

Du Système métrique au Système international d'unités (SI)

Culture Sciences
de l'Ingénieur

Hélène HORSIN MOLINARO

Édité le
16/02/2025

école
normale
supérieure
paris—saclay

L'année 2025 a célébré les 150 ans de la *Convention du mètre*, traité international signé le 20 mai 1875 à Paris par 17 états désireux d'assurer l'unification internationale et le perfectionnement du système métrique. Garant du système international d'unités, le *Bureau international des poids et mesure* (BIPM) créé par le traité, est l'une des premières organisations intergouvernementales ; sa mission est de coordonner la métrologie scientifique mondiale et de définir l'échelle de temps de référence (UTC) [1].

Mais pourquoi un système international d'unités ? et d'où cette idée est-elle venue ?

Cette ressource propose de revenir sur le système international d'unités depuis ses origines à son évolution actuelle en passant par un petit historique des mesures sous l'ancien régime, la création du système métrique à la Révolution française et la difficulté de l'imposer.



Figure 1 : Le mètre étalon de la place Vendôme, Paris

Inscription sur la plaque : « Ce mètre étalon de marbre fut commandé par la Convention nationale pour encourager l'usage du nouveau système métrique. Sur les seize mètres réalisés entre 1796 et 1799, par le marbrier Corbel sur les dessins de l'architecte Chalgrin et placés dans les lieux les plus fréquentés de Paris, deux seuls subsistent aujourd'hui dans la capitale ».

1 - Le système de mesure en France

1.1 - Les mesures de la Terre au XVII^e siècle

Dès 1603, dans la poursuite de la Renaissance, se crée à Rome la première académie scientifique d'Europe l'*Academia dei Lincei*. En France dans la première moitié du XVII^e siècle se forment des cercles de savants, autour d'un mécène érudit, afin de discuter, échanger et progresser. La *Royal Society* à Londres est créée en 1645 et l'*Académie royale des sciences* en 1666 sur ordre du roi Louis

XIV¹ qui souhaite « avancer et favoriser la science pour l'utilité publique et la gloire de son règne » : les sciences comme les arts permettent au Roi-Soleil de renforcer son pouvoir et de rayonner sur l'Europe. Comme pour les arts (théâtre, peinture, musique, sculpture, architecture, etc.), le roi devient protecteur des savants, qui sont alors pensionnés et leurs travaux reconnus [2,3]. Au sein de la première Académie des sciences se trouve une vingtaine d'astronomes, mathématiciens, physiciens, anatomiste, botanistes, chimistes. Il semble que Christian Huygens² ait pu jouer un rôle important dans les définitions des objectifs de l'Académie et des méthodes à mettre en place [3]. Leurs travaux donnent lieu à la rédaction de Mémoires, toujours disponibles à la lecture sur le site Gallica de la Bibliothèque nationale de France (BnF).

L'astronomie est une grande affaire dans ce XVII^e siècle. Huygens au Pays-Bas à partir du milieu du siècle, innove dans le repérage de l'instant de phénomènes avec des horloges à pendules ; en 1655, il découvre avec un télescope de grossissement 50, un satellite de Saturne qui deviendra Titan. Il est donc logique qu'un observatoire royal soit édifié dans la France de Louis XIV. Le 21 juin 1667, les académiciens fixent son orientation : son axe de symétrie étant adopté par observation du passage du Soleil : le méridien de France est établi. La carte de France est jugée peu précise par Colbert³ et Louis XIV, il est donc demandé aux académiciens d'en améliorer la qualité.

Le bâtiment de l'Observatoire n'est pas achevé lorsque les premiers académiciens se mettent au travail. À cette époque, l'ensemble des prédictions d'éclipses des quatre satellites de Jupiter, ainsi que les éclipses de Lune sont connus : ces phénomènes permettent la détermination de la longitude, une des deux coordonnées terrestres nécessaires à l'établissement de cartes ; la latitude, la seconde coordonnée terrestre, pouvait être obtenue par l'observation de l'Étoile polaire dans l'hémisphère nord. La cartographie exigée par le pouvoir royal pouvait être menée, c'est donc à cette époque que l'on observe les avancées en astronomie et en géodésie menées par les savants. Ainsi Picard⁴ entreprend, après avoir conçu les instruments, de mesurer la Terre. À la fin des années 1660, il mesure l'arc du méridien de Paris entre Malvoisine (près de la Ferté-Alais) et Sourdon au sud d'Amiens dans la Somme (figure 2) par triangulation à l'aide d'un quart de cercle à deux lunettes (figure 3), qu'il emploie également pour obtenir les différences d'altitude de ses lieux d'observation.

Pour la partie astronomique, Picard se sert d'un secteur d'une toise de long dont le limbe, bord gradué d'un secteur circulaire, est de vingt degrés. Ainsi, Picard fixe l'orientation du méridien de l'Observatoire royal, détermine sa longueur entre Sourdon et Malvoisine, et en déduit les dimensions de la Terre. Pour Picard, un degré de latitude mesure environ 111,1 km (dans nos unités actuelles), ce qui avec l'hypothèse de sphère parfaite donne un rayon terrestre de 6372 km (il est considéré de notre jour comme mesurant 6371 km !). Lors de son déplacement sur le méridien à mesurer, Picard consigne la disparité des unités de longueur d'un endroit à l'autre (lui prend ses mesures avec la même toise de référence). Les mesures astronomiques se font avec un pendule de référence dont Picard recommande qu'il soit battant sur la seconde. En 1671 il publie *Mesure de la Terre* que l'on peut lire (en français du XVII^e) sur le site Gallica de la Bibliothèque nationale de France [7].

¹ Louis XIV (1638-1715), roi de France et de Navarre à partir de 1651 (1643-1651 : régence d'Anne d'Autriche)

² Christian Huygens (1629-1695), mathématicien, astronome et physicien néerlandais, découvreur de Titan, satellite de Saturne en 1659

³ Jean-Baptiste Colbert (1619-1683), ministre de Louis XIV, intendant puis contrôleur général des finances

⁴ Jean Picard (1620-1682), géodésien et astronome français, un des premiers membres de l'Académie royale des sciences



Figure 2 : Carte actuelle visualisant les villes de Sourdun et Malvoisine

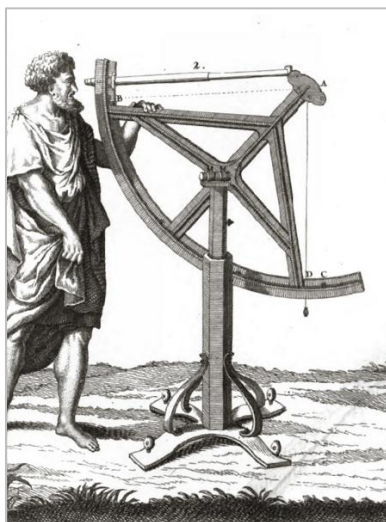


Figure 3 : Quart de Cercle à deux lunettes (gravure de 1671), Wiki Commons

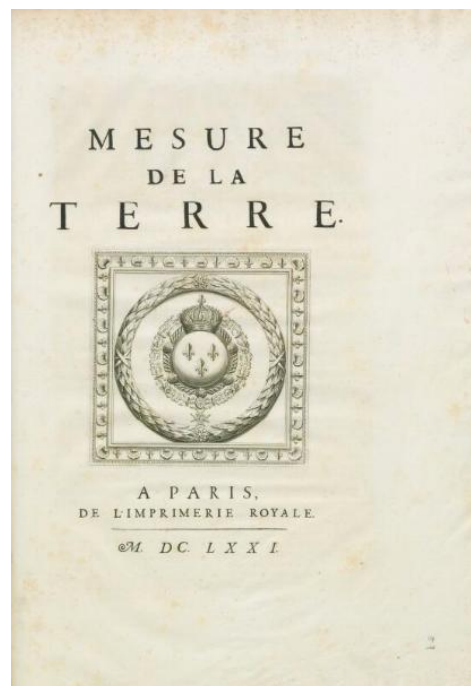


Figure 4 : Page de Garde de Mesure de la Terre de l'Abbé Picard (1671) [7]

1.2 - Au XVIII^e siècle, avant la révolution

À la fin du XVII^e siècle (1687), Newton⁵ publie *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (Principes mathématiques de la philosophie naturelle) où est exposée sa théorie de l'attraction universelle mettant à mal la théorie de son aîné Descartes⁶ et de ses tourbillons. Des débats tout au long du XVIII^e siècle, verront les deux clans newtoniens et cartésiens s'opposer (voir aussi la ressource « *Pierre-Simon Laplace et le Traité de mécanique céleste* » [10]).

