. Les égouts monteraient à l'assaut des maisons. Au lieu que tous s'écoulent dans le même sens, grâce au réseau de "nivellement général". Picard, l'astronome géodésien du 17e siècle, et son niveau ont dû en rougir de plaisir...

Alain Schiffres écrit encore : *Armé d'un théodolite léger et d'une foi vigoureuse dans l'unité de mesure universelle, il opère ses visées dans la foule et le vent. Avec un sang-froid admirable (...), comme les héros de Jules Verne (Aventures de trois Russes et de trois Anglais). Cette fois, ce sont Delambre et Méchain qui se sont sentis flattés...*

LES NOUVEAUX MÈTRES

Réalisation nouvelle du mètre de 1795, le mètre de 1875 ne verra le jour qu'avec la coulée de 1889, obtenue avec le pourcentage d'iridium requis. Mais déjà se faisaient jour les idées qui devaient conduire soixante-dix ans plus tard à une définition entièrement nouvelle.

Les décisions de 1889 et de 1927

La coulée de platine iridié de 1889 permet la fabrication de nouveaux étalons. Leur longueur ne diffère pas de plus de 3 micromètres. Ils vont être comparés au prototype précédent, celui de 1799 ; le prototype international choisi est celui qui lui correspond le mieux, en sorte que le mètre de 1875, réalisé en 1889, se trouve toujours en conformité avec la Toise du Pérou qui a servi aux mesures de la dernière décennie du 18e siècle.

La forme en X a été choisie pour l'étalon ; d'une part elle assure une meilleure rigidité, d'autre part elle économise le métal et, de ce fait, permet d'en fabriquer un plus grand nombre dans la coulée.

La 1ère CGPM, en 1889, décide que le prototype retenu comme étalon international du mètre "représentera désormais, à la température de la glace fondante, l'unité métrique de longueur". L'étalon du mètre, déposé au Pavillon de Breteuil, est un mètre à traits dont une copie, pour la France, est conservée à l'Institut National de Métrologie qui dépend du Conservatoire National des Arts et Métiers. D'autres copies, réparties par tirage au sort, sont déposées tant en France que dans différents pays étrangers.

La définition appliquée au mètre de 1889 apparaît bientôt comme insuffisamment précise. Si bien que lors de la 7e CGPM, en 1927, des précisions sont apportées : "L'unité de longueur est le mètre, défini par la distance, à 0°, des axes de deux traits médians tracés sur la barre de platine iridié déposée au Bureau International des Poids et Mesures, déclarée Prototype du mètre par la première CGPM, cette règle étant soumise à la pression

atmosphérique normale et supportée par deux rouleaux d'au moins un centimètre de diamètre, situés symétriquement dans un même plan horizontal et à la distance de 571 mm l'un de l'autre".

Le mètre de 1960

A l'époque des décisions de 1872-1875, Angström (1814-1874) d'Uppsala vient de publier (1868) son ouvrage fondamental "Recherches sur le spectre solaire". Il y donne un atlas de ce spectre et des mesures de longueurs d'onde de raies qu'il exprime en unités équivalentes à la fraction $1/10^{10}$ du mètre. Cette unité, à laquelle son nom sera donné au début du 20^e siècle, va constituer de fait une nouvelle unité de longueur réservée, mais pas exclusivement, aux longueurs d'onde.

Il apparaît bientôt que le mètre de référence qu'Angström a utilisé provient d'un mètre plus long que le prototype international ; la différence est de 0.13 mm et l'on se trouve avec deux unités incohérentes (le mètre et l'Angström). Cette incohérence devient inacceptable avec le développement des comparaisons de longueurs d'onde et l'augmentation de la précision de ces mesures.

L'évolution des recherches, le développement de la physique atomique, notamment après la Deuxième Guerre mondiale, entraîne la décision d'une définition du mètre dont la longueur va être un facteur numérique d'une longueur d'onde correspondant à une radiation déterminée. Vont être étudiés plusieurs corps, le mercure, le cadmium, le krypton. Ce dernier, sous sa forme isotopique 86, est choisi car la radiation orangée lui correspondant permet d'atteindre, pour la longueur du mètre, une précision de l'ordre de 0.01 micromètre.

