

Chapitre 1

Systeme d'unités

Le besoin d'étalons

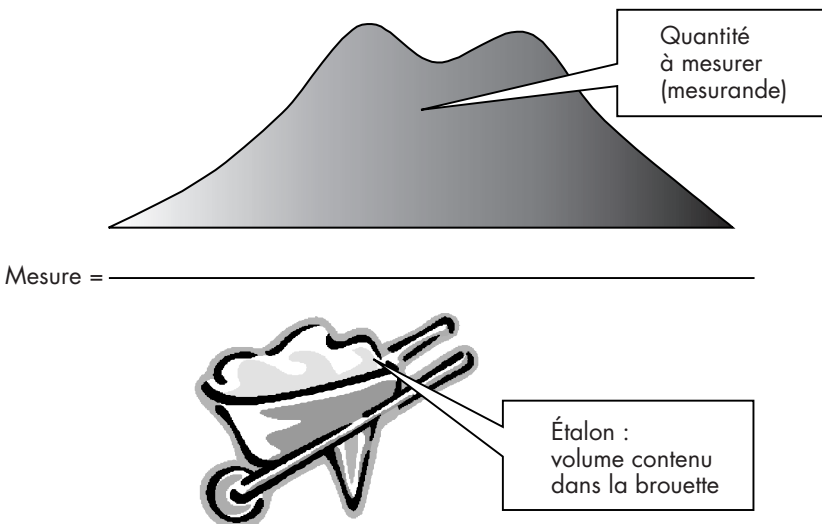
Mesurer, c'est faire une division. Le numérateur représente une grandeur (longueur, masse...) que l'on veut quantifier. Le dénominateur représente une certaine quantité, de même nature physique, que l'on a pu (ou que l'on a su) bien définir. C'est la notion même d'étalon (qui correspond dans ce cas à la grandeur unité¹), que nous développerons par la suite.

Illustrons ce concept avec un exemple didactique : mesurer un tas de sable en nombre de brouettes.

Pour faire une mesure, il faut :

- ▶ avoir une grandeur physique à mesurer (ici un **volume** de sable) ;
- ▶ choisir un domaine de cette grandeur comme étalon de mesure appelé également grandeur unité (attention ce n'est pas la brouette qui est l'étalon, mais le volume contenu dans la brouette) ;
- ▶ dénombrer la quantité à retenir en précisant le nombre (ou mesure) d'unités définies par la quantité étalon.

Figure 1.1 : Exemple didactique de mesure



1. Les termes spécifiques à la métrologie (comme grandeur ou unité) sont définis dans le VIM (*Vocabulaire international de la métrologie*) – PR NF ISO 99999 octobre 2006 (VIM), 3^e éd.

La mesure, en tant que résultat de la division, s'exprime par une grandeur scalaire (un réel qui est estimé par un entier et une partie fractionnaire).

Exemple

Pour mesurer le temps qui passe (chronométrie), le choix de l'étalon correspond à la période d'un mouvement oscillatoire (du pendule à la vibration d'un atome). Il faut ensuite prévoir un système de comptage.

Nous verrons par la suite que le choix de l'étalon est quelque chose de délicat. Sa définition et son appropriation ne sont pas toujours évidentes. Cela a conduit à une multitude d'étalons concurrents pour une grandeur physique donnée. C'est pourquoi nous ferons toujours suivre le résultat d'une mesure par le type de l'étalon retenu (par exemple : 2,35 mm).

Nous voyons apparaître deux sources d'erreurs potentielles :

- ▶ une définition faible de l'étalon (grandeur unité) ;
- ▶ un dénombrement incorrect dans le résultat de la division.

