

Le mètre

Une mesure universelle et révolutionnaire



Michel MARCELIN
Directeur de recherche CNRS
LAM / OSU Institut Pythéas



Pourquoi le mètre ?

De gauche à droite : le pied de roi, le pic de Constantinople, une vara, une demi-toise anglaise, une aune de Paris de 1554, une aune de Paris de 1746 et un mètre.

- En plus du pied, on utilise la toise, la perche, la verge, et l'aune (tissus). Les grandes distances s'expriment en lieues.
- Chaque région a son propre système et ses propres unités : la perche (perche royale, perche des eaux et forêts) en Bourgogne, la semelle en Lorraine, la chaînée en Touraine, le trabuccho à Nice...
- Ces unités varient d'un métier à l'autre, mais aussi selon la nature de l'objet mesuré. Ainsi, par exemple, la superficie des planchers s'exprime en pieds carrés et celle des tapis en aunes carrées.
- A Cahors il y a une canne des marchands (189 cm) pour la vente au détail, une canne des fabricants (198 cm) pour la vente en gros et une canne des tisserands (230 cm) pour la vente des étoffes.

Un choix politique



- Le 8 mai 1790, l'Assemblée Nationale adopte le principe de l'uniformisation des poids et mesures.
- L'unité de base choisie est le pendule battant la seconde. Des délégués sont envoyés en Espagne, en Angleterre, et aux États-Unis, afin de fixer définitivement l'unité avec les gouvernements de ces pays. Charles de Borda, Lavoisier, Tillet et Condorcet composent la commission chargée de déterminer ce système de mesure.
- L'Angleterre et les États-Unis d'abord favorables au pendule changent d'avis à la fin de 1790. Une nouvelle commission (avec Laplace et Monge) préconise alors la mesure de l'arc terrestre (relativement facile à mettre en œuvre et universelle).
- N.B. Tous les pays ont aujourd'hui adopté le système métrique, sauf trois : USA, Birmanie et Libéria.

Définition du mètre

Le 19 mars 1791, l'Académie des Sciences propose :

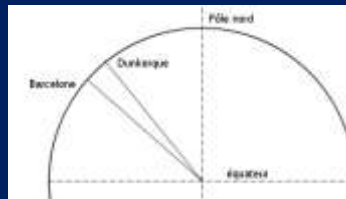
- la division décimale pour les poids, les mesures et les monnaies.
- la mesure de la grandeur du quart du méridien terrestre plutôt que la longueur du pendule qui faisait intervenir le temps et l'intensité de la pesanteur.
- Le mètre est donc défini comme la dix millionième partie du quart du méridien terrestre.

Décret de l'Assemblée Constituante 26 mars 1791

« Considérant que, pour parvenir à établir l'uniformité des poids et mesures, il est nécessaire de fixer une unité de mesure naturelle et invariable et que le seul moyen d'étendre cette uniformité aux nations étrangères et de les engager à convenir d'un système de mesure est de choisir une unité qui ne renferme rien d'arbitraire ni de particulier à la situation d'aucun peuple sur le globe... adopte la grandeur du quart du méridien terrestre pour base du nouveau système de mesures qui sera décimal ; les opérations nécessaires pour déterminer cette base, notamment la mesure d'un arc de méridien depuis Dunkerque jusqu'à Barcelone seront incessamment exécutées »

Choix de l'arc de méridien à mesurer

- On ne peut mesurer facilement qu'une fraction du méridien terrestre.



- Une fois l'écart en latitude entre les deux extrémités mesuré avec précision (51° pour Dunkerque et $41,3^\circ$ pour Barcelone) on peut faire l'extrapolation à 90° .