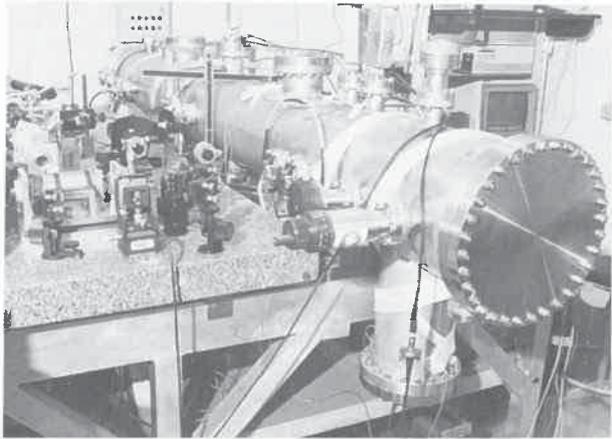
La définition est fixée, en 1960, lors de la 11^e CGPM : "Le mètre est la longueur égale à 1 650 763.73 longueurs d'onde dans le vide de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux 2p₁₀ et 5d₅ de l'atome de krypton 86". Le nombre de longueurs d'onde contenu dans le mètre a été choisi en sorte que le mètre de 1960 soit compatible avec le mètre-étalon précédent dans l'intervalle d'incertitude de ce dernier qui était de $2 \cdot 10^{-7}$. L'Angström est abandonné ; il est remplacé par l'emploi du nanomètre (10^{-9}).

Le mètre de 1983

Cependant, et tandis que l'on pensait la longueur du mètre définie pour une durée assez longue, se développaient les lasers, sources de radiations monochromatiques.

Par la mesure des fréquences d'une part et des longueurs d'onde d'autre part pour de telles radiations, on atteint la vitesse de la lumière puisque $c = \lambda f$ où λ est la longueur d'onde et f la fréquence. Dans les années 70, c est déterminé, par des lasers, comme valant 299 792 458 m/s à 1.2 m/s près ; cette valeur fait intervenir l'unité de longueur, le mètre, et celle de temps, la seconde, dont les multiples figurent dans les "unités en usage avec le Système International (SI)". Ce système d'unités, adopté en 1960, consacre le mètre (et le Système métrique) comme universel et obligatoire pour tous les

scientifiques même si les unités traditionnelles restent employées pour la pratique dans différents pays.



Etalon à jet de césium de laboratoire réalisé au Laboratoire primaire du temps et des fréquences (LPTF). Cet étalon utilise la technique du pompage optique.

La seconde n'est plus la 86400^e partie du jour solaire moyen ; elle n'est plus ce qu'elle était devenue en 1956, la fraction $1/31\,556\,925,9747$ de l'année tropique pour 1900. Depuis 1967 et la 13^e CGPM, la seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à une transition spécifiée de l'atome de césium 133. Dans les années 1970-1980, la seconde se trouve réalisée à quelques 10^{-12} par les étalons de fréquence à césium du commerce ; les étalons de laboratoire atteignent 10^{-13} , soit une capacité à définir le mètre à une meilleure précision que le krypton si l'on fixe la valeur de la vitesse de la lumière, vitesse dont la constance est établie et confirmée dans la limite des théories et des mesures actuelles.

L'idée de lier le mètre à la seconde s'est imposée et, depuis 1983 et la 17^e CGPM, "Le mètre est la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $1/299\,792\,458$ de seconde".

La valeur de l'unité de longueur se trouve donc accessible, pour les mesures de haute précision, par l'intermédiaire de la valeur de l'unité de temps. Par rapport à la définition de 1960, un facteur 100 sur la précision a été gagné pour les mesures de longueur. Mais, comme l'unité de temps est définie de manière plus précise, il est vraisemblable de penser que surviendront d'autres améliorations de réalisations du mètre. Celui-ci peut s'obtenir en mesurant un intervalle de temps donné pour une impulsion lumineuse et en le multipliant par la valeur de c . On peut aussi le déterminer à partir de la longueur d'onde, trajet parcouru pendant une période inverse de sa fréquence, le produit fréquence x longueur d'onde étant égal à c .

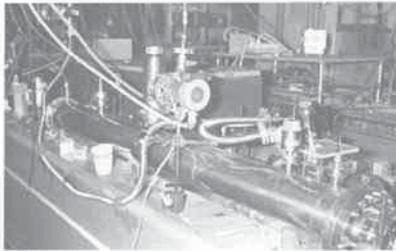
Avec la nouvelle définition, comme avec celle de 1960, rien n'est changé pour la mesure des longueurs matérielles, qui sont rapportées au mètre-étalon avec la précision voulue. Cet étalon est également présent, implicitement, dans les mesures relatives aux radiations : il a joué pour la valeur numérique attribuée à c . Le mètre reste unité de base du Système d'unités ; le fait qu'on y accède par l'unité de temps, et que les progrès à venir affineront les longueurs mesurées, est de même nature que ce qui se passait avec le mètre-éta-

lon lorsque les comparateurs étaient améliorés et que l'étalon lui-même, inchangé, était physiquement défini avec plus de rigueur.

EN GUISE DE CONCLUSION :

LE MÈTRE D'AUJOURD'HUI, LA SECONDE DE DEMAIN

La définition du mètre, en 1995, se fonde sur l'hypothèse de la constance de la vitesse de la lumière dans le vide, pour le moment non démentie. Les mesures effectuées en différents laboratoires, notamment au Laboratoire Primaire du Temps et des Fréquences* de l'Observatoire de Paris, ont conduit à fixer cette valeur à 299 792 458 m/s.



