

Comprendre et maîtriser les concepts de la métrologie

QU'EST-CE QUE L'INCERTITUDE DE MESURE ?

S'il est un concept qui est paradoxalement au cœur du métier de la métrologie et assez, voire très, difficile à cerner, c'est bien celui de l'incertitude de mesure. Et ce n'est pas la définition qu'en donne le V.I.M (JCGM 200 : 2008 « Vocabulaire international de la Métrologie ») qui peut arranger les choses...

Pourtant, il n'y a encore pas si longtemps, la notion du doute sur l'exactitude des mesures (sous-tendue par la définition même s'il n'est pas dit explicitement et simplement que les mesures ne peuvent pas être justes !) faisait le quotidien des "consommateurs". En effet, à la veille de la Révolution française, les citoyens demandaient, dans les cahiers de doléances⁽¹⁾, l'instauration « *d'un poids et d'une mesure* » tellement était grand le doute qu'ils éprouvaient lors des échanges commerciaux. Aujourd'hui, ce doute existe encore parfois (l'exemple « *des stères* » de bois de chauffage parle de lui-même pour celui qui l'a vécu), mais il faut bien reconnaître qu'il a disparu dans la plupart des échanges. Cette confiance restaurée dans le résultat d'une mesure commerciale (le boucher, le pompiste, EDF...) n'est pourtant pas venue toute seule...

Mesure et système d'unités

Il a tout d'abord fallu définir un système d'unités de mesure et l'histoire prêche, même s'il y a débat, à Charles Maurice de Talleyrand-Périgord, évêque d'Autun puis homme politique, son principe fondateur. Pour garantir le fait qu'il puisse être par-



Jean-Michel POU

Président fondateur de la société Delta Mu, très impliqué dans la métrologie nationale, il est également membre des commissions AFNOR et vice-président du Collège français de métrologie.

tagé par l'ensemble de la communauté savante et des peuples, C.M. Talleyrand proposa : « *considérant... que le seul moyen d'étendre cette uniformité aux Nations étrangères, et de les engager à convenir d'un même système de mesure, est de choisir une unité qui, dans une détermination, renferme rien ni d'arbitraire ni de particulier à la formation d'aucun peuple sur le globe* ». Une fois ce principe accepté, et après de nombreux débats, notamment avec les Anglais, la première définition du mètre (dont il a fallu, bien sûr, inventer le nom pour l'occasion !) a été votée le 26 mars 1871 par "La Constituante" qui : « *adopte la grandeur du quart du méridien terrestre, pour base du nouveau système de mesure* ». Le roi Louis XVI sanctionne dès le 30 mars le décret qui devint alors une loi qui se présente aujourd'hui comme le deuxième acte législatif majeur (le premier étant la Déclaration des Droits de l'Homme !) de l'Assemblée Constituante⁽²⁾.

Ensuite, l'État organisa la vérification périodique des instruments de mesure servant aux échanges commerciaux via un service qu'il créa pour l'occasion : Le service des Poids et Mesure (1837). Ce service existe encore aujourd'hui et porte le nom de sous-direction de la métrologie. C'est pour garantir la loyauté des échanges commerciaux, c'est-à-dire obtenir la confiance dans les résultats de mesure, que l'État a inventé les classes d'instruments de mesure, les erreurs maximales tolérées (E.M.T) et les vérifications périodiques suivant des périodicités calendaires. C'est dans ce contexte

(1) Les cahiers de doléances sont des registres dans lesquels les assemblées chargées d'élire les députés aux États généraux notaient vœux et doléances. Cet usage remonte au XIV^e siècle. Les cahiers de doléances les plus notoires restent ceux de 1789. Source Wikipédia

(2) Ethnographique.org – Florent Méhaye

que, depuis tout petit, nous côtoyons tous chaque jour de nombreux résultats de mesure sur lesquels le doute a disparu. Nous sommes donc naturellement convaincus, inconsciemment, qu'ils étaient justes, exacts, alors que ce n'est physiquement pas possible ...

Mesure et incertitude de mesure

En effet, de la définition des étalons (sur l'amélioration desquels les laboratoires primaires de métrologie du monde entier travaillent sans cesse) à la définition de ce que nous cherchons à mesurer (nouvelle notion « d'incertitude définitionnelle » introduite dans la définition de 2008), en passant par les instruments de mesure (forcément imparfaits), les conditions expérimentales (forcément différentes des conditions de référence impossibles à garantir), les opérateurs (et leurs variations bien humaines), des "erreurs" s'expriment à chaque mesure ce qui rend les résultats inéluctablement imparfaits. L'observation d'un processus de mesure (Figure 1) permet de prendre conscience de tous les facteurs qui contribuent à la réalisation d'une mesure et, par conséquent, de son inévitable imperfection...