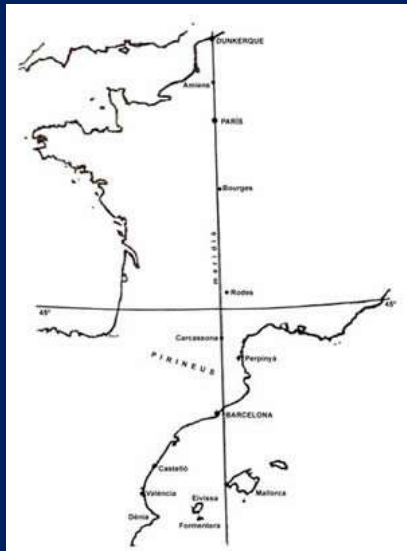
La tâche est confiée aux astronomes Delambre et Méchain



Jean-Baptiste Joseph Delambre (1749-1822) et Pierre Méchain (1744-1804)

Pour faire leurs mesures ils emportent chacun deux cercles répétiteurs.

La méridienne



BASE
DU SYSTÈME MÉTRIQUE DÉCIMAL,
 OU
MESURE DE L'ARC DU MÉRIDIEN
 COMPRIS ENTRE LES PARALLÈLES
 DE DUNKERQUE ET BARCELONE,
 DÉCOUVERTE EN 1792 ET ANNÉES SUIVANTES,
 PAR MM. MÉCHAIN ET DELAMBRE.

Révisé par M. Delambre, secrétaire perpétuel de l'Institut pour les sciences mathématiques, membre du bureau des longitudes, des académies royales de Londres, d'Uppsäl et de Copenhague, des académies de Berlin et de Suède, de la société Italienne et de celle de Göttingue, et membre de la Légion d'honneur.

SUITE DES MÉMOIRES DE L'INSTITUT.

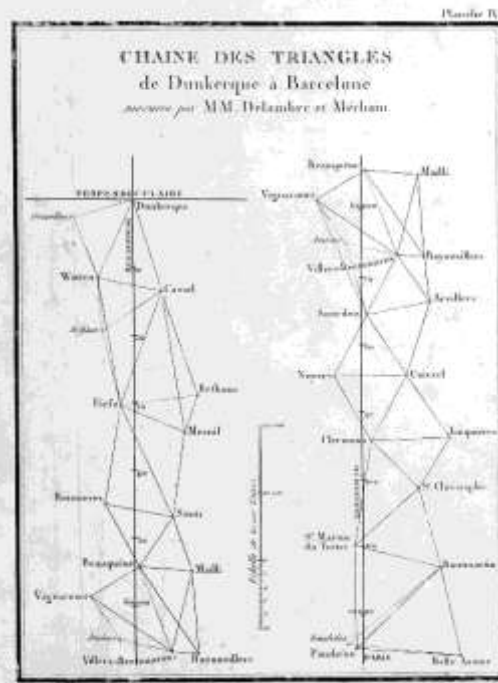
C. N. 282.

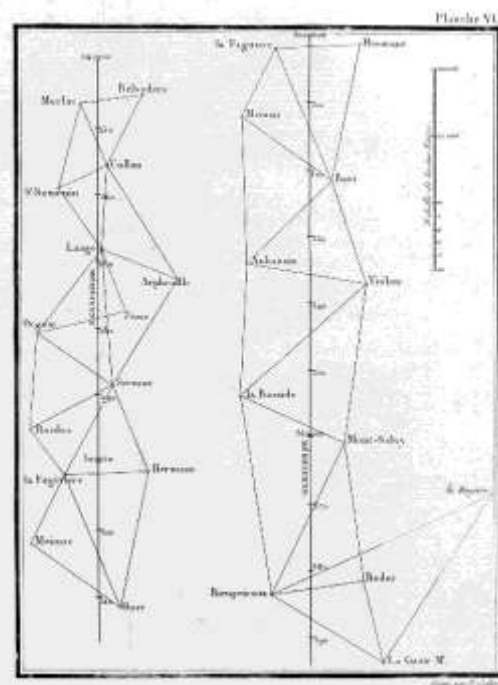
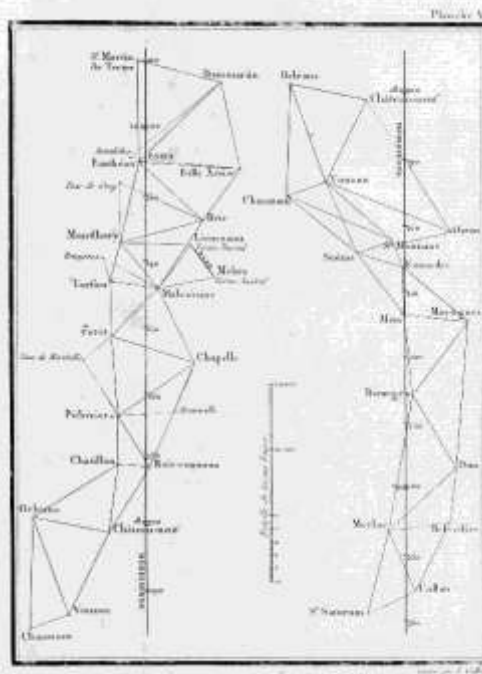
TOME PREMIER.