Métrologie des fréquences optiques : vue partielle de l'équipement optique du LPTF pour les fréquences de l'intervalle 30 THz-500 THz (infrarouge, visible)

Cette valeur numérique est une conséquence de la longueur du mètre antérieur dans les limites de l'incertitude relative $4 \cdot 10^{-9}$. Evidemment si la longueur de ce mètre avait été un peu

différente la vitesse de la lumière aurait pu être fixée à 300 000 km/s. Il aurait fallu pour cela un mètre un peu plus long de presque 1mm, valeur incompatible avec les "longueurs" précédentes du mètre. Il est clair qu'avec cette nouvelle définition du mètre, les améliorations dans la réalisation de la seconde et du hertz se traduiront par des améliorations dans l'obtention du mètre.

L'unité de temps, la seconde, est actuellement fournie par des horloges commerciales à césium à 10^{-12} près. Les étalons primaires tel celui développé à l'Observatoire de Paris permettent d'obtenir 10^{-13} , voire 10^{-14} comme à la *Physikalisch Technische Bundesanstalt* (Allemagne). Peut-on aller plus loin ? C'est ce que l'on pense à l'Observatoire de Paris où a été construite, en coopération avec des chercheurs de l'Ecole Normale Supérieure, une fontaine à césium. Depuis décembre 1993, une telle fontaine fonctionne en utilisant les caractéristiques des atomes froids de césium. La seconde y sera peut-être définie à 10^{-15} ou 10^{-16} ; mais, pour pouvoir aller plus loin, il faut construire une deuxième fontaine afin d'être en mesure de les comparer entre elles et d'étudier leur stabilité.

L'unité de temps, la seconde, se trouverait alors déterminée avec une exactitude peut-être 100, peut-être 1000 fois meilleure.

Alors... la longueur du mètre se trouvera obtenue dans une marge d'erreur qui diminuera encore par rapport à la valeur actuelle. Alors... viendra nécessairement un lot de découvertes issu de la métrologie des grandeurs fondamentales que sont le mètre et la seconde, comme cela a été le cas chaque fois qu'une décimale a été gagnée dans la précision des mesures.

Cette évolution, perceptible en cette année 1995, n'affectera pas la compatibilité du futur mètre avec celui issu du Siècle des lumières et de la Révolution française, donnant ainsi raison à ceux qui avaient l'ambition de s'adresser "A tous les temps à tous les peuples".

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages fondamentaux, à consulter dans les bibliothèques

• Delambre J.-B., *Base du système métrique décimal, ou mesure de l'arc du méridien compris entre les parallèles de Dunkerque et Barcelone, exécuté en 1792 et années suivantes par MM. Méchain et Delambre*, Paris Tome I (1806), Tome II (1807), Tome III (1810), plus de 2 000 pages...

