

CHAPITRE 6

LA CONSTRUCTION D'UN ÉTALON

Ce chapitre permet de définir, en premier lieu, le terme étalon et donne un aperçu sur le processus de développement du premier étalon universel qui est le mètre. Puis, il décrit les étalons universels et spécifiques et présente les concepts d'étalonnage et de calibration. Il termine en introduisant le concept de traçabilité des étalons.

6.1 Introduction

La sonde spatiale Mars Climate Orbiter conçue pour analyser les variations du climat martien, s'est écrasée sur la planète Mars car une équipe exprimait les longueurs en mètres alors que l'autre les exprimait en pieds (I. Douglas et al., 1999). Cette anecdote illustre bien l'importance des étalons dans la vie humaine.

6.2 Généralités

La mesure est le fait d'attribuer une valeur numérique à une grandeur. C'est une notion indispensable en sciences tout comme dans la vie quotidienne. Elle permet d'exprimer une grandeur par un nombre, un symbole, un mot, un graphique, etc. Les nombres peuvent ensuite être utilisés par un modèle numérique.

L'assignation d'un nombre à une mesure est liée à la définition d'une unité basée sur un étalon. Par exemple, l'étalon de la distance est conservé au Bureau international des poids et mesures (BIPM, Paris). On compare toute longueur d'un objet à cet étalon d'une distance, à ses multiples ou ses sous multiples de sorte que la mesure conduit à dire que « l'objet fait n fois l'étalon de distance ».

Un concept appelé « unité » est défini pour chaque étalon. L'unité associée à la distance est le mètre (abrégé en « m »), de sorte que « un objet fait n mètres ». Une grandeur s'exprime par la formule $\text{grandeur} = \text{mesure} \times \text{unité}$ qui représente la mesure de la grandeur dans une unité donnée.

Toute mesure a, en pratique, une marge d'erreur car il n'y a pas de processus parfait de mesurage. Par ailleurs, une mesure n'est considérée comme correcte que si on lui associe une estimation d'erreur. Par exemple, la poutre mesure 3 m de long à 0,005 m près. Cette estimation de la précision s'appelle « erreur absolue » ou « incertitude absolue » et elle est exprimée avec la même unité que celle utilisée pour exprimer la mesure de la grandeur. « Dans le cas des modèles numériques, la mesure doit être associée à une incertitude et à un intervalle confiance » (Encyclopédie libre Wikipedia, 2005).

Selon Henry (1997), un modèle est une représentation abstraite, simplifiée d'un objet du monde réel, ou d'un système de relations, ou d'un processus évolutif, issus d'une description de la réalité. La métrologie est dotée des méthodes et des techniques pour paramétrer un modèle destiné à représenter la réalité. La réalité concernée est souvent la réalité physique, mais peut aussi être économique, sociologique, etc

6.3 Qu'est ce qu'un étalon ?

Selon le VIM (ISO, 1993), un étalon est une « mesure matérialisée, appareil de mesure, matériau de références ou système de mesure destiné à définir, réaliser, conserver ou reproduire une unité ou une ou plusieurs valeurs de grandeur pour servir de référence ». Un étalon doit être précis, exact, reproductible et universel (Antoine et al., 2003).

6.3.1 Création du premier étalon universel : Le mètre

Le mètre date d'un peu plus de deux siècles, ce qui est jeune à l'échelle de l'humanité, mais par rapport au domaine de la mesures des logiciels, c'est très ancien. Alors, avant lui quel était le système de mesure?

Jusqu'à la Renaissance européenne, les outils de mesure dérivait des parties du corps humain, comme le pied ou le pouce pour les longueurs. Souvent le standard était les membres (pieds, pouces, coudes) du roi. De plus, il y avait plusieurs systèmes de mesures et c'était bien là le problème. « Chaque région de France possède son propre système : en Bretagne, on mesure en perches, à Marseille en palmes, à Paris en pieds ailleurs encore en toises, en pouces, en lignes, en brasses, en coudées, en emfans, ... Il en est de même pour les mesures de masse où la livre est par exemple plus légère à Toulouse qu'à Strasbourg » (M. Lange, 2005). Dans ces conditions, les échanges commerciaux sont particulièrement complexes.