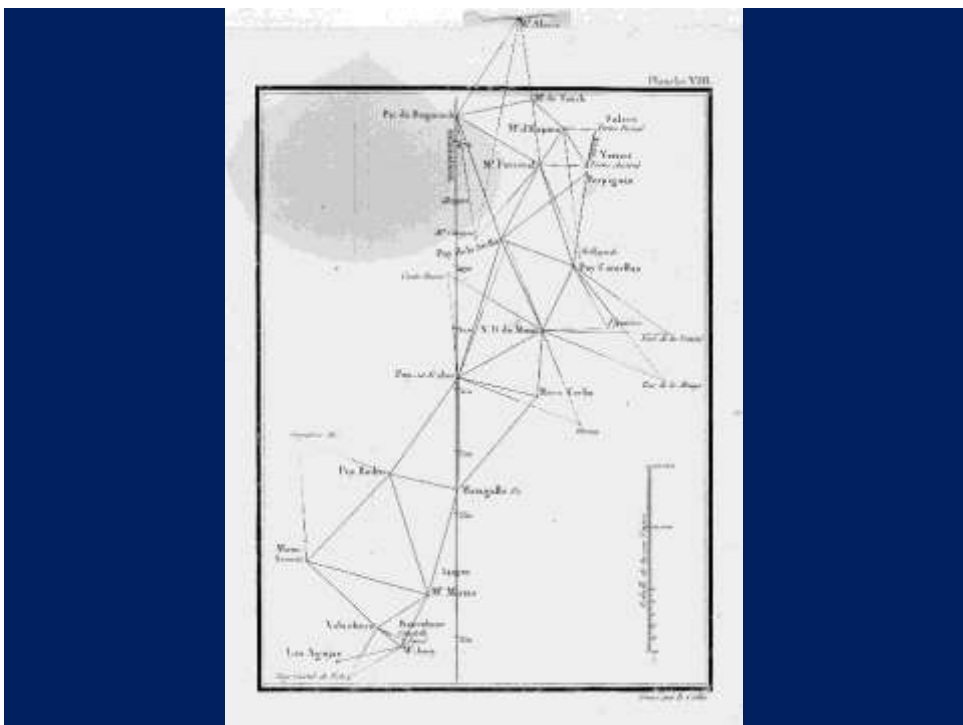
PARIS.

BAUDOUIN, IMPRIMEUR DE L'INSTITUT NATIONAL.

JANVIER 1806.







Le cercle répétiteur de Borda



Planche VIII du Tome 2 de l'ouvrage :
« Base du système métrique décimal »



A noter : Les deux lunettes ne tournent pas autour du même axe !