L'académie des sciences continue ses mesures. En 1735, Louis Godin⁷ conduit une expédition jusqu'en Équateur, alors division de la Vice-royauté du Pérou, avec Charles Marie de La Condamine⁸, Pierre Bouguer⁹ et Joseph de Jussieu¹⁰ (Godin et Jussieu resteront en Amérique du sud plusieurs années). Le rapport de cette expédition, publié en 1746 par Bouguer dans *La figure de la Terre*, indique que la Terre est élargie à son équateur. Cette expédition mesure l'arc du méridien avec l'étalon dénommé la *Toise du Pérou* [1,17].

Pierre Louis Moreau de Maupertuis¹¹, également membre de l'Académie royale des sciences mais aussi de la Royal Society, est un fervent Newtonien dont il est le premier à défendre les idées en France, alors que ses savants sont majoritairement encore cartésiens. En 1736, Maupertuis conduit une expédition en Laponie avec Alexis Claude Clairaut¹² et Anders Celsius¹³ pour mesurer un degré d'arc de méridien, avec l'étalon dénommé la *Toise du Nord*. De retour rapidement en 1737, Maupertuis et Clairaut, devant les membres de l'Académie royale des sciences, annoncent que leurs

⁵ Isaac Newton (1642-1727), mathématicien, physicien, philosophe et astronome anglais

⁶ René Descartes (1596-1650), mathématicien, physicien et philosophe français

⁷ Louis Godin (1704-1760), astronome français membre de l'Académie royale des sciences

⁸ Charles Marie de La Condamine (1701-1774), explorateur et scientifique français

⁹ Pierre Bouguer (1698-1758), mathématicien, physicien et géodésique français

¹⁰ Joseph de Jussieu (1704-1779), botaniste français

¹¹ Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), mathématicien, physicien et astronome français

¹² Alexis Claude Clairaut (1712-1765), mathématicien français

¹³ Anders Celsius (1701-1744), savant suédois dont le nom est resté pour l'échelle de température

mesures de ce degré voisin du pôle Nord, étant plus petite que la valeur du degré du méridien de Paris mesuré par Picard en 1669, la Terre est donc un sphéroïde aplati aux pôles. L'étalon prototype royal, dite *Toise du Châtelet*, car incrusté depuis 1668 dans le bâtiment du Grand Châtelet¹⁴, est complété par les deux toises du Pérou et du Nord [1,17].

En 1747, La Condamine présente à l'Académie des sciences une proposition de Cisternay du Fay¹⁵, décédé en 1739, *Nouveau projet d'une mesure invariable propre à servir de mesure commune à toutes les Nations*. La Condamine s'appuyant sur les expéditions de Cayenne, du Pérou, et de Laponie, fixe son choix sur la longueur du pendule à l'équateur terrestre, de préférence au pendule battant la seconde à la latitude de 45° (Picard). Au milieu du siècle, Nicolas-Louis de Lacaille¹⁶ se rend dans l'hémisphère sud durant quatre années afin de mesurer un arc de méridien, il passera par des territoires français lointains comme les îles de France (actuellement île Maurice) et Bourbon (La Réunion). Lacaille et tous les savants contribuant aux mesures de la Terre ne manquent pas d'observer les difficultés liées à la diversité des références de mesure, difficultés rencontrées également dans la vie de tous les jours [1].

En 1766, par décret de Louis XV¹⁷ la *toise du Pérou* devient l'étalon du royaume (*Toise de France*), et Mathieu Tillet¹⁸, de l'Académie des sciences et inspecteur général de la Monnaie, est chargé de la reproduction et de l'expédition d'une soixantaine d'exemplaires de la *toise du Pérou*, ainsi que de l'*aune de Paris* (unité de mesure des étoffes) et du *poids de marc* (unité de mesure des pesées des métaux précieux). Ces unités de mesure seront expédiées dans les différentes régions de France, y compris en Outre-Mer [1,18].

1.3 - Quelques exemples de mesures utilisées au XVIII^e siècle

Une même dénomination de mesure peut être de différentes dimensions selon la région, la ville ou même le quartier. De plus, les bases 10 et 12 cohabitent rendant ainsi les multiples encore plus compliqués. Ainsi par exemple la mesure de longueur avec l'unité *pied* (censé être la longueur de celui de Charlemagne¹⁹ !) peut contenir 10 ou 12 pouces selon l'endroit où on se trouve. La mesure de masse qu'est l'*once* (littéralement un douzième en latin) doit être multiplié par 16 pour obtenir une *livre* à Paris, mais par 12 à Lyon... [19, 20,21].



Figure 5 : Demi-pied de Roi pliant en argent du XVIII^e siècle, les bords des deux branches sont divisés en 6 pouces, les pouces 1 et 6 sont divisés en 12 lignes, source [23]

¹⁴ Forteresse édifée sur l'actuelle place du Chatelet au XII^e siècle et démolie au début du XIX^e

¹⁵ Charles François de Cisternay du Fay (1698-1739), chimiste français, directeur du jardin royal des plantes

¹⁶ Nicolas-Louis de Lacaille (1713-1762), astronome français, membre de l'Académie royale des sciences

¹⁷ Louis XV (1710-1774), roi de France et de Navarre à partir de 1722 (1715-1722 : régence duc d'Orléans)

¹⁸ Mathieu Tillet (1714-1791), botaniste, agronome et métallurgiste français

¹⁹ Charlemagne (~742-814), roi des Francs à partir de 768 et empereur à partir de 800

Pour les longueurs, on peut trouver :

- Le *pied* : unité basée sur la longueur du pied royal (de $\approx 0,285$ à $0,357$ m) et qui vaut également 12 pouces (ou 10...) ;
- Le *pouce* : le 12^e du pied ($\approx 2,7$ cm) et qui vaut également 12 lignes ;
- La *ligne* : le 12^e du pouce ($\approx 2,26$ mm) ;
- La *toise* : 6 pieds ($\approx 1,949$ m) ;
- L'*aune* : pour mesurer les étoffes, vaut 3 pieds 7 pouces 10 lignes $5/6$ ($\approx 1,182$ m ou $0,816$ m à Besançon par exemple, figure 6) ;
- La *lieue* : distance parcourue en marchant durant une heure soit environ 2281 toises ($\approx 4,445$ km).



Figure 6 : Aune de Besançon exposé actuellement dans une rue de la ville

Pour les superficies, on peut trouver :

- Le *pouce carré*, le *pied carré* ou la *toise carrée*. Le pouce carré est la 144^e partie du pied carré et la 5184^e partie de la toise carrée, c'est aussi 144 lignes carrées... ;
- L'*arpent*, qui vaut 100 perches de 22 pieds de côté, ou 48400 pieds carrés ($\approx 5107,2$ m²) ; Arpenter un terrain veut encore dire de nos jours le mesurer ;
- La *verge*, qui vaut un quart d'arpent (≈ 1276 m²).

Pour les masses, on peut trouver :

- La *livre*, unité de masse très variable selon la région (de ≈ 380 à 552 g). La livre est encore une unité de masse utilisée de nos jours pour les aliments, entendue comme la moitié d'un kilo, 500 g ;
- L'*once*, 12 (ou 16 ou même 18) onces font une livre, elle-même étant de valeurs variables, l'once peut être estimé entre 24,6 et 33,5 g ;
- Le *marc*, pour peser l'or ou l'argent, il vaut 8 onces (ou encore une demie livre à Paris).

Pour les volumes, les termes de mesures sont différents s'il s'agit de liquide ou de matières sèches ; on peut trouver :

- La *pinte*, représente différents volumes selon la région ; à Paris c'était presque l'équivalent d'un litre (0,931 l). La pinte de nos jours indique un demi litre ;
- Le *pot*, est l'équivalent de deux pintes et la *chopine*, d'une demie pinte ;
- La *velte*, mesure de volume des tonneaux, vaut 8 pintes de 48 pouces cubes ($\approx 7,62$ l) ;

- Le *litron*, mesure du blé, charbon, sel, (...) vaut 36 pouces cubes (de $\approx 0,79$ à $0,813$ l) ;
- Le *boisseau*, correspond à 16 litrons (entre 12 et 13 litres) ;
- Le *setier*, correspond à 12 boisseaux.

On pourrait continuer ainsi les exemples... Dans cette fin du XVIII^e siècle, la France compte quelques 800 noms d'unités différentes, variant d'une région à l'autre, voire dans une même ville, certains noms recouvrant différentes mesures multiplient encore le nombre d'unités de mesure, sans compter les subdivisions par des valeurs là aussi différentes ! À l'échelle de monde, les mesures sont loin d'être unifiées ! Ces différences compliquent nécessairement les échanges de la vie courante, comme de la vie scientifique.