Pour remédier à cette diversité et à cette complexité dans les échanges commerciaux, l'Assemblée Nationale française décidait en 1790 de faire un système de mesure unique. Mais la question qui se posait a été de comment définir le mètre? Le projet fut confié à des savants bien connus de l'époque. Ces savants définirent, par convention et par consensus, le mètre comme le dix millionième du quart du méridien terrestre. L'idée reposait sur une référence bien connue par tous et qui serait acceptée de tous : la Terre. Mais en pratique, la mise sur pied de cette convention et de ce consensus a été particulièrement longue et difficile. Le projet se concrétisera dans des conditions difficiles sur une période de six ans, de 1792 à 1798 : pour mesurer la circonférence du méridien à l'équateur, il faudra franchir des montagnes, confronter des conditions climatiques sévères, la réticence des habitants et surtout une situation politique agitée.

Enfin, en 1795, le mètre remplaçait officiellement toutes les unités existantes. « Le mot mètre vient du grec metron qui veut dire mesure » (Picchiottino et al., 2000). On introduit ses multiples et ses sous-multiples. Le mètre s'étendra d'abord en Europe puis dans la plupart des pays du monde, sauf dans quelques pays anglo-saxons où des unités telles que le « pied » sont encore utilisées. L'amélioration de la définition du mètre s'est poursuivie au cours des siècles jusqu'en 1983 avec l'adoption de la plus récente

définition dans la convention consensuelle du mètre: c'est la distance parcourue dans le vide par la lumière en $1/299\,792\,458$ e de seconde.

6.3.2 Les étalons universels et spécifiques

Les étalons dits universels sont les étalons de la Convention du Mètre. Ils définissent les unités du système international (SI). Selon le BIPM (2005), le SI est fondé sur un choix de sept unités de base bien définies et considérées par convention comme indépendantes du point de vue dimensionnel : le mètre, le kilogramme, la seconde, l'ampère, le kelvin, la mole et la candela. Bien qu'ils servent à des déterminations précises, ces étalons ne sont pas facilement utilisables, vu les précautions sévères exigées pendant leur manipulations sur les lieux où doit se faire l'étalonnage. Alors, il faut des étalons dits «spécifiques», plus simples d'utilisation, qui sont eux-mêmes calibrés à partir des étalons universels. Par exemple, le mètre (étalon de distance) du BIPM sert de référence pour des étalons spécifiques de distance qui permettent d'étalonner l'instrument « règle » chez les fabricants.

Les étalons peuvent être :

- un objet inaltérable, comme la masse étalon;
- un phénomène physique, comme l'étalon seconde, l'étalon mètre, l'étalon intensité du courant électrique;
- une réaction chimique, comme l'électrode normale à hydrogène ou l'électrode au calomel saturée en KCl utilisée en électrochimie.

Toutefois, un utilisateur, un organisme ou un groupe de recherche peut fabriquer lui-même ses propres étalons. Par exemple, dans un domaine où le corpus des connaissances n'est pas bien défini, comme le génie logiciel, un laboratoire qui a les compétences nécessaires pour développer des étalons peut suggérer des étalons de mesure des attributs des logiciels : «En analyse chimique, les utilisateurs fabriquent souvent des solutions à partir de produits purs pour étalonner leurs appareils d'analyse» (Encyclopédie libre Wikipedia, 2005).

6.3.3 Organismes de normalisation

Le rôle du développement et de la reconnaissance des étalons est délégué à des organismes de normalisation (standardisation en anglais).

Au niveau international, il existe deux organismes compétents pour définir des étalons internationaux, à savoir :

- le Bureau international des poids et mesures de France auquel adhèrent 51 pays, est un organisme officiel;
- ISO – International Organization for Standardization, qui réunit les organismes nationaux de normalisation.

Chaque pays a, par la suite, son propre organisme de normalisation. Par exemple :

- Conseil canadien des normes — CCN au Canada
- Association française de normalisation — AFNOR en France
- National Institute for Science and Technology — NIST aux États-Unis
- Deutsches Institut für Normung — DIN en Allemagne
- Institut belge de normalisation — IBN en Belgique
- British Standards Institution — BSI au Royaume-Uni.

6.4 Étalonnage et calibration

Le vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie (VIM) définit l'étalonnage comme suit : « L'étalonnage est l'ensemble des opérations établissant dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée ou par un matériau de référence et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisées par des étalons » (ISO, 1993).

Dans certains cas, le phénomène que l'on veut évaluer n'est pas homogène, il faut donc faire plusieurs mesures. Par exemple, si l'on veut mesurer un système informatique à plusieurs composantes, il faut le faire sur plusieurs parties du système car chaque partie

peut avoir ses spécificités (langage de programmation utilisé, expérience du codeur, etc.). Si l'on veut connaître la composition chimique d'une huile dans des citernes de stockage, il faut faire des prélèvements en plusieurs endroits (notamment en raison de la décantation, les produits lourds sont au fond et les produits légers au-dessus).