Détails du cercle de Borda

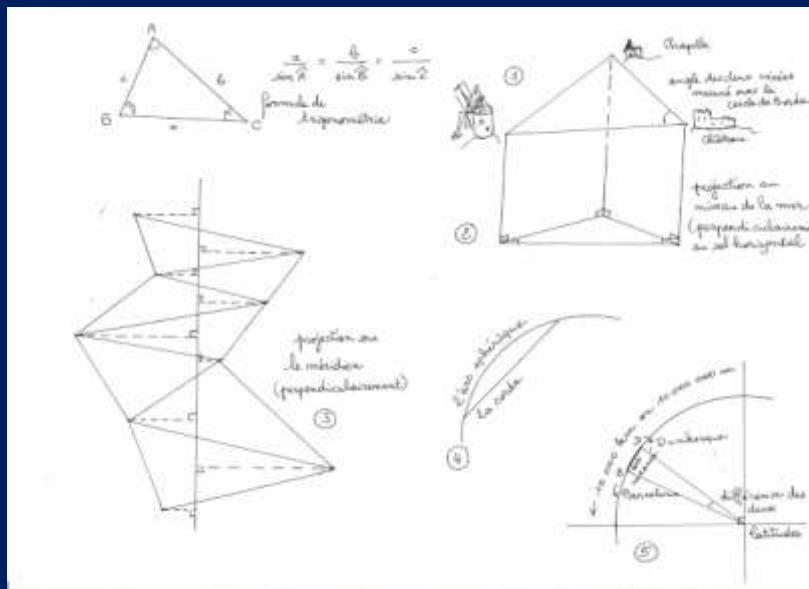
Le grand cercle de mesure est gradué en grades :



Mais le cercle de la base est gradué en degrés !

A noter : Le numéro IIII sur la base de ce cercle, utilisé par Delambre pour les mesures de la partie nord.

Principe de la mesure



Utilisation pratique du cercle de Borda (répétition de la mesure)



Mesure de la latitude



Contrôle de la verticalité du
cercle avec un fil à plomb

Difficultés de triangulation

Dans tout ce qui précède nous avons supposé le centre visible et accessible, en sorte que l'on pût directement mesurer la distance r et l'angle y de la manière indiquée pages 6 et 7, *station de Dunkerque*; mais ce centre se trouve parfois dans l'axe d'une poutre verticale qui embarrasse le milieu de presque tous les clochers, ou dans l'axe d'une tour ou tourelle dans laquelle on ne peut pénétrer. Il faut alors trouver des moyens de suppléer à l'observation directe, qui est impossible.

Le mieux alors seroit de se placer (*pl. I, fig. 3*) quelque part sur la ligne FG . On détermineroit F en faisant

$$FB = FD = \frac{1}{2} BD$$

On viserait en F pour déterminer l'angle de direction y ; et, pour avoir r , il suffiroit de mesurer GF et d'y ajouter

$$CF = BF \cdot \text{tang. } CBF = BF \cdot \cot. BCF = BF \cdot \cot. \left(\frac{90^\circ}{n} \right)$$

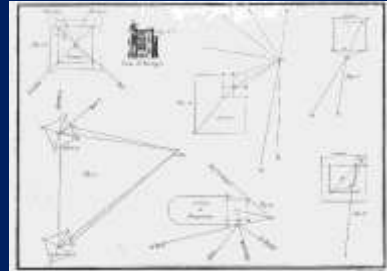
n étant le nombre des côtés du polygone.

Si le polygone est un carré,

$$BF \cdot \cot. \left(\frac{90^\circ}{4} \right) = BF \cdot \cot. 45^\circ = BF$$

Si la poutre ou la tour a pour base un rectangle $ABDE$, $CF = \frac{1}{2} AB$; si la tour est ronde, $CF = \frac{1}{2}$ diamètre.

Si l'on ne peut se placer aussi avantageusement, on essaiera de se mettre sur le prolongement d'un des côtés



1792 : Premières mesures



25 juin 1792

Méchain part de Paris avec Tranchot (ingénieur géographe) et les cercles I et II construits par Lenoir.

Premières mesures le 13 septembre 1792 à ND du Mont (Espagne).

Ils vont mesurer 9 stations en 2 mois.

Ils doivent mesurer la méridienne de Barcelone à Rodez (170 000 toises).

26 juin 1792

Delambre part de Paris avec Bellet et le cercle n° III.

Il récupère le cercle n° III à Paris le 16 juillet 1792 et repart pour Compiègne.

Ils vont mesurer 14 stations en 8 mois.

Ils doivent mesurer la méridienne de Dunkerque à Rodez (380 000 toises).