2 - Premier pas du système métrique décimal

La crise financière de la fin des années 1780 entraîne Louis XVI²⁰ à convoquer des états généraux²¹, réunis à partir de mai 1789, les premiers depuis plus de 150 ans (ceux de 1614 sous Louis XIII²²). Dans ce cadre, des cahiers de doléances sont établis pour recueillir les vœux, demandes ou encore prestations à l'adresse du pouvoir royal. Dans le cahier du tiers état, on trouve des doléances sur la justice sociale et financière, la liberté individuelle mais aussi sur des points très concrets de la vie courante comme les demandes d'unification des poids et mesures [24].

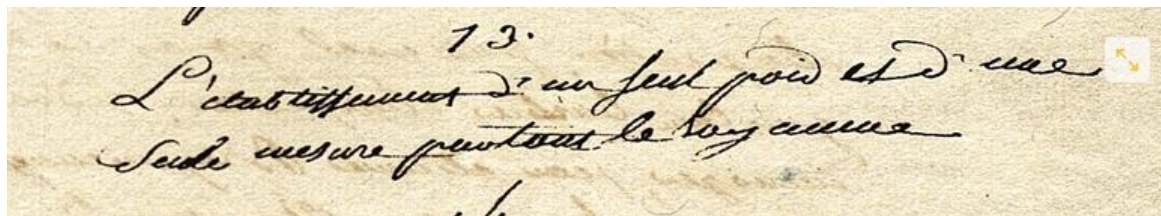


Figure 7 : Une des requêtes concernant l'unification des mesures « L'établissement d'un seul pois et d'une seule mesure partout le royaume » (Archives départementales du Pas-de-Calais, 2 B 884/5) [25]

En mai 1790, dans l'idée d'unification et d'égalité nationale, l'Assemblée ratifie l'adoption d'un système décimal de poids et de mesures, qui devrait être adopté également par la Grande-Bretagne et les États-Unis. Le *Mémoire sur la nécessité et les moyens de rendre uniformes, dans le royaume, toutes les mesures d'étendue et de pesanteur* de Claude-Antoine Prieur-Duvernois²³ [26] permet de mesurer l'importance de la réforme qui doit permettre d'établir les mesures sur des bases fixes et invariables et de régler tous les multiples et subdivisions suivant l'ordre décuple.

Pour constituer un système cohérent, toutes les unités seraient définies à partir de la même unité de base de la longueur : le **mètre** (du grec μέτρον -métron- mesure). Toutes les autres unités de mesures des surfaces, de masse, de volume seraient liées entre elles et découleraient du mètre. Ainsi les unités de base seraient : l'**are** pour une superficie, soit un carré de 10 mètres de côté, le **stère** pour les volumes (solides) soit un cube de 1 m de côté, le **litre** pour le volume des liquides, soit la quantité d'eau contenue dans 1 décimètre de côté. Le **gramme** serait l'unité de base du poids correspondant au poids de l'eau à 4°C contenue dans un cube de 1 cm de côté.

Mais quelle doit être la longueur du mètre ? Il doit avoir une valeur neutre choisie dans la nature, plutôt que d'imposer une mesure existante à un endroit (Paris !) au reste de la nation et du monde. Dans un premier temps, le choix se porte sur la longueur d'un pendule simple dont la demi-période marque la seconde. Le pendule mis en mouvement par la force d'attraction, la longueur du pendule

²⁰ Louis XVI (1754-1793), roi de France et de Navarre (1774-1791), rois des Français (1791-1792)

²¹ Assemblée composée des trois ordres que sont le clergé, la noblesse et le tiers état

²² Louis XIII (1601-1643), roi de France et de Navarre à partir de 1610

²³ Claude-Antoine Prieur-Duvernois (1763-1832), officier du Génie, cofondateur de l'École polytechnique

dépend de la latitude où est fait la mesure... et entre La France, la Grande-Bretagne et les Etats-Unis, la décision n'était pas universelle !

Cette importante réforme entraîne des problèmes physique et mathématique auxquels les scientifiques prennent part. Une commission nommée par l'Académie des sciences réunit Jean-Charles de Borda²⁴, Joseph-Louis Lagrange²⁵, Pierre-Simon Laplace²⁶, Gaspard Monge²⁷ et Nicolas de Condorcet²⁸ afin de définir la longueur du mètre, et leur *Rapport sur le choix d'une unité de mesure* est présenté le 19 mars 1791 à l'Académie des Sciences, on peut le lire en français sur lien [33].

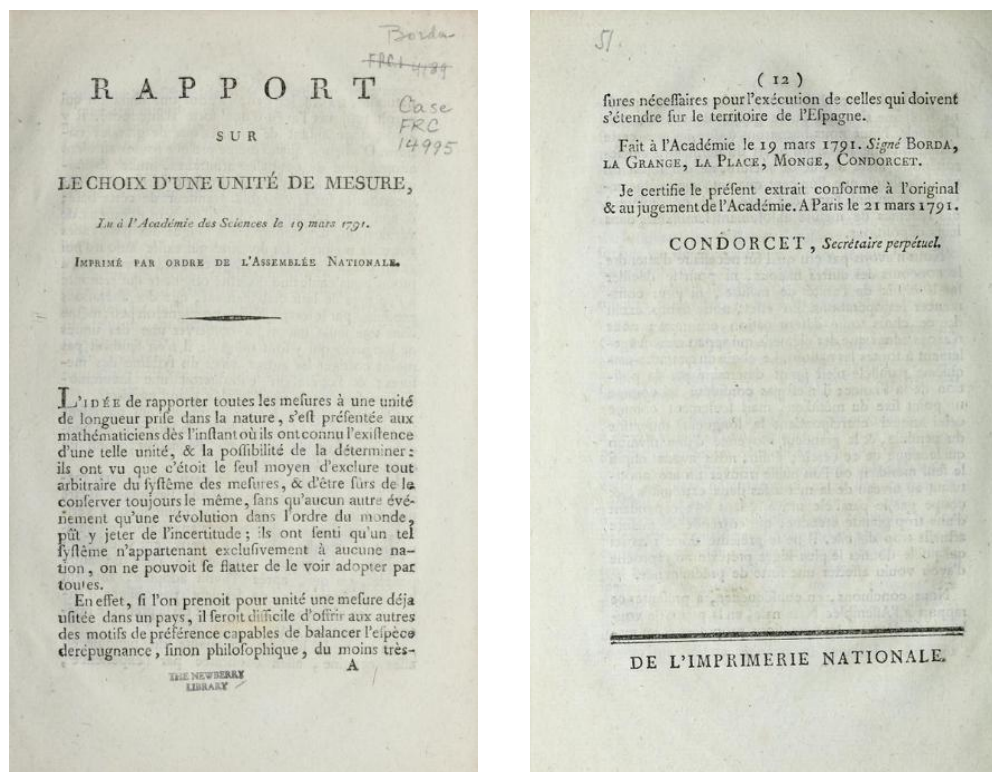


Figure 8 : Première et dernière pages du Rapport sur le choix d'une unité de mesure (1791) [33]

Le paragraphe d'introduction établit clairement l'objectif : « L'idée de rapporter toutes les mesures à une unité de longueur prise dans la nature, s'est présentée aux mathématiciens dès l'instant où ils ont connu l'existence d'une telle unité, & la possibilité de la déterminer: ils ont vu que c'étoit le seul moyen d'exclure tout arbitraire du système des mesures, & d'être sûrs de la conserver toujours le même, sans qu'aucun autre événement qu'une révolution dans l'ordre du monde, put y jeter de l'incertitude ; ils ont senti qu'un tel système n'appartenant exclusivement à aucune nation, on ne pouvoit se flatter de le voir adopter par toutes. ». Page 2 on peut lire : « On peut réduire à trois les unités qui paroissent les plus propres à servir de base : la longueur du pendule, un quart de cercle de l'équateur, enfin un quart du méridien terrestre. », suivi d'une justification de l'utilisation de la longueur du pendule plutôt que le pendule simple qui bat la seconde et qui dépend de latitude de mesure qui se conclut par ; « Ce ne seroit donc pas la longueur du pendule sous un parallèle

²⁴ Jean-Charles de Borda (1733-199), mathématicien, physicien et navigateur français

²⁵ Joseph-Louis de Lagrange ou Giuseppe Luigi Lagrangia (1736-1813), mathématicien, mécanicien et astronome naturalisé français en 1802

²⁶ Pierre-Simon Laplace (1749-1827), mathématicien, astronome et physicien français [10]

²⁷ Gaspard Monge (1746-1818), mathématicien et homme politique français, un des fondateurs de l'École polytechnique (alors École centrale des travaux publics) où il sera professeur.

²⁸ Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat, marquis de Condorcet (1743-1794), mathématicien, philosophe et homme politique français

déterminé qui feroit ici l'unité de mesure, mais la longueur moyenne des pendules inégaux entre eux, qui battent les fécondés aux diverses latitudes. » [33].