Un peu d'histoire métrologique

On peut retenir quatre grands domaines d'application nécessitant une métrologie de qualité :

- ▶ domaine commercial (sous-entendu, être sûr d'en avoir pour son argent) ;
- ▶ domaine architectural et cadastral (pyramides, cathédrales, palais...) ;
- ▶ domaine scientifique (échanger et comparer ses résultats pour valider un modèle) ;
- ▶ domaine industriel (passer de l'unitaire à la série, avec la possibilité d'interchangeabilité).

Concernant le domaine scientifique, rappelons les propos de Lord Kelvin :

« Si vous pouvez mesurer ce dont vous parlez, et l'exprimer par un nombre, alors vous connaissez quelque chose de votre sujet. Si vous ne le pouvez, votre connaissance est d'une bien pauvre espèce et bien incertaine. »
[William Thomson (1824-1907), mieux connu en tant que Lord Kelvin.]

A contrario, ce n'est pas parce que l'on a retenu un système de mesure, que l'on connaît parfaitement la grandeur à mesurer (par exemple, les tests de mesure du quotient intellectuel proposés par Binet (1857-1911)).

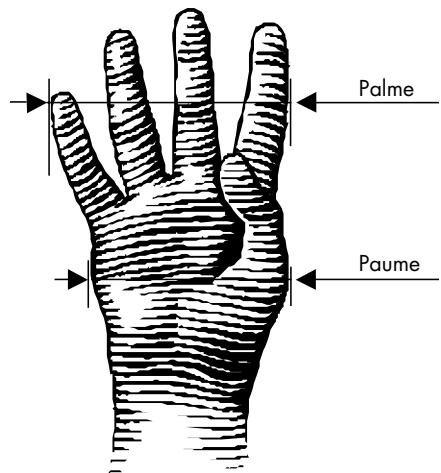
L'héritage de l'Antiquité

L'idée de choisir **un domaine d'une grandeur** [par exemple la longueur] comme étalon est naturel et très ancien (le plus souvent lié à la morphologie humaine). On peut citer par exemple, les systèmes d'unités et de leurs multiples et sous-multiples égyptiens, gréco-romains, arabes et chinois. Ces derniers ont très tôt utilisé un système décimal.

Figure 1.2 : La coudée royale égyptienne

Coudée royale égyptienne :

- = 7 paumes
- = 28 doigts
- = 1 corde / 100



La métrologie et le pouvoir

Pour quantifier les échanges commerciaux, il fallait bien utiliser des étalons de mesures (par exemple, étalons de volume pour la mesure des céréales). Dans les transactions commerciales, il pouvait y avoir des achats dans une unité et des ventes dans une autre unité plus avantageuse. La lutte contre ces pratiques injustes relevait naturellement du

garant de la justice dans le pays, c'est-à-dire le roi lui-même. Dans la plupart des pays, se trouvait un système de « poids et mesures » placé sous la haute autorité du roi.

En 1671, Colbert avait cherché à rendre uniforme les poids et mesures dans tous les ports et arsenaux de France¹.

Notons que cette volonté d'unicité des différents étalons intéressait également les services de collecte des taxes et des impôts.

Le système anglais

Ce système, fondé sur des multiples qui ne nous sont plus habituels, est en fait très ancien. C'est un des premiers exemples de normalisation étendue à tout un royaume.

Par exemple, pour les longueurs, les multiples et sous-multiples sont construits à partir du « pied ». Effectivement, cela correspond approximativement à la longueur d'un pied humain (de grande taille), mais cela peut être vu également au sens d'instrument de mesure (comme pour un pied à coulisse) (tableau 1.1).

Tableau 1.1 : Système anglais pour les longueurs (exemples)².

Nom anglais	Nom français	Ratio/pied	Équivalence SI
<i>Mile</i>	Mille	5 280/1	1 609,344000 m
<i>Yard</i>	Verge	3/1	0,914000 m
Foot	Pied	1	0,304800 m
<i>Inch</i>	Pouce	1/12	25,400 mm
<i>Point</i>	Point	1/144	0,176388 mm

1. Hocquet J.-C., *La Métrologie historique*, Paris, PUF, 1995.

2. <http://fr.wikipedia.org>.