Fabrication des signaux

La pyramide
Signal de La Gaste
(près de Rodez)



Signal du Montalet
(près de Lacauene)

Je fis pour le trouver bien des courses infructueuses dans le pays compris entre Pithiviers, Boiscommun, Orléans et Sully sur Loire. Après bien des tentatives, je me décidai à faire construire un signal de 64 pieds de hauteur dans l'endroit qui se nomme le haut de Châtillon. Ce signal avoit 20 pieds de base; le quatrième étage, qui nous servoit d'observatoire, étoit un carré de 6 $\frac{1}{2}$ pieds de côté. Pour nous mettre à l'abri du vent et de la neige nous avions fait garnir de planches les quatre côtés de cet étage, qui étoit de plus surmonté d'une pyramide semblable à nos signaux ordinaires. Le vent, qui avoit moins de prise sur nous, en avoit d'autant plus sur le signal qui lui présentait une surface considérable. Le charpentier, que nous n'avions pu surveiller, n'avoit pas rempli toutes les conditions de son marché; il avoit sur-tout négligé ce qui devoit assurer la solidité. Le moindre vent agitoit toute la machine de manière non seulement à rendre les observations moins sûres, mais à inquiéter les observateurs; aussi avons-nous grand soin de n'y monter que par un temps calme, et d'en descendre bien vite, si le vent s'élevoit; mais il falloit aussi descendre l'instrument, et cette opération demandoit encore un quart d'heure. Les jours étoient courts, la terre étoit couverte de neige, le froid rigoureux; la station fut pénible: elle avoit commencé le 12 nivôse

Les aventures de Delambre

Août 1792

Difficultés pour pointer Paris (Montmartre) depuis Dammartin.

Allumage de réverbère à Montmartre (Lalande) et incendie aux Tuileries le 10 août.

Changement de repère dans Paris (Invalides puis Panthéon)

6 Septembre 1792

Problèmes avec les autorités à Saint Denis.
Lettres cachetées.

9 septembre 1792

Décret de l'Assemblée Nationale pour faciliter
Le travail de Delambre et Méchain.



3 mai 1793

Départ pour Dunkerque.

Choix des stations en fonction des positions tenues par les armées.

Mesures des triangles dans le nord du 18 mai au 6 octobre 1793.

Histoire des lettres cachetées

(racontée par
Delambre)

sent favorables pour la reprendre. Arrivé à Saint-Denys, j'y fais viser mes passeports, et j'obtiens un arrêté du district; mais en me le remettant le procureur-syndic m'avertit qu'avec ce secours je n'irai pas à un quart de lieue. En effet, une demi-heure après, en passant par Épinai, nous nous voyons arrêtés. On trouve que nos instrumens ne sont pas désignés assez clairement dans nos passeports; on veut les saisir: on exige que je les étale sur le terrain et que j'en explique l'usage. Personne n'entend la démonstration que j'en fais, et il faut la recommencer pour chaque curieux qui survient. Vainement je veux mettre dans mes intérêts deux arpenteurs qui se trouvent présens, en leur prouvant l'affinité de mes opérations avec celles dont ils font profession; ils voient trop à la disposition des esprits qu'ils tâcheroient inutilement de parler en notre faveur: ils n'osent donner de conclusion. Après trois heures de débats on nous force à remonter dans nos voitures que la garde armée accompagne. On nous mène à Saint-Denys. La place étoit remplie de volontaires qui attendoient des armes pour aller à la défense des frontières. On nous fait traverser cette foule, en l'excitant contre nous par les qualités sous lesquelles on nous annonce. Je demande à être conduit au district, qui le matin même avoit pris un arrêté en notre faveur. Pendant que nous y sommes, on fait sur la place la visite de nos voitures: on y trouve des lettres cachetées adressées à toutes les administrations des départemens que traverse la méridienne. On veut rompre les cachets; la garde nationale de Saint-

8 Aout 1793 Suppression de l'Académie !

18 nivose an 2.

« CITOYEN,

» La commission des poids et mesures a chargé l'un
 » de ses membres, de se rendre auprès de toi pour te
 » remettre l'arrêté du comité de salut public qui te con-
 » cerne, et pour concerter avec toi les moyens de clore
 » tes opérations de manière que les signaux restent inu-
 » tiles; elle t'invite à terminer la rédaction de tes cal-
 » culs et la copie de tes observations, ainsi que tu le
 » proposes. »

Lettre reçue par Delambre le 7 janvier 1794

Extrait des registres du comité de salut public de la Convention nationale.