• Bigourdan G., *Le système métrique des poids et mesures : son établisse-*

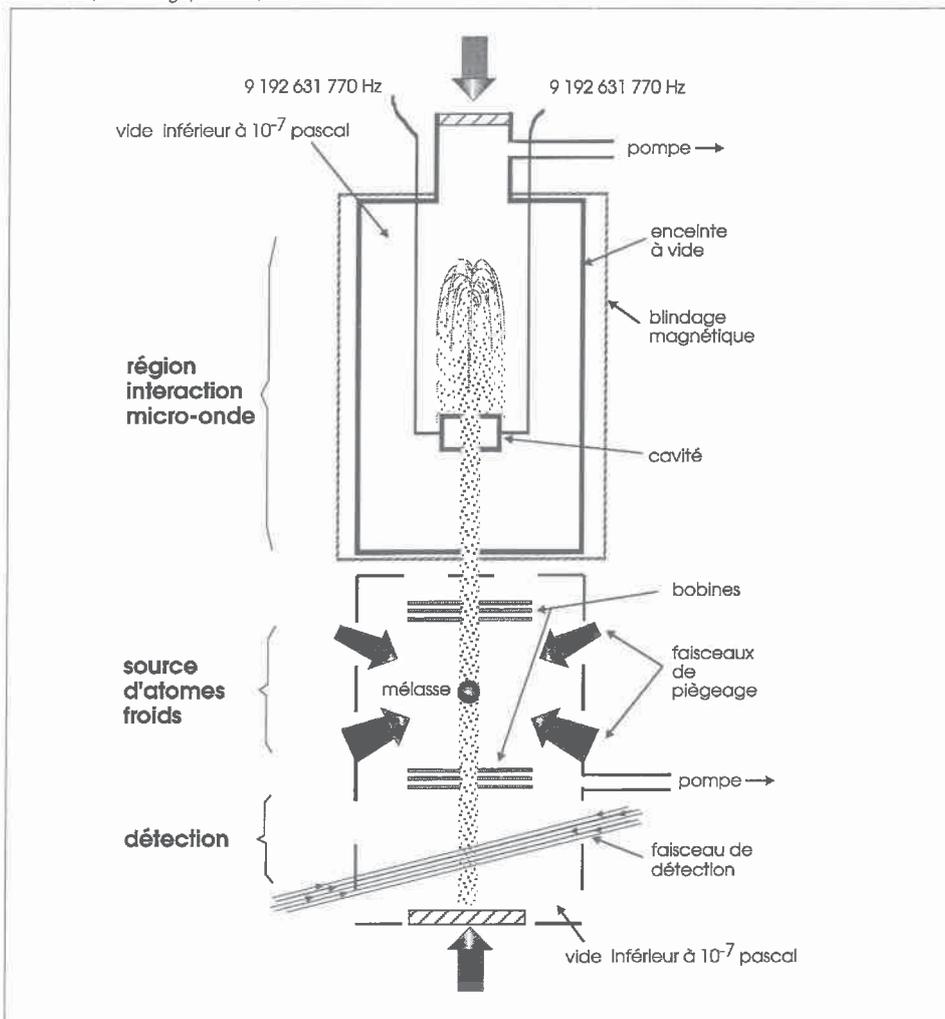


Schéma de la fontaine à césium : ralentissement et refroidissement des atomes sont réalisés dans une enceinte à vide où sont projetés verticalement les atomes de césium

* Laboratoire primaire du Bureau National de Métrologie

ment et sa propagation graduelle, avec l'histoire des opérations qui ont servi à déterminer le mètre et le kilogramme, Gauthier-Villars, Paris, 1901, près de 500 pages...

Ouvrage plus récent et plus synthétique

• Moreau H., *Le système métrique - Des anciennes mesures au Système International d'Unités*, Chiron, Paris, 1975, 120 pages

Colloques récents

• *Genèse et diffusion du Système métrique*, Colloque "La naissance du Système métrique", CNAM, 20-21 octobre 1989, Garnier B. et Hocquet J.-C., responsables d'édition, Editions - Diffusion du Lys, Caen, 1990, 192 pages.

• *Mètre et Système métrique*, Colloque "Mètre et Système métrique", Observatoire de Paris, 5 juin 1991, Débarbat S. et ten A.E., responsables d'édition, Observatoire de Paris et Universidad de Valencia Editeurs, Valencia, 1993, 194 pages.

• *Le Système métrique au XIXe siècle*, Symposium de l'Union Internationale d'Histoire et de Philosophie des Sciences, Saragosse, 22-29 août 1993. Actes à paraître.

Revue spécialisée

• *Cahier de métrologie de l'Institut d'histoire moderne et contemporaine*, Centre National de la Recherche Scientifique. Secrétariat de rédaction, B. Fourman, Centre de Recherche d'Histoire Quantitative, Université de Caen, Caen.

Catalogues d'expositions de l'Observatoire de Paris

• *Jean Picard et la mesure de la Terre - Astronomie et Géodésie au 17e siècle*. Exposition : 13-14 octobre 1982

• *Longueur et temps - de la vitesse de la lumière à la définition du mètre*. Exposition : 1-16 décembre 1984 (épuisé).

• *Newton 87. La publication des "Principia" de Newton - Ses conséquences en France*. Exposition : 16 mai - 21 juin 1987.

• *La longueur du mètre et sa définition 200 ans après...* Présentation et dossier, 1995.

KIT-EXPO de l'Observatoire de Paris

• Ensemble de 33 feuilles illustrées (avec légendes en français, espagnol, anglais, allemand) et livret explicatif permettant de monter une exposition sur le mètre. A servi notamment, en 1989, pour une exposition du *Palais de la découverte*.

Histoire de la géodésie

• Levallois J.-J., *Mesurer la terre - 300 ans de géodésie française - De la toise du Châtelet au satellite*. Association Française de Topographie, Presses de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, 1988, 390 pages, 4 encarts.

Géodésie littéraire

• Verne J., *Aventures de trois Russes et de trois Anglais dans l'Afrique australe*, Hetzel, 1872.

VUES AERIENNES METRIQUES

Toutes échelles - Toutes émulsions : Pour toutes applications

Missions sur mesure ou photothèque

AGRANDISSEMENTS GÉANTS - POSTERS IMPRIMÉS
Travaux photographiques de précision (cartographie)



AU SERVICE DES AMENAGEURS

670, rue Jean Perrin - Z.I. - 13851 AIX EN PROVENCE CEDEX 03

Téléphone : 42.60.05.45 - Télécopie : 42.24.26.04