L'utilisation d'une unité de mesure basée sur la Terre permet de la rendre universelle et indiscutable. La longueur du quart du méridien plutôt que l'équateur est justifié par le fait que tous les pays sont traversés par les méridiens contrairement à l'équateur. L'accessibilité de cette mesure par les savants européens est aussi évoquée. Une fois cette mesure admise « Le quart du méridien terrestre deviendront donc l'unité réelle de mesure ; & la dixmillionième partie de cette longueur en seroit l'unité usuelle. », elle est suivie par un plaidoyer pour le système décimal : « On voit ici que nous renonçons à la division ordinaire du quart du méridien en 90 degrés , du degré en minutes , de la minute en secondes; mais on ne pourroit conserver cette ancienne division sans nuire à l'unité du système de mesures , puisque la division décimale, qui répond à l'échelle arithmétique , doit être préférée pour les mesures d'usage, & qu'ainsi l'on auroit, pour celles de longueur seules, deux systèmes de division, dont l'un s'adapteroit aux grandes mesures, & l'autre aux petites. » puis pour la déclinaison de toutes les mesures à partir de cette unité de base : «[...] il n'y aura rien d'arbitraire dans les poids que le choix de la substance homogène & facile à retrouver toujours dans le même degré de pureté & de densité à laquelle il faut rapporter la pesanteur de toutes les autres, comme, par exemple , si l'on choisit pour base l'eau distillée pesée dans le vide ou rappelée au poids qu'elle y auroit, & prise au degré de température où elle passe de l'état de solide à celui de liquide. C'est encore à ce même point de température que seroient rapportées toutes les mesures réelles employées dans les opérations ; en forte qu'il n'existeroit dans tout l'ensemble du fiée rien d'arbitraire que ce qui l'est nécessairement , & par la nature même des choses. » [33].

Pour obtenir la mesure de la distance du méridien du pôle à l'équateur, les savants proposent la mesure « immédiate » du méridien entre Dunkerque et Barcelone, distance justifiée par : « ce qui comprend un peu plus de neuf degrés & demi. Cet arc seroit d'une étendue très-suffisante , & il y en auroit environ six degrés au nord, & trois & demi au midi du parallèle moyen²⁹. A ces avantages se joint celui d'avoir ses deux points extrêmes également au niveau de la mer. » [33]

Dès 1792, une expédition menée par Jean-Baptiste Delambre³⁰ (en partant du Nord) et Pierre Méchain³¹ (remontant depuis le Sud) mesure la longueur de la portion de méridien désignée par le rapport, expédition qualifiée par Lavoisier³² de *mission la plus importante dont un homme ait jamais été chargé*. Après plusieurs années de travail de mesures et calculs, Delambre et Méchain livrent leurs résultats permettant de déterminer le mètre ; Méchain se rend compte d'une erreur de quelques secondes d'arc qui l'obsédera jusqu'à son décès. Des relevés satellites ont permis depuis de vérifier que leurs valeurs étaient effectivement légèrement décalées, sans mettre en péril la longueur du mètre [28].

Le terme *mètre* est adopté en 1793, sa valeur provisoire est établie comme étant de 3 pieds et 11,44 lignes correspondant à la toise dite du Pérou, prise à 13 degrés de l'échelle de température en usage à cette période, des mètre-étalon provisoires sont envoyés dans toute la France. En avril 1795, la loi dite du 18 germinal an III, relative aux poids et mesures est votée par la Convention nationale³³. Cette loi institue le système métrique décimal, avec le mètre comme unité principale.

²⁹ La France est située à mi-chemin sur le méridien entre le pôle et l'équateur, sur le 45° parallèle

³⁰ Jean-Baptiste Joseph Delambre (1749-188), astronome et mathématicien français

³¹ Pierre Méchain (1744-1804), astronome français

³² Antoine de Lavoisier (1743-1794), chimiste et philosophe français

³³ Assemblée constituante élue (suffrage « universel » masculin) de septembre 1792 à octobre 1795

L'article 5 définit les unités « républicaines » à utiliser [41] :

Mesure	Nom	Définition
Longueur	Mètre	= dix-millionième partie de l'arc du méridien terrestre compris entre le pôle boréal et l'équateur.
Superficie des terrains	Are	= carré de dix mètres de côtés
Volume bois de chauffage	Stère	= mètre cube
Capacité liquides et matières sèches	Litre	= contenance cube de la dixième partie du mètre
Poids	Gramme	= poids absolu d'un volume d'eau pure égal au cube de la centième partie du mètre, et à la température de la glace fondante
Monnaie	Franc	en remplacement de <i>livre</i>

Les deux articles suivants définissent les multiples et sous-multiples de ces unités :

« Article 6 : La dixième partie du mètre se nommera *décimètre* sa centième partie *centimètre*. On appellera *décamètre* une mesure égale à dix mètres : ce qui fournit une mesure très commode pour l'arpentage. *Hectomètre* signifiera la longueur de cent mètres. Enfin, *kilomètre* et *myriamètre* seront des longueurs de mille et dix mille mètres, et désigneront principalement les mesures itinéraires. Article 7 : Les dénominations des mesures des autres genres seront déterminées d'après les mêmes principes que celles de l'article précédent : Ainsi, *décilitre* sera une mesure de capacité dix fois plus petite que le litre ; *centigramme* sera la centième partie du poids d'un gramme. On dira de même *décalitre* pour désigner une mesure contenant dix litres ; *hectolitre*, pour une mesure égale à cent litres. Un *kilogramme* sera un poids de mille grammes. On composera d'une manière analogue les noms de toutes les autres mesures. Cependant, lorsqu'on voudra exprimer les dixièmes ou les centièmes du franc, unité des monnaies, on se servira des mots *décime* et *centime*, déjà reçus en vertu des décrets antérieurs. »

Le premier article d'un décret du 1^{er} août 1798, décide que le « nouveau système des poids et mesures, fondé sur la mesure du méridien de la Terre, et la division décimale, servira uniquement dans toute la République³⁴ » avec obligation : « Il sera fait, par des artistes au choix de l'Académie des sciences, des étalons des nouveaux poids et mesures qui seront envoyés à toutes les administrations des départements et districts. » [1].

En 1799, d'après les travaux de Delambre et Méchain, la longueur du mètre est arrêtée à 3 pieds 11,296 lignes de la Toise dite de l'Académie. Deux mètres-étalons en platine et douze mètres-étalons en fer sont produits, ces derniers sont distribués aux savants étrangers même s'il est établi dans la définition même du mètre de le dématérialiser en dénombrant le nombre de vibrations d'un pendule dans des conditions spécifiques.

3 - L'institution du nouveau système de mesure en France

Officiellement, le système métrique est adopté en France à la toute fin du XVIII^e siècle, le 10 décembre 1799. En pratique, le système métrique a mis beaucoup plus de temps à s'installer dans

³⁴ La monarchie constitutionnelle est abolie en septembre 1792, la république française est déclarée *une et indivisible* le 25 septembre.

toute la population française qui préférerait garder ses mesures usuelles mais pouvait calculer le prix avec le nouveau système lorsque l'arrondi se faisait à l'entier supérieur... [28].

1799 est également l'année de prise de pouvoir de Napoléon par le coup d'état du 18 Brumaire (9 novembre), c'est la fin du Directoire et le début du Consulat (qui deviendra Empire en 1804). Napoléon Bonaparte n'était pas un ardent défenseur du nouveau système métrique, le voyant comme un *tourment du peuple*. Ainsi au cours de ce consulat, fut voté l'arrêté du 13 brumaire an IX (4 novembre 1800) dont l'article 1^{er} précise : « Conformément à la loi du 1^{er} vendémiaire an IV [23 septembre 1795] le système décimal des poids et mesures sera définitivement mis à exécution pour toute la République, à compter du 1^{er} vendémiaire an X [23 septembre 1801]. » Néanmoins, l'article 2 de ce même arrêté tolère des dénominations anciennes avec des équivalences approximatives avec les nouvelles...

Pierre-Simon Laplace est un savant de grande importance en ce début du XIX^e siècle, son traité de mécanique céleste publiée dès 1798 pour les deux premiers tomes, puis 1802 et 1805 lui vaut la reconnaissance du monde scientifique et politique [10]. Laplace milite en 1805 pour un retour au calendrier grégorien, abandonné pour le calendrier républicain depuis 1792 (an I) et jusqu'en 1806 (an XIV). Ardent défenseur du système métrique Laplace milite et adresse des courriers à l'empereur pour faire valoir les avantages du système métrique en particulier que « le principal avantage du système métrique est dans sa division décimale » (mai 1811). Les anciennes unités de mesure étaient donc toujours en usage et, en 1812, furent introduites des mesures usuelles, c'est-à-dire un compromis entre le système métrique et le système traditionnel. Un arrêté de mars 1812 précise par exemple que, pour le commerce de détail, le mètre prendra le nom de toise, qui restera divisée en 6 pieds, la livre sera équivalente à 500 g, ... Pour autant l'article 13 conforte que « le système légal sera aussi (tous les usages publics étant exclus de ces adaptations) seul enseigné, dans toute son intégrité, dans les écoles primaires ». [1]

Après la chute de l'Empire en 1814 et le retour à la monarchie, les mesures traditionnelles reviennent de plus belle en France, alors que le système métrique, lui, fait de nombreux adeptes dans d'autres pays. Ainsi, en 1820, le système métrique devient le système de mesure officiel aux Pays-Bas, et lorsque la Belgique devient indépendante en 1830, elle conserve ce système de mesure comme le Luxembourg [28].