De tous les jours du réveil, l'un des dixième de la République française, une et indivisible.

« Le comité de salut public, considérant combien il
 « importe à l'amélioration de l'esprit public que ceux
 « qui sont chargés du gouvernement ne délèguent de
 « fonction ni ne donnent de mission qu'à des hommes
 « dignes de confiance par leurs vertus républicaines et
 « leur haine pour les rois; après s'en être concerté avec
 « les membres du comité d'instruction publique, oc-
 « cupés spécialement de l'opération des poids et mesures,
 « arrête que Borda, Lavoisier, Laplace, Coulomb,
 « Berisson et Delambre, cesseront, à compter de ce jour,
 « d'être membres de la commission des poids et mesures,
 « et remettront de suite, avec inventaire, aux membres
 « restans, les instrumens, calculs, notes, mémoires, et
 « généralement tout ce qui est entre leurs mains de relatif
 « à l'opération des mesures. Arrête, en outre, que les
 « membres restans à la commission des poids et mesures,
 « feront connoître au plutôt au comité de salut public
 « quels sont les hommes dont elle a un besoin indispen-
 « sable pour la continuation de ses travaux, et qu'elle
 « fera part en même temps de ses vues sur les moyens
 « de donner le plutôt possible l'usage des nouvelles
 « mesures à tous les citoyens, en profitant de l'impul-
 « sion révolutionnaire.
 « Le ministre de l'intérieur tiendra la main à l'exé-
 « cution du présent arrêté.

« Signé au registre, B. BARÈRE, ROUESPIERRE,
 « BILLAUD-VARENNE, GOUTHON, COLLOT-
 « D'HERBOIS, etc. »

Les aventures de Méchain

25 février 1793 : Eclipse de Lune.

Méchain gravement blessé par une pompe hydraulique à Barcelone.
 Il passe 2 mois au lit et 1 an sans pouvoir se servir de son bras droit.

Été 1793 : Reprise des mesures dans les Pyrénées. Guerre France-Espagne.
 Tranchot est capturé par des français qui le prennent pour un traître !

Méchain assigné à résidence à
 Barcelone mais interdit d'accès
 au fort de Montjoui.



1794 : Méchain et Tranchot prennent un bateau pour l'Italie.
 Méchain embarque pour Marseille et ne reprend ses mesures de triangles
 qu'en 1795.
 Il reste très longtemps à Carcassonne, renfermé sur lui-même.

Difficultés de la mesure de la latitude

Delambre a des séries de mesures discordantes en observant β de la Petite Ourse:

Je ne vois à cela rien d'impossible; la conclusion la plus sûre est qu'il faut rejeter cette série (1). Celles du 7 et du 10 donnent au contraire des distances au zénith trop fortes: elles ne sont pas plus aisées à expliquer; car, après ce qui m'étoit arrivé le 4, j'avois senti la nécessité de faire une attention particulière à la vis de pression que je serois avec grand soin. Il faudroit un choc bien violent pour que la lunette fût contre le limbe reçût un mouvement de 2 ou 3'. Voilà tout ce que j'ai pu imaginer, et rien de tout cela ne me satisfait. Quoique ces anomalies inexplicables m'aient fort tourmenté pendant un mois, je n'ai jamais cru qu'elles vinssent de maladresse, et j'ai depuis été bien rassuré à cet égard par l'exemple de M. Méchain. Voici ce qu'il m'écrivait le 7 nivôse an 7 :

(1) Après tout, ces inégalités dont nous avons cherché les causes avec tant de soin, se réduisent à quatre séries qui sont évidemment suspectes et qu'il faut rejeter. Avec quel instrument s'entre-t-il pas quelquefois de faire de mauvaises observations? On les appelle malheureusement sans en rien dire: je les publie; voilà peut-être tout ce qu'il y a d'extraordinaire.