« Nous sommes convaincus, inconsciemment, que les résultats de mesure étaient justes, exacts, alors que ce n'est physiquement pas possible... »

L'incertitude de mesure n'est donc pas une simple vue de l'esprit de je ne sais quel "coupeur de cheveux en quatre". Elle est un **fait physique** et, même si tout a été fait dans l'histoire pour l'oublier, elle est

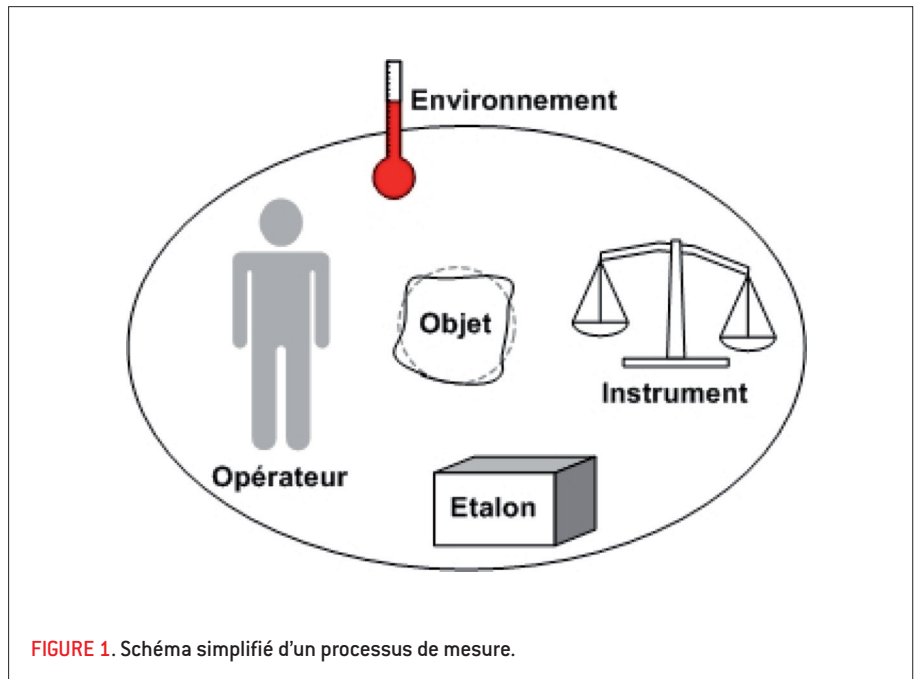


FIGURE 1. Schéma simplifié d'un processus de mesure.

bien présente et doit être prise en compte, ou pour le moins envisagée dans ses conséquences. On peut remercier en ce sens l'exigence des référentiels qualité, ISO 9001 en tête, même si cette contrainte pèse encore trop souvent sur les seuls instruments (d'où l'exigence d'étalonnage et de vérification aujourd'hui admise), sans trop encore se préoccuper de tous les autres facteurs, pourtant très fréquemment plus importants !

Incertitude de mesure et statistique

Pendant de nombreuses années, l'approche "incertitude" consistait à déterminer les erreurs maximales que chaque facteur pouvait produire pour, par addition, déterminer l'erreur de mesure la plus grande qu'on pouvait subir. La prise en compte des effets finalement souvent aléatoires, qui nous valent les références aux écarts-types, incertitudes types et autres méthodes d'évaluation de type A ou de type B de la définition du VIM, ont imposé l'approche statistique dans le cadre de l'évaluation desdites incertitudes. En effet, si chaque facteur apporte sa propre erreur, certains peuvent se compenser et une vision trop "linéaire"

du phénomène ne peut conduire qu'à une surévaluation préjudiciable, donc non "crédible", de la qualité réelle des mesures. S'il est incontestable que les outils, tels que décrits dans le GUM (JCGM 100 : 2008 « Guide pour l'expression des incertitudes de mesure ») ou dans la série des normes ISO 5725 (traitant des essais interlaboratoires), peuvent paraître compliqués, car très (trop ?) "statistiques", leur maîtrise ouvre des horizons que les métrologues ne devraient pas négliger. En effet, comme toutes nouvelles compétences, la phase d'apprentissage et d'appropriation peut s'avérer laborieuse, mais elle n'en sera que plus riche en termes de perspectives. Tout se passe ici comme l'apprentissage du tennis. Les premières heures sur le court sont souvent désespérantes, mais, une fois les bases acquises, le jeu devient intéressant, voire passionnant ...