En France, les compromis de l'arrêté de 1813 compliquent toutes les mesures et donc les échanges. Un projet de loi présenté par des savants est déposé à la Chambre des députés débouchant sur la loi du 4 juillet 1837 dont le 1^{er} article est « le décret du 12 février 1812, concernant les poids et mesures est et demeure abrogé ». L'article 3 fixe la date d'application : « à partir du 1^{er} janvier 1840, tous poids et mesures autres que les poids et mesures établis par les lois des 18 germinal an III et 19 frimaire an VIII, constitutives du système métrique décimal, seront interdits sous les peines portées par l'article 479 du Code pénal. » [1]. Le système métrique décimal devient obligatoire en France.

Lors de la première Exposition universelle de 1851 à Londres, la France expose un ensemble d'unités de mesures établies par le Conservatoire national des arts et métiers³⁵, incitant de nombreux pays à utiliser le système métrique. Depuis 1848, le Conservatoire, prestataire officiel des poids et mesures en France, avait la charge d'établir les liens entre les unités du système métrique français et les unités de mesures étrangères.

³⁵ Conservatoire national des arts et métiers, fondé en 1794, y seront rassemblés tous les outils et machines nouvellement inventés et perfectionnés, présentés, expliqués et « démontrés » aux artisans et aux curieux, le Cnam participera par la formation de tous aux progrès de la technique et de l'industrie nationale

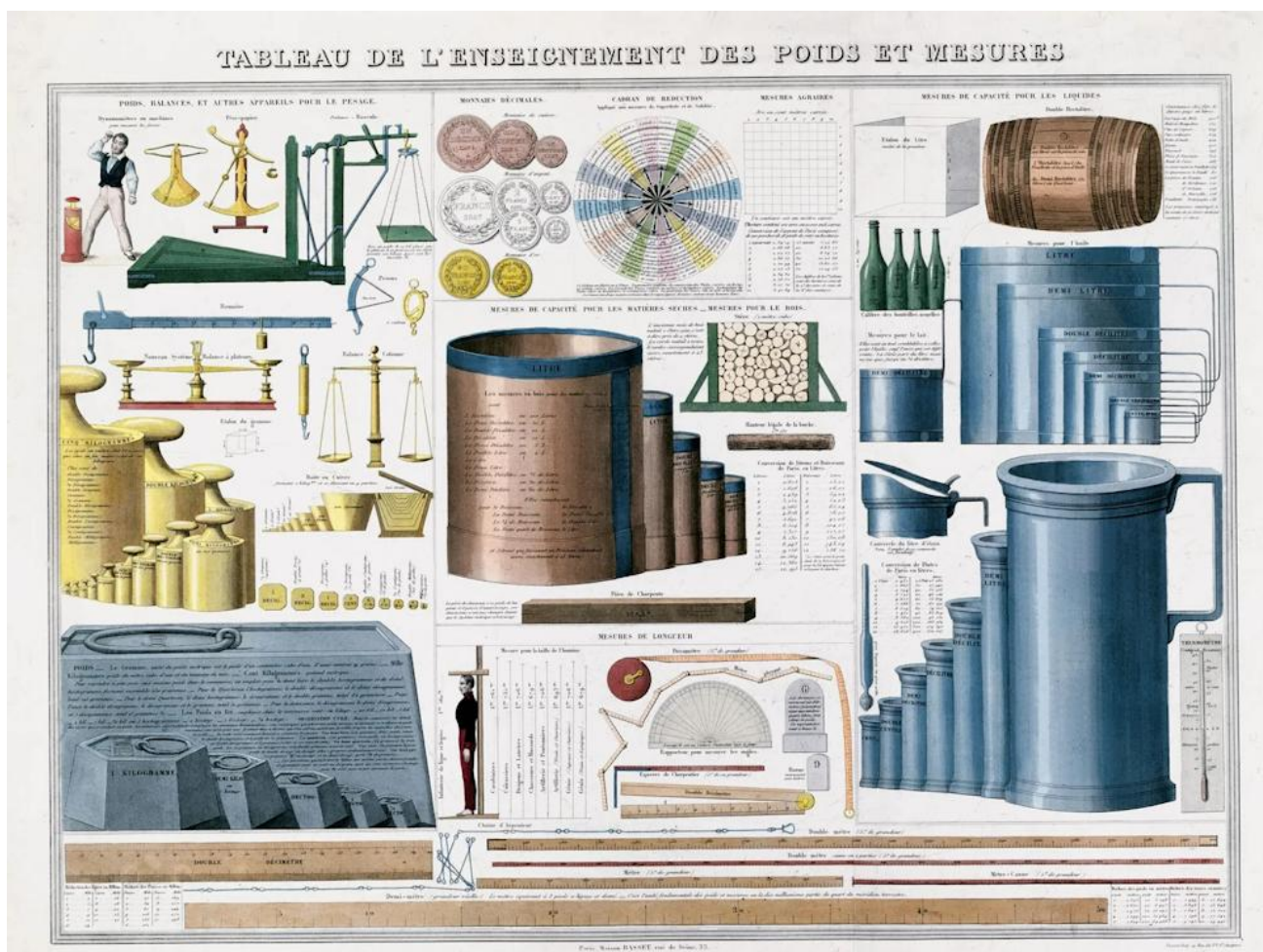


Figure 9 : Affiche scolaire de 1850 des poids et mesures pour enseigner aux écoliers français les mètres, les kilos et les litres [1]

4 - La Convention du mètre

4.1 - La Commission internationale du mètre

Au milieu du XIX^e siècle, les savants prussiens en géodésie proposent à leur ministre de la guerre l'établissement d'une mesure des arcs d'Europe centrale, donnant lieu, en 1864 et 1867, à deux conférences à Berlin. Il en ressort deux principales réalisations : la décision d'organiser une collaboration des pays d'Europe centrale dans le domaine de la géodésie, puis, l'édification de recommandations scientifiques pour la géodésie future en Europe qui vont conduire à des décisions officielles ratifiées par la Convention du Mètre à Paris en 1875 et présidant à la naissance de la métrologie moderne. Ces recommandations scientifiques ont été établies par un comité présidé par Otto von Struve³⁶ directeur de l'observatoire de Pulkovo à Saint-Petersbourg, Wilhelm Foerster³⁷, directeur de l'Observatoire de Berlin, et Adolphe Hirsch³⁸, directeur de l'Observatoire de Neuchâtel ; ces deux derniers savants sont devenus les instigateurs de la Convention du mètre, le premier, Foerster, présidera le Comité international des poids et mesures de 1891 à 1920 alors que le second, Hirsch, en sera le secrétaire de 1875 à 1901.

La conférence de 1867 à Berlin, recommande plusieurs axes, comme la construction d'un nouveau prototype européen qui définirait le mètre comme unité commune de mesure pour toute l'Europe

³⁶ Otto Wilhelm von Struve (1819-1905), astronome prussien

³⁷ Wilhelm Foerster (1832-1921), astronome allemand

³⁸ Adolphe Hirsch (1830-1901), astronome germano-suisse

et pour tous les temps aussi exactement et aussi invariablement que possible. La longueur de ce mètre serait très proche de celle définie par Paris, mais son établissement comme les copies pour tous les pays, devrait être confiés à une commission internationale réunissant les pays voulant l'adopter. Un autre point de recommandation de cette conférence est la création d'un Bureau européen international de poids et mesures. En France, ces recommandations, rapportées par les délégués français, provoquent des réactions inquiètes de l'Académie des sciences, du Conservatoire impérial des arts et métiers³⁹ et du Bureau des longitudes : comment envisager que la probable création d'un institut ou laboratoire, ou d'un bureau européen des poids et mesure ne soit pas situé à Paris ?