Lettre de Méchain à Borda le 7 nivôse an 7 (27 décembre 1798) :

Voici ce qu'il mandait le même jour à M. Borda. J'ai la lettre qui sera déposée à l'Observatoire.

« Je vous envoie les tableaux des résultats de mes « maudites observations de la Polaire, et de β de la « petite Ourse. Vous y verrez la preuve que je ne suis « plus capable de faire des observations de latitude qui « soient même passables, j'en suis désespéré. La Po- « laire a été observée à l'un des cercles . . . β de la « petite Ourse avec l'autre. J'ai apporté les mêmes « soins que ci-devant, et plus encore: la verticalité du « cercle est vérifiée chaque jour; le niveau assure qu'elle « ne varie pas d'une demi-minute dans le cours des « observations d'un même jour. La position des alidades « est relue chaque fois avant de commencer, pour voir « si elle n'a pas changé depuis la dernière observation; « on cale le niveau avec la plus de précision que l'on « peut; je pointe à l'étoile aussi juste que j'en suis « capable; jamais je n'ai pris tant de précautions, et « jamais je n'ai si mal réussi. J'ai tourné et retourné « le cercle dans tous les sens, visité toutes les pièces, « cherché ce qui pourroit causer ces monstrueuses dis- « cordances, et je n'ai rien reconnu quoique j'aie perdu « un temps infini; c'est donc évidemment ma mal- « adresse. Pour la seconde série, j'ai la face parcouru

Le mètre provisoire (1^{er} août 1793)

Le roi étant mort depuis le 21 janvier 1793, la bourgeoisie révolutionnaire, rentrée depuis juin 1793 dans le règne de a Terreur, ne voulait guère attendre la fin des travaux de Delambre et Méchain et continuer ainsi d'utiliser le « Pied du Roy ».

Pour cette raison la Convention nationale vota le 1^{er} août 1793 l'introduction immédiate des nouvelles mesures décimales.

Il fut institué un « mètre provisoire » sur la base des mesures antérieures de Lacaille d'une valeur de 3 pieds et 11,44 lignes (soit 443,44 lignes), par rapport à la toise du Pérou. Ce qui fait 1000,325 millimètres.

En 1795 un étalon en laiton fut fabriqué en attendant la valeur du mètre définitif.

N.B. Une ligne = 1/12 « pouce du roy »

Mètres-étalons sur les bâtiments publics



Il en reste deux à
Paris :

36 rue Vaugirard

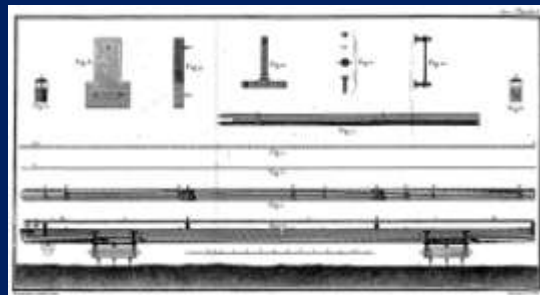


et

13 place Vendôme



Mesure d'une base



Deux bases (~ 11 km) ont été mesurées , en juin et août 1798 :

Melun - Lieusaint (6 075,90 toises), Salces le Château - Vernet (6 006,25 toises) vers Perpignan.

En comparant cette dernière mesure et la même longueur calculée à partir de la chaîne des triangles et de la base de Melun, la différence n'est que de 26 cm.

On place bout à bout des règles de 2 toises de long (un peu moins de 4 m) construites dans ce but par Borda, alignées par visée optique et placées à l'horizontale grâce à un niveau.

Ces quatre règles sont conservées à l'Observatoire de Paris.

Preuve du soin apporté aux mesures

Ordre suivi dans les mesures.

Voici l'ordre qu'on a suivi de la manière la plus invariable dans la mesure des deux bases.

La règle n° I étoit d'abord placée dans la direction de la base de manière qu'un fil à plomb tangent à l'extrémité de la règle, tomboit exactement sur le point de départ : ainsi il faudra tenir compte de la demi-épaisseur du fil au point de contact.