La genèse du système métrique décimal

En France, on trouvait un système d'unités très proche du système anglais. Le problème essentiel venait de la non-uniformité (dans les provinces) de la définition du pied et d'une base de division qui pouvait varier (par exemple, la toise et le pied n'étaient pas divisés de la même façon).

Le besoin d'unicité de l'étalon

Bien que l'idée d'unicité ait déjà été proposée, son application ne pouvait se faire que suite à une volonté forte, de manière à vaincre les habitudes et l'inertie des usagers. Cependant, le développement du commerce, de la région vers l'international, va être un vecteur de redéfinition d'un système plus cohérent. Pour éviter toutes querelles de nationalisme, l'idée d'une définition universelle des étalons, rattachés à des constantes physiques, a germé dans l'esprit de la communauté scientifique.

La fin du XVII^e siècle voit s'affronter deux écoles. L'une propose de rattacher l'étalon à l'arc terrestre (Gabriel Mouton, 1618-1694), l'autre définit l'étalon comme le tiers de la longueur d'un pendule battant la seconde, appelé « pied universel » (Jean Picard, 1620-1682).

Les deux écoles coexisteront pendant près d'un siècle et donneront lieu à différentes expériences (cela permettra d'affiner la définition de l'étalon souhaité). Notons que la définition à partir du pendule créait un lien entre l'unité de longueur et l'unité de temps. Ce lien sera à nouveau d'actualité, quelque trois cents ans plus tard.

La nécessité d'une volonté politique

Promouvoir un nouveau système de mesure ne doit pas uniquement être une affaire de spécialistes. Cette promotion doit être soutenue par une volonté politique forte de changement et des moyens financiers associés. Dès 1774, Turgot charge Condorcet (nommé inspecteur des Monnaies) de réfléchir au choix d'un étalon et de son usage dans le royaume à partir de copies (on ne parle pas encore de chaîne d'étalonnage, mais le concept est né).

La Révolution française, et sa soif de changement, sera un catalyseur pour promouvoir ce nouveau système. L'uniformisation des « poids et mesures » devient un enjeu national.

L'Académie des sciences est chargée de définir le nouvel étalon de longueur. La définition de l'étalon à l'aide d'un pendule ou à partir d'un arc du méridien terrestre sera l'objet de controverses importantes. C'est la seconde proposition qui l'emportera. En effet, en 1791, l'Assemblée nationale accepte les termes du rapport de la commission composée de Borda, Lagrange, Laplace, Monge et Condorcet. La longueur du pendule battant la seconde est rejetée au profit de la dix-millionième partie du quart du méridien terrestre.

De la définition à la matérialisation du mètre

Il y avait déjà eu différentes mesures d'arcs de méridien terrestre par triangulation. Il a été décidé de mesurer par triangulation l'arc de méridien entre Dunkerque et Barcelone, deux villes situées à 45 degrés de latitude environ. Le choix des villes donnait une dimension internationale à cette opération.

L'Assemblée nationale, en juin 1792, va charger deux astronomes, Jean-Baptiste Delambre pour la partie nord et Pierre Méchain pour la partie sud, de faire ces mesures. Dans le contexte historique difficile de l'époque, ce fut une véritable épopée¹.

Le 22 juin 1799, l'étalon « mètre » est consacré. Pour des raisons purement pratiques, le mètre sera matérialisé ensuite par une règle de platine.

La Conférence générale des poids et mesures

Le système métrique décimal du 22 juin 1799 représentant le mètre et le kilogramme mettra quelques années à s'imposer. Présenté lors des expositions internationales, sa diffusion sera rapide au sein de la communauté scientifique mondiale (citons en particulier Gauss, Weber, Maxwell et Thomson).

1. Pour en savoir plus, lire *La Méridienne* et *Le Mètre du monde* de Denis Guedj.