Deux années plus tard, en 1869, la France invite tous les pays avec lesquels elle est en relation diplomatique à participer à une commission internationale du mètre qui permettrait la construction d'un nouveau prototype du mètre, conçu à partir de celui de France. La fabrication du nouvel étalon et des copies à destination des pays participants, serait confiée à la section française permanente de cette nouvelle commission, avec néanmoins l'aide et les conseils des autres pays membres. 24 pays répondent favorablement à l'invitation pour une première réunion en août 1870... Or la France est en guerre contre la Prusse depuis le 19 juillet 1870, ainsi nombre de délégués ne purent venir. Cette réunion décide néanmoins la création d'un Comité des recherches préparatoires qui se réunit en avril 1872, afin d'établir les lignes principales de ce que sera la Convention du mètre. La Commission internationale, en réunion plénière en septembre 1872, valide les propositions du Comité des recherches préparatoires et crée un comité permanent de douze membres pour la fabrication des nouveaux prototypes du mètre ainsi qu'un bureau international des poids et mesures international (donc subventionné par tous les pays) et déclaré neutre, mais dont son siège serait à Paris [1].

4.2 - La Convention du mètre de 1875

2025 est le 150^e anniversaire de la *Convention du Mètre*, convention qui vise à *assurer l'unification internationale et le perfectionnement du système métrique*. La Conférence du mètre s'est tenue à partir du 1^{er} mars à Paris, et le traité international, la *Convention du Mètre*, y fut signé le 20 mai 1875. Le premier des 14 articles de ce traité, crée le *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) qui vise à faciliter l'unification des mesures sur tous les continents en permettant aux États Membres d'agir en commun pour les sujets liés à la science des mesures [40,41,42]. Ce sera dans le Pavillon de Breteuil à Sèvres (Hauts-de-Seine). Les normes internationales y seront conservées, les copies des normes seront inspectées et des recherches métrologiques y seront menées. Le pavillon de Breteuil abrite toujours de nos jours le BIPM (figure 10).

Le système métrique entre en vigueur le 1^{er} janvier 1876 pour plus d'une quinzaine de pays signataires :

- | | | |
|--------------------|-------------------------|-------------|
| • Allemagne | • Espagne | • Russie |
| • Argentine | • États-Unis d'Amérique | • Suède |
| • Autriche-Hongrie | • France | • Norvège |
| • Belgique | • Italie | • Suisse |
| • Brésil | • Pérou | • Turquie |
| • Danemark | • Portugal | • Venezuela |

³⁹ La France est à nouveau un empire sous Napoléon III depuis décembre 1852, et jusqu'au 2 septembre 1870



Figure 10 : Le pavillon de Breteuil, siège du BIPM, en 1900 et en 2017

On peut aisément lire cette convention de la Conférence du mètre [42] dont voici en version ‘allégée’ les premières pages :

Sa majesté l’Empereur [suit la liste des titres des chefs d’État, figure 11],

Désirant assurer l’unification internationale et le perfectionnement du système métrique, ont résolu de conclure une Convention à cet effet et ont nommé, pour leurs plénipotentiaires : [suit la liste des noms et titres des plénipotentiaires],

Lesquels, après s’être communiqué leurs pleins pouvoirs, trouvés en bonne et due forme, ont arrêté les dispositions suivantes [figure 11] :

Article premier

Les Hautes Parties contractants s’engagent à fonder et entretenir à frais commun, un *Bureau international des poids et mesures*², scientifique et permanent, dont le siège est à Paris.

Article 2

Le gouvernement français prendra les dispositions nécessaires pour faciliter l’acquisition ou, s’il y a lieu, la construction d’un bâtiment spécialement affecté à cette destination dans les conditions déterminée par le règlement annexé à la présente Convention.

Article 3

Le Bureau international fonctionnera sous la direction et la surveillance exclusives d’un *Comité international des poids et mesures*, placé lui-même sous l’autorité d’une *Conférence générale des poids et mesures*, composée des délégués de tous les gouvernements contractants.

[...]

Les articles de la Convention sont suivis de 22 articles du *Règlement* où l’on parle de budget mais aussi du rythme de réunion, de la composition du comité.... Une annexe supplémentaire de 6 articles règle les *dispositions transitoires* pour les états ayant participé à la Commission internationale du mètre mais non signataires [42].

Dans les années 1880, l’alliage platine-iridium des étalons est mis au point en Angleterre par l’entreprise *Johnson Matthey Limited*. Les mètres-étalons sont réalisés, vérifiés pour qu’ils soient conformes à la Convention, puis la partie qui reçoit les traits est polie au Conservatoire national des arts et métiers (le mètre est défini par la distance entre deux traits marqués sur la barre plutôt que par l’utilisation des bouts de la barre générant des problèmes d’usure). Le Bureau international réalise les comparaisons entre les différents étalons, vérifie les dilatations avec la méthode

d'interférométrie de Fizeau⁴⁰. 30 mètre-étalons sont réalisés, et en 1889, lors de la première Conférence générale des poids et mesures (CGPM), le N° 6 est adopté comme mètre international, les autres exemplaires sont distribués aux pays par tirage au sort [1,43].

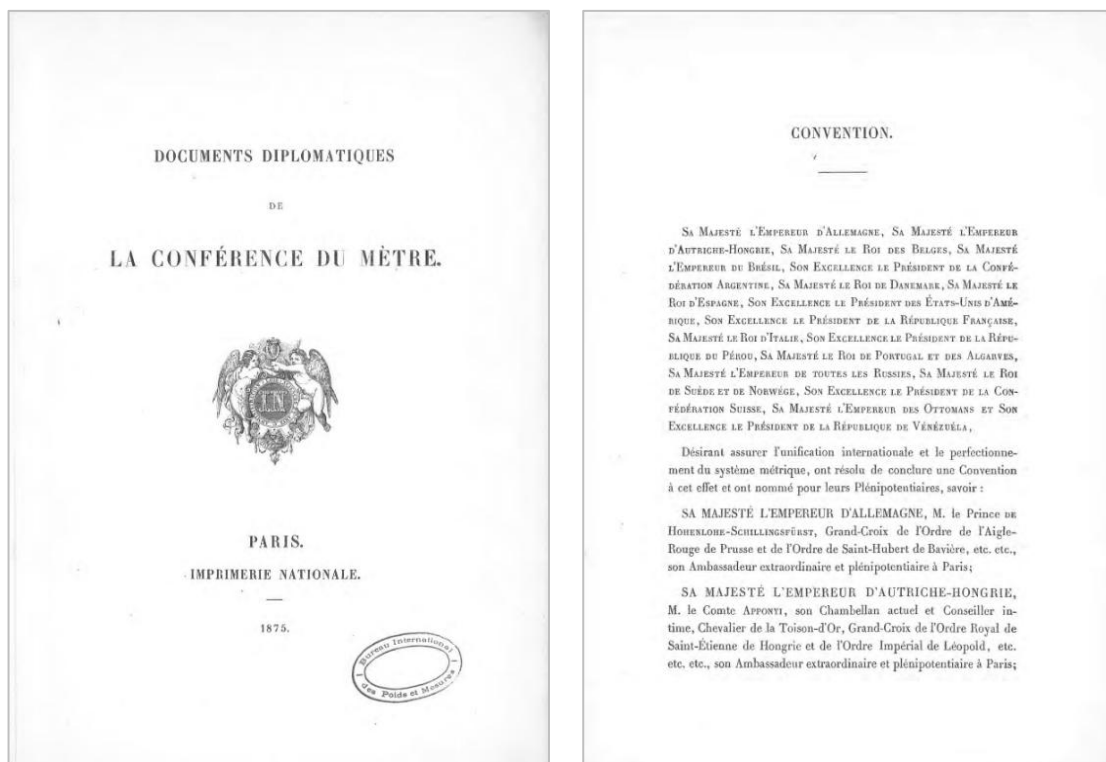


Figure 11 : Page de garde et début de la convention avec la liste des titres des chefs d'États [42]