Incertitude de mesure et perspectives

Nos organisations, industrielles et autres, se sont implicitement structurées autour de la croyance de résultats de mesure justes et elles ont trouvé les moyens de contourner cette réalité, souvent d'ailleurs

de façon inconsciente tel que nous l'observons au quotidien depuis plus de deux cents ans dans le cadre des échanges commerciaux. Cette vision, tout le monde ou presque a pu le constater, a souvent conduit, **dans le doute**, à resserrer les exigences fonctionnelles pour « être sûr ». On retrouve souvent dans la pratique, celle, ancienne maintenant, de l'évaluation des incertitudes de mesure à ses débuts (somme des erreurs). L'exemple de la chaîne de cotes, dans de nombreux cas de l'industrie mécanique, est particulièrement démonstratif. Ici encore, on retrouve cette vision linéaire des phénomènes alors que les statistiques pourraient proposer des outils d'optimisation. Dans le cas de stylos par exemple, il n'est en effet pas nécessaire que tous les bouchons soient plus grands que tous les stylos, mais plus pragmatiquement, qu'un bouchon pris au hasard (notion de statistique) soit compatible avec un stylo, lui aussi pris au hasard (encore une notion de statistique). Cette vision de la réalité physique des phénomènes ouvre des perspectives, dans ce domaine comme dans tous les autres baignés de la même culture, que l'industrie pourrait utilement intégrer dans



Tout se passe ici comme l'apprentissage du tennis. Les premières heures sur le court sont souvent désespérantes, mais, une fois les bases acquises, le jeu devient intéressant, voire passionnant.

sa recherche de performance. Le métrologue, conscient de la richesse de cette compétence, pourra envisager avec plus de plaisir les efforts à consentir. Il peut ici saisir sa chance de voir sa compétence reconnue et se hisser à une place de choix dans son organisme.

Conclusion

Après deux cents ans d'histoire, la qualité a donc fait ressurgir la problématique des incertitudes de mesure qui avait disparu au profit de l'impérieux besoin de confort pour des "mesures justes" dans le domaine commercial. Dans le monde industriel, le besoin est différent. Il s'agit de garantir la fonctionnalité, qui n'a rien à voir avec le confort (au sens certitude commerciale), si ce n'est celui de l'utilisateur final qui voit son besoin satisfait. En sortant de la culture actuelle grâce à la prise de conscience que :

- les mesures ne sont pas justes ;
- les produits fonctionnent,

la métrologie et les statistiques peuvent participer à l'évaluation et à l'atteinte du "juste nécessaire". Au-delà même de la réponse à une exigence qualité, le métrologue peut réellement devenir un acteur du développement durable. La quête du "juste nécessaire" n'est finalement que justice rendue par avance aux générations futures, car, comme l'écrivait Antoine de Saint-Exupéry : « Nous n'héritons pas de la terre de nos parents, nous l'empruntons à nos enfants »

2.26 (3.9) INCERTITUDE DE MESURE, F ; INCERTITUDE, F

Paramètre non négatif qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande, à partir des informations utilisées

NOTE 1 : l'incertitude de mesure comprend des composantes provenant d'effets systématiques, telles que les composantes associées aux corrections et aux valeurs assignées des étalons, ainsi que l'incertitude définitionnelle. Parfois, on ne corrige pas des effets systématiques estimés, mais on insère plutôt des composantes associées de l'incertitude.

NOTE 2 : le paramètre peut être, par exemple, un écart-type appelé incertitude type (ou un de ses multiples) ou la demi-étendue d'un intervalle ayant une probabilité de couverture déterminée.

NOTE 3 : l'incertitude de mesure comprend en général de nombreuses composantes. Certaines peuvent être évaluées par une évaluation de type A de l'incertitude à partir de la distribution statistique des valeurs provenant de séries de mesurages et peuvent être caractérisées par des écarts-types. Les autres composantes, qui peuvent être évaluées par une évaluation de type B de l'incertitude, peuvent aussi être caractérisées par des écarts-types, évalués à partir de fonctions de densité de probabilité fondées sur l'expérience ou d'autres informations.

NOTE 4 : en général, pour des informations données, on sous-entend que l'incertitude de mesure est associée à une valeur déterminée attribuée au mesurande. Une modification de cette valeur entraîne une modification de l'incertitude associée.