Mesures publiées

Delambre et Méchain rentrent ensemble à Paris début décembre 1798
Les calculs définitifs sont alors entrepris et seront publiés en 1806

TABLEAU DES TRIANGLES. - 513

N°.	NOMS des stations.	Pages.	ANGLES observés.	EXCÈS sphérique.	ANGLES sphériques.	ANGLES des codes.	ANGLES moyens.
1	Dunkerque ..	11	42° 6' 9"34	— 0"34	42° 6' 9"73	6° 9'39	6° 9'34
2	Watten	19	74° 28' 44"88	— 0"45	74° 28' 45"28	28° 44"83	28° 44"88
3	Cassel	25	63° 25' 57"78	— 0"39	63° 25' 61"17	25° 57"28	25° 57"78
4		113	180° 0' 0"00	— 1"18	180° 0' 1"18	0' 0"0	0' 0"0
	Somme des erreurs ..	..	— 1"18				
5	Dunkerque ..	13	46° 52' 0"32	— 0"21	46° 52' 0"32	52° 0'11	52° 0'3
6	Watten	20	45° 33' 44"65	— 0"23	45° 33' 44"65	33° 44"42	33° 44"37
7	Gravelines ..	*	87° 34' 15"89	— 0"42	87° 34' 15"89	34° 15'47	34° 15"60
			180° 0' 0"86	— 0"86	180° 0' 0"86	0' 0"0	0' 0"0

Le mètre définitif (10 décembre 1799)

La commission chargée de la question fixe la longueur du mètre *définitif* à 3 pieds 11,296 lignes soit 443,296 lignes (1 ligne = 1/12 pouce du Roi)

La loi du 19 Frimaire, an VIII (10 décembre 1799) précise : « *le mètre et le kilogramme en platine déposés le 4 Messidor dernier au Corps législatif par l'Institut national des Sciences et des Arts sont les étalons définitifs des mesures de longueur et de poids dans toute la République...* ».



Ce mètre-étalon (*Mètre des Archives*) est une règle plate en platine usinée et gravée par Lenoir. Sa section est de 25 x 4 mm² et elle est plus courte que le mètre provisoire de 0,144 ligne (soit 0,325 mm).

« *Au commencement de l'an IV le chevalier de Borda fit appel au citoyen Jannetti de Marseille qui y avait établi un atelier de dépuraison du métal des cloches pour fabriquer des mètres et des kilogrammes en platine. Le citoyen Jannetti commença à s'occuper de cette fabrication en brumaire de la même année et forgea quatre mètres et quatre kilogrammes.* »

Le mètre-étalon de 1889 (26 septembre 1889)



Mètre-étalon en platine iridié

Première Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM) :

« *les dix-huit États signataires de la Convention du Mètre... sanctionnent à l'unanimité... le prototype du mètre choisi par le Comité international ; ce prototype représentera désormais, à la température de la glace fondante, l'unité métrique de longueur.* »

N.B. Plus aucune référence n'est faite à la longueur du quart de méridien. Toutefois, le rattachement à la définition originale de 1795 reste implicite puisque le nouvel étalon reproduit au mieux le Mètre des Archives.

Le mètre depuis 1983

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 seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les niveaux hyperfins $F=3$ et $F=4$ de l'état fondamental $^6S_{1/2}$ de l'atome de césium 133 »

Comment le cercle n° III est il arrivé à Marseille ?



François Arago prolonge la mesure du méridien jusqu'aux Baléares, entre 1806 et 1808, avec l'aide de Jean-Baptiste Biot. Ils utilisent ce cercle n°III. Il quitte Barcelone en bateau pour Alger et arrive à Marseille en 1809 où il va laisser le cercle à Jean-Louis Pons, concierge de l'Observatoire de Marseille.

Que sont devenus les autres cercles ?

Méchain en a vendu un à des astronomes italiens à Gênes
(on ne sait pas ce qu'il est devenu) et on ne sait pas où est passé le deuxième cercle qu'il a utilisé pour ses mesures.

Celui qui est conservé à Marseille est donc un des deux cercles utilisés par Delambre mais on ne sait pas non plus où est passé le deuxième cercle qu'il a utilisé pour ses mesures ...