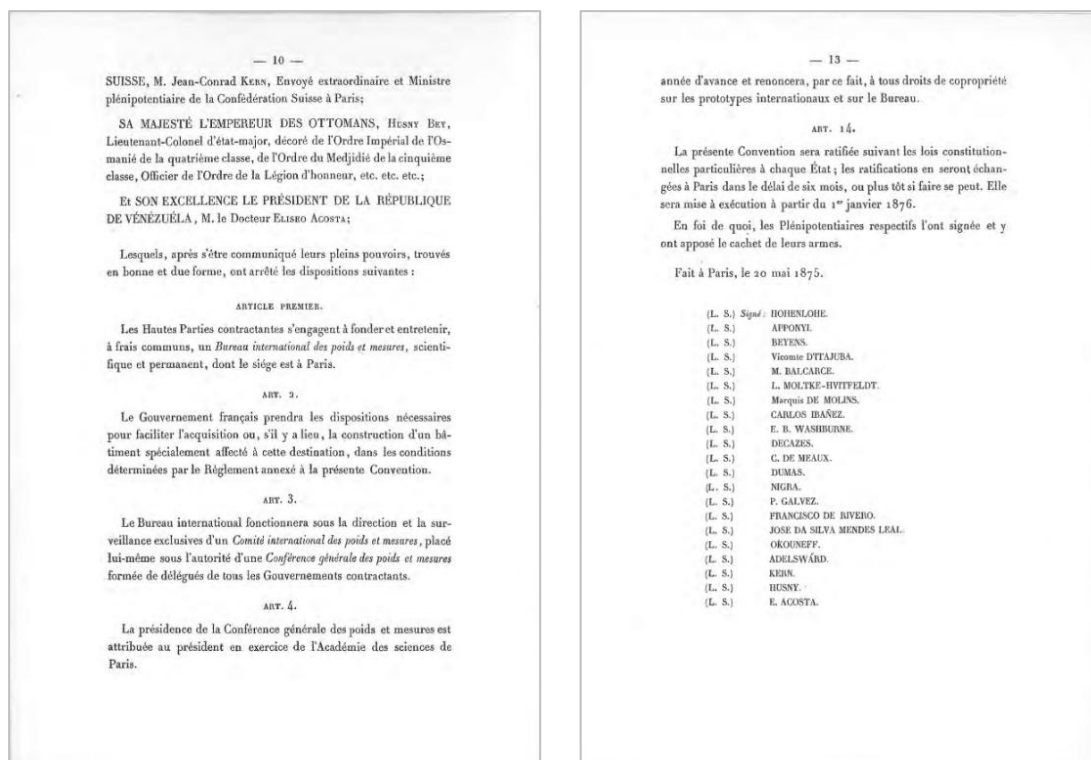


Figure 12 : Premiers et derniers articles de la Convention [42]

La longueur du mètre sera ensuite revue en fonction des avancées scientifiques puisque l'idée fondamentale du Comité international est que les unités métriques soient en relation avec des

⁴⁰ Hippolyte Fizeau (1819-1896), physicien et astronome français

constantes physiques de base liés à des phénomènes naturels. Ainsi à la fin du XIX^e siècle (1892), le mètre égale 1 553 163,8 fois la longueur d'onde de la ligne d'émission rouge du cadmium. Au début du XX^e siècle (1906), le multiplicateur devient 1 553 164,13. Néanmoins ce ne sera qu'en 1960, que la valeur du mètre a été redéfinie en termes de la longueur d'onde de la raie spectrale orange du krypton 86 lors de 11^e Conférence générale des poids et mesures.

5 - Le système international d'unités (SI) de nos jours

En 1921, la Convention du Mètre étend l'autorité du Bureau international des poids et mesures (BIPM) aux unités électriques, photométriques et calorimétriques. En 1960, le Système international d'unités, ou SI, dérivé du système métrique, est adopté et constitue le système d'unités légal dans la quasi-totalité des pays. Le BIPM rassemble tous les quatre ans à Paris, les délégués des états membres de la Convention du mètre lors des Conférences générales des poids et mesures (CGPM). Être état membre implique de participer pleinement aux travaux du BIPM, d'avoir le droit de vote aux CGPM, l'accès aux services d'étalonnage des laboratoires du BIPM ou contribuer au Temps universel coordonné (UTC) [40,44].

5.1 - Les unités du SI

Les évolutions du SI suivent les progrès scientifiques et techniques. Ainsi en 2018, la 26^e CGPM définit sept unités de base (mètre, seconde, kilogramme, ampère, candela, mole et kelvin) à partir de sept constantes physiques fondamentales qui sont :

- La fréquence de transition hyperfine de l'état fondamental de l'atome du césium 133 : $\Delta\nu_{Cs} = 9\,192\,631\,770\text{ Hz}$;
- La vitesse de la lumière dans le vide : $c = 299\,792\,458\text{ m.s}^{-1}$;
- La constante de Planck⁴¹ : $h = 6,62607015 \times 10^{-34}\text{ Js}$;
- La charge élémentaire : $e = 1,602176634 \times 10^{-19}\text{ C}$;
- La constante de Boltzmann⁴² : $k_B = 1,380649 \times 10^{-23}\text{ JK}^{-1}$;
- Le nombre d'Avogadro⁴³ : $N_A = 6,02214076 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$;
- L'efficacité lumineuse du rayonnement monochromatique : $k_{cd} = 683\text{ lmW}^{-1}$.

Les définitions des sept unités de base sont déduites de ces constantes physiques fondamentales :

- Le **mètre** [m], mesure de longueur, unité définie en prenant la valeur numérique fixe de la vitesse de la lumière dans le vide, c (299 792 458) exprimée en m.s^{-1} , la seconde étant définie en fonction de $\Delta\nu_{Cs}$;
- La **seconde** [s], mesure du temps, unité définie en prenant la valeur numérique fixe de la fréquence césium $\Delta\nu_{Cs}$, la fréquence de transition hyperfine de l'état fondamental de de l'atome de césium 133 non perturbé (9 192 631 770) exprimée en Hz, et égale à s^{-1} ;
- Le **kilogramme** [kg], mesure de masse, unité définie en prenant la valeur numérique fixe de la constante de Planck, h ($6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$) exprimée en J.s, et égale à $\text{kg m}^2.\text{s}^{-1}$, où le mètre et la seconde sont définis en fonction de c et $\Delta\nu_{Cs}$;
- L'**ampère** [A], mesure du courant électrique, unité définie en prenant la valeur numérique fixe de la charge élémentaire, e ($1,602176634 \times 10^{-19}$) exprimée en C, égale à A.s , la seconde étant définie en fonction de $\Delta\nu_{Cs}$;

⁴¹ Du nom de son découvreur Max Planck (1858-1947), physicien allemand

⁴² Du nom de Ludwig Boltzmann (1844-1906), physicien et philosophe autrichien

⁴³ Du nom de Amedeo Avogadro (1776-1856, physicien, chimiste et mathématicien sarde

- Le **candela** [cd], mesure de l'intensité lumineuse, unité définie en prenant la valeur numérique fixe de l'efficacité lumineuse du rayonnement monochromatique de fréquence 540×10^{12} Hz, k_{cd} (683) exprimée en lm W^{-1} , et égale à cd.sr.W^{-1} , ou $\text{cd.sr.kg}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{s}^3$, où le kilogramme, le mètre et la seconde sont définis en fonction de h , c , et $\Delta\nu_{Cs}$;
- La **mole** [mol], mesure la quantité de matière, qui contient exactement la valeur numérique fixe de la constante d'Avogadro, N_A ($6,022\,140\,76 \times 10^{23}$) d'entités élémentaires exprimée en mol^{-1} ;
- Le **kelvin**⁴⁴ [K], mesure de la température thermodynamique, unité définie en prenant la valeur numérique fixe de la constante de Boltzmann k ($1,380\,649 \times 10^{-23}$) exprimée en J.K^{-1} , et égale à $\text{kg.m}^2.\text{s}^{-2}.\text{K}^{-1}$, où le kilogramme, le mètre et la seconde sont définis en fonction de h , c et $\Delta\nu_{Cs}$.

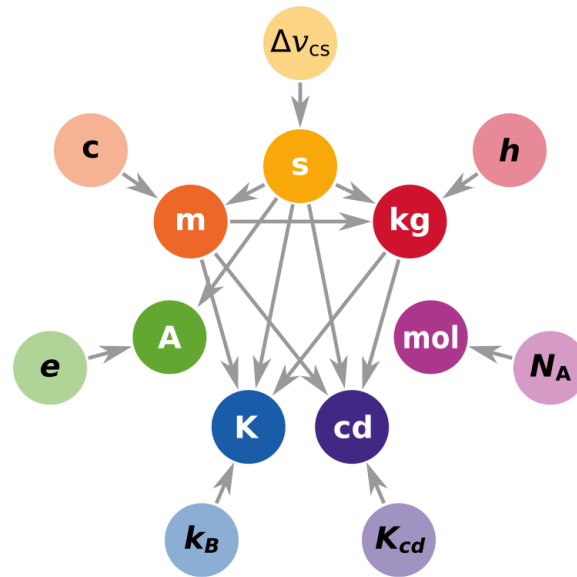


Figure 13 : Schéma des relations entre les 7 unités de base (cercle intérieur) et avec les 7 constantes fondamentales (cercle extérieur) à partir desquelles les définitions sont établies [44]

Le système international d'unités accueille d'autres unités que l'on appelle *unités dérivées cohérentes*, car représentées comme des produits de puissances des unités de base. Ainsi 22 unités dérivées cohérentes ont des noms et des symboles spéciaux, citons :