Cependant, la calibration est simple. Elle consiste à passer un objet de référence pour vérifier que l'objet mesuré a des propriétés proches de l'objet de référence. En anglais, le terme standard ou standard-étalon signifie « étalon », et le terme calibration signifie « étalonnage ».

6.5 La traçabilité des étalons

Lorsqu'on fait une mesure, on est sensé tout de même se rattacher quelque part à un étalon, ou à plusieurs étalons par un chemin compliqué : en métrologie, le terme correspond au concept de traçabilité. Les étalons doivent être « traçables » aux éventuels étalons nationaux et internationaux de mesure. Selon l'Institut des étalons nationaux de mesure (2004), la traçabilité implique la possibilité de relier les résultats d'une mesure individuelle, comportant une incertitude donnée, par l'intermédiaire d'une chaîne non interrompue de comparaisons, à une référence déterminée, habituellement les étalons nationaux de mesure ou à des étalons intrinsèques basés sur des constantes naturelles fondamentales dont les valeurs sont attribuées ou acceptées au niveau national ou international. La figure 8, adaptée de Preben et al. (2003), montre la chaîne de traçabilité des mesures. À signaler que l'incertitude augmente en bas de la chaîne de traçabilité.

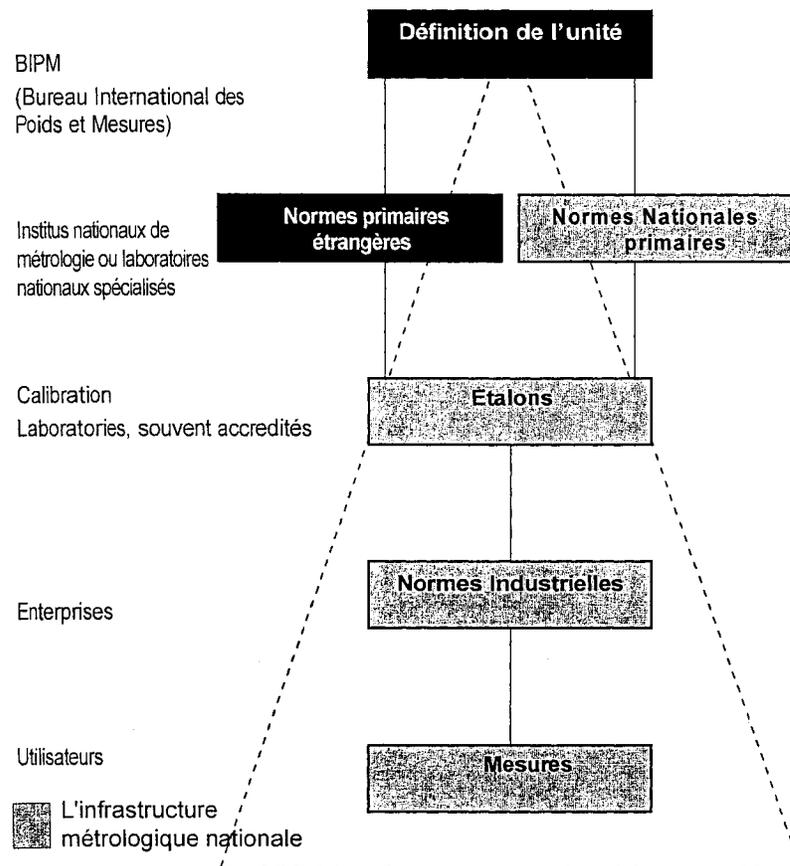


Figure 8 La chaîne de traçabilité - adaptée de Preben et al. (2003)

Toujours selon l'Institut des étalons nationaux de mesure (Bureau de communications, 2004), un résultat d'étalonnage devrait comprendre les données suivantes pour permettre d'établir adéquatement une chaîne permettant de vérifier la traçabilité :

- la valeur attribuée;
- l'incertitude déclarée;
- l'identité de l'étalon ou des étalons utilisés lors de l'étalonnage.

Des précisions sur les conditions du milieu de l'étalonnage auxquelles des facteurs de correction doivent être appliqués si l'étalon ou l'équipement est utilisé dans des conditions différentes du milieu.

6.6 Conclusion

Ce chapitre a défini le terme d'étalon et il a présenté un aperçu sur le processus de création du mètre, des étalons universels et spécifiques, de l'étalonnage et de la calibration ainsi que de la traçabilité des étalons.

Le chapitre suivant définira la problématique de recherche à traiter dans cette thèse, la question de recherche soulevée et l'objectif derrière cette recherche.