- Le **radian** [rad], en unité SI m.m^{-1} , mesure d'angle ;
- Le **hertz**⁴⁵ [Hz], en unité SI s^{-1} , mesure de fréquence ;
- Le **newton** [N], en unité SI kg.m.s^{-1} , mesure de force et poids ;
- Le **pascal**⁴⁶ [Pa], en unité SI $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2}$, mesure de pression et contrainte ;
- Le **joule**⁴⁷ [J], en unité SI $\text{kg.m}^2.\text{s}^{-2}$, mesure d'énergie et de travail ;
- Le **watt**⁴⁸ [W], en unité SI $\text{kg.m}^2.\text{s}^{-3}$, mesure de puissance ;
- Le **coulomb**⁴⁹ [C], en unité SI s.A , mesure de charge électrique ;
- Le **volt**⁵⁰ [V], en unité SI $\text{kg.m}^2.\text{s}^{-3}.\text{A}^{-1}$, mesure de potentiel électrique ou tension ;
-

⁴⁴ Du nom de Lord Kelvin, William Thomson (1824-1907), physicien britannique

⁴⁵ Du nom de Heinrich Hertz (1857-1894), ingénieur et physicien allemand

⁴⁶ Du nom de Blaise Pascal (1623-1662), mathématicien, physicien et inventeur français

⁴⁷ Du nom de James Prescott Joule (1818-1889), physicien anglais

⁴⁸ Du nom de James Watt (1736-1819), ingénieur écossais

⁴⁹ Du nom de Charles-Augustin Coulomb (1739-1806), ingénieur et physicien français

⁵⁰ Du nom d'Alessandro Volta (1745-1827), physicien et chimiste lombard

Les 7 unités de base et les 22 unités dérivées cohérentes peuvent être utilisées en combinaison pour exprimer d'autres unités dérivées cohérentes.

5.2 - Les états membres

Actuellement, 64 États Membres ont ratifié la Convention du Mètre et participent pleinement aux activités du BIPM (37 autres états sont associés) :

- Afrique du Sud
- Allemagne
- Arabie saoudite
- Argentine
- Australie
- Autriche
- Bélarus
- Belgique
- Brésil
- Bulgarie
- Canada
- Chili
- Chine
- Colombie
- Corée
- Costa Rica
- Croatie
- Danemark
- Égypte
- Émirats arabes unis
- Équateur
- Espagne
- Estonie
- États-Unis d'Amérique
- Finlande
- France
- Grèce
- Hongrie
- Inde
- Indonésie
- Iran
- Iraq
- Irlande
- Israël
- Italie
- Japon
- Kazakhstan
- Kenya
- Lituanie
- Malaisie
- Maroc
- Mexique
- Monténégro
- Norvège
- Nouvelle-Zélande
- Pakistan
- Pays-Bas
- Pologne
- Portugal
- Roumanie
- Royaume-Uni
- Russie
- Serbie
- Singapour
- Slovaquie
- Slovénie
- Suède
- Suisse
- Tchèque
- Thaïlande
- Tunisie
- Turquie
- Ukraine
- Uruguay

Références :

[1]: Les origines du système métrique en France et la Convention du mètre de 1875, S. Débarbat, ScienceDirect, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631070518301695>

[2]: Introduction, D. Collacciani, A. Frigo, Dix-septième siècle 2021/3 n° 292, puf

[3]: Création de l'Académie des sciences, C. Bréchignac, FranceArchives, 2020, https://francearchives.gouv.fr/fr/pages_histoire/39370

[4]: Christian Huygens, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Christian_Huygens

[5]: Jean-Baptiste Colbert, Wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Baptiste_Colbert

[6]: Jean Picard, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean_Picard

[7]: Mesure de la Terre, J. Picard, 1671, Gallica Bnf, <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b7300361b>

[8]: Isaac Newton, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton

[9]: René Descartes, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Ren%C3%A9_Descartes

- [10]: Pierre-Simon Laplace et le Traité de mécanique céleste, H. Horsin Molinaro, 2025, https://sti.eduscol.education.fr/si-ens-paris-saclay/ressources_pedagogiques/pierre-simon-laplace-et-le-traite-de-mecanique-celeste
- [11]: Louis Godin, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Louis_Godin
- [12]: Charles Marie de La Condamine, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Marie_de_La_Condamine
- [13]: Pierre Bouger, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre_Bouguer
- [14]: Joseph de Jussieu, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Joseph_de_Jussieu
- [15]: Pierre Louis Moreau de Maupertuis, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre_Louis_Moreau_de_Maupertuis
- [16]: Anders Celsius, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Anders_Celsius
- [17]: Charles François de Cisternay du Fay, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles_Fran%C3%A7ois_de_Cisternay_du_Fay
- [18]: Nicolas-Louis de Lacaille, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Nicolas-Louis_de_Lacaille
- [19]: Les unités - A la fin du XVIII^e siècle, Aviatechno, <https://aviatechno.net/unites/pieds.php>
- [20]: Mesures en France sous l'ancien régime, M.-C. André-Delhay, Société d'histoire et d'archéologie en Saintonge Maritime, <https://www.shasm.fr/histoire-locale/documents-divers/mesures-anciennes/>
- [21]: Poids et mesure sous l'ancien régime, histoire du Val de Pîtres, <https://histoireduvaldepitres.blogspot.com/2011/03/poids-et-mesures-sous-lancien-regime.html>
- [22]: Mathieu Tillet, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Mathieu_Tillet
- [23]: Demi-pied de roi pliant, Collections Louvre, <https://collections.louvre.fr/ark:/53355/cl010112684>
- [24]: Rechercher un cahier de doléances de 1789, FranceArchives, <https://francearchives.gouv.fr/fr/article/163458854>
- [25]: Poids et mesures : quelques notions d'histoire, Archives Pas-de-Calais, <https://www.archivespasdecalais.fr/Chercher/Fiches-d-aide-a-la-recherche/Voir-toutes-les-fiches-de-recherche/Poids-et-mesures-anciens/Poids-et-mesures-quelques-notions-d-histoire>
- [26]: Mémoire sur la nécessité et les moyens de rendre uniformes, dans le royaume, toutes les mesures d'étendue et de pesanteur, 1790, BnF gallica, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k62066m/f1.item.texteImage>
On peut le lire en français moderne sur ce lien : <https://archive.org/details/prieurmemoiresystem/M%C3%A9moire%20sur%20la%20n%C3%A9cessit%C3%A9%20et%20les%20moyens%20de%20rendre%20uns%20mesures%20d%E2%80%99%C3%A9tendue%20et%20de%20pesanteur/page/n5/mode/2up>
- [27]: Claude-Antoine Prieur-Duvernois, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Claude-Antoine_Prieur
- [28]: Le système métrique, fruit de la révolution française, V. López, National geographic, 2021, <https://www.nationalgeographic.fr/histoire/le-systeme-metrique-fruit-de-la-revolution-francaise>
- [29]: Jean-Charles de Borda, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Charles_de_Borda
- [30]: Joseph-Louis Lagrange, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Joseph-Louis_Lagrange

- [31]: Gaspard Monge, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Gaspard_Monge
- [32]: Nicolas de Condorcet, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Nicolas_de_Condorcet
- [33]: Rapport sur le choix d'une unité de mesure, Borda, La Grange, La Place, Monge, Condorcet, mars 1791, InternetArchives, <https://archive.org/details/rapportsurlechoi00bord>
- [34]: Jean-Baptiste Delambre, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Jean-Baptiste_Joseph_Delambre
- [35]: Pierre Méchain, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Pierre_M%C3%A9chain
- [36]: Antoine de Lavoisier, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Antoine_Lavoisier
- [37]: Otto Wilhelm von Struve, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Otto_Wilhelm_von_Struve
- [38]: Wilhelm Foerster, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Wilhelm_Foerster
- [39]: Adolphe Hirsch, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Adolphe_Hirsch
- [40]: La convention du mètre, BIPM, <https://www.bipm.org/fr/metre-convention>
- [41]: Système métrique, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_m%C3%A9trique
- [42]: Documents diplomatiques de La conférence du mètre, 1875, <https://www.bipm.org/documents/20126/44107685/Diplomatic-Conference-Metre.pdf>
- [43]: Histoire du mètre, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_du_m%C3%A8tre
- [44]: Système international d'unités, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_international_d%27unit%C3%A9s
- [45]: Max Planck, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Max_Planck
- [46]: Ludwig Boltzmann, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Ludwig_Boltzmann
- [47]: Amedeo Avogadro, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Amedeo_Avogadro
- [48]: William Thomson, Wikipedia, [https://fr.wikipedia.org/wiki/William_Thomson_\(Lord_Kelvin\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/William_Thomson_(Lord_Kelvin))
- [49]: Heinrich Hertz, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Heinrich_Hertz
- [50]: Blaise Pascal, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Blaise_Pascal
- [51]: James Prescott Joule, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/James_Prescott_Joule
- [52]: James Watt, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/James_Watt
- [53]: Charles-Augustin Coulomb, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Charles-Augustin_Coulomb
- [54]: Alessandro Volta, Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Alessandro_Volta